



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
CAMPUS IZTACALA

“CONTRIBUCION AL ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RIO PAPALOAPAN”

BO 1295/97
g. 3

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
B I O L O G A
P R E S E N T A :
ELIZABETH ANDRADE ALFARO

ASESOR: P.M. en C. ROCIO GONZALEZ VEGA



LOS REYES IZTACALA, EDO. DE MEX.

1997



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
CAMPUS IZTACALA**

TITULO DE TESIS :

**“CONTRIBUCION AL ESTUDIO DE LA CALIDAD
DEL AGUA DEL RIO PAPALOAPAN”**

**NOMBRE DEL ASESOR : P. M. en C. ROCIO GONZALEZ VEGA
JEFE DE LA RED NACIONAL DE MONITOREO
COMISION NACIONAL DEL AGUA**

**SINODALES : M. en C. PATRICIA BONILLA LEMUS
M. en C. ELIZABETH RAMIREZ FLORES
Q.F.B. ESPERANZA ROBLES VALDERRAMA
P. M. en C. ROCIO GONZALEZ VEGA
BIOL. MARIO CHAVES ARTEAGA
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES CAMPUS IZTACALA**

**LUGAR DONDE SE REALIZO EL TRABAJO : GERENCIA DE SANEAMIENTO Y CALIDAD DEL AGUA
COMISION NACIONAL DEL AGUA**

A mi padre, por su apoyo y
comprensión; por enseñarme
valores incalculables en la vida
y por darme la mejor herencia
"La Universidad".

A mi madre, por demostrarme
que todo se puede obtener
en esta vida.

A mi tío Jorge, por su ejemplo.

A mis hermanos Gloria y Luis.

A mis mejores amigos Adriana, "el gavián", Eva Gabriela, Rocío, Claudia, Laura
y Paty.

Agradecimientos

A la UNAM, en especial a el Campus-Iztacala por convertirme en lo que ahora soy.

A la CNA, por prestarme sus instalaciones, equipo y material.

A la Gerencia Estatal de Veracruz, gracias por su paciencia y comprensión.

Al

Ing. Ignacio Castillo Escalante.- Gerente de Saneamiento y Calidad del Agua.

Dr. Jesús García Cabrera.- Subgerente de Laboratorios y Monitoreo

Ing. Alfonso Hernández Cueto e Ing. Jorge Athala Molano

a los

Ing. Ma. del Carmen Toledo Hernández

Ing. Luciano Sandoval Yoval

y la Lic. Ma. de Lourdes Toledo Hernández, por su apoyo

y muy en especial a la

Bióloga Rocío González Vega Asesora de esta tesis

a todas las personas que colaboraron en algo para la culminación de este proyecto; y

a todos los amigos que deje en CNA

MIL GRACIAS

INDICE

Introducción	1
Reseña Histórica	7
Antecedentes	10
Area de Estudio	
Localización Geográfica	11
Geología	12
Clima	13
Precipitación	14
Aspectos socioeconómicos de Oaxaca	15
Aspectos socioeconómicos de Veracruz	16
Justificación	22
Objetivos	23
Metodología	24
Resultados	34
Principales Fuentes de Contaminación	46
Análisis de Resultados	51
Indice de Calidad del Agua	64
Conclusiones	66
Recomendaciones	68
Literatura consultada	70
Análisis de Anova	Apéndice

INTRODUCCION

El problema del agua en sus distintas fases de dotación, control y utilización, es tan grande como antiguo. Su solución va teniendo distintas formas, variando según las facilidades naturales de las regiones, las necesidades y capacidades económicas y de la preparación técnica de los pueblos. Desde que el hombre apareció en la Tierra lo resolvió viviendo cerca de los mares, lagos y ríos, poniéndose a salvo de éstos en los períodos de lluvias. Los Asirios-Caldeos florecieron en la Mesopotamia, en medio de dos grandes ríos. Los Egipcios en el Nilo, aprovechando las avenidas y también canalizándolo. En América, los Aztecas protegieron a la Gran Tenochtitlán del Lago de Texcoco, por medio de grandes ductos (Chargoy y Ortega, 1965).

La importancia de estudiar los fenómenos inherentes al aprovechamiento hidráulico recae en buena medida en aquellos asociados con el comportamiento de los cauces naturales o artificiales; abarcando también los efectos de las vías terrestres en las planicies fluviales y la protección de los terrenos adyacentes a los cauces naturales (Camargo, 1980).

La formación de un cuerpo de agua se inicia cuando la cantidad de agua de lluvia o procedente de la fusión de hielos supera la capacidad de absorción del suelo, el exceso de agua corre por la superficie en forma de flujo superficial; así, el agua escurre por gravedad a lo largo de distintas trayectorias hasta el drenaje más próximo.

México, con una extensión cercana a los 2,000, 000 de Km^2 recibe una precipitación pluvial media anual de 780 mm que se traduce en un volumen de $1,530 \text{ Km}^3$ de agua. Una parte de lluvia, el 27%, escurre por corrientes superficiales generando una disponibilidad global del orden de 410 Km^3 de aguas disponibles en los ríos y arroyos. Otra parte de la lluvia se infiltra para recargar los acuíferos subterráneos cuyo

volumen de renovación anual en una extensión de 470, 000 Km² se estima en 31 Km³; además, se estima una reserva no renovable de 110 Km³ de aguas fósiles (CNA, 1992).

Los ríos de México comparados con los de otras partes del mundo ofrecen características peculiares tanto por su origen como por su perfil longitudinal o bien por la disposición de sus cauces que se vierten en distintos mares así, los ríos mexicanos fluyen en tres diferentes vertientes dos exotéricas que son las del Atlántico y el Pacífico; y una endorréica.

La importancia de cada uno de estos ríos se aprecia no solamente por el caudal de que dispone y por la amplitud del área en que se ubican, sino por el número de habitantes que alimenta, de esta manera cabe decir que los ríos más valiosos no son los que tienen más agua sino los que mantienen más pueblos y favorecen a la agricultura, ganadería e industria (Chàrgoy y Ortega, 1965).

El desarrollo de los asentamientos humanos se ha dado en relación inversa a la disponibilidad de agua. En más de la mitad del territorio, en el norte y altiplano central del país, que se caracteriza por sus climas semiáridos y desérticos y que reciben únicamente el 19% del escurrimiento, se concentran dos terceras partes de la población y más del 70% de la industria. En cambio en el sureste, que representa menos de la cuarta parte del territorio y en donde habita el 24% de la población, recibe el 67% del escurrimiento (CNA, 1992).

Unas áreas padecen de sequías recurrentes, en tanto que otras resisten frecuentes inundaciones. Un factor adicional que acentúa estos contrastes es la orografía: la cuarta parte de la población habita por arriba de los 2,000 m.s.n.m en donde sólo se

produce el 4% del escurrimiento mientras que una cantidad similar se asienta por debajo de los 500 m de altura, donde se tiene la mayor parte del agua (*op. cit.*).

El crecimiento de la población en nuestro país y el desarrollo de la industria han originado un aumento en la demanda de agua, así como un incremento en la descarga de aguas residuales que vertidas sin previo tratamiento a los cuerpos receptores, ocasionan un desequilibrio ecológico de distintos grados.

La contaminación de las aguas se ha hecho evidente en los últimos tiempos. Es importante percatarse de que todas las aguas naturales contienen varios contaminantes que provienen de la erosión, lixiviación y de los procesos de intemperización.

Aunque una corriente natural como un río tiene la capacidad limitada de autopurificarse por medio de microorganismos, cuando esta capacidad se rebasa o se agota, la corriente se contamina y según se acumulen los contaminantes, la concentración en el agua puede hacerse tan alta que no se podrán restablecer los microorganismos y el agua quedar permanentemente contaminada.

Así, el aumento en el conocimiento de los efectos acumulativos de la contaminación ha llevado a una mayor preocupación general y a una legislación cada vez más estricta, en lo que concierne a la descarga de aguas residuales.

La medición sistemática de la calidad del agua de los principales ríos del país, permite conocer sus características y predeterminar los posibles efectos de su contaminación; además sirve como base para clasificar las corrientes de acuerdo con los usos a que se destinan, e implantar los requisitos para autorizar la descarga de aguas residuales (S.R.H., 1976).

El país se ha dividido en 37 Regiones Hidrológicas para facilitar su estudio en materia de agua, estas a su vez están divididas en 283 cuencas, de las cuales a 218 se les ha detectado un grado de contaminación, cubriendo el 77% del territorio nacional, el 72% del volumen total industrial, el 97% del área bajo riego y el 93% de la población total.

SEDUE, 1989 (extinta) realizó la jerarquización de las cuencas hidrológicas, estableciéndose un orden de prioridad de las mismas. Los aspectos considerados fueron: superficie de la cuenca, volumen de escurrimiento medio anual, superficie bajo riego, valor económico de la cuenca, población, municipios prioritarios, descarga de DBO y descarga de aguas residuales, dando como resultado la siguiente tabla:

**TABLA 1.- JERARQUIZACION DE LAS CUENCAS HIDROLOGICAS
CON PRIORIDAD DE ATENCION**

Lugar No.	Nombre	Puntuación	Lugar No.	Nombre	Puntuación
1	Río Pánuco	1,448.65	16	Río Conchos	54.41
2	Río Lerma-Santiago	760.55	17	Río Armería	48.69
3	Río San Juan	394.97	18	Río Cahuayana	47.91
4	Río Balsas	350.29	19	Río Tijuana	47.87
5	Río Blanco	169.71	20	Río Bravo	40.56
6	Río Culiacán	122.32	21	Río Ameca	33.32
7	Río Colorado	112.08	22	Río Matape	31.70
8	Río Fuerte	106.56	23	Río Concepción	29.93
9	Río Nazas	89.98	24	Río Papaloapan	28.55
10	Río Jamapa	75.89	25	Río Mayo	24.17
11	Río La Antigua	65.78	26	Laguna de Coyuya	23.5

**TABLA 1.- JERARQUIZACION DE LAS CUENCAS HIDROLOGICAS
CON PRIORIDAD DE ATENCION (continua).**

Lugar No.	Nombre	Puntuación	Lugar No.	Nombre	Puntuación
12	Río Sonora	64.57	27	Río Soledad	21.63
13	Río Guayalejo	58.26	28	Río San Pedro	18.48
14	Río Yaqui	56.84	29	Río Cazones	16.87
15	Río Salado	54.47	30	Río Actopan	15.83

De acuerdo a la tabla anterior al Río Papaloapan le corresponde una prioridad de atención del orden 24.

En la tabla 2 se muestra el ordenamiento de las cuencas hidrológicas de acuerdo a la magnitud de la descarga de la DBO, así como información relativa a: lugar que ocupa, nombre de la cuenca, gasto de aguas residuales, descarga de DBO en Kg/año, DBO industrial, DBO urbano y el porcentaje de DBO a nivel nacional.

**TABLA 2.- ORDENAMIENTO DE CUENCAS DE ACUERDO CON
LA MAGNITUD DE LA D. B.O.**

Nombre	Q. Res. (l.p.s.)	DBO Urb. (Kg/año)	DBO Ind. (Kg/año)	DBO Total (Kg/año)	% Nal.	% Ac.
Pánuco	43,925	296'570,226	293'597,010	590'167,236	26.59	26.59
Lerma-Stgo.	18,773	114'905,211	205'070,198	319'975,409	14.42	41.01
San Juan	9,965	49'280,320	86'235,745	135'516,065	6.11	47.12
Balsas	8,616	43'722,726	76'727,400	120'450,126	5.43	52.55
Blanco	5,147	7'215,284	109'296,113	116'511,385	5.25	57.80
Papaloapan	4,162	6'788,406	106'452,742	113'241,148	5.10	62.90
Culiacán	3,574	6'522,830	79'178,239	85'701,069	3.86	66.96

**TABLA 2.- ORDENAMIENTO DE CUENCAS DE ACUERDO CON
LA MAGNITUD DE LA D. B.O. (continua)**

Nombre	Q. Res. (l.p.s.)	DBO Urb. (Kg/año)	DBO Ind. (Kg/año)	DBO Total (Kg/año)	% Nal.	% Ac.
Coatzacoal.	7,912	5'672,400	76'772,589	82'444,989	3.71	70.47
Fuerte	2,549	2'442,052	62'012,630	64'454,682	2.90	73.37
Jamapa	1,431	6'757,801	39'424,514	46'182,315	2.08	75.45
La Antigua	1,741	4'349,208	36'371,203	40'720,411	1.83	77.28
Guayalejo	1,426	1'482,430	32'165,467	33'647,897	1.52	78.80
Grijalva	2,141	10'112,242	14'437,338	24'549,580	1.11	77.91
Nazas	1,972	12'005,202	11'652,491	23'657,693	1.07	80.98
Coahuayana	1,090	2'759,008	20'811,881	23'570,889	1.06	82.04
Armería	1,145	4'250,850	18'669,076	22'919,926	1.03	83.37
Ameca	993	2'198,987	20'483,978	22'682,965	1.02	84.09
Conchos	2,456	10'625,367	11'533,890	22'159,257	1.0	85.09
Tijuana	1,391	10'548,631	8'690,999	19'239,630	0.87	85.96
Tehuantepec	822		16'787,755	16'787,755	0.76	86.72
Salado	1,996	11'445,062	5'099,874	16'544,936	0.75	87.47
Colorado	1,244	9'617,035	4'697,003	14'314,038	0.64	88.11
Bravo	1,301	10'697,717	3'199,035	13'896,752	0.63	88.74
Yaqui	888	4'287,122	9'355,183	13'642,305	0.61	89.35
Nautla	580	1'170,648	10'814,278	11'984,926	0.54	89.89
Sonora	799	5'275,670	3'822,039	9'097,709	.041	90.30
San Pedro	727	5'689,789	1'623,362	7'313,151	0.33	90.73
Lag. Coyuca	633	5'197,534	1'603,761	6'801,295	0.31	90.94
Purificación	220		6'790,955	6'790,955	0.30	91.24
Presidio	496	3'886,106	2'017,999	5'904,105	0.26	91.50
Concepción	521	3'007,657	2'740,788	5'748,445	0.25	91.75
TOTAL	130,696 (89.76%)	658'483,519 (82.85%)	1'378'135,525 (96.72%)	2'036'619,044 (91.75%)		

De donde se puede observar que la cuenca del Río Papaloapan ocupa el sexto lugar en cuanto a DBO se refiere.

RESEÑA HISTORICA

Los problemas de cantidad de agua en la Cuenca del Papaloapan, datan del año 1888, cuando el río se desbordó causando una gran inundación, la cual dejó luto y miseria en toda la región, principalmente en los pueblos ribereños.

Después en los años 1921, 1922, 1927, 1929, 1931 y 1935, hubo llamados de auxilio, teniendo relativo éxito el de 1935, al ser protegida la población de Cosamaloapan con una obra que fue destruida un año después, por las abundantes aguas del río.

En el año 1941, se propone la formación de una Comisión formada por la Secretaría de Comunicaciones, Marina y Agricultura (Anónimo, 1975).

Se presentaron ciclones en 1950, 1952 y 1954 pero todos ellos inferiores al de Septiembre de 1944; el cual ocasionó una gran inundación, lo que hizo que se polarizara la atención necesaria, e hizo inaplazable la necesidad de regular las aguas del Río Papaloapan y sus afluentes principales; quedando bajo la responsabilidad de la entonces existente Comisión Nacional de Irrigación (Chargoy y Ortega, 1965).

Se elaboró el informe sobre el proyecto del Papaloapan, que fue un bosquejo preliminar, y que sirvió de base para el estudio y conocimiento integral definitivo de la Cuenca del Papaloapan; este informe fue la base para la creación de la Comisión del Papaloapan, por el Gobierno Federal en el mes de Abril de 1947, como organismo descentralizado, con autoridad suficiente y fondos propios que le permitieron actuar de

manera eficaz y rápida en la solución integral de los problemas de dicha Cuenca (Gómez, 1981).

Año con año se observaba que el nivel de las aguas era mayor, aún cuando la precipitación pluvial era igual o menor y esto se debía a que la parte baja del Río Papaloapan se ha ido azolvando, reduciendo el cauce del mismo, ocasionando con esto que las inundaciones fueran más frecuentes, más intensas y más devastadoras; trayendo como corolario la anulación en gran parte de la navegación de pequeño calado que era de importancia para los pobladores de la región (S.A.R.H, 1978).

A raíz de la inundación de 1944 se pensó en la necesidad de construir una presa sobre el Río Tonto (Temascal), otra sobre el Santo Domingo (Cerro de Oro) otra sobre el de San Juan, en Quiotepec (o del Grande y El Salado) y el Tesechoacán.

