

BIBLIOTECAS UNACH  
FAC. MEDICINA HUMANA



**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE CHIAPAS**

FACULTAD DE MEDICINA HUMANA

CAMPUS II

COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

---

---

**“CALIDAD DEL AGUA Y SEDIMENTOS DE LA SUBCUENCA  
DEL RIO SUCHIAPA Y SU IMPACTO EN LA SALUD”**

TESIS QUE PRESENTA

**César Ramírez Wleshower**

PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA SALUD  
(Salud Ambiental y Enfermedades Transmisibles)**



Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México  
2010



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA  
ADMINISTRACIÓN DE BIENES CULTURALES

No. ADQ. ME011364  
SISTEMA BIBLIOTECARIO  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE CHIAPAS  
DONACIÓN

DIRECTOR DE TESIS

**M.C. José Humberto Castañón González**

ASESORES

**Dra. Cristina Blanco González**  
**M.C. Miguel Cid del Prado Martínez**

**ESTE DOCUMENTO ES PRODUCTO DEL PROYECTO  
FOMIX CHIAPAS-CONACYT-GOBIERNO DEL ESTADO  
(CLAVE CHIS030755)  
MAESTRIA EN CIENCIAS EN  
SALUD AMBIENTAL Y ENFERMEDADES TRANSMISIBLES  
DE LA CUAL EL SUSTENTANTE ES EGRESADO.**

## **Agradecimientos**

**M.C. Humberto Castañón González.  
Director de Tesis**

Por invitarme a participar en esta importante investigación, por la confianza brindada y sobre todo por sus contribuciones oportunas y necesarias para la conclusión exitosa de esta investigación.

**Dra. Cristina Blanco González.  
M.C. Miguel Cid del Prado Martínez.  
Asesores de tesis**

Por la asesoría brindada, por todas sus aportaciones y recomendaciones hechas a la presente investigación.

**Ing. Francisco de los Santos Hernández.  
Ing. Corazón de Jesús González Pérez.  
Quim. María del Pilar Palacios Jiménez.  
Quim. Rosario Chávez Moguel.**

Por la confianza depositada, su enseñanza y apoyo en las etapas de muestreo y análisis.

### **A los analistas y expertos en muestreo.**

Manuel, Rigoberto, Freddy, Gilberto, Lupillo, Marissa, Yazmín, Yarian, Emigdia. A todos gracias por todo el apoyo, recomendaciones, consejos, y por aportarme parte de su amplio conocimiento y experiencia.

**Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)  
Laboratorio Regional de Calidad del Agua, Frontera Sur.  
Instituto de Historia Natural y Ecología (IHNE)  
Laboratorio de Monitoreo Ambiental.**

Por brindarme todo el apoyo, los recursos necesarios para la realización de esta investigación y por la oportunidad de aprendizaje en el área analítica.

## Contenido

Resumen	Pág.
Summary	6
Índice de cuadros	6
Índice de figuras	7
Índice de fotos	8
	9
I Introducción	10
II Antecedentes	14
2.1 Generales	14
2.2 Directos	17
III Objetivos	21
3.1 General	21
3.2 Específicos	21
IV Parámetros Físico-Químicos y Bacteriológicos del agua	22
4.1 Temperatura	22
4.2 pH	22
4.3 Conductividad eléctrica	23
4.4 Sólidos Disueltos Totales (SDT)	23
4.5 Oxígeno Disuelto (OD)	24
4.6 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	25
4.7 Dureza total	26
4.8 Alcalinidad	26
4.9 Nitrógeno	27
4.10 Nitritos y Nitratos	29
4.11 Fósforo total	30
4.12 Demanda Química de Oxígeno (DQO)	31
4.13 Sólidos sedimentables	31
4.14 Sólidos suspendidos	32
4.15 Microorganismos coliformes	33
V Metales pesados	35
5.1 Plomo	35
5.2 Cobre	36
5.3 Cadmio	37
5.4 Arsénico	37
5.5 Zinc	38
5.6 Cromo	39
5.7 Níquel	40
5.8 Mercurio	41

<b>VI Plaguicidas</b>	<b>42</b>
6.1 Efectos ecológicos de los plaguicidas	44
6.2 Plaguicidas organoclorados	45
<b>VII Estrategia Metodológica</b>	<b>47</b>
7.1 Características del área de estudio	47
7.2 Selección de los sitios de muestreo	48
7.3 Características e importancia de los sitios seleccionados	49
7.4 Muestreo	52
7.5 Plan de muestreo	53
7.6 Análisis <i>In Situ</i>	53
7.7 Estándares utilizados para la verificación del equipo	54
7.8 Tamaño de la muestra	54
7.9 Volumen de la muestra requerida	54
7.10 Tipo de envases	55
7.11 Tipo de preservador	55
7.12 Tiempos máximos previos al análisis	55
7.13 Análisis de laboratorio	56
7.14 Métodos aplicados	57
<b>VIII Resultados</b>	<b>58</b>
<b>IX Discusión de resultados</b>	<b>61</b>
9.1 Parámetros Físico-Químicos	
9.2 Parámetros Bacteriológicos	
9.3 Metales pesados	75
9.4 Plaguicidas	80
9.5 Evaluación de calidad del agua	81
<b>X Conclusiones</b>	<b>87</b>
<b>XI Perspectivas</b>	<b>89</b>
<b>XII Bibliografía</b>	<b>91</b>
<b>XIII Anexos</b>	<b>96</b>
<b>XIV Artículo Científico</b>	<b>116</b>

## Resumen

El presente estudio es un diagnóstico del estado actual del recurso hídrico y de sedimentos de la subcuenca del río Suchiapa y sus afluentes, dicha cuenca es uno de los escurrimientos hidráulicos superficiales más importante de la zona, se encuentra localizado en la depresión central del estado de Chiapas, México. El estudio comprendió la evaluación fisicoquímica, bacteriológica, y de calidad del agua, además de metales pesados en sedimentos del río, en cinco sitios de muestreo perturbados y no perturbados por las actividades agropecuarias de la zona.

Los análisis físico-químicos señalan que los valores de nitrógeno amoniacal, superaron los límites máximos permisibles establecidos en la Norma Oficial Mexicanas NOM-127-SSA1-1994 en todos los puntos estudiados, los valores establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996 también se vieron superados por los valores de SST en todos los puntos, y de manera ocasional el fósforo total y los sólidos sedimentables. El punto más contaminado fue el de la descarga de Suchiapa.

Todos los puntos estudiados, presentaron contaminación bacteriológica por coliformes totales y fecales, lo que evidencia la existencia de ciertas deficiencias locales en la forma de disposición de desechos líquidos de tipo doméstico y agropecuario. Las concentraciones de metales pesados en sedimentos analizados, reflejaron que únicamente el cadmio, cromo y plomo rebasaron los valores guías máximos permisibles establecidos por el Canadian Council of Ministers of the Environment, para la protección de la vida acuática, demostrando que existen sitios específicos que requieren de una atención especial y que son de gran interés para futuras investigaciones.

Según los indicadores DBO<sub>5</sub>, DQO y Sólidos Suspendedos Totales, la calidad de agua en un 80% se encuentra dentro de las categorías que van de excelentes, buena y aceptable calidad, mientras que el 14% se encuentra contaminada y el 6% fuertemente contaminada.

## Summary

The present study is a diagnostic of the current state of water resources and sediments of the watershed of the Suchiapa river and its tributaries. The aforementioned watershed is one of the most important surface water run offs in the area. It is located in the central depression of the state of Chiapas, Mexico. The study investigated included the physiochemical and bacteriological evaluation, water quality, and also heavy metals found in the river sediments in five sample sites both disturbed and undisturbed by the agricultural activities of the area.

The physiochemical analyses show that the values of ammonia nitrogen surpassed the maximum allowable limits established by the Mexican Official Norms NOM-127-1994 in all of the points studied; the established values of the NOM-001-SEMARNAT-1996 also surpassed the SST values in all points, and occasionally the phosphorus total and sedimentary solids.

All of the studied points displayed bacterial contamination due to total and fecal coliforms, evidencing the existence of certain local deficiencies in the form of disposition of household and agricultural liquid waste. The concentration of heavy metals in the analyzed sediments reflected that only cadmium, chromium, and lead surpassed the guiding values maximum allowable limits established by the Canadian Council of Ministers of the Environment, for the protection of aquatic life, demonstrating that specific sites exist that require special attention and that are of great interest in future investigations.

According to the DBO<sub>5</sub> and DQO indicators and suspended total solids, the quality of water in 80% is found inside of the categories that are of excellent, good and acceptable quality, while 14% is found contaminated and 6% strongly contaminated.

## Índice de cuadros

	Pág.
Cuadro 1. Distribución de estaciones de monitoreo de calidad de agua superficial, según categoría DBO <sub>5</sub> , por región hidrológica administrativa, 2006.	16
Cuadro 2. Distribución de estaciones de monitoreo de calidad de agua superficial, según categoría DQO, por región hidrológica administrativa, 2006.	16
Cuadro 3. Distribución de estaciones de monitoreo de calidad de agua superficial, según categoría SST, por región hidrológica administrativa, 2006.	17
Cuadro 4. Mortalidad por enfermedades diarreicas en menores de 5 años por entidad federativa, 2003 y 2004.	17
Cuadro 5. Porcentaje de cobertura de agua potable y tasa de mortalidad por enfermedades diarreicas en <5 años 1990-2005.	18
Cuadro 6. Principales causas de morbilidad en niños <5 años del Municipio de Suchiapa, Chiapas. Casos nuevos de enfermedad 2006, semana 1 a la semana 52.	18
Cuadro 7. Principales causas de morbilidad en niños menores de cinco años del Municipio de Suchiapa, Chiapas. Semana epidemiológica 1 a la 28.	19
Cuadro 8. Sitios de muestreo seleccionados en la subcuenca del río Suchiapa y sus afluentes.	48
Cuadro 9. Sitios de estudio donde se rebasaron los Límites Máximos Permisibles de las NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-127-SSA1-1994.	71
Cuadro 10. Sitios de estudio donde se rebasaron los Límites Máximos Permisibles de la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.	74
Cuadro 11. Sitios de estudio donde se rebasaron los valores guías máximos permisibles canadienses de metales pesados en sedimentos para la conservación y protección de la vida acuática, propuestos por la CCME ( <i>Canadian Council of Ministers of the Environment</i> ).	80
Cuadro 12. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ).	81
Cuadro 13. Demanda Química de Oxígeno (DQO).	82
Cuadro 14. Sólidos Suspendidos Totales (SST).	82
Cuadro 15. Calidad del agua en estaciones de monitoreo de agua superficial según categoría de DBO <sub>5</sub> .	82
Cuadro 16. Calidad del agua en estaciones de monitoreo de agua superficial según Categoría de DQO.	83
Cuadro 17. Calidad del agua en estaciones de monitoreo de agua superficial según categoría de SST.	84
Cuadro 18. Resultados de calidad del agua de los sitios de monitoreo según categorías de DBO <sub>5</sub> , DQO y SST.	85

## Índice de figuras

	Pág.
Figura 1. Temperatura ambiente. Método directo.	61
Figura 2. Temperatura del agua. Método aplicado NMX-AA-007-SCFI-2000.	61
Figura 3. pH. Método aplicado. NMX-AA-008-SCFI-2000.	62
Figura 4. Conductividad eléctrica. Método aplicado NMX-AA-093-SCFI-2000.	62
Figura 5. Conductividad eléctrica. Método aplicado NMX-AA-093-SCFI-2000.	63
Figura 6. Sólidos disueltos totales. Método directo.	63
Figura 7. Oxígeno disuelto. Método aplicado NMX-AA-012-SCFI-2000.	64
Figura 8. DBO <sub>5</sub> . Método aplicado NMX-AA-028-SCFI-2001.	64
Figura 9. Dureza total. Método aplicado NMX-AA-072-SCFI-2001.	65
Figura 10. Alcalinidad total. Método aplicado NMX-AA-036-SCFI-2001.	65
Figura 11. Nitrógeno amoniacal. Método aplicado NMX-AA-026-SCFI-2001.	66
Figura 12. Nitrógeno amoniacal. Método aplicado NMX-AA-026-SCFI-2001.	66
Figura 13. Nitrógeno orgánico. Método aplicado NMX-AA-026-SCFI-2001.	67
Figura 14. Nitritos. Método aplicado NMX-AA-099-SCFI-2006.	67
Figura 15. Nitratos. Método aplicado NMX-AA-079-SCFI-2001.	67
Figura 16. Fosforo total. Método aplicado NMX-AA-034-SCFI-2001.	68
Figura 17. DQO. Método aplicado NMX-AA-030-SCFI-2001.	68
Figura 18. Sólidos sedimentables. Método aplicado NMX-AA-004-SCFI-2000.	69
Figura 19. Sólidos suspendidos totales. Método aplicado NMX-AA-034-SCFI-2001.	69
Figura 20. Sólidos disueltos totales. Método aplicado NMX-AA-034-SCFI-2001.	70
Figura 21. Coliformes totales. Método aplicado NMX-AA-42-SCFI-1987.	72
Figura 22. Coliformes totales. Método aplicado NMX-AA-42-SCFI-1987.	72
Figura 23. Coliformes fecales. Método aplicado NMX-AA-42-SCFI-1987.	73
Figura 24. Concentraciones de Arsénico (As). Método de prueba NMX-AA-051-SCFI-2001.	75
Figura 25. Concentraciones de Cadmio (Cd). Método de prueba NMX-AA-051-SCFI-2001.	75
Figura 26. Concentraciones de Cobre (Cu). Método de prueba NMX-AA-051-SCFI-2001.	76
Figura 27. Concentraciones de Cromo total (Cr). Método de prueba NMX-AA-051-SCFI-2001.	77
Figura 28. Concentraciones de Níquel (Ni). Método de prueba NMX-AA-051-SCFI-2001.	78
Figura 29. Concentraciones de Plomo (Pb). Método de prueba NMX-AA-051-SCFI-2001.	78
Figura 30. Concentraciones de Zinc (Zn). Método de prueba NMX-AA-051-SCFI-2001.	79
Figura 31. Interpretación de calidad del agua, según DBO <sub>5</sub> .	83
Figura 32. Interpretación de calidad del agua, según DQO.	84
Figura 33. Interpretación de calidad del agua, según SST.	85
Figura 34. Resultados porcentuales de la calidad del agua según categorías de DBO <sub>5</sub> , DQO y SST.	86

## Índice de fotos

	Pág.
Foto 1. Foto satelital de la subcuenca del río Suchiapa, perteneciente a la región XI frontera sur, subregión de planeación medio Grijalva.	47
Foto 2. Foto satelital de los sitios de muestreo del río Suchiapa y sus afluentes.	49
Foto 3. Sitio de muestreo aguas arriba río Sabinalito.	49
Foto 4. Suministro de agua del sitio por servicio de pipas, para diferentes usos.	49
Foto 5. Sitio de muestreo aguas abajo río Sabinalito. El sitio se observa perturbado por la presencia de desechos que son arrastrados en temporada de lluvias, del relleno sanitario y por los lugareños que arrojan sus desechos a los sitios cercanos al río.	50
Foto 6. Extracción de agua del sitio por lugareños, para diferentes usos. Utilizan tambos cisternas tipo "Rotoplas" y lo transportan con tractores por lo inaccesible del sitio.	50
Foto 7. Sitio de muestreo, se observa la planta de captación muy cerca al punto de muestreo. Esta agua es distribuida a los habitantes de la localidad de Pacú Municipio de Suchiapa.	50
Foto 8. Sitio de muestreo, se observa que este sitio no se encuentra contaminado por la presencia de desechos sólidos.	50
Foto 9. El sitio de muestreo se localiza muy cerca de la planta de captación de agua para el municipio de Suchiapa.	51
Foto 10. Lugar de muestreo, en esta zona los lugareños acostumbran a bañarse en el río y para uso de tipo recreativo y familiar los fines de semana.	51
Foto 11. El sitio se localiza aguas abajo del punto de captación Suchiapa, en esta zona se observó que existen descargas directas al río Suchiapa y se constató que muy cerca de las descargas los lugareños, principalmente niños, acostumbran a pescar y bañarse.	51
Foto 12. Otras descargas directas al río Suchiapa.	51
Foto 13. Sitio de muestreo, este sitio se localiza muy cerca del entronque con el río Santo Domingo.	52
Foto 14. En este sitio se observó que practican la pesca y los lugareños se llegan a bañar al río, además se observó la captación de agua en pipas.	52
Foto 15. Tipo de Muestreo manual y puntual.	52
Foto 16. Foto satelital de la ubicación del nuevo basurero Municipal de Tuxtla Gutiérrez, Contiguo con el arroyo Lacandón y al río Sabinalito.	77

## I Introducción.

Tres cuartas partes de la superficie terrestre está cubierta por agua, sin embargo, de toda el agua existente en el mundo sólo un 2.5% es dulce y potencialmente aprovechable por los seres humanos, plantas y animales.

La situación resulta aún más crítica por la contaminación de la poca agua que queda disponible. Mil millones de personas a nivel mundial no tienen acceso al agua potable y casi tres mil millones no cuentan con sistemas de tratamiento de aguas negras. Como resultado, entre 14 y 30 mil personas, la mayoría niños, mueren diariamente debido a enfermedades transportadas por el agua (Gleick, 2000).

La disponibilidad de agua de buena calidad, es una condición indispensable para la propia vida y más que cualquier otro factor; condiciona la calidad de vida de las personas, sin embargo, las características del agua cada día se ven más afectadas por las actividades humanas, las cuales, junto con los fenómenos naturales, hacen que sus propiedades fisicoquímicas y microbiológicas varíen notoriamente de un lugar a otro.

Cada vez existe más información sobre las relaciones que existen entre los bosques y selvas como reguladores del agua en los trópicos, sin embargo, hay poca difusión para el público en general y los responsables de la toma de decisiones.

México padece importantes problemas de agua de diversa índole: de infraestructura, de conservación, de financiamiento, de contaminación, de distribución, de equidad en el acceso, de gestión; además de enfrentar también una alta vulnerabilidad por el cambio climático global. (CEDMA, 2006).

En años recientes, el problema de contaminación del agua ha representado uno de los mayores retos a los que la sociedad tiene que enfrentarse, convirtiéndose inclusive en asunto de Seguridad Nacional. Pero no es posible tomar medidas adecuadas sin antes conocer el problema a fondo, para esto se han instrumentado metodologías que tienen como fin, proporcionar la información necesaria para la adecuada y eficiente planeación de las estrategias encaminadas a resolver este problema.

En las grandes urbes se generan descargas de tipo doméstico, comprendidas principalmente por carga orgánica que entre otros elementos contiene carbono, nitrógeno y fósforo. Otro tipo de descargas son las denominadas aguas residuales industriales, que son vertidas a las redes de alcantarillado y en algunas regiones a ríos y cuerpos de agua, lo cual no está permitido en nuestra legislación. (CEDMA, Op. cit., Pág. 80).

Los desechos humanos y animales son excreciones corporales (orina y heces) que llegan a formar las aguas residuales. Estos desechos son los de mayor importancia con relación a la Salud Pública, porque contienen organismos perjudiciales para el hombre.

Las aguas que son vertidas a ríos y arroyos son generalmente residuales municipales, éstas tienen un aspecto y composición física desagradable. Flotan en ellas cantidades variables de sustancias fecales, trozos de alimentos, basura, plástico, papel y otros residuos de actividades cotidianas de los habitantes de una comunidad. Así mismo, contienen sólidos disueltos, suspendidos y flotantes, cuya cantidad, como lo señala Tebbutt (1993), casi siempre es menor de 0.1% en peso, en donde su naturaleza puede ser de tipo orgánica e inorgánica, con variada concentración en el agua residual.

Con respecto a la composición biológica de las aguas residuales municipales, que es la parte viva natural de la materia orgánica, contiene un gran número de organismos como bacterias y otros microorganismos vivos más complejos.

El agua, es un factor que puede convertirse en un vehículo para la adquisición de diversas enfermedades en el ser humano (Gutiérrez, *et al.*, 1989).

Actualmente, existen descritas más de 20 enfermedades en las que el agua actúa directa o indirectamente en su aparición, algunas de ellas con alto impacto en términos de morbilidad y mortalidad (OPS, 1993).

Con respecto a las enfermedades transmitidas por el agua, en la actualidad se conoce una gama de enfermedades infecciosas causadas por diferentes microorganismos; bacterias, protozoarios, helmintos y virus. Además las enfermedades hídricas más comunes, son aquellas que se propagan por el agua contaminada con heces u orina humana, localizada en las aguas residuales municipales.

Dentro de las enfermedades hídricas destacan la fiebre tifoidea y el cólera y otras menos agresivas como la paratifoidea (salmonelosis) y la disentería bacilar (shigelosis).

Existen otros tipos de enfermedades relacionadas con el agua como son: La hepatitis infecciosa, leptospirosis, tifoidea, tularemia, disentería amibiana, gastroenteritis, ascariasis, conjuntivitis, tracoma, etc. Debe observarse que aunque estas enfermedades pueden ser transmitidas por el agua, también pueden infectar al humano por otra vía que permita la ingestión de la materia fecal de una persona enferma (Fair, *et al.*, 1971).

Las aguas subterráneas y superficiales que son utilizadas para satisfacer las necesidades de agua potable de zonas urbanas, así como la que se destina a la agricultura, ganadería, industria y otros usos específicos, necesitan cumplir con ciertos requisitos respecto a su contenido de elementos químicos, a sus propiedades físicas y a la presencia de materia orgánica (SARH, 1979).

Por otro lado, la gestión y administración adecuada de los recursos hídricos, que garantizan su uso sostenible, obliga a conocer su comportamiento y su respuesta ante las diferentes intervenciones antrópicas; por lo cual, se hace importante la implementación de metodologías rápidas y apropiadas para la evaluación de las características de las fuentes de agua que permitan determinar, de una manera aproximada, su calidad y sus posibles usos.

Los índices de calidad, calculados a partir de la medición de ciertas variables ambientales, proveen de un concepto preliminar para diagnosticar el estado sanitario de las corrientes y se emplean como herramientas para analizar tendencias, especificar condiciones ambientales, ayudar en decisiones gubernamentales y en la evaluación de programas de control, entre otros.

Una de las operaciones básicas dentro del proceso para evaluar la calidad de los cuerpos de agua, es la selección de variables o parámetros que están determinados por los objetivos del estudio, los recursos como equipos, reactivos, personal calificado, así como la disponibilidad de tiempo y recursos económicos (IPN-ESIQIE-CONAGUA, 2005).

El presente estudio se origina gracias a la existencia de especialistas e investigadores de Instituciones de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), el Instituto de Historia Natural y Ecología (IHNE) y del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG), que mantienen un gran interés por la preservación de la salud y el medio ambiente y que gracias a sus contribuciones, proyectos de investigaciones a futuro, han visualizado la existencia de la contaminación de los ríos de Chiapas los últimos años, especialmente en la cuenca alta del río Grijalva, que alberga el Cañón del Sumidero, área natural protegida que es visitada por miles de turistas, en donde habitan una infinidad de especies que se han visto afectadas.

De esta manera, nace la inquietud de participar en este estudio para conocer la aportación de contaminantes de la subcuenca de río Suchiapa hacia la cuenca alta del río Grijalva y evaluar la calidad de agua, sedimentos y el impacto generado en la salud.

Para el presente estudio, fue necesaria la determinación de parámetros físico-químicos y bacteriológicos, así como la determinación de pesticidas y metales pesados.

La investigación es de gran relevancia y trascendencia, ya que al no disponer de antecedentes de estudios en este sitio, lo hace un trabajo original, que muestra la situación real y actual de la calidad del agua y sedimentos de la subcuenca del río Suchiapa; misma que se ha visto perturbada por el incremento poblacional de esta zona, los escurrimientos de lixiviados incontrolados provenientes del nuevo relleno sanitario de Tuxtla Gutiérrez, el uso de plaguicidas y pesticidas en los suelos agrícolas de esta área, que se infiltran hacia afluentes de la subcuenca, así como las descargas residuales continuas provenientes del Municipio de Suchiapa y de las colonias que se asientan en las márgenes del

escurrimiento superficial, representando un gran riesgo para la salud humana e inclusive para la vida acuática.

Con los resultados obtenidos, se pretende que se mejoren las condiciones de salud de los pobladores de los Municipios aledaños a la subcuenca del río Suchiapa, proponiendo medidas preventivas, correctivas y de promoción a la salud, para que sean consideradas por las autoridades competentes para disminuir los posibles daños a la salud particularmente de los menores de cinco años y se haga conciencia de la importancia hídrica que esta subcuenca representa y que en los últimos años se ha visto afectada, deteriorada y explotada al grado tal que hoy en día representa un amenaza para la vida acuática existente y una posible fuente de contaminación, inclusive para aquellos que la utilizan para fines recreativos.

A través de este estudio se conocerá la cantidad de contaminantes que son vertidos a la subcuenca del río Suchiapa, mismos que pudieran contribuir de manera significativa en la contaminación ambiental que se ha generado en la cuenca alta del río Grijalva.

## II Antecedentes.

### 2.1 Generales

El deterioro de la calidad del agua supone un grave problema ambiental, económico y social; es particularmente importante en los países en vías de desarrollo, en donde el tratamiento de las aguas residuales tiene grandes rezagos. La mala calidad de las aguas limita las posibilidades de desarrollo de los países del mundo.

Según el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), el primer lugar en cuanto a calidad del agua en el mundo lo tiene Finlandia, con un indicador de 1.85, mientras que México se coloca en el número 106 de un total de 122 países, con un indicador de -0.69. Se trata de cifras basadas en múltiples factores, tales como la cantidad y la calidad de agua dulce, en particular aguas superficiales, instalaciones de tratamiento de aguas residuales y también aspectos jurídicos tales como la existencia de regulaciones contra la contaminación (CONAGUA, 2007).

En el año 2004, el informe de calidad del agua en Colombia demostró que, de 181 prestadores del servicio de acueducto que suministran agua en 279 Municipios de este país, 135 suministraron agua no apta para el consumo humano en 184 Municipios, de acuerdo a los valores admisibles estipulados en el Decreto 475 de 1998, lo que representó el 75% de los prestadores y el 66% de los Municipios de la muestra, concluyéndose que el país mantiene bajos niveles de la calidad del agua suministrada y distribuida en los Municipios; de un total de 27,325.348 Colombianos a 7,635.652 se les suministró agua no potable, lo que representó un 28% del total de la población.

El porcentaje de aceptabilidad microbiológica del país fue del 84%, por lo que se pudo concluir, que el consolidado nacional no cumple con el valor mínimo exigido de acuerdo con el artículo 29 del Decreto 475 de 1998, el cual considera como potable un agua cuyo porcentaje de aceptabilidad microbiológica se encuentre entre el 95% y el 100% (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2005).

En el año 2006, un estudio en Gonaives, Haití, sobre la calidad química y bacteriológica de agua potabilizada, concluyó que el 97.2% de muestras bacteriológicamente fueron aptas para consumo humano, indicando que los parámetros químicos y bacteriológicos de las muestras de agua potabilizada presentaron un elevado porcentaje de aptitud en el agua destinada al consumo humano, de acuerdo a los estándares establecidos por el Código Alimentario Argentino, poniendo ello de manifiesto la eficacia del proceso operativo de la planta potabilizadora en condiciones de ambiente geográfico y clima desfavorables y la inocuidad de los afluentes del proceso (Giai, 2006).

A nivel nacional se han realizado estudios de calidad del agua, como el realizado a lo largo de la frontera entre México y los Estados Unidos, en donde se demostró que existen problemas específicos de medio ambiente y salud pública que afectan ambos lados de la frontera, uno de los que han contribuido a los problemas medioambientales son las maquiladoras que actualmente rebasan el número de 2,200 a lo largo de la región fronteriza. Los desechos sanitarios de prácticas industriales y agrícolas, comúnmente se filtran hacia el norte a través de la frontera; se han encontrado niveles excesivos de metales pesados, arsénico, plomo, pesticidas, uranio, etc., en suelos y fuentes de agua. Existen datos limitados de monitoreo sobre aguas limítrofes y de frontera que muestran un alto nivel de coliformes fecales en el río Tijuana, Océano Pacífico, río Nuevo, río Colorado, río San Pedro, río Santa Cruz y el río Grande. Muchas enfermedades propagadas por el agua, son muchas veces mayores en la región de la frontera. El índice de hepatitis "A" y de shigellosis es tres veces más alto en la región estadounidense de la frontera, comparado al resto de los Estados Unidos y el mismo comportamiento se observa con la disentería amébrica, salmonelosis y otras enfermedades propagadas por el agua (Reynolds, 2002).

Desde enero del 2000, los grandes contaminantes que excedan los límites que establece la normatividad, son acreedores a sanciones por parte de la Ley Federal de Derechos. (IPN-ESIQIE-CONAGUA, Op. cit., 2005).

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) tiene a su cargo el control de las descargas a los cuerpos de aguas nacionales, en tanto que cada Gobierno local es responsable de lo arrojado a las redes de alcantarillado. De esta manera, cuando un cuerpo acuático manifiesta índices que apuntan a fuerte contaminación, la CONAGUA inspecciona a quienes arrojan contaminantes, que bien puede ser la industria, el Municipio u otras fuentes de contaminación.

Actualmente la Red Nacional de Monitoreo dispone de 1,026 sitios, distribuidos a lo largo y ancho del País, en los que se realizan determinaciones fisicoquímicas y biológicas en la Red Nacional de Laboratorios, la cual está constituida por 13 laboratorios Regionales, 16 Estatales y un Laboratorio Nacional de referencia, ubicado en la Ciudad de México.

La evaluación de la calidad del agua se lleva a cabo utilizando tres indicadores: La Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días ( $DBO_5$ ), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST). La  $DBO_5$  y la DQO se utilizan para determinar la cantidad de materia orgánica presente en los cuerpos de agua provenientes principalmente de las descargas de aguas residuales, de origen Municipal y no Municipal.

Los resultados de la evaluación de la calidad del agua del año 2006 a nivel Nacional por indicadores de calidad, se muestran en los cuadros 1,2 y 3. (COANGUA, Op. Cit., 2007).

REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA	EXCELENTE	BUENA CALIDAD	ACEPTABLE	CONTAMINADA	FUERTEMENTE CONTAMINADA	TOTAL
I Península de Baja California	7	2	4	1	1	15
II Noroeste	3	4	0	6	1	14
III Pacífico Norte	27	7	6	1	1	42
IV Balsas	12	10	9	9	2	42
V Pacífico Sur	15	0	0	0	0	15
VI Río Bravo	15	2	6	3	1	27
VII Cuencas Centrales del Norte	9	5	6	0	0	20
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	43	18	26	15	7	109
IX Golfo Norte	23	7	8	1	0	39
X Golfo Centro	0	41	4	4	1	50
XI Frontera Sur	11	16	3	2	0	32
XII Península de Yucatán	13	0	0	0	0	13
XIII Aguas del Valle de México	1	0	6	8	10	25
<b>Total</b>	<b>179</b>	<b>112</b>	<b>78</b>	<b>50</b>	<b>24</b>	<b>443</b>

FUENTE: Conagua. Subdirección General Técnica. México, 2007.

Cuadro 1.- Distribución de las estaciones de monitoreo de calidad de agua superficial, según categoría DBO<sub>5</sub>, por región hidrológica administrativa, 2006.

REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA	EXCELENTE	BUENA CALIDAD	ACEPTABLE	CONTAMINADA	FUERTEMENTE CONTAMINADA	TOTAL
I Península de Baja California	0	0	5	8	2	15
II Noroeste	0	0	6	5	3	14
III Pacífico Norte	7	13	8	6	2	36
IV Balsas	3	9	4	19	8	43
V Pacífico Sur	0	0	0	0	0	0
VI Río Bravo	7	6	14	6	1	34
VII Cuencas Centrales del Norte	5	4	9	2	0	20
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	3	9	28	48	13	101
IX Golfo Norte	26	14	9	1	1	51
X Golfo Centro	21	6	7	7	2	43
XI Frontera Sur	3	14	9	5	1	32
XII Península de Yucatán	8	5	2	0	0	15
XIII Aguas del Valle de México	1	1	1	8	14	25
<b>Total</b>	<b>84</b>	<b>81</b>	<b>102</b>	<b>115</b>	<b>47</b>	<b>429</b>

FUENTE: Conagua. Subdirección General Técnica.

Cuadro 2.- Distribución de estaciones de monitoreo de calidad de agua superficial, según categoría DQO, por región hidrológica administrativa, 2006.

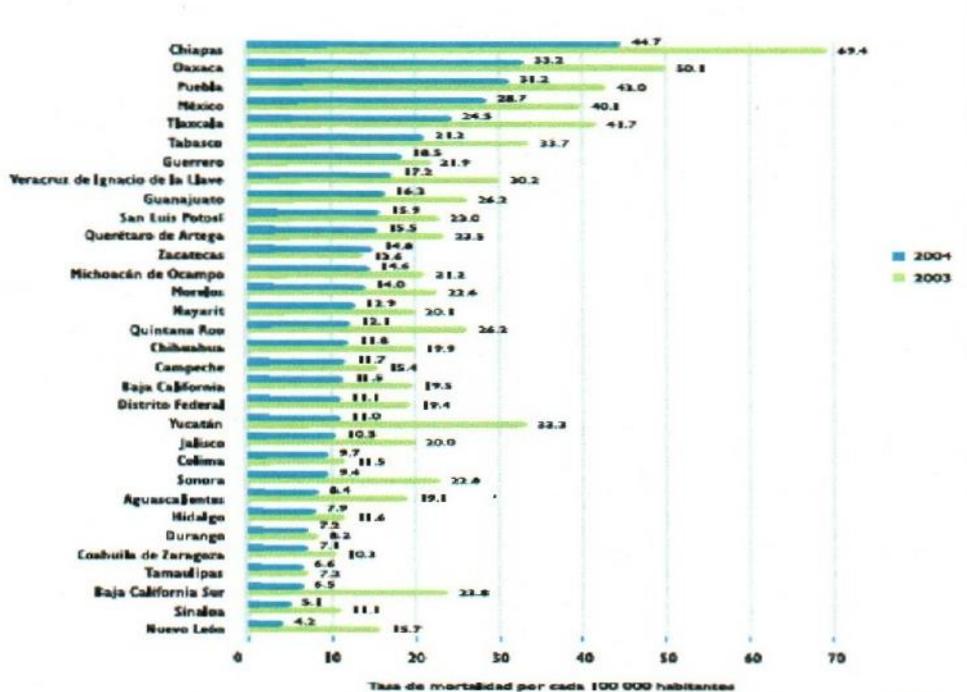
REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA	EXCELENTE	BUENA CALIDAD	ACEPTABLE	CONTAMINADA	FUERTEMENTE CONTAMINADA	TOTAL
I Península de Baja California	11	9	1	0	0	21
II Noroeste	3	4	4	2	1	14
III Pacífico Norte	16	10	3	1	0	30
IV Balsas	11	17	10	3	2	43
V Pacífico Sur	11	2	2	0	0	15
VI Río Bravo	2	0	0	0	1	3
VII Cuencas Centrales del Norte	14	4	2	0	0	20
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	29	38	16	5	5	93
IX Golfo Norte	31	18	2	0	0	51
X Golfo Centro	38	8	4	0	0	50
XI Frontera Sur	0	16	6	4	0	26
XII Península de Yucatán	12	2	1	0	0	15
XIII Aguas del Valle de México	6	6	6	7	0	25
<b>Total</b>	<b>184</b>	<b>134</b>	<b>57</b>	<b>22</b>	<b>9</b>	<b>406</b>

FUENTE: Conagua. Subdirección General Técnica.

Cuadro 3.- Distribución de estaciones de monitoreo de calidad de agua superficial, según categoría SST, por región hidrológica administrativa, 2006.

## 2. 2 Directos

La CONAGUA publicó recientemente que la población infantil es la más susceptible de padecimientos relacionados con la baja calidad del agua. El Estado de Chiapas presenta las tasas de mortalidad más altas a Nivel Nacional por enfermedades diarreicas en menores de 5 años en los años 2003 y 2004 respectivamente. Ver Cuadro 4. (COANGUA, Op. Cit., 2007).

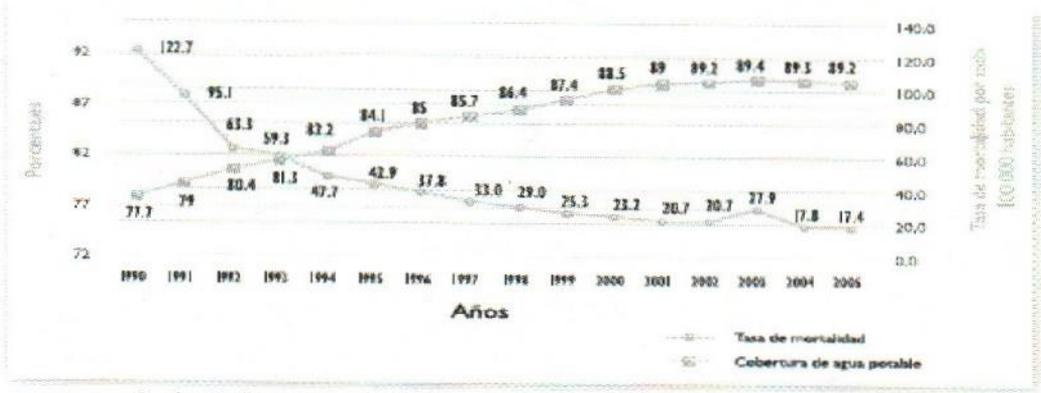


Cuadro 4.- Mortalidad por enfermedades diarreicas en menores de 5 años por entidad federativa, 2003 y 2004.

Fuente: Secretaría de Salud. Dirección General de Evaluación del Desempeño, 2003-2004.

Tasa observada por 100,000 menores de 5 años.

Sin embargo, se demuestra también que en la medida que se incrementa la cobertura de agua potable, se disminuye la mortalidad en los menores de 5 años. Ver Cuadro 5. (COANGUA, Op. cit., 2007).



Cuadro 5.- Porcentaje de cobertura de agua potable y tasa de mortalidad por enfermedades diarreicas en menores de 5 años 1990-2005.

Fuente: CONAGUA. Subdirección General de Programación. Secretaría de Salud.

El subsistema de Salud Pública en el Municipio de Suchiapa, se integra por un Centro de Salud de tres núcleos básicos y una unidad medica móvil; este centro dispone de dos consultorios para medicina general, un consultorio de atención del Instituto de Desarrollo Humano, cama de observación, un área de administración, de recepción, sala de espera, bodega y farmacia, atendiendo a población abierta. El recurso humano que dispone este centro es un médico por consultorio, una enfermera, un odontólogo y un promotor de salud, atendiéndose un promedio 680 consultas en el mes (Programa de Desarrollo Urbano del centro de población de Suchiapa, Chiapas, 2002).

Datos de las principales 10 causas de morbilidad de niños menores de 5 años del Municipio de Suchiapa, reportados por el Sistema Nacional de Salud de la Secretaría de salud, de la semana 1 hasta la semana 52 en el año 2008, se muestran en el cuadro 6. (ISECH, 2008).

Diagnóstico	< de 1 año	1 - 4 años
Infecciones respiratorias agudas	193	494
Infecciones intestinales por otros organismos	26	40
Desnutrición leve	4	42
Desnutrición moderada	0	10
Otitis media aguda	0	8
Amibiasis intestinal	1	3
Intoxicación alimentaria bacteriana	0	4
Otras infecciones intestinales	0	3
Infecciones de vías urinarias	0	3
Conjuntivitis	1	1
Resto de diagnósticos	0	4

Cuadro 6. Principales causas de morbilidad en niños <5 años del municipio de Suchiapa, Chiapas.

Fuente: Sistema Nacional de Salud. Secretaría de Salud. Dirección General de Epidemiología. CIE-SUAVE. Centro de Información Epidemiológica. Sistema único Automatizado para la Vigilancia Epidemiológica.

Información preliminar 2009, de la semana 1 a la semana 52, sobre las principales 10 causas de morbilidad de niños menores de 5 años del Municipio de Suchiapa, se muestran en el cuadro 7 (ISECH, 2009).

