



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS VERACRUZ

POSTGRADO EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES

**VALORACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS INFLUENTES Y EFLUENTES DE LAS
GRANJAS ACUÍCOLAS DE LA CUENCA BAJA DEL RÍO JAMAPA, VERACRUZ**

JOSÉ MARTÍN PALOMAREZ GARCÍA

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS

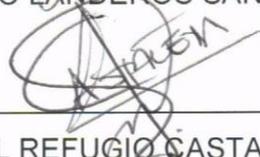
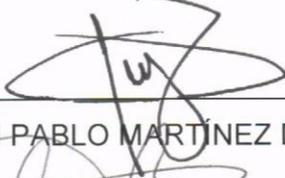
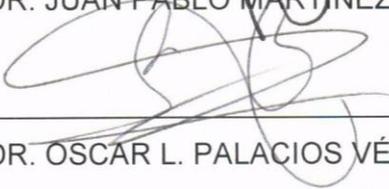
TEPETATES, MANLIO FABIO ALTAMIRANO, VERACRUZ.

2010

La presente tesis titulada: **Valoración de la calidad de los influentes y efluentes de las granjas acuícolas de la cuenca baja del río Jamapa, Veracruz**, realizada por el alumno: **José Martín Palomarez García**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS
AGROECOSISTEMAS TROPICALES

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:	
	DR. CESÁREO LANDEROS SÁNCHEZ
ASESOR:	
	DRA. Ma. DEL REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ
ASESOR:	
	DR. JUAN PABLO MARTÍNEZ DÁVILA
ASESOR:	
	DR. OSCAR L. PALACIOS VÉLEZ
ASESOR:	
	DR. JUAN L. RETA MENDIOLA

Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, 10 de noviembre de 2010

VALORACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS INFLUENTES Y EFLUENTES DE LAS GRANJAS ACUÍCOLAS DE LA CUENCA BAJA DEL RÍO JAMAPA, VERACRUZ

José Martín Palomarez García, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2010

La calidad del agua del cauce de la cuenca baja del río Jamapa se ha visto impactada, principalmente, por descargas de origen urbano, así como por actividades productivas aledañas, como la agricultura y la acuicultura. Los objetivos de este estudio fueron determinar la calidad del agua del cauce de la cuenca baja del río Jamapa en sitios donde se reciben efluentes, comparar la calidad de influentes y efluentes de las granjas acuícolas, así como conocer la actitud de los pobladores aledaños al cauce, sobre la preservación del recurso hídrico. Los parámetros de calidad del agua fueron los establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996, y los análisis de las muestras se realizaron de acuerdo a los métodos propuestos en las normas correspondientes. La actitud de las personas fue medida a través de la técnica de Likert. Los resultados de calidad del agua mostraron que las concentraciones de la mayoría de los contaminantes se encuentran dentro de la normatividad, a excepción de los Coliformes Totales y Cadmio, los cuales resultaron por encima de la norma. Los sitios que presentaron las concentraciones más altas de contaminantes fueron Arroyo Moreno y Bocana. Por otra parte, al comparar la calidad de los influentes y efluentes de las granjas acuícolas, se encontró que las concentraciones de contaminantes, principalmente de sólidos y metales pesados, fueron más bajas en los primeros que en los últimos. En relación con la actitud de los encuestados, se encontró, de acuerdo a los resultados de la aplicación de la técnica de Likert, que éstos mostraron, en general, una actitud negativa (2.08) hacia la preservación de la calidad del agua del río. Además, se pudo observar que los encuestados perciben que la principal fuente de contaminación son los drenajes municipales. Se encontró también que la actitud de los encuestados estuvo influenciada por la edad y la escolaridad.

Palabras clave: río Jamapa, calidad del agua, granjas acuícolas, actitud.

INFLUENT AND EFFLUENT QUALITY ASSESSMENT OF AQUACULTURAL FARMS LOCATED IN THE LOWER BASIN OF JAMAPA RIVER, VERACRUZ

José Martín Palomarez García, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2010

The water quality of Jamapa river in its lower basin has been impacted mainly by discharges from urban wastewater, as well as by the surrounding productive activities such as agriculture and aquaculture. The objectives of this study were to determine the water quality of Jamapa river in sites where effluents were being discharged into it, compare the influent and effluent quality of aquacultural farms, and to know the attitude of people living along the riversides concerning the preservation of water resources. The water quality parameters were those included in the NOM-001-SEMARNAT-1996, and the sample analyses were carried out according to the corresponding regulations. People's attitude was measured by using the Likert technique. The water quality results showed that the concentrations of the majority of pollutants were within the limits established by the regulations except for Total Coliforms and Cadmium, which were above the regulations limits. The highest concentrations of contaminants were observed at the sites of Arroyo Moreno and Bocana. On the other hand, when comparing the quality of influents and effluents from the aquacultural farms, it was found that pollutants concentrations of the former, mainly heavy metals and solids, were lower than those of the latter. Regarding the attitude of the surveyed people, it was found, from the results of Likert technique application, that people showed a negative attitude towards the preservation of river water quality (2.08). Furthermore, it was also found that surveyed people perceived that the main source of pollution is the municipal sewage. People's attitude was influenced by age and schooling.

Key words: Jamapa river, water quality, fish farms, attitude.

Dedico esta tesis a mi adorable hija Abril Almar

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados, en particular al Campus Veracruz, por la formación otorgada durante mis estudios de postgrado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento de mis estudios de doctorado.

Agradezco muy sinceramente al Dr. Cesáreo Landeros Sánchez, Consejero Particular, por la enseñanza, dedicación, gran esfuerzo, aliento y apoyo brindado durante mis estudios, así como por la dirección de la tesis. De igual forma, agradezco a la Dra. María del Refugio Castañeda Chávez, por las asesorías de la tesis, por su gran apoyo durante mis estudios, y por las facilidades en el uso de las instalaciones y equipos de laboratorio del Instituto Tecnológico de Boca del Río.

A mis asesores, Dr. Juan Pablo Martínez Dávila, Dr. Juan L. Reta Mendiola y Dr. Oscar L. Palacios Vélez, por las sugerencias y aportes durante la realización del proyecto de tesis. A todos los profesores del Campus Veracruz, por su tiempo, experiencia obtenida de ellos, y por su apoyo durante mi estancia en el Campus Veracruz.

Agradezco a las grandes amistades, Ángeles, Faby, Rosario, Lupita Arcos, Laura, y a todas aquellas personas del área administrativa, por su paciencia y ayuda. Agradezco a Juan Manuel, Andrés y Norma Reyes por su apoyo. A mis buenos amigos, Luis Carlos, Marilú, Yalid, Irma Julieta y Capetillo, y a todos mis compañeros de cursos. Una amistad sincera es para toda la vida.

A Gabriela Adaia López González y Yanet Martínez Torres, por su participación en el proyecto, y su gran apoyo en los análisis de laboratorio.

Agradezco al Instituto Nacional de Pesca, particularmente al Ing. Alejandro González Cruz, al Dr. Marco Linné Unzueta Bustamante y a la M.C. Magda Estela, por su apoyo brindado en las facilidades de tiempo en la etapa final de mis estudios.

A todas aquellas personas con quien tuve la oportunidad de conversar y hacer amistad durante mi estancia en el Campus.

CONTENIDO

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. PROBLEMÁTICA DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO JAMAPA	4
2.1. Ambiental.....	5
2.2. Técnica.....	8
2.3. Económica.....	9
2.4. Político-legal.....	10
2.5. Social.....	11
3. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	13
3.1. Modelo de estudio: agroecosistema granja acuícola.....	13
3.2. Calidad del agua.....	16
3.3. Contaminación del agua.....	16
3.3.1. Eutroficación.....	19
3.4. Contaminación del agua en México.....	19
3.4.1. Contaminación del agua Veracruz.....	23
3.4.2. Contaminación del agua del río Jamapa.....	25
3.5. Regulación de la calidad del agua.....	26
3.6. Estado actual de la acuicultura.....	29
3.7. Actitud sobre la preservación de la calidad del agua del río Jamapa.....	32
3.7.1. Escala tipo Likert.....	34
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	35
5. HIPÓTESIS	36
5.1. General.....	36
5.2. Particulares.....	36
6. OBJETIVOS	36
6.1. General.....	36
6.2. Particulares.....	37
7. MARCO DE REFERENCIA	37
7.1. Estado de Veracruz.....	37
7.2. Regiones fisiográficas.....	38
7.3. Recursos hídricos.....	39
7.4. Clima.....	40
7.5. Población y educación.....	41

7.6. Economía.....	42
8. MATERIALES Y METODOS.....	43
8.1. Fase 1. Diagnóstico de las fuentes puntuales de contaminación en el cauce de la cuenca baja del río Jamapa.....	44
8.2. Fase 2. Determinación de los contaminantes del agua en los efluentes del río Jamapa.....	45
8.3. Fase 3. Evaluación de la calidad del agua de influentes y efluentes de las granjas acuícolas de tilapia	46
8.4. Fase 4. Actitud de los pobladores aledaños a la zona de estudio sobre la preservación de la calidad del agua del río Jamapa.....	46
8.5. Análisis estadístico.....	48
9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	48
9.1. Fuentes puntuales de contaminación en el cauce de la cuenca baja del río Jamapa.....	48
9.2. Contaminantes del agua en los efluentes del río.....	49
9.3. Relación entre influentes y efluentes de las granjas acuícolas.....	59
9.4. Actitud de los pobladores aledaños a la zona de estudio sobre la preservación de la calidad del agua.....	62
9.4.1. Información demográfica de los participantes.....	62
9.4.2. Actitud relacionada con la calidad del agua.....	65
10. CONCLUSIONES.....	75
11. RECOMENDACIONES.....	77
12. LITERATURA CITADA.....	79
13. ANEXOS.....	88

LISTA DE CUADROS

		Página
Cuadro 1.	Descargas de origen municipal y no municipal a nivel nacional (km ³ año ⁻¹ ; mil millones de m ³ año ⁻¹).....	20
Cuadro 2.	Estados que emitieron más contaminantes al agua en el 2007 (t).....	22
Cuadro 3.	Sustancias más contaminantes del agua en el 2007 (t).....	22
Cuadro 4.	Contaminantes del río Jamapa, de acuerdo a los principales parámetros de calidad del agua, del 2000 al 2004.....	26
Cuadro 5.	Límites máximos permisibles para contaminantes básicos.....	28
Cuadro 6.	Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros.....	28
Cuadro 7.	Volumen de producción de acuacultura en peso vivo, por modalidad de cultivo, según principales especies.....	30
Cuadro 8.	Participación de la acuacultura en el volumen de la producción pesquera nacional, peso vivo según litoral y volumen.....	31
Cuadro 9.	Proceso de operacionalización de las hipótesis de investigación.....	44
Cuadro 10.	Métodos de prueba de los parámetros de calidad del agua.....	45
Cuadro 11.	Categorías de la escala de actitud.....	47
Cuadro 12.	Concentración media y rango de los parámetros de calidad del agua de cada una de los sitios y épocas de muestreo.....	51
Cuadro 13.	Comparación de los parámetros de calidad del agua de los sitios de muestreo del río (niveles máximos encontrados), con los establecidos en la norma mexicana.....	52
Cuadro 14.	Correlaciones multivariadas de los parámetros de calidad del agua para el componente 1, de acuerdo a las épocas de muestreo.....	56
Cuadro 15.	Valores medios del Índice de contaminación por sitio y época de muestreo.....	58
Cuadro 16.	Matriz de clasificación de casos, por sitios y época de muestreo, para cada grupo.....	59
Cuadro 17.	Prueba t para “Antes” y “Después” de las variables de calidad del agua, según granjas acuícolas y épocas de muestreo (muestras independientes).....	61
Cuadro 18.	Número de personas encuestada por sexo, según municipios.....	62
Cuadro 19.	Valores del Índice de actitud Likert.....	66
Cuadro 20.	Porcentajes de la escala de actitud para cada enunciado.....	67
Cuadro 21.	Correlación entre las variables Edad, Años de estudio, Tiempo de residencia en la zona e Índice Likert, por municipio.....	73
Cuadro 22.	Correlación entre las variables Edad, Años de estudio, Tiempo de residencia en la zona e Índice Likert, por municipio, según hombres..	74
Cuadro 23.	Correlación entre las variables Edad, Años de estudio, Tiempo de residencia en la zona e Índice Likert, por municipio, según mujeres...	74

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Municipios aledaños al cauce de la cuenca baja del río Jamapa.....	3
Figura 2. Problemática de la contaminación del agua del río Jamapa.....	4
Figura 3. Carga de Nitrógeno y Fósforo derivados de diferentes fuentes (Tomado de Páez Osuna <i>et al.</i> , 1998).....	7
Figura 4. Modelo de un agroecosistema granja acuícola.....	15
Figura 5. Diagrama de flujo general de producción de tilapia.....	32
Figura 6. Estado de Veracruz.....	38
Figura 7. Localización de los sitios de muestreo en el cauce de la cuenca baja del río Jamapa, Veracruz.....	49
Figura 8. Clasificación de los sitios de muestreo en grupos Mayor y Menor nivel de contaminación, según el Índice obtenido del ACP. Época de Estiaje.	57
Figura 9. Diferencias significativas de los sitios de muestreo. ¹ SE: error estándar. Época de Estiaje.....	58
Figura 10. Edades de los entrevistados, por municipio.....	63
Figura 11. Años de estudio de la población entrevistada, por municipios.....	64
Figura 12. Años de residencia en la zona de estudio, por municipio.....	65
Figura 13. Correlación entre las variables Edad e Índice Likert.....	69
Figura 14. Correlación entre las variables Años de estudio e Índice Likert.....	70
Figura 15. Correlación entre las variables Edad e Índice Likert, según mujeres.....	71
Figura 16. Correlación entre las variables Años de estudio e Índice Likert, según mujeres.....	72

1. INTRODUCCIÓN

El agua es el elemento esencial para la vida y el ambiente. De los retos globales actuales, este recurso es indispensable para el desarrollo económico y social, la seguridad alimentaria y la reducción de la pobreza (WWC, 2009).

Del volumen total de agua en la tierra, aproximadamente 1,400 millones de Km³, sólo el 2.5 % pertenece a agua dulce, constituida principalmente en los hielos perennes de la región antártica y en Groenlandia, o en profundos acuíferos de aguas subterráneas. La mayor parte del agua aprovechable para uso humano corresponde al 1 % del agua dulce, y se encuentra en los lagos, ríos, la humedad del suelo y cuencas de aguas subterráneas poco profundas (UN-WATER/WWAP, 2007).

Aún cuando el agua es abundante, la cantidad del vital líquido disponible es apenas una pequeña fracción del total del recurso hídrico en el mundo, lo que la hace ser limitada y vulnerable principalmente al abuso humano. De acuerdo a Paredes (2005), en las últimas cinco décadas se han liberado al ambiente más de 100,000 sustancias químicas producto del desarrollo industrial, de las cuales en la mayoría de los casos no se han evaluado los impactos en la salud del humano y el medio ambiente.

Además de los problemas de contaminación del agua por los aportes continuos de efluentes municipales, industriales y agrícolas, que afectan la calidad de este recurso en los ecosistemas acuáticos, la extracción excesiva del vital líquido para una mayor producción agrícola ocasionan erosión, salinización, agotamiento de acuíferos, agotamiento de nutrientes e intrusión de aguas marinas (Evaluación exhaustiva del Agua en Agricultura, 2007).

En México, la mayoría de los cuerpos de agua han sido impactados por los problemas de contaminación. La SEMARNAT y la CONAGUA (SEMARNAT, 2009a) señalaron que en el 2006, el 5.4 % de las estaciones de monitoreo en cuerpos de agua superficiales a nivel nacional se encontraron como fuertemente contaminadas, el 11.3 %

contaminadas, 17.6 % aceptables, 25.3 % de buena calidad y 40.4 % con calidad excelente. Respecto al río Jamapa, la SEMARNAT (2008) indicó que éste se consideraba, de acuerdo al Índice de Calidad del Agua (ICA) obtenido de las estaciones de monitoreo en la Región Golfo Centro, como poco contaminado con presencia de tóxicos.

El problema de la contaminación del agua es complejo debido a las diversas fuentes que la generan. Yáñez y Pulido (2006) señalan que el deterioro producido en las partes medias y bajas de las cuencas hidrográficas es causado por intervención antrópica. Asimismo, Beaumont (2000) menciona que la explotación indiscriminada de los recursos naturales, así como la contaminación derivada de la transformación y consumo de tales recursos, llevan a la pérdida de la biodiversidad y, en última instancia, a la ruptura del equilibrio ecológico.

En la cuenca baja del río Jamapa, Veracruz, una de las actividades productivas que pueden ser impactadas por la contaminación del agua son las granjas acuícolas de tilapia, las cuales se abastecen de agua del afluente para sus actividades de cultivo. Normalmente la acuicultura requiere de una calidad del agua adecuada, sin embargo, bajo las condiciones actuales de contaminación de los cuerpos de agua, esta industria se ha visto seriamente amenazada; no obstante, los efluentes derivados de esta actividad también generan un impacto en el ambiente donde se desarrolla, principalmente la acuicultura intensiva (Treece, 2000).

Por otra parte, el río Jamapa actúa como fuente de suministro de agua potable para los hogares de muchos municipios localizados en su cauce de la cuenca baja, como Veracruz, Boca del Río y Medellín, entre otros (Figura 1).

Los problemas ambientales actuales se han generado o agravado, en parte, por los malos hábitos, falta de conocimiento y la carencia de cultura hacia el cuidado de los recursos naturales por parte de la población. Moreno *et al.* (2005) señalan que la

actitud indiferente del ser humano sobre el medio ambiente ha provocado tal problemática.

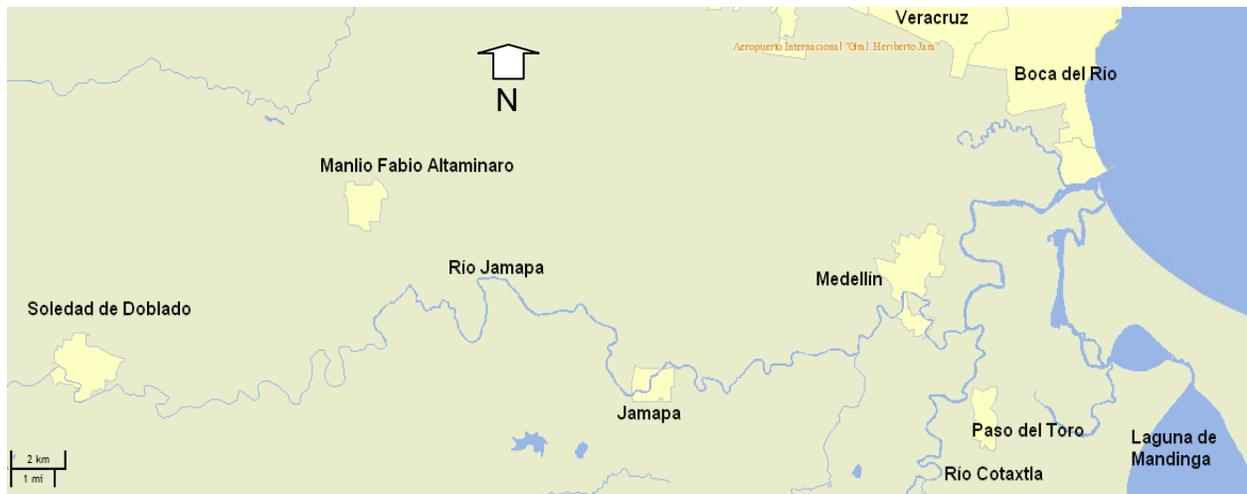


Figura 1. Municipios aledaños al cauce de la cuenca baja del río Jamapa.

Asimismo, Lichtenberg y Zimmerman (1999) mencionan que el comportamiento de las personas sobre el medio ambiente depende de sus actitudes, lo que a su vez es influenciado por el conocimiento y la información.

El conocer la actitud sobre la preservación de la calidad del agua por parte de la gente que interactúa directamente con dichos recursos, es importante para el diagnóstico de los problemas de contaminación que sufre los cuerpos de agua. Los objetivos de esta investigación fueron determinar la calidad del agua del cauce de la cuenca baja del río Jamapa, en sitios donde se reciben efluentes, así como en los influentes de las granjas acuícolas, de acuerdo a parámetros de calidad de la NOM-001-SEMARNAT-1996. Asimismo, se busca conocer la actitud de los pobladores aledaños al cauce, sobre la preservación del recurso hídrico.

2. PROBLEMÁTICA DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO JAMAPA

Como se aprecia en la Figura 2, el problema de la contaminación del agua del río Jamapa es complejo, por las diferentes fuentes que la generan y por el impacto que ésta tiene en el ambiente y en la sociedad en general. Asimismo, las normas y leyes que protegen la calidad de los cuerpos de agua, se aplican de manera parcial, y en muchos casos hay incumplimiento por parte de los usuarios del agua ante dichas normativas.