Se pensó que la presa Cerro de Oro no iba a solucionar el problema de las inundaciones porque los Ríos Tesechoacán y San Juan no estaban controlados, y seguirían causando daños cuantiosos. Tomando en cuenta la experiencia del decenio de los setentas en nuestro país, con las erogaciones correspondientes, se lograría controlar al Río Santo Domingo en los ochentas, se podrían hacer obras para controlar el Tesechoacán hasta los noventas y los que corresponden al control del Río Papaloapan en el año 2000 (Tamayo y Beltrán, 1977).

La primera gran obra de regulación y aprovechamiento construida fue la presa Presidente Alemán sobre el Río Tonto concluida en 1955 por la Comisión del Papaloapan.

La Comisión del Papaloapan tenía las más amplias facultades para la planeación, proyecto y construcción de todas las obras en defensa de los ríos, las de

aprovechamiento de riego, desarrollo de energía, las de ingeniería sanitaria, las de vías de comunicación (correspondiendo vías de navegación, puertos, carreteras, ferrocarriles, telégrafos, teléfonos) y las relativas a la ampliación de centros poblados, para dictar las medidas y disposiciones en materia industrial, agrícola y de colonización.

Poco a poco, a fines de la década de los cincuentas la Comisión fue perdiendo la autoridad, para dar atención directa a los principales problemas de la cuenca; relegando esas funciones a las secretarías correspondientes.

ANTECEDENTES

Dado los antecedentes históricos de la cuenca, se hizo un área de gran interés, convirtiéndose en el objeto de estudio para algunas tesis profesionales.

Dentro de la rama de ingeniería se tienen la de Cano Ocaña, (1953); Ríos López, (1954); Espinosa Abdala (1969); Montiel Hernández, (1975) y Zavala Baños, (1976); todos estos trabajos se abocan al control de las aguas del río. Los autores concluyen que el cauce necesitaba de espigones, obras de embalse, enrocamiento, cortinas de derivación, canales secundarios, obras de captación, rectificación de cause y protección; además de, cauces de alivio para un manejo y control adecuado; brindándole así protección a las zonas aledañas al cauce del río.

Otras tesis como las de Fernández Esparza, (1968); González Hernández, (1982) y Ríos Curiel, (1991); proponen la utilización de varios ríos para la generación de energía eléctrica; entre los cuales se encuentran: el de Santo Domingo, Ozumacín, Ayotzintepec, Eyipantla, Yalalag, Sistema Esperanza-Valle Nacional, Usila, Sistema Guelatao-Yaxila, Blanco y Progreso, siendo los tres últimos en donde se causaba menor impacto al ambiente.

El único estudio de calidad de que se tiene conocimiento es el de Lara Guarneros (1959) en él se propone un acondicionamiento químico del agua del Río Papaloapan para el uso de abastecimiento de agua potable al pueblo de Carlos A. Carrillo. El autor encontró en el agua una alta contaminación bacteriológica lo que provocaba enfermedades gastrointestinales a dicha población. Propone técnicas de mejoramiento para la calidad de estas aguas; entre las que se encuentran eliminar el color a través de la utilización de zeolitas, algunos gases como el metano por medio de aireación, la turbidez en tanque de sedimentación, con la ayuda de algún

coagulante y filtración o coagulante o asentamiento y reducir el número de bacterias y protozoarios por sedimentación, luz ultravioleta y temperatura.

Menciona que para la eliminación de microorganismos, en aguas superficiales se emplea carbón activado acompañado de un sistema de asentamiento antecedido de un tratamiento con cloro, un tratamiento con coagulantes y una filtración para remover las impurezas no eliminadas en el asentamiento, mientras que las aguas subterráneas generalmente no contienen dichos organismos.

AREA DE ESTUDIO

Localización geográfica

Se conoce con el nombre de Cuenca del Papaloapan la zona hidrológica de la República Mexicana que descarga sus aguas en la Laguna de Alvarado (S.A.H.O.P; 1988).

La Cuenca del Papaloapan; está localizada entre los 17° 00' y 19° 00' de Latitud Norte y entre los meridianos 95° 00' y 97° 40' de Longitud Oeste; se encuentra ubicada en la vertiente del Golfo de México, aproximadamente en la parte media del arco que forma el litoral mexicano; colinda al Norte con las Cuencas cerradas Oriental y la del Río Atoyac de Veracruz, al Sur con la Cuenca de los Río Atoyac de Oaxaca y Tehuantepec, al Este con el Río Coatzacoalcos y al Oeste con la del Río Balsas. Cuenta con una superficie de 46, 517 Km², 12.4% de la superficie del territorio nacional. De los 46, 517 Km², el 51% corresponde al Estado de Oaxaca, el 37% al de Veracruz y el 12% restante al de Puebla (S.A.R.H., 1978).

El Río Papaloapan nace en las inmediaciones de Cuajimaloyas en la Sierra Juárez y siguiendo una dirección general hacia el noroeste, con nombre de Río Grande, recibe por su margen izquierda los Ríos de las Vueltas, Tomellín, Apoala y San Pedro (S.A.R.H., 1978). Desde su origen en el Cuajimaloyas hasta Quiotepec el curso es de 400 Km; y de ese punto al mar 500 Km, o sea el Río Papaloapan tiene una longitud total de 900 Km. La sección transversal es de una anchura de 200 m y en algunos tramos se reduce a 100 m.

La subcuenca del Río Salado viene en una dirección colineal opuesta, buscando al Río Tomellín que recibe a los Ríos Zapotitlán, Hondo y Xiquila, labra los cañones de Tecomavaca y Cues para finalmente encontrarse con el Río Tomellín en Quiotepec, al subir del cañón recibe por la derecha el Río Usila, 50 Km al oriente se inserta el Río del Valle Nacional, a 20 m de altitud y desde este punto la corriente toma el nombre de Río Papaloapan, recorriendo 240 Km desde esa confluencia hasta la Laguna de Alvarado.

El Río Papaloapan recibe por la izquierda al importante río oaxaqueño llamado Tonto, límite entre Oaxaca y Veracruz, cruza la vía de ferrocarril del Istmo y se le une por la derecha el Río Obispo. Pasa por Cosamaloapan, Tlacotalpan y se le inserta en las cercanías de esta población el Río Playa Vicente. Finalmente, ya casi al descargar en la Laguna de Alvarado se le une el Río de San Juan. Esta corriente después de un largo recorrido recibe en su curso inferior la descarga del Lago de Catemaco por medio del Río Tuxtla. (Tamayo y Beltrán, 1977).

Geología

La región está geológicamente constituida por rocas sedimentarias del Cenozoico, en sus periodos Pleistoceno y Reciente.

El origen de la actual llanura costera del Golfo de México se remonta al Terciario, cuando emergió lenta y continuamente sobre el nivel del mar. Se considera que los procesos de erosión actuaron fuertemente acumulando un gran estrato de sedimentos, que actualmente se presentan desde las estribaciones de la Sierra Madre Oriental hasta el mar.

Los sedimentos encontrados son gravas, cantos rodados, arenas finas y gruesas, limos y arcillas. Cabe hacer notar que están alternados o mezclados dentro de los horizontes del suelo.

El origen de estos sedimentos está en los depósitos formados por avenidas fluviales y lacustres. Los depósitos aluviales se localizan en las vegas de inundación y cauces antiguos de los ríos (Jácome, 1979).

Clima

Por su Latitud geográfica y su ubicación sobre las Costas del Golfo de México, la Cuenca del Río Papaloapan se encuentra en la zona de los vientos alisios del Hemisferio Norte; que tiene su origen en, y están regidos por la zona de alta presión del Atlántico Septentrional (Tamayo y Beltrán, 1977).

Durante el Verano en los meses de Junio a Septiembre, los alisios alcanzan una gran profundidad e intensidad y dominan sobre toda la altiplanicie mexicana y en particular sobre la Cuenca del Papaloapan, con vientos húmedos desde el nivel del mar hasta los 5, 000 m.s.n.m.

Las mayores temperaturas se presentan durante los meses de Marzo-Junio, con la máxima en Abril o Mayo, predominantemente las temperaturas menores tienen lugar

durante un lapso que va de Noviembre a Febrero con la mínima en Enero. La distribución permite observar que las oscilaciones de temperatura no son grandes, sino del orden de los 4.9°C entre las medias de los meses más cálidos y más fríos, y 22-36°C entre las máximas y mínimas absolutas. Hecho ligado al alto contenido de vapor de agua de la atmósfera, debido a la exposición de la Cuenca a los vientos húmedos del Golfo de México (Gómez, 1981).

Precipitación

En general, sobre el área de la cuenca las lluvias son de carácter orográfico-convectivo y sólo en muy pocas ocasiones son de carácter francamente ciclónico

Las lluvias son escasas, es decir, menores de 100 mm por mes, en la mayor parte de la cuenca durante el primer trimestre del año, alcanzándose el mínimo en Enero o Febrero, aunque en algunas pocas estaciones el mínimo ocurre en Abril.

Durante el segundo trimestre del año, las lluvias empiezan a aumentar, no es sino hasta el mes de Julio, en que la cuantía mensual de las lluvias alcanza su máximo, con valores del orden de 500 a 1, 000 mm por mes, precipitaciones verdaderamente extraordinarias en la República Mexicana que sólo se encuentran en el Sur del Estado de Tabasco y Norte de Chiapas y en algunos lugares del Estado de Puebla.

No obstante, es notable que durante el tercer trimestre se observe una disminución marcada en la cuantía de las precipitaciones durante el mes de Agosto, con un máximo secundario en Septiembre. La causa de esta disminución temporal en la cuantía de las precipitaciones son los cambios en la circulación atmosférica relacionado con las trayectorias ciclónicas en el Golfo de México y la interrupción de los vientos alisios profundos sobre el área.

El trimestre final se caracteriza por un descenso marcado en el volumen mensual de las lluvias hacia su mínimo que, viene a caer en el primer trimestre del año siguiente.

Con el inicio de las lluvias, el suelo empieza a absorber humedad hasta llegar a su punto de saturación; esto, aunado a las características del suelo (textura arcillo-limosa) y la escasa pendiente, trae como consecuencia que durante el período dentro y después de la temporada de lluvias, una parte del área permanezca inundada (Jácome, 1979).

Solo se tratarán aspectos del estado de Oaxaca y de Veracruz, ya que la primera estación desde donde se le denomina Río Papaloapan corresponde al estado de Oaxaca y el resto se localiza dentro del estado de Veracruz.

Aspectos Socioeconómicos del Estado de Oaxaca

Población

El XI Censo General de Población y Vivienda en 1990, indica que la población total en el Estado de Oaxaca ascendió a 3,019,560 habitantes cifra que comparada con la de 1980 significa una tasa de crecimiento media anual de 2.5%, de mantenerse este ritmo de crecimiento, la población del estado se duplicaría en 28 años.

El Estado de Oaxaca se encuentra dividido en 30 distritos. Este estudio sólo se enfocará al Distrito de Cuicatlán por estar comprendidos algunos de sus municipios dentro de la Cuenca del Papaloapan. Cuicatlán comprende 20 municipios y abarca un área de 23,723 Km². Los municipios por los cuales atraviesa el río son: San Andrés Teotilapan, San Juan Bautista, Cuicatlán, San Pedro Sochiapan, San Pedro Teutila, San Miguel Pápalo y Santiago Nacalpetec.

Este distrito participa con 53,557 habitantes que corresponde al 1.8% del total de la población del Estado. De ésta, la tasa de participación económica corresponde con un 78.2 y 8.2 de hombres y mujeres respectivamente.

Las ocupaciones que registraron mayor frecuencia con un 52.9% son la agricultura, ganadería, silvicultura, caza y pesca; con un 16.4%, la minería, la industria manufacturera y la construcción y con un 28.3% los servicios y el comercio.

Con respecto a la vivienda predominan los pisos de tierra, las paredes de adobe y los techos de palma, lámina y cartón; los servicios de agua entubada se incrementaron de 34.7% en 1970 a 58.1% en 1990. La disponibilidad de drenaje pasó de 16.5% a 29.9% en el mismo año (INEGI, 1990).

Aspectos socioeconómicos del Estado de Veracruz

El Estado de Veracruz por su importancia económica, está considerado dentro de las cinco principales entidades, por la participación que tiene en unidades económicas, en personal ocupado y por la generación de Ingresos del total nacional (INEGI, 1990).

El Estado participa con el 6.9% del total de las unidades económicas censadas, ubicándose en el 4to. lugar a nivel nacional. Los sectores que sobresalen por su participación son: pesca 36.9%, comercio que corresponde al 6.6% y servicios que representa el 7.9% del total nacional.

La participación del estado en Ingresos es de 6.5% siendo la actividad minera la más importante, ya que se ubica en tercer lugar nacional con una participación de 9.2%, seguido de la actividad manufacturera que ocupa el 4to lugar con una participación de 7.2%, del total nacional (Tabla 3).

TABLA 3. POBLACION ECONOMICAMENTE ACTIVA EN EL ESTADO DE VERACRUZ

		ACTIVIDAD							
TOTAL	Agricultura, Ganadería, Caza, y Pesca.	Minería	Extracción de petróleo y Gas	Industria Manufacturera.	Elect. y Agua	Const.	Comercio	Servicio, Rest. y Hoteles	
ESTADO	1,742,129	685,647	5,669	48,357	200,019	15,863	98,631	191,160	
HOMBRES	1,432,828	671,910	5,450	48,340	193,462	13,982	96,367	128,486	
MUJERES	309,301	13,737	219	6,017	219	1,881	2,334	62,674	
MUNICIPIO									
Acuña	1,256	966	0	2	60	1	25	59	10
Alvarado	15,059	5,937	4	113	1,338	52	693	1,946	645
Amatlán	2,166	1,198	1	1	440	11	51	82	12
Cosamaloapan	22,740	6,602	5	36	5,681	195	841	2,512	545
Cosolecaque	11,686	2,696	168	424	2,410	33	1,099	1,313	245
Chacaltianguis	3,248	2,165	3	13	293	6	83	165	19
Hueyapan de O.	9,839	647	12	35	1,169	17	255	403	67
Jamapa	2,652	1,246	0	4	381	18	151	189	41
Juan Rodríguez	8,849	6,222	7	9	317	13	229	577	144
Otatitlán	1,678	1,090	0	3	107	1	60	114	36
Saltillo	1,629	759	0	0	366	5	82	82	8
Sn. Andrés T.	31,762	15,747	12	43	2,887	174	1,670	3,028	446
Sn. Juan E.	8,761	6,085	78	24	410	5	420	467	83
Santiago Tuxtla	12,122	8,091	9	40	471	27	687	745	105
Sayula de A.	6,247	3,589	14	28	359	15	299	649	58
Tehuipango	3,382	2,749	0	0	20	2	31	36	442
Texhuacán	1,028	820	3	0	50	0	16	12	2
Tezonapan	13,935	10,094	4	1	1,456	12	168	658	84
Tlacojalpan	1,346	1,003	0	0	53	1	36	74	10
Tlacoatlapan	5,290	2,464	1	5	562	57	207	546	144
Tuxtilla	638	455	0	6	30	0	10	24	7
Zongolica	8,977	7,004	4	1	272	5	177	279	30

La entidad cuenta con un total de casi 88 mil establecimientos industriales, comerciales y de servicios que dan ocupación a un alto porcentaje de personal.

Por sector económico, el 63% de los establecimientos corresponden al comercio, restaurantes y hoteles; el 23% a servicios comunales, el 9% a la industria manufacturera y el 2% a servicios financieros como de transporte (INEGI, 1990).

Población

El Censo General de Población y Vivienda de 1990 registró en el Estado de Veracruz un total de 6, 228, 239 habitantes de los cuales 3, 077, 427 son hombres y el 3, 150, 812 mujeres.

El crecimiento de la entidad ha sido considerable, si tomamos en cuenta que de 1930 a 1970, la población aumentó 4.5 veces y durante el período de 1970 a 1990 se experimentó un crecimiento anual promedio de 2.4, lo cual significa que la población de la entidad se incrementó en 2.4 personas por cada 100 habitantes anualmente en promedio durante los últimos 20 años.

Las poblaciones que se encuentran vinculadas directamente al Río Papaloapan o a tributarios de este son: Acula, Alvarado, Amatitlán, Cosamaloapan, Cosoleacaque, Chacaltianguis, Hueyapan de Ocampo, Juan Rodríguez Clara, Otatitlán, Saltabarranca, San Andrés Tuxtla, San Andrés Evangelista, Santiago Tuxtla, Sayula de Alemán, Tehuipango, Texhuacan, Tezonapa, Tlacojalpan, Tlacotalpan, Tuxtilla, Zongólica.