Diagnóstico	< de 1 año	1 - 4 años
Infecciones respiratorias agudas	229	528
Infecciones intestinales por otros organismos	41	68
Varicela	7	11
Otitis media aguda	1	6
Otras infecciones intestinales	5	1
Desnutrición leve	0	6
Amibiasis intestinal	1	5
Conjuntivitis	1	5
Giardiasis	1	2
Intoxicación alimentaria bacteriana	0	2
Resto de diagnósticos	2	8

Cuadro 7. Principales causas de morbilidad en niños menores de cinco años del municipio de Suchiapa, Chiapas.

Fuente: Sistema Nacional de Salud. Secretaría de Salud. Dirección General de Epidemiología.

CIE-SUAVE. Centro de Información Epidemiológica. Sistema único Automatizado para la Vigilancia Epidemiológica.

A nivel Estatal se han realizado investigaciones afines como la efectuada en 1995 por la Secretaría de Ecología, Recursos Naturales y Pesca, cuyo fin fue el de conocer las formas de manejo y disposición final, ubicación y características fisicoquímicas de las descargas de aguas residuales de origen Municipal, en el que se realizó un programa de muestreo y análisis de las descargas en 30 localidades de mayor población en el Estado, con la finalidad de contar con elementos para la propuesta de sistemas de tratamiento. Se confirmó que la materia orgánica es el principal contaminante presente en estas descargas. Los resultados rebasaron los límites máximos permisibles para centros de población hasta de 80,000 habitantes establecidos en la NOM-ECOL-067-1994. Otros parámetros detectados en este estudio que no cumplieron con los límites establecidos son las grasas, aceites y los sólidos sedimentables (Esquinca, *et al.*, 1996).

En 1998 en la región fronteriza de Chiapas, se realizó un estudio de la calidad bacteriológica del agua para consumo humano y su relación con diarreas y enteroparasitosis en niños de 1 a 14 años en comunidades de alta marginación socioeconómica. En una muestra aleatoria de 99 viviendas de esta región Fronteriza, se recolectaron muestras de agua para consumo humano y se indagó sobre diarreas de los últimos 15 días, recolectando muestras de heces de 322 niños de 1 a 14 años. La Calidad Bacteriológica del Agua (CBA) se determinó mediante la técnica de filtración por membranas y las enteroparasitosis por el método de Faust.

Los resultados demostraron que sólo 31% de las muestras de agua fueron aptas para consumo humano. La CBA y la presencia de diarreas referida por las madres de los menores no mostraron asociación. Los niños con mala CBA en sus viviendas mostraron mayor

prevalencia de *Entamoeba histolytica* y mayor tendencia a estar parasitados (Sánchez, *et al.*, 2000).

En 1999 se realizó un estudio de la caracterización y tratamiento del agua residual de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. El estudio se ejecutó de marzo de 1997 a febrero de 1998, a través del análisis de 37 muestras compuestas obtenidas durante los 12 meses del año. Los resultados no fueron favorables, las concentraciones de sólidos suspendidos totales y los sólidos sedimentables, así como la concentración de grasas y aceites se encontraron por encima de los límites máximos permisibles de la NOM-001-ECOL-1996; la DBO<sub>5</sub> presentó un valor promedio de 234.11 mg/L, superando el valor límite máximo permisible. La DQO promedio obtenida fue de 565.81 mg/L con una desviación estándar de 78.09 mg/L, relacionándola con el resultado de la DBO<sub>5</sub> y la DQO, obtenidas en el muestreo, se encontró una proporción de 41%, la cual se acercó al límite inferior del rango teórico para las aguas residuales (40-80%) confirmándose la baja carga orgánica biodegradable. Referente a los coliformes fecales registrados durante el periodo de muestreo, indicaron una evidente contaminación por materia fecal, representando una fuente potencial de transmisión de enfermedades hídricas (Escamirosa *et al.*, 1999).

### III Objetivos

#### 3.1 General

Evaluar la calidad del agua y sedimentos de la subcuenca del río Suchiapa y su impacto en la salud.

#### 3.2 Específicos

- Establecer los puntos de muestreo en base a la revisión cartográfica y visitas de campo de la subcuenca del río Suchiapa y sus afluentes.
- Determinar las características físico-químicas (temperatura, pH, conductividad eléctrica, Sólidos Disueltos Totales (SDT), Oxígeno Disuelto (OD), DBO<sub>5</sub>, dureza total, alcalinidad, nitrógeno amoniacal, nitrógeno orgánico, nitritos, nitratos, fósforo total, DQO, sólidos sedimentables y Sólidos Suspendidos Totales del agua de la subcuenca del río Suchiapa y sus afluentes.
- Determinar las características bacteriológicas (coliformes totales, coliformes fecales) del agua de la subcuenca del río Suchiapa y sus afluentes.
- Determinar la presencia de metales pesados (Pb, Cu, Cd, As, Zn, Cr, Ni, Hg) y plaguicidas organoclorados en sedimentos de la subcuenca del río Suchiapa y sus afluentes.
- Conocer la calidad del agua de la subcuenca del río Suchiapa y sus afluentes.
- Determinar el impacto en la salud generado por la subcuenca del río Suchiapa y sus afluentes.

## IV Parámetros Físico-Químicos y Bacteriológicos del agua.

### 4.1 Temperatura del agua

Los cuerpos de agua están sujetos a variaciones de temperatura que se dan a través de las fluctuaciones normales del clima. Las variaciones ocurren estacionalmente o sobre periodos de 24 horas en algunos cuerpos de agua. La temperatura de las aguas superficiales es influenciada por la latitud, altitud, estación, hora del día, circulación del aire, nubosidad, flujo y profundidad del cuerpo de agua.

La biota establecida en ecosistemas acuáticos, generalmente responde de forma negativa a fluctuaciones o cambios anormales de temperatura. Las repercusiones de temperaturas elevadas son manifestadas en el balance ecológico y en la calidad del agua (IPN-ESIQIE-CONAGUA, Op. cit., 2005).

Las temperaturas elevadas en el agua son indicadores de actividad biológica, química y física, lo anterior tiene influencia en los tratamientos y abastecimientos para el agua, así como en la evaluación limnológica de un cuerpo de agua, por lo que es necesario medir la temperatura como un indicador de la presencia de compuestos y contaminantes en el agua.

El valor de temperatura, es un criterio de calidad del agua para la protección de la vida acuática y para las fuentes de abastecimiento de agua potable; es también un parámetro establecido como límite máximo permitido en las descargas de aguas residuales y una especificación de importancia en los cálculos de balance de energía y de calor de los procesos industriales (CNA. Procedimiento TAFQ24, 2002).

### 4.2 pH.

El pH es una expresión del carácter ácido o básico de un sistema acuoso. En términos exactos, es una medida de la actividad del ion hidrógeno en una determinada muestra; en términos prácticos, es una medida de la concentración del ion hidrógeno en la muestra (Cárdenas, 2002).

El valor de pH de las disoluciones acuosas, es de gran importancia para definir la calidad de las mismas. El valor de pH es un parámetro regulado por límites máximos permisibles en descargas de aguas residuales al alcantarillado o a cuerpos receptores, también es un parámetro de calidad del agua para usos y actividades agrícolas, para contacto primario y para el consumo humano. (CNA. Procedimiento TAFQ17, 2002).

El pH es una variable del ambiente acuático importante, ya que influye en muchos procesos químicos y bioquímicos que se llevan a cabo dentro de un cuerpo de agua. En aguas no contaminadas el pH es controlado principalmente por el balance entre el dióxido de

carbono y los iones carbonato y bicarbonato, así como también otros compuestos naturales como los ácidos fúlvicos y húmicos. El balance ácido-base natural de un cuerpo de agua puede ser afectado por la presencia de afluentes industriales, descargas municipales y deposición atmosférica de sustancias formadoras de ácidos. Cambios en el valor de pH, asociados a cambios en la conductividad, pueden indicar la presencia de ciertos afluentes. Variaciones diarias de pH pueden presentarse por efecto de los ciclos de fotosíntesis y respiración de las algas y plantas verdes en aguas eutrofizadas. La mayoría de las aguas epicontinentales, tienen un valor de pH que fluctúa entre 6.5 y 9.0 (IPN-ESIQIE-CONAGUA, Op. Cit., 2005).

### 4.3 Conductividad eléctrica

La conductividad electrolítica es una expresión numérica de la capacidad de una disolución para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones, de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como de la temperatura de medición.

Las soluciones de la mayoría de los ácidos, bases y sales, son relativamente "buenos conductores" de una corriente eléctrica. Inversamente, las soluciones acuosas de solutos orgánicos, que no se disocian en medio acuoso, poseen conductividades eléctricas muy bajas o nulas (Cárdenas, Op. Cit., 2002).

Las determinaciones de conductividad son de gran importancia, pues da una idea del grado de mineralización del agua natural, potable, residual, de proceso, del agua para ser utilizada en el laboratorio en análisis de rutina o para trabajos de investigación.

El valor de conductividad es un parámetro regulado por los límites máximos permisibles en descargas de aguas residuales al alcantarillado o a cuerpos receptores, también es un parámetro de calidad del agua para uso y actividades agrícolas, para contacto primario y para el consumo humano. (CNA. Procedimiento TAFQ4 2002).

La conductividad eléctrica está relacionada con el contenido de sólidos disueltos totales, principalmente con el contenido de sales minerales. La conductividad en las aguas naturales varía de 10 a 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pero pueden exceder el nivel superior en aguas contaminadas o en aquellos cuerpos de agua que reciben fuertes cantidades de material disuelto a través de los escurrimientos. (IPN-ESIQIE-CONAGUA, Op. Cit., 2005).

### 4.4 Sólidos Disueltos Totales (SDT)

Los sólidos disueltos en aguas naturales, están formados por las sales minerales que el agua disuelve cuando contacta los minerales de la corteza terrestre. Debido a que estos sólidos, mejoran la propiedad del agua para conducir una corriente eléctrica, ya que esta propiedad

puede medirse con mayor facilidad y rapidez que los mismos sólidos disueltos, frecuentemente se toma la conductividad eléctrica del agua, como una medida indirecta de su contenido en sólidos disueltos. (Cárdenas, Op. Cit., 2002).

Los sólidos se refieren a la materia suspendida o disuelta en el agua y aguas residuales. Los sólidos afectan la calidad del agua o la de los afluentes en varias formas. Las aguas con altos contenidos de sólidos disueltos generalmente son de palabilidad inferior y pueden inducir una reacción fisiológica desfavorable en el consumidor. Por estas razones, un límite de 500 mg de sólidos disueltos/L, es óptimo en aguas para consumo humano. Aguas altamente mineralizadas también son inservibles para algunas aplicaciones industriales. Las aguas con altos contenidos en sólidos suspendidos pueden ser estéticamente desagradables para muchos propósitos sanitarios. El análisis de sólidos es importante en el control de los procesos biológicos y físicos en el tratamiento de aguas residuales, de ello se deriva el interés por determinar en forma cuantitativa estos parámetros.

Los sólidos en una muestra de agua se clasifican en: disueltos (SDT), totales (ST) y suspendidos (SST). Cada una de las formas anteriores de los sólidos, se compone de una porción volátil a 540°C (debida principalmente a materia orgánica o materia inorgánica degradable con calor, como carbonatos o bicarbonatos) y una porción fija compuesta de sólidos inorgánicos en forma estable al calor (óxidos, sulfatos, cloruros, etc.) Los datos se obtienen en peso por unidad de volumen. (CNA. Procedimiento TAFQ21 2002).

#### 4.5 Oxígeno Disuelto (OD)

Todos los organismos vivos dependen del oxígeno de una u otra forma, para mantener los procesos metabólicos que producen energía para el crecimiento y la reproducción.

Los procesos aeróbicos son objeto de gran interés debido a su necesidad de oxígeno libre. El hombre está relacionado con el contenido de oxígeno del aire que respira, desde que se conoce por experiencia que una reducción apreciable en el contenido de oxígeno, lleva a disfuncionalidades fisiológicas y posiblemente la muerte.

Los niveles de oxígeno disuelto (OD) en aguas naturales y residuales dependen de las actividades químicas, físicas y bioquímicas en los cuerpos de agua. El análisis del oxígeno disuelto es una determinación clave en la contaminación de aguas y los procesos de control de tratamiento de aguas residuales (CNA. Procedimiento TAFQ15 2002).

El oxígeno disuelto proviene de la mezcla del agua con el aire ocasionada por el viento y en la mayoría de los casos, principalmente del oxígeno que liberan las plantas acuáticas en sus procesos de fotosíntesis. La solubilidad del oxígeno, como la de cualquier gas en el agua, depende de la presión imperante en cada punto de la temperatura media del cuerpo de agua y de su contenido en sales disueltas.

Aún cuando no existe una concentración mínima de oxígeno que cause efectos fisiológicos adversos sobre la salud humana, sí existe un limitante en cuanto a la cantidad de  $O_2$  que se requiere para sostener la vida de los peces en los cuerpos de agua superficiales. En general se acepta que una concentración de 5 mg/L es adecuada para estos fines, en tanto que concentraciones menores a 3 mg/L, pueden ser letales para la fauna piscícola de un lago o reservorio (Cárdenas, Op. Cit., 2002).

#### 4.6 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

La prueba de DBO, constituye una estimación semi-cuantitativa de la cantidad de materia orgánica fácilmente biodegradable, que contiene una muestra en un breve lapso de tiempo, 5 días en promedio.

La medición se fundamenta en el supuesto de que la cantidad de materia orgánica contenida en la muestra, es directamente proporcional a la cantidad de oxígeno que requiere una población bacteriana para digerirla. (Cárdenas, Op. Cit., 2002).

Esta prueba se utiliza ampliamente para determinar el grado de contaminación de los residuos domésticos e industriales, en término de la cantidad de oxígeno que ellos requerirían si se descargaran en cuerpos de aguas naturales en los cuales existen condiciones aeróbicas.

La determinación de la DBO<sub>5</sub> es una prueba de bioensayo, en la que se utilizan procedimientos estandarizados de laboratorio, para determinar los requerimientos relativos de oxígeno de las aguas contaminadas con materia orgánica biodegradable. (CNA. Procedimiento TAFQ5 2002).

La medición involucra la participación de organismos vivos, se requiere especial cuidado tanto en su realización como en su interpretación. Es necesario hacer pruebas por triplicado, correr blancos paralelos, muestras control y asegurarse de que se disponga de una población microbiana capaz de oxidar a la materia orgánica, que dicha población bacteriana este exenta de algas, que la incubación se efectuó a una temperatura determinada y constante  $20 \pm 1^\circ C$ , que exista un tiempo de incubación definido generalmente de 5 días y que el oxígeno consumido al finalizar el tiempo de incubación este comprendido entre al rango 20-80% con respecto al oxígeno inicial.

La importancia de las pruebas de DBO, radica en que permiten calcular o predecir, cuando menos aproximadamente, el efecto que causaría una determinada descarga de aguas residuales sobre la concentración de oxígeno disuelto en un cuerpo de aguas receptor, expresado en otra forma, las pruebas de DBO, permiten evaluar la capacidad de un cuerpo de aguas receptor para asimilar descargas. (Cárdenas, Op. Cit., 2002).

BIBLIOTECAS UNACH  
FAC. MEDICINA HUMANA

#### 4.7 Dureza total

La dureza es una propiedad que refleja la presencia de metales alcalinotérreos en el agua. De estos elementos, el calcio y el magnesio constituyen los principales alcalinotérreos en aguas continentales, mientras que el bario y el estroncio se presentan con menor frecuencia y en menor cantidad, la mayoría de las veces asociados a orígenes marinos (Cárdenas, Op. Cit., 2002).

Este método especifica el procedimiento para la determinación de dureza en agua por titulación. La dureza se entiende como la capacidad de un agua para precipitar al jabón y esto está basado en la presencia de sales de los iones calcio y magnesio. La dureza es la responsable de la formación de incrustaciones en recipientes y tuberías, lo que genera fallas y pérdidas de eficiencia en diferentes procesos industriales como las unidades de transferencia de calor. El término dureza se aplicó en principio por representar al agua en la que era difícil (duro) de lavar y se refiere al consumo de jabón para lavado, en la mayoría de las aguas alcalinas ésta necesidad de consumo de jabón está directamente relacionada con el contenido de calcio y magnesio (CNA. Procedimiento TAFQ7 2002).

Con respecto a la salud, la dureza no suele ser un problema ni para el consumo humano ni para el de muchas otras especies.

En estudios epidemiológicos ecológicos y analíticos, se ha observado que existe una relación inversa estadísticamente significativa entre la dureza del agua potable y las enfermedades cardiovasculares, la información de que se dispone no es suficiente para la conclusión de que la relación es de carácter casual (OMS, 1998).

Por otro lado sin embargo si tiene efectos adversos para muchos fines industriales, como por ejemplo, para el uso del agua en calderas, debido a que las incrustaciones que forma pueden ocasionar la explosión de las mismas; también para usos domésticos como el lavado de textiles, las aguas duras presentan inconvenientes, ya que forman sales insolubles con los jabones inutilizando o disminuyendo de esta forma su acción limpiadora (Cárdenas, Op. Cit., 2002).

#### 4.8 Alcalinidad

La alcalinidad se refiere a la presencia de sustancias hidrolizables en agua y que como producto de la hidrólisis genera el ion hidroxilo ( $\text{OH}^-$ ), como son las bases fuertes y los hidróxidos de los metales alcalinotérreos. Contribuyen también en forma importante a la alcalinidad los carbonatos y fosfatos. La presencia de boratos y silicatos en concentraciones altas también contribuyen a la alcalinidad del medio (CNA. Procedimiento TAFQ1 2002).

La alcalinidad de una muestra de agua es su capacidad para reaccionar o neutralizar iones hidrógeno ( $H^+$ ), hasta un valor de pH igual a 4.5. La alcalinidad es causada principalmente por los bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos presentes en forma de solución y en menor grado por los boratos, fosfatos y silicatos, que puedan estar presentes en la muestra. En un sentido genérico las principales especies causantes de alcalinidad y su asociación causa-efecto suele ser:

Hidróxidos $OH^-$	Aguas naturales, residuales e industriales
Bicarbonatos $HCO_3^-$	Aguas naturales y residuales
Carbonatos $CO_3^{2-}$	Aguas naturales y residuales
Bióxido de carbono $CO_2$	Aguas subterráneas, residuales y/o profundas
Silicatos $SiO_3^{2-}$	Aguas subterráneas
Bi-Silicatos $HSiO_3^-$	Aguas subterráneas
Boratos $BO_3^{3-}$	Aguas subterráneas y residuales agrícolas
Mono-Boratos $HBO_3^-$	Aguas subterráneas y residuales agrícolas
Bi-Boratos $H_2BO_3^-$	Aguas subterráneas y residuales agrícolas
Fosfatos $PO_4^{3-}$	Aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales
Mono-Fosfatos $HPO_4^{2-}$	Aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales
Bi-Fosfatos $H_2PO_4^-$	Aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales

Pese a lo anterior, en la mayoría de los cuerpos de aguas naturales la alcalinidad se encuentra asociada al sistema carbonato, esto es, a los carbonatos y bicarbonatos presentes.

La alcalinidad en la mayoría de los cuerpos de aguas, tiene su origen en el sistema carbonato, debido a que el bióxido de carbono y los bicarbonatos forman parte del metabolismo de los organismos vivos, aeróbicos y anaeróbicos, donde quiera que haya agua, materia orgánica y condiciones mínimas de supervivencia. Ya que esta posibilidad es frecuente en la mayoría de los cuerpos de aguas que nos rodean, el sistema carbonato esta presente en todos ellos (Cárdenas, Op. Cit., 2002).

#### 4.9 Nitrógeno

El nitrógeno es esencial para todos los organismos; es parte fundamental de moléculas como proteínas y ácidos nucleicos y es un nutriente indispensable en el crecimiento de organismos fotosintéticos.

En la química del agua, los compuestos del nitrógeno,  $NH_4^+$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$  y nitrógeno

orgánico, representan un papel muy importante puesto que son ellos los verdaderamente responsables del crecimiento de los organismos animales y vegetales en el medio acuático. En condiciones normales, los compuestos nitrogenados del agua provienen fundamentalmente de la degradación de la materia orgánica muerta, que a su vez ha sido absorbida de la atmósfera para su metabolismo. En condiciones del medio alteradas, los aportes adicionales de nitrógeno proceden mayoritariamente de los vertidos urbanos y de ciertas instalaciones industriales, así como del uso creciente de fertilizantes y pesticidas en la agricultura.

En este sentido, los vertidos de compuestos nitrogenados deben reducirse paulatinamente, tanto en industrias como en la agricultura y ganadería.

Los compuestos nitrogenados están distribuidos ampliamente en el ambiente. Las fuentes de nitrógeno incluyen las superficies donde se han aplicado fertilizantes, los productos de limpieza y las adiciones de nitrógeno en las aguas para beber que han sido tratadas. Debido a que el nitrógeno es un nutriente esencial para los organismos fotosintéticos, es muy importante la vigilancia y control de las descargas en el ambiente (CNA. Procedimiento TAFQ11 2002).

El Nitrógeno-Kjeldahl es el total de nitrógeno orgánico y del amoniacal. Su presencia en altas concentraciones puede provocar el crecimiento acelerado de plantas acuáticas.

El nitrógeno se presenta en muy diferentes formas químicas en las aguas naturales y contaminadas. En los análisis habituales se suele determinar el nitrógeno total Kjeldahl que incluye el nitrógeno orgánico y el amoniacal.

El nitrógeno presente en el medio acuático puede existir en cuatro formas diferentes:

- Nitrógeno orgánico.
- Nitrógeno amoniacal.
- Compuesto en forma de nitritos.
- Compuestos en forma de nitratos.

En un agua residual sin tratar están presentes las dos primeras. La descomposición por las bacterias transforma fácilmente el nitrógeno orgánico en amoniacal en la cantidad relativa de amoníaco presente es un indicativo de la edad del agua residual.

En la naturaleza y en presencia de  $O^2$ , el nitrógeno amoniacal se transforma en nitrito y éste, rápidamente, en nitratos, que es la forma más oxidada en que se encuentra el nitrógeno en el agua.

Los valores de este compuesto debe oscilar entre 40-60 mg/l, cifra que representa la quinta parte de la DBO (Cárdenas, Op. Cit., 2002).

Los compuestos nitrogenados están distribuidos ampliamente en el ambiente. Las fuentes de nitrógeno incluyen las superficies donde se han aplicado fertilizantes, los productos de limpieza y las adiciones de nitrógeno en las aguas para beber que han sido tratadas. Debido a que el nitrógeno es un nutriente esencial para los organismos fotosintéticos, es muy importante la vigilancia y control de las descargas en el ambiente (CNA. Procedimiento TAFQ12 2002).

#### 4.10 Nitritos y Nitratos

Los nitritos son una forma de oxidación intermedia del nitrógeno, tanto en la oxidación de amonio a nitrato como en la reducción de nitratos. Tal oxidación y reducción puede ocurrir en los tratamientos de aguas residuales, los sistemas de distribución de aguas y las aguas naturales. Los nitritos pueden introducirse a través de los sistemas para usarse como inhibidor de la corrosión del agua en los procesos industriales. Los nitritos son un agente etiológico de la metamoglobina. El ácido nitroso, el cual se forma desde el nitrato en una solución ácida, puede reaccionar con aminas para formar nitrosaminas, muchas de las cuales son consideradas como carcinógenos. El significado toxicológico de las reacciones de nitrosaminas en vivo y en el medio es el objetivo de muchas investigaciones.

El nitrógeno de nitritos rara vez aparecen en concentraciones mayores de 1.0 mg/l aún en afluentes de plantas de tratamiento Municipales. Su concentración en aguas superficiales y subterráneas es normalmente mas baja de 0.1 mg/l.

El nitrato es una de las formas de nitrógeno de mayor interés en las aguas naturales y residuales, se presenta generalmente como trazas en las aguas superficiales, pero puede alcanzar niveles elevados en aguas subterráneas.

El nitrato se encuentra sólo en pequeñas cantidades en las aguas residuales domésticas recientes, pero en el diluyente de las plantas de tratamiento biológico desnitrificante, el nitrato puede encontrarse en concentraciones de hasta 30 mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L. El nitrato es un nutriente esencial para muchos organismos autótrofos fotosintéticos y en algunos casos ha sido identificado como el determinante del crecimiento.

Una concentración alta de nitratos es indicio de una etapa mayor de mineralización de los compuestos nitrogenados. En las aguas de algunos pozos suelen encontrarse cantidades apreciables de nitratos, lo que es objetable desde el punto de vista sanitario (CNA. Procedimientos TAFQ13 y TAFQ14 2002).

Por lo general, los niveles elevados de nitratos en el agua potable se deben a la contaminación en las aguas subterráneas por los residuos de animales o derrames de agua provenientes de lecherías o ganado, el uso excesivo de fertilizantes, o la infiltración de

drenaje humano proveniente de las fosas sépticas. Los microorganismos presentes en el suelo, el agua y el drenaje transforman los nitratos en nitritos.

Los nitritos son de particular interés en la salud porque convierten la hemoglobina en la sangre a metamoglobina. La metamoglobina reduce la cantidad de oxígeno que se transporta en la sangre. Como resultado, las células no tienen suficiente oxígeno para funcionar adecuadamente en el organismo. A esta condición se le llama metamoglobinemia.

Los bebés, especialmente menores de seis meses, corren un mayor riesgo de desarrollar problemas de salud al ingerir agua con niveles elevados de nitratos/nitritos.

Los nitratos y nitritos son dos compuestos químicos que en algunas ocasiones se encuentran en el agua de pozos privados. Los bebés que toman agua con niveles altos de nitratos pueden desarrollar serios problemas de salud.

Los bebés tienen relativamente poca acidez en el estómago, permitiendo el desarrollo de bacterias que transforman rápidamente los nitratos en nitritos, causando la metamoglobinemia.

En los bebés, a esta condición se le llama Síndrome del Niño Azul, porque la deficiencia de oxígeno causa que la piel del bebé se vuelva de un color azulado, particularmente alrededor de los ojos y la boca. Si no se atiende al bebé a tiempo, esta condición puede ocasionar otros problemas más graves (DSSC, 2006).

#### 4.11 Fósforo total

El fósforo generalmente se encuentra en aguas naturales y residuales como fosfatos. Éstos se clasifican como ortofosfatos, fosfatos condensados y compuestos organofosforados.

Estas formas de fosfatos provienen de una gran cantidad de fuentes, tales como productos de limpieza, fertilizantes, procesos biológicos, etc. El fósforo es un nutriente esencial para el crecimiento de los organismos, por lo que la descarga de fosfatos en cuerpos de agua puede estimular el crecimiento de macro y micro organismos fotosintéticos en cantidades nocivas (CNA. Procedimiento TAFQ8 2002).

Debido a que en la mayoría de los cuerpos de agua existen cantidades relativamente altas de iones de calcio y magnesio y a que los fosfatos de dichos elementos son altamente insolubles, la concentración de fósforo bajo la forma de ortofosfatos en las aguas naturales, es relativamente baja y en general rara vez excede los 10ppm. Los lodos y sedimentos, en donde se acumulan los fosfatos precipitados suelen contener cantidades mayores a las existentes en solución.

Debido a que el fósforo es uno de los elementos esenciales que limita la productividad primaria en muchos cuerpos de agua, las descargas de vertimientos fosfatados producen en los cuerpos receptores, un crecimiento abrupto y repentino en la biota foto sintetizadora, que generalmente acaba por cubrir la superficie y asfixiar los lagos. Por ello, es importante conocer las concentraciones de fósforo en las aguas residuales, antes de verterlas a los cuerpos receptores (Cárdenas, Op. Cit., 2002).

#### 4.12 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno es una prueba utilizada para medir el grado de contaminación de los desechos domésticos e industriales. Esta prueba se basa en la medición del oxígeno total requerido para la oxidación a dióxido de carbono y agua. Lo anterior esta fundamentado en que todos los compuestos orgánicos con pocas excepciones, pueden oxidarse por la acción de agentes oxidantes bajo condiciones ácidas (CNA. Procedimiento TAFQ6 2002).

La DQO es una medida aproximada del contenido de materia orgánica presente en una muestra de agua. En condiciones naturales, dicha materia orgánica puede ser biodegradada lentamente (oxidada) a  $CO_2$  y  $H_2O$ , mediante un proceso tardado, desde unas pocas semanas hasta unas cuantas décadas de años, dependiendo del tipo de materia orgánica presente.

En las pruebas de DQO se acelera artificialmente la biodegradación que realizan los microorganismos, mediante un proceso de oxidación forzada, utilizando oxidantes químicos y métodos debidamente estandarizados, para que los resultados analíticos sean comparables. Estas condiciones oxidantes pueden ser la ebullición de una alícuota de muestra con mezcla sulfocrómica 0.25N en un sistema abierto (reflujo), ó 0.1N en un sistema cerrado (2 horas a 150 °C).

Aunque las condiciones de oxidación son bastante energéticas, la DQO no representa una medida exacta del contenido total de materia orgánica en la muestra; ciertos compuestos orgánicos tales como los alcanos, la piridina y ciertas ligninas, son particularmente resistentes a esta oxidación. No obstante puede asumirse que para efectos prácticos, en la mayoría de las muestras la oxidación de la materia orgánica bajo estas condiciones alcanza una extensión de por lo menos el 95% con respecto al valor total o teóricamente esperado (Cárdenas, Op. Cit., 2002).

#### 4.13 Sólidos sedimentables.

Los materiales sólidos que pueden estar presentes en una muestra de agua, pueden clasificarse como: sólidos volátiles, sólidos sedimentables, sólidos en suspensión, sólidos disueltos y sólidos totales (Cárdenas, Op. Cit., 2002).

Es importante la determinación de los sólidos sedimentables para una buena planeación de los sistemas a aplicar en el tratamiento de aguas residuales. Los lodos residuales son acumulaciones de sólidos sedimentables. Su medición es importante en la ingeniería sanitaria, para determinar las unidades de sedimentación necesarias y el comportamiento físico de la cantidad del residuo al entrar a los cuerpos de agua naturales.

Los sólidos sedimentables en aguas salinas y superficiales así como en los residuos domésticos e industriales, pueden determinarse y reportarse tanto en volumen como en peso (CNA. Procedimiento TAFQ22, 2002).

Los sólidos sedimentables están formados por partículas más densas que el agua, que se mantienen dispersos dentro de ella, en virtud de la fuerza de arrastre causada por el movimiento o turbulencia de la corriente. Por esta razón sedimentan rápidamente por acción de la gravedad, cuando la masa de agua se mantiene en reposo.

Cuanto mayor es la turbulencia del agua, mayor es su contenido en sólidos sedimentables y mayor también, el tamaño y la densidad de las partículas que son arrastradas por el agua. De esta forma, los sólidos sedimentables son una medida indirecta de la turbulencia del cuerpo de aguas de donde proceden las muestras (Cárdenas, 2002).

#### 4.14 Sólidos Suspendidos

Los sólidos se refieren a la materia suspendida o disuelta en el agua y aguas residuales. Los sólidos afectan la calidad del agua o la de los efluentes en varias formas. Las aguas con altos contenidos de sólidos disueltos generalmente son de palabilidad inferior y pueden inducir una reacción fisiológica desfavorable en el consumidor. Por estas razones, un límite de 500 mg de sólidos disueltos/L es óptimo en aguas para consumo humano. Aguas altamente mineralizadas también son inservibles para algunas aplicaciones industriales. Las aguas con altos contenidos en sólidos suspendidos pueden ser estéticamente desagradables para muchos propósitos sanitarios. El análisis de sólidos es importante en el control de los procesos biológicos y físicos en el tratamiento de aguas residuales. De ello se deriva el interés por determinar en forma cuantitativa estos parámetros.

Los sólidos en una muestra de agua se clasifican en: disueltos (SDT), totales (ST) y suspendidos (SST). Cada una de las formas anteriores de los sólidos, se compone de una porción volátil a 540°C (debida principalmente a materia orgánica o materia inorgánica degradable con calor, como carbonatos o bicarbonatos) y una porción fija compuesta de sólidos inorgánicos en forma estable al calor (óxidos, sulfatos, cloruros, etc.) Los datos se obtienen en peso por unidad de volumen (CNA. Procedimiento TAFQ21, 2002).

Los sólidos suspendidos están formados por las partículas que se mantienen dispersas en el agua, en virtud de su naturaleza coloidal. Estos sólidos no sedimentan por gravedad cuando el agua está en reposo, tal como ocurre en los sólidos sedimentables.

Esto se debe a que las partículas coloidales poseen carga eléctrica y es justamente debido a ella, que se mantienen en suspensión. Los sólidos suspendidos determinan en gran parte el color aparente del agua y la profundidad hasta la cual penetra la luz del sol, es decir la franja aeróbica y fotosintética de un reservorio o cuerpo de agua. Los sólidos suspendidos están estrechamente relacionados con la turbidez del agua (Cárdenas, Op. Cit., 2002).

#### 4.15 Microorganismos coliformes

Uno de los problemas más comunes en los cuerpos de agua, es la presencia de microorganismos, entre ellos algunos patógenos, estos pueden encontrarse de manera natural u originarse a partir de desechos humanos. El grupo de los coliformes está formado por organismos aerobios y anaerobios facultativos en los que se pueden encontrar los géneros: *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter* y *Klebsiella*, la determinación de los coliformes totales es el primer indicador de las condiciones en un medio acuático. Las heces contienen una variedad de microorganismos los cuales presentan diferentes formas de resistencia, entre estos algunos patógenos, los cuales son un riesgo para la salud pública al estar en contacto con el ser humano. El examen de muestras de agua para determinar la presencia de coliformes fecales que habitan normalmente en el intestino humano y de otros animales de sangre caliente, da una indicación sensible del tipo de contaminación presente en la zona. Los coliformes fecales tienen una limitada capacidad para sobrevivir en el agua fuera de su hospedero, por lo que su presencia y número nos ayuda a estimar el grado de contaminación en un cuerpo de agua (CNA. Procedimiento TAMB2, 2002).

Desde hace largo tiempo, los microorganismos coliformes han sido considerados como un indicador microbiano apropiado de la calidad del agua, en gran parte porque son fáciles de detectar y de enumerar en el agua. El término "microorganismos coliformes" se aplica a las bacterias Gram-negativas, de forma de bastoncillo, capaces de desarrollarse en presencia de sales de la bilis u otros agentes tensioactivos, con propiedades análogas como inhibidores del crecimiento y capaces de fermentar la lactosa a 35-37°C con producción de ácido, gas y aldehído en el plazo de 24-48 horas.

También son oxidasa-negativos y no forman esporas y muestran actividad de  $\beta$ -galactosidasa.

Actualmente según los métodos taxonómicos modernos, el grupo es heterogéneo. Incluye bacterias fermentadoras de la lactosa, tales como *Enterobacter cloacae* y *Citrobacter freundii*, que pueden encontrarse tanto en las heces como en el medio ambiente

(aguas ricas en nutrientes, suelo, materia vegetal en descomposición) así como en el agua de beber con concentraciones relativamente altas de nutrientes y otras especies que raramente, o nunca, se encuentran en las heces y pueden multiplicarse en aguas potables de una calidad relativamente buena, por ejemplo, *Serratia fonticola*, *Rabnella aquatilis* y *Buttiauxella agrestis*.

La existencia de bacterias, tanto fecales como no fecales que encajan en la definición de bacteria coniforme y de bacteria coniforme lactosa-negativa, limita la posibilidad de aplicar este grupo como indicador de contaminación fecal. En los abastecimientos de agua tratada no deben encontrarse bacterias coliformes y si se encuentra constituyen un indicio de tratamiento insuficiente, contaminación posterior al tratamiento o presencia excesiva de nutrientes.

Así pues, la prueba de coliformes se puede utilizar como indicador tanto de la eficacia del tratamiento como de la integridad del sistema de distribución (OMS, 1998).

## V Metales pesados.

Es conocida la presencia de diferentes oligoelementos en las aguas naturales, pero no se ha esclarecido suficientemente, en algunos casos, la influencia que los mismos pueden tener sobre el estado de salud del hombre. Diferentes organizaciones internacionales realizan estudios selectivos de estos compuestos, de sus concentraciones limitantes en el agua y de sus aportes a las necesidades del organismo (INHEM, 1992).

Los metales disueltos son unos de los contaminantes más importantes en los sistemas acuáticos, ya que siguen mecanismos de precipitación, evaporación, movilización, etc. Lo que puede provocar su bioacumulación en la cadena alimenticia (González, *et al.*, 2006).

### 5.1 Plomo.

El plomo se utiliza principalmente para la producción de acumuladores de plomo-ácido, soldaduras y aleaciones. Los compuestos orgánicos del plomo tetraetilplomo y tetrametilplomo se han utilizado también ampliamente en la gasolina, como agentes antidetonantes y lubricantes, aunque ese uso está desaparecido en muchos países. Debido a la disminución de los aditivos de la gasolina que contienen plomo y de las soldaduras empleadas en la industria alimentaria, están descendiendo las concentraciones en el aire y los alimentos, con lo que la ingesta procedente de agua de bebida constituye una proporción mayor de la ingesta total.

El plomo presente en el agua en cierta medida procede de fuentes naturales por disolución pero, sobre todo, de los sistemas de fontanería domésticos, cuyas tuberías, soldaduras y accesorios contienen este elemento.

La transferencia del plomo a través de la placenta se produce en los seres humanos a partir de la duodécima semana de gestación y continúa durante todo el desarrollo del feto. Los niños pequeños absorben de 4 a 5 veces más plomo que los adultos y es posible que la vida media biológica de este elemento sea considerada mas prolongada en la infancia.

El plomo es un tóxico general, que se acumula en el esqueleto. Los lactantes, los niños hasta de 6 años de edad y las mujeres embarazadas son los más vulnerables a sus efectos negativos para la salud. En los niños se ha observado concentraciones en sangre de 5  $\mu\text{g}/\text{dl}$ , provocando inhibición de la actividad de la deshidratasa  $\delta$ -aminolevulínica (porfobilinogeno sintasa: una de las principales enzimas que intervienen en la biosíntesis del hemo), aunque no se atribuyen efectos perjudiciales a la inhibición a este nivel. El plomo dificulta también el metabolismo de la vitamina D. Estos efectos se han observado en los niños con concentraciones en sangre de 12 a 20  $\mu\text{g}/\text{dl}$ , sin que se haya determinado un umbral.

El plomo es tóxico para el sistema nervioso, tanto central como periférico y tienen efectos neurológicos subencefalopáticos y de comportamiento. Hay datos electrofisiológicos que indican que concentraciones en sangre muy por debajo de 30  $\mu\text{g}/\text{dl}$  afecta el sistema nervioso de los niños. El conjunto de las informaciones procedentes de estudios epidemiológicos cruzados indican que en estos, se ha observado relaciones estadísticamente significativas entre concentraciones en sangre de 30  $\mu\text{g}/\text{dl}$  o más y déficit de unos 4 puntos en los cocientes de inteligencia. Los resultados de estudios epidemiológicos prospectivos parecen indicar que la exposición prenatal al plomo puede tener efectos tempranos en el desarrollo mental, que no persisten hasta la edad de 4 años.

En animales de experimentación expuestos a elevadas concentraciones de compuestos del plomo en la alimentación, se han inducido tumores renales.

En 1986 el Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios estableció para el plomo una ingesta semanal tolerable provisional de 25  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de peso corporal (equivalente a 3  $\mu\text{g}$  diarios por kg de peso corporal) para los lactantes y niños menores de 5 años. El valor guía basado en criterios sanitarios es de 0.01 mg/L (OMS, Op. Cit., 1998)

## 5.2 Cobre.

El cobre es un nutriente esencial. Existen evidencias de que la ingestión de cobre es inferior a la requerida para una óptima nutrición humana. La concentración del cobre en la superficie terrestre se estima en 50 mg/kg. La forma química en que se encuentra el mismo en el agua no está totalmente determinada, se presume que se encuentra en forma oxidada,  $\text{Cu}^{2+}$  (ion cúprico) combinado con diferentes enlaces orgánicos. Su concentración, tanto en agua como en alimentos, es extremadamente variable. En algunos estudios se ha reportado un contenido medio de 60-150  $\mu\text{g}/\text{L}$  en las aguas (INHEM, Op. cit., 1992).