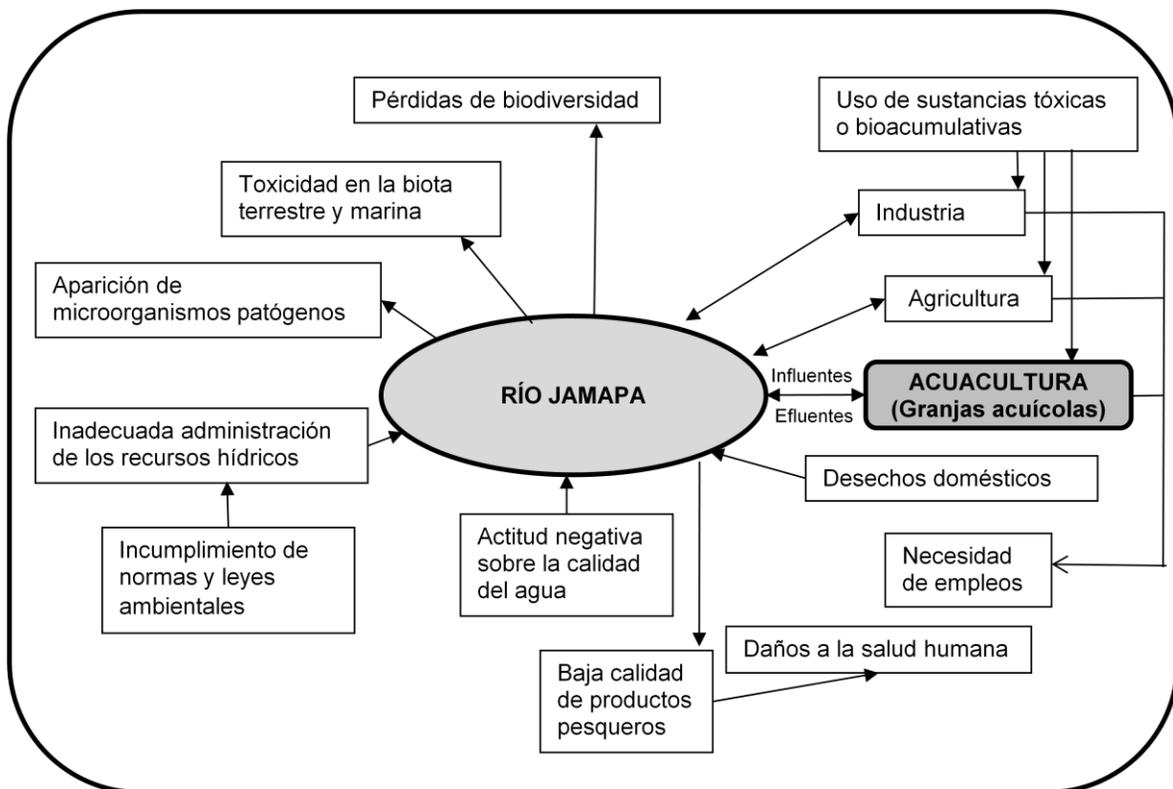


Figura 2. Problemática de la contaminación del agua del río Jamapa.

Una actividad productiva que ha sido seriamente impactada por la contaminación del río Jamapa son las granjas acuícolas de tilapia ubicadas en su cauce, las cuales, a pesar de los beneficios que esta actividad otorga a la sociedad, por la generación de empleo, divisas y alimentos de buena calidad, existe el riesgo de si existen contaminantes bioacumulables en el río, éstos pueden entrar a los sistemas de cultivo,

ser transferidos a los peces cultivados y llegar finalmente al ser humano a través de su consumo.

Así, el problema de la contaminación del agua del río Jamapa y su posible afectación a las actividades productivas, se puede abordar de manera integral, considerando los aspectos técnicos, legales, sociales, económicos y ambientales, bajo el enfoque agroecosistémico, según el cual, Vélez-Vargas (2004) refiere para dar solución a problemas y responder a las demandas de una actividad productiva sostenible, competitiva y equitativa; en este caso, se considera la granja acuícola como unidad de análisis.

A continuación, se analizan los problemas entre la calidad del agua del río Jamapa y su relación con los efluentes de las granjas acuícolas establecidas en su cauce.

2.1. Ambiental

Las principales fuentes de contaminación de los cuerpos de agua del Estado de Veracruz provienen de efluentes de origen urbano, de la actividad agrícola y de la industria (minería, petroquímica, etc.). Dichas fuentes de contaminación generan la eutroficación de los cuerpos de agua y daños importantes a la biota acuática y al ecosistema en general, por la presencia de contaminantes químicos (Calderón-Villagómez *et al.*, 2001; Ávila-Pérez y Zarazúa-Ortega, 1993), biológicos (Castañeda *et al.*, 2005), y que además, afectan directamente a otras actividades productivas y al ser humano por el uso de estos recursos.

Una de tales actividades productivas son las granjas acuícolas de tilapia, las cuales se ubican cerca de un cuerpo de agua de donde se abastecen de este recurso para sus actividades de cultivo. Boyd (1999) indica que es posible que entren contaminantes como metales pesados y pesticidas a los estanques de cultivo a través del agua de llenado de los estanques o durante los recambios.

Por otra parte, en la acuicultura se utilizan sustancias químicas con el fin de mejorar la calidad del suelo y del agua, para controlar el bloom (florecimiento) de fitoplancton, algas acuáticas, vectores de enfermedades y proliferación de peces silvestres indeseables. Asimismo, Lalumera *et al.* (2004) y Cabello (2006) señalan que el uso de compuestos químicos utilizados en la acuicultura (sobre todo en los sistemas altamente tecnificados) para el control de enfermedades, si son utilizados indiscriminadamente y liberados al ambiente a través de los recambios de agua, tales antibióticos son capaces de acumularse en sedimentos y crear resistencia en los organismos patógenos, en detrimento de los peces, animales terrestres, el ambiente y la salud humana. También en las granjas acuícolas se generan grandes cantidades de materia orgánica, producto de heces de organismos cultivados, residuos de alimento no consumido y detritus orgánico (acumulación de microalgas muertas en el fondo de los estanques).

Con respecto al aporte de nutrientes (N y P) a los ecosistemas acuáticos por fuentes agrícolas, municipales y por acuicultura, Páez-Osuna *et al.* (1998) encontraron que en términos generales, una granja camaronícola en el Estado de Sinaloa, con sistema de cultivo semi-intensivo, genera alrededor de 2,851 t N año⁻¹ y 466 t P año⁻¹ (sólo 1.5 % y 0.9 % del total de N y P generado por las principales fuentes antropogénicas de nutrientes, respectivamente), siendo la agricultura la de mayor aporte de estos contaminantes (Figura 3). Aunque el porcentaje de N y P por parte de una granja acuícola son bajos, la carga constante de estos nutrientes en los cuerpos de agua, pueden presentar efectos locales significativos.

En el Estado de Veracruz, la mayor parte de las granjas de tilapia descargan las aguas de uso directamente en cuerpos de agua superficiales, sin tratamiento previo, por lo que pudiera ser una fuente de contaminación al ambiente acuático. Aunque éstas en su mayoría manejan el sistema de producción semi-intensivo, actualmente el modelo de desarrollo dominante parece tender hacia la intensificación de sus procesos productivos, lo que hace a la actividad cada vez más dependiente de insumos con un elevado costo ambiental (por ejemplo: manejo de altas densidades en estanques de

bajo volumen, alimentos balanceados, energía eléctrica para aireación y bombeo, hormonas, antibióticos, etc.). Por ello, existe el riesgo de que la acuicultura continúe creciendo al grado de que si no es regulada, genere impactos negativos en el ambiente y los recursos naturales (Boyd, 2003), con efectos de igual magnitud en la sociedad.

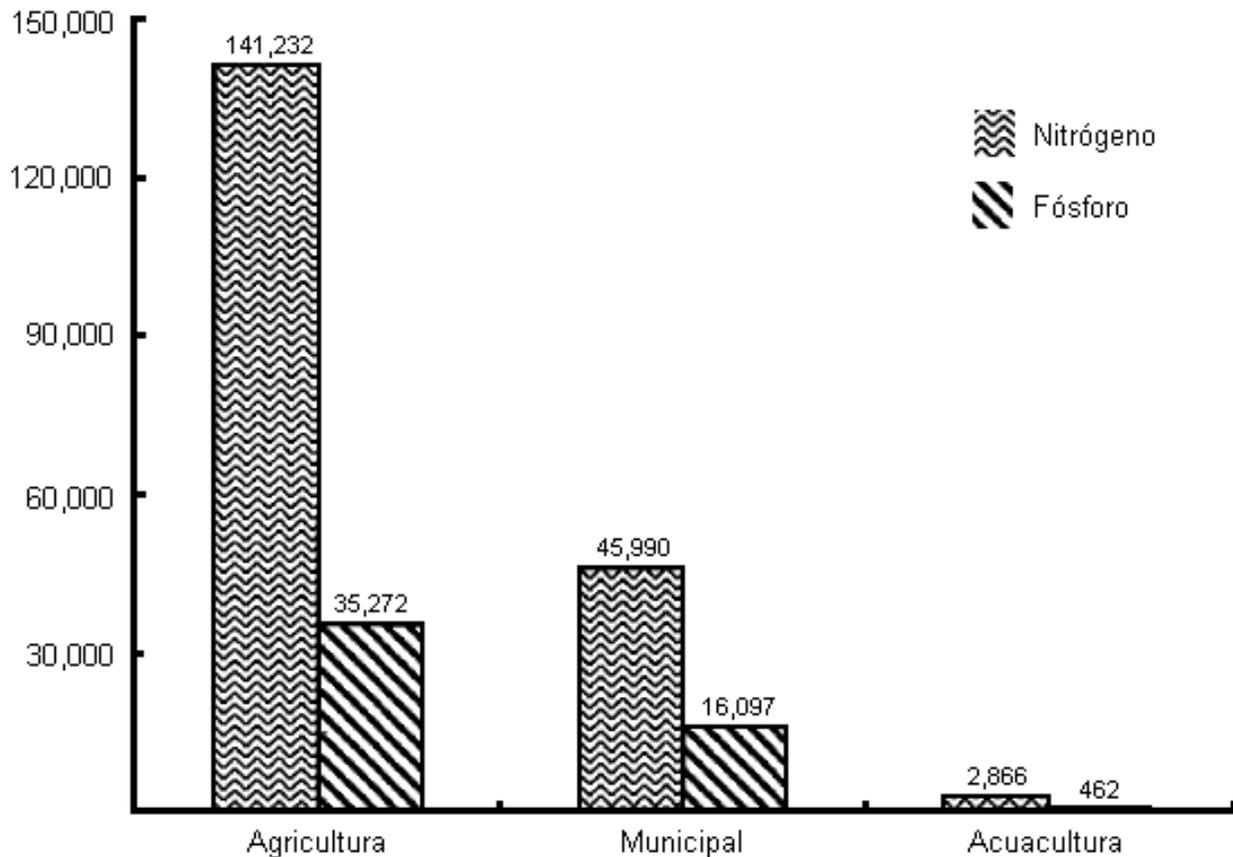


Figura 3. Carga de Nitrógeno y Fósforo derivados de diferentes fuentes (Tomado de Páez Osuna *et al.*, 1998).

Por otro lado, el desarrollo no planeado de la actividad acuícola provoca destrucción de manglares, humedales y otros hábitats acuáticos vulnerables, cambio de uso de suelo agrícola por estanques de cultivo, contaminación del agua con químicos promotores de crecimiento, entre otros, lo que causa impactos negativos en el ambiente donde se realiza dicha actividad (Boyd, 2003, Primavera, 2006).

2.2. Técnica

De acuerdo a Hernández-Mojica *et al.* (2002), la mayoría de las granjas de tilapia en el Estado de Veracruz, cuentan con un Índice de uso de tecnología bajo, y sólo el 6 % presentan un Índice de tecnología alto, por lo cual, la mayoría de éstas se tipifican en cuatro diferentes grupos: empresarial, intermedio, artesanal e inicial, de acuerdo al Índice de uso de tecnología, experiencia en el cultivo de tilapia e Índice de ingreso económico.

Normalmente, los productores agrícolas y pecuarios son los que intentan introducir la acuicultura en sus unidades de producción, con el fin de diversificar su sistema y hacerlo más rentable; sin embargo, el desconocimiento del cultivo de la tilapia y la falta de asesoría profesional, hacen que esta actividad sea de baja rentabilidad y competitividad (Zetina-Córdoba *et al.*, 2006).

Con los actuales problemas de contaminación que ocurren en cuerpos de agua superficiales, es muy probable que las granjas acuícolas se vean afectadas en su calidad del agua, y que éstas sirvan como filtro biológico en la captura de los contaminantes presentes en los ríos, arroyos, etc. Asimismo, las granjas también pueden ser una fuente de contaminación al medio acuático por el aporte de nutrientes, materia orgánica, compuestos químicos y parásitos.

Por lo anterior, es importante que las granjas adopten medidas para mitigar la contaminación, y mejorar la calidad del agua de sus cultivos. La instalación de equipos de depuración de aguas residuales es muy costosa. Además, requieren espacio extra para instalarlos, así como contratación de personal para el manejo y control dicha tecnología. Bajo las condiciones actuales, muchas granjas acuícolas no cuentan con los recursos económicos y el espacio para la adquisición de un depurador de aguas.

2.3. Económica

Como se ha señalado antes, la mayoría de las granjas acuícolas de tilapia en el Estado de Veracruz se ubican cerca de un cuerpo de agua del cual se abastece para sus actividades de cultivo. Al no contar éstas con los conocimientos y la tecnología adecuada para el manejo de la granja, la mayoría se ven afectadas por las condiciones del medio, como lo es la calidad del agua de suministro, así como del propio cultivo por malos manejos; el resultado es una baja tasa de crecimiento, altas mortalidades y un mayor periodo de cultivo, lo que conduce a un mayor gasto de alimento y de energía para mantener a los organismos vivos.

Como se señaló anteriormente, en el Estado de Veracruz un alto porcentaje de las granjas acuícolas no cuentan con la tecnología y los recursos para adquirirla e implementarla en sus cultivos (aún con toda la infraestructura educativa y de investigación que se realiza en la entidad) por lo cual los logros en materia acuícola hasta el momento son limitados (Gobierno del Estado de Veracruz, 2008). Adicionalmente, los altos costos de energía eléctrica y del alimento artificial, así como de las crías de mojarra de variedad mejorada, hacen que la acuicultura en el Estado, en muchos de los casos, sea no rentable.

Asimismo, la depredación y robo de peces influye de manera significativa en el rendimiento y las utilidades de la granja. Además, las inundaciones, los suelos permeables, de baja calidad para instalación de granjas y además contaminados por la cercanía con zonas agrícolas o industriales, son otros factores que actúan en detrimento de la producción acuícola.

Por otro lado, la competencia en el mercado con otras variedades de peces, así como de otros productos cárnicos, y sobre todo, con la importación de mojarra de baja calidad a precios menores, son retos importantes que la acuicultura de tilapia en el Estado enfrenta, y que puede competir en el mercado sólo mejorando la calidad de sus productos.

2.4. Político-legal

En México, derivado de la problemática de la contaminación de los cuerpos de agua superficiales, el Estado emitió la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 (antes NOM-001-ECOL-1996), donde se establecen los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas residuales en aguas y bienes nacionales. Dicha norma tiene como fin proteger la calidad del agua, posibilitar sus usos para las diferentes actividades humanas, así como proteger el medio ambiente y la biota acuática.

Las granjas acuícolas, al igual que todos los usuarios del agua, deben cumplir con los estándares de calidad en sus aguas residuales, como lo establece dicha norma. En este respecto, un problema serio que enfrentan las granjas acuícolas es la falta de equipo y tecnología para el tratamiento de sus efluentes. Por lo anterior, la mayor parte de las granjas de tilapia en el Estado descargan las aguas de uso directamente en los cuerpos receptores, sin tratamiento previo, por lo que pudiera ser una fuente de contaminación a los ecosistemas acuáticos.

Por otra parte, los acuacultores se quejan de que la actividad acuícola no cuenta con el apoyo suficiente en los programas de fomento, debido a que dicha actividad no se considera dentro del sector agropecuario, como se hace con la agricultura o la ganadería, por lo cual, en muchas ocasiones, los costos por el uso del agua y los permisos de operación son muy altos.

Además, la acuicultura enfrenta también una serie de regulaciones para su operación. En principio, las granjas deben estar legalmente establecidas –contar con el Registro Nacional de Pesca ó RNP, ante la CONAPESCA–, cumplir con el Estudio de Impacto Ambiental –ante la SEMARNAT–, los permisos de concesión y descarga de aguas – ante la CONAGUA–, y los permisos de SENASICA para garantizar la calidad e inocuidad de sus productos; además, los empresarios tienen la oportunidad de integrarse a los Comités Sistema Producto, Comité de Sanidad Acuícola y

organizaciones civiles (AVAC), a fin de ordenar la actividad, agruparse y tener los apoyos necesarios para desarrollarla y hacerla más rentable.

2.5. Social

El desarrollo de la acuicultura en muchos países (principalmente en vías de desarrollo), genera oportunidades de empleo en toda la cadena de producción (Mano de obra, elaboración de alimento para peces, la distribución del producto en el mercado, etc.), representa ingresos para las familias del medio rural, y proporciona alimentos de calidad (Schwantes *et al.*, 2009). Asimismo, la acuicultura en la zona costera tiende a tener en casi todo el mundo una estructura empresarial, lo cual contribuye a mitigar la pobreza rural debido a que emplea la mano de obra de un sector social necesitado (FAO, 1999).

Por otra parte, el consumo de pescado es muy recomendado debido a su fuente de ácidos grasos omega 3, los cuales se asocian con beneficios en la salud por los efectos de protección al sistema coronario, como lo señalan Castro-González y Méndez-Armenta (2008). Garduño-Lugo y Muñoz-Córdoba (2007) puntualizan que las tilapias contienen menor cantidad de grasas en relación con otras especies (como por ejemplo, los salmones), lo cual su consumo es altamente recomendable por los efectos beneficios nutricionales y su alta cantidad y calidad de su proteína.

Pese a lo anterior, el contenido de contaminantes químicos encontrados en algunos organismos cultivados pone en duda que su ingesta sea una dieta saludable. Lam *et al.* (1998) indican que las tilapias acumulan metales pesados en sus tejidos, debido a que estos organismos son muy resistentes a la contaminación por estos elementos.

El consumo de pescado contaminado por metales pesados y otros compuestos químicos bioacumulables tiene efectos perjudiciales para la salud humana. De acuerdo a la Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (ATSDR, por sus siglas en Inglés), el Cd contenido en la dieta se acumula en órganos y tejidos de la

mayoría de los animales, incluyendo al ser humano, principalmente en los riñones y el hígado.

Órganos como los testículos, páncreas, la tiroides y glándulas suprarrenales, huesos, sistema nervioso central y los pulmones, también se relacionan con efectos de toxicidad por Cd (ATSDR, 2008). Asimismo, el Pb afecta principalmente al sistema nervioso central en niños y adultos. A niveles altos, puede provocar daños al cerebro y riñón. Dentro del organismo, el Pb se distribuye en la sangre, hígado, riñón, pulmones, cerebro, músculo, corazón y en los huesos (ATSDR, 2007).

También los pesticidas causan un grave daño al ambiente y a la biota acuática. Uresti-Marín *et al.* (2008) evaluaron la presencia de compuestos organoclorados en tejido graso de algunos peces de interés comercial de la presa Vicente Guerrero, Tamaulipas, México, en los cuales encontraron altas concentraciones de p-p'-DDE (metabolito más persistente del DDT), con un valor más alto de 322 y 584 ng g⁻¹ para bagre, lobina, respectivamente; los autores señalan que debido a los altos niveles encontrados de este contaminante, existe riesgo de contraer cáncer en la población consumidora de estas especies.

La mayoría de las granjas de tilapia en la entidad veracruzana son instaladas en sitios cercanos a algún cuerpo de agua, normalmente propiedad del acuicultor, y no cuentan con un plan de monitoreo bien determinado para el seguimientos de la calidad del agua de suministro. Si existen contaminantes químicos en el medio, las tilapias los acumulan en sus tejidos, y llegan así finalmente al consumidor, lo cual pueden causar serios problemas de salud pública por el consumo frecuente de pescado.