En 1970 la cuenca tenía una población de 438,124 y para 1990 esta cifra se incrementó en más de 200, 000 habitantes; siendo la tasa de crecimiento promedio de 1.7 para esos 20 años (Tabla 4).

**TABLA 4. DISTRIBUCION DE LA POBLACION POR MUNICIPIO, VINCULADOS AL RIO
PAPALOAPAN 1970-1990**

MUNICIPIO	Absoluta 1970	Relativa 1970	Absoluta 1990	Relativa 1990	Tasa de crecimiento 1970-1990
Acula, Ver.	4,479	0.1	4,934	0.1	0.5
Alvarado, Ver.	32,857	0.9	49,040	0.8	2.0
Amatitlán, Ver.	5,589	0.1	7,287	0.1	1.3
Cosamaloapan, Ver.	72,653	1.9	76,755	1.2	0.3
Cosoleacaque, Ver.	20,531	0.5	46,726	0.8	4.0
Chacaltianguis, Ver.	9,844	0.3	12,029	0.2	1.0
Hueyapan de O., Ver.	24,638	0.6	38,272	0.6	2.2
Jamapa, Ver.	6,492	0.2	9,177	0.1	1.7
Juan Rodríguez, Ver.	17,522	0.5	33,378	0.5	3.2
Otatitlán, Ver.	4,836	0.1	5,415	0.1	0.5
Salta Barranca, Ver.	4,312	0.1	6,192	0.1	1.7
Sn. Andrés T., Ver.	77,750	2.0	124,634	2.0	2.3
Sn. Andrés E., Ver.	24,514	0.6	33,117	0.5	1.5
Santiago Tuxtla, Ver.	30,328	0.8	51,476	0.8	2.6
Sayula de A., Ver.	16,443	0.4	25,501	0.4	2.2
Tehuipango, Ver.	7,936	0.2	12,520	0.2	2.3
Texhuacan, Ver.	2,384	0.1	3,904	0.1	2.4
Tezonapan, Ver.	34,343	0.9	52,356	0.8	2.1
Tlacojalpan, Ver.	4,119	0.1	4,573	0.1	0.5
Tlacoatalpan, Ver.	13,528	0.4	15,896	0.3	0.8
Tuxtilla, Ver.	2,266	0.1	2,235	****	0.1
Zongolica, Ver.	21,030	0.6	34,318	0.6	2.4
Distrito Cuicatlán, Oax.	45,011	2.2	53,557	1.8	****
Total cuenca	438,124	11.5	649,735	10.4	1.7

En relación a la vivienda, un 40% de las mismas tienen pisos de tierra y un 48% carece de agua entubada, mientras que estos porcentajes para el país son de 26% y 28% respectivamente, para las poblaciones vinculadas al río los porcentajes corresponden a 46.5% con agua entubada y el 38.79% con drenaje (Tabla 5) (INEGI, 1990).

**TABLA 5. PORCENTAJE DE VIVIENDAS PARTICULARES
POR MUNICIPIO SEGUN DISPONIBILIDAD DE SERVICIOS VINCULADAS A LA CUENCA**

MUNICIPIO	AGUA ENTUBADA %	CON DRENAJE %
Acula, Ver.	8.6	21.3
Alvarado, Ver.	55.7	56.6
Amatitlán, Ver.	49.7	42.1
Cosamaloapan, Ver.	75.1	70.0
Cosoleacaque, Ver.	38.9	53.8
Chacaltianguis, Ver.	45.7	42.1
Hueyapan de O., Ver.	49.3	32.8
Jamapa, Ver.	31.9	27.3
Juan Rodríguez, Ver.	47.8	36.3
Otatitlán, Ver.	65.9	53.7
Saltabarranca, Ver.	69.5	60.1
Sn. Andrés T., Ver.	53.7	39.9
Sn. Andrés E., Ver.	31.9	35.9
Santiago Tuxtla, Ver.	40.5	29.6
Sayula de A., Ver.	43.5	46.0
Tehuipango, Ver.	12.8	3.7
Texhuacan, Ver.	40.8	2.7
Tezonapan, Ver.	29.9	18.1
Tlacojalpan, Ver.	65.2	52.4
Tlacotalpan, Ver.	62.4	56.6
Tuxtilla, Ver.	66.5	55.3
Zongolica, Ver.	38.0	16.1
Distrito Cuicatlán, Oax.	58.1	29.9

Educación

En lo que se refiere al aspecto educativo, Veracruz muestra un menor avance en el proceso de educar a su población comparado con el realizado en el país en su conjunto. La tasa de población analfabeta de 10 años y más, es de 21% y la del país de 15%. De igual manera el porcentaje de población de 15 años y más sin instrucción asciende a 17% contra un 14% del promedio nacional (INEGI, 1990).

Agricultura

Los productos más importantes en términos de su aportación al valor de la producción son pastos 27.9%, caña de azúcar 14.9%, maíz 16.2%, café oro y naranja cada uno con 8.1%; mango 4.1%, papa 3%, plátano 2.2%, piña, aguacate y frijol cerca del 2% cada uno. En conjunto representan el 89% de la producción agrícola de la entidad.

Ganadería

En general, la ganadería tiene una gran relevancia, contando para su desarrollo con extensas áreas de pastizales, tanto de tipo natural (1,100 000 hectáreas), como cultivados (1, 590, 000 hectáreas) (INEGI, 1990)

Pesca

La importancia de la actividad pesquera en Veracruz se fundamenta en sus siderables recursos, por un lado el Litoral Veracruzano constituye la zona más amplia de las entidades de la vertiente del Golfo de México (casi 654 Km y 253 000 Km² de mar territorial) y por otro, más de 40 ríos y 116 mil hectáreas de aguas interiores en lagunas, esteros, presas y otros cuerpos de agua (Tamayo y Beltrán, 1977).

JUSTIFICACION

Desde que apareció el hombre su supervivencia ha dependido de la distribución y abundancia del agua. Al paso del tiempo, debido al crecimiento poblacional su requerimiento fue haciéndose mayor. Esto trajo como consecuencia la producción de desechos que al ser vertidos a aguas naturales, fueron deteriorando paulatinamente su calidad. Este es el caso del Río Papaloapan.

De acuerdo a datos proporcionados por la Comisión Nacional del Agua (CNA), la cuenca del Río Papaloapan es la sexta en lo que a contaminación por materia orgánica se refiere (en forma de DBO_5), es por esto que se hace necesario realizar un estudio de calidad del agua en este río tan importante para el país; con el objetivo de ubicar las principales fuentes de contaminación y en la medida de lo posible proponer alternativas de solución.

OBJETIVOS

- ✓ Determinar la Calidad del Agua del Río Papaloapan durante los años 1986-1992.

- ✓ Analizar los resultados de los parámetros físicoquímicos y bacteriológicos correspondientes para el cálculo del Índice de la Calidad del Agua (ICA) en los años de estudio para las diferentes estaciones.

- ✓ Realizar una inspección en el área de estudio para identificar las principales fuentes de contaminación tanto industriales como urbanas; que directa o indirectamente vierten sus descargas a través de los efluentes del Río Papaloapan.

- Proponer el posible uso de las aguas del Río Papaloapan, de acuerdo a la calidad determinada.

METODOLOGIA

Red Nacional de Monitoreo

A partir de 1974 la S.A.R.H. puso en marcha la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua con la finalidad de realizar un monitoreo continuo de los principales cuerpos de agua naturales del país.

En el año de 1987 esta función pasa a la Comisión Nacional del Agua a través de la Gerencia de Calidad, Reuso del Agua e Impacto Ambiental.

Esta Red cuenta a la fecha con 803 estaciones distribuidas a lo largo de toda la República Mexicana, de las cuales tres están establecidas en el Río Papaloapan; una se localiza en el Estado de Oaxaca, a 50m con los límites del Estado de Veracruz, y las otras dos en el Estado de Veracruz (Fig. 1).

Las estaciones tienen la siguiente ubicación:

NOMBRE DE LA ESTACION	UBICACION Y MUNICIPIO	COORDENADAS	
		LONGITUD	LATITUD
I.-PUENTE CARACOL	PUENTE CARACOL TUXTEPEC, OAX	96°08'10"	18°08'00"
II.-PAPALOAPAN CD. ALEMAN	PUENTE A 5 KM DE CD. ALEMAN COSAMALOAPAN, VER.	96°05'52"	18°10'00"
III.- BUENAVISTA	POBLACION BUENAVISTA ALVARADO, VER.	95°40'30"	18°43'38"

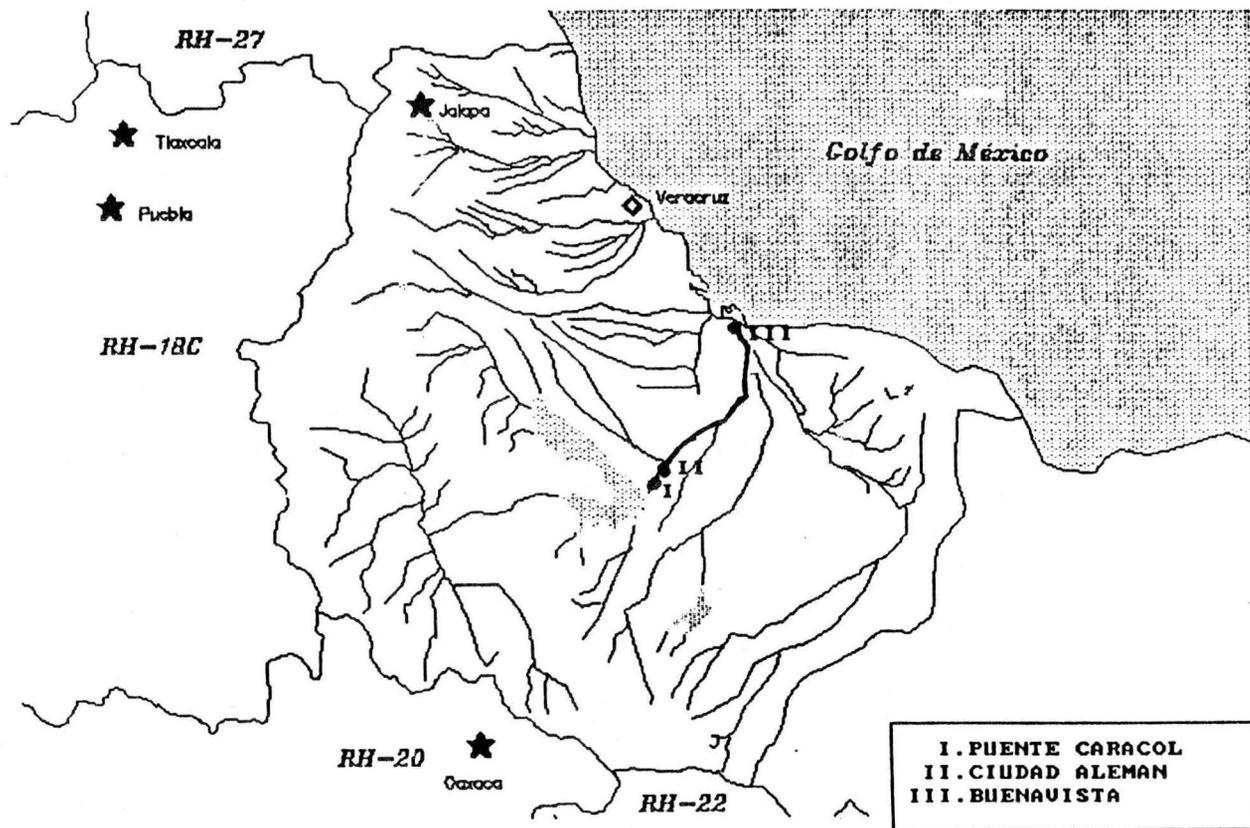


FIGURA 1. UBICACION DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO DEL RIO PAPALOAPAN

La toma de muestras se realizó por el personal de la Gerencia Estatal de Veracruz perteneciente a la Comisión Nacional del Agua, a una profundidad de muestreo de 0.10 m y con una periodicidad de muestreo mensual.

\ Parámetros de calidad del agua

Los parámetros de calidad del agua se clasifican dentro de cuatro grandes categorías: 1) cantidad de materia orgánica, 2) cantidad de bacterias coliformes, 3) cantidad de materia iónica y 4) características físicas. Se emplearon 18 estándares de análisis que regularmente son practicados en corrientes y lagos, mismos que fueron utilizados para identificar la calidad del agua en las cuatro categorías citadas.

El porcentaje de saturación de OD y DBO₅ miden la cantidad de materia orgánica. El contenido de coliformes mide la cantidad de materia bacteriológica. La materia iónica es medida por la alcalinidad, dureza, cloruros, conductividad, pH, sólidos disueltos; sólidos suspendidos, nutrientes y detergentes (SAAM), grasas y aceites y las características físicas son medidas por medio del color y la turbiedad.

Los parámetros analizados para el período de estudio (1986 a 1992) son proporcionados por el Sistema de Información de la Calidad del Agua (SICA) y son los siguientes:

Físicos:	Temperatura, Color*, y Turbiedad*
Iones:	Dureza*, Conductividad Eléctrica*, pH y Sólidos Disueltos Totales*, Cloruros*,
Materia orgánica:	DBO ₅ *, OD*, Grasas y Aceites*, DQO, y Sólidos Sedimentables
Nutrientes:	Nitratos*, Nitritos, Fosfatos*, Ortofosfatos, SAAM*
Materia bacteriológica:	Coliformes Totales* y Fecales*.

De los cuales los marcados con un asterisco (*) se involucraron en el cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA) según la S.A.R.H. (1979). Sus unidades y las técnicas utilizadas para su determinación se muestran en la tabla 6.

TABLA 6. PARAMETROS CONSIDERADOS Y LA TECNICA CORRESPONDIENTE.

PARAMETRO	UNIDADES	TECNICA
Temperatura	°C	Termómetro digital
pH	pH	Potenciómetro digital
Conductividad Eléctrica	uMHO/cm	Conductímetro digital
Oxígeno Disuelto	mg/l	Método Winkler modificado
Grasas y Aceites	mg/l	Método Soxhlet
Turbiedad	UTJ	Turbidímetro de Jackson
Dureza Total	mg/l	Método Tritrimétrico EDTA
Cloruros	mg/l	Kit Marca Hatch
DBO ₅	mg/l	Método Incubación por 5 días
DOO	mg/l	Mét. dicromático de Reflujo Abierto
Coliformes Totales	NMP/100 ml	Tubos múltiples
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	Tubos múltiples
SAAM	mg/l	Mét. de Azul de Metileno
Fosfatos Totales	mg/l	Mét. Colorimétrico
Ortofosfatos	mg/l	Mét. Colorimétrico
Nitratos	mg/l	Mét. Colorimétrico
Nitritos	mg/l	Mét. Colorimétrico
Sólidos Totales	mg/l	Mét. de Ignición
ST Volátiles	mg/l	Mét. de Ignición
ST Fijos	mg/l	Mét. de Ignición
S Susp. Totales	mg/l	Mét. de Ignición
SS Volátiles	mg/l	Mét. de Ignición
SS Fijos	mg/l	Mét. de Ignición
S Disueltos Totales	mg/l	Mét. de Ignición
SD Volátiles	mg/l	Mét. de Ignición
SD Fijos	mg/l	Mét. de Ignición
Sólidos Sedimentables	mg/l	Mét. Volumétrico v Gravimétrico

Nota: Las metodologías para cada uno de los parámetros involucrados se basaron en las Normas Oficiales Mexicanas; en el anexo 1 se muestran cada una de ellas.

Índice de Calidad del Agua (ICA)

El ICA está definido como el grado de calidad existente en el agua en el momento de su muestreo, expresado como un porcentaje del agua pura. Así el agua con una calidad altamente contaminada tendrá un índice cercano o igual a 0% y de 100% para el agua con una calidad excelente (S.A.R.H., 1979).

Los datos del periodo de estudio se dividieron en época de estiaje y lluvias, que corresponden a los meses de Enero a Junio y de Julio a Diciembre, respectivamente.

Las fórmulas utilizadas para el cálculo del índice, así como sus respectivos pesos de importancia relativa se dan a continuación:

$$ICA = \frac{\sum_{i=1}^n (l_i W_i)}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

En donde:

ICA = Índice de Calidad del Agua

l_i = Subíndice de Calidad para el parámetro i , $0 \leq l_i \leq 100$

W_i = Peso de importancia del parámetro i , $0 \leq W_i \leq 5$

n = número de parámetros

Para la aplicación de esta fórmula se ponderará con un valor cercano o igual a 5 del subíndice correspondiente a un parámetro relevante del uso que se pretenda evaluar, o bien cercano a cero en el caso de que no tenga relevancia.