Las concentraciones del cobre en aguas para consumo humano son bajas generalmente, de solo algunos microgramos por litro, pero la existencia de tuberías de cobre puede aumentarlas considerablemente, hasta varios miligramos por litro, tras un periodo de retención prolongado del agua en tuberías.

Este elemento es indispensable y la ingesta alimentaria representa entre 1 a 3 mg diarios. En adultos, las tasas de absorción y retención dependen de la ingesta diaria.

En algunas personas, cuando la concentración en el agua de bebida es superior a 3 mg/L, aparecen ligeras irritaciones gástricas agudas. En adultos que padecen degeneración hepatolenticular, el mecanismo de regulación del cobre es defectuoso, por lo que la ingestión prolongada puede provocar cirrosis hepática.

Contrariamente a lo que ocurre en los adultos, en los lactantes el metabolismo del cobre no está bien desarrollado, y el hígado contiene más del 90% de la carga corporal, con concentraciones mucho mayores que en los adultos.

En 1982 el Comité Mixto FAO/OMS de expertos en aditivos alimentarios propusieron una ingesta diaria tolerable máxima provisional de 0.5 mg/kg de peso corporal, no obstante, una concentración de 2 mg/L proporciona un margen de seguridad suficiente para los lactantes alimentados con biberón (OMS, Op. Cit., 1998).

### 5.3 Cadmio.

Este metal se utiliza en la industria siderúrgica y en los derivados de los plásticos. También se usan ampliamente sus componentes en las pilas. En las aguas residuales se libera cadmio al medio ambiente y existe una presencia difusa de este elemento, debido a la presencia de fertilizantes y a la contaminación local del aire.

En aguas potables las concentraciones son por lo general inferiores a 1  $\mu\text{g/L}$ . Los alimentos son la principal fuente de exposición cotidiana al cadmio. La ingesta diaria por vía oral es de 10 a 35  $\mu\text{g}$ ; sin embargo, el hábito de fumar es una importante fuente adicional.

La absorción de los compuestos del cadmio depende de su solubilidad. Este elemento se acumula principalmente en los riñones y tiene una vida media biológica prolongada de 10 a 35 años en los seres humanos.

Existen pruebas de que el cadmio es carcinógeno por la vía de inhalación. El riñón es el órgano más afectado por la toxicidad del cadmio. La concentración crítica en la corteza renal, que da lugar a una prevalencia del 10% de proteinuria de bajo peso molecular en la población en general, es aproximadamente de 200 mg/kg y se alcanza con una ingesta alimentaria diaria unos 175  $\mu\text{g}$  por persona durante 50 años.

Expertos de la FAO/OMS han establecido que este elemento no debe estar presente en aguas potables con valores por arriba de 0.003 mg/L (OMS, Op. Cit., 1998).

En México la NOM-127-SSA1-1994 establece como Límite Permisible (LP) 0.005 mg/l para uso y consumo humano (NOM-127-SSA1-1994).

### 5.4 Arsénico.

El arsénico está ampliamente distribuido por toda la corteza terrestre y es utilizado comercialmente, sobre todo como agente aleador. Está presente en el agua procedente de la disolución de minerales y afluentes de tipo industrial, en algunas zonas, las concentraciones que existen en las aguas subterráneas son elevadas, resultantes de la

erosión. Se estima que la ingesta diaria media de arsénico inorgánico en el agua es similar a la procedente de la aportación alimenticia.

Está demostrado que el arsénico inorgánico en concentraciones elevadas y expuesto por periodos prolongados puede propiciar cáncer de piel en los seres humanos, además provoca aberraciones cromosómicas en diversos tipos de cultivos celulares, en particular de células humanas.

A fin de reducir la concentración de este contaminante carcinógeno, el Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios ha establecido un valor guía provisional en el agua potable de 0.01 mg/L. El riesgo adicional estimado de cáncer de la piel durante toda la vida asociado con la exposición a esa concentración es de  $6 \times 10^{-4}$  (OMS, Op. Cit., 1998).

La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, establece un LP de 0.05 mg/L para uso y consumo humano, mientras que en la NOM-001-SEMARNAT-1996 establece como Limite Máximo Permisible (LMP) de este contaminante en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, valores que van de 0.2 y 0.4 mg/L. dependiendo del uso que se de al agua (NOM-001-SEMARNAT-1996).

## 5.5 Zinc

La importancia del Zinc en la nutrición humana fue reconsiderada a partir de 1962, cuando se observaron deficiencias nutricionales atribuidas al mismo.

El Zinc está muy difundido en los alimentos comúnmente consumidos, en especial en los de origen animal, particularmente de procedencia marina. La recomendación dietética admisible (RDA) del Zinc es de 15 mg/día. Su concentración en el aire urbano se estima en  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , por lo que esta vía aporta 20  $\mu\text{g}$  diarios, asumiendo la inhalación de  $20 \text{ m}^3/\text{día}$ . En estudios realizados por la EPA se han encontrado niveles de Zinc en agua con valores que oscilan entre 100 y 245  $\mu\text{g}/\text{L}$ .

Los mecanismos de absorción de este nutriente son insuficientemente conocidos, pero aparentemente pueden ser regulados. El Zinc posee una baja toxicidad oral; los mayores efectos tóxicos se asocian con una insuficiente ingestión de cobre. Se ha reportado que el Zinc disminuye la toxicidad del cadmio, y que en presencia del calcio se reduce la bioasimilación del Zinc (INHEM, Op. Cit., 1992).

El Zinc es un oligoelemento indispensable, que se encuentra prácticamente en todos los alimentos y en el agua en forma de sales o complejos orgánicos. La principal fuente de zinc es, por lo general, la alimentación. Aunque las concentraciones de este metal en las aguas superficiales y subterráneas no sobrepasan, por lo común, 0.01 y 0.05 mg/L,

respectivamente, en el agua de los grifos pueden ser más altas debido a la disolución del zinc de las tuberías.

El comité Mixto FAO/OMS de expertos en aditivos alimentarios propuso una ingesta diaria tolerables máxima provisional de 1 mg/kg de peso corporal. Las necesidades diarias de los varones adultos son de 15 a 20 mg diarios. Estudios recientes realizados en humanos concluyen que no es necesario establecer un valor guía basado en criterios sanitarios. No obstante, el agua potable que contiene zinc en concentraciones superiores a 3 mg/L puede no ser aceptable para los consumidores (OMS, Op. cit., 1998).

## 5.6 Cromo

El cromo esta ampliamente distribuido en la corteza terrestre, con valencias de +2 a +6. Las concentraciones totales en el agua para consumo humano son habitualmente inferiores a 2  $\mu\text{g/L}$ , aunque se han notificado concentraciones de hasta 120  $\mu\text{g/L}$ . En general los alimentos parecen ser la principal fuente de la ingesta de este elemento.

El cromo forma tres series de compuestos con otros elementos; éstos se representan en términos de los óxidos de cromo: cromo con valencia dos,  $\text{CrO}$ , óxido de  $\text{Cr(II)}$  u óxido cromoso; con valencia tres,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , óxido de  $\text{Cr(III)}$  u óxido crómico, y con valencia seis,  $\text{CrO}_3$ , anhídrido de  $\text{Cr(VI)}$  o anhídrido de ácido crómico. El cromo es capaz de formar compuestos con otros elementos en estados de oxidación (II), (III) y (VI).

Hay varias clases diferentes de Cromo que difieren de sus efectos sobre los organismos. El Cromo entra en el aire, agua y suelo en forma de Cromo (III) y Cromo (VI) a través de procesos naturales y actividades humanas.

Las mayores actividades humanas que incrementan las concentraciones de Cromo (III) son el acero, las peleterías y las industrias textiles, pintura eléctrica y otras aplicaciones industriales del Cromo (VI). Estas aplicaciones incrementarán las concentraciones del Cromo en agua. A través de la combustión del carbón el Cromo será también emitido al agua y eventualmente se disolverá.

La gente puede estar expuesta al Cromo a través de la respiración, el consumo o a través del contacto con la piel con Cromo o compuestos del Cromo. El nivel de Cromo en el aire y el agua es generalmente bajo. En agua para beber, el nivel de Cromo es usualmente bajo como en el agua de pozo, pero el agua de pozo contaminada puede contener el peligroso Cromo (VI); Cromo hexavalente. Para la mayoría de la gente que come comida que contiene Cromo III es la mayor ruta de entrada de Cromo, como Cromo III ocurre naturalmente en muchos vegetales, frutas, carnes, levaduras y granos. Varias maneras de preparación de la comida y almacenaje pueden alterar el contenido de Cromo en la comida. Cuando la comida es almacenada en tanques de acero o latas las concentraciones de Cromo pueden aumentar.

El Cromo III es un nutriente esencial para los humanos y la falta de este puede causar, trastornos metabólicos y repercutir en la diabetes. Pero el exceso en el consumo de Cromo III puede causar efectos sobre la salud, como por ejemplo erupciones cutáneas.

El Cromo (VI) es peligroso para aquellas personas que laboran en la industria del acero y textil, ya que se ha demostrado que puede causar reacciones alérgicas y erupciones cutáneas.

En animales el Cromo puede causar problemas respiratorios, una baja disponibilidad puede dar lugar a contraer las enfermedades, defectos congénitos, infertilidad y formación de tumores.

No es conocido que el Cromo se acumule en los peces, pero altas concentraciones de Cromo, debido a la disponibilidad de metales en las aguas superficiales, pueden dañar las agallas de los peces.

En estudios a largo plazo de la carcinogenicidad, en los que se administró cromo del grupo (III) a ratas por vía oral, no se observaron problemas tumorales. En estudios epidemiológicos, se ha encontrado una relación entre la exposición al cromo (IV) por inhalación y el cáncer de pulmón.

Dada la carcinogenicidad del cromo (VI) cuando se absorbe por inhalación y su genotoxicidad, se ha puesto en duda el actual valor guía de 0.05 mg/L, pero los datos toxicológicos disponibles no parecen justificar el cálculo de un nuevo valor. Como medida práctica, se ha conservado como provisional el valor guía de 0.05 mg/L, considerando poco probable que presenten riesgos importantes para la salud (OMS, Op. cit., 1998).

## 5.7 Níquel

La concentración de este metal en agua para consumo humano es generalmente inferior a 0.02 mg/L. La contribución del níquel liberado por grifos y accesorios puede ser de hasta 1mg/L. En casos especiales de liberación de depósitos naturales o industriales del suelo. La ingesta alimentaria diaria media es normalmente de 0.1 a 0.3 mg de níquel, pero puede alcanzar hasta 0.9 mg si se excede en determinados alimentos que contienen este metal.

El Níquel puede causar ciertos efectos agudos como dolor de cabeza, vértigo, cianosis, sudoración, síntomas gastrointestinales, alteraciones visuales, cansancio, y además puede producir fibrosis pulmonar y alteraciones renales.

Dentro de sus efectos crónicos puede ocasiona lesiones en la piel (dermatitis), respiratorias (bronquitis, asma), renales y disfunción inmunológica.

Estudios realizados en personas expuestas profesionalmente evidencian un mayor riesgo de cáncer de la cavidad nasal y pulmonar. El níquel está considerado, un agente cancerígeno para los humanos (OMS, Op. cit., 1998).

### 5.8 Mercurio

En su forma inorgánica esta presente en las aguas superficiales y subterráneas, en concentraciones generalmente inferiores a  $0.5 \mu\text{g/L}$ . Las concentraciones en el aire son el orden de 2 a  $10 \mu\text{g/m}^3$ . La ingesta alimentaria media del mercurio en varios países oscila entre 2 y  $20 \mu\text{g}$  diarios por persona.

El órgano más afectado por el mercurio es el riñón; el metilmercurio actúa principalmente sobre el sistema nervioso central.

En 1988 el Comité mixto de expertos FAO/OMS confirmó que la ingesta semanal tolerable provisional del total del mercurio debería ser de  $5 \mu\text{g/kg}$  de peso corporal, en la que el metilmercurio no debería representar más de  $3.3 \mu\text{g/kg}$  de peso corporal para la población en general, señalando que las mujeres embarazadas y madres lactantes están probablemente más expuestas a los efectos negativos de este compuesto.

En un 80 % de los casos, los compuestos volátiles de metilmercurio, como el cloruro de metilmercurio, se absorben debido a la inhalación de vapores. Más del 95 % de los compuestos alquílicos de mercurio de cadena corta se absorben por vía digestiva, aunque este proceso también puede ocurrir a través de la piel, dependiendo de su solubilidad, concentración y del estado de la piel (las heridas o ulceraciones facilitan el ingreso).

El metilmercurio se transporta en los eritrocitos y sólo una pequeña parte se encuentra unida a las proteínas del plasma. Luego se concentra en el sistema nervioso central, especialmente en la sustancia gris. En las mujeres embarazadas, el metilmercurio atraviesa la barrera placentaria y llega al feto, acumulándose principalmente en el cerebro fetal. El contacto cutáneo con soluciones concentradas de metilmercurio determina la aparición de quemaduras químicas y vesiculación. En las operaciones agrícolas existe el riesgo de contaminación de productos destinados al consumo alimentario, lo que puede producir la ingestión involuntaria de cantidades importantes de este compuesto.

La acumulación de mercurio en el sistema nervioso central produce daño neuronal en la corteza sensorial (visual o auditiva). En los casos de intoxicación más grave, puede presentarse ataxia, reducciones concéntricas de los campos visuales, alteraciones auditivas y trastornos del movimiento. En los casos graves, se producen convulsiones crónicas (OMS, Op. cit., 1998).

## VI Plaguicidas

Un plaguicida se define como una sustancia o mezcla en cualquier estado físico cuya finalidad sea la de controlar, combatir o prevenir plagas o enfermedades y en general tienen el objetivo de proteger al hombre de organismos que afectan su ambiente, animales o alimentos (Estrada, 1998).

Los plaguicidas son sustancias imprescindibles para el control de plagas, principalmente, en los procesos intensivos de producción. Ante la demanda creciente de alimentos por la población mundial el uso y manejo de dichas sustancias en diferentes actividades como lo son la pecuaria, agrícola, industrial, doméstica y salud pública, entre otras, han cobrado gran relevancia (Osuna, 2002).

Los plaguicidas han tenido una función muy importante en el control de enfermedades transmisibles, como el paludismo, el dengue, entre otras. También han influido en el desarrollo agrícola, ya que los insectos, la maleza y otras plagas destruyen gran parte de los cultivos y compiten con ellos por factores limitantes como espacio, humedad y nutrimentos.

Problemas como el uso excesivo e inadecuado de estos productos han causado en todos los lugares donde se han aplicado severos daños ambientales que, en muchos casos, han sido irreversibles o difícilmente reversibles. En buena medida esto ha ocurrido por falta de conocimientos sobre los riesgos para el ambiente asociados con el uso de estas sustancias. (García, 2002).

Los efectos indeseables de los plaguicidas sobre el ambiente se pueden agrupar en aquellos que ocurren: a corto plazo en el ambiente cercano, a largo plazo en el ambiente cercano y a largo plazo en el ambiente lejano.

Los plaguicidas actúan a corto plazo sobre el ambiente cercano al lugar donde se aplican. Esto causa, por un lado, la contaminación inmediata del ambiente abiótico (suelos, aguas superficiales y subterráneas y aire) y por otro, la muerte de diversos organismos sensibles a los que no se deseaba afectar, como los insectos que son enemigos naturales de las plagas o los que el hombre considera como benéficos. A corto plazo, los plaguicidas causan también la muerte de los organismos susceptibles entre los que constituyen la plaga y afectan momentáneamente el equilibrio fisiológico de todos los organismos expuestos a ellos, incluidos los seres humanos.

Estos efectos sólo son leves en apariencia, pues aunque se trate de plaguicidas no persistentes y cuyas aplicaciones no sea continua, el efecto sobre los organismos susceptibles a ellos forzosamente tendrá repercusiones adversas a largo plazo. Esto se debe a que causan desequilibrios ecológicos sucesivos que alteran los controles naturales y

favorecen el desarrollo de las plagas; además, en las plagas mismas se facilita la reproducción de los individuos resistentes, los que eventualmente llegan a predominar.

Estas pequeñas alteraciones ecológicas sumadas tienen consecuencias muy graves, ya que por lo común el agricultor o el responsable de las decisiones de salud pública tiende a responder al desarrollo de resistencia o al surgimiento de nuevas plagas con la aplicación de mayores dosis de plaguicidas; con aplicaciones más frecuentes o con nuevos productos, ya sea solos o combinados con los que se usaron antes. Por lo tanto, en el contexto integral, estos efectos, aparentemente menores, son el origen de graves problemas no sólo ecológicos, sino agronómicos; económicos y de salud pública.

Cuando los plaguicidas son persistentes o permanentes y se utilizan con frecuencia, el problema se complica, pues con cada aplicación, además del daño inmediato, se agregan al ambiente, nuevos contaminantes que requerirán años para degradarse. Así, aunque el producto deje de usarse en un lugar determinado, por sus características de persistencia o las de sus productos de transformación, isómeros o impurezas contaminan los suelos, los sedimentos y los mantos freáticos, los que permanecerán así hasta que se tomen medidas drásticas, como el dragado integral de un río o el cierre de todos los pozos de una región, lo cual no siempre es costeable o factible, sobre todo para los Países en desarrollo.

Cuando el surgimiento de especies resistentes y las alteraciones ecológicas y por ende, agronómicas causan cambios en el uso del suelo, surgen problemas adicionales. Uno de los más importantes por sus repercusiones a largo plazo es la exposición indirecta de la población a los plaguicidas, por la ingestión continua de alimentos contaminados con residuos.

Otro efecto a largo plazo en el ambiente cercano, es el desarrollo de resistencia en los organismos plaga y la aparición de nuevas plagas (plagas emergentes) o de plagas secundarias. También cabe mencionar la posibilidad de que ocurra una contaminación irreversible de los suelos y los mantos freáticos, pues en la mayoría de los Países existen zonas en donde el agua para consumo humano se obtiene principalmente de pozos. Otros de los efectos es la reducción de la diversidad biológica en algunas zonas y la bioacumulación y biomagnificación de los residuos de plaguicidas persistentes, por las cuales estos productos llegan, a los niveles superiores de las cadenas tróficas, a los alimentos y eventualmente, a los seres humanos.

Los efectos adversos a largo plazo en el ambiente lejano fueron los primeros efectos indeseables que se conocieron de los plaguicidas, puesto que los primeros plaguicidas sintéticos, o sea los organoclorados, son muy persistentes y de esto se deriva su capacidad para movilizarse en el ambiente, llegar a sitios remotos al de su uso inicial y causar alteraciones en organismos que no se intentaba afectar. Estos efectos requieren que el

plaguicida, o alguno de sus productos de transformación o de sus contaminantes, sean persistentes.

Entre ellos está la presencia de residuos de plaguicidas en los polos de la tierra, su biomagnificación a través de las redes tróficas la extinción de especies y naturalmente, su presencia en los alimentos, sobre todo de origen animal. En este grupo de efectos también debe incluirse la presencia de residuos de plaguicidas en tejidos humanos y en la leche materna. Todo lo anterior ha llevado a que se trate de sustituir el uso de productos persistentes por el de no persistentes, lo que ha dado lugar que el uso de plaguicidas permanentes se haya discontinuado prácticamente en todo el mundo. (García Op. cit., 2002).

Los plaguicidas son de gran persistencia y pueden acumularse a través de los años en el suelo, o bien ser transportados por procesos de erosión hídrica y lixiviación hacia cuerpos de agua superficial y subterránea, provocando la contaminación del agua; estos contaminantes son absorbidos y llegan a formar parte de las cadenas tróficas, hasta llegar al hombre. Esto puede ocurrir principalmente en regiones o áreas que han estado sometidas a una explotación agrícola intensiva y/o que presentan características hidrológicas y edáficas que favorezcan la presencia de residuos de plaguicidas en el medio.

Los trabajadores agrícolas, están sometidos a especiales riesgos asociados a la inhalación y contacto a través de la piel, durante la preparación y aplicación de plaguicidas a los cultivos. No obstante, para la mayoría de la población, un vehículo importante es la ingestión de alimentos contaminados por plaguicidas (García C. 1997).

### 6.1 Efectos ecológicos de los plaguicidas

Los plaguicidas se incluyen en una gran variedad de microcontaminantes orgánicos que tienen efectos ecológicos. Las distintas categorías de plaguicidas tienen diferentes tipos de repercusión en los organismos vivos, por lo que es difícil hacer afirmaciones generales. Aunque los plaguicidas tienen sin duda efectos en la superficie terrestre, el principal medio de daños ecológicos es el agua contaminada por la escorrentía de los plaguicidas.

Los efectos ecológicos de los plaguicidas (y otros contaminantes orgánicos) son muy variados y están con frecuencia interrelacionados. Se considera que los efectos producidos en los organismos y en el medio ambiente constituyen una advertencia de las posibles repercusiones en la salud humana. Los principales tipos de efectos varían según el organismo sometido a investigación y el tipo de plaguicida. Los distintos plaguicidas provocan efectos muy diferentes en la vida acuática, por lo que es difícil formular afirmaciones de alcance general. Lo importante es que muchos de estos efectos son crónicos (no letales), pasan con

frecuencia desapercibidos al observador superficial, y sin embargo, tienen consecuencia en toda la cadena trófica. Esos efectos son:

- Muerte del organismo.
- Cánceres, tumores y lesiones en peces y animales.
- Inhibición o fracaso reproductivo.
- Supresión del sistema inmunitario.
- Perturbación del sistema endocrino (hormonal).
- Daños celulares y en el ADN.
- Efectos teratogénicos (deformidades físicas, en el pico de algunas aves).
- Problemas de salud en los peces revelados por el bajo coeficiente entre células rojas y blancas, el exceso de mucílago en las escamas y agallas de los peces, etc.
- Efectos intergeneracionales (se observarán en las generaciones futuras del organismo).
- Otros efectos fisiológicos, como disminución del grosor de la cáscara de los huevos.

Estos efectos no son causados necesariamente ni de forma exclusiva por la exposición a los plaguicidas u otros contaminantes orgánicos, pero pueden estar asociados a una combinación de presiones ambientales, como la eutrofización, y agentes patógenos.

Estas presiones asociadas no tienen que ser necesariamente muy fuertes para provocar un efecto sinérgico con los microcontaminantes orgánicos.

Los efectos ecológicos de los plaguicidas van más allá de los organismos individuales y pueden afectar a los ecosistemas (Ongley, 1997).

## 6.2 Plaguicidas organoclorados.

Presentan CLORO en su molécula. Agrupan a un considerable número de compuestos sintéticos, cuya estructura química corresponde a los hidrocarburos clorados.

Su baja presión de vapor, su gran estabilidad físico-química, condicionan que la persistencia de estos plaguicidas en el ambiente sea elevada. Algunos de los plaguicidas organoclorados son los compuestos que más persisten en el ambiente.

Características: Son liposolubles con baja solubilidad en agua y elevada solubilidad en la mayoría de los disolventes orgánicos; tienen estructura cíclica, en general, poseen baja presión de vapor, una alta estabilidad química, una notable resistencia al ataque de los microorganismos y tienden a acumularse en el tejido graso de los organismos vivos, acumulándose en el suelo y las capas subterráneas.

Actúan por inhibición del enzima citocromoxidasa que interviene en el intercambio gaseoso durante la respiración de los animales con circulación de sangre y por inestabilidad del sistema nervioso.

Al ser liposolubles, se introducen y depositan en los tejidos grasos del organismo humano a través de la cadena alimentaria. Al excretarse por vía biliar pueden ser absorbidos a nivel intestinal, posibilitando una vida biológica mayor y efectos a largo plazo. Pueden ingresar al organismo por ingestión, inhalación o por contacto con la piel.

La absorción de grandes dosis, se facilita cuando estos plaguicidas se encuentran disueltos en grasa animal o vegetal.

La penetración dérmica de los plaguicidas organoclorados varía ampliamente, desde el DDT que es poco absorbido por la piel intacta, aún en solución aceitosa, hasta aquellos como ENDRÍN, ALDRÍN, DIELDRÍN y HEPTACLORO, que penetran con mayor rapidez y proporción.

Los efectos tóxicos de los plaguicidas organoclorados se observan con mayor rapidez después de su ingestión, que por exposición dérmica o inhalación.

Una vez absorbidos, los plaguicidas organoclorados pasan a la sangre y son distribuidos por todo el organismo; se establece entonces un equilibrio de concentraciones entre los elementos grasos y proteicos constitutivos de la sangre y otros tejidos ricos en grasas, especialmente el tejido adiposo. También se pueden encontrar diferentes concentraciones en el hígado, riñones y otros órganos, dependiendo de la dosis absorbida.

Los plaguicidas organoclorados también atraviesan la barrera placentaria y se encuentran en concentraciones importantes en el feto; a esta cantidad se le agregan las procedentes de la leche materna.

La intoxicación aguda producida por organoclorados, es el cuadro principal y el más grave pues se presentan convulsiones, las cuales pueden determinar en secuelas permanentes.

Después de la ingestión de plaguicidas organoclorados, los primeros síntomas son náuseas y vómitos seguidos de cefalea y excitación; estos síntomas van acompañados por diversos signos neurológicos, incluso debilidad de los músculos, temblores, desorientación mental, parestesia y convulsiones que, a menudo, son epileptiformes. Sin embargo cuando la vía de penetración es la piel, pueden aparecer solamente confusión mental y/o temblores, como únicos síntomas.

La hiperexcitabilidad progresiva del sistema nervioso central puede llegar a producir convulsiones y, al propio tiempo, parestesias bucales y de la lengua, con hiperestesia facial y de las extremidades. Los plaguicidas organoclorados más poderosos como convulsivantes son el lindano, endrín, dieldrín, clordano y heptacloro (OMS, Op. cit., 1998).

## VII Estrategia Metodológica.

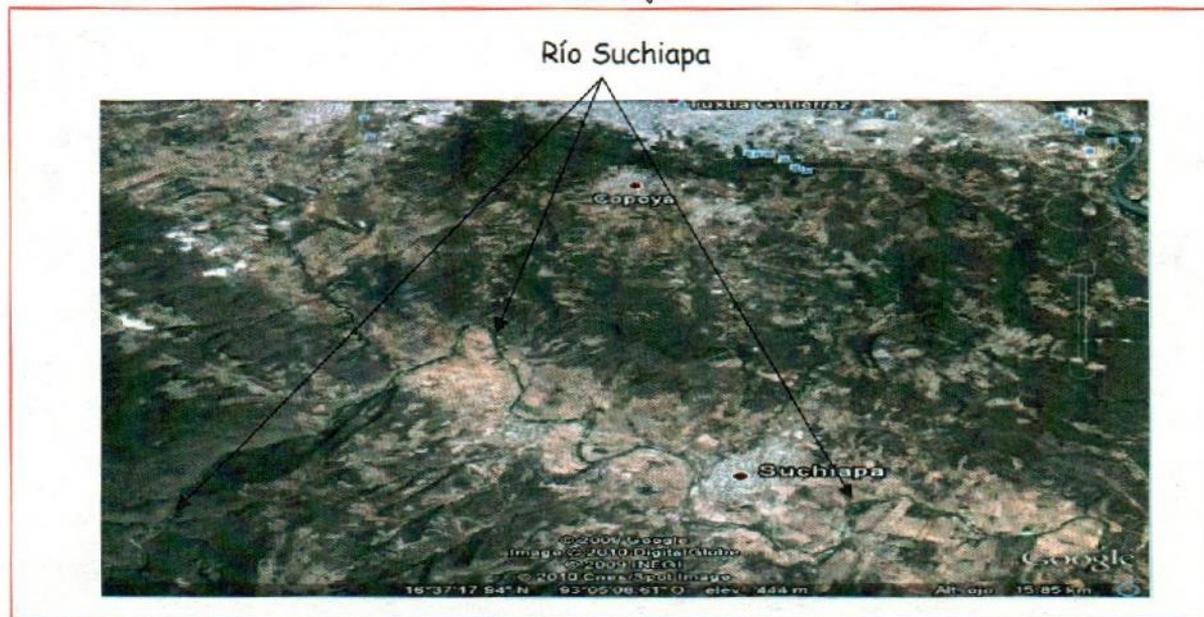
### 7.1 Características del área de estudio.

El río Suchiapa es uno de los escurrimientos hidráulicos superficiales más importante de la zona, se encuentra en la Depresión Central del Estado de Chiapas, tiene un área de 1,870 km<sup>2</sup> y una orientación SE-NW (Anexo 1). Este río nace en tres picos, en la parte más alta de la Sierra Madre de Chiapas a unos 2,600 metros de altura, con el nombre de río Juan, entre los Municipios de Villaflores con Tonalá y Arriaga. Recibiendo múltiples afluentes, tal como: El alto chiquito, el desierto, el progreso, (a un lado del poblado el Progreso agrario) el Saus (a un lado de Cristóbal Obregón). Continúa río abajo con el nombre de río el Tablón (a la altura de agrónomos mexicanos), recibiendo los arroyos el Playón y San Lucas, (a un lado de Domingo Chanona) y río Sabinal (a un lado de Jesús M. Garza); fluyendo en dirección noroeste.

Este río entra al Municipio de Suchiapa pasando por un encajonado del macizo montañoso denominado tierra colorada. Llega al valle de Suchiapa haciendo bruscos quiebres de dirección, corriendo con amplias vegas por Pacú, Plan de Mulumí, Suchiapa y Galecio Narcía, desembocando en el río Santo Domingo, el cual, nueve kilómetros más adelante, también desemboca en el río Grijalva, frente a Chiapa de Corzo. (Programa de desarrollo urbano del centro de población de Suchiapa, Chiapas, Op. Cit., 2002).

Según el Programa Hidráulico Regional 2002-2006. Región XI Frontera Sur, 2003; el río Suchiapa se ubica en la región XI frontera sur, perteneciente a la región hidrológica No. 30 Grijalva-Usumacinta, subregión de planeación medio Grijalva (Foto 1).

Foto 1. Foto satelital de la subcuenca del río Suchiapa, perteneciente a la región XI frontera sur, subregión de planeación medio Grijalva.



Los registros hidrométricos del escurrimiento indican que el río Suchiapa desagua un volumen anual de escurrimiento natural de 506.6 millones de metros cúbicos, producto del drenado de 1,870 km<sup>2</sup> de la cuenca superior del río Suchiapa, lo que representa un volumen medio anual de 16.5 m<sup>3</sup>/seg., teniendo un registro máximo de 623 m<sup>3</sup>/seg., y mínimo de 0.88 m<sup>3</sup>/seg.

**7.2 Selección de los sitios de muestreo.**

Se realizó la revisión cartográfica de la subcuenca del río Suchiapa y sus afluentes en el Departamento de Planeación Ambiental de la Dirección de Protección Ambiental del IHNE, en el que se propusieron 6 puntos de muestreo.

Se realizaron visitas perspectiva de campo, a los sitios propuestos por personal especializado y acreditado en muestreo de la CONAGUA y del Laboratorio de Monitoreo Ambiental del IHNE, los cuales sugirieron 6 sitios estratégicos de muestreo, finalmente se diseñó una red de muestreo georeferenciada utilizando un dispositivo GPS Marca eTrex Vista.

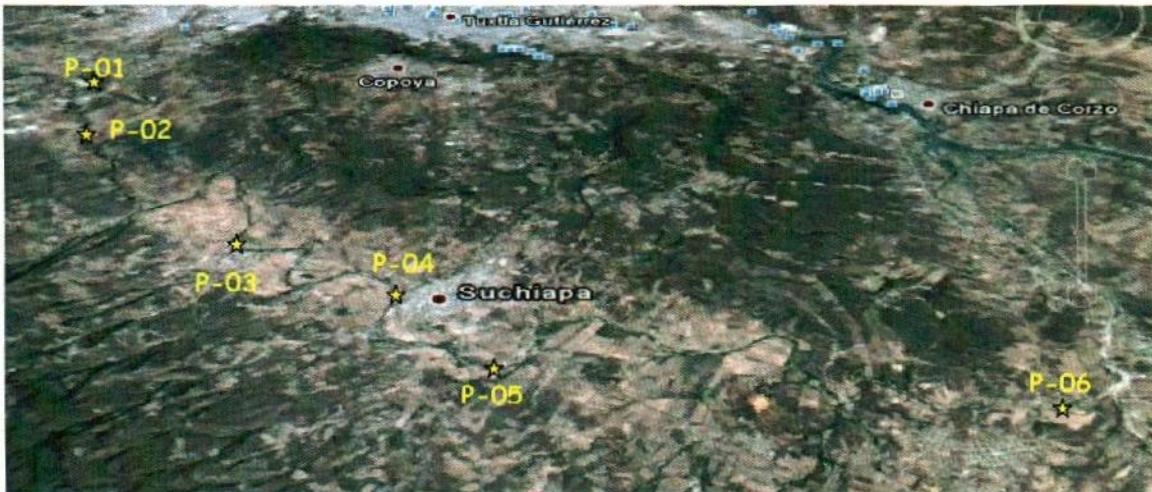
Este GPS está diseñado para dotar al usuario de posiciones GPS correctas, utilizando corrección de datos obtenidos por WAAS (Wide Área Augmentation System). Su precisión en posiciones es menor a tres metros al recibir correcciones WAAS.

Los puntos de muestreo seleccionados se muestran en el cuadro 8 y foto 2.

Sitios de muestreo	Coordenadas
P-01 Aguas Arriba río Sabinalito.	16° 42' 16.80"N 93° 10' 57.30"W
P-02 Aguas Abajo río Sabinalito.	16° 40' 05.76"N 93° 10' 00.15"W
P-03 Captación Pacú.	16° 38' 28.01"N 93° 08' 14.43"W
P-04 Captación Suchiapa.	16° 37' 35.45"N 93° 06' 25.31"W
P-05 Descarga Suchiapa.	16° 36' 34.52"N 93° 05' 43.85"W
P-06 Aguas Abajo río Suchiapa entronque SD.	16° 35' 57.74"N 93° 00' 43.62"W

Cuadro 8. Sitios de muestreo seleccionados en la subcuenca del río Suchiapa y sus afluentes.

Foto 2. Foto satelital de los sitios de muestreo del río Suchiapa y sus afluentes.



La selección de los sitios de muestreo se realizó basándonos de los siguientes criterios:

- Representatividad ecológica del sitio.
- Proximidad al núcleo urbano.
- Accesibilidad al sitio de muestreo.
- Seguridad.

### 7.3 Características e importancia de los sitios seleccionados.

**P-01. Aguas arriba río Sabinalito (Anexo 2).** Se encuentra localizado aproximadamente a 5 kilómetros del centro de Terán Municipio de Tuxtla Gutiérrez, cerca de las instalaciones deportivas del Club Cruz Azul, (cuchilla Santa Rosa) carretera Aeropuerto-Escuela de Veterinaria, en esta zona la actividad principal observada es la agricultura. Este punto es importante dado que se observa que el agua no está tan contaminada de residuos sólidos, además se encuentra muy cerca del paso de carretera y se pudo constatar que existe un centro de suministro de agua en pipas. Fotos 3 y 4.



Foto 3. Sitio de muestreo aguas arriba río Sabinalito.



Foto 4. Suministro de agua del sitio por servicio de pipas, para diferentes usos.

**P-02. Aguas abajo río Sabinalito (Anexo 3).** Se encuentra localizado en las aproximaciones de las rancherías aledañas a la localidad el boquerón, entrando por la nueva carretera del relleno sanitario de Tuxtla Gutiérrez frente a la Escuela de Veterinaria; la actividad principal de las comunidades es la agricultura, este punto es de vital importancia dado que se encuentra muy cerca del relleno sanitario y en épocas de lluvia se forma un arroyo que entronca en este punto, arrastrando desechos hacia el río; además se observó en este sitio, que se extrae agua por bombeo para su venta, desconociéndose el uso que se le da a esta agua. Fotos 5 y 6.



Foto 5. Sitio de muestreo aguas abajo río Sabinalito. El sitio se observa perturbado por la presencia de desechos que son arrastrados en temporada de lluvias del relleno sanitario y por los lugareños que arrojan sus desechos a los sitios cercanos al río.



Foto 6. Extracción de agua del sitio por lugareños, para diferentes usos. Utilizan tambos cisternas tipo "Rotoplas" y lo transportan con tractores por lo inaccesible del sitio.

**P-03. Captación Pacú (Anexo 4).** Se encuentra localizado a 500 mts. aproximadamente aguas arriba del poblado de Pacú, Municipio de Suchiapa, en esta zona la actividad principal observada es la agricultura. Este punto es importante ya que se encuentra muy cercano a la captación del sistema de agua para la localidad. Fotos 7 y 8.

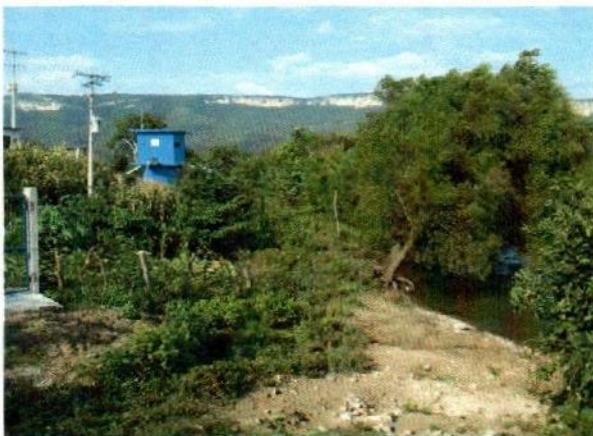


Foto 7. Sitio de muestreo, se observa la planta de captación muy cerca al punto de muestreo. Esta agua es distribuida a los habitantes de la localidad de Pacú municipio de Suchiapa,

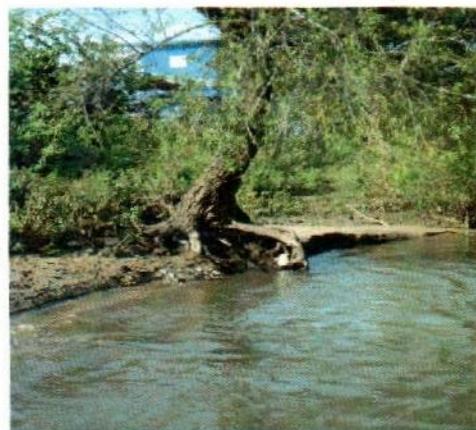


Foto 8. Sitio de muestreo, se observa que este sitio no se encuentra contaminado por la presencia de desechos sólidos.

**P-04. Captación Suchiapa (Anexo 5).** Se encuentra localizado aproximadamente a 200 metros aguas arriba previo al Municipio de Suchiapa, en esta zona la actividad principal es la agricultura, y es un punto importante y relevante ya que las muestras se obtuvieron en la zona de captación y suministro de agua para los pobladores de este Municipio, además se observó en esta parte del río que los lugareños acostumbran a bañarse. Fotos 9 y 10.

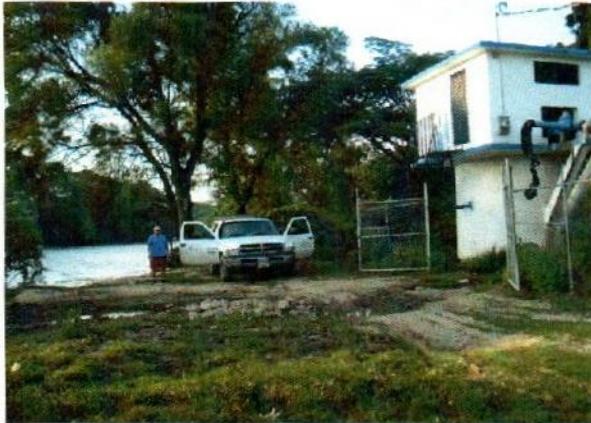


Foto 9. El sitio de muestreo se localiza muy cerca de la planta de captación de agua para el municipio de Suchiapa

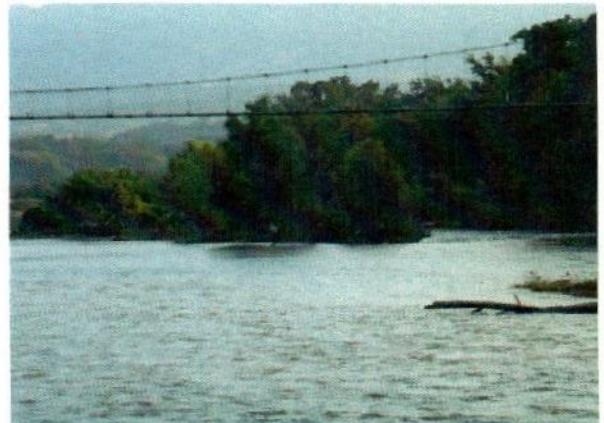


Foto 10. Lugar de muestreo, en esta zona los lugareños acostumbran a bañarse en el río y para uso de tipo recreativo y familiar los fines de semana.