Ante los problemas actuales de contaminación de los cuerpos de agua en el Estado de Veracruz, en la actualidad aún no existe información acerca de la actitud de la gente sobre la preservación de los ríos y cuerpos de agua en la entidad. Uno de los objetivos de este estudio es conocer las actitudes por parte de los ciudadanos que viven en sus márgenes, sobre la preservación de la calidad del agua del río Jamapa, afluente que

sufre si duda de los efectos de la contaminación del agua en el Estado de Veracruz. Para lo anterior, se consideraron enunciados relativos a la calidad y abundancia del agua del río, presencia de especies acuáticas de pesca, presencia de plantas silvestres comestibles nativas de la región y fuentes de contaminación del río.

3. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

Para entender el alcance de esta disertación, es imperativo conocer los problemas de calidad del agua que actualmente sufren los ríos y otros sistemas acuáticos en nuestro país, particularmente en el Estado de Veracruz, así como también identificar sus causas y efectos sobre el ambiente. Lo anterior, permitirá establecer si las actividades productivas como las granjas acuícolas, influyen sobre la calidad del agua de los afluentes o viceversa. Adicionalmente, es imprescindible conocer la actitud hacia la preservación de la calidad del agua de los ríos por parte de los ciudadanos que viven en sus márgenes, ya que son ellos una fuente importante de conocimiento frente a los cambios que ocurren en su entorno. La comprensión de estos hechos permitirá entender las interacciones respecto a la calidad del agua en el agroecosistema granjas acuícolas, así como las actitudes de la gente en lo que respecta a la conservación del recurso hídrico.

3.1. Modelo de estudio: agroecosistema granja acuícola

Un ecosistema agrícola, conocido también como agroecosistema, es el lugar donde la producción de una granja es entendida como un sistema. Cuando una granja se examina desde el punto de vista de agroecosistema, la producción de alimentos se puede entender como un todo, incluyendo la complejidad en los tipos de materiales que entran y salen del sistema (Gliessman, 2004).

Al mismo tiempo, es de gran importancia la manera en que todas las partes del sistema están interconectadas y en interacción. La sustentabilidad del agroecosistema depende

de la preservación de la productividad de las tierras agrícolas en el largo plazo, protegiendo los recursos naturales de los cuales ésta depende, para que así las granjas proporcionen un suministro de comida seguro y saludable para la población (Gliessman, 2004).

Conway (1987) define los agroecosistemas como sistemas ecológicos modificados por los seres humanos para producir alimento, fibra y productos agrícolas. Precisamente en la medida en que los sistemas ecológicos sean reemplazados, los agroecosistemas se vuelven más complejos estructural y dinámicamente, pero la complejidad surge principalmente de la interacción que se da en las dinámicas de los procesos ecológicos y socioeconómicos.

Es importante señalar que los sistemas (agroecosistemas) no son cosas, sino una interpretación de la realidad (Herrscher, 2005). Goode y Hatt (1972) señalan que los conceptos (como agricultura, agroecosistema y acuicultura) no son más que abstracciones de realidades complejas. Asimismo, Rojas-Soriano (2002) establece que los conceptos son una reproducción en el pensamiento de algún aspecto concreto de la realidad objetiva.

Por lo tanto, un agroecosistema representa la realidad compleja de todas aquellas actividades que se desarrollan en el campo, donde existe intercambio energético e interrelaciones entre los componentes, un controlador y límites definidos, y sirve además como base conceptual, teórica y metodológica para abordar estudios desde un enfoque de sistemas.

Al igual que en la agricultura, los sistemas de producción acuícolas surgen por la necesidad de satisfacer alimentos de origen animal a la población. En el caso de los productos del mar, éstos han sido suministrados por la extracción pesquera en zonas costeras; sin embargo, en los últimos años, la mayoría de las pesquerías de aguas marinas y continentales han alcanzado su rendimiento máximo sostenible.

El propósito de la actividad acuícola es la producción de alimentos, en un entorno donde se desarrollan otras actividades productivas, en interacción con el medio ambiente. El tipo de sistema de producción, así como las especies a cultivar son decisiones del acuicultor (dueño de la granja), influenciado éste por una serie de factores internos y externos. En el sistema de producción, los diferentes componentes de los subsistemas se encuentran en interacción constante; asimismo, éstos se encuentran en interacción con el sistema en sí y con el suprasistema, mediante un intercambio energético (Figura 4).

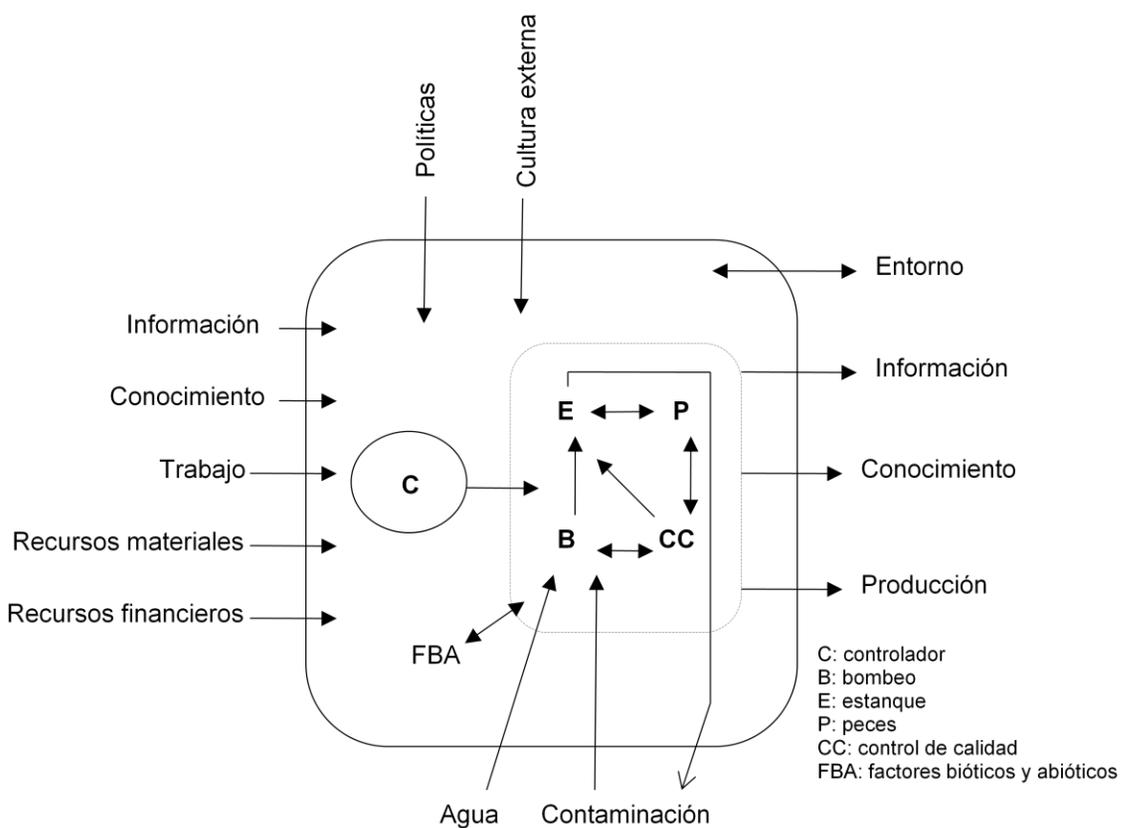


Figura 4. Modelo de un agroecosistema granja acuícola.

Normalmente, las actividades de acuicultura se realizan en ambientes donde se practica la agricultura, la pesca, el desarrollo industrial, además de los asentamientos urbanos, por lo que a menudo la acuicultura está influenciada por estas actividades (Borja, 2002).

3.2. Calidad del agua

El término “calidad del agua” expresa la disposición del agua para sostener varios usos o procesos, los cuales tendrán ciertos requerimientos en las características físicas, químicas o biológicas del agua; por ejemplo, los límites de las concentraciones de sustancias tóxicas para agua potable, o las restricciones en los rangos de temperatura y pH del agua para la biota acuática (Meybeck *et al.*, 1996).

La calidad del agua, ya sea para consumo humano, irrigación, o propósitos recreativos, es significativa para la salud en los países desarrollados y en desarrollo del mundo. Una característica deseable de calidad del agua es la ausencia de olor, turbidez y color, no obstante, la presencia de elementos tóxicos (Hg y Pb), nitrógeno y fósforo excesivo, o material orgánico disuelto pueden no ser percibidos por los sentidos, pero sí ejercer impactos negativos sustanciales en la salud de los cuerpos de agua y del humano (Spellman, 2009).

En general, la calidad del agua de un río o arroyo típico es impactada en 60 % aproximadamente por la contaminación no puntual, 21 % por descargas municipales, 18 % a través de los desechos industriales, y cerca de 1 % por derrames de aguas negras; de la contaminación no puntual, alrededor del 67 % proviene de la actividad agrícola, 18 % de fuentes urbanas y 15 % de otras fuentes (Spellman, 2008).

3.3. Contaminación del agua

La contaminación, en términos generales, es uno de los desafíos ecológicos más importantes que enfrenta la humanidad en los últimos años. Correll *et al.* (2008) la definen como un cambio indeseable en la calidad natural del medio ambiente, que puede afectar negativamente el bienestar de los seres humanos, otros organismos vivos y a todo un ecosistema directa o indirectamente. Asimismo, Flower (2006) señala que la contaminación se genera por la liberación en el ambiente de sustancias

químicas o agroquímicas, microorganismos patógenos o por cualquier forma de calor o energía, producto de la actividad humana.

Alloway y Ayres (1997) mencionan que el término contaminación hace referencia a situaciones donde una sustancia está presente en el ambiente, pero que no causa un daño obvio, mientras que cuando los efectos dañinos son aparentes, al fenómeno se le conoce como polución. No obstante, con los métodos actuales de evaluación, y al incremento de sustancias tóxicas en el ambiente, los términos contaminación y polución actualmente son utilizados de manera indistinta.

Asimismo, Spellman (2008) la señala como un problema muy serio debido a la gran cantidad de contaminantes y fuentes que la generan, principalmente por los impactos a cuerpos de agua superficiales y acuíferos usados como suministros de agua potable. En ese mismo sentido, Birkett y Lester (1999) indican que existen dos fuentes importantes de contaminación del agua; la primera es la contaminación puntual, donde el punto de entrada de material contaminante en un cuerpo de agua, en un punto conocido, en el cual se descargan desechos contaminantes (por ejemplo, descargas a través de una tubería); mientras que en la contaminación no puntual o difusa, los contaminantes entran en los cuerpos de agua a través de la precipitación o diferentes escurrimientos terrestres; en ese sentido, Birkett y Lester señalan que a diferencia de la contaminación difusa, la contaminación puntual se puede controlar una vez localizada la fuente emisora.

De las fuentes puntuales (FPC) y no puntuales (FNPC) de contaminación de ríos y arroyos, las plantas de tratamiento municipales e industrias forman la principal FPC, las cuales generan contaminación orgánica y por minerales en los cuerpos receptores; mientras que la FNPC se genera por la lluvia y el derretimiento del hielo en zonas frías, a través de distintos escurrimientos terrestres que finalizan no solo en ríos y arroyos, sino también en lagos, humedales, aguas costeras y aún en acuíferos utilizados para suministro de agua potable. Algunos de los contaminantes que se generan por la FNPC

son los fertilizantes, herbicidas y pesticidas de la agricultura, las grasas, químicos tóxicos y bacterias de los escurrimientos urbanos e industriales (Spellman, 2008).

Respecto a las FPC y FNPC en los cuerpos de agua costeros y el mar, en las aguas costeras de México al igual que en otros lugares, ocurren a través de efluentes domésticos, industriales, escurrimientos y de descargas de los estanques de acuicultura, todos localizados (FPC), los cuales generan materia orgánica, nutrientes, metales pesados, fertilizantes y fungicidas, entre otros. La FNPC incluye contaminantes de varias actividades generalmente localizadas lejos de la costa, que aportan nutrientes y pesticidas de la agricultura, así como varios contaminantes atmosféricos (Páez-Osuna *et al.*, 1998).

Con respecto a la contaminación por las granjas acuícolas instaladas en zonas marinas y de agua dulce, Boyd (2003) señala que existe un impacto en mayor o menor medida cuando éstas realizan sus descargas que alteran la calidad del agua del lugar donde se encuentran, semejando una FPC; sin embargo, según el autor, la mayoría de las granjas de peces y camarones ubicadas en regiones específicas –en Asia, Ecuador o el noroeste de México, por ejemplo– liberan grandes volúmenes de efluentes en diferentes puntos, semejando una FNPC en el ambiente.

En México, de acuerdo al origen de las fuentes de contaminación, Páez-Osuna *et al.* (1998) mencionan las fuentes puntuales o directas, en las que se incluyen efluentes domésticos, descargas industriales y escurrimientos localizables de la actividad agrícola y granjas acuícolas, así como las fuentes no puntuales o difusas, que incluyen contaminantes principalmente nutrientes y pesticidas de la actividad agrícola y muchos otros contaminantes por la vía atmosférica. Páez-Osuna *et al.* señalan que la agricultura, pesquería, turismo, la industria del petróleo y recientemente la acuicultura, son importantes actividades económicas que se desarrollan en las zonas costeras de México, que deberían regularse y funcionar con planes de manejo para evitar la degradación del ambiente.

3.3.1. Eutrofización

La eutrofización ó eutroficación es el crecimiento en exceso de biomasa por fotosíntesis en los ecosistemas acuáticos, debido al aporte de nutrientes, como el Nitrógeno y Fósforo, lo que eventualmente puede llevar a un severo deterioro de los cuerpos de agua. Aunque este fenómeno es un proceso natural, las actividades humanas lo han acelerado a tal punto que muchos ríos y lagunas que reciben efluentes antropogénicos se encuentran seriamente contaminados (Manahan, 2007).

De acuerdo con Cervantes-Carrillo *et al.* (2000), los contaminantes más importantes del agua son el N y P, ya que las actividades agrícolas e industriales han aumentado casi al doble la concentración de estos nutrientes, los cuales llegan a los diferentes cuerpos de agua en la forma de amonio, nitrato y nitrito, creando problemas de toxicidad para los organismos acuáticos, además de cambios ambientales como la eutrofización.

De esta manera, se tiene que la eutrofización puede producir diversos efectos ecológicos y toxicológicos que están directa o indirectamente relacionados con la proliferación de los productores primarios, o algas acuáticas. Esta proliferación, y su posterior muerte y descomposición, suelen conducir a una marcada disminución de la concentración de oxígeno disuelto en aquellos ecosistemas con una reducida tasa de renovación de agua. Las muertes masivas de peces (y de otros animales) son probablemente la manifestación más dramática de hipoxia o anoxia en ecosistemas eutróficos e hipertróficos que experimentan estratificación (Camargo y Alonso, 2006).

3.4. Contaminación del agua en México

Las principales fuentes de contaminación en México son los desechos urbanos e industriales, los drenajes de la agricultura y de minas, la erosión y los derrames de sustancias tóxicas (accidentales o intencionales) como los hidrocarburos; según Escobar (2002), las cuencas de los ríos Panuco, Lerma, San Juan y Balsas reciben el 50 % de las descargas de aguas residuales municipales, agrícolas e industriales. Por lo

anterior, es evidente que los problemas que traen consigo el desarrollo urbano, agrícola e industrial se reflejan en la degradación del medio ambiente. En el Cuadro 1 se muestran algunas características de las descargas de aguas residuales municipales y no municipales, que se generaron a nivel nacional durante el periodo 2005-2008.

Cuadro 1. Descargas de origen municipal y no municipal a nivel nacional ($\text{km}^3 \text{año}^{-1}$; mil millones de $\text{m}^3 \text{año}^{-1}$).

Descargas	2005	2006	2007	2008
Municipales				
Descarga	8.05	7.63	7.66	7.44
DBO ₅ *	2.17	2.06	2.07	2.01
DBO ₅ removido (%)	24	25.2	25.6	28.9
No municipales**				
Descarga	5.62	5.77	5.98	6.01
DBO ₅	6.57	6.74	6.95	7
DBO ₅ removido (%)	15.1	12.2	15.8	16.4

*Millones de toneladas por año, removidas en plantas de tratamiento; ** Incluidas las industrias.
Fuente: elaboración propia con datos de la SEMARNAT (2010).

Diversos estudios sobre calidad del agua en nuestro país indican que existen serios problemas de contaminación en los ecosistemas acuáticos. Por ejemplo, Quiróz-Castelán *et al.* (2004) señalan que el lago de Chapala ha estado expuesto a diversas fuentes y niveles de contaminación, como descargas municipales de diferentes comunidades, aguas de drenaje agrícola y aguas residuales provenientes del río Lerma, vertidas por industrias; lo anterior ha causado que este cuerpo de agua esté en grave peligro de convertirse en un ambiente no adecuado para la vida acuática.

En el Golfo de México, Olguín *et al.* (2004) encontraron que la agroindustria del azúcar que se desarrolla en los cuatro Estados del Golfo de México, aportan 0.9 millones de toneladas de materia orgánica como DBO en los cuerpos de agua, del cual Veracruz aportó aproximadamente el 83 %.

En el Valle de Huamantla, en Tlaxcala, Muñoz *et al.* (2004) determinaron las concentraciones de nitratos en agua subterránea, donde encontraron niveles de hasta

44.29 mg L⁻¹ de NO₃ en pozos de muestreo ubicados en las partes bajas del Valle que además están sujetos a agricultura de riego.

Por su parte, Guzmán-Quintero *et al.* (2006) analizaron la calidad del agua del río Texcoco, donde encontraron, entre otros contaminantes, altas concentraciones de Coliformes Totales (NMP), con intervalos de 5,650,000 y 51,940,000 por 100 mL⁻¹; por lo que consideran que el agua de este sistema no es adecuada para uso humano, ya que sus contenidos de parásitos y patógenos, y de los Coliformes Fecales y helmintos, afectan la salud humana.

Respecto a la contaminación del agua por metales pesados, Gómez-Álvarez *et al.* (2004) evaluaron los niveles de varios elementos en el agua superficial de todo el cauce del río San Pedro, entre los años 1997 y 1999, en el cual encontraron valores elevados de Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn; dichos valores fueron superiores a los valores máximos permitidos establecidos en los Criterios Ecológicos de Calidad de Agua.

De manera general, en México, la mayoría de los cuerpos de agua dulce han sido perturbados por las actividades humanas. Como ejemplo, la SEMARNAT y la CONAGUA (SEMARNAT, 2009b) señalan que en el 2006, el 5.4 % de las estaciones de monitoreo en cuerpos de agua superficiales a nivel nacional se encontraron como fuertemente contaminadas, el 11.3 % contaminadas, 17.6 % aceptables, 25.3 % de buena calidad y 40.4 % con calidad excelente.

Asimismo, en el 2007, la SEMARNAT (2007), a través del Registro de Emisiones y Transferencias Contaminantes (RETC), informó que de 2,446 establecimientos industriales de jurisdicción federal, se emitieron al ambiente 76 sustancias tóxicas de las 104 establecidas, de las cuales 57 de ellas se liberaron al aire, 19 al agua, 18 al suelo y se transfirieron 58 sustancias —el 68.1 % de los residuos se enviaron a disposición final y el 23.18 % a reciclaje—. Lo anterior representa 112 millones de toneladas al aire, 544 t al agua y 275 t al suelo. En el Cuadro 2 se muestran los 12 Estados de la república mexicana que emitieron la mayor carga de contaminantes al

agua, durante el 2007. Asimismo, en el Cuadro 3 se resumen las 12 sustancias más contaminantes que se descargaron a los cuerpos de agua durante el 2007.

Cuadro 2. Estados que emitieron más contaminantes al agua en el 2007 (t).

Estados	Emisiones
Veracruz	168.764
Sinaloa	167.948
Tamaulipas	31.77
Puebla	30.314
Guanajuato	28.387
Nuevo León	23.99
Coahuila	20.63
Jalisco	13.466
Michoacán	9.383
Querétaro	8.273
México	6.893
Hidalgo	5.841

Fuente: elaboración propia con datos de la SEMARNAT (2007).

Cuadro 3. Sustancias más contaminantes del agua en el 2007 (t).

Sustancias contaminantes	Emisiones
Níquel (compuestos)	157.326
Plomo (compuestos)	142.152
Cromo (compuestos)	80.608
Cianuro inorgánico/orgánico	57.47
Arsénico	34.877
Cadmio	33.071
Cadmio (compuestos)	20.098
Mercurio (compuestos)	15.893
Arsénico (compuestos)	1.224
Acido sulfhídrico	0.649
Tricloroetileno	0.443
Estireno (fenil etileno)	0.368

Fuente: elaboración propia con datos de la SEMARNAT (2007).

Las sustancias más contaminantes liberadas al ambiente son los metales pesados, con 942.1 t, seguidos por los hidrocarburos con 266.33 t y los organohalogenados con 172.27 t. El Estado de Veracruz tiene las mayores emisiones de gases de efecto

invernadero, con 33,723,311.17 t, seguido de Campeche con 24,674,102.22 t, e Hidalgo con 19,692,384.59 t año⁻¹.