Las ecuaciones definidas para el índice de calidad individual de cada uno de los 18 parámetros seleccionados para conformar el índice general, son las siguientes:

1) pH	$I_{pH} = 10^{0.2335pH(0.44)}$ si el pH es menor que 6.7 $I_{pH} = 100$ si el pH está entre 6.7 y 7.3 $I_{pH} = 10^{4.22-0.295pH}$ si el pH mayor que 7.3 (pH) en unidades pH	2) Color	$I_c = 123(C)^{-0.296}$ (C) en unidades de color escala platino cobalto
3) Turbiedad	$I_t = 180(t)^{-0.178}$ (t) en UTJ	4) Grasas y aceites	$I_{GyA} = 87.25(GyA)^{-0.298}$ (GyA) en mg/L
5) Sólidos suspendidos	$I_{ss} = 266.5(ss)^{-0.37}$ (ss) en mg/L	6) Sólidos disueltos	$I_{sd} = 109.1 - 0.0175(sd)$ (sd) en mg/L
7) Cond. eléctrica	$ICE = 540(CE)^{-0.379}$ (CE) μ Mho/cm	8) Alcalinidad	$I_a = 105(a) - 0.186$ (a) en mg/L como $CaCO_3$
9) Dureza total	$ID = 10^{1.974 - 0.00174(D)}$	10) Nitratos	$INO_3 = 162.2(NO_3)^{-0.0343}$

	(D) en mg/L como CaCO ₃		(NO ₃) en mg/L
11) N amoniaco	$INH_3 = 45.8 (NH_3)^{-0.343}$ (NH ₃) en mg/L	12) Fosfatos totales	$IPO_4 = 34.215(PO_4)^{-0.46}$ (PO ₄) en mg/L
13) Cloruros	$ICI = 121 (Cl)^{-0.223}$ (Cl) en mg/L	14) Oxígeno disuelto	$IOD = [(OD) / OD \% \text{ sat}]$ 100 (OD) mg/L a T° de campo; OD % sat mg/L de saturación a la misma T° de campo
15) D B O	$IDBO = 120 (DBO)^{-0.673}$ (DBO) en mg/L	16) Coli. totales	$ICT = 97.5 (CT)^{-0.27}$ (CT) = NMP coli/100mL
17) Coli. fecales	$IEc = 97.5 [5(Ec)]^{-0.27}$ (Ec) = <i>Escherchia coli</i> /100mL	18) Detergentes	$ISAAM = 100 - 16.678$ $(SAAM) + 0.1587$ $(SAAM)^2$ (SAAM) en mg/L

Para lograr una mejor comprensión del resultado final en la aplicación de este método S.A.R.H. (1979) consideró calificaciones que varían desde "aceptable" hasta "inaceptable" (Fig. 2), para los diferentes usos aquí considerados, que son:

- a) Abastecimiento público
- b) Recreación
- c) Pesca y vida acuática
- d) Industrial y Agrícola

e) Navegación

f) Transporte de desechos tratados (cuerpos receptores que sirvan como drenaje).

FIG 2.- ESCALA DE CALIFICACION GENERAL DE LA CALIDAD DEL AGUA

	ABASTECIMIENTO PUBLICO	RECREACION	PESCA Y VIDA ACUATICA	INDUSTRIAL Y AGRICOLA	NAVEGACION	TRANSP. DESH. TRATADOS
00	NO REQUIERE PURIFICACION	ACEPTABLE PARA	ACEPTABLE PARA	NO REQUIERE PURIFICACION		
90	LIGERA PURIFICACION	CUALQUIER DEPORTE ACUATICO	TODOS LOS ORGANISMOS	LIGERA PURIFICACION	A	A
80	NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE NO RECOMENDABLE	EXCEPTO ESPECIES SENSIBLES	PARA ALGUNOS PROCESOS	C	C
70				SIN TRATAMIENTO PARA LA INDUSTRIA NORMAL	E	E
60					P	P
50	DUDOSO	DUDOSO CONTACTO CON AGUA	SOLO ORGANISMOS MUY RESISTENTES	CON TRATAMIENTO EN LA MAYOR PARTE DE LA INDUSTRIA	T	T
40	NO ACEPTABLE	SIN CONTACTO CON AGUA			A	A
30		SEÑAL DE CONTAMINACION	USO MUY RESTRINGIDO	B	B	
20		NO ACEPTABLE	NO ACEPTABLE	NO ACEPTABLE	F	F
10				CONTAMINADO	m	m
0		NO ACEPTABLE	NO ACEPTABLE	NO ACEPTABLE	NO ACEPTABLE	NO ACEPTABLE

Fuente: S.A.R.H., 1979.

Conforme a la fórmula del índice, se requiere asignar una importancia relativa a cada uno de los parámetros con base en el uso o usos del agua, observándose que para diagnósticos ambientales, donde se requiere conocer la calidad del agua, no es necesario asignar importancia relativa a cada uno de los parámetros, ya que generalmente se dan cuatro a los seis considerados en la escala de calificación, que son: abastecimiento público, recreación, pesca y vida acuática y agrícola e industrial.

La importancia relativa involucrada en el cálculo del ICA (S.A.R.H., 1979) para cada uno de los parámetros es:

Parámetro	Importancia Relativa	Parámetro	Importancia Relativa
pH	1.0	N de Nitratos	2.0
Color	1.0	N Amoniacal	2.0
Turbiedad	0.5	Fosfatos totales	2.0
Grasas y aceites	2.0	Cloruros	0.5
Sólidos suspendidos	1.0	Oxígeno disuelto	5.0
Sólidos disueltos	0.5	DBO ₅	5.0
Conductividad eléctrica	2.0	Coliformes totales	3.0
Alcalinidad	1.0	Coliformes fecales	4.0
Dureza total	1.0	SAAM	3.0

Criterios Ecológicos de Calidad del Agua

Los resultados se compararon con los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua, ya que permiten clasificar a los cuerpos de agua como aptos para ser utilizados como fuente de abastecimiento de agua potable, recreación, pesca y vida acuática y para uso industrial y agrícola, etc. Considerando para esto las concentraciones máximas permisibles de los parámetros de calidad del agua publicados en el Diario Oficial de la Federación el día 13 de Diciembre de 1989.

Análisis estadístico

Se practicó un análisis estadístico de ANOVA para saber si existen diferencias a través del tiempo y el espacio a lo largo del Río Papaloapan. Utilizando un nivel de significancia de 5% ($\alpha = 0.05$); y cuyas

$$H_0 = \sigma^2_{\text{I}} = \sigma^2_{\text{II}} = \sigma^2_{\text{III}}$$

$$H_1 = \sigma^2_{\text{I}} \neq \sigma^2_{\text{II}} \neq \sigma^2_{\text{III}}$$

Y

$$H_0 = \sigma^2_{86} = \sigma^2_{87} = \dots = \sigma^2_{92}$$

$$H_1 = \sigma^2_{86} \neq \sigma^2_{87} \neq \dots \neq \sigma^2_{92}$$

Reconocimiento de campo

Con el fin de conocer las principales fuentes contaminadoras que descargan sus aguas al Río Papaloapan se hizo un recorrido a lo largo del mismo, con ayuda del personal de la Gerencia Estatal de Veracruz, clasificando a las descargas en municipales e industriales.

RESULTADOS

Los resultados de las tres estaciones localizadas en el Río Papaloapan, pertenecientes a la Red Nacional de Monitoreo de Calidad del Agua, para los años de 1986 a 1992 se obtuvieron con ayuda de la base de datos del S.I.C.A (Sistema de Información de la Calidad del Agua). En la tabla 7 se resumen los valores promedio del período 86-92, máximo y mínimo y los límites establecidos, según el uso del agua, por los Criterios Ecológicos.

TABLA 7.- RESUMEN DE LOS RESULTADOS EN LAS ESTACIONES DE ESTUDIO.

PARAMETRO	ESTACION I		ESTACION II		ESTACION III		Criterios Ecológicos
Conductividad µmhom/cm	máx	258	máx	505	máx	16,410	1000 RA
	prom	211	prom	237	prom	2,947	
	mín	171	mín	187	mín	200	
Temperatura °C	máx	27.60	máx	26.60	máx	27.50	+2.5 FAP
	prom	24.13	prom	23.82	prom	24.46	+1.5 PVA dym
	mín	18.50	mín	17.00	mín	17.60	cond. nat.
Oxígeno disuelto mg/L	máx	5.56	máx	6.37	máx	6.06	4.00 FAP
	prom	4.34	prom	4.94	prom	4.81	5.00 R y FAP
	mín	2.54	mín	2.93	mín	3.29	5.00 PVA dym
DBO mg/L	máx	9.13	máx	5.11	máx	14.00	4.00 FAP
	prom	3.26	prom	2.12	prom	4.26	25-100 RA
	mín	0.85	mín	0.43	mín	1.40	incluyendo a los nitritos
DQO mg/L	máx	32.5	máx	55.66	máx	211.63	No existe
	prom	17.3	prom	23.49	prom	48.55	
	mín	4.38	mín	5.00	mín	5.00	
pH UpH	máx	8.22	máx	7.63	máx	7.56	5-9 FAP
	prom	7.74	prom	5.98	prom	6.43	4.5-9 RA
	mín	7.46	mín	5.55	mín	6.00	6-8.5 P

TABLA 7.- RESUMEN DE LOS RESULTADOS EN LAS ESTACIONES DE ESTUDIO (continua).

PARAMETRO	ESTACION I		ESTACION II		ESTACION III		Criterios Ecológicos
Turbiedad	máx	30	máx	42	máx	141	30 FAP
UTJ	prom	12	prom	11	prom	29	25 P y R
	mín	1	mín	2	mín	6	
Grasas y Aceites	máx	57.0000	máx	59.2000	máx	79.3400	Ausente FAP
	prom	26.1300	prom	22.4500	prom	25.2700	
mg/L	mín	4.4300	mín	6.3300	mín	6.8900	
Dureza Total	máx	93.00	máx	370.50	máx	3850.00	250.00 FAP
	prom	133.96	prom	146.85	prom	538.72	
mg/L	mín	110	mín	97.33	mín	85.66	
Sólidos	máx	0.1	máx	0.3	máx	0.2	No existe
Sedimentables	prom	0.06	prom	0.2	prom	0.1	
mg/L	mín	0.0	mín	0.0	mín	0.0	
SAAM	máx	0.2480	máx	0.4100	máx	0.2330	0.5000 FAP
	prom	0.1460	prom	0.1750	prom	0.1580	0.1 PVA d y m
mg/L	mín	0.0650	mín	0.0770	mín	0.0580	50 P
Nitratos	máx	1.7330	máx	2.0000	máx	2.0100	5.0000 FAP
	prom	0.3220	prom	0.4000	prom	0.4200	90.0000 P
mg/L	mín	0.0500	mín	0.0510	mín	0.0520	
Nitritos	máx	0.2790	máx	0.2490	máx	0.4590	0.0500 FAP
	prom	0.0420	prom	0.0300	prom	0.0900	10.0000 P
mg/L	mín	0.0047	mín	0.0040	mín	0.0067	
Ortofosfatos	máx	0.5200	máx	0.0380	máx	0.2560	No existe
	prom	0.0830	prom	0.0240	prom	0.0713	
mg/L	mín	0.0100	mín	0.0100	mín	0.0050	
Fósforo soluble	máx	0.3050	máx	0.5520	máx	0.5800	No existe
	prom	0.1190	prom	0.1686	prom	0.2086	
mg/L	mín	0.0390	mín	0.0420	mín	0.0390	

TABLA 7.- RESUMEN DE LOS RESULTADOS EN LAS ESTACIONES DE ESTUDIO (continua).

PARAMETRO	ESTACION I		ESTACION II		ESTACION III		Criterios Ecológicos y	
Cloruros mg/L	máx	19.80	máx	19.00	máx	2918.00	147.50 RA	
	prom	7.72	prom	8.29	prom	646.81	250.00 FAP	
	mín	0.58	mín	1.33	mín	7.97		
Sól. Totales mg/L	máx	236	máx	491	máx	3200	1000 FAP	
	prom	180	prom	367	prom	1446		
	mín	128	mín	142	mín	155		
S. Suspendidos Totales mg/L	máx	24	máx	88	máx	1211	500 FAP	
	prom	14	prom	39	prom	1043	50 RA	
	mín	8	mín	6	mín	15		
S. Disueltos Totales mg/L	máx	164	máx	378	máx	780	500 FAP	
	prom	104	prom	139	prom	383	500 RA	
	mín	102	mín	102	mín	166		
Coliformes Totales NMP/100mL	máx	46,000	máx	460,000	máx	240,000	10,000 * FAP	
		Sin Moda	Moda	24,000	Moda	240,000	5,000 * RA y P	
	mín	46	mín	900	mín	15		
Coliformes Fecales NMP/100mL	máx	9,300	máx	460,000	máx	240,000	1000 FAP	
		Moda	9,300	Moda	24,000	Moda	240,000	200 PVA dy m
	mín	46	mín	90	mín	15	1000 RA	
ICA	máx	83.73	máx	70.27	máx	63.75		
	prom	67.60	prom	64.63	prom	60.08		
	mín	57.47	mín	60.82	mín	55.26		

FAP Fuente de Abastecimiento Público
RA Riego Agrícola
P Pecuario
R Recreación
PVA Protección a la Vida Acuática
d = dulce acuícola
m = marina

Conductividad

La conductividad varió significativamente. El valor máximo lo presentó la estación III (Buenavista) en el año de 1988 en la época de secas con un valor de 16,410 $\mu\text{mhos/cm}$ y el mínimo se reporta en la estación I (Puente Caracol) en lluvias para el año de 1990 con un valor de 171 $\mu\text{mhos/cm}$. En general, los valores más altos los reporta la estación III y los mínimos son para la estación I. El promedio para la estación I es de 211, para la II es de 237 y para la estación III es de 2,947 $\mu\text{mhos/cm}$. El 20% de los valores encontrados en estos años sobrepasan el límite que marcan los Criterios Ecológicos que es de 1000 $\mu\text{mhos/cm}$ para riego agrícola.

Temperatura

La temperatura del agua fluctuó de 17° a 27.60°C durante el período estudiado. No se observa una uniformidad en los datos reportados, solo hay un ligero aumento en la época de lluvias que no es percibido en todas las estaciones. El valor más bajo se registró en la estación II con un valor de 17°C en el año de 1987 en la época de secas y el más alto lo reporta la estación I en el año de 1990 con 27.60°C en lluvias. En promedio la estación I y III tienen valores semejantes con 24.13 y 24.46°C respectivamente, mientras que para la II el promedio es de 23.82°C.

Los Criterios Ecológicos marcan un aumento de 2.5°C a las condiciones naturales para fuente de abastecimiento de agua potable y de 1.5°C para protección a la vida acuática dulceacuícola y marina.

Oxígeno disuelto

Con relación al oxígeno disuelto el valor mínimo se registró en la estación I con un valor de 2.54 mg/L, en 1989 en la época de secas y el más alto se reporta en la estación II con un valor de 6.37 mg/L en la época de lluvias en 1992. Se observa en general que los valores más altos se reportan en la temporada de lluvias. Los Criterios Ecológicos marcan como mínimo para abastecimiento de agua potable 4 mg/L; solo el 21% de los datos no alcanzan este valor. En promedio cada una de las tres estaciones lo sobrepasan por 0.34 mg/L para la estación I, 0.94 mg/L para la II y la estación III con 0.81 mg/L. Para la protección a la vida acuática dulceacuícola y marina el límite mínimo permisible es de 5 mg/L, de donde el 56 % de los datos reportados no rebasa este valor.

Demanda Bioquímica de Oxígeno

El valor más bajo de la demanda bioquímica de oxígeno se registró en la estación II con un valor de 0.43 mg/L en el año 1988 en la temporada de lluvias; y el máximo también es en esa temporada, en el mismo año, en la estación III con un valor de 14.00 mg/L. No existen valor para este parámetro en los Criterios Ecológicos Nacionales.