**P-05. Descarga Suchiapa (Anexo 6).** Se encuentra localizado a 2 Kms. aproximadamente aguas abajo de la confluencia del río del poblado de Suchiapa, en esta zona la actividad principal que se observa es la agricultura, este punto fue de vital importancia que ya posterior al punto anterior se observan descargas residuales directas a éste y se constató además que algunos menores de este lugar practican la pesca muy cerca de las descargas y se bañan cotidianamente en estos sitios. Fotos 11 y 12.

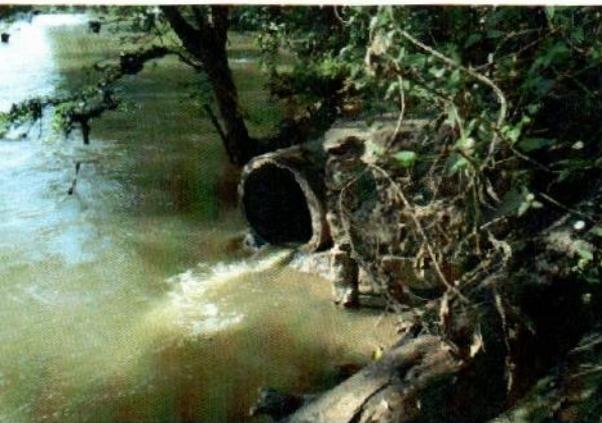


Foto 11. El sitio se localiza aguas abajo del punto de captación Suchiapa, en esta zona se observó que existen descargas directas al río Suchiapa y se constató que muy cerca de las descargas los lugareños principalmente niños acostumbran a pescar y bañarse.



Foto 12. Otras descargas directas al río Suchiapa.

**P-06. Aguas Abajo río Suchiapa entronque SD (Anexo 7).** Se encuentra localizado A 250 mts. aguas arriba del entronque con el río Santo Domingo, la actividad principal de esta zona es la agricultura y es un sitio importante, ya que es el punto final que nos proporcionará los elementos necesarios para conocer la descarga de contaminantes que fluyen hacia el río Grijalva, además se observó que los lugareños tienen actividades de pesca, recreación y bombeo de agua para suministro. Fotos 13 y 14.



Foto 13. Sitio de muestreo, este sitio se localiza muy cerca del entronque con el río Santo Domingo.



Foto 14. En este sitio se observó que practican la pesca y los lugareños se llegan a bañar al río, además se observó la captación de agua en pipas.

#### **7.4 Muestreo.**

Para conocer la calidad de agua de la subcuenca del río Suchiapa y sus afluentes, se colectaron muestras de agua superficial en cada sitio de muestreo durante 4 periodos comprendidos entre los meses de Junio a Diciembre del 2007, estos muestreos fueron adoptados según la capacidad y programación de recepción de muestras de los laboratorios involucrados.

El muestreo realizado fue de tipo manual y puntual (Foto 15), fundamentado con base a la NMX-AA-003-SCFI-2006. Aguas Residuales, Municipales e Industriales. MUESTREO; y al Manual de Muestreo del Laboratorio Regional de Calidad del Agua, Frontera Sur, revisión 2.0 Noviembre de 2004.



Foto 15. Tipo de muestreo manual y puntual.

### 7.5 Plan de Muestreo.

Se realizó un plan estratégico de muestreo en el que se describieron los objetivos, alcance, organización y responsabilidades, sitios de muestreo, caracterización del ambiente, tamaño de la muestra, procedimiento de muestreo, seguridad, papelería a utilizar y transporte de las muestras, se efectuó además el llenado de formatos, hojas de campo y cadena de custodia externa-recepción de muestras establecidos por los laboratorios Regional de Calidad del Agua, Frontera Sur y el laboratorio de Monitoreo Ambiental del IHNE.

### 7.6 Análisis *in situ*.

Se determinó: Temperatura Ambiente, Temperatura del agua, pH, Conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales y oxígeno disuelto.

Para los parámetros *in situ* se utilizaron los siguientes equipos:

1. Termómetro Marca Brannan escala de  $-1^{\circ}\text{C}$  a  $50^{\circ}\text{C}$  con divisiones de  $0.1^{\circ}\text{C}$ .
2. Sistema Multi-Sonda YSI 556 MPS.



**YSI 556 MPS**  
Sistema Multi-Sonda

Con el YSI 556 MPS, se obtuvieron resultados simultáneos de oxígeno disuelto, SDT, conductividad, temperatura y pH.

### 7.7 Estándares utilizados para la verificación del equipo.

Parámetro	Estándares		Volumen aprox. requerido
	Buffer	Conc.	
Conductividad	KCl	1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$	100 ml
	KCl	141.13 $\mu\text{S}/\text{cm}$	100 ml
	M.C	Conc. conocida	100 ml
pH	Buffer	4,0	100 ml
	Buffer	7,0	100 ml
	Buffer	10,0	100 ml
	Buffer	6,86	100 ml
	Buffer	4,01	100 ml
	Buffer	9,19	100 ml
	M.C	Conc. conocida	100 ml

### 7.8 Tamaño de la muestra.

PUNTO DE MUESTREO	TIPO DE MUESTRA	TIPO DE MUESTRA	TOTAL DE MUESTRAS
AGUAS ARRIBA SABINALITO	Superficial	Sedimentos	2
AGUAS ABAJO SABINALITO	Superficial	Sedimentos	2
CAPTACION DE PACÚ	Superficial	Sedimentos	2
CAPTACION DE SUCHIAPA	Superficial	Sedimentos	2
DESCARGA DE SUCHIAPA	Superficial	Sedimentos	2
A. A. RIO SUCHIAPA ENTRONQUE SD	Superficial	Sedimentos	2
DUPLICADO (punto a determinar)	Superficial	Sedimentos	2
BLANCO DE CAMPO	Superficial	Sedimentos	2

### 7.9 Volumen de muestra requerida.

Punto de muestreo	Fisicoquímicos Volumen aprox. (ml)	Microbiológico Volumen aprox. (ml)	Alcalinidad Volumen Aprox. (ml)	Dureza Volumen aprox. (ml)	NH <sub>3</sub> Volumen aprox. (ml)	Total Volumen aprox. (ml)	Plaguicidas y Metales Aprox (gr)
AGUAS ARRIBA SABINALITO	5000	350	500	1000	2000	8850	400 gr. Sedimentos
AGUAS ABAJO SABINALITO	5000	350	500	1000	2000	880	400 gr. Sedimentos
CAPTACION DE PACÚ	5000	350	500	1000	2000	8850	400 gr. Sedimentos
CAPTACION DE SUCHIAPA	5000	350	500	1000	2000	13850	400 gr. Sedimentos
DESCARGA DE SUCHIAPA	5000	350	500	1000	2000	8850	400 gr. Sedimentos
A. A. RIO SUCHIAPA ENTRONQUE SD	5000	350	500	1000	2000	8850	400 gr. Sedimentos
DUPLICADO	5000	350	500	1000	2000	8850	400 gr. Sedimentos
BLANCO DE CAMPO	5000	350	500	1000	2000	8850	400 gr. Sedimentos

### 7.10 Tipo de envases.

Punto de muestreo	Fisicoquímico	Microbiológico	Alcalinidad	Dureza	NH <sub>3</sub>	Plaguicidas y Metales	Total Frascos
AGUAS ARRIBA SABINALITO	Plástico	Vidrio ámbar	Plástico	Plástico	Plástico	Vidrio color ámbar	6
AGUAS ABAJO SABINALITO	Plástico	Vidrio ámbar	Plástico	Plástico	Plástico	Vidrio color ámbar	6
CAPTACION DE PACÚ	Plástico	Vidrio ámbar	Plástico	Plástico	Plástico	Vidrio color ámbar	6
CAPTACION DE SUCHIAPA	Plástico	Vidrio ámbar	Plástico	Plástico	Plástico	Vidrio color ámbar	6
DESCARGA DE SUCHIAPA	Plástico	Vidrio ámbar	Plástico	Plástico	Plástico	Vidrio color ámbar	6
A.A. RIO SUCHIAPA ENTRONQUE SD	Plástico	Vidrio ámbar	Plástico	Plástico	Plástico	Vidrio color ámbar	6
DUPLICADO	Plástico	Vidrio ámbar	Plástico	Plástico	Plástico	Vidrio color ámbar	6
BLANCO	Plástico	Vidrio ámbar	Plástico	Plástico	Plástico	Vidrio color ámbar	6
RECIPIENTES DE REPUESTO	Plástico	Vidrio ámbar	Plástico	Plástico	Plástico	Vidrio color ámbar	6

### 7.11 Tipo de preservador.

Punto de muestreo	Fisicoquímicos	Microbiológico	Alcalinidad	Dureza	NH <sub>3</sub>	Plaguicidas y Metales
AGUAS ARRIBA SABINALITO	Hielo	Hielo	Hielo	Hielo HNO <sub>3</sub> Llevar a pH <2	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> y Hielo pH<2	Hielo HNO <sub>3</sub> Llevar a pH <2
AGUAS ABAJO SABINALITO	Hielo	Hielo	Hielo	Hielo HNO <sub>3</sub> Llevar a pH <2	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> y Hielo pH<2	Hielo HNO <sub>3</sub> Llevar a pH <2
CAPTACION PACÚ	Hielo	Hielo	Hielo	Hielo HNO <sub>3</sub> Llevar a pH <2	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> y Hielo pH<2	Hielo HNO <sub>3</sub> Llevar a pH <2
CAPTACION DE SUCHIAPA	Hielo	Hielo	Hielo	Hielo HNO <sub>3</sub> Llevar a pH <2	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> y Hielo pH<2	Hielo HNO <sub>3</sub> Llevar a pH <2
DESCARGA DE SUCHIAPA	Hielo	Hielo	Hielo	Hielo HNO <sub>3</sub> Llevar a pH <2	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> y Hielo pH<2	Hielo HNO <sub>3</sub> Llevar a pH <2
A.A. RIO SUCHIAPA ENTRONQUE SD	Hielo	Hielo	Hielo	Hielo HNO <sub>3</sub> Llevar a pH <2	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> y Hielo	Hielo HNO <sub>3</sub> Llevar a pH <2
BLANCO DE CAMPO	Hielo	Hielo	Hielo	Hielo HNO <sub>3</sub> Llevar a pH <2	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> y Hielo pH<2	Hielo HNO <sub>3</sub> Llevar a pH <2
DUPLICADO	Hielo	Hielo	Hielo	Hielo HNO <sub>3</sub> Llevar a pH <2	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> y Hielo pH<2	Hielo HNO <sub>3</sub> Llevar a pH <2

### 7.12 Tiempos máximos previos al análisis.

Parámetro	Tiempo máximo previo al análisis
Temperatura	Al instante
pH	2 horas
Conductividad eléctrica	24 horas
Oxígeno disuelto	8 horas
Alcalinidad total	24 horas
Dureza total	7 días
Nitrógeno amoniacal	7 días
Nitritos	24 horas
Nitratos	24 horas

Parámetro	Tiempo máximo previo al análisis
Fósforo total	28 días
DQO	28 días
DBO	24 horas
SDT	7 días
SST	7 días
SSE	7 días
Coliformes Fecales	24 horas
Coliformes totales	24 horas

### 7.13 Análisis de Laboratorio.

Los análisis se realizaron en los Laboratorios Regional de Calidad del Agua, Frontera Sur y en el Laboratorio de Monitoreo Ambiental del IHNE, fundamentados con base a las Normas Oficiales Mexicanas, Manual de Técnicas Analíticas del Laboratorio Regional de Calidad del Agua, Frontera Sur y a los Métodos de la US-EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, por sus siglas en inglés).

Los materiales y métodos utilizados para la medición de los diferentes parámetros fisicoquímicos, bacteriológicos, metales pesados y plaguicidas organoclorados, fueron los establecidos por las Normas Oficiales Mexicanas, Manual de Técnicas Analíticas del Laboratorio Regional de Calidad del Agua, Frontera Sur y al Método 8081-B-2000 de la US-EPA (Anexo 8).

Los resultados fueron comparados con los Límites Máximos Permisibles establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas NOM-001-SEMARNAT-1996; que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, la NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización y los valores guías permisibles canadienses de metales pesados en sedimentos, para la conservación y protección de la vida acuática, propuestos por la CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment).

Por las características particulares del presente estudio y de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, se definieron los siguientes conceptos:

Límite Máximo Permissible (LMP): Valor o rango asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en la descarga de aguas residuales.

Además es importante y trascendente definir, dadas las características especiales de la zona, los LMP dependiendo del tipo de cuerpo receptor, según la Ley Federal de Derechos:

Uso en riego agrícola (A): La utilización del agua destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecho de productos agrícolas y su preparación para la primera enajenación, siempre que los productos no hayan sido objeto de transformación industrial.

Uso público urbano (B): La utilización de agua nacional para centros de población o asentamientos humanos, destinada para el uso y consumo humano, previa potabilización.

Protección de vida acuática (C).

De acuerdo a la NOM-127-SSA1-1994, se define como:

**Límite Permisible (LP):** Concentración o contenido máximo o intervalo de valores de un componente, que garantiza que el agua será agradable a los sentidos y no causará efectos nocivos a la salud del consumidor.

#### 7.14 Métodos aplicados.

##### MÉTODOS DE CAMPO

Parámetro	Unidad	Método Aplicado
TEMPERATURA AMBIENTE	°C	Directo
TEMPERATURA DEL AGUA	°C	NMX-AA-007-SCFI-2000
PH	U	NMX-AA-008-SCFI-2000
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	µs/cm	NMX-AA-093-SCFI-2000
SDT	mg/L	Directo
OXÍGENO DISUELTO	mg/L	NMX-AA-012-SCFI-2000

##### MÉTODOS DE LABORATORIO

Parámetro	Unidad	Método Aplicado
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	NMX-AA-028-SCFI-2001
DUREZA TOTAL	mg/L	NMX-AA-072-SCFI-2001
ALCALINIDAD TOTAL	mg/L	NMX-AA-036-SCFI-2001
NITRÓGENO AMONIAICAL	mg/L	NMX-AA-026-SCFI-2001
NITRÓGENO ORGÁNICO	mg/L	NMX-AA-026-SCFI-2001
NITRITOS	mg/L	NMX-AA-099-SCFI-2006
NITRATOS	mg/L	NMX-AA-079-SCFI-2001
FÓSFORO TOTAL	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2001
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	NMX-AA-030-SCFI-2001
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	ml/L	NMX-AA-004-SCFI-2000
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2001
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2001
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 ml	NMX-AA-042-1987
COLIFORMES FECALES	NMP/100 ml	NMX-AA-042-1987
PLAGUICIDAS ORGANOCORADOS	mg/Kg	EPA 8081-B-2000
METALES PESADOS	mg/kg	NMX-AA-051-SCFI-2001 Método 3050B EPA

## VIII Resultados

Se realizaron 4 muestreos a lo largo del año, en el periodo comprendido del mes de Junio al mes de Noviembre del 2007.

Los resultados de los análisis físico-químicos, bacteriológicos, fueron comparados con los valores límites máximos permisibles de la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-127-SSA1-1994.

En virtud de que se carecen de Normas regulatorias en nuestro País, para establecer los límites permisibles de presencia de metales pesados en sedimentos, los resultados de metales pesados de esta investigación se compararon con las legislaciones Canadienses (*Canadian Guidelines for the Sediment Quality*) propuestos por la CCME como valores guías permisibles para sedimentos en la protección de la vida acuática.

Se determinó la presencia o ausencia de plaguicidas organoclorados en sedimentos de la subcuenca del río Suchiapa y sus afluentes, con fundamento al Método EPA 8081-B-2000.

Para conocer la calidad del agua, se realizó la evaluación de la calidad utilizando los indicadores establecidos por la CONAGUA (Comisión Nacional del Agua), a partir de año 2007.

Con los resultados obtenidos de los análisis físico-químicos, bacteriológicos, metales pesados, plaguicidas organoclorados y de calidad del agua se determinó el impacto en la salud humana y acuática que ésta subcuenca presenta.

# RESULTADOS

## Aguas Arriba río Sabinalito

Fecha de Muestreo	In Situ						Físico-Químicos										Bacteriológicos		Metales									
	Temperatura Ambiente °C	Temperatura del agua °C	pH (U)	Conductividad Eléctrica µS/cm	SOT mg/L	Oxígeno Disuelto mg/L	DBO <sub>5</sub> mL/L	Dureza Total mg/L	Alcalinidad Total mg/L	Nitrógeno Amoniacal mg/L	Nitrógeno orgánico mg/L	Nitritos mg/L	Nitrosos mg/L	Fósforo Total mg/L	DBO mg/L	Sólidos sedimentables mL/L	SST mg/L	SDT mg/L	Coliformes Totales NMP/100 ml	Coliformes Fecales NMP/100 ml	Pb mg/Kg	Cu mg/Kg	Cd mg/Kg	As mg/Kg	Zn mg/Kg	Cr mg/Kg	Ni mg/Kg	Hg mg/Kg
17/06/2007	25	26	7.53	767	499	5.6	<3.0	379	304	0.83	0.42	<0.010	6.38	0.25	7.56	0.1	224	298	4,600	1,919	32.2	32.3	0.0	1.77	56	245	307	0.0
07/08/2007	28.5	27.3	7.29	562	281	3.5	<3.0	291	246	0.67	<0.4	0.03	7	0.26	12.5	0.1	46	370	1,600,000	220,000	46.9	18.1	2.89	2.3	24.7	87.3	164	0.0
09/10/2007	22.6	26.3	6.78	793	396	3.39	<3.0	405	376	1.07	<0.4	0.013	6.25	<0.11	NR	0.1	48	NR	21,300	3,000	28.5	21.9	0.0	1.12	37.4	163	189	0.0
07/11/2007	28	25.2	7.23	828	539	4.02	<3.0	439	336	0.53	<0.4	<0.01	6.35	<0.11	5.91	0.1	46	566	81,640	100	25.3	23.2	0.0	2.76	45.6	207	220.4	0.0

## Aguas Abajo río Sabinalito

Fecha de Muestreo	In Situ						Físico-Químicos										Bacteriológicos		Metales									
	Temperatura Ambiente °C	Temperatura del agua °C	pH (U)	Conductividad Eléctrica µS/cm	SOT mg/L	Oxígeno Disuelto mg/L	DBO <sub>5</sub> mL/L	Dureza Total mg/L	Alcalinidad Total mg/L	Nitrógeno Amoniacal mg/L	Nitrógeno orgánico mg/L	Nitritos mg/L	Nitrosos mg/L	Fósforo Total mg/L	DBO mg/L	Sólidos sedimentables mL/L	SST mg/L	SDT mg/L	Coliformes Totales NMP/100 ml	Coliformes Fecales NMP/100 ml	Pb mg/Kg	Cu mg/Kg	Cd mg/Kg	As mg/Kg	Zn mg/Kg	Cr mg/Kg	Ni mg/Kg	Hg mg/Kg
17/06/2007	27	23.7	7.83	499	325	7.82	<3.0	272	177	0.77	0.48	0.024	2.48	0.47	22.7	0.1	154	328	5,490	5,043	42.98	18.2	0.0	1.9	36.4	123.9	123.0	0.0
07/08/2007	27	25.4	8.12	805	404	3.3	<3.0	406	308	0.62	<0.4	0.02	1.85	0.18	15.3	0.2	230	514	110,000	17,000	39.1	14.7	0.0	3.42	23.7	188.4	176.4	0.0
09/10/2007	22.5	24.3	7.68	403	336	3.44	<3.0	346	333	2.25	<0.4	NR	3.42	<0.11	6.84	0.1	68	NR	104,300	6,300	32.7	15.6	0.0	2.43	30	210	152.2	0.0
07/11/2007	28.5	24.6	7.86	403	262	3.79	<3.0	223	192	0.65	<0.4	<0.01	1.12	0.17	5.91	0.1	64	278	198,630	3,270	23.2	8.45	0.0	4.96	35.9	314	163.5	0.0

Captación Pacú

Fecha de Muestreo	In Situ						Físico-Químicos										Bacteriológicos		Metales									
	Temperatura Ambiente °C	Temperatura del agua °C	pH (U)	Conductividad Eléctrica µS/cm	SDT mg/L	Oxígeno Disuelto mg/L	DBO <sub>5</sub> ml/L	Dureza Total mg/L	Alcalinidad Total mg/L	Nitrógeno Amoniacal mg/L	Nitrógeno orgánico mg/L	Nitritos mg/L	Nitritos mg/L	Fósforo Total mg/L	DOO mg/L	Sólidos sedimentables mL/L	SST mg/L	SDT mg/L	Coliformes Totales NMP/100 ml	Coliformes Fecales NMP/100 ml	Pb mg/Kg	Cu mg/Kg	Cd mg/Kg B	As mg/Kg	Zn mg/Kg	Cr mg/Kg	Ni mg/Kg	Hg mg/Kg
17/06/2007	30.6	27.1	7.98	514	334	6.18	5.58	288	226	0.77	0.42	<0.01	4.69	0.41	20.6	0.1	202	290	14,127	14,127	0.0	7.79	0.0	0.0	28.8	35.9	21.8	0.0
07/08/2007	32.5	29.6	7.97	500	249	3.2	<3.0	249	215	0.67	<0.4	<0.01	3.2	0.28	13.5	0.1	112	294	8,000	4,000	0.0	10.9	0.0	0.76	40.3	37.1	23.9	0.0
09/10/2007	27.1	25.5	7.77	444	223	7.38	<3.0	214	226	1.24	<0.4	NR	1.5	0.19	8.6	0.1	48	NR	11,900	5,200	26.4	14.3	0.0	0.19	33.1	44.4	36.7	0.0
07/11/2007	24.5	23.5	7.98	393	256	4.64	<3.0	234	158	0.65	<0.4	<0.01	1.1	0.12	6.74	0.1	60	264	36,540	630	0.0	6.84	0.0	1.4	33.7	36.7	21.3	0.0

Captación Suchiapa

Fecha de Muestreo	In Situ						Físico-Químicos										Bacteriológicos		Metales									
	Temperatura Ambiente °C	Temperatura del agua °C	pH (U)	Conductividad Eléctrica µS/cm	SDT mg/L	Oxígeno Disuelto mg/L	DBO <sub>5</sub> ml/L	Dureza Total mg/L	Alcalinidad Total mg/L	Nitrógeno Amoniacal mg/L	Nitrógeno orgánico mg/L	Nitritos mg/L	Nitritos mg/L	Fósforo Total mg/L	DOO mg/L	Sólidos sedimentables mL/L	SST mg/L	SDT mg/L	Coliformes Totales NMP/100 ml	Coliformes Fecales NMP/100 ml	Pb mg/Kg	Cu mg/Kg	Cd mg/Kg	As mg/Kg	Zn mg/Kg	Cr mg/Kg	Ni mg/Kg	Hg mg/Kg
17/06/2007	31.8	26.6	8.02	515	334	3.86	6.61	299	234	0.95	0.42	<0.01	4.98	0.51	28.2	0.1	288	236	17,000	3,578	0.0	6.51	0.0	0.27	20.5	24.9	16.5	0.0
07/08/2007	31.5	28.9	7.95	484	241	2.6	3.35	240	205	0.67	<0.4	<0.01	2.55	0.4	11.1	0.1	140	296	21,000	4,000	0.0	4.4	0.0	0.15	15.4	16.0	6.57	0.0
09/10/2007	26.9	25.1	7.7	429	217	6.75	<3.0	247	225	1.18	<0.4	NR	1.34	0.14	NR	0.1	64	NR	307,600	3,100	21.8	9.64	0.0	0.44	24.5	52.1	37.6	0.0
07/11/2007	25	23.7	7.9	395	257	4.24	<3.0	204	189	0.77	<0.4	<0.01	1.14	0.13	5.99	0.1	72	250	120,330	950	0.0	9.47	0.0	1.79	37.6	59	43.8	0.0

Descarga Suchiapa

Fecha de Muestreo	In Situ					Físico-Químicos										Bacteriológicos		Metales									
	Temperatura Ambiente °C	Temperatura del agua °C	pH (U)	Conductividad Eléctrica µS/cm	SDT mg/L	Oxígeno Disuelto mg/L	DBO <sub>5</sub> ml/L	Dureza Total mg/L	Alcalinidad Total mg/L	Nitrógeno Amoniacal mg/L	Nitrógeno orgánico mg/L	Nitritos mg/L	Nitratos mg/L	Fósforo Total mg/L	DQO mg/L	Sólidos sedimentables mL/L	SST mg/L	SDT mg/L	Coliformes Totales NMP/100 ml	Coliformes Fecales NMP/100 ml	Pb mg/Kg	Cu mg/Kg	Cd mg/Kg	As mg/Kg	Zn mg/Kg	Cr mg/Kg	Ni mg/Kg
17/06/2007	29.3	27.4	7.77	558	360	5.85	67.7	332	404	32.4	32	< 0.01	< 0.16	21.1	1097	3.9	336	1016	18,792	26.1	22.5	0.0	0.80	79.8	34.3	33.3	0.0
07/08/2007	32	29.3	7.12	1360	683	0	3.35	329	308	27.4	5.93	< 0.010	0.25	7.6	755	0.1	196	1022	330,000	0.0	17	0.0	1.22	68	58.8	44.9	0.0
09/10/2007	27.1	26.3	7.14	707	354	7.09	9.16	232	295	20.9	2.47	NR	< 0.16	8.92	201	1.3	138	NR	547,500	34.1	22.1	0.0	0.62	82.5	41.7	38	0.0
07/11/2007	27.5	26	7.46	1093	711	1.58	7.88	353	701	45.1	17.7	< 0.01	< 0.16	15	NR	5.9	240	1136	32,600,000	0.0	14.6	0.0	1.34	99.5	99.6	43.4	0.0

Aguas Abajo río Suchiapa entronque SD

Fecha de Muestreo	In Situ					Físico-Químicos										Bacteriológicos		Metales										
	Temperatura Ambiente °C	Temperatura del agua °C	pH (U)	Conductividad Eléctrica µS/cm	SDT mg/L	Oxígeno Disuelto mg/L	DBO <sub>5</sub> ml/L	Dureza Total mg/L	Alcalinidad Total mg/L	Nitrógeno Amoniacal mg/L	Nitrógeno orgánico mg/L	Nitritos mg/L	Nitratos mg/L	Fósforo Total mg/L	DQO mg/L	Sólidos sedimentables mL/L	SST mg/L	SDT mg/L	Coliformes Totales NMP/100 ml	Coliformes Fecales NMP/100 ml	Pb mg/Kg	Cu mg/Kg	Cd mg/Kg	As mg/Kg	Zn mg/Kg	Cr mg/Kg	Ni mg/Kg	Hg mg/Kg
17/06/2007	30	26	8.04	514	334	7.7	< 3.0	317	231	0.77	0.54	< 0.01	3.4	0.79	50.2	0.8	516	260	54,000	3,993	0.0	8.03	0.0	0.37	32.95	23.1	20.3	0.0
07/08/2007	31.5	29.5	8.27	460	230	3.53	< 3.0	227	205	0.67	< 0.4	< 0.01	2.8	0.38	18.1	0.3	256	286	70,000	30,000	0.0	2.73	0.0	0.34	8.04	6.32	0.0	0.0
09/10/2007	24.1	25.4	7.76	453	225	6.59	< 3.0	232	227	1.46	< 0.4	NR	1.52	0.17	< 0.5	0.1	76	NR	145,000	4,100	0.0	5.57	0.0	0.0	10.2	5.28	6.42	0.0
07/11/2007	28.5	24.6	7.86	403	262	3.79	< 3.0	223	192	0.65	< 4.0	< 0.01	1.12	0.17	5.91	0.1	64	278	198,630	3,270	0.0	4.68	0.0	0.59	17.1	15	9.09	0.0

## IX Discusión de Resultados.

### 9.1 Parámetros Físico-Químicos

Los resultados de la temperatura ambiente se muestran en la figura 1, donde los valores oscilaron de menor a mayor, con temperaturas de 22°C como mínima hasta 32.5°C como nivel máximo, esto se explica por las fluctuaciones normales del clima, ya que el monitoreo se iniciaba aproximadamente a las 8:00 a.m. con temperaturas bajas y las zonas de los puntos (P-01 y P-02) generalmente son zonas sombreadas por la presencia de árboles de sabino, finalizando por la tarde con temperaturas más altas en zonas no arboladas. Ver figura 1.

Figura 1. Temperatura Ambiente Método Directo

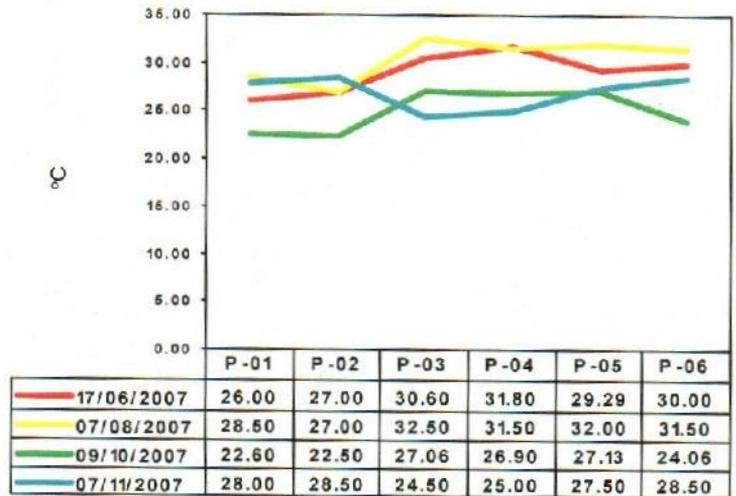
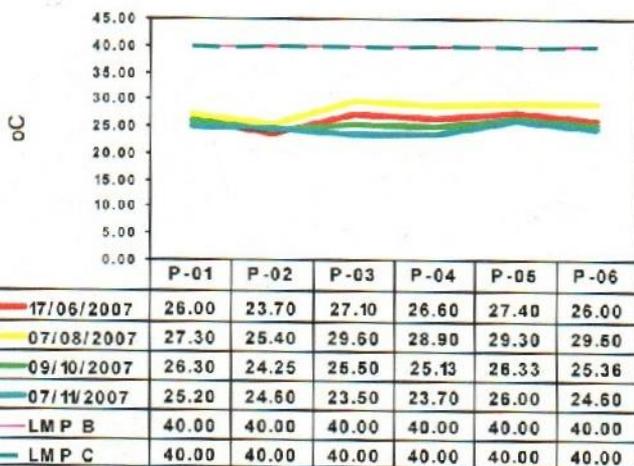
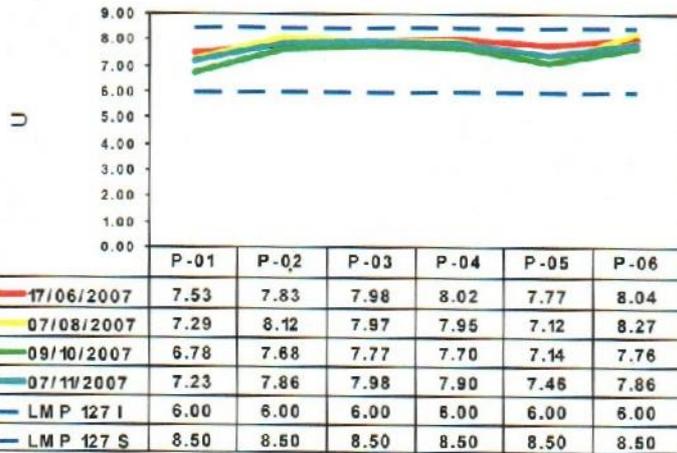


Figura 2. Temperatuta del Agua Método Aplicado NMX-AA-007-SCFI-2000



Los resultados de la temperatura del cuerpo de agua se muestran en la figura 2, en donde los valores oscilaron entre los 23.50°C como mínima, hasta menos de 30°C como nivel máximo, por lo que no rebasan los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996 que establecen 40°C como LMP para uso público urbano y para la protección de la vida acuática, por lo que los valores encontrados en todos los puntos de muestreo de esta investigación no representan riesgo alguno para la salud humana y acuática. Estos valores tienen influencia también con la temperatura ambiente.

Figura 3. pH  
Método Aplicado NMX-AA-008-SCFI-2000



Los resultados de pH observados en la figura 3, muestran que los valores más elevados se encontraron en el punto (P-06) aguas abajo del río Suchiapa en el segundo muestreo, con valores de 8.27 y valores más bajos se encontraron en el punto P-01 aguas arriba río Sabinalito con un valor de 6.78 en el tercer muestreo, sin embargo, estos valores de pH no rebasan los LMP de la NOM-127-SSA1-1994 que establece valores de 6.0 como mínimo y hasta 8.50 como máximo, por lo que los resultados encontrados no representan un riesgo.

Los resultados de conductividad eléctrica se analizan por separado; en las figuras 4 y 5. La figura 4 se realiza el análisis sin el punto (P-05) descarga Suchiapa.

Se observa que en los puntos (P-01 y P-02) aguas arriba y abajo río Sabinalito, los valores de conductividad son mayores que en los demás puntos con valores de hasta más de 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; los valores más significativos se presentaron en el P-01.

Figura 4. Conductividad Eléctrica  
Método Aplicado NMX-AA-093-SCFI-2000

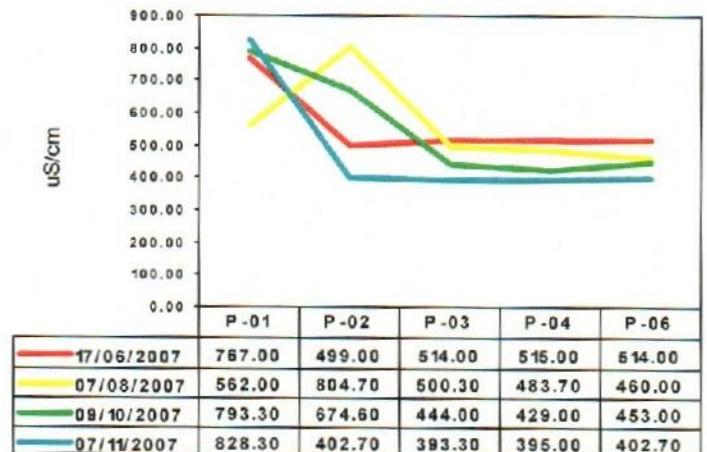
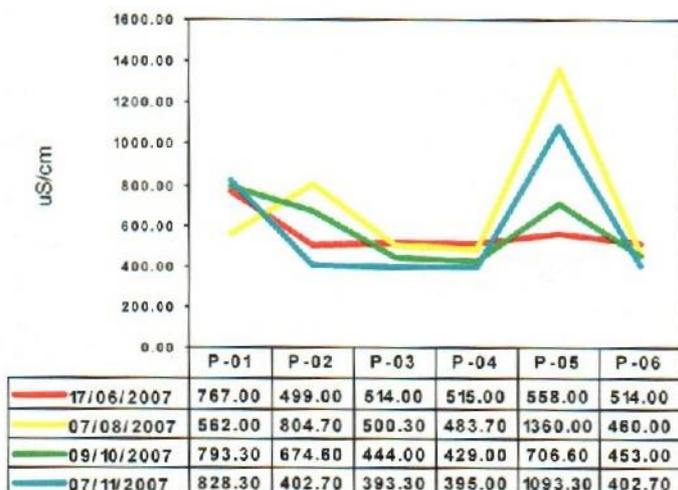


Figura 5. Conductividad Eléctrica  
Método Aplicado NMX-AA-093-SCFI-2000



Los resultados de conductividad eléctrica observados en la figura 5, se analizan incluyendo el (P-05) descarga Suchiapa.

Se aprecia notablemente en el punto de la descarga, valores de conductividad hasta de 1360  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , los valores de este parámetro, permite dar una idea del grado de mineralización y de la capacidad de transportar corriente eléctrica.

Los resultados de Sólidos Disueltos Totales (SDT) observados en la figura 6, muestran que los valores obtenidos no rebasan los LMP de la NOM-127-SSA1-1994, que establece un valor máximo de 1000 mg/L. Los valores más elevados se encontraron en el punto (P-05) de la descarga de Suchiapa, seguido del punto (P-01) aguas arriba de río Sabinalito, los valores menos significativos se encontraron en los puntos (P-03, P-04 y P-06) representado por las captaciones de Pacú y Suchiapa y en el punto final de aguas abajo río Suchiapa entronque con Santo Domingo. Los valores obtenidos de este parámetro no representan un riesgo para la salud humana.

Figura 6. Sólidos Disueltos Totales  
Método Directo

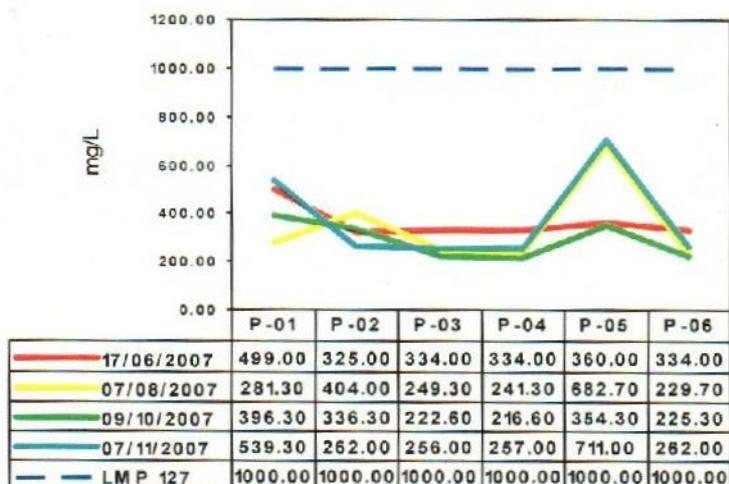
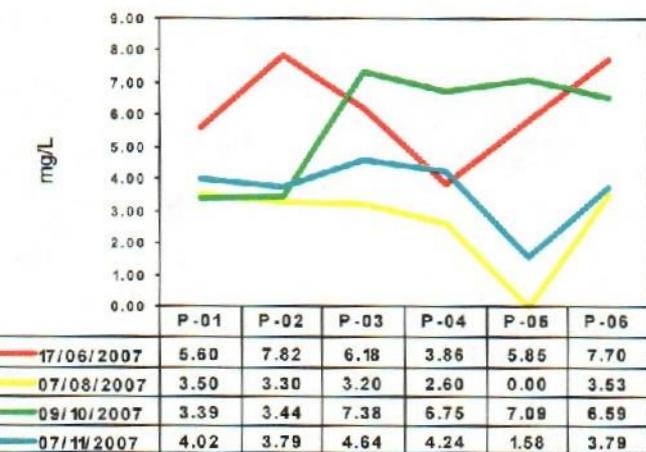


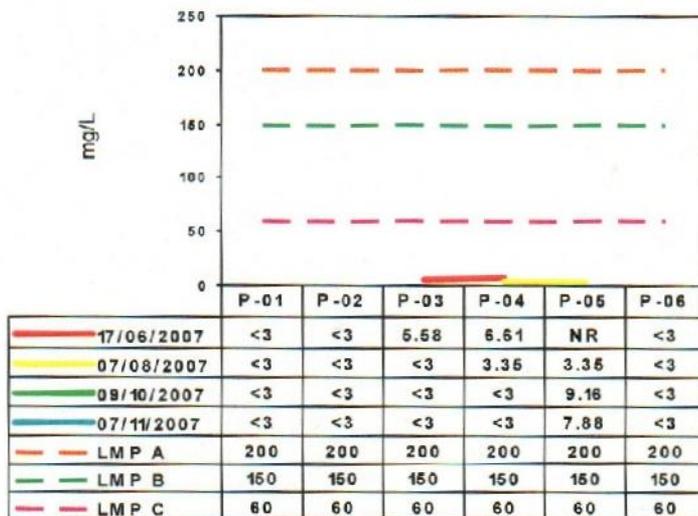
Figura 7. Oxígeno Disuelto  
Método Aplicado NMX-AA-012-SCFI-2000



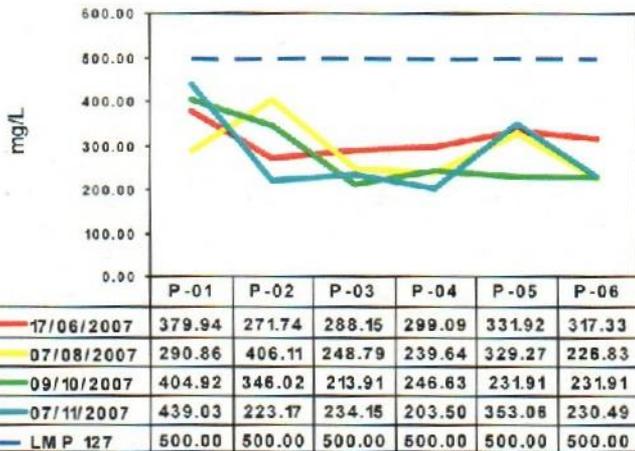
Los resultados de Oxígeno Disuelto (OD) observados en la figura 7, muestran que los valores más elevados se encontraron en el punto (P-02) aguas abajo del río Sabinalito en el primer muestreo con un valor máximo de 7.82, seguido por el punto (P-06) aguas abajo del río Suchiapa entronque con Santo Domingo con un valor de 7.70, los valores más bajos de OD se encontraron en los puntos de la descarga de Suchiapa seguido del punto (P-04) de la captación Suchiapa. Las Normas Oficiales Mexicanas actuales no tienen un valor Límite permisible para este importante parámetro, sin embargo existen otras referencias como los criterios ecológicos de calidad del agua publicados en 1989 en el Diario Oficial de la Federación que establecen un valor criterio de 5 mg/L para la protección de la vida acuática; otras referencias mencionan que concentraciones menores a 3 mg/L, pueden ser letales para la fauna piscícola de un lago o reservorio.