3.4.1. Contaminación del agua en Veracruz

El problema de la calidad del agua de los principales ríos del Estado de Veracruz, se debe principalmente a los desechos industriales y municipales. De acuerdo al diario La Jornada (La Jornada, 2010), datos de la CONAGUA indican que entre un 60 y 30 % de aguas residuales (de efluentes industriales y municipales, respectivamente) se vierten al Golfo de México, lo que representa aproximadamente mil 28 millones de metros cúbicos de aguas residuales al año, con grandes cantidades de material orgánico.

Probablemente lo anterior se deba a la deficiente operación de todas las plantas de tratamiento del Estado de Veracruz, de las cuales se contaba en el 2008, con 92 municipales y 165 industriales, con una capacidad total instalada de 5,428 y 11,623 litros por segundo.

La Coordinación Ejecutiva del Comité de Planeación para el Desarrollo de esta entidad (COPLADEVER, 2005), informó que la calidad del agua de 14 ríos registran niveles significativos de contaminación, provocada principalmente por las descargas industriales o de aguas residuales sin tratamiento o con un procesamiento deficiente; tales descargas sin tratamiento constituyen el 68 % del volumen total que entra a los ríos y sus cauces. Además, alrededor de 300 industrias veracruzanas generan volúmenes de aguas residuales de 672 metros cúbicos, de los cuales solamente se procesa cerca de 50 %.

Las descargas, principalmente de origen urbano, aportan grandes cantidades de microorganismos patógenos a los cuerpos de agua. Barrera-Escorcia *et al.* (1998) evaluaron la contaminación microbiológica de agua, sedimento y ostión en la laguna de Pueblo Viejo, la cual tiene importancia por su actividad pesquera y cercanía con la población humana. Los autores encontraron altas concentraciones de bacterias del

género Coliformes, principalmente en la boca de la Laguna, ($>2,400 \text{ CTC} \cdot 100\text{ml}^{-1}$), por lo que mencionan que el agua es inadecuada, tanto para el cultivo de ostión, como para recreación con contacto primario y para protección de la vida acuática. Barrera-Escorcia *et al.* atribuyen la contaminación microbiológica a las descargas directas de agua residual provenientes de los asentamientos humanos ubicados en la barra, además de los aportes que arrastra el río Pánuco.

Asimismo, Castañeda *et al.* (2005) encontraron altos niveles de Coliformes Totales y Fecales, así como la presencia de *E. coli*, en agua de diferentes lagunas del Estado de Veracruz, debido a efluentes no tratados de los asentamientos humanos irregulares establecidos en las periferias de los cuerpos de agua.

En el río Jamapa se registraron en el 2004 1,043 (NMP 100 mL^{-1}) de Coliformes Fecales, así como 2 mg L^{-1} de amonio y una DBO_5 de $5 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$, por citar otros contaminantes; lo cual ha dado como resultado una baja calidad sanitaria del agua de dicho río (SEMARNAT, 2009a). Por otra parte, las descargas de origen industrial provocan principalmente contaminación en los cuerpos receptores; por ejemplo, Ávila-Pérez y Zarazúa-Ortega (1993) encontraron altas concentraciones de vanadio, níquel y plomo en agua, sedimentos y en ostión del canal del Chijol, lo cual es un reflejo de la actividad petrolera que se desarrolla en esa zona.

Las fuentes de contaminación de origen agroindustrial (producción de caña, destilerías, beneficios de café, granjas de cerdos), generan grandes cantidades de material orgánico, nutrientes y patógenos a los ecosistemas acuáticos; en el 2009, Veracruz ocupó el primer y segundo lugar ($16,099,835.03$ y $318,745.16 \text{ t}$) en la producción de caña de azúcar y café cereza a nivel nacional, respectivamente, y fue sexto en producción de carne de cerdo en canal ($1,162,398 \text{ t}$) (SIAP, 2010). Lo anterior representa alrededor de $936,989 \text{ t DBO}_5 \text{ año}^{-1}$, lo cual afecta los ríos Pánuco, Bobos-Nautla, Actopan, Jamapa y Papaloapan (Olguín *et al.*, 2004).

Como se puede apreciar, las principales fuentes de contaminación de los cuerpos de agua en México (y particularmente del Estado de Veracruz) provienen de efluentes de origen urbano, de la actividad agrícola y de la industria (minería, petroquímica, etc.). Dichas fuentes de contaminación generan la eutroficación de los cuerpos de agua y daños importantes a la biota acuática y al ecosistema en general, por la presencia de contaminantes químicos y biológicos, y que además, afectan directamente al ser humano por el uso de estos recursos.

3.4.2. Contaminación del agua del río Jamapa

Como se ha mencionado anteriormente, en el Estado de Veracruz la mayoría de los cuerpos de agua superficiales reciben descargas de aguas residuales principalmente de origen doméstico-urbano, lo cual ha ocasionado en éstos la presencia de microorganismos patógenos, como los Coliformes Totales, Fecales y *E. coli*. La SEMARNAT (2008) indicó que en el 2004, que el río Jamapa se consideraba, de acuerdo al ICA obtenido de las estaciones de monitoreo en la Región Golfo Centro, como poco contaminado con presencia de tóxicos.

De acuerdo con datos de la SEMARNAT (2009a), en el 2004 el río Jamapa tenía un registro de 1,043 (NMP100 mL⁻¹) de Coliformes Fecales, así como 2 mg L⁻¹ de amonio y una DBO₅ de 5 mg O₂ L⁻¹, por citar otros contaminantes; lo cual ha dado como resultado una baja calidad sanitaria del agua de dicho río (Cuadro 4). (Datos obtenidos de la Estación de medición El Tejar, Municipio de Medellín). De acuerdo a la SEMARNAT, las fluctuaciones en las condiciones hidrometeorológicas de las distintas regiones del país, combinadas con las acciones de la CNA en materia de control de descargas de aguas residuales en distintos cuerpos de agua, explican en buena medida las variaciones que se observan en las concentraciones de ciertas sustancias presentes en ellos. Los datos reflejan solamente la calidad del agua en el sitio del río donde se localiza la estación de medición de la CNA.

Cuadro 4. Contaminantes del río Jamapa, de acuerdo con los principales parámetros de calidad del agua, del 2000 al 2004.

Contaminantes	2000	2001	2002	2003	2004
Amonio (NH ₄) ⁻ , (mg N L ⁻¹)	0.0	0.1	0.2	0.0	2.0
Coliformes Fecales, (NMP 100 ml ⁻¹)	2435.0	445.0	36.0	86810.0	1043.0
DBO ₅ (20 °C),(mg O ₂ L ⁻¹)	1.1	1.3	1.7	2.3	5.0
DQO (K ₂ Cr ₂ O ₇),(mg O ₂ L ⁻¹)	20.8	16.0	15.0	34.0	9.3
Nitratos (NO ₃) ⁻ , (mg N L ⁻¹)	0.8	0.5	0.3	13.3	0.6
Ortofosfatos, (mg L ⁻¹)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Oxígeno disuelto, (mg O ₂ L ⁻¹)	6.6	6.1	5.0	5.9	7.3
Sólidos disueltos, (mg L ⁻¹)	168.0	179.0	164.0	159.0	161.5
Sólidos suspendidos, (mg L ⁻¹)	13.8	11.1	3.2	77.0	12.0
pH	7.2	7.5	7.4	6.9	7.3
Conductividad específica, (µmhos cm ⁻¹)	214.0	234.0	315.0	180.0	271.5
Temperatura, (°C)	28.8	26.9	27.0	26.6	28.7

Fuente: SEMARNAT, 2009.

Por otra parte, Vázquez-Botello *et al.* (2004) encontraron altos niveles de Níquel y Pb en agua y sedimentos del río Jamapa, posiblemente transportados de las áreas industriales de Córdoba y Orizaba.

Además, Palomarez *et al.* (2007) analizaron metales pesados (As, Cd, Cr, Pb, Hg y Zn) en agua y peces de este río, en el cual encontraron en general, bajos niveles de éstos en el medio, sólo el Cr presentó los valores más elevados (0.008 mg L⁻¹). Sin embargo, los autores encontraron altos niveles de Zn en vísceras de lebrancha y tilapia (33.125 y 55.027 mg kg⁻¹); sólo en la primera especie se encontró 9.742 mg kg⁻¹ de Pb en músculo (tejido comestible).

3.5. Regulación de la calidad del agua

La Ley de Aguas Nacionales (D.O.F., 2004), en su Artículo Primero, establece que dicha Ley es reglamentaria del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de aguas nacionales, la cual es de observancia general en todo el territorio nacional. Sus disposiciones son de orden público e interés social y tiene por objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su

distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable. Asimismo, en el Artículo Segundo, se señala que las disposiciones de esta Ley son aplicables a todas las aguas nacionales, sean superficiales o del subsuelo.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA, 1988), en su Título Primero, Capítulo I, Artículo Primero, establece que dicha Ley es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, que se refieren a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección al ambiente, en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción. Sus disposiciones son de orden público e interés social y tienen por objeto propiciar el desarrollo sustentable y establecer las bases para la prevención y el control de la contaminación del aire, agua y suelo (Fracción VI).

En la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, se establecen los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas.

En los Cuadros 5 y 6 se muestran los límites máximos permisibles de contaminantes básicos y elementos químicos en ríos, como se establece en la NOM-001-SEMARNAT-1996, de acuerdo a los diferentes usos: uso en riego, uso público y protección a la vida acuática (Ley Federal de Derechos, 2009).

Todos los usuarios del agua deben cumplir con la legislación en materia de protección de la calidad del agua y de los recursos naturales. Las granjas acuícolas deben asegurar el cumplimiento de dichos parámetros de calidad del agua en sus aguas residuales, para la protección de la vida acuática en ríos.

Cuadro 5. Límites máximos permisibles para contaminantes básicos.

Parámetros (mg L ⁻¹)	RÍOS					
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Temperatura °C (1)	N.A.	N.A.	40	40	40	40
Grasas y aceites (2)	15	25	15	25	15	25
Materia flotante (3)	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos sedimentables (ml/L)	1	2	1	2	1	2
Sólidos suspendidos totales	150	200	75	125	40	60
Demanda bioquímica de oxígeno	150	200	75	150	30	60
Nitrógeno total	40	60	40	60	15	25
Fósforo total	20	30	20	30	5	10

(1) Instantáneo; (2) Muestra simple promedio ponderado; (3) ausente; P.D. Promedio diario; P.M. Promedio mensual; N.A. No es aplicable.

Cuadro 6. Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros.

Parámetros (mg L ⁻¹)*	Ríos					
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2
Cianuros	1	3	1	2	1	2
Cobre	4	6	4	6	4	6
Cromo	1	1.5	0.5	1	0.5	1
Mercurio	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01
Níquel	2	4	2	4	2	4
Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4
Zinc	10	20	10	20	10	20

*Medidos de manera total.

Por otra parte, las granjas acuícolas se deben regir por los Manuales de Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA), con el fin de que durante el proceso de cultivo, en este caso de tilapia, además de considerar las normas, recomendaciones y actividades que están destinadas a garantizar que los productos acuícolas, se mantengan las especificaciones de calidad sanitaria e inocuidad requeridas para el

consumo humano y se preserven los cuerpos de agua y el ambiente en general (SENASICA, 2008).

3.6. Estado actual de la acuicultura

La acuicultura se define por la FAO (1995) como “el cultivo de organismos acuáticos, incluyendo peces, moluscos, crustáceos y plantas acuáticas”. La actividad de cultivo presupone la intervención del hombre en el proceso de cría para aumentar la producción, en operaciones como la siembra, la alimentación, la protección de los depredadores, etc.; esto también presupone que los individuos o asociaciones que la ejercen son propietarios de la población bajo cultivo.

Según estadísticas de la FAO (2004), el sector acuícola registró en el 2003 un incremento de 34.3 % (41.9 millones de toneladas) en la producción total, principalmente en el cultivo de peces, crustáceos y moluscos, con respecto a la obtenida en 1998; éste crecimiento fue el más rápido dentro del sector de la producción de alimentos de origen animal (Treece, 2000; GESAMP, 2001).

En muchas partes del mundo el sector acuícola desempeña una función importante en la mitigación de la pobreza y el logro de la seguridad alimentaria (Emerson, 1999; FAO, 2001; Avilés-Quevedo y Vázquez-Hurtado, 2005). Se calcula que más de 38 millones de personas se encuentran directamente relacionadas con alguna actividad pesquera o acuícola, y que los productos provenientes de estas actividades proporcionan el 15-16 % del aporte mundial de proteínas animales (FAO, 2004).

En México, la producción total por acuicultura (sistemas controlados y pesquerías acuiculturales) en el 2008 fue de 283,625 t, para las especies de camarón (45.9 %), mojarra (25 %), ostión (14.9 %), carpa (8.5 %), atún (1 %), trucha (1.7 %) y bagre (1.1 %), como las principales especies de cultivo (Cuadro 7) (CONAPESCA, 2008).

Cuadro 7. Volumen de producción de acuicultura en peso vivo, por modalidad de cultivo, según principales especies (t año⁻¹). Año 2008.

Especie	Producción	Acuicultura		
	Pesquera Nacional	Total	Sistemas Controlados	Pesquerías Acuiculturales
Total	1,745,424	283,625	146,782	136,843
Camarón	196,289	130,201	130,201	-
Mojarra	74,874	71,018	3,789	67,229
Ostión	44,452	42,148	2,881	39,267
Carpa	28,017	24,157	570	23,588
Atún	91,075	2,923	2,923	-
Trucha	6,878	4,917	4,698	219
Bagre	5,520	3,041	970	2,071
Lobina	1,495	1,221	1	1,220
Charal	2,542	2,338	-	2,338
Langostino	3,047	24	9	15
Otras	1,291,234	1,638	742	896

Fuente: CONAPESCA (2008).

En el litoral del Golfo de México y Mar Caribe se obtuvo el 22.3 % (63,238 t) de total producido por acuicultura en nuestro país. El Estado de Tamaulipas ocupa el tercer lugar en cuanto a producción, con 6,590 t, principalmente con el cultivo de mojarra (64 %), camarón (27.1 %) y bagre (7.1 %) (Cuadro 8) (CONAPESCA, 2008). Sin embargo, la actividad acuícola ha experimentado problemas en la producción debido al deterioro de la calidad del agua, producto de la contaminación y la destrucción de hábitats naturales; esto ha traído como consecuencia la aparición y dispersión de numerosas enfermedades, que han influido en el rendimiento de esta industria (Treece, 2000).

Cuadro 8. Participación de la acuicultura en el volumen de la producción pesquera nacional, peso vivo según litoral y volumen.

Litoral y entidad	Producción nacional	Producción acuicultura	Participación acuicultura (%)
Total Nacional	1,745,424	283,625	16.25
Litoral del Pacífico	1,477,245	185,554	12.56
Baja California	117,768	4,636	3.94
Baja California Sur	185,903	3,513	1.89
Sonora	743,680	82,800	11.13
Sinaloa	296,750	45,917	15.47
Nayarit	26,644	11,202	42.04
Jalisco	21,761	11,707	53.8
Colima	22,858	1,126	4.93
Michoacán	20,901	17,284	82.69
Guerrero	7,486	1,882	25.15
Oaxaca	8,450	777	9.2
Chiapas	25,045	4,710	18.81
Litoral del Golfo y Caribe	233,333	63,238	27.1
Tamaulipas	41,297	6,590	15.96
Veracruz	81,157	34,338	42.31
Tabasco	45,544	20,800	45.67
Campeche	37,606	1,186	3.15
Yucatán	23,933	270	1.13
Quintana Roo	3,794	53	1.41
Entidades sin Litoral	34,846	34,832	99.96
Aguascalientes	521	521	100
Coahuila	942	942	100
Chihuahua	734	734	100
Durango	3,868	3,868	100
Guanajuato	3,003	3,003	100
Hidalgo	6,434	6,420	99.79
México	9,897	9,897	100
Morelos	678	678	100
Nuevo León	110	110	100
Puebla	5,332	5,332	100
Querétaro	503	503	100
San Luis Potosí	369	369	100
Tlaxcala	414	414	100
Zacatecas	2,040	2,040	100

Fuente: CONAPESCA (2008).

En la Figura 5 se muestran las diferentes etapas de operación de una granja de tilapia, de acuerdo al Manual de Buenas Prácticas de Producción Acuícola (MBPPATIA. 2008). Aunque en la mayoría de las granjas su sistema de producción esté organizado de tal manera, no indica que las granjas operen bajo ese esquema. Para cada etapa del proceso existe una metodología explícita en los Manuales de Buenas Prácticas de Producción Acuícola. Sin embargo, muchos productores tienen sus propios métodos de cultivo, que han perfeccionado con la experiencia y la vinculación.

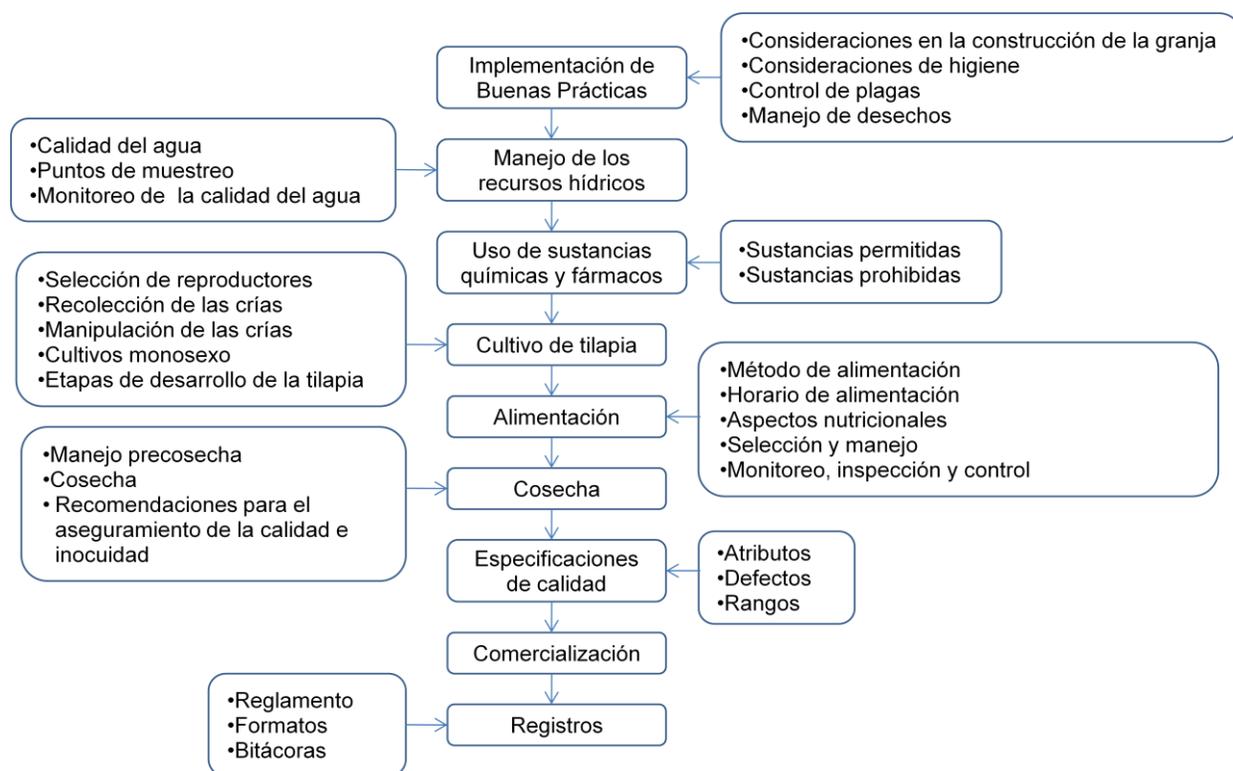


Figura 5. Diagrama de flujo general de producción de tilapia.

3.7. Actitud sobre la preservación de la calidad del agua del río Jamapa

De acuerdo con Yáñez y Pulido (2006), el ser humano, por motivos económicos o de supervivencia, utiliza los recursos del medio, en la mayoría de los casos de manera irracional, ocasionando daños importantes o irreparables al ambiente; así, el deterioro en las cuencas baja y media de los ríos se debe principalmente a la actividad humana que se desarrolla en sus márgenes.

El problema de la contaminación del agua es complejo debido a las diversas fuentes que la generan. Yáñez y Pulido (2006) señalan que el deterioro producido en las partes medias y bajas de las cuencas hidrográficas es causado por intervención antrópica. Asimismo, Beaumont (2000) menciona que la explotación indiscriminada de los recursos naturales y la contaminación producida durante la transformación y consumo de tales recursos, llevan a la pérdida de la biodiversidad y a la subsecuente ruptura del equilibrio ecológico. Por otra parte, Beaumont señala que prácticas locales sostenibles derivadas de la valoración particular de los recursos naturales por parte de grupos o comunidades que interactúan con el, pueden ser la diferencia entre un uso racional de los recursos o la degradación del medio.