Demanda química de oxígeno

El máximo valor encontrado para la demanda química de oxígeno fue de 211.63 mg/L en el año de 1989 en la temporada de secas en la estación III y el más bajo se localiza en la estación I con un valor de 4.38 mg/L para el mismo año y la misma

época. A través de todos los años de estudio la estación III presenta un valor promedio de 48.55, la estación II de 23.49 y la estación I de 17.30 mg/L. Para este parámetro no existen Criterios Ecológicos.

pH

Los valores de pH varían entre 5.55 y 8.22 unidades; localizando estos valores en la estación II y I ambos en los años de 1989 para lluvias y secas respectivamente. En promedio la estación I es la que reporta, a través de los años, el valor más alto con 7.74, la estación III con 6.43 y la II con 5.98. Comparando estos valores con los Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua se establece un rango de 4.50 a 9.0 unidades de pH para riego agrícola, por lo cual los valores reportados son aceptables para este uso, al igual que para fuente de abastecimiento público (5-9) y uso pecuario (6-8.5).

Turbiedad

El valor más bajo lo reporta la estación I con 1 UTJ en secas en el año 1990 y el más alto se localizó en la estación III en la época de lluvias para 1987 con 141 UTJ. En promedio las estaciones II y III reportan el valor más bajo y más alto con 11 y 29 UTJ respectivamente.

Grasas y Aceites

Para las grasas y aceites el valor más alto se encuentra en la estación III en época secas con un valor de 79.3400 mg/L en 1986 y el más bajo es de 4.4300 mg/L para la estación I en lluvias (1992). En promedio la estación I presenta un valor de 26.1300

mg/L siendo la más alta y la estación II la más baja con un valor de 22.4500 mg/L. Los Criterios Ecológicos marcan para fuente de abastecimiento de agua potable que las grasas y aceites deben de estar ausentes en el sistema. Dado lo anterior y debido a que no hay Criterio Ecológico para el resto de los usos se piensa que estas concentraciones son altas para usos, como riego agrícola y pecuario.

Sustancias Activas al Azul de Metileno

Para las Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM) los Criterios Ecológicos marcan como máximo una concentración de 0.5 mg/L para fuente de abastecimiento de agua potable para la cual, todos los valores reportados en los años de estudio no sobrepasan dicho límite. Para la protección a la vida acuática dulceacuícola y marina el límite es de 0.1000 mg/L siendo más estricto; por lo que el 78% de los resultados lo sobrepasan. El valor mínimo lo registró la estación III con un valor de 0.0580 mg/L en la temporada de lluvias (1990) y el máximo se encuentra en la estación II en 1988 en secas con un valor de 0.4100 mg/L (1988).

Dureza Total

El valor más alto lo reporta la estación III en 1988 en secas con 3850.00 mg/L y el bajo se registra en 1987 en la misma época para la estación III con 85.66 mg/L. En promedio la estación III presenta un valor con 538.72 mg/L y el promedio más bajo es para la estación I con 133.96 mg/L. Con lo que respecta a la acuicultura dependerá de la resistencia de las especies, para ello el límite fluctúa de 5.00 mg/L para la Trucha Arco-iris a 300.00 mg/L para la Carpa; considerando el límite máximo de 300.00 mg/L, el 10% de los datos sobrepasa el límite.

Sólidos Sedimentables

El resultado de sólidos sedimentables más alto se registró en la estación II en lluvias con 0.3 mg/L (1988) y el más bajo se reportó en la estación I con 0.0 mg/L en la misma época (1992). La mayor cantidad en promedio la presenta la estación II con un valor de 0.2 mg/L, y el más bajo es para la estación I con 0.06 mg/L. En relación a los sólidos sedimentables no existe en los Criterios Ecológicos límites permisibles para este parámetro.

Nitratos

Para los nitratos, el máximo valor lo registró la estación III con un valor de 2.0100 mg/L en las secas (1987) y el más bajo esta en la estación I en la temporada de secas con un valor de 0.0500 mg/L (86). Coincidiendo con esas estaciones se encuentran los promedios más alto y más bajo de 0.4200 y 0.3220 mg/L respectivamente. Los Criterios Ecológicos marcan como máximo un valor de 5.0000 mg/L para fuente de abastecimiento de agua potable, y de 90.0000 para uso pecuario. De los valores reportados ninguno sobrepasa dichos límites.

Nitritos

En la estación III se registró el valor más alto 0.4590 mg/L para lluvias (1996) y el más bajo en la estación II con 0.0040 mg/L en la temporada de lluvias (1988). En promedio el máximo valor lo reporta la estación III con 0.0900 mg/L y el promedio más bajo se obtuvo en la estación II con 0.0300 mg/L. Los Criterios Ecológicos marcan como límite máximo para abastecimiento de agua potable un valor de 0.0500 mg/L de los cuales el 16% de los datos rebasan este valor.

Ortofosfatos

El máximo valor se registró en el año 1987 en lluvias con un valor de 0.5200 mg/L para la estación I y el más bajo se registró en la estación III en lluvias con 0.2560 mg/L (1992). En general se presentaron concentraciones más bajas en la temporada de secas. En promedio la concentración mas alta es la de la estación I con 0.083 mg/L y la más baja la II con 0.0240 mg/L. Para este parámetro no existen límites permisibles en los Criterios Ecológicos.

Fósforo Soluble

El valor más alto fue en el año 1990 en la época de secas con 0.5800 mg/L en la estación III y el más bajo recae en la estación I en 1989 en las lluvias con 0.0390 mg/L. La estación III tiene el promedio más alto con 0.2086 mg/L y el más bajo es la estación I con 0.1190 mg/L. Para este parámetro no existe en los Criterios Ecológicos límite permisible.

Cloruros

Durante el período analizado, el valor máximo obtenido fue de 2,918.00 mg/L en la temporada de secas (1988) en la estación III y el menor de 0.58 mg/L en lluvias para la estación I (1992). Los Criterios Ecológicos marcan como límite permitido para riego agrícola 147.50 y para abastecimiento público 250.00 mg/L. De las concentraciones reportadas solo el 17% sobrepasan estos límites. En promedio la estación I y II tienen valores de 7.72 y 8.29 mg/L respectivamente. Para la estación III el promedio fue de 646.81 mg/L.

Sólidos Totales

En general la estación III es la que presenta los valores más altos, ya que en la temporada de secas (1986) el resultado fue de 3,200 mg/L y el más bajo se encontró en la estación I en las lluvias con un valor de 128 mg/L (1992). Los Criterios Ecológicos marcan un valor de 1,000 mg/L como límite máximo para los sólidos totales en fuente de abastecimiento de agua potable. El promedio de cada una de las estaciones no sobrepasa este valor (estación I con 180, la II con 367 y la III con 1446 mg/L). Considerando las concentraciones reportadas de este parámetro el 17% de estas sobrepasan el límite permisible.

Sólidos Suspendidos Totales

En relación a los sólidos suspendidos la concentración promedio aguas abajo va en aumento de tal manera, que el valor más bajo se registró en la estación II en la época de lluvias con un valor de 6 mg/L y el más alto en secas, con un valor de 1,211 mg/L en la estación III (1986); hallándose en estas estaciones los promedios más bajo y más alto, con 39 y 1,043 mg/L respectivamente. Los Criterios Ecológicos determinan un valor máximo de 500 mg/L como límite máximo para fuente de abastecimiento de agua potable. De los valores sólo el 2.5% sobrepasan este límite, pero en general la mayoría es apta para este uso. Para riego agrícola la concentración es más restringida marcando como límite máximo un valor de 50 mg/L; de los valores reportados el 25% rebasa el límite establecido. En general, la concentración de sólidos suspendidos volátiles es mayor que la de los fijos.

Sólidos Disueltos Totales

El valor más alto se registró en la estación III con un valor de 780 mg/L, en secas (1991) y el más bajo en la estación II con un valor de 102 mg/L en secas (1991). En los criterios ecológicos de calidad del agua se establece 500 mg/L como límite permisible para abastecimiento de agua potable. De las concentraciones reportadas el 10% sobrepasa el límite establecido en los criterios ecológicos; en promedio la estación III tiene el valor más alto con 383 mg/L; para la I con 104 y para la II se reportan 139 mg/L.

Bacterias Coliformes

Para los coliformes totales no existe Criterio Ecológico, para ningún uso de los establecidos anteriormente.

Los coliformes totales la estación II en la temporada de secas (1988) se reportaron 460, 000 NMP/100mL, y como mínimo se tiene un valor de 15 NMP/100mL en la temporada de lluvias para la estación III (1990).

Para los coliformes fecales el máximo valor se presenta en la estación II en secas (1988), con un valor de 460,000 NMP/100mL y el menor en la estación III en el año de 1990 con 15 NMP/100mL en la misma temporada.

En relación a los coliformes fecales los Criterios Ecológicos marcan como límite un valor de 1,000 NMP/100mL para fuente de abastecimiento y riego agrícola, el 25% sobrepasa este valor. Para la protección a la vida acuática dulceacuícola se marca un límite de 200, de los valores obtenidos, más del 85% rebasan el valor.

En general la estación I es la que presenta los valores más bajos con 46 NMP/100mL en el año 1987, en época de lluvias, los demás valores van del orden de 100 a 46,000 NMP/100mL y los más altos en general se reportan en la estación II con valores de hasta 460,000 NMP/100mL tanto de coliformes totales como fecales en 1988 en la temporada de secas.

Índice de Calidad del Agua

Para conocer el estado de la calidad del agua en el espacio a lo largo del Río Papaloapan se obtuvo un índice de calidad para cada una de las estaciones a través de los años analizados.

El valor más alto para la estación I (Puente Caracol) se reportó en el año de 1986 con un índice de 83 y el más bajo es de 57 para el año de 1988.

La estación II (Cd. Alemán) muestra como más alto el año de 1988, con un valor de 70 y el más bajo de 60 en 1989.

Para la estación III (Buenavista) el más alto se reportó en 1992 con 63 y el más bajo en 1988 con un valor de 55.

En promedio la estación I a lo largo de todo el estudio, es la que presentó un mayor índice de calidad con 67 y con una desviación estándar de 8.53; y la estación III Buenavista es la más baja con un ICA en promedio de 60 y con una desviación de 3.04. Para la estación II Cd. Alemán su ICA promedio fue de 64 con una desviación de 3.94.

Fuentes Contaminantes

En campo, se realizó una inspección al área de estudio con apoyo de la Gerencia Estatal de Veracruz; haciendo un recorrido por carretera a lo largo del río, visitándose cada una de las estaciones de monitoreo, y los efluentes inventariados por el personal de dicha Gerencia de algunas poblaciones e industrias a las cuales se tenía fácil acceso; y en los que no estaban inventariados o no se tenía fácil acceso; la Gerencia proporcionó por escrito los datos correspondientes. Además de los tipos de contaminantes y los volúmenes que son vertidos anualmente al río (tabla 8).

Principales fuentes de contaminación

Una de las principales fuentes de contaminación en el río es la industria alimentaria, ya que vierte a los afluentes compuestos tales como azufre, sulfatos, cal, calcio, magnesio y compuestos orgánicos complejos además de féculas y carbonatos. Las industrias alimentarias que ocupan como cuerpo receptor al Río Papaloapan, vierten en promedio anualmente un volumen de descarga de 9'064,915.4 m³/año de los 14'728,925.4 m³/año, lo que corresponde a más del 60% del total de la descarga anual al río; el resto (5'104,010 m³/año) corresponde a fuentes municipales y de servicios como se muestra en la tabla 8.

TABLA 8.- LISTADO DE LAS PRINCIPALES FUENTES CONTAMINANTES DE TIPO INDUSTRIAL Y URBANO QUE VIERTEN SUS DESCARGAS DIRECTAMENTE AL SISTEMA.

Razón social	Municipio	Cuerpo receptor	Vol. descarga m ³ / año
--------------	-----------	-----------------	---------------------------------------

Descarga antes de la estación I

Ing. Tres Valles	Tres Valles	Río Tonto	3' 940, 392.6
------------------	-------------	-----------	---------------

TABLA 8.- LISTADO DE LAS PRINCIPALES FUENTES CONTAMINANTES DE TIPO INDUSTRIAL Y URBANO QUE VIERTEN SUS DESCARGAS DIRECTAMENTE AL SISTEMA

(continua)

Razón social	Municipio	Cuerpo receptor	Vol. descarga m³/ año
Descarga antes de la estación II			
Alcantarillado Tlacójalpan	Tlacójalpan	Río Papaloapan	***
Alcantarillado Tuxtepec	Tuxtepec	Río Papaloapan	***
Descarga antes de la estación III			
Grav. Vicencio Noe.	Acayucan	Río San Juan	102, 944
Grav. Hilario Rodríguez.	Acayucan	Río San Juan	-----
Mat. construc. Mayo A.	Acayucan	Río San Juan	22, 000
Mat. construc. Soto B.	Acayucan	Río San Juan	22, 000
Alcant. arillado Amatitlan	Amatitlan	Río Papaloapan	283, 824
Alcant. arillado Corte	Amatitlan	Río Papaloapan	118, 260
Alcant. arillado Dos Bocas	Amatitlan	Río Papaloapan	118, 260
Rest. La Cabaña	Catemaco	afuente R. Papaloapan	1, 100
Clin. IMSS 39	Chacaltianguis	Río Papaloapan	730
IMSS T-3	Chacaltianguis	Río Papaloapan	5, 500
Alcan. Chacaltianguis	Chacaltianguis	Río Papaloapan	709, 560
Superservicio	Cosamaloapan	afuente R. Papaloapan	3, 500
Alcan. Santa Cruz	Cosamaloapan	Río Papaloapan	118, 260
Conj. Hospitales	Cosamaloapan	Río Papaloapan	61, 000
Alcan. G. Barrera	Cosamaloapan	Río Papaloapan	165, 564
Alcan. Carolina	Cosamaloapan	Río Papaloapan	47, 340
Alcan B. Juárez	Cosamaloapan	Río Papaloapan	118, 260
Serv. Telete	Cosamaloapan	Río Papaloapan	630
Alcan. Novillero	Cosamaloapan	Río Papaloapan	283, 824
Purificadora Lux	Cosamaloapan	Río Papaloapan	***
C.M.A.P.S.	Cosamaloapan	Río Papaloapan	1' 636, 070
Purificadora Ideal	Cosamaloapan	Río Papaloapan	***
Alcan. Nopaltepec	Cosamaloapan	Río Papaloapan	520, 344

TABLA 8.- LISTADO DE LAS PRINCIPALES FUENTES CONTAMINANTES DE TIPO INDUSTRIAL Y URBANO QUE VIERTEN SUS DESCARGAS DIRECTAMENTE AL SISTEMA

(continua)

Razón social	Municipio	Cuerpo receptor	Vol. descarga m ³ / año
Serv. Bravo	Cosamaloapan	Río Papaloapan	2, 900
U.H. Infonavit	Cosamaloapan	indirecto a R. Papaloapan	49
Purif. Papaloapan	Cosamaloapan	Río Papaloapan	365
Pemex Presa	Cosamaloapan	Río Papaloapan	***
Tortillería A.M.	Cosamaloapan	Río Papaloapan	3
Rodamientos indus.	Cosamaloapan	Río Papaloapan	570
Molino de mixtamal	Cosamaloapan	Río Papaloapan	54. 80
Ing. San Gabriel S.A.	Cosamaloapan	Río Papaloapan	5' 029, 000
C.F.E.	Hueyapan de O.	Río San Juan	109
Alcan. Hueyapan	Hueyapan de O.	Río San Juan	283, 824
Rest. Merlos	Otatitlán	Río Papaloapan	300
Alcan. Otatitlán	Otatitlán	Río Papaloapan	520, 344
Alcan. Tlacotalpan	Tlacotalpan	Río Papaloapan	378, 432
Fab. Hielo	Tlacotalpan	Río Papaloapan	93, 700
Alcan. Tuxtilla	Tuxtilla	Río Papaloapan	141, 912

*** No se cuenta con datos. Fuente Gerencia Estatal de Veracruz, CNA (1994).

De acuerdo a la producción de cada planta industrial, estas se dividieron en grande, mediana y chica, y se dio un valor promedio por contaminante descargado (Tabla 9).

TABLA 9. CONCENTRACIONES Y VALORES PROMEDIO OBTENIDOS DE DIFERENTES PLANTAS ALIMENTARIAS

Contaminante	Planta Grande	Planta Mediana	Planta Chica
DBO	3000 mg/L	4000 mg/L	2000 mg/L
DQO	5000 mg/L	4600 mg/L	5000 mg/L

TABLA 9. CONCENTRACIONES Y VALORES PROMEDIO OBTENIDOS DE DIFERENTES PLANTAS ALIMENTARIAS (continua)

Contaminante	Planta Grande	Planta Mediana	Planta Chica
SST	1000 mg/L	2500 mg/L	350 mg/L
G y A	1000 mh/L	1120 mg/L	300 mg/L
pH	7 - 9	9.5	3 - 9
Sól. Sediment.	9	28	26
Temperatura	17° C	25° C	22° C
Flujo de agua residual	523 m ³ / día	165 m ³ / día	67 m ³ / día

Datos proporcionados por S.A.R.H., 1979.