Los resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO<sub>5</sub> observados en la figura 8, muestran que los valores obtenidos en todos los puntos, no sobrepasan los LMP establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-1996, con estos resultados encontrados se determina que el agua de esta subcuenca no representan un riesgo para el uso de riego agrícola, uso público urbano ni para la protección de la vida acuática.

Figura 8. DBO<sub>5</sub>  
Método Aplicado NMX-AA-028-SCFI-2001



**Figura 9. Dureza Total**  
Método Aplicado NMX-AA-072-SCFI-2001



Los resultados de dureza, observados en la figura 9, manifiestan que los valores obtenidos no rebasan los LMP de la NOM-127-SSA1-1994, que establece un valor máximo de 5000 mg/L para este parámetro. Los valores más elevados se encontraron en punto (P-01) aguas arriba del río Sabinalito con un valor máximo de 439 mg/L, los valores más bajos en dureza se encontraron en la captación Pacú (P-03); por lo tanto se determina que no existe riesgo alguno para la salud humana.

Los resultados de alcalinidad, observados en la figura 10, manifiestan que los valores más altos se encontraron en el punto de la descarga de Suchiapa (P-05), seguido del punto (P-01) aguas arriba río Sabinalito y los valores más bajos se encontraron en punto de captación Pacú (P-03). Para este indicador no existen Normas Mexicanas que regulen los valores Límites Máximos Permisibles en descargas de aguas residuales en aguas y bienes Nacionales.

**Figura 10. Alcalinidad Total**  
Método Aplicado NMX-AA-036-SCFI-2001

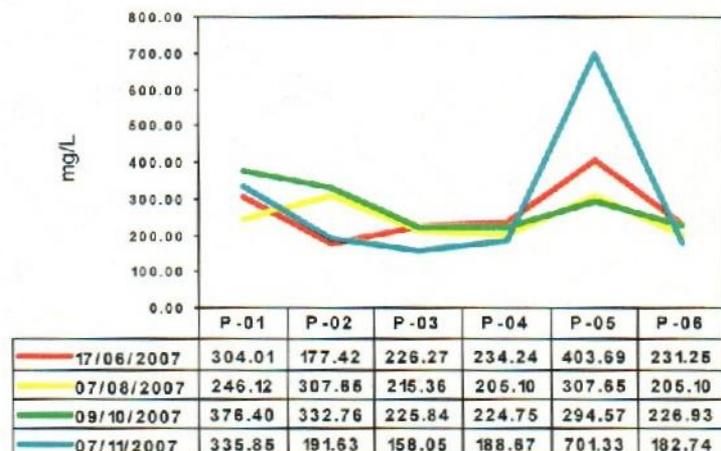
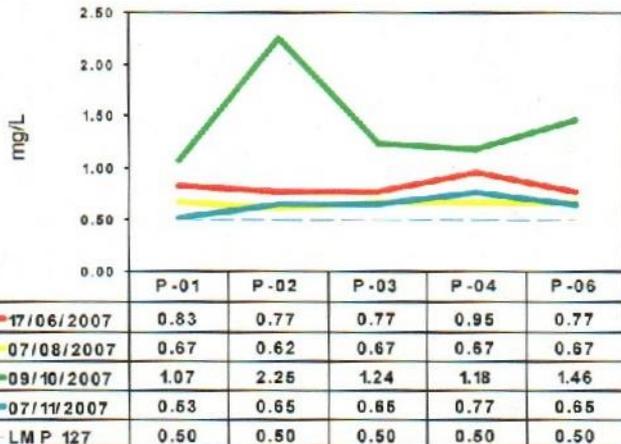


Figura 11. Nitrógeno Amoniacal  
Método Aplicado NMX-AA-026-SCFI-2001



Los resultados observados en la figura 11 de nitrógeno amoniacal, no incluyen el punto (P-05) de la descarga de Suchiapa, encontrándose que todos los valores rebasan los LMP de la NOM-127-SSA1-1994, que establece un valor máximo de 0.50 mg/L para este parámetro. Los valores más elevados se encontraron en el tercer muestreo en todos los puntos y con el mayor valor el punto (P-02) aguas abajo río Sabinalito con 2.25 mg/L; por lo tanto representan un riesgo para la salud humana en caso de que estas aguas sean utilizadas para consumo humano sin previo tratamiento de potabilización.

En la figura 12, se muestra el análisis de todos los puntos incluyendo el punto (P-05) de la descarga de Suchiapa, encontrándose que también los valores obtenidos en este punto rebasan por mucho los LMP de la NOM-127-SSA1-1994.

Figura 12. Nitrógeno Amoniacal  
Método Aplicado NMX-AA-026-SCFI-2001

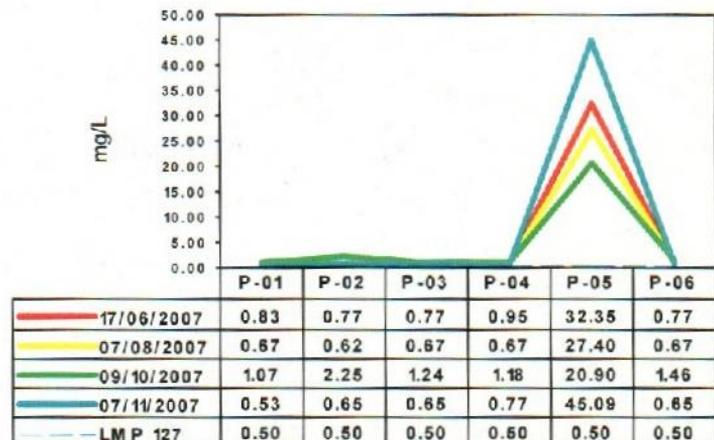
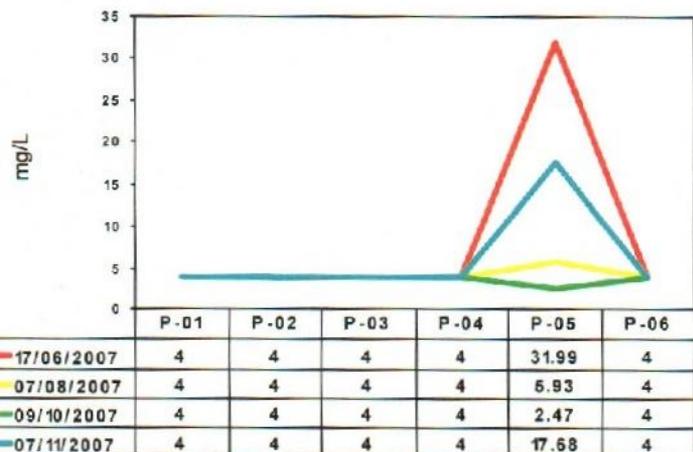


Figura 13. Nitrógeno Orgánico  
Método Aplicado NMX-AA-026-SCFI-2001



Los resultados obtenidos de nitrógeno orgánico, observados en la figura 13, muestran que en todos los puntos los valores fueron menores a 4 mg/L, exceptuando el (P-05) de la descarga de Suchiapa, donde se alcanzaron valores de hasta 31.99 mg/L.

Los resultados de nitritos de la figura 14, muestran que todos los valores encontrados no rebasan los LMP de la NOM-127-SSA1-1994, que establece un valor máximo de 0.05 mg/L para este parámetro. Los valores más elevados se encontraron en los puntos (P-01 y P-02) aguas arriba y abajo del río Sabinalito, sin que represente un riesgo para la salud humana.

Figura 14. Nitritos  
Método Aplicado NMX-AA-099-SCFI-2006

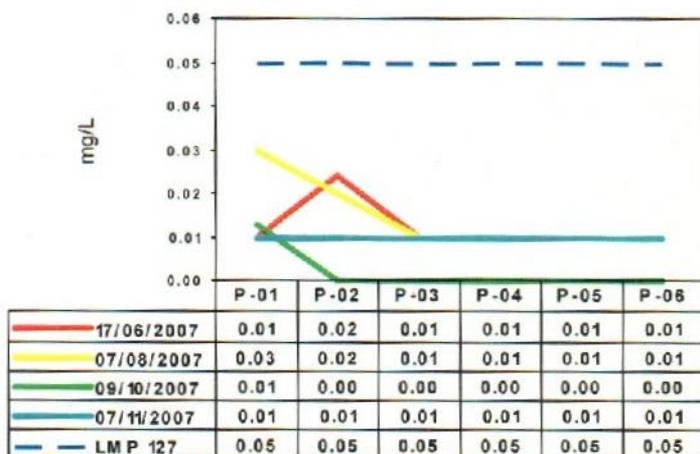
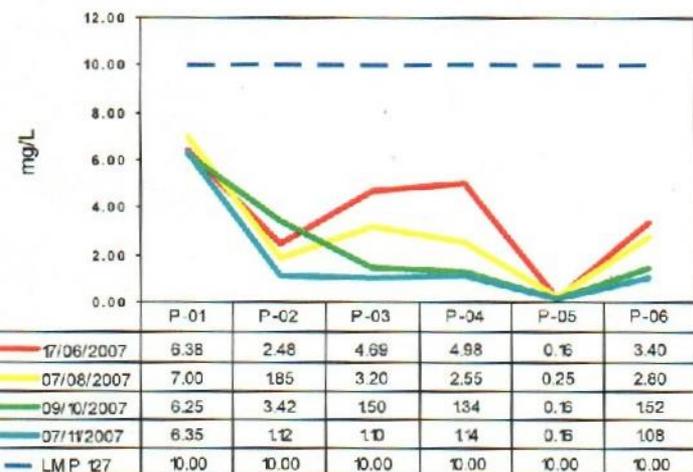
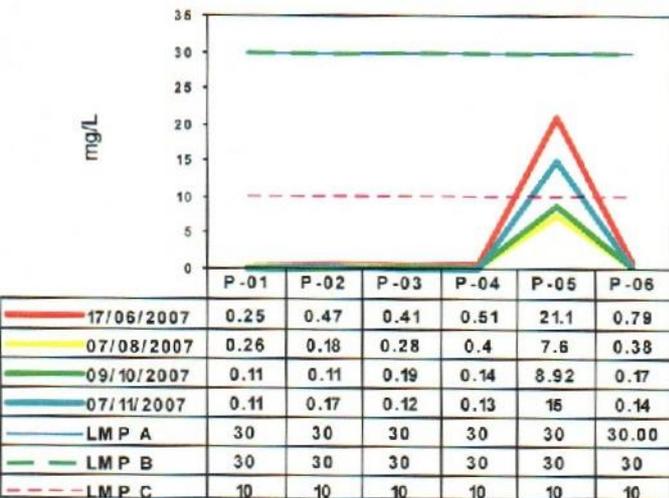


Figura 15. Nitratos  
Método Aplicado NMX-AA-079-SCFI-2001



Los resultados de nitratos observados en la figura 15, muestran que todos los valores encontrados no rebasan los LMP de la NOM-127-SSA1-1994, que establece un valor máximo de 0.05 mg/L para este parámetro. Los valores más elevados se encontraron en los puntos (P-01 y P-02) aguas arriba y abajo del río Sabinalito, sin que representen un riesgo para la salud humana.

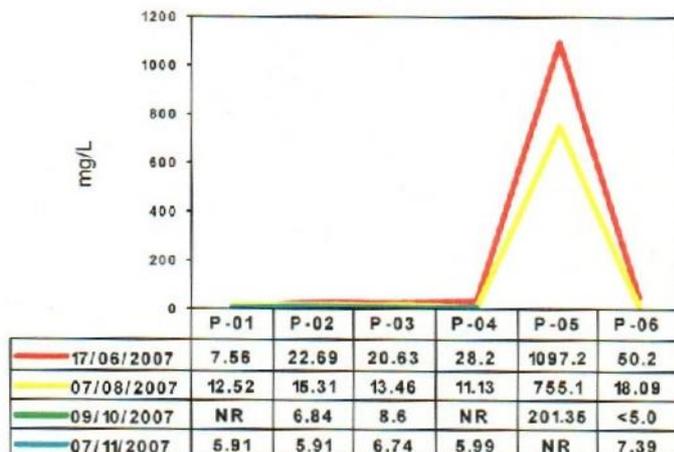
Figura 16. Fósforo Total  
Método Aplicado NMX-AA-034-SCFI-2001



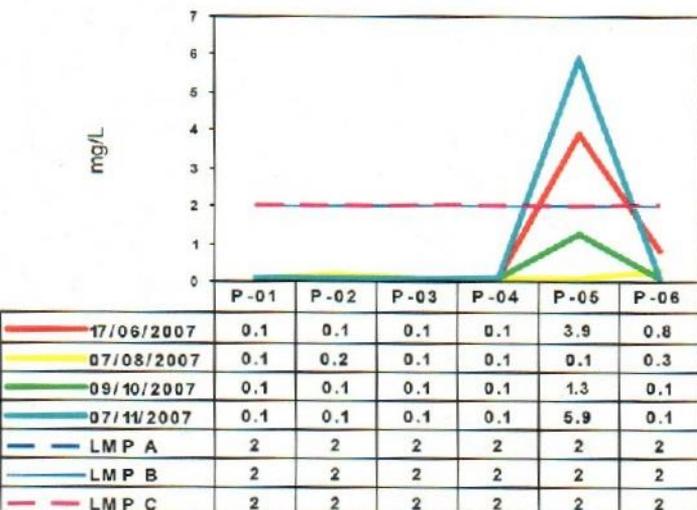
Los resultados de fósforo total observados en la figura 16, muestran que los valores obtenidos de este parámetro en todos los puntos, no sobrepasan los LMP establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-1996, por lo que los resultados encontrados determinan que el agua de esta subcuenca no representan un riesgo para el uso en riego agrícola, uso público urbano ni para la protección de la vida acuática. Los valores más elevados de este parámetro se encontraron en el P-05 de la descarga Suchiapa.

Los resultados de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) de la figura 17, muestran que los valores más elevados se encontraron en punto (P-05) descarga de Suchiapa y los valores más bajos se encontraron el (P-01) aguas arriba del río Sabinalito, a pesar de que no se reportó un dato. Las Normas Oficiales Mexicanas actuales no han regulado valores límites permisibles para este importante parámetro, ya que sus valores son de gran utilidad para medir el grado de contaminación de los desechos domésticos e industriales que son vertidos a los cuerpos de agua, así como para calcular el índice de biodegradabilidad.

Figura 17. DQO  
Método Aplicado NMX-AA-030-SCFI-2001



**Figura 18. Sólidos Sedimentables**  
Método Aplicado NMX-AA-004-SCFI-2000



Los resultados de sólidos sedimentables, observados en la figura 18, muestran que los valores obtenidos de este parámetro en todos los puntos, exceptuando el P-05, no sobrepasan los LMP establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-1996, de 2.0 mL/L, los valores de la descarga de Suchiapa, sí rebasan los límites, la mayoría de los valores de este punto de descarga pueden repercutir de seguir dándose de manera descontrolada y no regulada, propiciando un riesgo para el uso en riego agrícola, uso público urbano y protección de la vida acuática, ya que se detectaron varias descargas a lo largo del río aguas posteriores al punto de captación Suchiapa.(P-04).

Los resultados de sólidos suspendidos totales, observados en la figura 19, muestran que se obtuvieron valores que incluso ponen en riesgo la protección de la vida acuática por sobrepasar el LMP de la NOM-001-SEMARNAT-1996 que establece un LMP de 60 mg/L. Los puntos más críticos se encuentran en el P-02, P-04 y P-05 aguas abajo río Sabinalito, captación Suchiapa y descarga de Suchiapa respectivamente.

Referente al uso público urbano de esta matriz de la subcuenca podemos observar que la NOM-001-SEMARNAT-1996, establece un LMP de 125 mg/L, y son los mismos puntos que se encuentran rebasando los valores de los LMP, aunado a estos puntos el punto P-06 de aguas abajo río Suchiapa entronque con Santo Domingo.

El LMP establecido para uso en riego agrícola es de 200 mg/L y se rebasó en algunos de los puntos, como en el P-01, P-02, P-03 y P-04 en una ocasión, y en dos ocasiones los puntos P-05 y P-06. El valor máximo encontrado fue superior a 500 mg/L y se encontró en el P-06 aguas abajo río Suchiapa entronque con Santo Domingo.

**Figura 19. Sólidos Suspendidos Totales**  
Método Aplicado NMX-AA-034-SCFI-2001

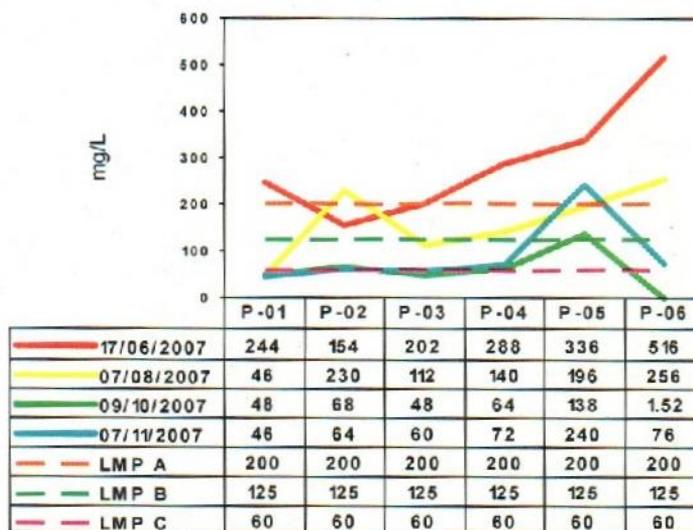
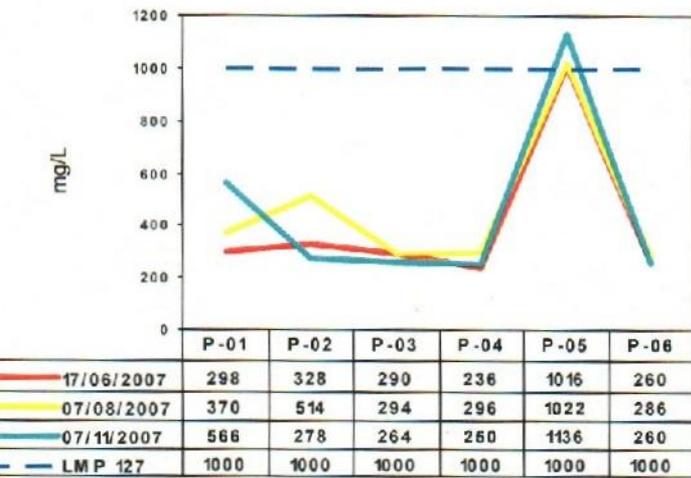


Figura 20. Sólidos Disueltos Totales  
Método Aplicado NMX-AA-034-SCFI-2001



Los resultados de Sólidos Disueltos Totales (SDT), observados en la figura 20, muestran que todos los valores encontrados no rebasan el LMP de la NOM-127-SSA1-1994, que establece un valor máximo de 1000 mg/L para este parámetro. Exceptuando los valores del P-05 de la descarga de Suchiapa, que si rebasaron los límites establecidos, por lo que los valores obtenidos de este parámetro no representa un riesgo para la salud humana, en todos los puntos exceptuando el de la descarga de Suchiapa.

En el cuadro 9 se presentan en resumen los parámetros fisicoquímicos que superaron los límites máximos permisibles de la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-127-SSA1-1994.

Sitios de Muestreo	Físico-Químicos																		
	Temperatura Ambiente °C	Temperatura del agua °C	pH (U)	Conductividad Eléctrica µS/cm	SDT mg/L	Oxígeno Disuelto mg/L	DBO <sub>5</sub> ml/L	Dureza Total mg/L	Alcalinidad Total mg/L	Nitrógeno Amoniacal mg/L	Nitrógeno orgánico mg/L	Nitritos mg/L	Nitratos mg/L	Fósforo Total mg/L	DQO mg/L	Sólidos sedimentables mL/L	SST mg/L	SDT mg/L	
Aguas arriba río Sabinalito										●								●	
Aguas abajo río Sabinalito										●								●●●	
Captación Pacú										●								●●●	
Captación Suchiapa										●								●●●●	
Descarga Suchiapa										●			●●			●●●●	●●●●	●●●●	
Aguas abajo río Suchiapa entronque con Santo Domingo										●						●●●●	●●●●	●●●●	

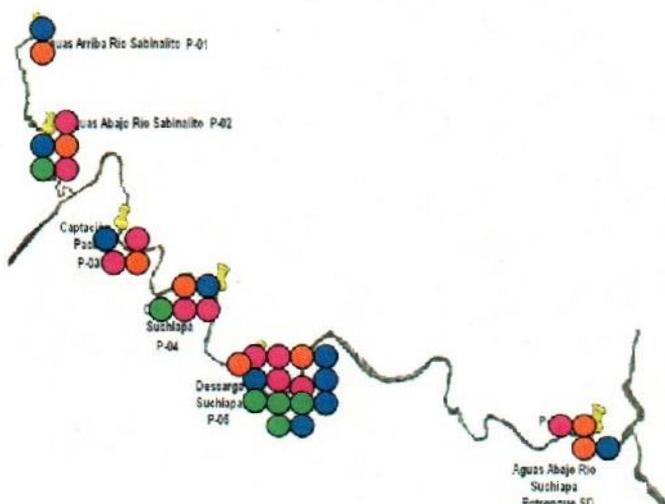
Cuadro 9. Sitios de estudio donde se rebasaron los Límites Máximos Permisibles de las Normas Oficiales Mexicanas NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-127-SSA1-1994.

**NOM-127-SSA1-1994.**

● Efectos nocivos a la salud del consumidor.

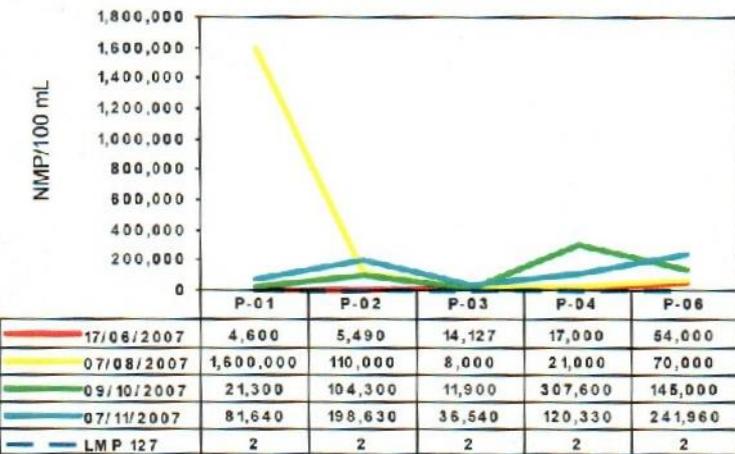
**NOM-001-SEMARNAT-1996**

- Uso en suelo agrícola
- Uso público urbano
- Protección de vida acuática



## 9.2 Parámetros Bacteriológicos

Figura 21. Coliformes Totales  
Método Aplicado NMX-AA-42-1987



Los resultados de coliformes totales, observados en la figura 21, muestran que todos los valores encontrados rebasan los LMP de la NOM-127-SSA1-1994, que establece un valor máximo de 2 NMP/100mL. para este parámetro. Estos resultados nos demuestran la existencia de una variedad de microorganismos entre ellos algunos patógenos, los cuales representan un riesgo latente para la salud pública al estar en contacto con el ser humano. Los puntos con mayor grado de contaminación por coliformes totales fueron los puntos de aguas arriba y abajo del río Sabinalito; el punto con menor número detectado de coliformes fue el de la captación Pacú (P-03).

En la figura 22, se realiza el análisis por separado de estos valores obtenidos de coliformes totales, en el que se incluye el (P-05) de la descarga de Suchiapa, ya que en este punto por tratarse de una descarga los resultados se disparan considerablemente, ya que se vierten todo tipo de desechos orgánicos e inorgánicos incluyendo heces fecales.

Figura 22. Coliformes Totales  
Método Aplicado NMX-AA-42-1987

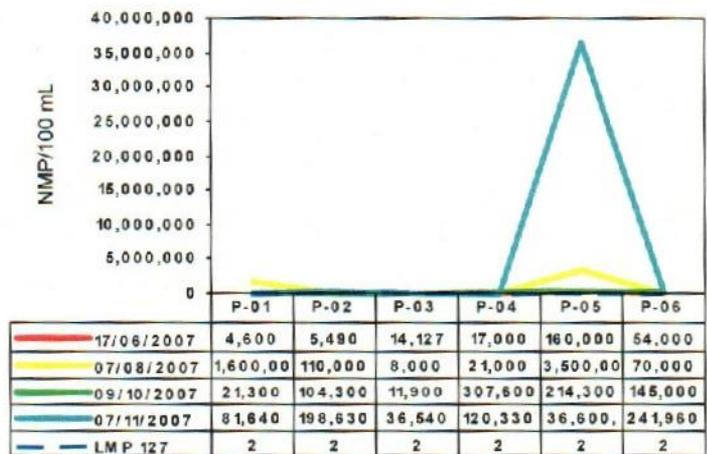
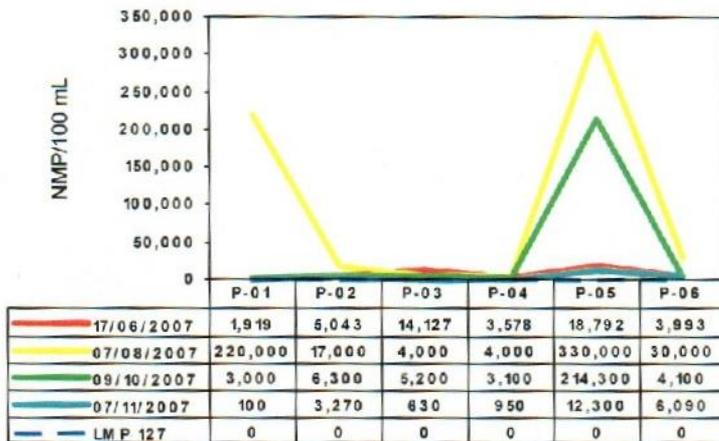


Figura 23. Coliformes Fecales  
Método Aplicado NMX-AA-42-1987

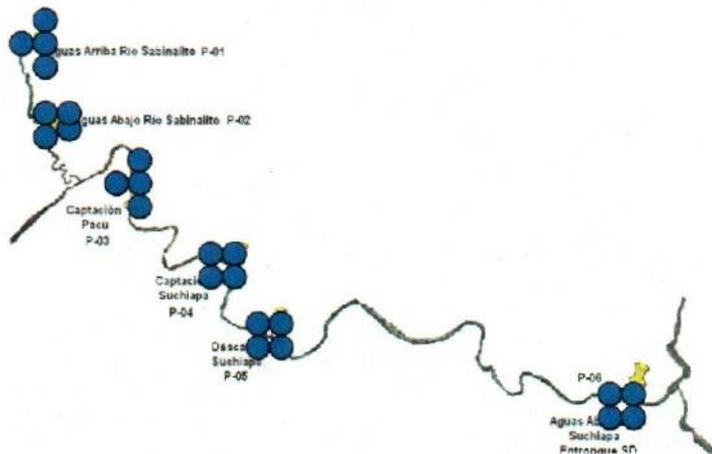


Los resultados de coliformes fecales, observados en la figura 23, muestran que todos los valores encontrados rebasan los LMP de la NOM-127-SSA1-1994, que establece que los organismos coliformes fecales deben ser no detectables NMP/100mL. Estos resultados determinan la existencia de una variedad de microorganismos fecales que representan un riesgo latente para salud humana y por ende el agua existente en esta subcuenca no debe utilizarse para uso y consumo humano sin tratamiento previo de potabilización.

El cuadro 10 presenta en resumen los parámetros bacteriológicos que superaron los límites máximos permisibles de la NOM-127-SSA1-1994.

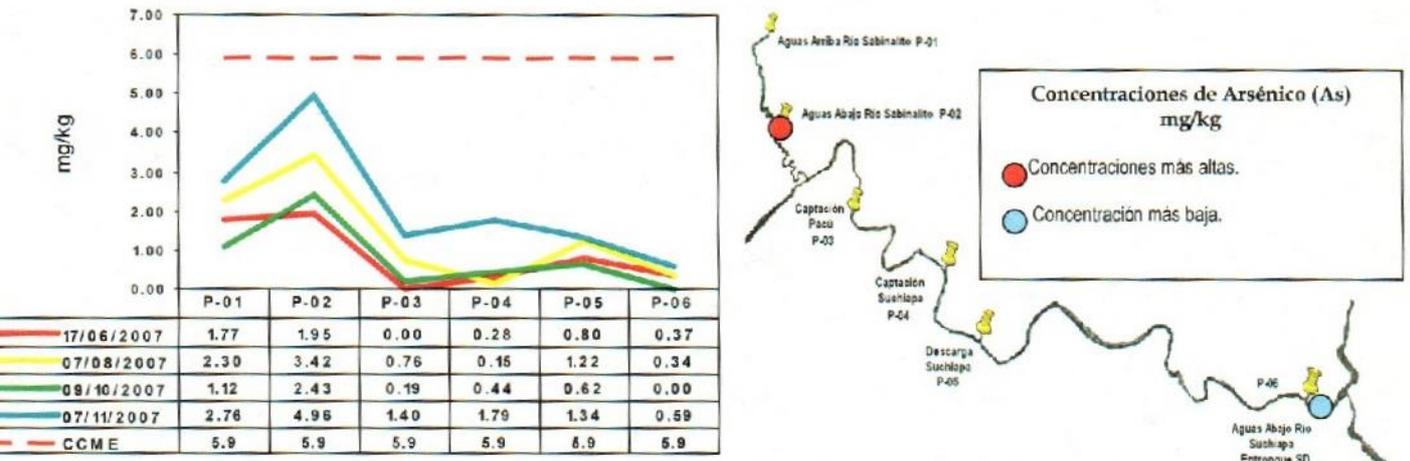
Sitios de muestreo	Coliformes Totales (NMP/100 ml)	Coliformes Fecales (NMP/100 ml)
Aguas arriba río Sabinalito	●●●●	●●●●
Aguas abajo río Sabinalito	●●●●	●●●●
Captación Pacú	●●●●	●●●●
Captación Suchiapa	●●●●	●●●●
Descarga Suchiapa	●●●●	●●●●
Aguas abajo río Suchiapa entronque con Santo Domingo	●●●●	●●●●

Cuadro 10. Sitios de estudio donde se rebasaron los Límites Máximos Permisibles de la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.



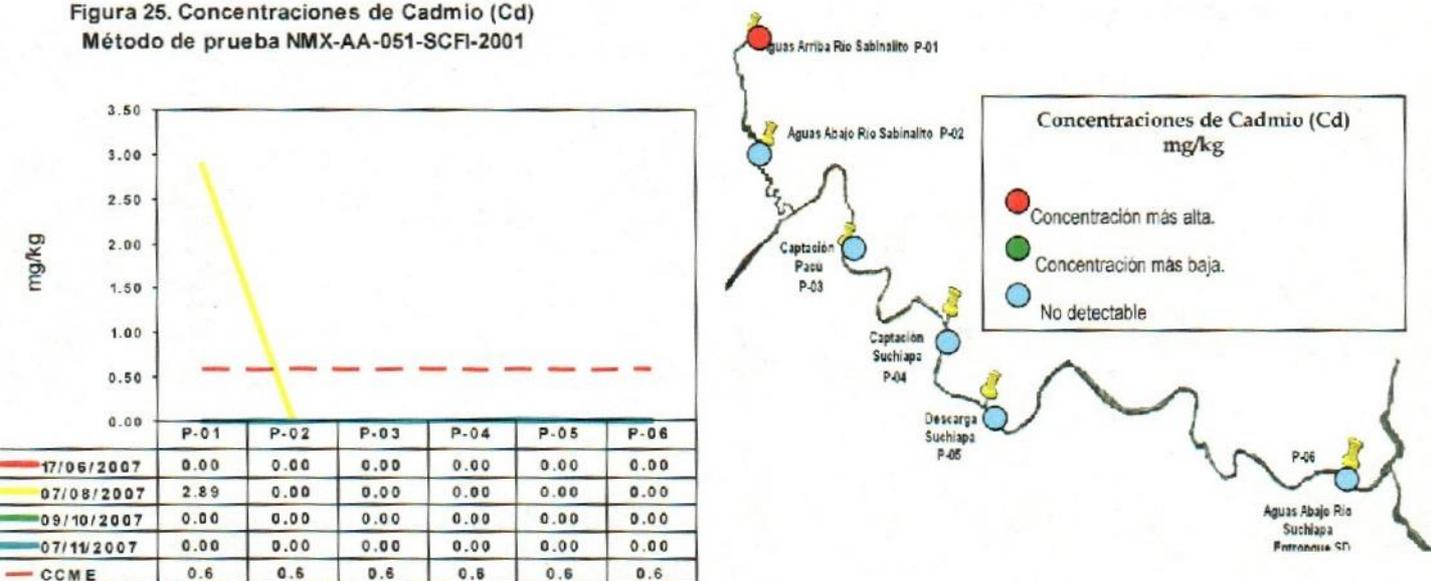
### 9.3 Metales pesados

Figura 24. Concentraciones de Arsénico (As)  
Método de prueba NMX-AA-051-SCFI-2001



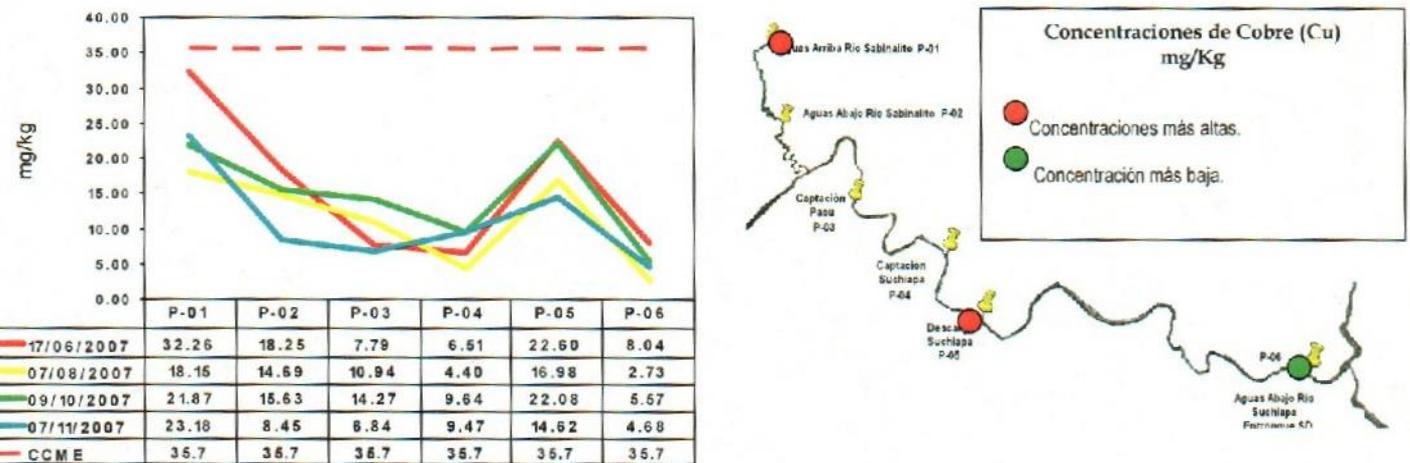
Los resultados en los niveles de Arsénico (As), observados en la figura 24, muestran que las concentraciones más elevadas se encontraron en los sedimentos de los puntos (P-02 y P-01) aguas abajo y aguas arriba del río Sabinalito respectivamente, sin que rebasen los valores guía máximos permisibles canadienses para sedimentos, en los puntos restantes las concentraciones de este metal son bajas y casi nulas en las captaciones de Pacú y Suchiapa (P-03 y P-04); las concentraciones más bajas que se encontraron en sedimentos fueron en el punto final aguas abajo del río Suchiapa entronque con el río Santo Domingo (P-06). Podemos presuponer que las concentraciones más altas de este metal tengan relación directa con el arrastre de contaminantes provenientes del Basurero Municipal que se encuentra muy cerca de este punto.

Figura 25. Concentraciones de Cadmio (Cd)  
Método de prueba NMX-AA-051-SCFI-2001



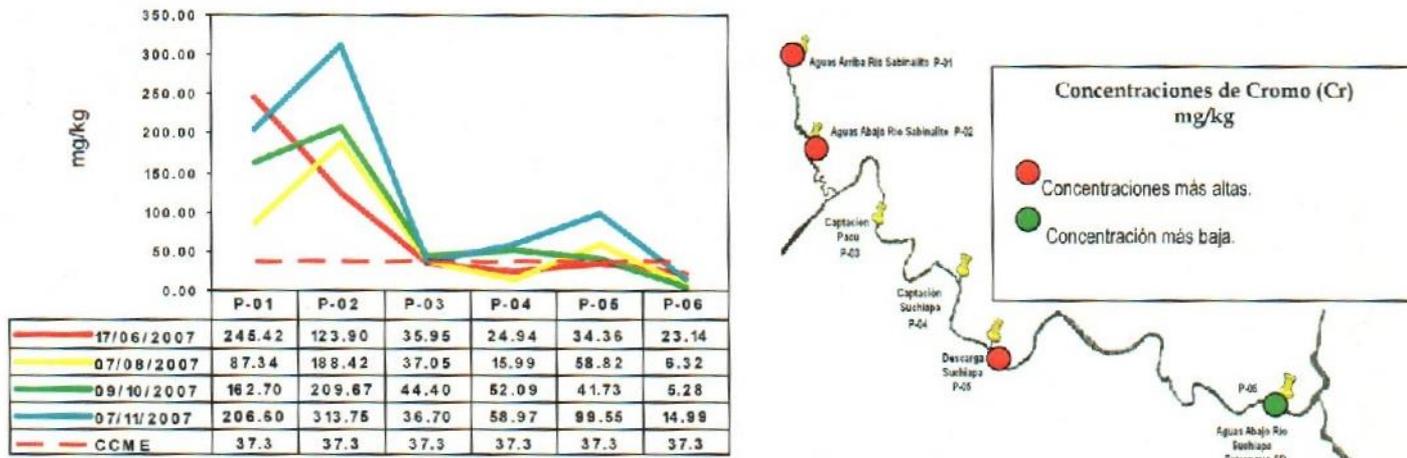
Los resultados en los niveles de Cadmio (Cd), observados en la figura 25, muestran que únicamente se encontró en la segunda visita de muestreo como ocasión única, en el punto inicial (P-01) aguas arriba río Sabinalito, con una concentración de 2.89 mg/kg. En los demás puntos de muestreo aguas abajo los resultados de la presencia de este metal fueron no detectables para el método. El valor encontrado en este punto rebasa el valor guía máximos permisibles canadiense que establece un valor de 0.6 mg/kg poniendo en riesgo la conservación y protección de la vida acuática existente.