Los malos hábitos, la falta de conocimiento y la carencia de cultura hacia el cuidado de los recursos naturales por parte de la población, han agravado los problemas de contaminación de los cuerpos de agua. En este sentido, Moreno *et al.* (2005) señalan que la actitud indiferente del ser humano sobre el medio ambiente es una de las causas de los actuales problemas de contaminación ambiental.

Con los problemas actuales de contaminación ambiental y la degradación subsecuente de los recursos naturales, surge en los últimos años la necesidad de incluir al ser humano en el análisis de los ecosistemas (o agroecosistemas), ya que se ha reconocido a éste como un elemento esencial para comprender la complejidad de los problemas ambientales, así como para encontrar alternativas que mejoren la salud del ecosistema y la calidad de vida del mismo ser humano (Castillo *et al.*, 2005; Lang-Ovalle *et al.*, 2007).

Las escalas para medir actitudes ambientales son una herramienta importante para medir sentimientos y creencias relativamente constantes de los individuos sobre la conservación del ambiente (Aragonés y Américo, 1991). Aunque la conducta (o comportamiento) de las personas es influenciada por un conjunto de factores, ésta es formada en parte por actitudes hacia el ambiente, que a su vez es influenciado por el conocimiento y información (Lichtenberg y Zimmerman, 1999). Kaiser *et al.* (1999)

señalaron que el conocimiento ambiental y los valores ambientales, son la base de las medidas de actitud en la psicología ambiental, normalmente usados para predecir el comportamiento ecológico.

Quintana *et al.* (2000) puntualizan que existen diversos tipos de pensamientos y sentimientos, los cuales están modulados por nuestros conocimientos, creencias, actitudes y valores que determinan nuestro comportamiento. Además, los autores mencionan que los conocimientos proceden a menudo de la experiencia, pero también de la información proporcionada por nuestros padres, maestros, amigos, etc. En tanto, las actitudes muestran gustos y aversiones, proceden de nuestras experiencias o de las personas próximas a nosotros, y se basan en una experiencia limitada, por lo que en ocasiones adoptamos actitudes sin comprender todos los aspectos de una situación dada.

3.7.1. Escala tipo Likert

Las escalas son instrumentos de medición que frecuentemente son utilizadas para la medición de actitudes. La escala de medición de actitudes analiza los pensamientos y sentimientos de la persona hacia hechos específicos. Las actitudes pueden medirse a través de diversos tipos de escalas entre las que destacan la escala de actitudes tipo Likert (Zdravomislov, 2009).

La escala tipo Likert es un instrumento estructurado de recolección de datos primarios, el cual consta de un conjunto organizado de enunciados relacionados a la variable que se quiere medir, y que son presentados a los sujetos de investigación en forma de un continuo de aprobación-desaprobación para medir su reacción ante cada afirmación. Las respuestas obtenidas son ponderadas en términos de la intensidad en el grado de acuerdo o desacuerdo con la afirmación, y esa estimación le otorga al sujeto una puntuación por enunciado y una puntuación total que permite precisar en mayor o menor grado la variable bajo estudio (Blanco y Alvarado, 2005). Una de las ventajas del uso de la escala tipo Likert, es la amplia aceptación y facilidad de elaboración,

pertinencia para la medición de datos subjetivos, posibilidad de que los resultados obtenidos pueden ser complementados con la aplicación de otros instrumentos de recolección de datos, así como confiabilidad de la técnica Likert para construcción de escalas, en comparación con otras técnicas (Blanco y Alvarado, 2005).

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Un área importante de investigación, desde una perspectiva sistémica, es identificar si el problema de la calidad del agua del cauce de la cuenca baja del río Jamapa, se debe a los efluentes que se descargan en ésta zona, y si hay una relación entre la calidad del agua de los efluentes e influentes de las granjas acuícolas que allí operan. Además, con la participación ciudadana (Ramos, 2001), se busca conocer la actitud sobre la preservación de la calidad del agua por parte de los ciudadanos que viven en el margen de este cauce, ya que lo anterior es esencial para entender la complejidad de los problemas ambientales que ocurren en el afluente.

En el presente estudio se plantean las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿Cuál es la calidad del agua del cauce de la cuenca baja del río Jamapa, en sitios que reciben efluentes, de acuerdo a parámetros de calidad de la NOM-001-SEMARNAT-1996?
2. ¿Qué relación existe entre la calidad del agua de los influentes y efluentes de las granjas acuícolas de tilapia que operan en el cauce del río Jamapa?
3. ¿Cuál es la actitud de los pobladores aledaños al cauce de la cuenca baja del río Jamapa, sobre la preservación de la calidad del agua, a través de género, edad, escolaridad y tiempo de residencia en la zona?

5. HIPÓTESIS

5.1. General

La calidad del agua del cauce de la cuenca baja del río Jamapa, está determinada por los efluentes que recibe, y se relaciona con los influentes de las granjas acuícolas que ahí operan; ante tal problemática, los pobladores aledaños al cauce muestran una actitud positiva sobre la preservación de la calidad del agua del río.

5.2. Particulares

1. La calidad del agua del cauce de la cuenca baja del río Jamapa, en sitios que reciben efluentes, es aceptable y se encuentra dentro de los límites de calidad de la Norma NOM-SEMARNAT-001.

2. Existe relación entre la calidad del agua de influentes y efluentes de las granjas acuícolas que operan en el cauce del río, y presentan diferencias entre ellas.

3. La actitud de los pobladores aledaños a la zona de estudio, sobre la preservación de la calidad del agua es positiva, y no muestra diferencias significativas en las variables, género, edad, escolaridad y tiempo de residencia en la zona.

6. OBJETIVOS

6.1. General

Determinar la calidad del agua del cauce de la cuenca baja del río Jamapa, en sitios donde se reciben efluentes, y comparar su relación entre influentes y efluentes de las granjas acuícolas, así como la actitud de los pobladores aledaños sobre la preservación de la calidad del agua.

6.2. Particulares

1. Determinar la calidad del agua en efluentes del cauce de la cuenca baja del río Jamapa, de acuerdo a parámetros de calidad de la NOM-001-SEMARNAT-1996.
2. Comparar la calidad del agua de influentes y efluentes de las granjas acuícolas de tilapia que operan en el cauce del río Jamapa.
3. Conocer la actitud y aspectos demográficos de los pobladores aledaños a la zona de estudio, sobre el problema de la calidad del agua del río Jamapa.

7. MARCO DE REFERENCIA

7.1. Estado de Veracruz

El Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave se ubica en el sureste de la república mexicana, a lo largo de la costa del Golfo de México, entre los 22°28´ y 17°09´ de latitud norte, y 93°36´ y 98°39´ de longitud oeste (Figura 6). Con sus 71,820 kilómetros cuadrados de extensión, representa el 3.7 % de la superficie total del país, por lo que ocupa el onceavo lugar a nivel nacional. Sus límites territoriales son al norte con Tamaulipas, al este con el Golfo de México, al sureste con Tabasco y Chiapas, al sur y suroeste con Oaxaca, al oeste con Puebla y al noroeste con los Estados de San Luis Potosí e Hidalgo (Enciclopedia de los Municipios de México, 2005).



Figura 6. Estado de Veracruz.

7.2. Regiones fisiográficas

El Estado de Veracruz abarca áreas que corresponden a siete provincias o regiones fisiográficas del país, las cuales son las siguientes (INEGI, 2008): Llanura Costera del Golfo Norte, Sierra Madre Oriental, Eje Neovolcánico, Sierra Madre del Sur, Llanura Costera del Golfo Sur, Cordillera Centroamericana y Sierras de Chiapas y Guatemala.

La región fisiográfica Provincia de la Llanura Costera del Golfo Sur, se caracteriza por la presencia de aluviones por parte de los ríos, los más caudalosos del país, que la atraviesan para desembocar en el sector sur del Golfo de México. Las subprovincias que la componen son la Llanura Costera Veracruzana, las Llanuras y Pantanos Tabasqueños, y la Discontinuidad Fisiográfica de la Sierra de los Tuxtlas. La primera subprovincia, donde se ubica la zona de estudio, en su mayor parte se localiza dentro del territorio veracruzano, y es la que ocupa mayor extensión, con 27.001,17 km², que representan el 37.29 % de la superficie total estatal. A su vez, La Llanura Costera Veracruzana se divide en tres grandes regiones: los sistemas de lomeríos del oeste, la

llanura costera aluvial propiamente y los sistemas de lomeríos del sur y sureste (INEGI, 2008).

En la cuenca baja del río Jamapa predominan procesos de depósito de arenas, que se intercalan con la formación de campos de dunas que corren transversales y/o paralelos a la línea de costa y se internan tierra adentro. El relieve se clasifica como de llanuras y lomeríos bajos pertenecientes a la subprovincia llanura Costera Veracruzana (CSVA, 2006).

Por otra parte, el Estado de Veracruz se encuentra dividido en 10 regiones principales denominadas: región Huasteca Alta, región Huasteca Baja, región Totonaca, región de Nautla, región Capital, región Sotavento, región de las Montañas, región del Papaloapan, región de los Tuxtlas y la región Olmeca. Bajo este contexto, la región donde se ubica la zona de estudio, la cuenca baja del río Jamapa, pertenece a la región Sotavento, a la que pertenecen los municipios de Boca del Río, Cotaxtla, Jamapa, La Antigua, Manlio Fabio Altamirano, Medellín, Paso de Ovejas, Puente Nacional, Soledad, Tlalixcoyan, Úrsulo Galván y Veracruz (COPLADEVER, 2005).

7.3. Recursos hídricos

La precipitación media anual en el Estado es de 1,484 mm, casi el doble del promedio nacional (772 mm). El escurrimiento superficial anual medio de 121 mil millones de m³, que representa el 33 % de todo el escurrimiento superficial del país (CSVA, 2006).

Los principales ríos del Estado, de Norte a Sur, son el Pánuco, Tuxpan, Cazones, Tecolutla, Nautla, Misantla, Actopan, La Antigua, Jamapa-Cotaxtla, Blanco, Papaloapan con sus afluentes San Juan y Tesechoacán, Coatzacoalcos con su afluente Uxpanapa, y el Tonalá. Las corrientes principales son complementadas en la hidrografía estatal por una gran cantidad de cuerpos de agua y pequeños cauces (CSVA, 2006).

Debido a los importantes escurrimientos en el Estado, el balance hídrico superficial resulta en una gran disponibilidad de agua (aún descontando sus diferentes usos); sin embargo, la disponibilidad anual se ve claramente limitada por variaciones temporales (variaciones durante las época del año) y espaciales (variaciones entre los sitios de aprovechamiento), además de estar severamente constreñida por la calidad de las aguas, que es deficiente en su mayoría (CSVA, 2006).

Región Hidrológica "Papaloapan". Esta región abarca gran parte de la porción centro-sur de Veracruz, las corrientes que la integran tienen una disposición radial y paralela, controlada por algunas elevaciones de la Sierra Madre Oriental y el Eje Neovolcánico (el Cofre de Perote y el Pico de Orizaba). Las cuencas que la conforman son: "Papaloapan" y "Jamapa" (INEGI, 2008).

La cuenca hidrológica Río Jamapa, tiene una superficie de aportación de 1,976.1 kilómetros cuadrados y se ubica en la parte Este del país, delimitada al Norte por la cuenca hidrológica Río La Antigua, al Sur con la cuenca hidrológica Río Cotaxtla, al Este con la cuenca hidrológica Jamapa-Cotaxtla, y al Oeste con la región hidrológica número 18 Balsas. El Volumen a la salida es de 405.45 millones de m³ (SEMARNAT, 2008).

7.4. Clima

Los climas predominantes en el Estado son: cálido subhúmedo y cálido húmedo, en la Llanura Costera del Golfo Norte y Sur, respectivamente. El clima templado húmedo prevale en las partes altas de las zonas montañosas y el clima templado, en las partes altas de la montaña. El clima seco y semiseco se encuentra en la región oeste del Estado; y finalmente, el clima muy frío se encuentra en las partes altas del Pico de Orizaba y Cofre de Perote (INEGI, 2008).

Los climas cálidos húmedos y subhúmedos propician el desarrollo de una gran variedad de cultivos tales como: cítricos, mango, café, arroz, piña, vainilla, plátano, caña de azúcar y maíz, entre otros (INEGI, 2008).

La temperatura media anual es de 23°C, la temperatura máxima promedio es de alrededor de 32°C y se presenta en los meses de abril y mayo; la temperatura mínima promedio es de 13°C y se presenta en el mes de enero (INEGI, 2008).

En la cuenca baja (0 - 400 msnm) del río Jamapa predomina una temperatura media anual de 24 a 26° C, sin embargo, en el extremo este se alcanzan hasta 28° C, la precipitación disminuye en sentido este a oeste de 1,500 a 1,000 mm anuales y la humedad relativa anual es de 80 % (CSVA, 2006).

7.5. Población y educación

De acuerdo al INEGI (2008), el Estado de Veracruz ocupó en el 2005 el tercer lugar a nivel nacional en cuanto a número de habitantes, con 7110,214 (51.9 % mujeres y 48.1 % hombres). El 61 % de la población reside en zonas urbanas, y el 39 % en zonas rurales. En el 2005, el municipio con mayor porcentaje de habitantes fue Veracruz (7.2 %), seguido de Xalapa (5.8 %) y Coatzacoalcos (3.9 %).

La población de los municipios aledaños al cauce de la cuenca baja del río Jamapa, considerados para la aplicación de la encuesta, son: Medellín 38,840 (48.5 % hombres y 51.5 % mujeres); Jamapa 9,772 (49.4 % hombres y 50.6) y Soledad 26,807 (49 % hombres y 51 mujeres).

En el Estado, existe un importante rezago educativo. En el 2005, el 13 % de la población total no tenía ningún grado de escolaridad (no saben leer ni escribir), mientras que el 20 % contaba con la primaria incompleta. El 10 % de la población completó la educación media superior y sólo el 8 % finalizó la educación profesional. La

tasa de analfabetismo en Medellín es de 9.7 %, en Jamapa de 10 % y en Soledad de 14.16 % (INEGI, 2008).

7.6. Economía

Las características geográficas de la entidad veracruzana permiten que se desarrollen actividades económicas correspondientes a los sectores primario, secundario y terciario (INEGI, 2008).

En el sector primario, la agricultura tiene gran relevancia a nivel estatal, ya que se cuenta con casi medio millón de unidades de producción, las cuales se asientan en 60 mil kilómetros cuadrados que se distribuyen de la manera siguiente: de labor, 52.5 %; de pastos naturales y agostaderos, 43.1 %; de bosque o selva, 2.9 % y sin vegetación, 1.5 %. Las actividades de labor corresponden al cultivo de maíz, caña de azúcar, cítricos, café, mango, arroz, plátano, piña, papa, vainilla, chayote, entre otros.

Así, la actividad industrial se concentra en los municipios de Coatzacoalcos, Minatitlán, Cosoleacaque, Poza Rica, Córdoba, Orizaba, Tuxpan y Veracruz. Existen además en la entidad veracruzana cinco parques industriales: Bruno Pagliai, Ixtac, y Petroquímico Morelos, así como los parques privados Córdoba – Amatlán y Parque 2000 en el puerto de Veracruz.

Un rubro muy importante a considerar en este sector es el de la petroquímica, ya que se cuenta con 22 plantas, siendo las de mayor relevancia la Cangrejera, Morelos, Poza Rica, Cosoleacaque, Pajaritos y la refinería de Minatitlán. Por último, el sector terciario corresponde al comercio, turismo y servicios, los cuales representan más del 60 % de la economía veracruzana.

La principal actividad económica del municipio de Medellín lo representa la agricultura de temporal (Pastos, 5,189 t; maíz: 2,120 t; tomate rojo: 56 t, chile verde: 46 t; sorgo: 44 t) y la ganadería extensiva de doble propósito (carne en canal. Bovinos: 1,315 t;

porcino: 705, gallináceas: 171 t). Asimismo, en el municipio se practica la pesca de subsistencia en los cuerpos de agua circunvecinos con artes de pesca artesanales. Además, en el cauce del río Jamapa se encuentran instaladas varias granjas acuícolas entre las que sobresalen La Rayana, Gualdras y Aquaguadalupe.

En Jamapa, los cultivos más importantes son: maíz (2624 t), pastos (2063 t), frijol (98 t) y grano de sorgo (54 t), principalmente; mientras que la producción pecuaria en canales: bovinos (376 t), porcino (186 t) y Gallináceas (114 t). En Soledad, los cultivos más importantes son: Maíz de grano (18,276 t), pastos (3,384 t), chile verde (150 t), frijol (91 t); de la producción animal: bovinos (955 t), porcino (400 t), gallináceas (196 t).

8. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se desarrolló en cuatro fases, es decir: diagnóstico de las fuentes puntuales de contaminación en el cauce de la cuenca baja del río Jamapa; determinación de los contaminantes del agua en los efluentes del río, de acuerdo a parámetros de calidad de la Norma Oficial Mexicana, NOM-001-SEMARNAT-1996; evaluación de la calidad del agua de influentes y efluentes de las granjas acuícolas de tilapia; y actitud de los pobladores aledaños a la zona de estudio sobre la preservación de la calidad del agua del río Jamapa. Antes de describir las fases incluidas en este capítulo se presentan los indicadores y variables de las hipótesis planteadas.

Operacionalización de hipótesis

El proceso de operacionalización consiste en simplificar las hipótesis en indicadores y variables que las constituyen, es decir, a los aspectos específicos de los fenómenos a investigar (Rojas-Soriano, 1995). Es por ello que en toda investigación es necesario definir y explicar lo que se estudia, a través de la identificación de las variables, ya que estas son las características o propiedades de la realidad que puede ser determinada

por observación y susceptibles de asumir diferentes valores (Latorre-Estrada, 1996). La operacionalización de las hipótesis de esta investigación se muestra en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Proceso de operacionalización de las hipótesis de investigación.

Indicador	Variable	Definición operacional	Variable N 2	Variable N 3	Medición
H1. Concentración de contaminantes químicos	Contaminantes químicos	Sustancias químicas ajenas a un equilibrio ambiental, que se presentan en el medio como un agente perturbador.	Metales pesados	Cadmio	mg.L ⁻¹
				Plomo	
				Cobre	
			Nitrógeno	Nitrógeno total	
	Sólidos	suspendidos			
			Grasas	-	
H1. Concentración de contaminates biológicos	Contaminantes biológicos	Microorganismos que pueden estar presentes en aguas residuales y que representan un riesgo para la salud humana, flora y fauna	Bacterias coliformes	Coliformes totales	NMP 100 mL ⁻¹
H2. Índice de contaminación	Influentes	Entrada de agua del río a las granjas	Variables de calidad del agua	Establecidas	Índice
	Efluentes	Descarga de agua de las granjas al río			
H3. Actitud de los pobladores hacia la preservación de la calidad del agua	Actitud	Predisposición aprendida para responder consistentemente de una manera favorable o desfavorable respecto a un objeto o sus símbolos	Enunciados sobre Calidad del agua	-	Escala Likert

H1: hipótesis 1; H2: hipótesis 2; H3: hipótesis 3.

8.1. Fase 1. Diagnóstico de las fuentes puntuales de contaminación en el cauce de la cuenca baja del río Jamapa

Como parte del desarrollo de esta etapa se realizó una revisión exhaustiva de la literatura existente y de interés relacionada con esta investigación. Con relación a la ubicación de los sitios de muestreo, se llevó a cabo un recorrido de prospección, por tierra y por agua (en vehículo y en lancha, respectivamente) en la zona de estudio, a fin de ubicar las fuentes puntuales de contaminación, conocidas como efluentes del río. Dentro de esta etapa se estableció una ruta y puntos de muestreo lo largo del cauce de la cuenca baja del río Jamapa. Los sitios de muestreo se identificaron y ubicaron geográficamente, mediante un sistema de posicionamiento global (GPS).

8.2. Fase 2. Determinación de los contaminantes del agua en los efluentes del río Jamapa

En los sitios seleccionados del río, se tomaron muestras de agua por triplicado para la determinación en laboratorio de cada uno de los contaminantes, esto son, metales pesados –Cadmio (Cd), Plomo (Pb) y Cobre (Cu)– Nitrógeno Total (NT), Grasas y Aceites (GyA), Sólidos Sedimentables (SSed), Suspendidos (SSusp) y Totales (STot), y Coliformes Totales (CT). Asimismo, se registraron *in situ* las variables de calidad del agua, Temperatura (T°C), Salinidad (USP), Oxígeno Disuelto (OD) y pH, con una sonda multiparámetros marca YSI. Los muestreos se realizaron cuatrimestralmente durante un año, cubriendo las tres épocas predominantes en la región, es decir, Estiaje, Lluvias y Nortes.