El origen de las aguas residuales en la industria alimenticia, proviene de las actividades de lavado de materia prima, lavado de equipo e instalaciones que son los mayores contribuyentes de compuestos orgánicos contaminantes.

En el Estado de Veracruz se produce cerca del 40% del azúcar nacional. La industria azucarera puede dividirse en tres secciones a fin de clasificar el uso del agua según el grado de refinación del azúcar, siendo estos el moscabado, la estándar y la refinada, teniendo cada una diferente demanda y descarga de agua.

Los ingenios azucareros demandan y descargan volúmenes considerables de agua principalmente por dos motivos: 1) exigencias normales del proceso de fabricación y 2) localización geográfica, factor que provoca que dada la abundancia de agua en las zonas cañeras se fomente un manejo poco eficiente del agua dentro de algunos ingenios (S.A.R.H., 1979).

Se considera que para el año 2000 la industria azucarera requerirá 3,341 millones de m³ de agua y descargará 2,718 millones de m³, lo que sugiere que las fosas de

sedimentación utilizadas para el control de la contaminación serán menos eficientes de lo que son ahora.

Aunado a esto, aún cuando las poblaciones difieren mucho en carácter y en tamaño, todas tienen las mismas preocupaciones por hallar como tratar y distribuir el agua para sus usos industriales, comerciales y de servicios, las cuales a su vez incluyen el lavado, transporte de desechos, agua para beber, preparación de alimentos, e t c. (S. H. R., 1982).

Dadas las diferencias en tamaño y carácter de las poblaciones no existe información de las características de las descargas de las aguas residuales municipales, sin embargo se enlistan los principales componentes de estas aguas:

Sólidos totales suspendidos

Coliformes totales y fecales

DBO

Grasas y aceites

Temperatura y pH

Detergentes

y Materia Orgánica

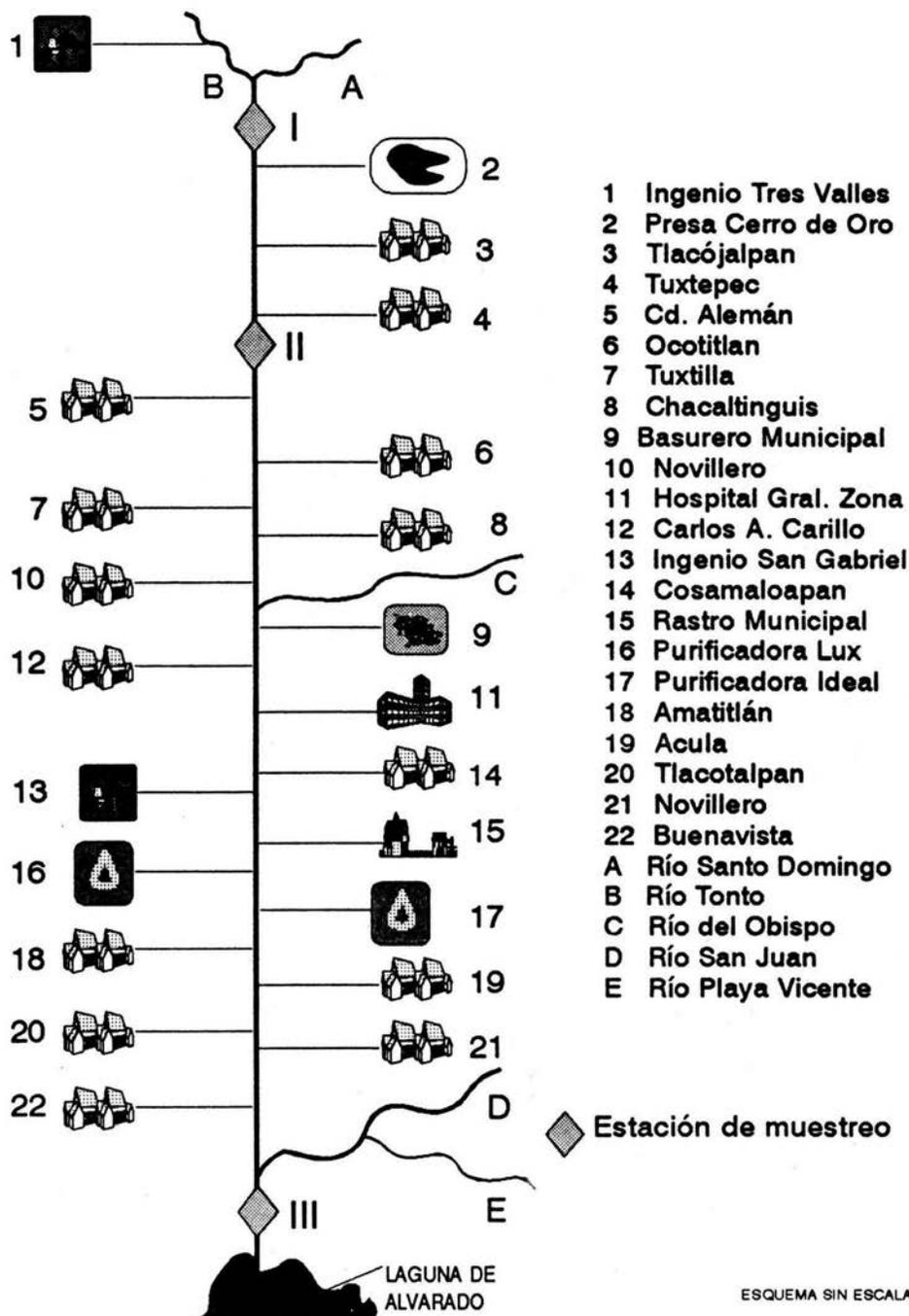
ANALISIS DE RESULTADOS

Los valores de oxígeno disuelto más altos se encontraron en la estación II en la época de lluvias, donde se reportaron las temperaturas más bajas con 17 °C. Los valores más bajos se reportaron en la estación I en la temporada de estiaje, inverso a la temperatura más alta, con un registro de 27.6 °C. Al elevarse la temperatura, las reacciones metabólicas, propiciadas por los microorganismos degradadores, aumentan; provocando la disminución de oxígeno en el agua, lo que trae como consecuencia que haya una aceleración en la degradación de los contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en las aguas, produciendo sustancias finales inofensivas tales como el bióxido de carbono y agua, o los compuestos inorgánicos oxidados correspondientes, (SO_4^- , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^-).

Todos los gases de la atmósfera son en algún grado solubles en el agua. Pero el nitrógeno y el oxígeno están clasificados como pobremente solubles (Sawyer, 1994). La solubilidad de estos gases varía grandemente con los rangos de temperatura y presión. La solubilidad del oxígeno en las aguas naturales a una temperatura de 0 °C es 14.6 mg/L de oxígeno que corresponde a un 100% de saturación de oxígeno en el agua. Utilizando el Nomograma de Mortimer (Wetzel, 1981); para conocer el porcentaje de saturación del oxígeno presente en las aguas del Río Papaloapan en sus concentraciones más altas y más bajas, se encontró que a una temperatura de 17 °C, localizada en la estación II; la solubilidad del oxígeno es de 9.66 mg/L (Sawyer, 1994) y se reporta una concentración máxima de 6.37 mg/L, que corresponde al 66.5 % de saturación de oxígeno.

Para la estación I en donde se reporta una temperatura de 27.6 °C, la solubilidad del oxígeno corresponde a 7.69 mg/L, encontrando que el porcentaje de saturación del

Fig. 3 ESQUEMA DE DESCARGAS QUE VIERTEN SUS AGUAS AL RIO PAPALOAPAN



oxígeno en esta estación es de 32.5 % ya que presenta una concentración mínima de 2.54 mg/L.

Aunado a la temperatura, la diferencia de concentración entre lluvias y secas y entre estaciones son debidas al grado de agitación del agua, la velocidad de la misma, accidentes del terreno y a la acción de los vientos que constituyen factores importantes en la reoxigenación del medio. La solubilidad del oxígeno es el factor más limitante en la capacidad de purificación de las aguas naturales y en los tratamientos de las aguas residuales para degradar la materia orgánica que es descargada (Sawyer, 1994).

Las determinaciones de oxígeno disuelto sirven como base para la pruebas de demanda bioquímica de oxígeno. Así, ambas son importantes para evaluar el grado de la contaminación en las aguas residuales.

La demanda bioquímica de oxígeno es una medida del oxígeno requerido para la estabilización química y biológica de la materia orgánica. Entre más sea la cantidad de materia orgánica vertida, mayor será la necesidad de oxígeno para su estabilización. Las principales fuentes de contaminación responsables del aumento de la DBO₅ en los cuerpos de agua son además de las descargas urbanas, las cervecerías, empacadoras de alimentos y principalmente los ingenios azucareros. Las concentraciones de DBO₅ (importante indicador de contaminación de tipo orgánico), más altas se obtuvieron en la estación III (14 mg/L), área donde se concentran gran parte de los ingenios azucareros y donde además se tiene influencia de grandes poblaciones como Cosamaloapan, Amatitlán, Tlacotalpan y Buenavista; con una población aproximada de 98 mil habitantes (Figura 3).

Como se citó anteriormente la cuenca del Río Papaloapan se encuentra en 6to. lugar nacional en relación a materia orgánica. Al analizar solo el Río Papaloapan, en los años 1987-1988 se presentó la mayor cantidad de materia orgánica en forma de DBO₅ con 570,000 Kg/año. Para el último año de estudio (1992) se presentó un segundo pico con 500,000 Kg/año (tabla 10), que contribuye con un 5% del total de la DBO₅ generada en la cuenca. Con respecto a la principal fuente de DBO₅ descargada a los ríos, como cuerpos receptores, a la cuenca del Río Pánuco se vierten aproximadamente 590 millones Kg/año. El volumen total de la descarga al Río Papaloapan; en cuanto a DBO₅ se refiere, comparado con el volumen vertido a el Río Pánuco es de 0.96%. Las concentraciones de DBO₅, para el Río Papaloapan como máximas alcanzan valores de 14 mg/L y para el caso del Río Pánuco sobrepasan las 200 mg/L. (CNA, 1994).

TABLA 10.- VALORES DBO DURANTE LOS AÑOS 1986-1992

AÑO	DBO ₅ total (kg/año)*
1986	194,000
1987	570,000
1988	570,000
1989	332,000
1990	253,000
1991	377,000
1992	500,000

* valores calculados con las tres estaciones de monitoreo ubicadas en el Río Papaloapan

En estudios de calidad de agua de ríos se utiliza la relación de DBO₅ :DQO, la cual da información sobre las condiciones de este cuerpo de agua, localización de la

contaminación, habilidad de la corriente de oxidar la carga orgánica y el grado relativo de la estabilidad biológica. En los desechos domésticos, así como en los sintéticos creados en el laboratorio para ensayos de estabilización, la relación $DBO_5:DQO$ es casi igual a 1; sin embargo con el uso creciente de los compuestos, no biodegradables, o de lenta biodegradación, como los detergentes, insecticidas, celulosa y plásticos, además de los desinfectantes (inhibidores de la acción enzimática), esta relación aumenta progresivamente en las aguas de desechos municipal e industrial. De este modo la relación $DBO_5:DQO$, que hasta hace algunos años era del orden de 1:5, ha alcanzado relaciones de 1:5, 1:7 y cada vez tiende a ser mayor (Branco, 1984).

Ortiz, (1993) registró para el Río Blanco relaciones $DBO_5:DQO$, de hasta 1:27, localizándose las relaciones más altas en las zonas donde se encuentra el mayor número de industrias y de asentamientos urbanos.

Para el Río Papaloapan a lo largo de su trayectoria se observan las siguientes relaciones de $DBO_5:DQO$, (1986-1992);

Estación	I.- Pte. Caracol	II.- Cd. Alemán	III.- Buenavista
Relación $DBO_5:DQO$	1:5	1:12	1:12

La estación III es la que presenta las concentraciones más altas en cuanto a DBO_5 y DQO con concentraciones máximas de 14.00 y 211.63 mg/L respectivamente, ya que del tramo de la estación II a la III es donde se encuentra el mayor establecimiento de industrias y poblaciones, las cuales en su mayoría desechan materia inorgánica o de muy lenta biodegradabilidad. Casi todos los desechos domésticos contienen desechos sintéticos no biodegradables, los cuales generalmente incluyen en su

composición agentes espumantes que impiden la oxigenación de los cuerpos de agua. La materia inorgánica es muy estable, lo que impide que pueda ser oxidada por los microorganismos del agua. La longitud del río se calcula de 240 Km desde la presa Miguel Alemán hasta su desembocadura a la Laguna de Alvarado. La distancia que hay de la primera estación a la segunda es de aproximadamente 50 Km, y entre la segunda a la tercera de 150 Km; lo que indica que las variaciones entre la estación I y II son muy pocas en comparación con la II y III, lo que queda demostrado con las relaciones de $DBO_5:DQO$ para las estaciones II y III, ambos con proporciones 1:12.

No obstante la igualdad de las relaciones $DBO_5:DQO$ en las estaciones II y III; (ambas con 12); en la estación III, como se mencionó anteriormente las concentraciones de DBO_5 y DQO , aumentan considerablemente.

También se observa de manera general, que las concentraciones de DBO_5 y DQO son ligeramente mayores en la temporada de secas, ya que la época de zafra involucra 5 de los 6 meses de esta temporada, por lo que genera un aumento en la cantidad de materia orgánica vertida a el río

El pH es un término usado universalmente para expresar la intensidad de la acidez o basicidad de una solución. Es un camino de expresión de la concentración del ión hidrógeno, o más precisamente la actividad del ion hidrógeno. Dentro de la actividad fotosintética en los medio naturales es importante considerar las variaciones diurnas del pH. Durante el día la absorción intensa de gas carbónico, llevada a cabo por los organismos verdes, acarrea una elevación del pH, a medida que este proceso es llevado a cabo; incurriendo el mecanismo inverso durante la noche. La estación I reporta un valor de pH 7.74, en promedio; debido probablemente a que recibe poca influencia poblacional e industrial que pueda interferir en dichos registros. Además.en

esta estación es donde se reporta el máximo grado de temperatura alcanzada con 27.6 °C lo que sugiere que la intensidad de la luz es mayor, propiciando una alta actividad fotosintética. Para la estación II que reporta un valor de pH de 5.55, comienza a recibir descargas de tipo urbano e industrial; de las poblaciones de Tlacójalpan y Tuxtepec y del Ingenio Tres Valles respectivamente; este último vierte gran cantidad de materia orgánica, lo que supone una alta demanda de oxígeno disuelto y por lo tanto una alta respiración de los microorganismos presentes en esta zona.

La cantidad de materiales sólidos disueltos está relacionado con la conductividad, los valores más altos de este parámetro se ubican en la estación III, reflejando así la gran actividad agrícola en esta zona, que al utilizar el agua del río en las tierras de cultivo se efectúa un lavado de éstas arrastrando sólidos e iones que provoca un incremento tanto en la conductividad como en los sólidos suspendidos y disueltos. La conductividad más alta registrada fue de 16, 410 $\mu\text{mhos/cm}$ en la estación III que corresponde a los valores de sólidos también más altos, con un valor de sólidos totales de 3200 mg/L. Además de lo anteriormente expuesto el aporte de sólidos suspendidos que ejercen las graveras Vicencio y Noe, Hilario Rodríguez y las industrias que se dedican a la elaboración de materiales para construcción, como la de Andrés Mayo y Baruch Soto, que descargan sus aguas al Río San Juan, afluente del Río Papaloapan antes de llegar a la estación III. Para los valores mínimos de conductividad los valores registrados de sólidos también fueron los menores con 171 $\mu\text{mhos/cm}$ y 128 mg/L respectivamente, localizados en la estación I, donde no hay influencia de poblaciones considerables ni de industrias. El gran contenido de iones libres afecta considerablemente la calidad del agua si su destino es para uso industrial y/o como en este caso para riego agrícola aguas abajo.

Los sólidos más importantes en la evaluación para establecer la contaminación de las aguas son los sólidos totales, los suspendidos y los sedimentables. Las aguas que presentan un alto contenido de sólidos pierden sus cualidades organolépticas y pueden ocasionar molestias en personas no acostumbradas a su ingestión ya que actúan como laxantes (S.A.R.H, 1976).