Figura 26. Concentraciones de Cobre (Cu)  
Método de prueba NMX-AA-051-SCFI-2001



Los resultados en los niveles del Cobre (Cu), observados en la figura 26, muestran que las concentraciones más elevadas encontradas en sedimentos fue en el (P-01) aguas Arriba río Sabinalito, en este punto se observó una concentración de hasta 32.26 mg/kg en el primer muestreo realizado, seguidamente se observa una notoria disminución en el trayecto del río aguas abajo (P-02, P-03 y P-04), aumentando nuevamente en la descarga Suchiapa (P-05), finalizando con los niveles más bajos comparados con los demás puntos en el punto final Aguas abajo río Suchiapa entronque Santo Domingo (P-06). Los valores encontrados no superaron los valores guía canadienses de 35.7 mg/kg, por lo que no representan efectos adversos para la vida acuática.

Figura 27. Concentraciones de Cromo Total (Cr)  
Método de prueba NMX-AA-051-SCFI-2001



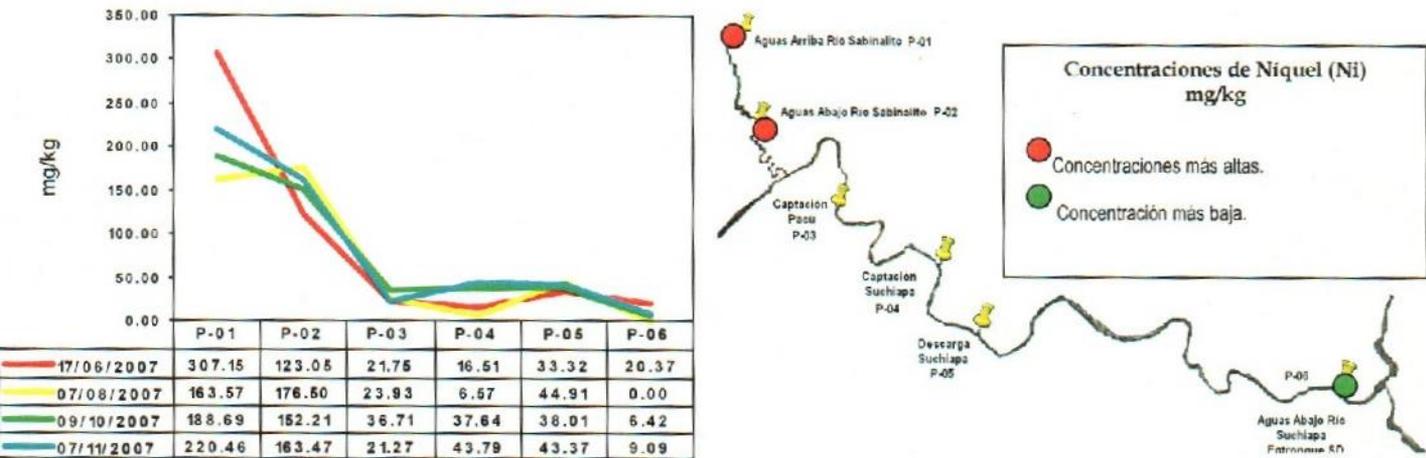
Los resultados en los niveles de Cromo (Cr), observados en la figura 27, muestran que las concentraciones más elevadas se encontraron en los sedimentos de los puntos (P-01 y P-02) Aguas Arriba y Agua Abajo río Sabinalito, rebasando los valores guía máximos permisibles canadienses poniendo en riesgo la conservación y protección de la vida acuática en estos puntos; aguas abajo disminuye la presencia de este metal notoriamente en las captaciones de Pacú y Suchiapa; las concentraciones más bajas y que no rebasan los límites guía canadienses, fueron en el punto final aguas abajo del río Suchiapa entronque con el río Santo Domingo (P-06). Podemos presuponer que las concentraciones más altas (313.75 mg/kg) de este metal tengan relación directa con el arrastre de contaminantes provenientes del Basurero Municipal que se encuentra muy cercano a este punto (P-02).



Foto 16. Foto satelital de la ubicación del nuevo Basurero Municipal de Tuxtla Gutiérrez, contiguo con el arroyo Lacandón y al río Sabinalito.

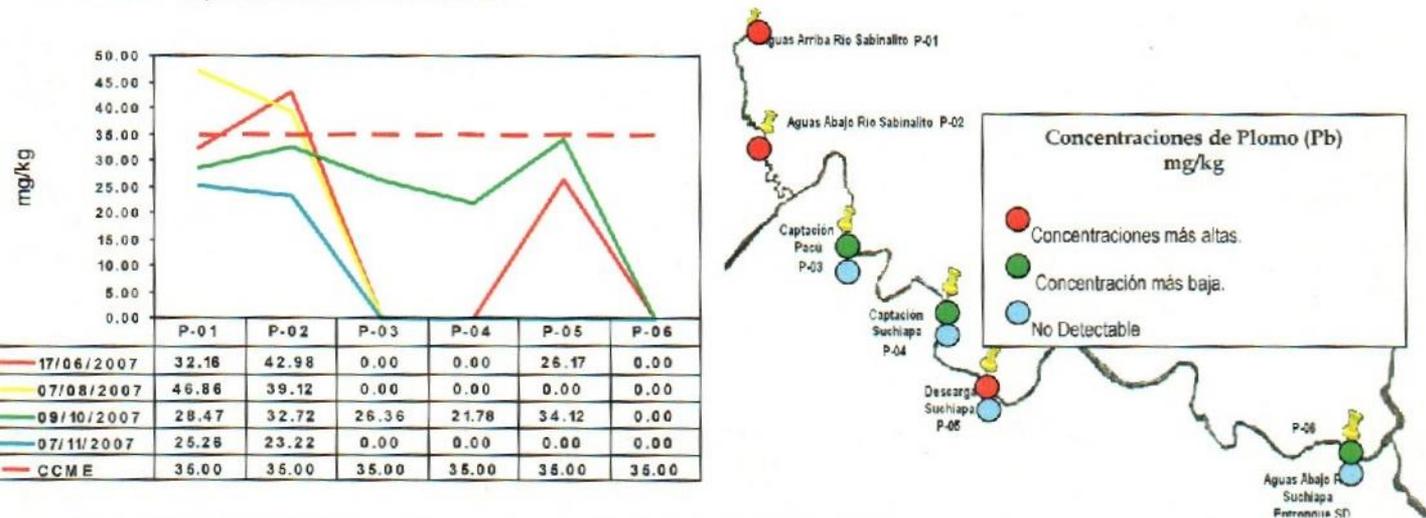
Los resultados en los niveles de Mercurio (Hg) en todos los puntos analizados fueron no detectables para el método utilizado. Los valores guía máximos permisibles canadienses para este metal refieren un valor de 0.17 mg/Kg.

Figura 28. Concentraciones de Níquel (Ni)  
Método de prueba NMX-AA-051-SCFI-2001



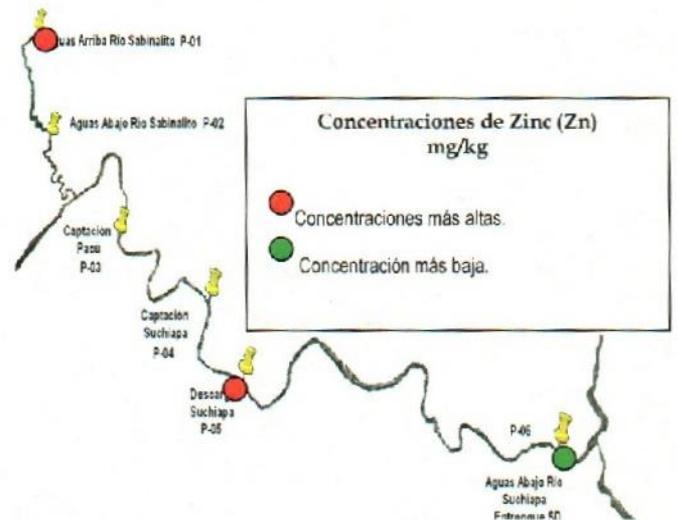
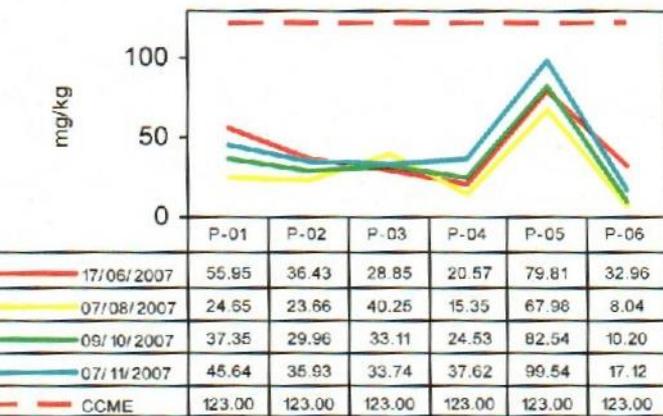
Los resultados en los niveles de Níquel (Ni), observados en la figura 28, muestran que las concentraciones más elevadas se encontraron en los sedimentos de los puntos (P-01 y P-02) Aguas Arriba y Agua Abajo río Sabinalito, disminuyendo notoriamente aguas abajo en las captaciones de Pacú y Suchiapa; las concentraciones más bajas fueron en el punto final aguas abajo del río Suchiapa entronque con el río Santo Domingo (P-06). Los valores guía canadienses no determinan un valor límite de este metal en sedimentos, sin embargo la literatura de otros estudios nos mencionan que concentraciones superiores a 75 mg/kg tienen efectos severos sobre la vida acuática.

Figura 29. Concentraciones de Plomo (Pb)  
Método de prueba NMX-AA-051-SCFI-2001



Los resultados en los niveles de Plomo (Pb), observados en la figura 29, nos muestran que las concentraciones más elevadas se encontraron en los sedimentos de los puntos (P-01 y P-02) Aguas Arriba y Aguas Abajo río Sabinalito, rebasando incluso los valores guía máximos permisibles canadienses poniendo en riesgo la conservación y protección de la vida acuática, se observa además que en los puntos P-03 y P-04 Captaciones de Pacú y Suchiapa las concentraciones de este metal son casi nulos; en el P-05 de la descarga de Suchiapa nuevamente existe la presencia de este metal sin que se rebasen los límites canadienses. El punto que no se detectó la presencia de este metal fue el P-06 Aguas Abajo río Suchiapa entronque Santo Domingo.

**Figura 30. Concentraciones de Zinc (Zn)**  
Método de prueba NMX-AA-051-SCFI-2001



Los resultados en los niveles del Zinc (Zn), observados en la figura 30, muestran que no se rebasan los valores guía máximos permisibles canadienses para la conservación y protección de la vida acuática; las concentraciones más elevadas se encontraron en la descarga Suchiapa (P-05), seguido de los puntos (P-01 y P-02) Aguas Arriba y Aguas Abajo del río Sabinalito, disminuyendo notoriamente aguas abajo en las captaciones de Pacú y Suchiapa; las concentraciones más bajas fueron en el punto final Aguas Abajo del río Suchiapa entronque con el río Santo Domingo (P-06).

En términos generales podemos mencionar que los puntos más perturbados por la presencia de estos metales fueron los puntos (P-01 y P-02), cabe hacer mención que también la descarga de Suchiapa presentó concentraciones elevadas en la mayoría de los metales analizados.

A pesar de la presencia de descargas Municipales y no Municipales en el trayecto aguas abajo de las captaciones de Pacú y Suchiapa, las concentraciones más bajas de estos metales se encontraron en el punto (P-06) Aguas Abajo río Suchiapa entronque Santo Domingo.

El cuadro 11, presenta en resumen los sitios de estudio donde se rebasaron los valores guías máximos permisibles canadienses de metales pesados en sedimentos.

Sitios de muestreo	Arsénico (As)	Cadmio (Cd)	Cromo (Cr)	Mercurio (Hg)	Plomo (Pb)	Zinc (Zn)
A. arriba río Sabinalito		●	●●●●		●	
A. abajo río Sabinalito			●●●●		●●	
Captación Pacú			●			
Captación Suchiapa			●●			
Descarga Suchiapa			●●●			
A. abajo río Suchiapa entronque SD						

Cuadro 11. Sitios de estudio donde se rebasaron los valores guías máximos permisibles canadienses de metales pesados en sedimentos para la conservación y protección de la vida acuática, propuestos por la CCME (*Canadian Council of Ministers of the Environment*)

#### 9.4 Plaguicidas.

Se realizó únicamente un análisis de plaguicidas y metales pesados en la matriz agua, en la primera visita de muestreo, sin embargo al no detectarse la presencia de estos compuestos, contaminantes, se excluyeron en los muestreos subsecuentes y la investigación se enfocó exclusivamente a la determinación de estos contaminantes en sedimentos de la subcuenca del río Suchiapa y sus afluentes.

Los resultados obtenidos de plaguicidas organoclorados demuestran que no se detectaron ningún tipo de estos contaminantes, ni siquiera a niveles trazas. Esto se puede deberse a que el tipo de matriz estudiada (sedimentos) es de tipos arenosa y no permite que se fije eficientemente la materia orgánica.

### 9.5 Evaluación de la calidad del agua.

Para evaluar la calidad del agua de la subcuenca del río Suchiapa y sus afluentes se utilizaron tres indicadores propuestos y utilizados desde el año 2007 por la CONAGUA, la Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días ( $DBO_5$ ), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendedos Totales (SST). Los dos primeros indicadores se utilizaran para determinar la cantidad de materia orgánica presente en los cuerpos de agua provenientes principalmente de las descargas de aguas residuales, de origen Municipal y no Municipal. Entendiéndose como:

**Descarga de aguas residuales Municipales:** Son aquellas descargas de aguas residuales que son manejadas en los sistemas de alcantarillado municipales urbanos y rurales.

**Descarga de aguas no Municipales:** Son aquellas descargadas que se realizan directamente a los cuerpos de agua receptores de propiedad Nacional.

La  $DBO_5$  determina la cantidad de materia orgánica biodegradable y la DQO mide la cantidad total de materia orgánica. El incremento de la concentración de estos parámetros inciden en la disminución del contenido de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua afectando consecuentemente a los ecosistemas acuáticos.

Por otro lado la  $DBO_5$  nos indicará la presencia de sustancias provenientes de descargas no Municipales.

Los SST tienen su origen en las aguas residuales y la erosión del suelo. El incremento de los niveles de este indicador hace que un cuerpo de agua pierda la capacidad de soportar la diversidad de la vida acuática.

Para poder evaluar cada indicador se utilizaron las escalas de clasificación de calidad del agua de la Subdirección General Técnica de la Comisión Nacional del Agua. (Cuadros 12, 13 y 14).

ESCALAS DE CLASIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA		
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO ( $DBO_5$ )		
Criterio mg/l	Clasificación	Color
$DBO_5 \leq 3$	Excelente	Azul
	No contaminada	
$3 < DBO_5 \leq 6$	Buena calidad	Verde
	Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable	
$6 < DBO_5 \leq 30$	Aceptable	Amarillo
	Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente	
$30 < DBO_5 \leq 120$	Contaminada	Naranja
	Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal	
$DBO_5 > 120$	Fuertemente contaminada	Rojo
	Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales	

Cuadro 12. Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ )

Demanda Química de Oxígeno (DQO)		
DQO ≤ 10	Excelente	Azul
	No contaminada	
10 < DQO ≤ 20	Buena calidad	Verde
	Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable	
20 < DQO ≤ 40	Aceptable	Amarillo
	Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente	
40 < DQO ≤ 200	Contaminada	Naranja
	Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal	
DQO > 200	Fuertemente contaminada	Rojo
	Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales	

Cuadro 13. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Sólidos Suspensos Totales (SST)		
SST ≤ 25	Excelente	Azul
	Clase de excepción, muy buena calidad	
25 < SST ≤ 75	Buena calidad	Verde
	Aguas superficiales con bajo contenido de sólidos suspendidos, generalmente condiciones naturales. Favorece la conservación de comunidades acuáticas y el riego agrícola irrestricto	
75 < SST ≤ 150	Aceptable	Amarillo
	Aguas superficiales con indicio de contaminación. Con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente. Condición regular para peces. Riego agrícola restringido	
150 < SST ≤ 400	Contaminada	Naranja
	Aguas superficiales de mala calidad con descargas de aguas residuales crudas. Agua con alto contenido de material suspendido	
SST > 400	Fuertemente contaminada	Rojo
	Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales con alta carga contaminante. Mala condición para peces	

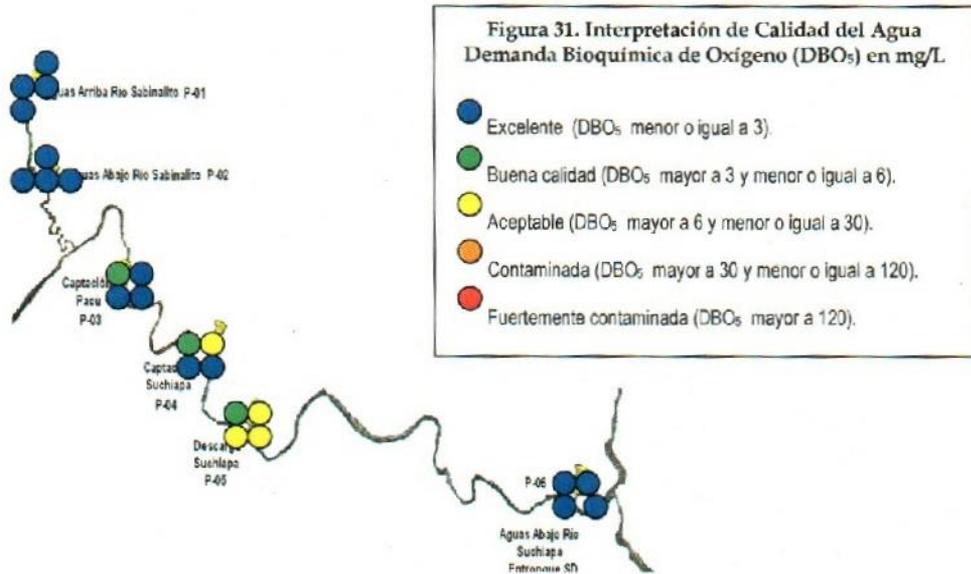
Cuadro 14. Sólidos Suspensos Totales (SST)

Con fundamento en las escalas de clasificación de calidad del agua, se obtuvieron los siguientes resultados: (Cuadros 15, 16 y 17)

### DBO<sub>5</sub>

Fechas de Muestreo	A. arriba río Sabinalito	A. abajo río Sabinalito	Captación Pacú	Captación Suchiapa	Descarga Suchiapa	A. abajo río Suchiapa entronque SD
17-06-2007	<3	<3	5.8	6.61	6.7	<3
07-08-2007	<3	<3	<3	3.35	3.35	<3
09-10-2007	<3	<3	<3	<3	9.16	<3
07-11-2007	<3	<3	<3	<3	7.88	<3

Cuadro 15. Calidad del agua en estaciones de monitoreo de agua superficial según categoría de DBO<sub>5</sub>

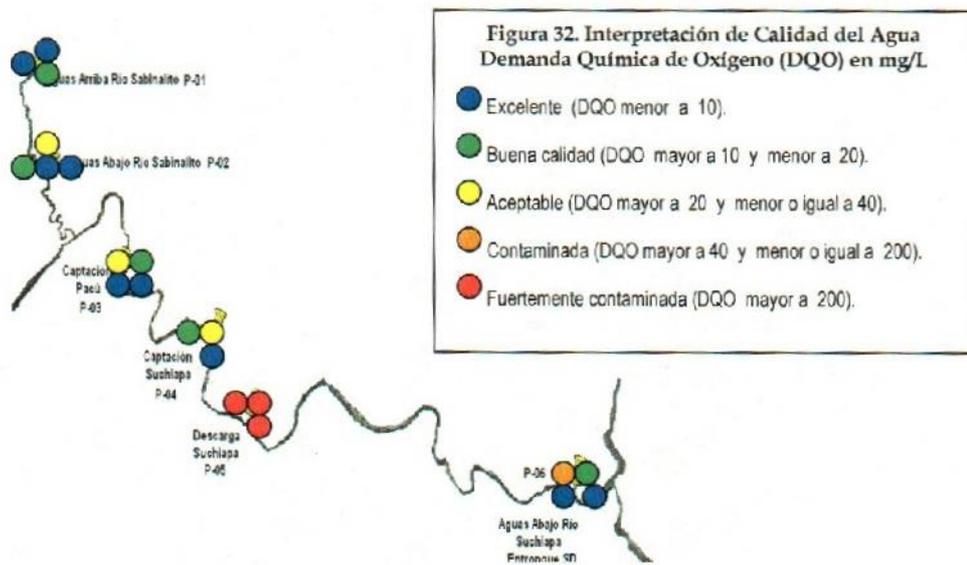


Los resultados de la DBO<sub>5</sub>, observados en el cuadro 15 y figura 31, muestran que la calidad del agua de los puntos aguas arriba y aguas abajo del río Sabinalito es excelente, sin embargo conforme avanza el flujo del agua aguas abajo inicia el deterioro de ésta, se observa que en la captación Suchiapa se encuentra un punto con niveles aceptables, el punto más crítico se aprecia en la descarga Suchiapa donde a pesar de ser una descarga de tipo Municipal prevalecen los niveles de aceptabilidad; finalmente el punto final de aguas abajo del río recupera su calidad con niveles de excelentes, demostrando con estos resultados que esta agua no representan una carga importante de contaminación de materia orgánica biodegradable a la cuenca alta del río Grijalva, a pesar de que existen descargas no Municipales previos al punto final.

**DQO**

Fechas de Muestreo	A. arriba río Sabinalito	A. abajo río Sabinalito	Captación Pacú	Captación Suchiapa	Descarga Suchiapa	A. abajo río Suchiapa entronque SD
17-06-2007	7.56	22.7	20.6	28.2	1097	50.2
07-08-2007	12.5	15.3	13.5	11.1	755	18.1
09-10-2007	NR	6.84	8.6	NR	201	<0.5
07-11-2007	5.91	5.91	6.74	5.99	NR	5.91

Cuadro 16. Calidad del agua en estaciones de monitoreo de agua superficial según categoría de DQO

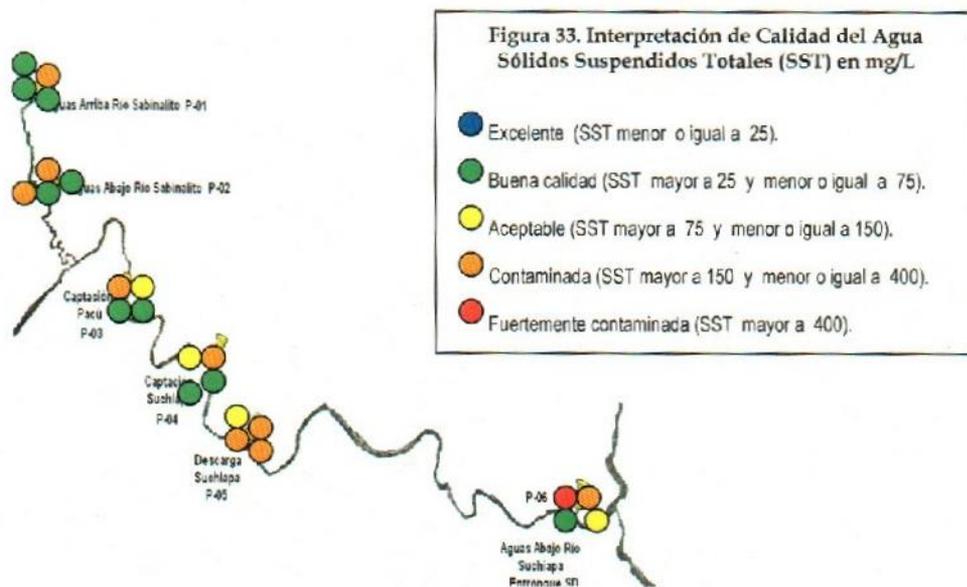


Los resultados de la DQO, observados en el cuadro 16 y figura 32, muestran que la calidad del agua de los primeros cuatro puntos de muestreo varían de excelente calidad hasta de aceptable calidad; sin embargo, es en el punto de la descarga de Suchiapa cuando la calidad de agua se ve alterada, ya que se demuestra que el agua en este punto está fuertemente contaminada, recuperándose aguas abajo entronque con el río Santo Domingo con buenos niveles de calidad a pesar de continuar contaminada, demostrando con este parámetro que la cantidad total de materia orgánica no incide en los niveles de calidad del agua hacia la cuenca alta del río Grijalva, a pesar de que existen descargas Municipales y no Municipales previos al entronque con el río Santo Domingo.

**SST**

Fechas de Muestreo	A. arriba río Sabinalito	A. abajo río Sabinalito	Captación Pacú	Captación Suchiapa	Descarga Suchiapa	A. abajo río Suchiapa entronque SD
17-06-2007	224	154	202	288	336	516
07-08-2007	46	230	112	140	196	256
09-10-2007	48	68	48	64	138	76
07-11-2007	46	64	60	72	240	64

Cuadro 17. Calidad del agua en estaciones de monitoreo de agua superficial según categoría de SST



Los resultados de SST, observados en el cuadro 17 y figura 33, muestran que la calidad del agua del punto aguas arriba río Sabinalito en tres muestreos realizados fue de buena calidad y se encontró contaminada en una ocasión, para el segundo punto aguas abajo río Sabinalito se encontró contaminada en dos ocasiones y de buena calidad también en dos ocasiones, mejorándose aguas abajo en los puntos 3 y 4; esta matriz al hacer contacto con el punto 5 de la descarga se ve afectada notoriamente presentando contaminación en tres muestreos realizados, finalmente aguas abajo del río Suchiapa presentó el nivel más crítico encontrándose en una ocasión contaminada y fuertemente contaminada en otra ocasión, poniendo en riesgo la diversidad de la vida acuática, los mejores resultados presentados en este punto fueron de buena a aceptable calidad en una ocasión cada una.

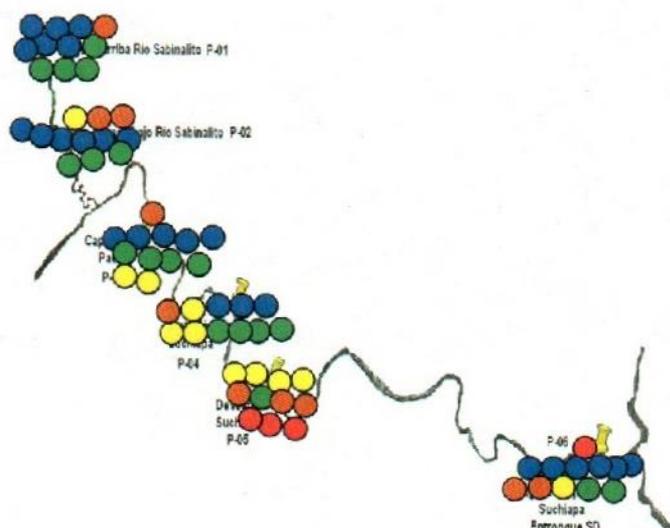
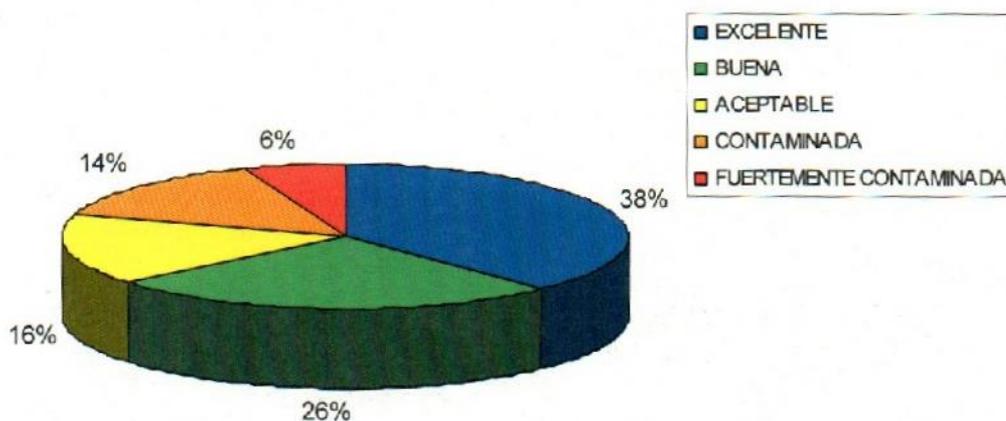
En forma general en el cuadro 18 se presentan los resultados de calidad de agua por sitios de monitoreo considerando las categorías de DBO<sub>5</sub>, DQO y SST.

Sitio de muestreo	EXCELENTE	BUENA CALIDAD	ACEPTABLE	CONTAMINADA	FUERTEMENTE CONTAMINADA	TOTAL
A. Arriba río Sabinalito	6	4	0	1	0	11
A. Abajo río Sabinalito	6	3	1	2	0	12
Captación Pacú	5	4	2	1	0	12
Captación Suchiapa	3	4	3	1	0	11
Descarga Suchiapa	0	1	4	3	3	11
A. Abajo río Suchiapa entronque SD	6	2	1	2	1	12
<b>TOTAL</b>	<b>26</b>	<b>18</b>	<b>11</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	<b>69</b>

Cuadro 18. Resultados de calidad del agua de los sitios de monitoreo según categorías de DBO<sub>5</sub>, DQO y SST

Los resultados de la distribución porcentual de la calidad del agua de la subcuenca del río Suchiapa en las categorías de DBO<sub>5</sub>, DQO y SST se muestran en la figura 34. En ella se observa que el 38% es de excelente calidad, el 26% es de buena calidad y el 16% es de una calidad aceptable; mientras que el 20% restante se encuentra entre los rangos críticos que van de contaminada (14%) a fuertemente contaminada (6%).

Figura 34. Resultados porcentuales de la calidad del agua según categorías de DBO<sub>5</sub>, DQO y SST



## X Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos de la matriz agua, respecto a los análisis físico-químicos efectuados, el nitrógeno amoniacal rebasa en todos los sitios de muestreo los LMP de la NOM-127-SSA1-1994. El sitio más perturbado fue el punto P-05 (Descarga de Suchiapa), mismo que rebasó los LMP para la protección de la vida acuática establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-1996 en los parámetros de fósforo total y sólidos sedimentables, rebasó también los LMP para uso público urbano en sólidos sedimentables y SST e inclusive los LMP para uso en suelo agrícola en SST, superó también los LMP de la NOM-127-SSA1-1994 en SDT resultados que tienen efectos nocivos para la salud; por lo que es conveniente la rehabilitación inmediata de la planta de tratamiento de aguas residuales o en su defecto construir una nueva planta para beneficio de la localidad.

Los resultados en el parámetro de SST el punto P-02 (Aguas abajo río Sabinalito) superaron los LMP para la protección de la vida acuática en dos ocasiones y en una ocasión rebasó los LMP para uso de suelo agrícola y uso público urbano establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996, por lo que es necesario al menos la existencia de un sedimentador en la zona.

Finalmente los resultados obtenidos en el punto P-04 (Captación Suchiapa) en forma general superaron los LMP para el uso de esta matriz en suelo agrícola, protección de la vida acuáticas uso público urbano para el parámetro de SST, por lo que es necesario también la existencia de un sedimentador.

Referente a los resultados obtenidos de los análisis bacteriológicos de aguas de la subcuenca del río Suchiapa y sus afluentes, todos los sitios de estudio rebasaron los LMP de la NOM-127-SSA1-1994 para coliformes totales y fecales, por lo que esta agua de estos sitios, no son aptos para el consumo humano; a menos de que se sometan a tratamientos para su potabilización.

De 20 parámetros evaluados considerando los parámetros, *In Situ*, físico-químicos y bacteriológicos, solo 7 parámetros superaron ocasionalmente los LMP establecidos por las Normas Oficiales Mexicanas NOM-127-SSA1-1994 y la NOM-001-SEMARNAT-1996, estos fueron nitrógeno amoniacal, fósforo total, sólidos sedimentables, SST, SDT, coliformes totales y coliformes fecales.

La evaluación de la presencia de metales pesados en sedimentos de la subcuenca del río Suchiapa y sus afluentes nos muestran que fueron dos sitios los que presentaron la mayor concentración de metales; los puntos P-01 y P-02 Aguas arriba y abajo del río Sabinalito, áreas cercanas al Basurero Municipal de Tuxtla Gutiérrez.

En el P-01 se rebasaron los valores guías máximos permisibles Canadienses de la CCME, para cadmio, cromo y plomo; lo mismo que en el P-02 para cromo y plomo.

En forma general fueron únicamente tres de ocho metales evaluados los que sobrepasaron los valores guías de la CCME, el cromo en todos los puntos de muestreo exceptuando el punto de Aguas abajo río Suchiapa entronque Santo Domingo (P-06), el plomo en los puntos P-01 y P-02, y de manera puntual el cadmio en el P-01 (Aguas arriba río Sabinalito).

Los Metales restantes no rebasaron los valores guías CCME o en su defecto no se tiene el valor guía máximo permisible canadiense; caso específico el níquel.

Referente a los resultados de plaguicidas organoclorados en los sedimentos de esta subcuenca estudiada, no se detectó ningún tipo de estos contaminantes.

En lo que se refiere a la calidad del agua de la subcuenca del río Suchiapa y sus afluentes y de acuerdo a los resultados de los parámetros DBO<sup>5</sup>, DQO y SST, todos los sitios presentan algún grado de contaminación y es el punto P-05 (descarga de Suchiapa) la que representa mayormente esta contaminación, seguido de los puntos P-06 y P-02 (Aguas abajo río Suchiapa entronque Santo Domingo y aguas abajo río Sabinalito) respectivamente.

La calidad de agua en un 80% de esta matriz se encuentra dentro de las categorías que van de excelentes, buena y aceptable calidad y el 20% restante se encuentra en los rangos de contaminación. El 14% se encuentra contaminada y el 6% fuertemente contaminada.

Se deben tomar medidas inmediatas y no a largo plazo, principalmente en el Municipio de Suchiapa donde por falta de mantenimiento e infraestructura para habilitar la planta de tratamiento de aguas residuales existente, esta se encuentra sin funcionar por lo que todas las descargas del Municipio se vierten directamente hacia este importante recurso hídrico.

Adicionalmente, existen sitios con un potencial de riesgo, que necesitan de una atención especial, sobre todo por las autoridades Estatales, Municipales y Locales, como es el río Sabinalito, donde se puso de manifiesto que se rebasaron algunos de los LMP en aguas y sedimentos y de no tomar medidas necesarias puede poner en riesgo la protección y conservación de la vida acuática existente.

Cabe hacer mención que a pesar de que no existe una fuerte contaminación en este sitio, se deben realizar estudios específicos sobre todo en la temporada de lluvias, al arroyo Lacandón proveniente del Basurero Municipal mismo que únicamente en temporada de lluvias retoma su caudal arrastrando consigo todo tipo de desechos provenientes del basurero y de los sitios colindantes desembocando aguas abajo en el río Sabinalito.

## XI Perspectivas

Con base al estudio realizado se proponen medidas de desarrollo sustentable, tomando en cuenta el aspecto medio ambiental, involucrando al sector social, el aspecto económico y cultural.

En cuanto a lo social, se ha observado que la población aun no tiene una educación ambiental y continúa contaminando los cuerpos de agua de nuestro Estado, por lo que si no participamos para contribuir en una educación ambiental favorable, la contaminación de estos recursos comenzará a cobrar estragos. Es por eso, que se propone comprometer a las autoridades de los sectores de salud y educación para que a través de ellos se informe de la importancia de este recurso hídrico, a todos los grupos de la sociedad, iniciando desde los centros educativos de todos los niveles y en los centros de salud de las diferentes instituciones existentes en Suchiapa y Pacú.

En la parte cultural, se debe realizar campañas de educación ambiental por los diferentes niveles tanto Municipales, Locales e incluso Instituciones Educativas que tengan que ver con el medio ambiente, proponiendo que realicen como parte de sus prácticas de campo o de servicio social, visitas a las familias que habitan las zonas cercanas a la subcuenca del río Suchiapa y Sabinalito, para concientizarlos, comprometerlos y hacerlos parte del mejoramiento de este recurso, abarcando los beneficios ambientales a futuro que esto conllevaría.

En el aspecto económico se deben presentar este tipo de estudios a todos los niveles de Gobierno, tanto Federal, Estatal y Municipal; los cuales disponen de recursos financieros por acuerdos federales para la solución de problemas ambientales y a través de ellos, se trate de habilitar la planta de tratamiento de aguas residuales existente para contribuir en el mejoramiento de la calidad de agua de esta subcuenca y por lo consiguiente en la disminución de la morbilidad por enfermedades diarreicas causadas por el consumo de aguas contaminadas.

Se deben presentar también, los resultados de este estudio a las autoridades locales y ejidales de las zonas involucradas para que a través de ellos, se solicite financiamiento a todos los niveles para realizar otras investigaciones de manera puntual, especialmente en el cauce del río Sabinalito y el arroyo Lacandón que toma su cauce en temporada de lluvias y desemboca en este río, para que a través de los resultados de estos estudios se instalen procesos de remediación inmediata de estos sitios.

Sería de vital importancia realizar estudios específicos de otros tipos de plaguicidas, tanto en el agua como en los sedimentos de esta subcuenca, e inclusive al personal que aplica este tipo de productos, ya que por ser una zona potencialmente agrícola, el uso de estos productos generalmente se realiza de manera insensata por personal que los aplica o usa

desconociendo los efectos nocivos que pueden generar en su persona como al medio ambiente.

Se debe insistir permanentemente ante las instancias pertinentes encargadas de normatizar o legislar, que se incluyan los límites permisibles de las concentraciones de metales pesados en sedimentos dragados de ríos para México, como lo tienen otros Países.

Es importante que las Normas Mexicanas sean actualizadas e incluyan las concentraciones máximas permisibles de algunos parámetros de gran importancia para el control de la calidad del agua como la DQO y el Nitrógeno orgánico por mencionar algunos.

## XII Bibliografía

- **Canadian Council of Ministers of the Environment.** (CCME), 2002. Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life, Canadian Environmental Quality Guidelines.
- **Cárdenas, L. J.** 2002. "Calidad de aguas para estudiantes de ciencias ambientales" Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Bogotá, Colombia. Cap. VII, Pág. 42.
- **Centro Mexicano de Derecho Ambiental.** (CEMDA), 2006. Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental (FEA), Presencia Ciudadana Mexicana, A.C. "El agua en México: Lo que todas y todos debemos saber"; 1ª. Ed. Págs. 7, 80.
- **CNA.** Laboratorio de Calidad del Agua. Organismo de cuenca frontera sur. Manual de Técnicas Analíticas 2002. Procedimiento TAFQ1. Acidez y alcalinidad en aguas naturales y residuales.
- **CNA.** Laboratorio de Calidad del Agua. Organismo de cuenca frontera sur. Manual de Técnicas Analíticas 2002. Procedimiento TAFQ4. Conductividad eléctrica en aguas naturales y residuales.
- **CNA.** Laboratorio de Calidad del Agua. Organismo de cuenca frontera sur. Manual de Técnicas Analíticas 2002. Procedimiento TAFQ5. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) en aguas naturales y residuales.
- **CNA.** Laboratorio de Calidad del Agua. Organismo de cuenca frontera sur. Manual de Técnicas Analíticas 2002. Procedimiento TAFQ6. Demanda Química de Oxígeno (DQO) en aguas naturales y residuales.
- **CNA.** Laboratorio de Calidad del Agua. Organismo de cuenca frontera sur. Manual de Técnicas Analíticas 2002. Procedimiento TAFQ7. Dureza total en aguas naturales y residuales.
- **CNA.** Laboratorio de Calidad del Agua. Organismo de cuenca frontera sur. Manual de Técnicas Analíticas 2002. Procedimiento TAFQ8. Fósforo total en aguas naturales y residuales por cloruro estanoso.
- **CNA.** Laboratorio de Calidad del Agua. Organismo de cuenca frontera sur. Manual de Técnicas Analíticas 2002. Procedimiento TAFQ11. Nitrógeno amoniacal en aguas naturales y residuales.
- **CNA.** Laboratorio de Calidad del Agua. Organismo de cuenca frontera sur. Manual de Técnicas Analíticas 2002. Procedimiento TAFQ12. Nitrógeno total (Método Kjeldahl) en aguas naturales y residuales.
- **CNA.** Laboratorio de Calidad del Agua. Organismo de cuenca frontera sur. Manual de Técnicas Analíticas 2002. Procedimiento TAFQ13. Nitritos en aguas naturales y residuales.
- **CNA.** Laboratorio de Calidad del Agua. Organismo de cuenca frontera sur. Manual de Técnicas Analíticas 2002. Procedimiento TAFQ14. Nitratos en aguas naturales y residuales por sulfato de brucina.