Las muestras se obtuvieron en frascos de plástico y vidrio, así como en bolsas de plástico estériles, de diferentes capacidades de acuerdo al parámetro bajo análisis. El número total de mediciones por parámetro de calidad, fue de 18, por época y sitio de muestreo, que dio un total de 4,212 datos.

Las muestras de agua obtenidas de cada uno de los sitios mencionados, se etiquetaron y mantuvieron en hielera a baja temperatura (4°C aproximadamente) para su transporte al laboratorio del ITBOCA, donde se preservaron de acuerdo a los métodos de prueba de las normas mexicanas para el análisis de cada uno de los contaminantes considerados en este estudio. En el Cuadro 10 se muestran los métodos de prueba utilizado para cada parámetro de calidad (los detalles se muestran en el Anexo 1).

Cuadro 10. Métodos de prueba de los parámetros de calidad del agua.

Parámetro	Referencia
Metales pesados	NMX-AA-051-SCFI-2001
Nitrógeno total	NMX-AA-026-SCFI-2001
Grasas y aceites	NMX-AA-005-SCFI-2000
Sólidos sedimentables	NMX-AA-004-SCFI-2000
Sólidos suspendidos y totales	NMX-AA-034-SCFI-2001
Coliformes Totales	Método de prueba Quanty-Tray de IDEXX

El análisis de todos los parámetros de calidad del agua se realizó en el laboratorio de Investigación de Recursos Acuáticos (LIRA), Área de Toxicología Acuática, del Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA).

8.3. Fase 3. Evaluación de la calidad del agua de influentes y efluentes de las granjas acuícolas de tilapia

Para lo anterior, se consideraron los parámetros de calidad del agua analizados en los influentes, es decir, el agua que entra a la granja, la cual se analizó antes de su ingreso a la misma. Estos influentes pueden entrar a las granjas a través de la toma de agua o cárcamo de bombeo. Los efluentes son las descargas de las granjas al río, las cuales fueron también analizadas para conocer las concentraciones de los parámetros de calidad del agua. La colecta de muestras de agua y el análisis de los contaminantes se realizó con base en los procedimientos antes descritos. Las granjas acuícolas localizadas en la zona de estudio y que se consideraron en este estudio fueron la Rayana, Gualdras y Aquaguadalupe; las dos primeras se abastecen de agua del río mediante bombeo, mientras que la granja Aquaguadalupe se abastece de agua de un pozo cercano a sus instalaciones. Las tres granjas acuícolas descargan sus efluentes directamente al río sin un tratamiento previo.

8.4. Fase 4. Actitud de los pobladores aledaños a la zona de estudio sobre la preservación de la calidad del agua del río Jamapa

Para conocer la actitud de la población aledaña a la zona de estudio hacia la preservación de la calidad del agua del río Jamapa, se diseñó un Instrumento de medición tipo escala Likert, constituido de 12 enunciados relativos a la preservación de la calidad del agua, el cual se aplicó a la población aledaña al cauce, a través de la técnica de la encuesta. Asimismo, en el instrumento se consideraron datos demográficos como edad, sexo, años de estudio y tiempo de residencia en la zona.

La encuesta se realizó en los municipios de Medellín, Jamapa y Soledad, en el Estado de Veracruz, por ser éstos los municipios donde se presentan los mayores problemas de contaminación del agua, debido a las descargas urbanas al afluente, sin un tratamiento previo. Los problemas de contaminación aguas arriba, afecta de manera directa a los usuarios del recurso hídrico agua abajo (el río Jamapa representa la principal fuente de suministro de agua en la red pública de muchos municipios, incluidos Boca del Río y Veracruz), en este caso, a las granjas acuícolas. Es por ello el interés de conocer la actitud de los ciudadanos que interactúan con el río, sobre la preservación de la calidad del agua de este importante cuerpo de agua.

Por lo anterior, los enunciados del instrumento se formularon sobre la actitud de los ciudadanos acerca de la calidad y abundancia del agua del río, presencia de especies acuáticas de pesca, presencia de plantas silvestres comestibles nativas de la región y fuentes de contaminación del río.

Cada enunciado se conformó de cinco posibles respuestas (categorías) las cuales van desde “totalmente de acuerdo” hasta “totalmente en desacuerdo” (Cuadro 11).

Cuadro 11. Categorías de la escala de actitud.

Categorías	Actitud	Puntuación
Totalmente en desacuerdo	Negativa	1
En desacuerdo	Ligeramente negativa	2
Indeciso	Neutral	3
De acuerdo	Ligeramente positiva	4
Totalmente de acuerdo	Positiva	5

Una versión preliminar del instrumento se aplicó en una prueba piloto a 15 habitantes de la comunidad El Tejar, Medellín, con el fin de detectar posibles fallas del instrumento durante la aplicación de la encuesta. Una vez corregido el cuestionario, se procedió con la aplicación de éste a un total de 108 personas mayores de 16 años de edad (a través de un muestreo no probabilístico) que viven junto al río, en los municipios de Medellín, Jamapa y Soledad.

8.5. Análisis estadístico

Con el propósito de explicar con alto nivel de confianza las concentraciones de los parámetros de calidad del agua obtenidos en este estudio, se realizaron análisis estadísticos paramétricos (ANOVA) y multivariados (Análisis de componentes principales, Análisis discriminante). Asimismo, se aplicó la prueba *t* de Student para encontrar diferencias significativas entre influentes y efluentes; así como análisis de correlación y los respectivos análisis descriptivos que expliquen los hechos relativos a la actitud.

9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El propósito de esta investigación fue determinar la calidad del agua del río Jamapa, en seis sitios ubicados en el cauce de su cuenca baja, tomando como referencia algunos parámetros de calidad de la NOM-001-SEMARNAT-1996. Además, se buscó evaluar la calidad del agua de influentes y efluentes de las granjas acuícolas, y por último, conocer la actitud de los pobladores que viven en la zona de estudio sobre la preservación de la calidad del agua del río.

En esta sección se presentan los resultados de este estudio en el siguiente orden: a) fuentes puntuales de contaminación en el cauce de la cuenca baja del río Jamapa, b) contaminantes del agua en los efluentes del río, c) Relación entre influentes y efluentes de las granjas acuícolas de tilapia, y d) Actitud de los pobladores aledaños a la zona de estudio sobre la preservación de la calidad del agua.

9.1. Fuentes puntuales de contaminación en el cauce de la cuenca baja del río Jamapa

En la zona de estudio se ubicaron seis sitios de muestreo, estos son: Dos Bocas 1, Dos Bocas 2, Rayana, Gualdras, Arroyo Moreno y Bocana. Estos sitios se consideraron

como efluentes al río, debido a escurrimientos o descargas de aguas de uso localizados en ellos. Las granjas acuícolas son “Rayana”, “Gualdras” y Aquaguadalupe (Figura 7).



Figura 7. Localización de los sitios de muestreo en el cauce de la cuenca baja del río Jamapa, Veracruz.

9.2. Contaminantes del agua en los efluentes del río

Las concentraciones medias y rangos (valores mínimos y máximos) del análisis de los parámetros de calidad del agua contemplados en este estudio, por sitio y época de muestreo se muestran en el Cuadro 12. Asimismo, en el Cuadro 13, se comparan los valores máximos registrados de cada variable, con los establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 y Ley Federal de Derechos (2009), para la protección de la vida acuática en cuerpos de agua que reciben efluentes de la actividad humana. Sólo en el caso del OD, en las normas se establece como mínimo una concentración de 5 mg L^{-1} .

De los contaminantes químicos, los tres metales pesados se encontraron en mayor concentración en el sitio Arroyo Moreno durante la época de Lluvias (Cu $30.4 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, Pb $17.6 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ y Cd $7.9 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$). Las concentraciones más bajas de Cd y Pb se registraron en la Rayana y las Gualdras (1.4 y $2.01 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), durante la época de Nortes, mientras el Cu ($1.1 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) lo fue en Dos Bocas 1, en Lluvias.

Al comparar los niveles máximos de los contaminantes químicos encontrados en este estudio con la normatividad vigente, se aprecia que la mayoría de éstos se encuentran dentro de los límites permisibles, con excepción de Cd ($7.9 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, equivalente a 0.0079 mg L^{-1}) que sobrepasa el límite establecido en la Ley Federal de Derechos (2009) – 0.004 mg L^{-1} –, para la protección de la vida acuática en ríos, cuyo límite máximo de los contaminantes deben corresponder a una muestra puntual tomada en la descarga en un día ordinario. En el caso de la NOM-001-SEMARNAT-1996, el límite establecido para Cd (0.1 mg L^{-1}) corresponde al valor medio mensual de dicho contaminante en los efluentes.

Las diferencias entre los valores máximos permisibles de los parámetros (principalmente los metales pesados) considerados en la NOM-001-SEMARNAT y la Ley Federal de Derechos, puede deberse a que en la primera, se considera el valor ponderado de cada parámetro en una muestra en función del caudal, de al menos dos muestras compuestas; mientras que en la segunda, los concesionarios del agua que realicen descargas en su fuente original o cualquier otro sitio autorizado para ello, deben cumplir los lineamientos de calidad del agua en una alícuota simple, tomada en un día normal de operación y representativa del proceso que genera la descarga de aguas residuales.

Cuadro 12. Concentración media y rango de los parámetros de calidad del agua de cada una de los sitios y épocas de muestreo.

Épocas	Contenido	Cd	Pb	Cu	NT	G y A	SSed	SSusp	STot	CT	Temperatura	Salinidad	OD	pH
Sitios de muestre		($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	($\text{m}\cdot\text{L}^{-1}$)	($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	($\text{NMP}100\text{m}\cdot\text{L}^{-1}$)	($^{\circ}\text{C}$)	(USP)	($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	
Estiaje														
Dos Bocas 1	Media	2.3	3.9	1.7	2.3	0.002	0.09	0.010	0.78	> 2419	28.2	0.4	6.5	7.7
	Rango	2.1 - 2.5	3.7 - 4.0	1.1 - 2.2	1.8 - 2.9	0.001 - 0.004	0.02 - 0.15	0.008 - 0.013	0.65 - 0.89	-	27.7 - 28.6	0.3 - 0.6	5.5 - 7.8	7.6 - 7.8
Dos Bocas 2	Media	2.2	5.5	2.4	2.1	0.003	0.07	0.008	0.97	> 2419	28.4	0.4	5.5	7.7
	Rango	2.1 - 2.4	5.1 - 5.8	1.5 - 3.2	1.0 - 3.7	0.001 - 0.005	0.02 - 0.11	0.003 - 0.013	0.86 - 1.25	-	27.7 - 28.9	0.3 - 0.6	5.0 - 6.0	7.6 - 7.8
La Rayana	Media	2.2	6.2	2.2	2.0	0.004	0.12	0.015	1.41	> 2419	28.6	0.6	6.5	7.5
	Rango	2.0 - 2.5	5.9 - 6.7	1.4 - 2.9	1.5 - 2.8	0.002 - 0.006	0.05 - 0.20	0.008 - 0.023	1.32 - 1.49	-	27.9 - 29.2	0.4 - 0.8	5.8 - 7.7	7.4 - 7.6
Las Gualdras	Media	2.2	6.0	2.9	1.8	0.004	0.15	0.013	3.56	> 2419	28.9	0.9	5.6	7.6
	Rango	2.0 - 2.4	5.0 - 7.1	2.1 - 3.4	0.9 - 2.5	0.002 - 0.006	0.10 - 0.20	0.007 - 0.022	1.66 - 5.59	-	28.0 - 29.6	0.5 - 1.2	5.3 - 6.0	7.6 - 7.7
Bocana	Media	3.2	12.2	3.0	2.4	0.004	0.13	0.013	17.43	> 2419	29.9	14.6	5.4	7.8
	Rango	1.7 - 3.7	10.8 - 13.4	2.4 - 3.4	1.8 - 3.5	0.002 - 0.007	0.10 - 0.20	0.010 - 0.015	12.67 - 22.77	-	28.9 - 30.8	13.3 - 15.9	4.9 - 5.8	7.8 - 7.9
Arroyo Moreno	Media	3.4	11.2	5.5	2.3	0.002	0.15	0.013	11.45	> 2419	31.6	10.7	3.2	7.4
	Rango	3.0 - 3.8	9.5 - 13.3	4.4 - 6.4	1.0 - 3.3	0.001 - 0.003	0.10 - 0.20	0.008 - 0.020	9.15 - 14.05	-	30.6 - 32.4	9.1 - 13.0	1.7 - 4.8	7.4 - 7.6
Lluvias														
Dos Bocas 1	Media	2.6	4.3	4.4	4.3	0.003	0.15	0.039	0.75	1557	30.2	0.3	6.5	7.5
	Rango	2.5 - 2.7	3.1 - 5.3	2.0 - 7.8	2.5 - 5.8	0.001 - 0.006	0.09 - 0.20	0.011 - 0.071	0.16 - 1.35	1311 - 1806	29.2 - 31.4	0.1 - 0.5	6.0 - 6.8	7.3 - 7.6
Dos Bocas 2	Media	2.5	4.1	5.8	6.0	0.004	0.15	0.031	0.51	1505	30.3	0.4	6.3	7.6
	Rango	2.3 - 2.7	2.4 - 5.6	3.9 - 8.1	4.1 - 7.7	0.002 - 0.006	0.07 - 0.25	0.009 - 0.063	0.19 - 0.87	1284 - 1615	29.5 - 31.4	0.2 - 0.5	5.6 - 6.7	7.5 - 7.8
La Rayana	Media	2.4	3.1	13.6	2.7	0.004	0.22	0.143	0.65	1330	30.4	0.4	5.4	7.5
	Rango	2.0 - 2.9	3.0 - 3.3	12.1 - 14.4	1.6 - 3.9	0.001 - 0.008	0.15 - 0.30	0.021 - 0.283	0.41 - 0.91	1062 - 1711	29.7 - 31.3	0.1 - 0.7	4.7 - 6.3	7.4 - 7.6
Las Gualdras	Media	2.5	4.2	13.2	2.4	0.004	0.18	0.196	1.11	1185	30.6	0.5	5.8	7.6
	Rango	1.9 - 3.2	2.2 - 5.7	10.7 - 14.5	1.4 - 3.4	0.001 - 0.007	0.10 - 0.30	0.005 - 0.400	0.50 - 1.77	990 - 1296	29.8 - 31.5	0.1 - 0.9	4.9 - 6.9	7.5 - 7.6
Bocana	Media	6.4	10.1	24.9	3.2	0.003	0.17	0.076	3.83	1289	31.7	9.5	6.0	7.6
	Rango	5.6 - 7.9	5.9 - 15.2	20.0 - 30.4	1.7 - 4.9	0.002 - 0.004	0.05 - 0.25	0.013 - 0.162	3.40 - 4.30	1055 - 1629	31.0 - 32.2	8.9 - 10.0	5.6 - 6.3	7.4 - 7.8
Arroyo Moreno	Media	4.1	16.4	25.5	3.5	0.003	0.24	0.082	0.99	1866	33.4	4.9	3.5	7.5
	Rango	3.8 - 4.8	15.0 - 17.6	20.9 - 29.3	1.0 - 6.0	0.002 - 0.005	0.10 - 0.60	0.022 - 0.154	0.80 - 1.19	1598 - 2275	32.8 - 33.8	4.3 - 5.7	3.1 - 4.0	7.3 - 7.7
Nortes														
Dos Bocas 1	Media	1.9	4.3	5.0	3.5	0.003	0.04	0.006	0.20	> 2419	24.6	0.2	5.6	8.0
	Rango	1.5 - 2.3	3.4 - 5.4	3.4 - 6.4	2.6 - 4.3	0.002 - 0.005	0.00 - 0.10	0.005 - 0.008	0.18 - 0.22	-	24.2 - 25.2	0.1 - 0.2	4.6 - 6.6	7.8 - 8.1
Dos Bocas 2	Media	1.8	3.4	8.0	5.7	0.002	0.08	0.006	0.18	> 2419	25.0	0.2	6.1	7.9
	Rango	1.6 - 1.9	2.4 - 4.3	7.0 - 9.5	4.9 - 6.6	0.001 - 0.004	0.00 - 0.60	0.005 - 0.008	0.16 - 0.20	-	24.3 - 25.9	0.1 - 0.3	5.3 - 6.8	7.8 - 8.0
La Rayana	Media	1.9	3.0	7.9	6.9	0.004	0.07	0.043	0.22	> 2419	24.8	0.2	5.9	8.0
	Rango	1.4 - 2.3	2.9 - 3.1	5.9 - 10.7	5.0 - 8.0	0.002 - 0.008	0.00 - 0.12	0.004 - 0.090	0.17 - 0.26	-	24.4 - 25.2	0.1 - 0.3	5.7 - 6.1	8.0 - 8.1
Las Gualdras	Media	2.4	3.5	8.3	4.0	0.003	0.22	0.114	0.59	> 2419	24.9	0.6	5.6	8.0
	Rango	2.1 - 2.6	2.0 - 4.6	7.0 - 9.7	2.6 - 5.6	0.001 - 0.005	0.05 - 0.59	0.094 - 0.150	0.47 - 0.70	-	24.5 - 25.8	0.4 - 0.7	5.3 - 5.9	7.9 - 8.1
Bocana	Media	5.6	12.6	19.2	7.3	0.003	0.19	0.093	5.79	> 2419	25.6	13.7	5.9	7.9
	Rango	5.3 - 5.8	10.0 - 15.1	14.7 - 23.2	5.4 - 8.4	0.002 - 0.005	0.10 - 0.35	0.062 - 0.132	4.70 - 6.80	-	24.1 - 27.5	11.5 - 16.3	5.6 - 6.1	7.6 - 8.2
Arroyo Moreno	Media	6.1	14.2	14.0	4.4	0.002	0.44	0.190	2.56	> 2419	27.1	6.8	3.5	7.7
	Rango	5.7 - 6.4	12.8 - 16.7	9.2 - 17.7	2.9 - 6.0	0.001 - 0.003	0.14 - 1.18	0.118 - 0.300	1.79 - 3.33	-	25.9 - 28.0	6.0 - 7.6	3.3 - 3.7	7.6 - 7.8

Cuadro 13. Comparación de los parámetros de calidad del agua de los sitios de muestreo del río (niveles máximos encontrados), con los establecidos en la legislación mexicana.

Parámetros de calidad ¹	NOM-001-SEMARNAT-1996 ²	Ley Federal de Derechos, 2009 ³	Valor máximo en el río
Cd	0.1	0.004	7.9 µgL ⁻¹
Pb	0.2	0.03	17.6 µgL ⁻¹
Cu	4.0	0.05	30.4 µgL ⁻¹
Nitrógeno Total	15	-	8.45
Sólidos sedimentables	1	-	1.18
Sólidos suspendidos	-	30	0.4
Sólidos totales	40	-	22.77
Grasas y Aceite	15	10	0.008
Coliformes Fecales ⁴	1,000	1,000	>2,419 ⁵
Temperatura (°C)	40	C.N. +1.5	33.8
Salinidad (USP ⁶)	-	-	16.3
Oxígeno disuelto	5 (mínimo)	5 (mínimo)	1.7 (mínimo)
pH	-	6.5-8.5	8.15

¹mg L⁻¹ excepto cuando se especifique; ²Límites máximos permisibles para la protección de la vida acuática en cuerpos de agua dulce, promedio mensual; ³Uso 3, protección a la vida acuática, valores representativos de un día normal de operación; ⁴(NMP 100 mL⁻¹); ⁵Coliformes Totales ⁶Unidad de Salinidad Práctica (g L⁻¹). C.N. condiciones naturales.

Lesven *et al.* (2008) encontraron niveles bajos de metales disueltos (Cd, 2.7; Cu, 130 y Pb, 230 µmol L⁻¹) en aguas del río Deûle, en el norte de Francia, mientras que los metales particulados se encontraron en concentraciones más altas, con niveles máximos de 158, 190 y 5.3 mg kg⁻¹ para Cd, Cu y Pb, respectivamente. De todos los metales que los autores analizaron, particularmente el Cd, Pb y Zn se vieron relacionados con importantes descargas de origen antropogénico. Asimismo, Diagonanolin *et al.* (2005) encontraron mayor concentración de Cu en agua del río Karoon, 0.5–28.7 µg L⁻¹ para primavera y 5.5–70.3 µg L⁻¹ en invierno, relacionándolas con fuentes de contaminación por desechos urbanos, agrícolas e industriales.