Para el Río Papaloapan, las concentraciones de todos los sólidos (disueltos, suspendidos y sedimentables) son mayores en la estación III: rebasando hasta por 3 veces los Criterios Ecológicos para el uso de fuente de abastecimiento público y riego agrícola. Los sólidos son la principal causa de la turbiedad, las descargas de alcantarillados y algunos tipos de efluentes industriales aumentan la concentración de sólidos suspendidos.

Se observa, además, que los valores máximos ocurren en la temporada de lluvias ya que hay erosión, remoción y arrastre de partículas a lo largo de todo el río y lo que contribuyen a un aumento de estos parámetros.

Los desechos domésticos y orgánicos industriales contienen altas concentraciones de pigmentos coloidales, amarillentos, de composición idéntica o semejante a los que existen en la materia húmica de los suelos. Por lo tanto, al ser vertidos en los ríos, como es el caso del Papaloapan, perjudican su transparencia, y por lo tanto su productividad primaria. Además de que contiene en suspensión limo y arcilla proporcionándole un color café-amarillento.

En el caso de la turbiedad, el valor promedio máximo localizado en la estación III es de 39 UTJ, y no es un descriptor limitante para especies como tilapia, la cual tiene como máximo permisible 100 UTJ.

Al comparar los resultados obtenidos en este estudio con otros ríos de importancia como el Río Blanco llevado a cabo por (Ortiz, 1994), y el Lerma-Santiago (Saavedra, 1994) encontramos lo siguiente:

Río	Turbiedad UTJ (valor máximo)
Papaloapan	141
Blanco	440
Lerma-Chapala	790
Pánuco	3875

En general la turbiedad del agua del río se ve incrementada en su recorrido aguas abajo, obteniendo las máximas concentraciones en la estación III y en la época de lluvias, ya que lleva arrastra consigo todas las partículas que a lo largo de su trayectoria trae consigo.

La presencia de grasas y aceites en las aguas provoca diversos problemas para el manejo, tratamiento y disposición de la misma, ya que debido a su insolubilidad y baja densidad tienden a flotar en la superficie del agua formando películas muy finas que dificultan la oxigenación. Las grasas y aceites tienen su origen básicamente en los aguas que contienen desechos domésticos y en algunas industrias que en sus procesos utilizan o liberan como productos secundarios estos componentes. El término aceite representa una amplia variedad de hidrocarburos de origen mineral, que abarca desde la gasolina hasta combustibles y aceites lubricantes. Estas se encuentran presentes en todas las estaciones, y en todos los años, alcanzando concentraciones de 79.34 mg/L para la estación III. Concentraciones bajas en comparación con los datos reportados para la cuenca del Río Pánuco (CNA 1994), ya que éste alcanza

concentraciones de hasta 257.28 mg/L. Con respecto al daño producido por la presencia de grasas y aceites a los organismos acuáticos estos constituyentes orgánicos pueden formar una película aceitosa en los filamentos de las branquias de peces, en las alas de las aves y sobre el epitelio branquial de numerosos organismos plantónicos que impide el libre intercambio de oxígeno con la atmósfera pudiendo causarles la muerte. Sin embargo en el Río Papaloapan, la concentración de grasas y aceites no llega a causar aún dicho problema, ya que en esta parte de su cauce se pescan peces de agua dulce principalmente huachinango, jaiba, robalo, nacas, chucumite, etc.

Desde el punto de vista estético tanto las grasas y aceites como la formación de espuma son indeseables. Sin embargo, la toxicidad de los espumantes que contienen, algunos detergentes, representan un serio peligro a la flora y fauna acuática además de que afecta los suelos y cultivos que son irrigados con estas aguas (S.A.R.H., 1983).

Son muchas las dificultades causadas por un alto contenido de detergentes en las aguas superficiales y las aguas de desecho. En primer lugar es indeseable la formación de espuma en los ríos, a su vez la toxicidad de los espumantes que contienen. Se menciona en los Criterios Ecológicos una concentración de 0.1 mg/L de SAAM como límite máximo para protección de vida dulceacuícola, en los resultados obtenidos el 76% rebasa este límite.

APHA-AWWA-WPCF (1989) menciona que en un efluente municipal y/o industrial la concentración de surfactantes varía entre 1 y 20 mg/L, mientras que en cuerpos de agua naturales esta se encuentra por debajo de 0.1 mg/L; excepto en áreas cercanas a los efluentes municipales y/o industriales.

El Río Pánuco alcanza concentraciones de hasta 2 mg/L de SAAM, en el caso del Río Papaloapan, en promedio tiene 0.16 mg/L, con una creciente concentración aguas abajo (Estación III). Aún en la estación de menor concentración (Estación I) sobrepasa el límite para los cuerpos naturales. La toxicidad de los detergentes es mayor a medida que se incrementa la dureza de las aguas.

El término dureza se aplica a las aguas en las que es difícil lavar, pues requieren grandes cantidades de jabón para formar espuma. Las causas de la dureza en el agua, son los cationes bivalentes como el calcio, magnesio, estroncio, fierro y manganeso y algunos trivalentes. La dureza del agua se debe a la naturaleza de las formaciones geológicas con las que ha tenido contacto (Sawyer, 1994).

Entre las estaciones I y II no se observa una diferencia tan marcada que como la que existe entre estas dos estaciones y la III; la cual se ve aún más incrementada en la época de secas, alcanzando concentraciones de dureza de hasta 3850 mg/L originados posiblemente por el desgaste de las formaciones geológicas y las descargas que vierten las graveras al Río San Juan, afluente del Río Papaloapan.

De acuerdo a la clasificación del agua por su dureza de Sawyer y McCarty (1967, en Lind, 1974) y considerando los valores promedio, las estaciones I y II caen dentro del rango de moderadamente duras (75 a 150 mg/L) y la estación III dentro de aguas muy duras (<300 mg/L).

El nitrógeno es un constituyente fundamental de las proteínas de todos los organismos vivos, cuando la materia orgánica se descompone principalmente por la acción de las bacterias las proteínas se transforman en aminoácidos, nitritos y finalmente nitratos. Las concentraciones generalmente son bajas, ya que una parte de los nitratos son diluidos por el agua, pero la mayoría son consumidos por las plantas.

La mayor concentración de nitratos se registró en el año de 1987 para las 3 estaciones en la temporada de secas alcanzando valores de hasta 2.01 mg/L posiblemente debido a la abundancia de abonos nitrogenados y a los desechos orgánicos. Además la concentración de nitrógeno va en función de régimen de lluvias, ya que los nutrimentos son bajos durante el verano que corresponde a los meses de julio y agosto (lluvias), aún cuando se agreguen fertilizantes, ya que las plantas cuando están creciendo, consumen el nitrógeno tan rápidamente como pueden disponer de él. Así mismo en verano disminuye mucho el movimiento neto del agua corriente abajo, a causa de la evaporación y transpiración (Mason, 1984). Estos dos fenómenos pierden intensidad en invierno: (que corresponde a los meses de enero y febrero) se extrae por lixiviación el nitrógeno del suelo y aumentan los niveles del mismo. La velocidad de eliminación vuelve a disminuir al final del invierno pues disminuyen las reservas de nitrato soluble y las bajas temperaturas reducen el grado de nitrificación.

La presencia de los nitritos indica que algún material orgánico nitrogenado proviene de aguas negras o desechos animales, y está sujeto a una nitrificación activa ya que el proceso aún no ha concluido posiblemente debido a que a lo largo del río se descargan aguas negras sin ningún tratamiento.

La concentración de nitritos se ve incrementada en la última estación (III) por la entrada de aguas residuales municipales e industriales. Sin embargo, en las estaciones I y II, no existe el ingreso de tanta materia orgánica, que se refleja en la similitud de las concentraciones de nitratos en promedio 0.4000 y 0.4200 mg/L y en las de nitritos 0.03 y 0.09 mg/L, respectivamente.

En las proximidades de los centros de población la aceleración de la eutroficación del río se debe al vertimiento de residuos municipales e industriales que llevan al agua receptora compuestos orgánicos complejos que, mientras son objeto de oxidación bioquímica, contribuyen a la formación de cantidades relativamente elevadas de nitratos y fosfatos como productos finales. En el caso del fósforo, este aporte es aumentado en grado relativo por el empleo creciente de detergentes sintéticos que contienen dicho elemento (Branco, 1984). Como es el caso de la estación III donde se concentran el mayor número de poblaciones e industrias.

El manejo y aplicación de fertilizantes con fosfatos, además del uso tan excedido de los detergentes con fosfato, contribuyen a un aumento sustancial del fósforo soluble tanto orgánico como inorgánico.

Para los ortofosfatos no existe Criterios Ecológicos que determinen sus límites permisibles, reportándose en la estación I una máxima concentración de 0.5200 mg/L.

Para el fósforo soluble el máximo valor reportado se localiza en la estación III en la época de lluvias con un valor de 0.5800 mg/L.

Las concentraciones de cloruros en general son bajas, no sobrepasan el límite permisible para fuente de abastecimiento de agua potable y riego agrícola, excepto la estación III que los excede en general todos los años en la época de secas. Este aumento de la concentración de cloruros es debido posiblemente a la intrusión de agua marina a esta corriente, ya que la estación de monitoreo se encuentra a aproximadamente 2 Km de la desembocadura al mar. En concentraciones razonables, los cloruros no son dañinos para la salud, pero en concentraciones superiores a 250

mg/L proporcionan sabor salino al agua. Además de interferir en la solubilidad del oxígeno en el agua, lo cual disminuye su porcentaje de saturación.

En los diferentes tipos de agua, pueden encontrarse diversas bacterias, de las cuales algunas son nativas y por lo tanto pueden ser benéficas, ya que de éstas depende en gran medida el proceso de autopurificación de los cuerpos de agua y, otras que tienen su origen en las excretas de humanos y animales de sangre caliente y que deben de mantenerse abajo de los límites permisibles, ya que al aumentar las concentraciones de estas bacterias la probabilidad de encontrar bacterias patógenas como *Salmonella* y *Shigella* también se incrementa.

Hasta el momento, los análisis de calidad del agua sólo comprenden parámetros tradicionales tales como: pH, temperatura, oxígeno disuelto; etc. mismos que sirven para establecer los usos que puedan tener las aguas. El indicador de mayor confianza en la interpretación de la desinfección del agua es el biológico.

Se considera que los indicadores biológicos de contaminación son organismos de un grupo específico, el cual por su sola presencia demuestra que ha ocurrido contaminación y muchas veces sugiere la fuente de contaminación (contaminación por aguas residuales domésticas e industriales y aguas residuales agrícola-ganaderas).

La cantidad y variedad de bacterias patógenas y potencialmente patógenas, difiere de acuerdo al área geográfica, estado de salud de la comunidad, naturaleza y grado de tratamiento de los desechos, capacidad de autopurificación de los cuerpos de agua y características físicas y químicas del agua.

Tradicionalmente, los coliformes totales y fecales son los grupos de bacterias indicadoras que se consideran en los estudios y trabajos de evaluación de calidad del agua. El grupo coliforme incluye a todas las bacterias aeróbicas y anaeróbicas facultativas, gram negativas, no esporuladas de forma de bacilo. Desde el punto de vista salud, el grupo de coliformes fecales es más importante que las coliformes totales, dado que se relaciona más con la probabilidad de encontrar patógenos excretados además de indicar que la contaminación es de tipo reciente (S.R.H., 1979).

Los valores registrados varían entre estaciones de monitoreo y no presentan diferencia ni en la época de estiaje y ni en la de lluvias, ni a través del espacio; las concentraciones, en su mayoría sobrepasan el límite máximo permitido par fuente de abastecimiento y riego agrícola, lo cual significa que durante todo el año se vierten aguas residuales sin tratamiento. Las concentraciones de las bacterias coliformes es inferior a las 500,000 NMP/100mL; dichas concentraciones muestran que existe contaminación de tipo fecal por la sola presencia de estos organismos. En la estación II del Río Papaloapan, se presenta la mayor concentración de estos grupos coliformes.

Sin embargo, las concentraciones de los coliformes en la cuenca del Pánuco se duplican.

Indice de calidad del agua (ICA)

De acuerdo a los resultados obtenidos del Indice de Calidad del Agua, el cual fluctúa dentro de un rango de 60 a 70, en las tres estaciones de monitoreo; el posible uso que se le puede dar al agua del Río Papaloapan es:

PARA ABASTECIMIENTO PUBLICO:	El agua requerirá Mayor necesidad de tratamiento
PARA RECREACION:	Es aceptable pero no recomendable
PARA PESCA Y VIDA ACUATICA:	No es adecuada para especies muy sensibles
PARA USO INDUSTRIAL Y AGRICOLA:	Sin tratamiento para industria normal
PARA NAVEGACION:	Es aceptable
PARA TRANSPORTE DE DESECHOS:	Es aceptable

En la figura 4, se muestran los índices de calidad promedio de cada una de las estaciones, además del valor máximo y mínimo reportado, en donde se puede observar la desviación de los datos, que es mucho mayor en la estación I (Puente Caracol), que en la estación II y III (Cd. Alemán y Buenavista, respectivamente) ya que en la primera estación es donde se reportan los datos con mayor sesgo.

Para darle una clasificación a los índices de calidad se adoptó la propuesta del INEGI establecida en 1987 en la cual se propone la siguiente escala:

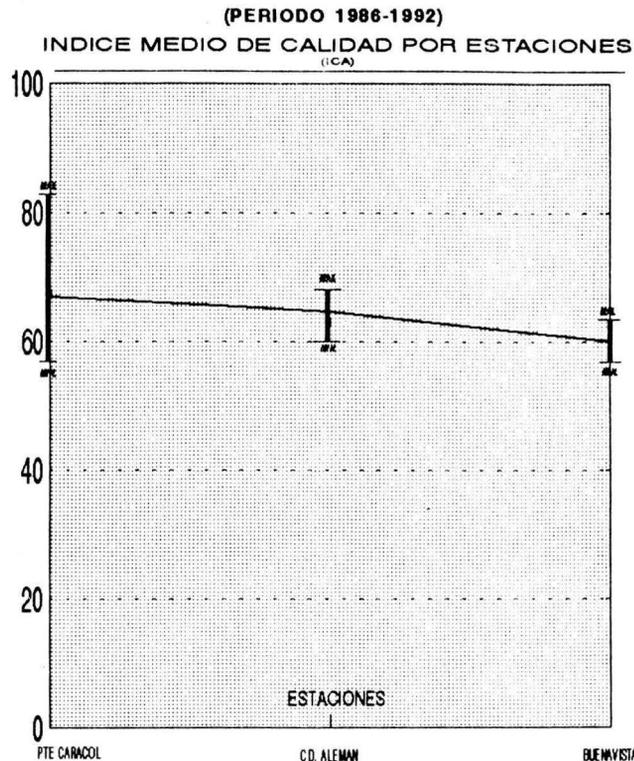
0-30	Altamente contaminada
30-50	Contaminada
50-70	Poco contaminada
70-85	Aceptable
85-100	Excelente

Como se ha determinado que los ICA's de las 3 estaciones de monitoreo se encuentran dentro de un rango de 60 a 70 el agua del Río Papaloapan en el extremo analizado se puede considerar **"POCO CONTAMINADA"**.

Figura 4 INDICE DE CALIDAD DEL AGUA A LO LARGO DEL RIO PAPALOAPAN, VERACRUZ

ESCALA DE CALIFICACION GENERAL DE LA CALIDAD DEL AGUA

ICA	ABASTECIMIENTO PUBLICO	RECREACION	PESCA Y VIDA ACUATICA	INDUSTRIAL Y AGRICOLA	NAVEGACION	TRANSP. DE SH. TRATADOS
100	NO REQUIERE PURIFICACION			NO REQUIERE PURIFICACION		
90	LIQUERA PURIFICACION	ACEPTABLE PARA CUALQUIER DEPORTE ACUATICO	ACEPTABLE PARA TODOS LOS ORGANISMOS	LIQUERA PURIFICACION PARA ALGUNOS PROCESOS	ACEPTABLE	ACEPTABLE
80	NECESIDAD DE TRATAMIENTO			EXCEPTO ESPECIES SENSIBLES		
70		DUDDOSO	DUDDOSO CONTACTO CON AGUA	SOLO ORGANISMOS MUY RESISTENTES		
60		ACEPTABLE NO RECOMENDABLE	DUDDOSO ESPECIES SENSIBLES			
50						
40	NO ACEPTABLE	SIN CONTACTO CON AGUA		USO MUY RESTRINGIDO	CONTAMINADO	
30		SEÑAL DE CONTAMINACION				
20			NO ACEPTABLE	NO ACEPTABLE	NO ACEPTABLE	
10		NO ACEPTABLE				NO ACEPTABLE
0						



— ICA

CONCLUSIONES

- Gracias a la envergadura que hasta ahora presenta el río, tanto de longitud como de anchura y que en cada temporada de lluvias los desbordamientos son casi frecuentes, su deterioro no es tan rápido como podría esperarse; sin embargo, dado el aumento poblacional e industrial no se puede extrapolar el mismo comportamiento para los años venideros.