- **CNA**. Laboratorio de Calidad del Agua. Organismo de cuenca frontera sur. Manual de Técnicas Analíticas 2002. Procedimiento TAFQ15. Oxígeno disuelto en aguas naturales y residuales.
- **CNA**. Laboratorio de Calidad del Agua. Organismo de cuenca frontera sur. Manual de Técnicas Analíticas 2002. Procedimiento TAFQ17. pH en aguas Naturales y Residuales. Documento interno.
- **CNA**. Laboratorio de Calidad del Agua. Organismo de cuenca frontera sur. Manual de Técnicas Analíticas 2002. Procedimiento TAFQ21. Sólidos en aguas naturales y residuales.
- **CNA**. Laboratorio de Calidad del Agua. Organismo de cuenca frontera sur. Manual de Técnicas Analíticas 2002. Procedimiento TAFQ22. Sólidos sedimentables en aguas naturales y residuales.
- **CNA**. Laboratorio de Calidad del Agua. Organismo de cuenca frontera sur. Manual de Técnicas Analíticas 2002. Procedimiento TAFQ24. Temperatura en aguas naturales y residuales por termometría. Documento interno.
- **CNA**. Laboratorio de Calidad del Agua. Organismo de cuenca frontera sur. Manual de Técnicas Analíticas 2002. Procedimiento TAMB2. Coliformes totales, fecales y Escherichia Coli en aguas por la técnica de Número Más Probable NMP.
- **Departamento de Servicios de Salud de California**. (DSSC), 2006. Rama de Investigaciones de Salud Ambiental. Noviembre 2006. "Posibles Efectos en la Salud Relacionados con Nitratos y Nitritos en Agua de Pozos Privados" Art. Págs. 2 y 3.
- **EPA**. METHOD 8081-B, 2000. ORGANOCHLORINE PESTICIDES BY GAS CHROMATOGRAPHY.
- **Escamirosa, M. L. y Quintana, F.C.** 1999. "Caracterización y tratamiento del agua residual de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas". Universidad Autónoma de Chiapas. Págs. 8, 29-35.
- **Esquinca, C.F. y Escobar, V.J.** 1996. "Diagnóstico de las aguas residuales de las 30 localidades con mayor población en el estado de Chiapas". Secretaria de Ecología, Recursos Naturales y Pesca. Págs. 1-2, 6,9.
- **CONAGUA**. Estadísticas del Agua en México 2007; Cap. II, Págs. 52, 54 y 55.
- **CONAGUA**. Estadísticas del Agua en México 2007; Cap. VI, Pág. 140.
- **CONAGUA**. Estadísticas del Agua en México 2007; Cap. VI, Pág. 141.
- **CONAGUA**. Estadísticas del Agua en México 2007; Cap. VIII, Pág. 171.
- **Estrada, M.** 1998. "Uso Moderado de Plaguicidas en México". Memorias; Ciclo de Conferencias. "Hacia Una Revolución Ambiental en México". Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Facultad de Ciencias Biológicas.
- **Fair, M.G. y Geyer, J.C.** 1971. "Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales 2" Ingeniería sanitaria y de aguas residuales. Universidad de Harvard. Editorial Limusa. México. Págs. 15-21.
- **García, A.** 2002. "Prácticas de Utilización de Plaguicidas en Agricultores". Gaceta Sanitaria, 16(3): Págs. 236-240.

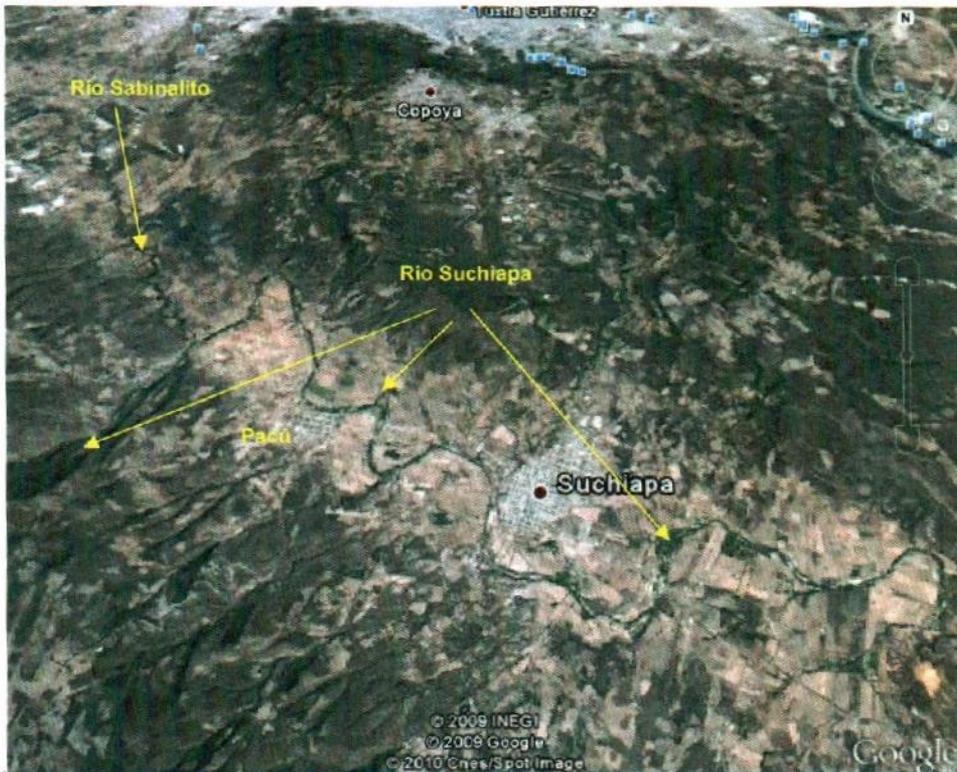
- **García, C.** 1997. Evaluación de la contaminación de residuos de plaguicidas organoclorados en el cultivo de Melón (*Cucumis melo L.*), en localidades de la Comarca Lagunera. Pág.306.
- **Giai M.** 2006. "Calidad química y bacteriológica de agua potabilizada en Gonaives (Haití) en el marco de UN-MINUSTAH". Higiene y Salud Ambiental, No. 6. Págs. 207-212.
- **Gleick, P.H.** 2000. "The World's Water". Island Press. Washington, D.C. Pág. 315.
- **González A. Z. y Ávila-Pérez P.** 2006. "Estudio del Curso Alto del Río Lerma desde una Perspectiva Sustentable"; Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. (ININ). Edo. de México. Pág. 3.
- **Gutiérrez, A.H. y Becerra, W.** 1989. "Calidad de agua potable e incidencia de gastroenteritis en dos ciudades del estado de Sonora". Salud Pública de México. Págs. 31, 299-304.
- **Instituto de Salud del Estado de Chiapas.** (ISECH), 2008 y 2009. Sistema Nacional de Salud. Secretaria de Salud. Dirección General de Epidemiología. Centro de Información Epidemiológica. Sistema Automatizado de Vigilancia Epidemiológica.
- **Instituto Nacional de Higiene Epidemiología y Microbiología.** (INHEM), 1992. "Serie Salud Ambiental" No. 3. Agua y Salud. Ed. Ciencias Médicas; La Habana, Cuba. Pág. 13.
- **Instituto Politécnico Nacional (IPN). Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrial Extractivas (ESIQUIE).** Academia de Ingeniería Ambiental. **Comisión Nacional del Agua (CONAGUA);** 2005. "Modelación Matemática de la Calidad de Agua, Río Suchiate", Chiapas. Convenio: 26-CNA-GSCA-2005. Cap. II. Págs. 24, 28, 29 y 30.
- **Mejías B.** 2004. Guía para la toma de muestras de residuos de plaguicidas Agua, Sedimento y Suelo. Gobierno de Chile; Ministerio de Agricultura Servicio Agrícola y Ganadero. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago de Chile. Págs. 21,23.
- **NMX-AA-003-SCFI-2006.** AGUAS RESIDUALES, MUNICIPALES E INDUSTRIALES-MUESTREO.
- **NMX-AA-004-SCFI-2000.** ANÁLISIS DE AGUA-DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SEDIMENTABLES EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA
- **NMX-AA-007-SCFI-2000.** ANÁLISIS DE AGUA-DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS- MÉTODO DE PRUEBA.
- **NMX-AA-008-SCFI-2000.** ANÁLISIS DE AGUA-DETERMINACIÓN DEL pH-MÉTODO DE PRUEBA.
- **NMX-AA-012-SCFI-2000.** ANÁLISIS DE AGUA-DETERMINACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA

- **NMX-AA-026-SCFI-2001.** ANÁLISIS DE AGUA-DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA
- **NMX-AA-028-SCFI-2001.** ANÁLISIS DE AGUA-DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES (DBO<sub>5</sub>) Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA.
- **NMX-AA-030-SCFI-2001.** DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS-MÉTODO DE PRUEBA
- **NMX-AA-034-SCFI-2001.** ANÁLISIS DE AGUA-DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS Y SALES DISUELTAS EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA
- **NMX-AA-036-SCFI-2001.** ANÁLISIS DE AGUA-DETERMINACIÓN DE ACIDEZ Y ALCALINIDAD EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA.
- **NMX-AA-042-SCFI-1987.** CALIDAD DEL AGUA-DETERMINACION DEL NUMERO MAS PROBABLE (NMP) DE COLIFORMES TOTALES, COLIFORMES
- **NMX-AA-051-SCFI-2001.** ANÁLISIS DE AGUA-DETERMINACIÓN DE METALES POR ABSORCIÓN ATÓMICA EN AGUAS NATURALES, POTABLES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS-MÉTODO DE PRUEBA
- **NMX-AA-072-SCFI-2001.** ANÁLISIS DE AGUA-DETERMINACIÓN DE DUREZA TOTAL EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS-MÉTODO DE PRUEBA.
- **NMX-AA-079-SCFI-2001.** ANÁLISIS DE AGUAS-DETERMINACIÓN DE NITRATOS EN AGUAS NATURALES, POTABLES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS-MÉTODO DE PRUEBA
- **NMX-AA-093-SCFI-2000.** ANÁLISIS DE AGUA-DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELECTROLÍTICA-MÉTODO DE PRUEBA.
- **NMX-AA-099-SCFI-2006.** ANÁLISIS DE AGUA-DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO DE NITRITOS EN AGUAS NATURALES Y RESIDUALES-MÉTODOS DE PRUEBA
- **NOM-001-SEMARNAT-1996.** QUE ESTABLECE LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAS Y BIENES NACIONALES.
- **NOM-127-SSA1-1994.** "SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO-LIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACION".
- **Ongley E.** 1997. "Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos". Estudio FAO: Riego y Drenaje-55. Capitulo 4. LOS PLAGUICIDAS, EN CUANTO CONTAMINANTES DEL AGUA.  
<http://www.fao.org/docrep/w2598s/w2598s06.htm#efectos%20ecológicos%20de%20los%20plaguicidas>.
- **Organización Mundial de la Salud.** (OMS), 1998. "Guías para la calidad del agua potables". 2ª. Ed. Vol. 1, Recomendaciones; Cap. III. Aspectos Químicos. Pág. 53.

- **Organización Mundial de la Salud. (OMS), 1998.** "Guías para la calidad del agua potables". 2ª. Ed. Vol. 3, Vigilancia y control de los abastecimientos de agua a la comunidad; Cap. IV. Muestreo y Análisis del Agua. Págs. 64, 65.
- **Organización Panamericana de la Salud. (OPS), 1993.** "Agua, nuestro planeta y nuestra salud". Informe de la Comisión de Salud y Medio Ambiente de la Organización Mundial de la Salud. Washington, D.C; OPS-OMS. Pág. 332.
- **Osuna F. 2002.** "La Investigación Sobre Plaguicidas y su Importancia". Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Unidad Delicias, Chihuahua, México. Pág. 2.
- **Programa de desarrollo urbano del centro de población de Suchiapa, Chiapas, 2002.** Págs. 14,15.
- **Programa Hidráulico Regional 2002-2006.** Región XI Frontera Sur, 2003. Pág. 35.
- **Reynolds, A. K. 2002.** "Calidad del agua a lo largo de la frontera México-Estados Unidos". Agua Latinoamericana. Noviembre-Diciembre. Págs. 54-55.
- **Sánchez, P. H; Vargas M. M. y Méndez S. J. 2000.** "Calidad bacteriológica del agua para consumo humano en zonas de alta marginación de Chiapas". Salud Pública de México; vol. 42, No. 5, Septiembre-Octubre del 2000.
- **Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. (SARH), 1979.** Boletín Hidrológico No.37, Región Hidrológica No. 11, Frontera Sur, Tomo II.
- **Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. 2005.** "Informe de calidad del agua en Colombia 2004". Bogotá, Colombia. Pág. 43.
- **Tebbutt, T.H. 1993.** "Fundamentos de control de la calidad del agua" Versión autorizada en español. Edit. Limusa. México, D.F. Págs. 13-15, 55-60.

XIII Anexos.

ANEXO 1



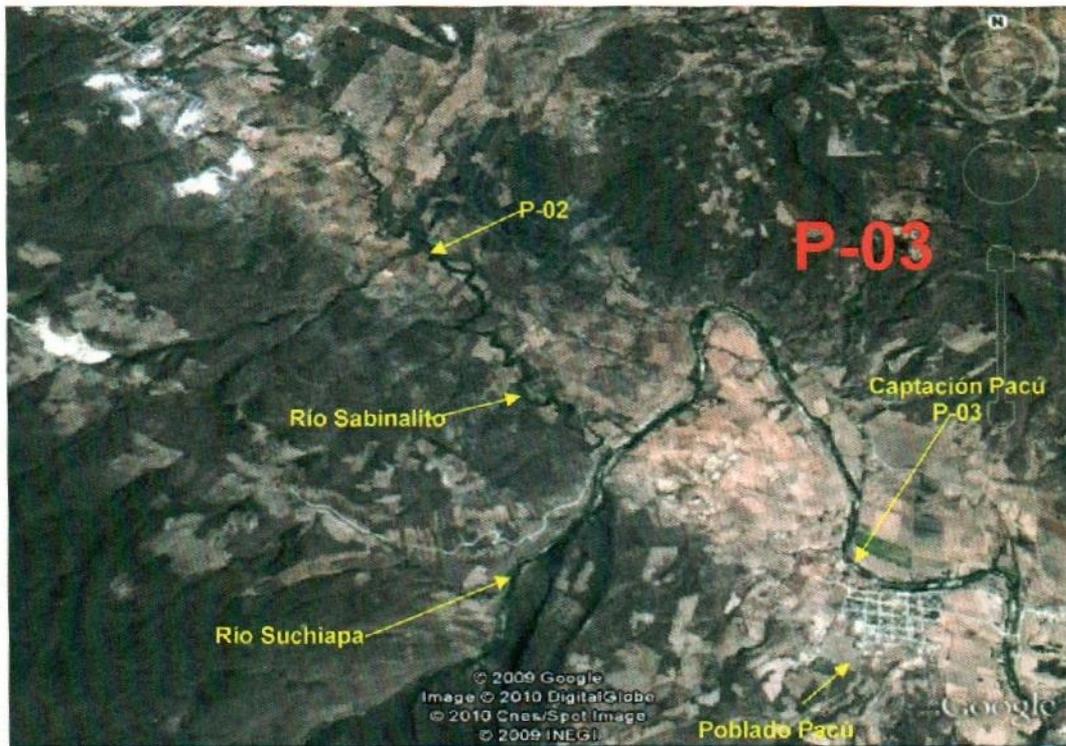
ANEXO 2



ANEXO 3



ANEXO 4



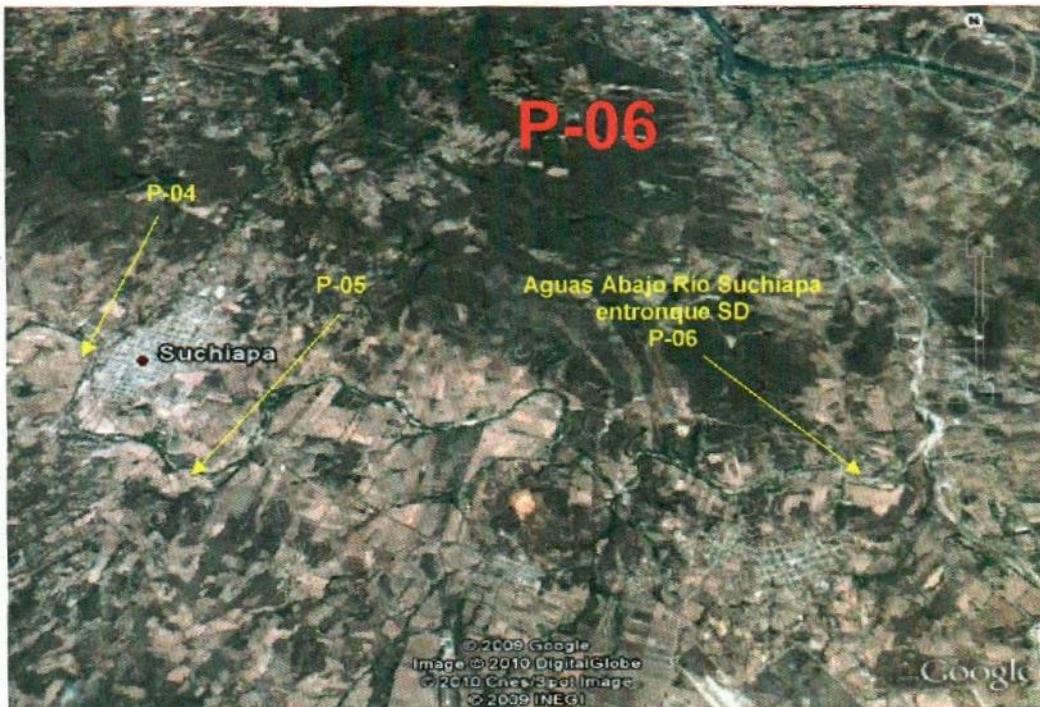
ANEXO 5



ANEXO 6



ANEXO 7



**ANEXO 8****In Situ****NMX-AA-007-SCFI-2000 (Temperatura del agua)****Procedimiento**

Sumerja el termómetro en el cuerpo de agua.

Esperar el tiempo suficiente para obtener mediciones constantes. Las lecturas se obtienen directamente de la escala del aparato medidor de temperatura y se informa en grados centígrados ( $^{\circ}\text{C}$ ), con aproximación a la décima de grado ( $0,1^{\circ}\text{C}$ ).

Registrar la lectura.

Realizar por triplicado las operaciones.

Enjuagar con agua el instrumento de medición

Determinación de la temperatura en aguas residuales.

Todas las lecturas deben hacerse en las descargas. En caso de que no sea posible, está puede determinarse en un punto accesible del conducto más próximo a la descarga.

Calcular el promedio de las tres lecturas después de efectuadas las correcciones pertinentes.

Reportar el promedio de las lecturas.

Los datos obtenidos se reportan en grados Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ), con una aproximación de  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ .

**NMX-AA-008-SCFI-2000 (pH)****Procedimiento**

Una vez calibrado el instrumento lave abundantemente los electrodos y séquelos ligeramente sin tallar.

Cuando sea posible determinar el pH directamente en el punto de muestreo sin extraer la muestra, sumergiendo los electrodos en el cuerpo de agua.

Cuando sea preciso extraer una muestra se toma un volumen mínimo de 100 mL en un envase de polietileno o de vidrio limpio

Determine el pH de la muestra de inmediato.

Realice la medición dos veces más.

Enjuagar los electrodos con agua.

Ningún cálculo es necesario. Tome directamente la lectura en unidades de pH que aparece en la pantalla del instrumento, con dos cifras decimales.

Reporte el valor obtenido y la precisión de la medición.

Expresa el valor en Unidades de pH.

Indique la temperatura a que se ha medido el pH o a la cual se ha corregido manual o automáticamente.

**NMX-AA-093-SCFI-2000 (Conductividad eléctrica)****Procedimiento**

Calibre el equipo. Lave los electrodos con agua grado reactivo y seque cualquier exceso de agua. Tome una alícuota de la muestra (la cantidad de muestra dependerá del equipo a utilizar), colóquela dentro de una probeta y sumerja el electrodo dentro de la muestra. Una vez que la lectura obtenida se encuentre estable, anote la conductividad y la temperatura. Enjuague con agua el electrodo y seque con papel absorbente.

**NOTA:** Si se cuenta con un conductímetro con compensador de temperatura, no son necesarios los cálculos.

Reporte los resultados en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  indicando la precisión de la medición

**DIRECTO (Oxígeno disuelto)****Procedimiento****Método electrométrico**

Enjuague el electrodo del instrumento con agua.

Introduzca el electrodo a la muestra y agitando directamente leer directamente del instrumento la concentración de Oxígeno Disuelto.

**Cálculos****Método electrométrico**

Las concentraciones de OD se toman directamente del instrumento.

Reporte los resultados en  $\text{mg}/\text{L}$  indicando la precisión de la medición.

## NMX-AA-028-SCFI-2001 (DBO<sub>5</sub>)

### Procedimiento

Acondicionamiento:

1. Preparación de agua para dilución - Coloque el volumen deseado de agua en un frasco y añada 1 mL de cada una de las siguientes disoluciones: disolución amortiguadora de fosfato, disolución de MgSO<sub>4</sub>, disolución de CaCl<sub>2</sub> y disolución de FeCl<sub>3</sub> por cada litro de agua. Siembre el agua de dilución. Airear por 24 Hrs. con aire filtrado libre de materia orgánica. Alternativamente, almacene en frascos tapados con algodón durante tiempo suficiente para que el agua se sature de OD. Proteja la calidad del agua utilizando material de vidrio, tubos y frascos limpios.
2. Control del agua de dilución - Utilice este procedimiento como una comprobación aproximada de la calidad del agua de dilución.
3. Control de la glucosa-ácido glutámico - Compruebe en cada lote analítico la calidad del agua de dilución, la efectividad del inóculo y la técnica analítica mediante determinaciones de la DBO<sub>5</sub> en muestras estándar de concentración conocida. Utilice una mezcla de 150 mg de glucosa/L y 150 mg de ácido glutámico/L como solución patrón de control.

Es necesario tener presente una población de microorganismos capaces de oxidar la materia orgánica biodegradable de la muestra.

Control del inóculo — Determine la DBO<sub>5</sub> del material de siembra como para cualquier otra muestra. Esto es una siembra control. A partir de este valor y de uno conocido de la dilución del material de siembra determine el consumo de OD de la siembra. Para determinar el consumo de OD de una muestra se resta el consumo de OD de la siembra del consumo de OD total. El consumo de OD total del agua de dilución sembrada deberá oscilar entre 0.6 y 1.0 mg/L.

Muestras con pH ácidos o básicos - Neutralice las muestras a un pH entre 6.5 y 7.5 con una solución de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) o de hidróxido de sodio (NaOH) de concentración tal que la cantidad de reactivo no diluya la muestra en más del 0.5%. El pH del agua de dilución sembrada no deberá verse afectado por la dilución de la muestra.

Ajuste de la temperatura de la muestra a temperatura ambiente antes de hacer diluciones.

Técnica de dilución - Las diluciones que dan lugar a un OD residual mayor de 1 mg/L y un consumo de OD de al menos 2 mg/L después de 5 días de incubación, producen los resultados más confiables. Haga 3 diluciones de la muestra preparada para obtener un consumo de OD en dicho intervalo. Un análisis más rápido tal como la DQO, presenta una correlación aproximada con la DBO<sub>5</sub> y sirve como una guía para seleccionar las diluciones. En ausencia de datos previos, utilice las siguientes diluciones: de 0.0 a 1.0% para los residuos industriales fuertes, de 1 a 5% para las aguas residuales sedimentadas y crudas, del 5 al 25% para el efluente tratado biológicamente y del 25 al 100% para las aguas superficiales contaminadas.

Diluciones preparadas directamente en frascos Winkler - Utilizando una pipeta volumétrica añada el volumen de muestra deseado a frascos Winkler individuales de 300 mL. Añada cantidades adecuadas del material de inoculación a los frascos Winkler individuales. Llene los frascos con suficiente agua

de dilución, sembrada si es necesario, de forma que la inserción del tapón desplace todo el aire, sin dejar burbujas.

Determine el OD inicial en el frasco de DBO. Ajuste herméticamente el tapón, ponga un sello de agua y la contratapa e incube durante 5 días a  $20 \pm 1^\circ\text{C}$

La determinación del OD inicial se realiza por medio del método electroquímico con electrodo de membrana, o bien por el Whinkler modificado.

Emplee un blanco del agua de dilución como un control aproximado de la calidad del agua de dilución no sembrada y de la limpieza de los frascos de incubación. Junto con cada lote de muestras, incube un frasco de agua de dilución no inoculada. Determine el OD inicial y final. El consumo de OD no deberá ser mayor de 0.2 mg/L y preferiblemente no superior a 0.1 mg/L.

Control de siembra (Agua inoculada) - Emplee un blanco del agua de dilución como un control aproximado de la calidad del agua de dilución no inoculada y de la limpieza de los frascos de incubación. Junto con cada lote de muestras, incube un frasco de agua de dilución no inoculada. Determine el OD inicial y final. El consumo de OD no deberá estar entre 0.6 y 1 mg/L.

Incube a  $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$  las botellas Winkler que contengan las muestras con las diluciones deseadas, los controles de siembra, los blancos de agua de dilución y el control de glucosa-ácido glutámico. En caso de no contar con contratapas, revise diariamente que el sello de agua este intacto en cada botella de DBO incubada, si es necesario agregue agua.

Determinación del OD final - Después de 5 días de incubación determine el OD en las diluciones de la muestra, en los controles y en los blancos. La medición del OD debe realizarse inmediatamente después de destapar la botella Winkler, para evitar la absorción de oxígeno del aire por la muestra.

Anotar los datos de  $\text{OD}_1$  y  $\text{OD}_5$ . Reportar los resultados en mg/L de  $\text{DBO}_5$  con dos cifras significativas indicando la precisión de la medición.

#### **NMX-AA-072-SCFI-2001 (Dureza total)**

##### **Procedimiento**

Si la muestra contiene partículas o materia orgánica que interfiera en la determinación, requerirá un tratamiento previo antes del análisis. Se recomienda llevar a cabo una digestión con ácido nítrico - ácido sulfúrico o bien ácido nítrico - ácido perclórico.

Coloque 50 mL de muestra en un matraz de erlenmeyer de 250 mL.

Añada entre uno y dos mL de disolución amortiguadora. Por lo general 1 mL será suficiente para dar un pH de 10.0 a 10.1. La ausencia de un cambio de color del punto final neto en la titulación suele significar la necesidad de añadir un inhibidor en este punto o que el indicador se ha deteriorado.

Añada una cantidad adecuada del indicador negro de Eriocromo - T en polvo. Poco a poco añada disolución titulante EDTA removiendo continuamente hasta que desaparezcan los últimos matices rojizos. Añada las últimas gotas con intervalos de tres a cinco segundos. En el punto final la disolución debe ser azul.

Realice un blanco utilizando agua del mismo volumen que la muestra a la que hay que añadir idénticas cantidades de disolución amortiguadora, e indicador.

Reporte los resultados en mg/L de  $\text{CaCO}_3$ .

### NMX-AA-036-SCFI-2001 (Alcalinidad)

#### Procedimiento

En caso de estar presente, elimine la interferencia del cloro residual, añadiendo 0.1 mL de la disolución de tiosulfato de sodio 0.1 M.

Tratamiento con peróxido de hidrógeno caliente para las muestras de acidez - Las muestras de desechos industriales, drenajes ácidos de minas u otras descargas que contengan cantidades mayores de 10 mg/L de iones metálicos hidrolizables, tales como hierro, aluminio, manganeso, deben tratarse con peróxido de hidrógeno caliente para asegurar la oxidación de cualquier forma reducida de cationes polivalentes y acelerar su hidrólisis. Este tratamiento con peróxido caliente consiste en pasar 100 mL de muestra a un matraz Erlenmeyer. Medir el pH con el potenciómetro. Si el pH está alrededor de 4.0 adicionar 5.0 mL de la disolución de ácido sulfúrico 0.02 N hasta reducir el pH a menos de 4. Remueva los electrodos y adicione 5 gotas de  $\text{H}_2\text{O}_2$  al 30 % y hierva la muestra de 2 a 5 min. Enfríe a temperatura ambiente y titule con hidróxido de sodio hasta un pH de 8.3, al volumen titulado, disminuya los 5.0 mL agregados inicialmente, reporte la incidencia en el reporte final.

Titulación:

Acidez total:

Método con indicador:

- Transfiera 100 mL de muestra en un matraz erlenmeyer 250 mL.
- Adicione 3 gotas de disoluciones indicadoras de fenolftaleína y de naranja de metilo.
- Titule con la disolución de hidróxido de sodio (0.02 N) valorada hasta el vire del naranja de metilo.
- Continúe con la titulación hasta alcanzar el vire de la fenolftaleína.
- Registre los volúmenes para ambos puntos finales.
- Calcule por separado la acidez, tomando en cuenta el vire de los dos indicadores.

Método potenciométrico:

- Transfiera 100 mL de la muestra en un vaso de precipitado de 250 mL.
- Introduzca la barra magnética.
- Inicie la agitación y titule con la disolución de hidróxido de sodio (0.02 N) valorada utilizando el potenciómetro, registre la lectura inicial de pH y titule hasta alcanzar un valor de pH de 8.3. Registre y grafique simultáneamente el volumen gastado contra el pH.

Alcalinidad:

Método con indicadores:

- Transfiera 100 mL de la muestra a un matraz Erlenmeyer de 250 mL.
- Adicione 3 gotas de la disolución indicadora de fenolftaleína.
- Titule con la disolución valorada de ácido (0.02 N) hasta el vire de la fenolftaleína (registre los mL gastados). Adicione 2 gotas de la disolución indicadora de naranja de metilo.
- Continúe con la titulación hasta alcanzar el vire de naranja del metilo.
- Calcule por separado la alcalinidad, tomando en cuenta el vire de los dos indicadores.

Método potenciométrico:

- Transfiera 100 mL de la muestra a un vaso de precipitados.
- Introduzca la barra magnética.
- Inicie la agitación y titule con la disolución de ácido (0.02 N) valorada utilizando el potenciómetro, registre la lectura inicial de pH y titule hasta alcanzar un pH de 4.5. Registre y grafique simultáneamente el volumen gastado contra el pH.

Reporte los resultados como acidez y/o alcalinidad en mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$  indicando la precisión de la medición.

#### NMX-AA-026-SCFI-2001 (Nitrógeno amoniacal)

##### Procedimiento

Acondicionamiento:

Selección de volumen de muestra - Coloque una muestra medida en un matraz Kjeldahl de 800 mL. Determine el volumen de la muestra, si es necesario, diluya la muestra a 500 mL con agua y neutralice con NaOH ó  $\text{H}_2\text{SO}_4$  según se requiera.

Destilación. Adicione al matraz Kjeldahl que contiene la muestra, 25 mL de la disolución buffer de borato y ajuste el pH a 9.5 con la disolución de NaOH 6 N utilizando el potenciómetro.

Coloque en un matraz Erlenmeyer de 50 mL de la disolución de ácido bórico con la mezcla de indicadores y conecte al sistema Kjeldahl. Sumerja la punta del condensador suba por abajo del nivel de la disolución de ácido bórico. Colecte hasta obtener 300 mL del destilado.

Titulación. Retirar el matraz colector y titular con solución de ácido sulfúrico 0.02 N hasta que la solución vire de un verde esmeralda a morado.

Blanco - Realice un blanco que se trate con todos los pasos del procedimiento y aplique la corrección necesaria a los resultados.

El gasto de la bureta debe ser por lo menos de tres cuartas partes del total del volumen, de no ser así, cambie la concentración del titulante.

Reporte los resultados en mg/L de  $\text{N-NH}_3$  indicando la precisión de la medición.

**NMX-AA-026-SCFI-2001 (Nitrógeno orgánico)****Procedimiento**

Selección de volumen de muestra - Coloque una muestra medida en un matraz Kjeldahl de 800 mL. Determine el volumen de la muestra, si es necesario, diluya la muestra a 500 mL y neutralice a pH = 7.0 con NaOH ó H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> según sea el caso o Enfriar el residuo contenido en el matraz Kjeldahl.

Digestión. Adicionar cuidadosamente 50 mL de reactivo para la digestión al matraz de destilación y mezclar perfectamente. Añadir unas cuentas de vidrio o piedras de ebullición. Si se encuentran presentes grandes cantidades de materia orgánica libre de nitrógeno adicionar 50 ml. de reactivo de digestión por cada gramo de materia sólida en la muestra. Mezclar y calentar a ebullición (eliminar los vapores de SO<sub>3</sub>) hasta que el volumen de la disolución se reduzca aproximadamente entre 25 mL y 50 mL y se observe gran desprendimiento de vapores blancos, estos vapores pueden oscurecerse cuando la muestra presenta grandes cantidades de materia orgánica.

Cuidadosamente añadir 50 mL de la disolución de hidróxido- tiosulfato de sodio, para formar una capa alcalina en el fondo del matraz, conectar el matraz a un equipo de destilación y sumergir la punta del condensador en un matraz que contenga 50 mL de disolución de ácido bórico y la mezcla de indicadores por abajo del nivel de esta disolución. Agitar hasta asegurarse que está completamente mezclado, el pH de la disolución debe ser mayor de 11,0.

Destilación - Coloque en un matraz Erlenmeyer de 50 mL de la disolución de ácido bórico con la mezcla de indicadores y conecte al sistema Kjeldahl. Sumerja la punta del condensador, suba por abajo del nivel de la disolución de ácido bórico. Destile hasta obtener 300 mL del destilado, no permita que la temperatura del condensador suba por arriba de los 29°C., cuando termine la destilación saque la punta del condensador del destilado sin retirarlo del matraz y continúe la destilación durante uno o dos minutos para limpiar el condensador.

Titulación del destilado - Titule el amoníaco en el destilado con ácido sulfúrico 0.02 N hasta cambio de la mezcla de los indicadores de verde claro a morado.

Blanco - Realice un blanco que se trate con todos los pasos del procedimiento y aplique la corrección necesaria a los resultados.

El gasto de la bureta debe ser por lo menos de tres cuartas partes del total del volumen, de no ser así, cambie la concentración del titulante.

Reporte los resultados en mg/L de N total indicando la precisión de la medición.

**NMX-AA-099-SCFI-2006 (Nitritos)****Procedimiento**

Remoción de sólidos suspendidos - Si la muestra contiene sólidos suspendidos, filtre a través de un filtro de membrana de 0.45 µm.

Neutralizar a un pH aproximado de 7.0 con las disoluciones de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> o NaOH, utilizando

potenciómetro o fenolftaleína como indicador.

Eliminación de color y turbiedad\_ Adicionar 2ml o la cantidad necesaria de suspensión clarificadora de sulfato de aluminio y potasio o amonio a 100 ml. de muestra con agitación y filtrar a través de papel de poro medio.

Determinación:

Transferir 50 ml. de muestra o porción alícuota a un matraz volumétrico de 125 ml., Neutralizar a un pH aproximado de 7.0 con las disoluciones de  $H_2SO_4$  1N o NaOH 1N, utilizando potenciómetro o fenolftaleína como indicador.

Adicionar 1 ml. de la disolución de sulfanilamida, agitar varias veces en el matraz volumétrico, permitir que la mezcla reaccione por más de 2 minutos pero no más de 8 minutos.

Adicionar 1 mL de NEDA, agitar varias veces, dejar reposar por lo menos 10 minutos, pero no más de una hora; la presencia de nitrítos desarrolla una coloración púrpura rojiza.

Ajustar el espectrofotómetro a cero absorbancia con agua destilada a una longitud de onda de 543 nm y leer las muestras.

Reporte los resultados en mg  $N-NO_2^-/L$  indicando la precisión de la medición.

#### NMX-AA-079-SCFI-2001 (Nitratos)

##### Procedimiento

Filtre la muestra con un papel filtro y/o membrana, para remover la turbiedad.

Si la muestra contiene cloro residual añada una gota (0.05 mL) de la disolución de arsenito de sodio por cada 0.10 mg de  $Cl_2$  y mezcle. Añada una gota de exceso a una muestra de 50 mL.

Coloque el número suficiente de tubos de reacción en la gradilla de alambre cuidando que cada tubo esté rodeado por espacios libres. El calentamiento de los tubos debe ser uniforme.

Si es necesario corrija el color debido a la materia orgánica disuelta, la cual causa color en el calentamiento, es necesario correr duplicados de muestras con todos los reactivos pero sin agregar el ácido sulfanílico-brucina.

Tome una alícuota de 10 mL de agua como blanco de reactivos, coloque 10 mL de cada uno de los estándares y muestra o una alícuota de la muestra diluida a 10 mL dentro de los tubos respectivamente.

Coloque los tubos en un baño de agua fría (0 - 10°C).

Añada 2 mL de cloruro de sodio al 30 % al blanco de reactivos, estándares y muestras. Mezcle el contenido de los tubos.

Añada 10 mL de a disolución de ácido sulfúrico en cada tubo y mezcle. Permita que los tubos alcancen el equilibrio térmico en el baño frío. Asegúrese de que las temperaturas de todos los tubos están en equilibrio antes de continuar.

Añada 0.5 mL del reactivo ácido sulfanílico-brucina a cada tubo (excepto a los tubos de control de interferencias).

Mezcle cuidadosamente. Si al mezclar se observa una coloración rosa o amarilla, haga una dilución mayor de la muestra antes de continuar.

Caliente los tubos, en baño María a 92°C. exactamente 20 minutos.

Remueva los tubos del baño María, sumérjalos en un baño de agua fría y espere a que alcancen el equilibrio térmico.

Ajustar el espectrofotómetro con el blanco de reactivos a una longitud de onda de 410 nm y leer las muestras.

Reporte los resultados en mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L indicando la precisión de la medición.

#### NMX-AA-034-SCFI-2001 (Fósforo total)

##### Procedimiento

Use 50 mL de la muestra bien mezclada. Adicione una gota de fenolftaleína. Si aparece un color rojo, adicione gota a gota H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado hasta que desaparezca el color. Posteriormente adicione 1 mL de la disolución de ácido fuerte y 0.4 g de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> ó 0.5 g K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>.

Caliente hasta que rompa la ebullición sobre la placa de calentamiento, por 30 ó 40 minutos o hasta que el volumen final alcanzado sea de 10 mL. Algunos compuestos organofosforados pueden requerir hasta 1.5 a 2 h para su digestión completa. Enfríe, diluya a 30 mL con agua, adicione una gota de fenolftaleína y neutralice hasta desvanecer a un color rosa pálido con la disolución de NaOH. Alternativamente, caliente por 30 min en un autoclave u olla de presión de 98 a 137 kPa y repita el procedimiento con fenolftaleína. Afore a 100 mL con agua. En algunas muestras puede formarse un precipitado en esta fase, pero no debe filtrarse. Mezcle bien para cualquier subdivisión de la muestra. El precipitado (posiblemente de fosfato de calcio) se redisuelve bajo condiciones ácidas de la prueba colorimétrica para determinar el fósforo.