Respecto al NT, la mayor concentración se observó en la época de Nortes, en el sitio Bocana (8.44 mg L⁻¹), y el valor más bajo en Gualdras (0.9 mg L⁻¹), en Estiaje. Los altos niveles de NT encontrados las épocas de Lluvias y Nortes en todos los sitios de

muestreo, pueden ser debidos a mayores escurrimientos en Lluvias, y a la remoción de los sedimentos en Nortes. Rivas *et al.* (2005) determinaron los niveles de este contaminante en agua del Lago de Maracaibo, de los años 1996 a 1998, donde encontraron en promedio $1,55 \text{ mg L}^{-1}$ (rango $0,50\text{--}4,68 \text{ mg L}^{-1}$ NT), niveles principalmente atribuidos a los escurrimientos de las actividades antropogénicas que se realizan en la zona, los cuales se agravan por la deforestación, utilización de agroquímicos, entre otros, en las distintas subcuencas de la región.

Las GyA se encontraron en niveles muy bajos ($>0.008 \text{ mg L}^{-1}$) en todas las muestras analizadas. Con los sólidos, las concentraciones más altas de SSed (1.18 mg L^{-1}), SSusp (0.4 mg L^{-1}) y STot (22.77 mg L^{-1}) se encontraron en Arroyo Moreno en Nortes, Gualdras en Lluvias y Bocana en Estiaje, respectivamente. De igual forma, los altos niveles de sólidos en el sitio Arroyo Moreno se debe a la remoción de grandes cantidades de sedimentos de origen urbano depositados a través del canal de la Zamorana. Normalmente, en el estuario (sitios donde se ubican los sitios Arroyo Moreno y Bocana) las aguas son muy turbias debido a la confluencia del río con el mar, las descargas del Arroyo Moreno y los aportes del canal que conecta a la laguna de Mandinga. En Gualdras, los altos niveles de sólidos coincidieron con una reciente cosecha reciente de tilapia, durante la cual se descargan en los efluentes altas cantidades de sólidos.

Con relación a la contaminación por Coliformes Totales, éstos se encontraron en niveles superiores a $2,419 \text{ (NMP}\cdot\text{100 ml}^{-1}\text{)}$ en todos los sitios de muestreo, en las épocas de Estiaje y Nortes, mientras que en Lluvias, los niveles variaron $2,275$ a $990 \text{ NMP}\cdot\text{100 ml}^{-1}$, en los sitios Arroyo Moreno y Gualdras, respectivamente. Las altas concentraciones de CT registradas en el río, pueden ser debido a la remoción de sedimentos del fondo por los fuertes oleajes en la época de Nortes, y a la poca corriente de agua que prevalece en el afluente durante la época de Estiaje. Además, en el río Jamapa, diversas comunidades localizadas en su cauce descargan aguas residuales sin tratamiento previo o adecuado, como es el caso de Soledad, Medellín y Boca del Río.

En estudios microbiológicos realizados por Castañeda *et al.* (2005) en agua de diferentes lagunas del Estado de Veracruz, se encontraron altas concentraciones de Coliformes Totales y fecales, así como la presencia de *E. coli*, lo cual atribuyeron a las descargas de aguas residuales no tratadas de los asentamientos humanos irregulares establecidos en las periferias de los cuerpos de agua.

La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2009a) registró en el 2003, una concentración de 86,810 NMP 100 mL⁻¹ de Coliformes Fecales (CF) en agua del río Jamapa, mientras que en 2004, se encontraron 1,043 NMP100mL⁻¹ de CF; de acuerdo a la SEMARNAT (2009a), éstos datos reflejan solamente la calidad del agua en el sitio del río donde se localiza la estación de medición de la CNA (El Tejar, municipio de Medellín), y las fluctuaciones en los niveles de CF y otros parámetros de calidad, corresponden a las condiciones hidrometeorológicas prevalecientes en la zona al momento de la colecta de las muestras.

De los parámetros de calidad físico-químicos, la Ley Federal de Derechos establece para la Temperatura, un nivel de C.N. + 1.5, entendido como la temperatura media del agua de un sistema en condiciones ambientales naturales, más 1.5 °C como límite máximo permitido; la temperatura media del agua del río fue de 28.6 °C, y el máximo de 33.8 °C (diferencia de 5.2 °C), lo cual es mayor a dicho límite. Cabe mencionar que la temperatura más alta se registró en Arroyo Moreno durante la época de Lluvias, sitio influenciado por los efluentes de la CFE, cuya agua de uso es empleada principalmente para enfriar calderas. En cuanto al nivel mínimo de O.D., la normatividad indica un mínimo de 5 mg L⁻¹ en los efluentes, mientras que en el río, el mínimo registrado fue de 1.7 mg L⁻¹, en Arroyo Moreno, durante la época de Estiaje.

En el Cuadro 12 se mostró que en las tres épocas, Arroyo Moreno presentó siempre los niveles por debajo de los límites permisibles para O.D.; lo anterior se debe a que en este sitio se encuentran las concentraciones más altas de la mayoría de los parámetros químicos y biológicos analizados, por lo cual hay una mayor demanda O.D. para su oxidación. Los parámetros de calidad del agua, como T°C, USP, SSed, SSusp y STot,

se encontraron también en mayores concentraciones en los sitios Arroyo Moreno y Bocana en las tres épocas del año, mientras que al contrario, los niveles de OD presentaron los menores niveles. Álvarez *et al.* (2008) obtuvieron niveles bajos (de hasta 0 mg L^{-1}) de OD en el agua del río Tulancingo, así como también altas concentraciones de Coliformes Fecales de más de $24,000 \text{ NMP100ml}^{-1}$, por lo cual señalaron que dicho río se encuentra fuertemente impactado por la contaminación. Como se mencionó anteriormente, la baja concentración de OD se debe, entre otros factores, a la biodegradación de la materia orgánica y de muchos contaminantes presentes en el medio (Stanley, 2000).

Por otra parte, a fin de interpretar variaciones espaciales y temporales de un complejo número de variables de calidad del agua en diversos ecosistemas acuáticos en el mundo, muchos autores han utilizado técnicas estadísticas multivariadas, como análisis de componentes principales, análisis de factores y análisis discriminante (Singh *et al.*, 2004; Ayoko *et al.*, 2007; Shrestha and Kazama, 2007; Kazi *et al.*, 2009).

En este estudio, los contaminantes del río se analizaron a través de la técnica de Componentes Principales (ACP), por épocas de muestreo, con la cual se obtuvieron las correlaciones de las variables para el componente 1, con su respectiva varianza explicada (Autovalores) y proporción (porcentaje) respecto a los demás componentes. Las variables menos correlacionadas ($r < 0.5$) en las tres épocas fueron NT, GyA y CT (Cuadro 14), las cuales se omitieron para mayor precisión del análisis. Las correlaciones entre todas las variables de calidad del agua se muestran en el Anexo 2.

Las altas correlaciones positivas de los metales pesados, indican una fuerte asociación entre ellos. Asimismo, STot, Temp y Sal también mostraron correlación positiva; lo anterior señala que dichas variables tienen relación directa con los niveles de metales en el medio. De los parámetros que mostraron correlación negativa, sólo el O.D. presentó esta tendencia en las tres épocas, lo cual sugiere que los niveles de éste tienden a disminuir cuando las demás variables incrementan su concentración.

Cuadro 14. Correlaciones multivariadas de los parámetros de calidad del agua para el componente 1, de acuerdo a las épocas de muestreo.

Variables	Estiaje	Lluvias	Nortes
Cd	0.85	0.87	0.98
Pb	0.92	0.91	0.94
Cu	0.87	0.83	0.8
SSed	0.56	0.21	0.61
SSusp	0.31	-0.1	0.78
STot	0.91	0.7	0.88
Temp	0.93	0.88	0.75
Sal	0.92	0.96	0.93
O.D.	-0.76	-0.56	-0.7
pH	-0.26	-0.04	-0.76
Autovalores	5.91	4.82	6.71
Porcentaje	0.59	0.48	0.67

Además, con el ACP se obtuvieron las cargas factoriales (Índice) de cada variable, valores que se ordenaron de forma decreciente y se categorizaron en grupos de “Mayor” y “Menor” nivel de contaminación, con la técnica de Análisis Discriminante (AD). En la Figura 8 se muestran las tendencias del nivel de contaminación de acuerdo al Índice obtenido del ACP, por sitio de muestreo en la época de Estiaje. Valores altos y positivos del Índice de contaminación indican mayor nivel de contaminación, y valores bajo y negativos, menor nivel de contaminación.

El análisis de varianza mostró que existen diferencias significativas ($p < 0.001$) entre los grupos Mayor y Menor nivel de contaminación, en los sitios de muestreo de la época de Estiaje (Figura 9).

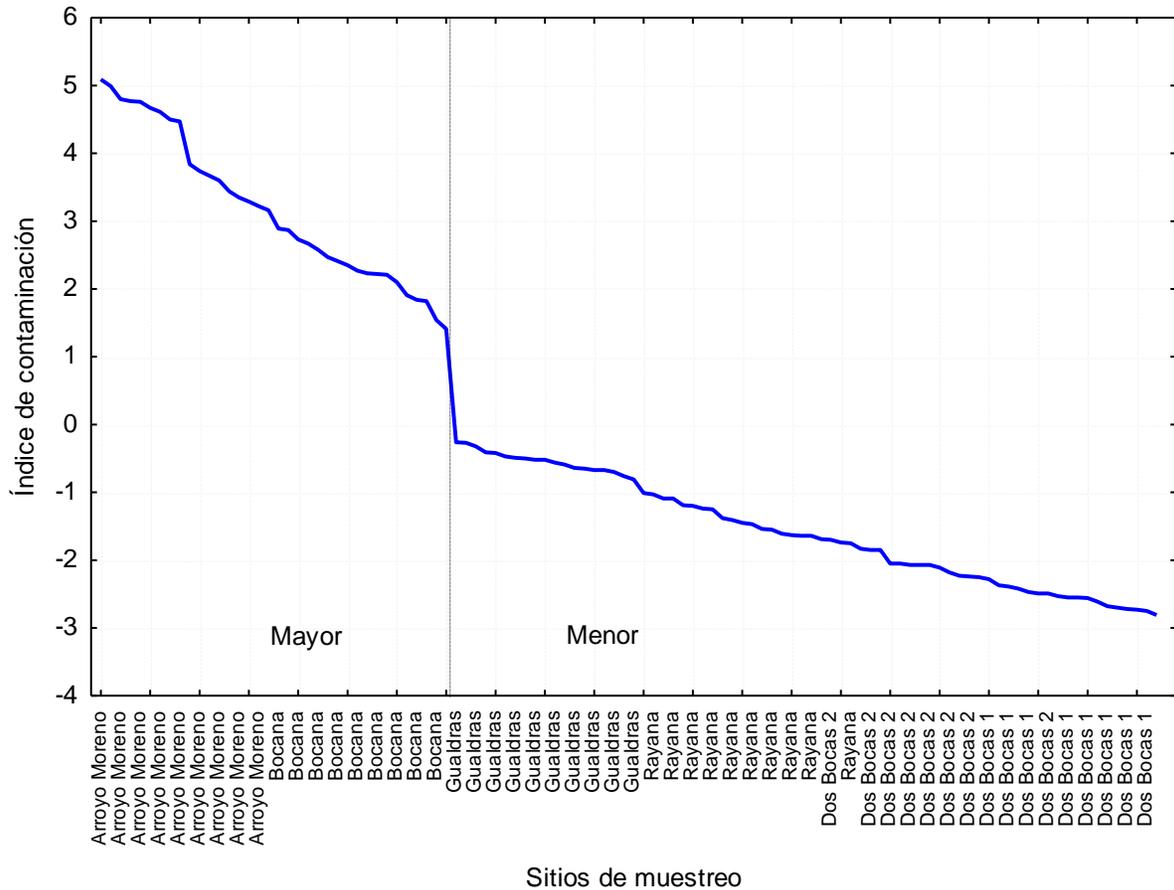


Figura 8. Clasificación de los sitios de muestreo en grupos Mayor y Menor nivel de contaminación, según el Índice obtenido del ACP. Época de Estiaje.

Asimismo, se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los valores medios del Índice de contaminación de cada sitio, por época de muestreo, como se muestra en el Cuadro 15. En Arroyo Moreno se encontraron los valores medios más altos del Índice en todos los sitios y épocas de muestreo; en cambio, Dos Bocas 1 presentó los valores medios más bajos de éste, seguido de Dos Bocas 2, Rayana y Guadras.

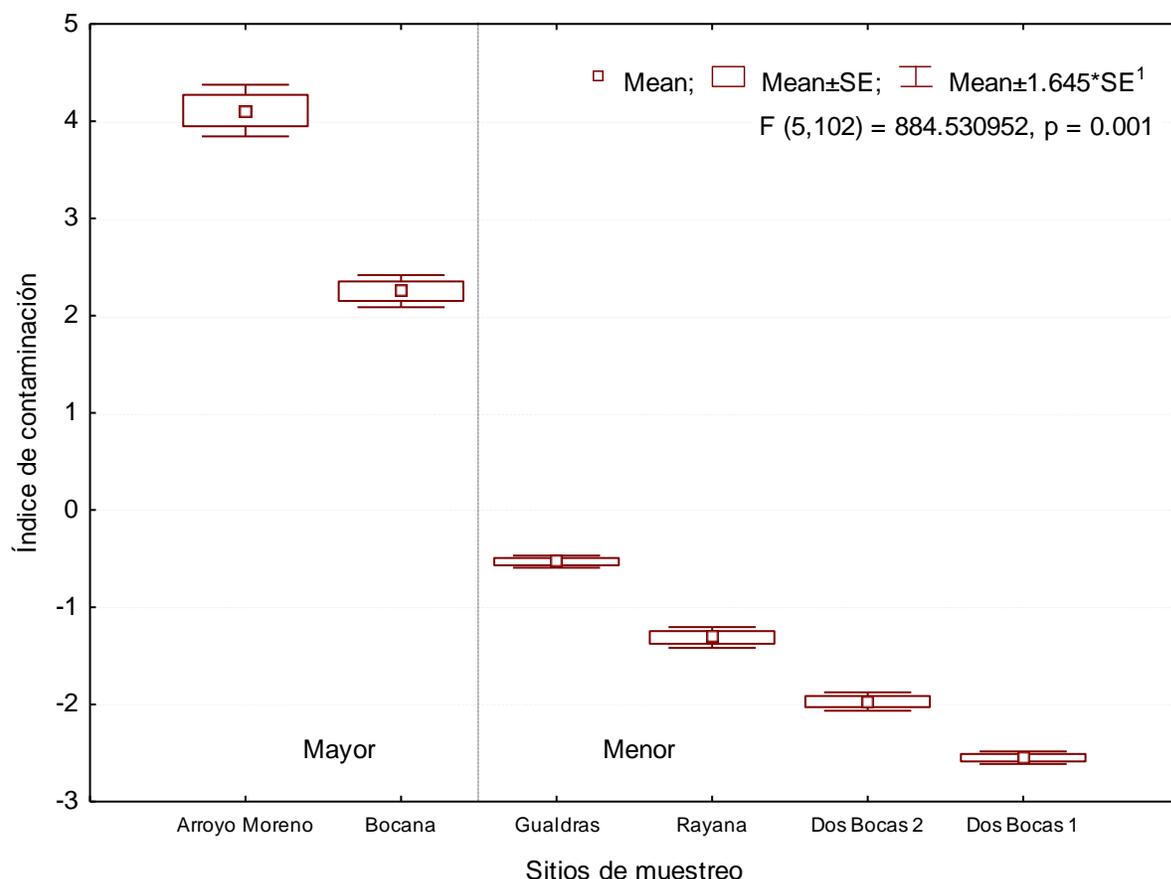


Figura 9. Diferencias significativas de los sitios de muestreo. ¹SE: error estándar. Época de Estiaje.

Cuadro 15. Valores medios del Índice de contaminación por sitio y época de muestreo.

Sitios	n	Grupo	Estiaje	Lluvias	Nortes
Arroyo Moreno	18	Mayor	4.11 a	3.1 a	4.27 a
Bocana	18	Mayor	2.25 b	2.87 a	2.78 b
Gualdras	18	Menor	-0.53 c	-0.96 b	-0.89 c
Rayana	18	Menor	-1.31 d	-1.22 b	-1.99 d
Dos Bocas 2	18	Menor	-1.97 e	-1.86 c	-2 d
Dos Bocas 1	18	Menor	-2.55 f	-1.93 c	-2.17 d

Medias con letras distintas en una misma hilera son estadísticamente diferentes (Tukey, $p < 0.05$).

En el Cuadro 16 se muestra la matriz de clasificación de casos obtenida del análisis discriminante, por sitios y épocas de muestreo, de acuerdo a los grupos Mayor y Menor nivel de contaminación. En las tres épocas se observan 72 casos para el grupo Menor, y 36 casos para el grupo Mayor, lo cual indica que el 66 % de éstos se encuentran

dentro del Índice de menor contaminación, y el resto en el Índice de mayor contaminación. En ese mismo sentido, los 36 casos del grupo Mayor nivel de contaminación corresponden a los sitios Arroyo Moreno y Bocana, con 18 cada uno. Lo anterior indica que estos dos sitios presentan los mayores niveles de contaminación respecto a los demás sitios de muestreo.

Cuadro 16. Matriz de clasificación de casos, por sitios y época de muestreo, para cada grupo.

Sitios	Estiaje		Lluvias		Nortes		Suma
	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor	
Dos Bocas 1	0	18	0	18	0	18	54
Dos Bocas 2	0	18	0	18	0	18	54
La Rayana	0	18	0	18	0	18	54
Gualdras	0	18	0	18	0	18	54
Bocana	18	0	18	0	18	0	54
Arroyo Moreno	18	0	18	0	18	0	54
Suma	36	72	36	72	36	72	324

Como se ha descrito, la mayoría de los parámetros de calidad del agua se encontraron dentro de la normatividad, con excepción del Cd, CT y O.D.; las dos primeras variables se encontraron por encima de los límites permitidos, mientras que el O.D. se mantuvo por debajo del nivel mínimo permisible en algunos sitios de muestreo. Además, se encontraron diferencias significativas entre los valores medios del Índice de contaminación obtenido de las variables de calidad del agua, entre los sitios de cada una de las épocas de muestreo. Con base en lo anterior, la primer hipótesis planteada: “la calidad del agua del cauce de la cuenca baja del río Jamapa, en sitios que reciben efluentes, es aceptable y se encuentra dentro de los límites de calidad de la Norma NOM-SEMARNAT-001”, SE RECHAZA.

9.3. Relación entre influentes y efluentes de las granjas acuícolas

Con el fin de conocer si existen diferencias significativas entre los efluentes e influentes de las granjas acuícolas de tilapia en el agroecosistema Granjas Acuícolas, se

evaluaron las concentraciones medias de cada variable de calidad del agua de cada grupo mediante la prueba *t* de Student. Para lo anterior, se tomó como referente los influentes como “Antes” y los efluentes como “Después”, para cada una de las granjas. En el Cuadro 17 se muestran las diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las concentraciones medias de las variable de calidad del agua entre Antes y Después, por sitios y épocas de muestreo.

Entre los parámetros de calidad de agua que presentaron diferencias significativas entre Antes y Después, fueron los metales pesados, con valores medios de estos elementos en mayor concentración en los efluentes con respecto a los influentes de las granjas acuícolas. Éstos resultados parecen indicar que existe aporte de estos metales al río por parte de las granjas; sin embargo, la presencia de metales en los efluentes, se debe a muchos factores, entre ellos, a la cinética que siguen algunos elementos en el ambiente, influenciada por las condiciones tales como los procesos redox, el pH, la salinidad y materia orgánica, así como las zonas de mezclas en los estuarios y resuspensión de los sedimentos del fondo (Liang y Wong, 2003; Hatje *et al.*, 2003).

Con respecto a los Sólidos Sedimentables, Suspendidos y Totales, también se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) de éstos entre Antes y Después, por sitio y época de muestreo. Las concentraciones medias más altas de dichas variables se encontraron en los efluentes de las granjas acuícolas, lo cual sugiere un aporte de sólidos al río por parte de éstas.

Cuadro 17. Prueba t para “Antes” y “Después” de las variables de calidad del agua, según granjas acuícolas y épocas de muestreo (muestras independientes).