- En la temporada de secas se incrementaron de manera general, las concentraciones de cada parámetro debido a la evaporación y la infiltración del agua a lo largo del Río Papaloapan. Existiendo diferencias significativas entre la época de lluvias y secas, en la turbiedad, para la estación I; y para la estación III, la turbiedad, los cloruros, los coliformes totales y los sólidos totales, fijos y volátiles y para la estación II los sólidos disueltos volátiles.

- Las concentraciones más altas, en general, se reportaron en la estación III (Buena Vista), debido a que alrededor de ésta se localiza el mayor número de asentamientos urbanos e industriales, aunado a las establecidas corriente arriba; lo cual ha ocasionado altas concentraciones de los parámetros anteriormente citados y a su acumulación por arrastre en esta zona.

- Los parámetros que rebasaron los criterios ecológicos para abastecimiento de agua potable en las estaciones I y II fueron las grasas y aceites y los coliformes totales y fecales y en la estación III, las grasas y aceites, la dureza, los nitritos y los coliformes totales y fecales. Y para riego agrícola los parámetros fueron los cloruros, los sólidos suspendidos y los coliformes totales y fecales en la estación III.

- La industria azucarera contribuye con más del 60% de la descarga anual al río, en cuanto a materia orgánica se refiere.

- La relación obtenida de 1:12 de DBO₅:DQO, en las estaciones II y III establece el incremento de la presencia de compuestos orgánicos no biodegradables.

- Lo anterior establece, que la calidad del agua del Río Papaloapan se deteriora al acercarse a su desembocadura con la Laguna de Alvarado.
- Se puede observar que la distribución de los asentamientos humanos y las industrias ejercen una gran influencia en los resultados de calidad del agua.
- De acuerdo al ICA, según INEGI, 1987; se puede considerar que la calidad del agua del Río Papaloapan se considera como poco contaminada.
- La mejor y más viable alternativa para mitigar los efectos ocasionados por la actividad industrial de esta zona, es el hacer cumplir las leyes, exigiendo que cada industria y municipio descargue su agua residual con la misma calidad con que fue tomada garantizando así la autodepuración del río.
- Monitorear y supervizar las zonas de descarga de las aguas residuales, ampliar y sobre todo organizar el tratamiento de las aguas de origen municipal.

RECOMENDACIONES

Según se aprecia en la Ley de Aguas Nacionales y la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, la mejor y más viable alternativa para mitigar los efectos ocasionados por las descargas de aguas residuales producto de la actividad industrial y municipal de esta zona es hacer cumplir dichas leyes, exigiendo que cada industria y municipio descargue su agua residual a este cuerpo receptor (Río Papaloapan) con una calidad similar a la que fue tomada, y asegurando que el cuerpo de agua cumpla con los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua. Lo cual garantizará la autodepuración de dicho río. Cabe señalar que de no cumplir con tales consideraciones se puede acelerar la eutroficación de dicho recurso, ocasionando un daño irreversible al ambiente y a nosotros mismos.

Es necesario pactar un programa que reforme las acciones para la prevención y control de la contaminación del agua para el mejoramiento de los recursos hidráulicos (es especial Río Papaloapan), que atienda puntos críticos en donde el saneamiento es impostergable, además es conveniente contar con herramientas analíticas para orientar la toma de decisiones sobre la ubicación de plantas de tratamiento y por supuesto el tipo de tratamiento.

Restringir la deforestación, el desmonte y la impermeabilización del suelo. Si se mantiene una proporción determinada de "zonas verdes" en la cuenca, con miras a limitar en cada propiedad la zona pavimentada y a estimular la preservación o la formación de cubiertas vegetales, se reduce la erosión, el traslado de materiales de superficie, así como la inundación que resulta del rápido escurrimiento superficial.

Mantener una faja de protección sanitaria alrededor de la orilla del río. **No debe** permitirse a los propietarios de terrenos a las orillas de este edifiquen o realicen cualquier actividad nociva hasta cierta distancia del agua a ser establecida en cada caso. Esta cubierta vegetal servirá para mantener una buena cubierta con el objeto de no sólo aislar la masa de agua de los trabajos realizados en el suelo, además ofrece la oportunidad de retener nutrientes, partículas del suelo y agua transportada por escurrimiento superficial.

Restringir el establecimiento de industrias en la cuenca. Dependiendo de los usos previstos para las aguas, así como de otras características de la masa de agua, tales como la capacidad de dilución y de autodepuración, es preciso limitar el desarrollo industrial en la cuenca hidrográfica, como así mismo prohibir la instalación de industrias particularmente nocivas. Estas últimas comprenden aquéllas que dejan residuos que no pueden ser eliminados por tratamiento o por autodepuración.

Exigir el tratamiento o la disposición adecuada de las aguas residuales. Esta exigencia no es de carácter absoluto, pero debe ser cumplida en función de la naturaleza y cantidad de los residuos, usos previstos de la masa de agua receptora y su capacidad para diluir y asimilar impurezas, ya que los métodos para el tratamiento de aguas residuales, se desarrollan persiguiendo dos fines primordiales: la remoción de sólidos, y la estabilización biológica de la materia orgánica tomándose como modelo el proceso que la propia naturaleza lleva a cabo, con el empleo de dispositivos ideados por el hombre, entre los que se encuentra el tratamiento preliminar, el tratamiento primario, el tratamiento secundario y el tratamiento terciario o avanzado. Sin perder el enfoque de que actualmente las concentraciones de compuestos orgánicos no biodegradables se han incrementado en el cauce del río.

LITERATURA CONSULTADA

- ◇ APHA-AWWA-WPCF; 1989. "Standard Methods for de Examination of Mater and Wastewater". Edited by Lenore S. Clesceri, Arnold E. Greenberg, and Trussell Rhodes R. 17th Edition. USA.
- ◇ ----, 1975. "Atlas Climático e Hidrológico de la Cuenca del Papaloapan". Ingeniería y Procesamiento Electrónico. S. A.
- ◇ Branco, M. S., 1984. "Limnología Sanitaria: Estudio de la Polución de Aguas Continentales". Sría. General de Organización de los Estados Americanos. U.S.A 111p.
- ◇ Camargo, H. J. E., 1980. "Erosión y Sedimentación en Obras Hidráulicas. Pérdida de Suelos en Cuencas". Tesis Facultad de Ingeniería. U.N.A.M. pp 23-24.
- ◇ Cano, O. M; 1953. "Trabajos Topográficos Ejecutados con el Objeto de Rectificar el Cauce del Río Papaloapan; levantamiento de la Ciudad de Cosamaloapan, para el Proyecto de Saneamiento y Agua Potable". Tesis de Ingeniería. UNAM. 1 v# (pag.
- ◇ Chargoy y Ortega, E.N., 1965. "Trabajos Topográficos y Estudios Hidrológicos Realizados Previamente para la Construcción de la Presa "Pte Aleman" sobre el Río Tonto Afluente del Río Papaloapan, Ver". Tesis Facultad de Ingeniería U.N.A.M. pp 4-7, 100-101.
- ◇ COMISION NACIONAL DEL AGUA. 1992. "Programa para la Prevención y Control de la Contaminación del Agua en México". 41p.
- ◇ COMISION NACIONAL DEL AGUA. 1994. "Reporte de la Calidad del Agua en

la Cuenca del Río Pánuco". Ingeniería de Calidad del Agua.

- ◇ DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION., 1989. "Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua". Publicado el 13 de diciembre de 1989. México, D. F.
- ◇ Enciclopedia de México.1978. Vol. XIV. 4ta.Edición. "Enciclopedia de México". S.A. México.
- ◇ Espinosa, A. R.; 1969. "Estudio, Proyecto y Construcciones Especiales en el Puente Alvarado sobre el Río Papaloapan. Camino Circuito del Golfo". Tesis Facultad de Ingeniería. UNAM. 36p.
- ◇ Fernández Editores., 1988. "Diccionario Veracruz Ilustrado". Vigésima cuarta publicación.
- ◇ Fernández, E. A.; 1968. "Un Modelo para la Generación de Registros Hidroeléctricos para la Cuenca del Río Papaloapan". Tesis Facultad de Ingeniería. UNAM. 58p.
- ◇ Gómez, R. P., 1981. "La Agricultura en la Cuenca del Papaloapan en 1970, Interrelación de Fenómeno". Tesis Facultad de Filosofía y Letras. U.N.A.M. 53p.
- ◇ González, H. G. B.; 1982. "Estudio de Identificación de aprovechamientos Hidroeléctricos en la Cuenca del Río Papaloapan". Tesis Facultad de Ingeniería. UNAM. 202p.
- ◇ INEGI, 1990. "XI Censo General de Población y Vivienda, Perfil Sociodemográfico". México. 285p.
- ◇ INEGI, 1992. "Anuario Estadístico del Estado de Veracruz". 223p.
- ◇ Jácome, R.A., 1979. "Problemas de Inundación entre los Ríos Obispo-Papaloapan". Tesis. Facultad de Filosofía y Letras. U.N.A.M. pp 10-13,22,29.

- ◇ Lara, G. A.; 1959. "Acondicionamiento Químico del Agua del Río Papaloapan para el Pueblo de Carlos A. Carrillo, Ver". Tesis Facultad de Química. UNAM. 73p.
- ◇ Lind, D. T., 1974. "Handbook of Common Methods in Limnology". The C. V. Mosby Company, USA. 154p.
- ◇ Mason, C. F., 1984. "Biología de la Contaminación del Agua". 1a Edición. Editorial Alhambra. 289p.
- ◇ Montiel, H. R.; 1975. "Estudio de la Estabilidad del Río Papaloapan". Tesis Facultad de Ingeniería. 240p.
- ◇ Ortiz, O. T., 1994. "Variabilidad de la Calidad del Agua del Río Blanco, Veracruz". ENEP-ZARAGOZA. UNAM. (En elaboración).
- ◇ Ríos, C. A., 1991. "Regionalización de las Características Hidroeléctricas de la Cuenca del Río Papaloapan". Tesis Facultad de Ingeniería. UNAM. 1 v#(pag.
- ◇ Ríos, L. A., 1954. "Control de Avenidas del Río Papaloapan". Tesis Facultad de Ingeniería. UNAM. 98p.
- ◇ Riquelme, T. E., 1979. "Modelo Matemático en el Control de la Calidad del Agua en Ríos." Aplicación al Río Zahuapan. Tesis en Ing. Civil. Universidad Iberoamericana. 66p.
- ◇ Saavedra, V. F., 1994. "Análisis de la Variabilidad de la Calidad del Agua en el Sistema Hidrológico Lerma-Chapala-Santiago, durante los años 1987-1992". Tesis UAM-Iztapalapa. 36p.
- ◇ Sánchez, M., 1971. "Geografía de México". Editorial Trillas. México. pp. 77-97.
- ◇ S. A. H. O. P., 1988. "Ecoplán del Estado de Veracruz". Desarrollo Urbano. p. 2-36.

- ◇ S. A. R. H., 1978. "Boletín Hidrológico. Comisión del Papaloapan". pp 8-15.
- ◇ S. A. R. H., 1979. "Índice de Calidad del Agua". Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica. 40 p.
- ◇ S.A.R.H., CNA, IMTA, 1991. "Programa Agua Limpia. Determinación de Coliformes Fecales". No 7. México, D. F. 26p.
- ◇ Sawyer, C.N; McCarty, P.L.; and Parking, G.F. 1994. "Chemistry for Environmental Engineering". Fourth Edition.
- ◇ S.R.H., 1976. "Atlas del Agua de la República Mexicana".
- ◇ S.R.H., 1979. "Introducción a la Ingeniería Sanitaria". 2a. Edición. Dirección General de Planeación y Ordenación Ecológica. 223p.
- ◇ S.R.H., 1976. "Uso del Agua y Manejo del Agua Residual en la Industria", Tomo 8 Azúcar y 10 Industria Alimentaria. Dirección General del Uso del Agua y Prevención a la Contaminación. 28p c/u.
- ◇ S.R.H., 1982. "Manual de Limnología". Dirección General del Uso del Agua y Prevención a la Contaminación. 1a Edición. 285p.
- ◇ Tamayo, J. C., 1962. "Geografía General de México". Geografía Física Tomo II. Instituto Mexicano de Investigaciones Económicas. 2a. Edición. pp. 313-325.
- ◇ Tamayo, J. L. y Beltrán, E., 1977. "Recursos Naturales de la Cuenca del Papaloapan". S.A.R.H. Comisión del Papaloapan. pp 67-80,97-109 y 875-879.
- ◇ Wetzel, R. G. 1981. "Limnología". Ediciones Omega. S. A. pp 597.
- ◇ Zavala, B. J. J., 1976. "Estudio Hidrológico para el Proyecto del Cauce de Alivio de la Márgen Derecha del Río Papaloapan, Ver". Tesis Facultad de Ingeniería. UNAM. 95p.

APENDICE

Resultados estadísticos para el análisis de ANOVA

TABLA I Resultados del análisis estadístico entre años y entre estaciones

(F calculada)

Parámetro	AÑO	ESTACIONES
temperatura	13.94	1.56
pH	0.995	1.024
cond. eléctrica	1.037	5.895
O D	4.21	3.082
Grasas y aceites	3.94	0.309
turbiedad	3.996	7.328
dureza total	1.021	1.885
cloruros	3.258	17.045
DDO ₅	0.56	1.0037
DQO	1.21	3.71
SAAM	4.095	0.622
fosfatos	1.956	2.144
nitratos	21.843	1.445
nitritos	2.3176	2.302
sólidos totales	1.836	13.234
S Susp. totales	1.2198	2.4342
S Dis. totales	1.054	1.411
F de tablas con $\alpha=0.05$	3.0	4.82

Para los ortofosfatos y los sólidos sedimentables no existen datos suficientes para el análisis de ANOVA

TABLA II Resultados del análisis estadístico entre lluvias y secas.

Parámetro	ESTACION I	ESTACION II	ESTACION III
temperatura	3.34	0.62	0.35
pH	0.81	0.11	0.66
cond. eléctrica	2.02	0.80	2.20
O D	2.38	1.73	0.09
Grasas y aceites	0.68	0.92	1.43
turbiedad	8.67	3.19	6.36
dureza total	1.44	1.71	2.71
cloruros	2.68	1.56	6.08
DDO ₅	1.15	0.49	0.84
DQO	1.66	0.06	4.40
colif. totales	1.38	3.20	4.86
colif. fecales	4.37	3.18	0.74
SAAM	0.10	0.73	3.62
fosfatos	0.23	0.00	0.18
nitratos	0.42	0.14	0.00
nitritos	0.31	1.12	0.20
sólidos totales	0.17	1.14	12.10
ST volátiles	1.52	2.18	6.47
ST fijos	0.08	0.83	11.89
S Susp. totales	2.24	0.64	0.21
SS volátiles	2.02	0.55	0.29
SS fijos	0.93	0.18	0.18

TABLA II Resultados del análisis estadístico entre lluvias y secas (continua).

S Dis. totales	1.17	3.62	1.93
S D volátiles	1.17	4.70	1.38
SD fijos	2.71	0.39	1.86
F de tablas con $\alpha=0.05$	4.67		

Para los ortofosfatos y los sólidos sedimentables no existen datos suficientes para el análisis de ANOVA

ANALISIS DE VARIANZA

Como se observa en la tabla I, los parámetros en los que se encontró una diferencia significativa entre años fueron la temperatura, el oxígeno disuelto, las grasas y aceites, la turbiedad, los cloruros, SAAM y los nitratos y entre estaciones la conductividad, los cloruros y la turbiedad además de los sólidos totales.

Para los coliformes totales y fecales la suma de cuadrados del error manifesto valores muy altos por lo que su resultado no se hizo confiable y se omitió.

El parámetro de la estación I que presentó una variabilidad entre la época de lluvias y secas (tabla II) es la turbiedad, para la estación II los sólidos disueltos volátiles y para la III la turbiedad, los cloruros, las coliformes totales y los sólidos totales, tanto fijos como volátiles. Lo que indica que la estación del año influye en la variación dichos parámetros.