Ajuste el pH de la muestra - A 100 mL de la muestra libre de color y turbidez adicione 1 gota de fenolftaleína. Si la disolución tiene un color rosado, adicione unas cuantas gotas de disolución de ácido para neutralizar.

Desarrollo del color - Adicione, agitando fuertemente después de cada adición, 4.0 mL del reactivo de molibdato y 0.5 mL del reactivo de cloruro estano. La intensidad del color depende de la temperatura ambiente de la disolución final incrementándose está alrededor de 1% por cada grado centígrado más de temperatura ambiente. Por lo que es importante realizar las mediciones a la misma temperatura.

Medición de color - Después de 10 min, pero antes de 12, utilice el mismo intervalo de tiempo para todas las mediciones, mida la intensidad de color espectrofotométricamente a 690 nm y compare contra la curva de calibración utilice como blanco agua.

Considere las diluciones que sufrió la muestra en el desarrollo del método (digestión y alícuota de muestra tomada).

Reporte los resultados en mg/L indicando la precisión de la medición.

### NMX-AA-030-SCFI-2001 (DQO)

#### Procedimiento

Para niveles mayores de 50 mg/L de demanda química de oxígeno.

Transferir una muestra de 50 mL (o dilución) al matraz erlenmeyer de 500 mL. Agregar una cantidad adecuada de sulfato mercúrico (aproximadamente 1.0 g, la relación de sulfato mercúrico/cloruros debe ser 10 a 1) y algunas perlas de vidrio. Adicionar una alícuota de 25 ml de disolución estándar de dicromato de potasio 0.0417 M y mezclar mediante un movimiento circular.

Agregar 75 mL de la disolución de ácido sulfúrico-sulfato de plata y agitar con movimiento circular para homogenizar, en el momento de la adición del reactivo mantener la muestra en un baño de agua fría. Se puede utilizar cantidades menores de muestra conservando la proporción de los reactivos.

Conectar el matraz erlenmeyer al condensador tipo Friedrich y hacer circular el agua de enfriamiento.

Calentar el matraz que contiene la mezcla y mantener a reflujo durante 2 horas a partir del momento en que comienza la ebullición. Dejar enfriar y lavar el condensador con 25 mL de agua.

Añadir agua por el extremo superior del condensador hasta completar un volumen aproximado de 300 mL, retirar el matraz del condensador y enfriar a temperatura ambiente.

Agregar 3 gotas de disolución indicadora de 1,10 fenantrolina como indicador y titular con la disolución de sulfato ferroso amoniacal 0.25 M. Tomar como punto final el primer cambio de color de azul verdoso a café rojizo.

Llevar simultáneamente un testigo preparado con agua y todos los reactivos que se utilizan en el procedimiento.

Todos los valores obtenidos de control de calidad deben ser reportados junto con los resultados del análisis.

Reporte los resultados en mg O<sub>2</sub> /L con dos cifras significativas.

### NMX-AA-034-SCFI-2001 (Sólidos totales)

#### Procedimiento

Acondicionamiento de las cápsulas:

Las cápsulas se introducen a la mufla a una temperatura entre 550 ± 50°C durante 20 minutos como mínimo.

Las cápsulas se transfieren a la estufa a una temperatura de 103 - 105°C aproximadamente 20 minutos.

Saque y enfríe a temperatura ambiente dentro de un desecador.

Pese las cápsulas y registre los datos.

Repita el ciclo hasta alcanzar el peso constante, el cual se obtendrá hasta que no haya una variación en el peso mayor de 0.5 mg. Registre como peso G.

**Acondicionamiento de los crisoles gooch:**

Introduzca el filtro de fibra de vidrio en el crisol con la cara rugosa hacia arriba, moje el filtro con agua para asegurar que se adhiera al fondo del crisol.

Los crisoles se introducen a la mufla a una temperatura entre  $550 \pm 50^{\circ}\text{C}$  durante 20 minutos como mínimo

Los crisoles se transfieren a la estufa a una temperatura entre  $103$  a  $105^{\circ}\text{C}$  aproximadamente 20 minutos.

Saque y enfríe a temperatura ambiente dentro de un desecador.

Pese los crisoles y repita el ciclo hasta alcanzar el peso constante, el cual se obtendrá hasta que no haya una variación máxima en el peso de 0.5 mg. Registre como G3

Saque las muestras de refrigeración y permita que alcancen la temperatura ambiente. Agite las muestras y homogeneizar la muestra.

**Determinación de sólidos totales (ST):**

En función de la cantidad de sólidos probables, tome una cantidad de muestra que contenga como mínimo 25 mg/L de sólidos totales, generalmente 100 mL de muestra es un volumen adecuado.

Transfiera la muestra a la cápsula de evaporación que previamente ha sido puesta a peso constante.

Seque la muestra en la estufa a una temperatura entre  $103$  a  $105^{\circ}\text{C}$ .

Enfríe en un desecador a temperatura ambiente y determine su peso hasta peso constante. Registre como peso G1.

**Determinación de sólidos suspendidos totales (SST):**

Mida con una probeta, un volumen adecuado de la cantidad seleccionada de muestra previamente homogeneizada la cual depende de la concentración esperada de los sólidos suspendidos.

Filtre la muestra a través del crisol gooch acondicionado aplicando vacío, lave el disco tres veces con 10 mL de agua, dejando que el agua drene totalmente en cada lavado.

Suspenda el vacío y seque el crisol en la estufa a una temperatura entre  $103$  a  $105^{\circ}\text{C}$  durante 1 hora aproximadamente. Saque el crisol, deje enfriar en un desecador a temperatura ambiente y determine su peso hasta peso constante. Registre como peso G4.

**Determinación de materia orgánica suspendida (MOS):**

Introduzca el crisol que contiene el residuo y el disco a la mufla, a una temperatura de  $500^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$  durante 15 a 20 min. Saque el crisol, introduzca los crisoles a la estufa a una temperatura de  $103$  a  $105^{\circ}\text{C}$  durante 20 min aproximadamente. Saque y enfríe a temperatura ambiente en desecador y determine su peso hasta peso constante. Registre como peso G5.

**Determinación de sólidos disueltos totales (SDT):**

La determinación de los sólidos disueltos totales es por diferencia entre los sólidos totales menos los sólidos suspendidos totales.

Reportar los resultados en mg/L indicando la precisión de la medición.

## NMX-AA-042-1987 (Coliformes NMP)

### Procedimiento

#### Pruebas presuntivas

Con un algodón impregnado de solución desinfectante, limpie el área de trabajo antes y después de realizar cualquier operación, después cree un campo estéril colocando un mechero encendido.

Antes del examen, mezclar perfectamente la muestra agitándola vigorosamente para lograr una distribución uniforme de los microorganismos y, dependiendo de la naturaleza del agua y el contenido bacteriano esperado, hacer todas las diluciones necesarias en esta etapa.

Utilizar series que consten de por lo menos tres diluciones por ejemplo: 10.0 mL, 1.0 mL y 0.1 mL o bien 1.0 mL, 0.1 mL y 0.01 mL o las que se consideren necesarias. Por cada dilución debe haber 3 ó 5 tubos.

Para diluciones a 10 veces, poner 90 ó 9 mL del diluyente en matraces o tubos de dilución esterilizados. Alternativamente, usar volúmenes de diluyente preesterilizado en matraces con tapón de rosca o algodón. Hacer una o más diluciones a 10 veces transfiriendo un volumen de la muestra de agua a 9 volúmenes del diluyente. Repetir estos pasos cuantas veces sea necesario. Preparar suficiente cantidad de cada dilución para todas las pruebas que se vayan a llevar a cabo con la muestra. Para diluciones diferentes a 10 veces ajustar el volumen de diluyente a la porción de prueba. Inocular los tubos conteniendo medios de aislamiento de doble concentración con porciones con porciones de prueba de un volumen mínimo de 5 mL.

Incube los tubos por 24, 48 h  $\pm$  1 h a 35  $\pm$  1°C.

Transcurrido el tiempo de incubación revise si hay presencia de gas, una prueba presuntiva positiva será indicada por la presencia de turbidez debido al crecimiento bacteriano y formación de gas en el tubo invertido (tipo Durham), en caso contrario será negativa. Si se utilizo como indicador púrpura bromocresol si hay producción de ácido (vire morado a amarillo). Si no hay presencia de gas en los tubos reincubelos por 24 h más.

Si los tubos son negativos después de 48  $\pm$  1 h, el resultado es considerado negativo en la serie de tubos. Los tubos positivos en la etapa presuntiva son verificados en la etapa confirmatoria.

#### Pruebas confirmativas.

Con un algodón impregnado de solución desinfectante, limpie el área de trabajo antes y después de realizar cualquier operación, después cree un campo estéril colocando un mechero encendido.

Prepare y rotule una serie de tubos de caldo BLVB (coliformes totales) o caldo EC (coliformes fecales) acuerdo al número de tubos positivos de la prueba presuntiva. Inocule con una asa bacteriológica cada tubo. Esterilice el asa en el mechero hasta rojo vivo y permitir que se enfríe antes de realizar cualquier resiembra. Esterilice el asa entre cada resiembra.

Para confirmar la presencia de organismos conformes totales, incubar un tubo de caldo Bilis Lactosa Verde brillante a 35  $\pm$  1°C, y examinarlo para ver si hay producción de gas dentro de un periodo de 48 horas.

Para confirmar la presencia de organismos coliformes fecales (termotolerantes), incubar un tubo de caldo EC a 44  $\pm$  0.5°C durante 24 h para ver si hay producción de gas.

Etapa presuntiva para *Escherichia coli*.

Cree un campo estéril colocando un mechero encendido, con un algodón impregnado de solución desinfectante limpie el área de trabajo. Antes y después de realizar cualquier operación.

Prepare y rotule una serie de tubos de agua de triptona para detectar la formación de Indol. Inocule con una asa bacteriológica cada tubo. Esterilice el asa entre cada resiembra.

Incube los tubos por 24 horas a  $44 \pm 0.5$  °C. Transcurrido el tiempo de incubación añada 0.2 a 0.3 mL del reactivo de Kovacs al tubo de agua de triptona, el desarrollo de un anillo de color rojo después de agitar suavemente denota la presencia de indol

Prueba de oxidasa

Algunas especies de bacterias conocidas como aeromonas, que se encuentran naturalmente en el agua, desarrollándose en un rango de temperatura entre los 30 a 35°C, pero a pesar de ser su rango óptimo pueden producir ácido y gas a partir de lactosa a una temperatura de 37°C, estos organismos tienen poco significado como indicadores de contaminación fecal y se distinguen del grupo de los coliformes por una reacción de oxidasa positiva.

Coloque de 2 a 3 gotas de reactivo de oxidasa, recién preparado en un papel filtro dentro de una caja de petri, con una varilla de vidrio o un aplicador de madera transfiera un poco del crecimiento al papel filtro.

Espere diez segundos y la aparición de un color azul oscuro purpúreo, se considera como una reacción positiva

En el reporte de resultados se deben incluir: los resultados se reportaran como el NMP de coliformes totales o fecales por 100 mL de muestra (NMP/100 mL).

### Metales Pesados NMX-AA-051-SCFI-2001

El sedimento es un material compuesto por organismos vivos, material inerte, materiales orgánicos e inorgánicos que varían en su composición física, química y biológica, que han sido transportados por el agua, hielo y viento y depositados en sistemas acuáticos. Las muestras de sedimentos son utilizadas para determinar la ocurrencia y distribución de un determinado plaguicida en sistemas de agua superficial. El análisis químico del sedimento para un determinado plaguicida entrega valiosa información acerca del transporte, cargas totales, cambios y distribución espacial y temporal de un compuesto. Este análisis también es útil para evaluar la efectividad o el resultado de un determinado programa de abatimiento de un plaguicida.

Durante el muestreo de sedimentos se deben tomar una serie de precauciones para asegurar la buena calidad de las muestras. Por ejemplo, la aproximación de la persona al punto de muestreo debe realizarse siempre desde corriente abajo. Esto evita que la muestra no se contamine con sedimento proveniente desde una zona distinta a la que se desea muestrear. La alteración del sedimento puede ser causada también por la presión y la resistencia a la fricción ejercida durante la penetración del muestreador (Mejías B. 2004).

Las muestras de sedimentos se colectaron y preservaron con forme lo establece la Norma Oficial Mexicana NMX-AA-051-SCFI-2001, y se trasladaron para su análisis al Laboratorio de Monitoreo Ambiental del Instituto de Historia Natural y Ecología (IHNE) para determinar la presencia o ausencia de metales pesados (Plomo, Cobre, Cadmio, Arsénico, Zinc, Cromo, Níquel y Mercurio). Se utilizó un espectrofotómetro de Absorción Atómica modelo *AAnalyst 100 Atomic Absortion Spectrometer*, de *Perkin Elmer Instrument*.

### Metodología

- Se Homogeniza perfectamente la muestra, verificando que no existan sólidos adheridos en el fondo del contenedor. Inmediatamente después tomar una alícuota de 50 ml a 100 ml dependiendo de la naturaleza de la muestra, y transferir a un vaso de precipitados para digestión. Ver cuadro.

Metales	Cantidad de muestra requerida (ml)	Vol. al que se afora después de la digestión (ml)
Zn, Cu, As y Cr	50	50
Pb y Cd	100	10
Hg	50	100

Volúmenes de muestra y concentración para los diferentes metales

- Se añade 3 ml de ácido nítrico concentrado y si calienta en una parrilla de calentamiento, se evapora, cuidando que no hierva, hasta aproximadamente de 2 ml a 5 ml de muestra y enfriar.
- Se adiciona 3 ml de ácido nítrico concentrado, cubrir con un vidrio de reloj y se pasa nuevamente la muestra a la parilla de calentamiento. Incrementar la temperatura de calentamiento hasta que exista reflujo de vapores. Continuar calentando y en caso de ser necesario, agregar mayor cantidad de ácido nítrico concentrado y continuar la digestión.

- Cuando la digestión es completa (cuando la muestra tenga apariencia cristalina constante) retirar la muestra y enfriar.
- Posteriormente filtrar en matraces aforados según los metales a analizar, se afora con agua desionizada.

**En el caso de Mercurio se hace el procedimiento siguiente:**

- Concentración de mercurio en los patrones de trabajo y la concentración desconocida de la muestra(X).
- Se añade 2 ml. de  $H_2SO_4$ .
- Se añade 1 ml. de  $HNO_3$ .
- Se añade la solución de permanganato de potasio hasta que permanezca el color y se deja reposar por 15 min. para asegurar la oxidación total. Cuando la matriz de la muestra está baja en material orgánico se aumenta el tiempo de reposo de 15 min. a mínimo 2 h.
- Se Añade la solución de persulfato de potasio y calentar en baño maría a  $95^\circ C$  por 2 h. Enfriar a temperatura ambiente.
- Se añade la cantidad necesaria de la solución de hidroxilamina para reducir el exceso de permanganato (decoloración de la muestra).

Para el caso de mercurio utilizando el boro hidruro de sodio se realiza una digestión ácida.

#### **Digestión ácida de sedimentos.**

En base al método 3050B de la Environmental Protection Agency (EPA) se realizó la digestión ácida de las muestras de sedimentos recolectadas en el proyecto.

Se mezcló la muestra hasta lograr la homogeneidad.

Se pesó de 1 a 2 gr. en peso húmedo ó 1 gr. en peso seco, se transfirió a un matraz erlenmeyer.

A cada una de las muestras se le añadió 2.5 mL de  $HNO_3$  y 10 mL de HCl y se cubrió con un vidrio de reloj, en seguida se colocaron en la campana de extracción, para calentar a  $95^\circ C \pm 5^\circ C$  y se reflujo de 10 a 15 minutos sin llegar a la ebullición.

Al finalizar la digestión se procedió a filtrar con papel Whatman No. 41 (o equivalente) y la recolección de filtrado se aforó con agua desionizada hasta 100 mL.

Una vez fría la muestra, se añadieron 2 mL de agua desionizada y 3 mL de  $H_2O_2$  al 30%. Este paso se realizó en la campana de extracción ya que el peróxido de hidrógeno reacciona de forma efervescente y se producen vapores tóxicos. Se continuó agregando 1 mL de  $H_2O_2$  al 30% a la muestra en calentamiento hasta que la efervescencia fuera mínima o nula.

#### **Análisis de las muestras**

Las muestra ya digeridas y aforadas se leen en un espectrofotómetro de Absorción Atómica modelo *AAAnalyst 100, Marca Perkin Elmer Instrument*, con aire como oxidante y acetileno como gas combustible a una relación de flujo desde 2/3 hasta 2/4 según el elemento a determinar, para Hg y As se utiliza además Argón como gas acarreador. El cabezal del quemador fue de una sola ranura de 10 cm de largo. Las curvas de calibración para cada metal presentaron un coeficiente de correlación superior al 0.999.

## Plaguicidas Organoclorados

### METODO EPA 8081B-2000

Las muestras de sedimentos colectadas en los sitios de muestreo, nos permitieron además determinar la presencia o ausencia de plaguicidas organoclorados. Se utilizó un cromatógrafo de gases marca *Perkin Elmer, modelo Clarus 500*, acoplado a un detector de masas, marca *Perkin Elmer modelo Clarus 500*.

### Metodología

Las muestras recibidas se pasan al proceso de extracción, en el cual en un embudo de separación se adiciona un litro de muestra y con 50 mL de solvente (Cloruro de Metileno,  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ), se obtiene la parte orgánica mediante agitación, esta parte es separada y pasada a un matraz erlenmeyer, esta operación se hace por triplicado.

Una vez extraída la parte orgánica, esta es secada con Sulfato de Sodio Anhidro previamente calcinado a  $400^\circ\text{C}$  durante 2 horas.

Después se concentra hasta cuatro o cinco mililitros en un baño maría a  $63^\circ\text{C}$  aproximadamente y se cambia de solvente, se le agrega 10 ml de n-Hexano, se eleva la temperatura a  $80^\circ\text{C}$  y se concentra hasta seis o siete mililitros. El extracto concentrado se afora a 10 ml con Hexano.

Las muestras ya procesadas son pasadas por un cromatógrafo de gases con detector de captura de electrones para su análisis, se toman dos microlitros de muestra y se inyecta en un cromatógrafo de gases marca *Perkin Elmer, modelo Clarus 500* con un detector de Captura de Electrones.

Si los cromatogramas presentan picos con presunta presencia de algún plaguicida Organoclorado se concentra aun más la muestra de diez a un mililitro aproximadamente y se inyecta un microlitro de muestra en el cromatógrafo de gases marca *Perkin Elmer, modelo Clarus 500*, acoplado a un detector de masas, marca *Perkin Elmer modelo Clarus 500*, y se confirma la presencia del contaminante, cabe mencionar que el dentro del detector de masas los compuestos separados son fragmentados y generan un patrón de fragmentación (espectro de masas) característico para cada compuesto (es su huella digital), con la ayuda de una librería que contiene aproximadamente 110 000 patrones de fragmentación, se busca el espectro de masas mas "parecido" y se determina confirma o desecha la existencia del compuesto contaminante.

En el caso de los sedimentos, son pesados 10 gramos de estos y puestos en un matraz erlenmeyer y son secados con Sulfato de Sodio Anhidro, una vez secos se le agrega el  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ , la extracción se realiza en un baño ultrasónico durante diez minutos, este proceso se hace por triplicado. Posteriormente es tratado de la misma manera que las muestras de aguas.

Es importante mencionar que dado al control de calidad del laboratorio, aparte de las muestras reales se hace una muestra control, un blanco de reactivos, además de que a cada muestra procesada se le adiciona estándares surrogados, los cuales nos indican la eficacia del proceso de extracción.

## XIV Artículo Científico

## Study of Water Quality and Heavy Metals in Sediments Suchiapa river, Chiapas, México

<sup>1</sup>C. Ramírez-Wleshower, <sup>2</sup>J. H. Castañón-González, <sup>2</sup>M. Cid del Prado, <sup>1</sup>F. De los Santos, <sup>1</sup>M. del Pilar,  
<sup>3</sup>R. Chávez, <sup>4</sup>C. Blanco G.

<sup>1</sup>Comisión Nacional del Agua, Laboratorio Regional de Calidad del Agua, Frontera Sur, Chiapas, México.

<sup>2</sup>Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

<sup>3</sup>Laboratorio de Monitoreo Ambiental, Dirección de Protección Ambiental, Subsecretaría del Medio Ambiente, Chiapas, México.

<sup>4</sup>Universidad Politécnica de Chiapas, México.

### SUMMARY

The present study is a diagnosis of the current state of the water resources and of sediments of the watershed of the Suchiapa River and its tributaries. This basin is one of the most important surface hydraulic glides in the area; it is in the central depression of the state of Chiapas, México, and has an area of 1,870 km<sup>2</sup>.

The study included the microbiological evaluation of the water and of the heavy metals in sediments of the river, in five sampling places, both affected and no affected by the agricultural activities of the area.

The obtained results demonstrated that all the studied points presented microbiological contamination for total and fecal coliformes, and that shows evidence of the existence of certain local deficiencies in the form of disposition of liquid waste of the domestic and agricultural type.

The concentrations of heavy metals were analyzed in sediments including arsenic, cadmium, copper, chromium, lead and zinc, being that only the cadmium, chromium and lead surpassed the value guides permissible limits established by the Canadian Council of Ministers of the Environment, for the protection of aquatic life.

**Keywords:** Suchiapa River, Bacteriology, Heavy Metals, Sediments.

### INTRODUCTION

Three-Forths parts of the terrestrial surface is covered by water; however, of all the existing water in the world, only 2.5% is sweet and potentially profitable for humans, plants and animals.

The situation is even more critical for the contamination of the little water that is available. A billion people at world level don't have access to the drinkable water and almost three billion don't have treatment systems of residual waters. As a result, between 14 and 30 thousand people, mostly children, die daily due to illnesses transported by the water (Gleick, 2000).

According to the Program of the United Nations for the Environment (PUNE), the place with the best water quality in the world is Finland, with an indicator of 1.85, while México ranks number 106 out of 122 countries, with an indicator of -0.69 (CONAGUA, 2007).

**Corresponding Author:** J. H. Castañón González, División de Posgrado e Investigación.  
Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.  
Carretera Panamericana Km. 1080. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.  
Phon. +5201 961 61 50380 Ext. 325, Mail: jcastagnon@itlg.edu.mx

48 México suffers important water problems of a diverse nature: of infrastructure, conservation,  
49 financing, contamination, distribution, equal access, administration, besides also facing a high  
50 vulnerability for the global climatic change. (CEDMA, 2006) .The waters that are poured into  
51 rivers and streams are generally urban residue; these have an unpleasant appearance and physical  
52 composition. Floating in them are variable quantities of fecal substances, pieces of foods, garbage  
53 and plastic (Tebbutt, 1993).

54  
55 The underground and surface waters that are used to satisfy the necessities of drinkable water of  
56 urban areas, as well as that which is dedicated to agriculture, cattle raising, industry and other  
57 specific uses, need to fulfill certain requirements regarding their chemical element content, their  
58 physical properties and the presence of organic matter (SARH, 1979). Water is a factor that can  
59 become a vehicle for the acquisition of diverse illnesses human beings (Gutierrez, *et al.*, 1989).  
60 Currently, more than 20 studied illnesses exist in which water acts directly or indirectly to present  
61 systems; some of these have a high impact in terms of morbidity and mortality. (OPS, 1993).

62  
63 Other types of illnesses related to water exist like the following: infectious hepatitis,  
64 leptospirosis, typhoid, tularemia, amoebic dysentery, gastroenteritis, ringworm, conjunctivitis,  
65 trachoma, etc. It should be observed that although these illnesses can be transmitted by water,  
66 they can also infect humans in other forms that allow the ingestion of the fecal matter of an  
67 infected person (Fair, *et al.*, 1971).

68  
69 Also, a series of environmental contamination factors exist that should be considered to be able  
70 to understand the biology of the aquatic habitat (H. Al-Sheikh *et al.*, 2009). Dissolved metals are  
71 one of the important pollutants in aquatic systems, since they follow precipitation mechanisms,  
72 evaporation, mobilization, etc. That can cause their bioaccumulation in the food chain (Tejeda S,  
73 *et al.*, 2005).

74  
75 It is very well-known that the use of watersheds as recipients of anthropogenic discharges  
76 represents a risk to human health. Particularly important is the contamination caused by the high  
77 concentrations of some heavy metals and their increase in the adverse effects caused by the  
78 persistence and the phenomenon of biomagnifying (Topalián *et al.*, 1999). Different international  
79 organizations carry out selective studies of these compounds, of their restrictive concentrations in  
80 the water and of their contributions to the necessities of the organism (INHEM, 1992).

81  
82 The Suchiapa river is one of the most important superficial hydraulic glides in the area. It is  
83 located in the Central Depression of the State of Chiapas, has an area of 1,870 km<sup>2</sup> and an  
84 orientation SE-NW. This river originates in three peaks, in the highest part of the Sierra Madre  
85 mountain range of Chiapas which about 2,600 meters high, the river name being Juan, among the  
86 municipalities of Villaflores with Tonalá and Arriaga. This river enters the municipality of  
87 Suchiapa passing an encasement of a solid red-earth denominated mass of mountains, ending in  
88 the Santo Domingo river, the one in which, nine kilometers later on, Grijalva also ends in front of  
89 Chiapa of Corzo. (Programa de Desarrollo Urbano del centro de población de Suchiapa, Chiapas,  
90 2002).

91 According to the Regional Hydraulic Program 2002-2006, the Suchiapa river is located in the  
92 south frontier region XI, belonging to the hydrological region No. 30 Grijalva-Usumacinta.

For the present study the bacteriological determination and bacteriological was necessary, as well as the determination of heavy metals comparing these with the value guides permissible limits established by the Canadian Council of Ministers of the Environment, (CCME, 2002), for the protection of aquatic life, since our country doesn't have a legislation as for concentrations of heavy metals in dredged sediments of rivers. The investigation is of great relevance and transcendence, since when not having antecedents of studies in this place, it makes it an original work that shows the real and current situation of the quality of the water and sediments of the watershed of the Suchiapa river, the same one that has been affected by the glides of liquid garbage waste coming from the new garbage dump of Tuxtla Gutiérrez, and the quick population growth in that study area, as well as the insecticides and pesticides used in the agricultural soils that infiltrate toward tributaries of the watershed, as well as the continuous residual discharges coming from the municipality of Suchiapa and of the small towns that settle in the riverbanks of the surface glide, representing a great risk for human health and also for aquatic life.

### MATERIALS & METHODS

Georeferenced sampling was carried out on a selected five places, by means of the cartographic revision and field visits to the Suchiapa river, and its tributaries, considering approaches like accessibility, ecological representation of the place, vicinity to the urban nucleus and security. Samples of surface water and of sediments were collected in those five places selected during four comprehensive periods between among the months of June to December of 2007.

The sampling was carries out according to Mexican Norms NMX-AA-003-SCFI-2006. The samples were collected, preserved and transported according to the Mexican Norms NMX-AA-14-1980 and to the manual of sampling of the regional laboratory of water quality, south frontier. The analyses of the samples were carried out in the following laboratories; Laboratory Regional of Water Quality, South Frontier and in the Environmental Monitoring Laboratory of the Natural Institute of History and Ecology. The determined bacteriological parameters were total and fecal coliformes, and the obtained results were compared with Mexican Norm values NOM-127-SSA1-1994; samples of silts were analyzed for the detection of heavy metals, As, Cd, Cu, Cr, Pb and Zn, using a spectrum photometer of atomic absorption Perkin-Elmer AAnalyst-100, and the results were compared with the values established by Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life, Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME).

### RESULTS

The selected sampling points were: P-01. Waters higher than the Sabinalito river ( $16^{\circ}42'16.80''\text{N}-93^{\circ}10'57.30''\text{W}$ ), P-02. Waters lower than the Sabinalito river ( $16^{\circ}40'05.76''\text{N}-93^{\circ}10'00.15''\text{W}$ ), P-03. Pacú reception ( $16^{\circ}38'28.01''\text{N}-93^{\circ}08'14.43''\text{W}$ ), P-04. Suchiapa reception ( $16^{\circ}37'35.45''\text{N}-93^{\circ}06'25.31''\text{W}$ ), P-05. Water lower than the Suchiapa river ( $16^{\circ}35'57.74''\text{N}-93^{\circ}00'57.30''\text{W}$ ). Figure 1.



Figure 1. Location of sampling points.

**Bacteriological Analysis**

Site	Dates of Sampling							
	17/06/2007		07/08/2007		09/10/2007		07/11/2007	
	C.T.	C.F.	C.T.	C.F.	C.T.	C.F.	C.T.	C.F.
P-01	4600	1919	1600000	220000	21300	3000	81640	100
P-02	5490	5043	110000	17000	104300	6300	198630	3270
P-03	14127	14127	8000	4000	11900	5200	36540	630
P-04	17000	3578	21000	4000	307600	3100	120330	950
P-05	54000	3993	70000	30000	145000	4100	241960	6090
LMP NOM-127-SSA1-1994	2	0	2	0	2	0	2	0

Table 1. Results of the bacteriological analyses of Total Coliformes (CT) and Fecal Coliformes (CF) in waters of the Suchiapa river during the four sampling dates, values compared with the permissible limits of the NOM-127-SSA1-1994.

The obtained results of the bacteriological analyses in waters of the Suchiapa river, indicated that all the sampling places surpassed the permissible limits of the NOM-127-SSA1-1994 for total and fecal coliformes, for which the water of these places is not usable for human consumption, unless it is subjected to specific treatments to make it drinkable.

These results demonstrate the existence of a variety of microorganisms, among them pathogenic, which represent a latent risk for public health when in contact with humans. The point with the highest degree of contamination for total and fecal coliformes was the (P-01) Water higher than the Sabinalito river.

**Heavy Metal Analysis.**

Site	Dates of Sampling											
	17/06/2007						07/08/2007					
	As	Cd	Cu	Cr	Pb	Zn	As	Cd	Cu	Cr	Pb	Zn
P-01	1.8	0.0	32.3	245.3	32.2	55.9	2.3	2.9	18.1	87.3	46.9	24.6
P-02	1.9	0.0	18.2	123.9	43.0	36.4	3.4	0.0	14.7	188.4	39.1	23.7
P-03	0.00	0.0	7.8	35.9	0.0	28.8	0.8	0.0	10.9	37.0	0.0	40.2
P-04	0.3	0.0	6.5	24.9	0.0	20.6	0.1	0.0	4.4	16.0	0.0	15.3
P-05	0.4	0.0	8.0	23.1	0.0	33.0	0.3	0.0	2.7	6.3	0.0	8.0
Canadian Legislation CCME	5.9	0.6	35.7	37.3	35.0	123.0	5.9	0.6	35.7	37.3	35.0	123.0

Site	Dates of Sampling											
	09/10/2007						07/11/2007					
	As	Cd	Cu	Cr	Pb	Zn	As	Cd	Cu	Cr	Pb	Zn
P-01	1.1	0.0	21.9	162.7	28.5	37.3	2.8	0.0	23.2	206.6	25.3	45.6
P-02	2.4	0.0	15.6	209.7	32.7	30.0	5.0	0.0	8.4	313.7	23.2	35.9
P-03	0.2	0.0	14.3	44.4	26.4	33.1	1.4	0.0	6.8	36.7	0.0	33.7
P-04	0.4	0.0	9.6	52.1	21.8	24.5	1.8	0.0	9.5	59.0	0.0	37.6
P-05	0.0	0.0	5.6	5.3	0.0	10.2	0.6	0.0	4.7	15.0	0.0	17.1
<b>Canadian Legislation CCME</b>	<b>5.9</b>	<b>0.6</b>	<b>35.7</b>	<b>37.3</b>	<b>35.0</b>	<b>123.0</b>	<b>5.9</b>	<b>0.6</b>	<b>35.7</b>	<b>37.3</b>	<b>35.0</b>	<b>123.0</b>

Table 2. Results of the concentrations of heavy metals: Arsenic (As), Cadmium (Cd), copper (Cu), Chrome (Cr), Lead (Pb) and Zinc (Zn) in sediments of the Suchiapa river during the four sampling dates, compared with the Canadian legislation CCME.

The highest concentrations of Arsenic were found in the sediments of the point (P-02) Water higher than the Sabinalito river, with the permissible maximum values not having been surpassed proposed by Canadians for sediments. In the remaining points the concentrations of this metal are low and almost null; the lowest concentrations were in sediments of the P-05 Water lower than the Suchiapa river. The obtained results presuppose that the highest concentrations in this metal have a direct relationship with the haulage of pollutants coming from the municipal garbage dump that is very near this point and in which, during raining season a small stream is formed that connects the Sabinalito river very near this studied point.

The results in the levels of Cadmium show that concentrations of this metal were only found in the initial point (P-01) Water higher than the Sabinalito river in the second sampling visit on 07/08/2007, with a concentration of 2.89 mg/kg. In the other sampling points of water below the results of the presence of this metal were not detectable for the method. The value found in this point surpasses the permissible limit of the Canadian CCME that establishes a value of 0.6 mg/kg, inclusive with the value obtained in this studied point, the conservation and protection of the existent aquatic life is put in risk.

The concentrations Chromium levels show that the highest values were in the sediments of the points (P-01 and P-02) Water higher than and lower than the Sabinalito river, surpassing the permissible maximum values of the Canadian CCME that put conservation and protection of aquatic life at risk in these points. The concentrations of this metal diminish waters below in the receptions of Pacú and Suchiapa (P-03 and P-04); however, the lowest concentrations were lower in the final point waters lower the Suchiapa river (P-05).

The obtained results lead us to believe that the highest concentrations in this metal have direct relationship with the haulage of pollutants coming from the municipal garbage dump, that is very near this point in which, during rainy season, the "Lacandon" stream, is formed and connected with the Sabinalito river very near this studied point.

The results of Copper levels show that the highest concentrations found in sediments were in the (P-01) Water higher than the Sabinalito river, reaching a value of up to 32.3 mg/kg in the first carried out sampling; however, this result doesn't surpass the values allowed by the Canadian CCME that establishes 35.7 mg/kg. Water lower than the river a notorious decrease is observed

90 in concentrations of this metal. The found values of this metal don't represent a risk for existent  
91 aquatic life.

92  
93 The highest concentrations of Lead were in the sediments of the points (P-01 and P-02) in waters  
94 higher and lower than the Sabinalito river, in points near to the municipal garbage dump, the  
95 inclusive concentrations surpassed the permissible maximum limits of the Canadian CCME, and  
96 they can put the conservation and protection of existent aquatic life at risk.

97  
98 The values in the concentration of Zinc didn't overcome the permissible maximum limits of the  
99 Canadian CCME for the conservation and protection of aquatic life; the highest concentrations  
00 were in the points (P-01 and P-02) in waters higher and lower than the Sabinalito river,  
01 diminishing waters lower in the receptions of Pacú and Suchiapa; the lowest concentrations were  
02 in the final point of Waters lower than the Suchiapa river (P-05).

03  
04 **DISCUSSION**

05  
06 With respect to the obtained results of the bacteriological analysis of the water source of the  
07 Suchiapa river and its tributaries, all the study places surpassed the permissible maximum limits  
08 of the NOM-127-SSA1-1994 for total and fecal coliformes, and for this the water of these places  
09 is not useable for the human consumption unless that it undergoes treatments to make it  
10 drinkable.

11  
12 The evaluation of the presence of metals weighed in sediments of the Suchiapa river Suchiapa  
13 and its tributaries shows us that they were two places that presented greater contamination due to  
14 the presence of metals; the points P-01 and P-02 in waters higher and lower than the Sabinalito  
15 river. In the P-01 the value guides permissible limits established by Canadians of the CCME were  
16 surpassed for cadmium, chromium and lead; the same as in the P-02 for chromium and lead.

17  
18 In general, of the six studied metals, in the five sampling points, three of these metals surpassed  
19 the value guides of the CCME; the chromium in all the sampling places except the point of  
20 Waters below Suchiapa river (P-06), the lead in the points P-01 and P-02, and in a punctual way  
21 the cadmium in the P-01 waters higher than the Sabinalito river.

22  
23 They should take immediate and not long term measures, mainly in the Municipality of Suchiapa  
24 where for maintenance lack and infrastructure of the existent plant for the treatment of residual  
25 waters has not worked for several years, for what all the discharges of the municipality are  
26 thrown directly toward this important water resource.

27  
28 Additionally, places exist with a risk potential that need special attention more than anything for  
29 the state, municipal and local authorities, like Sabinalito river, where it is shown through this  
30 study that not taking necessary measures can put the protection and conservation of existent  
31 aquatic life at risk.

32  
33 Specific studies should be carried out of the presence of heavy metals mainly in the raing season  
34 to the "Lacandón" stream coming from the same municipal garbage dump that only in raing  
35 season begins its flowing, carrying with it all types of waste coming from the garbage dump and  
36 of the adjacent places, ending in waters below the Sabinalito river, since in this study the

presence of metals like chromium and lead were demonstrated that surpassed the limits settled down by the Canadian CCME for conservation of the aquatic life.

### ACKNOWLEDGMENTS

To the National Commission of Water (CONAGUA), Regional Laboratory of Water Quality, South Frontier, to the Institute of Natural History and Ecology (IHNE) Laboratory of Environmental Monitoring. For offering all their support and the necessary resources for the realization of this investigation.

### REFERENCES

- **Canadian Council of Ministers of the Environment**, (CCME) Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. 2002.
- **Centro Mexicano de Derecho Ambiental (CEMDA)**. 2006. Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental (FEA), Presencia Ciudadana Mexicana, A.C. "El agua en México: Lo que todas y todos debemos saber"; 1ª. Ed. Págs.7, 80.
- **Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)**. Estadísticas del Agua en México 2007; Cap. II, Págs. 52, 54 y 55.
- Fair, M.G. y Geyer, J.C. 1971. "Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales 2" Ingeniería sanitaria y de aguas residuales. Universidad de Harvard. Ed. Limusa. México. Págs. 15-21.
- Gleick, P.H. 2000. "The World's Water". Island Press. Washington, D.C. P. 315.
- Gutiérrez, A.H. y Becerra, W. 1989. "Calidad de agua potable e incidencia de gastroenteritis en dos ciudades del estado de Sonora". Salud Pública de México. Págs. 31, 299-304.
- H. Al-Sheikh, A.A. Fathi, 2009. Ecological studies on lake Al-Asfar (Al-Hassa, Saudi Arabia) with special references to the sediment. Res., J. Environ. Sci., 3.
- **Instituto Nacional de Higiene Epidemiología y Microbiología (INHEM)**, 1992. "Serie Salud Ambiental" No. 3. Agua y Salud. Ed. Ciencias Médicas; La Habana, Cuba. P. 13.
- **Organización Panamericana de la Salud**. (OPS) 1993. "Agua, nuestro planeta y nuestra salud". Informe de la Comisión de Salud y Medio Ambiente de la Organización Mundial de la Salud. Washington, D.C; OPS-OMS. P. 332.
- Programa de Desarrollo Urbano del centro de población de Suchiapa, Chiapas, 2002. Págs. 14,15.
- Programa Hidráulico Regional 2002-2006. Región XI Frontera Sur, 2003. P.35.
- **Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH)** 1979, Boletín Hidrológico No.37, Región Hidrológica No. 11, Frontera Sur, Tomo II.
- Tebbutt, T.H. 1993. "Fundamentos de control de la calidad del agua" Versión autorizada en español. Edit. Limusa. México, D.F. Págs. 13-15, 55-60.
- Tejeda S, Ávila-Pérez P, Zarazúa G, Carapia-Morales L, Díaz-Delgado C, J. Lugo 2005. La medición de sedimentos en México. Distribución de metales pesados en sedimentos: Estudio del curso alto del río Lerma. Ed. IMTA-UJAT; Juitepec Morelos, Villahermosa, Tabasco, México. P. 318.

- 81  
82  
83  
84
- Topalián M. L., Castañe P. M., Rovedatti M. G. y Salibián A. (1999). Principal component analysis of dissolved heavy metals in water of the Reconquista River, Buenos Aires, Argentina. *Bull. Environ Contam. Toxicol.* 63:484-490.