Épocas / Variables	Aguaguadalupe				Gualdras				Rayana			
	Antes	Después	t	p	Antes	Después	t	p	Antes	Después	t	p
Estiaje												
Cd	1.16	1.48	-18.94	<0.001	1.17	1.16	0.31	0.759	1.17	1.17	0.42	0.677
Pb	1.94	2.50	-21.78	<0.001	1.98	1.94	1.75	0.092	1.87	1.98	-9.31	<0.001
Cu	1.35	1.86	-17.45	<0.001	1.15	1.35	-4.83	<0.001	1.21	1.15	1.35	0.185
NT	1.03	1.15	-1.6	0.120	1.10	1.03	1.55	0.130	1.09	1.10	-0.24	0.809
GyA	0.004	0.002	4.01	0.001	0.004	0.004	0.09	0.927	0.003	0.004	-1.56	0.128
SSed	0.14	0.14	0.12	0.906	0.11	0.14	-3	0.006	0.06	0.11	-4.11	0.003
SSusp	0.01	0.01	-0.25	0.808	0.01	0.01	1.16	0.253	0.008	0.014	-5.74	<0.001
STot	1.43	2.51	-9.44	<0.001	0.88	1.43	-5.15	0.001	0.68	0.88	-13.27	<0.001
CT	7.79	7.79	-0.33	0.743	7.79	7.79	1.3	0.202	7.79	7.79	-0.35	0.725
Temp	3.40	3.48	-16.11	<0.001	3.39	3.40	-1.55	0.129	3.38	3.39	-1.88	0.068
Sal	0.61	2.45	-41.59	<0.001	0.46	0.61	-3.69	0.001	0.33	0.46	-4.13	0.001
O.D.	1.89	1.40	7.16	<0.001	2.01	1.89	4.85	0.001	1.87	2.01	-5.5	<0.001
pH	2.15	2.13	10.7	<0.001	2.14	2.15	-3.49	0.002	2.16	2.14	7.48	<0.001
Lluvias												
Cd	1.25	1.62	-16.46	<0.001	1.22	1.25	-0.93	0.359	1.24	1.22	0.97	0.342
Pb	1.63	2.86	-20.9	<0.001	1.42	1.63	-3.61	0.002	1.60	1.42	3.37	0.004
Cu	2.65	3.27	-17.1	<0.001	2.68	2.65	1.3	0.205	1.89	2.68	-13.4	<0.001
NT	1.18	1.39	-1.51	0.145	1.28	1.18	1.3	0.203	1.93	1.28	10.1	<0.001
GyA	0.004	0.003	1.07	0.292	0.004	0.004	0.62	0.537	0.004	0.004	-0.74	0.464
SSed	0.17	0.21	-1.67	0.107	0.20	0.17	2.27	0.031	0.14	0.20	-4.78	<0.001
SSusp	0.17	0.08	2.18	0.042	0.13	0.17	-0.82	0.420	0.03	0.13	-3.8	0.001
STot	0.70	0.68	0.21	0.836	0.49	0.70	-2.63	0.015	0.39	0.49	-1.55	0.131
CT	7.08	7.53	-14.49	<0.001	7.18	7.08	2.88	0.008	7.32	7.18	3.6	0.002
Temp	3.45	3.54	-19.53	<0.001	3.45	3.45	-0.85	0.400	3.44	3.45	-0.7	0.491
Sal	0.40	1.77	-24.07	<0.001	0.29	0.40	-1.5	0.144	0.32	0.29	0.51	0.618
O.D.	1.91	1.51	15.41	<0.001	1.85	1.91	-2	0.054	1.99	1.85	6.27	<0.001
pH	2.15	2.14	3.57	0.002	2.14	2.15	-3.23	0.004	2.15	2.14	4.14	0.001
Nortes												
Cd	1.22	1.96	-60.67	<0.001	1.05	1.22	-7.16	<0.001	1.03	1.05	-1.36	0.188
Pb	1.50	2.72	-27.08	<0.001	1.38	1.50	-2.7	0.015	1.46	1.38	1.98	0.064
Cu	2.22	2.69	-8.4	<0.001	2.18	2.22	-0.99	0.332	2.19	2.18	0.3	0.763
NT	1.59	1.67	-1.14	0.264	2.05	1.59	8.2	<0.001	1.90	2.05	-4.16	0.001
GyA	0.003	0.002	1.38	0.180	0.004	0.003	2.15	0.039	0.002	0.004	-3.4	0.003
SSed	0.19	0.34	-2.48	0.018	0.07	0.19	-3.59	0.002	0.07	0.07	0.14	0.888
SSusp	0.11	0.17	-4.95	0.001	0.04	0.11	-6.89	<0.001	0.01	0.04	-3.92	0.001
STot	0.46	1.25	-15.07	<0.001	0.20	0.46	-14.44	<0.001	0.16	0.20	-4.43	0.001
CT	7.79	7.79	-0.43	0.672	7.79	7.79	1.43	0.161	7.79	7.79	-0.71	0.480
Temp	3.26	3.33	-10.88	<0.001	3.25	3.26	-1.54	0.132	3.26	3.25	1.51	0.144
Sal	0.44	2.05	-70.61	<0.001	0.19	0.44	-11.66	<0.001	0.19	0.19	-0.01	0.994
O.D.	1.89	1.50	43.43	<0.001	1.93	1.89	4.88	<0.001	1.96	1.93	2.43	0.024
pH	2.20	2.16	19.67	<0.001	2.20	2.20	1.35	0.191	2.19	2.20	-4.52	0.001

[†]Valores medios normalizados. Diferencias significativas a $p < 0.05$.

De las variables de calidad del agua que presentaron diferencias significativas entre Antes y Después, con excepción del O.D., en Aquaguadalupe 20 de ellas presentaron mayores niveles en el Efluente y cinco en el Influyente, en Gualdras 14 en el Efluente y cuatro en el Influyente, y en La Rayana 13 en el Efluente y cinco en el Influyente. Lo anterior indica, como ya se señaló, que existe una menor concentración de contaminantes en los influentes de las granjas respecto a sus efluentes.

Con base en los resultados obtenidos de la prueba *t* de Student, se encontraron diferencias significativas en los niveles medios de las variables de calidad del agua entre Antes y Después. Por lo anterior, la segunda hipótesis: “existe relación entre la calidad del agua de influentes y efluentes de las granjas acuícolas que operan en el cauce del río, y presentan diferencias entre ellas”. SE ACEPTA esta hipótesis.

9.4. Actitud de los pobladores aledaños a la zona de estudio sobre la preservación de la calidad del agua

9.4.1. Información demográfica de los participantes

De las 108 entrevistas que se aplicaron, una se descartó por falsedad en la información. Los datos de la encuesta muestran que el 30.8 % fueron hombres y 69.2 % mujeres (Cuadro 18).

Cuadro 18. Número de personas encuestada por sexo, según municipios.

Sexo	Medellín	Jamapa	Soledad	Total
H	13	6	14	33
M	22	30	22	74
Total	35	36	36	107

La edad de los encuestados varió de 16 a 81 años. El grupo de edad dominante fue el de 31-40 años, con el 25,2 % de los participantes, seguidos de los grupos de 51-60 años y 41-50, con 21.5 y 16.8 %, respectivamente. Jamapa y Medellín tuvieron el mayor porcentaje de los participantes (30.6 y 22.9 %) en el rango 51-60 de edad,

mientras que en Soledad lo fue el grupo de 31-40 años con el 25.2 %. Asimismo, en Medellín no hubo participantes del grupo 16-20 años de edad, pero sí participó una persona de 81 años, que representó el 2.9 % de los entrevistados (Figura 10).

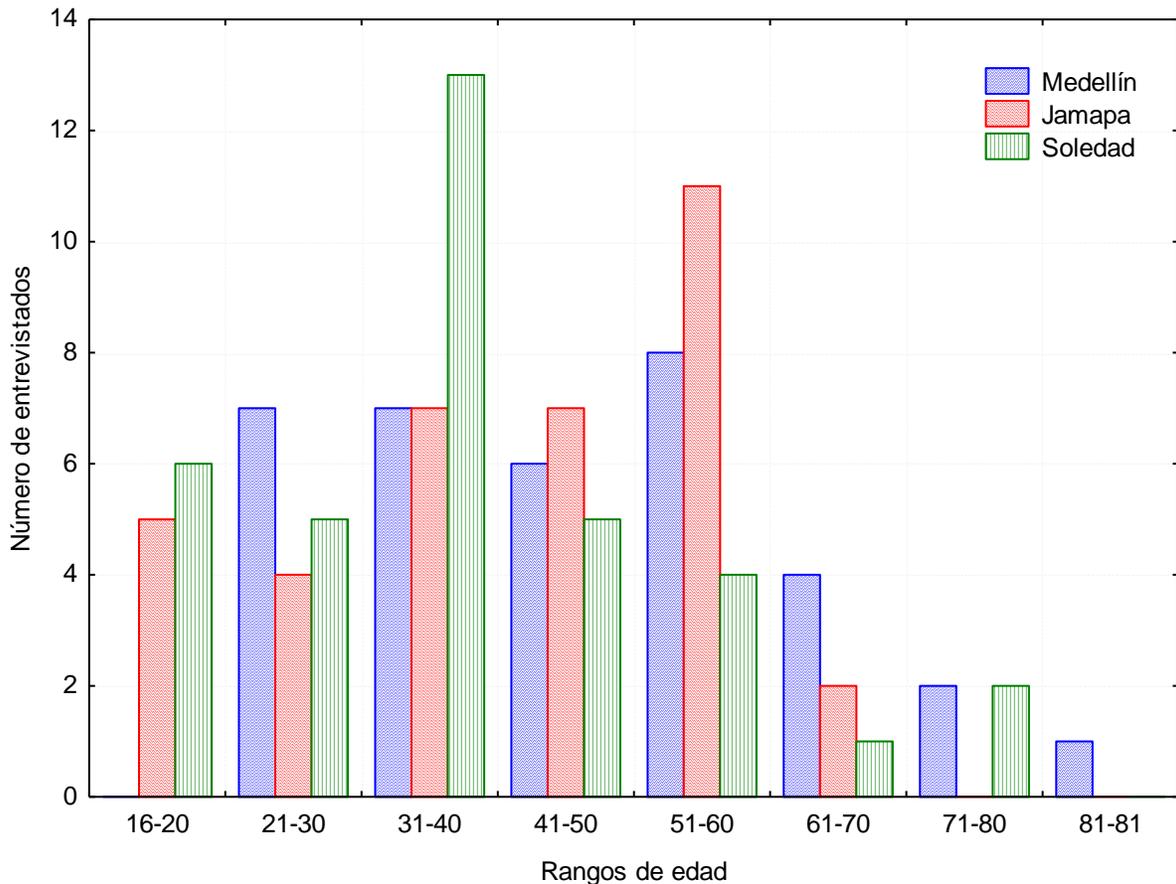


Figura 10. Edades de los entrevistados, por municipio.

En cuanto al grado de escolaridad del total de los encuestados, los porcentajes más altos de años de estudio se encontraron en los rangos de 4-6 y 7-9, con el 28.9 % y 20.6 %, los cuales corresponden a los niveles de primaria y secundaria, respectivamente. A nivel municipal, Soledad presentó el mayor porcentaje de los encuestados con 0 (cero) años de estudio (11.1 %), y el menor nivel educativo, con 5.6 % en el rango de 10-12 años como máximo, respecto a los otros municipios. En Medellín, el 22.9 % de los entrevistados se encontró en los rangos 4-6, 7-9 y 10-12 años de estudio, así como el mayor rango de escolaridad (8.6 %) en el grupo de 16-18 años de estudio (Figura 11).

El municipio de Soledad es el más alejado del centro de desarrollo urbano, que corresponde a la zona conurbada Veracruz-Boca del Río-Medellín, seguido de Jamapa. Medellín está conurbado con el polo de desarrollo (hay más escuelas y universidades en la zona conurbada), y es más fácil para la población tener acceso al estudio por la cercanía, el menor tiempo de traslado y la disponibilidad de transporte.

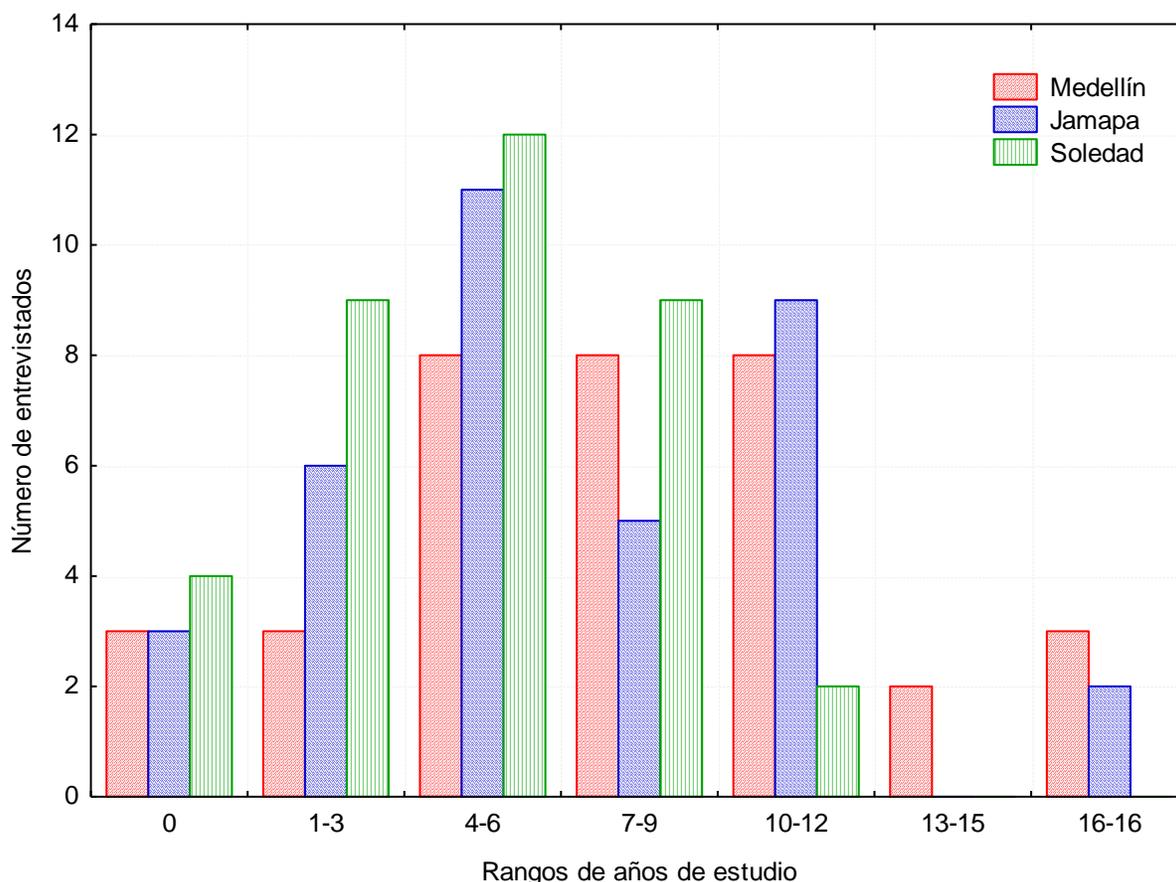


Figura 11. Años de estudio de la población entrevistada, por municipios.

Al analizar el tiempo de residencia de los encuestados en la zona de estudio, se aprecia un mayor porcentaje de tiempo de residencia (38.9 %) en el rango de 0-10 años en el municipio de Soledad, mientras que en Jamapa fue de 25 % para los rangos 11-20, 21-30 y 31-40, y en Medellín de 20 % en el rango 41-50 años de residencia. Asimismo, en Medellín se encontró con participantes que tienen el mayor tiempo de habitar en la zona, con 11.4 % de los entrevistados, en el rango de 61-70 años de

residencia; en cambio, en Soledad, sólo el 2.8 % de los encuestados tienen un tiempo de residencia en el rango de 41-50 años (Figura 12).

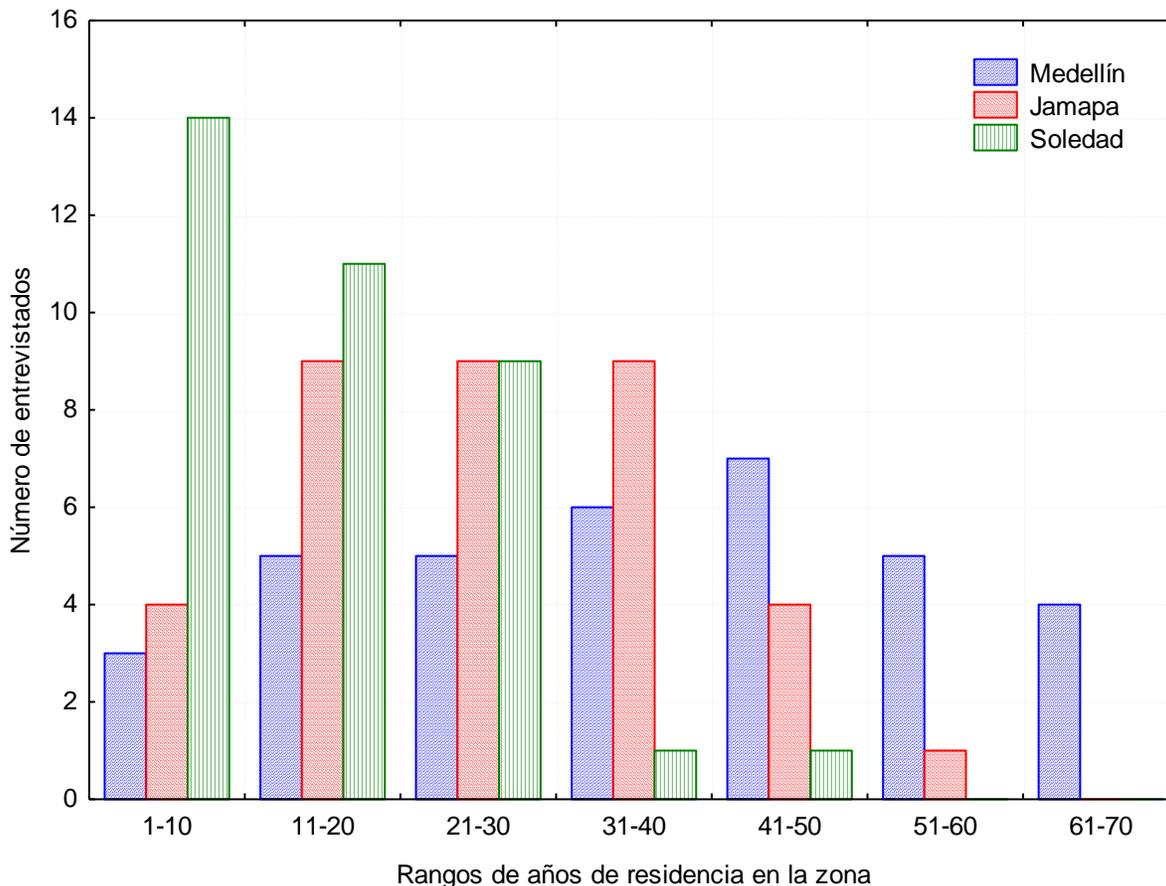


Figura 12. Años de residencia en la zona de estudio, por municipio.

9.4.2. Actitud relacionada con la calidad del agua

En el Cuadro 19 se muestran los valores de actitud (Índice de la Escala Likert) de los encuestados sobre los enunciados de calidad del agua el río Jamapa. El Índice total cercano a “5” señala totalmente de acuerdo (Actitud favorable o positiva) con el enunciado que se trate, mientras que los valores cercanos a “1” indican totalmente en desacuerdo (Actitud desfavorable o negativa). Los detalles completos de todos los enunciados se muestran en el Anexo 3.

Cuadro 19. Valores del Índice de actitud Likert.

Enunciados sobre calidad del agua.	Medellín		Jamapa		Soledad	
	IL ¹	S ³	IL	S ³	IL	S ³
1. El agua del río Jamapa está siempre limpia	2.1	0.8	2.1	0.6	2.1	0.5
2. Las familias de la región pueden bañarse en el río Jamapa con confianza	2.2	0.7	2.5	0.9	2.7	1.0
3. Hay suficiente agua en el río Jamapa para el desarrollo de mi región	2.5	1.0	2.7	1.0	2.6	1.0
4. En el río Jamapa hay lisa todo el año	2.9	1.0	2.3	0.5	2.5	0.6
5. En el río Jamapa hay camarón todo el año	2.8	1.0	3.4	0.9	3.5	0.9
6. En el río Jamapa hay mojarra todo el año	3.8	0.7	3.4	0.9	3.9	0.4
7. La hierbamora es una planta que crece siempre en el río	3.2	1.0	3.3	0.9	3.8	0.6
8. El tomatillo es una planta que crece siempre en el río	3.0	1.0	3.3	0.8	3.5	0.8
9. El quelite es una planta que crece siempre en el río	3.1	1.0	2.9	1.0	3.5	0.9
10. En la agricultura de la región se manejan bien los fertilizantes y se mantiene el río sano	2.9	1.0	3.0	0.9	3.2	0.9
11. Las granjas de peces en el río Jamapa se manejan de manera limpia para el cuidado del ambiente	3.3	0.9	3.4	0.7	2.8	0.9
12. El drenaje de mi comunidad se maneja de manera limpia para el cuidado del río Jamapa	2.3	0.9	2.7	0.9	2.1	0.8
ILG ²	2.8	1.0	2.8	1.0	3.0	1.0

¹IL: Índice Likert; ²ILG: Índice Likert General; ³S: desviación estándar.

De acuerdo al ILG, los encuestados de los municipios de Medellín y Jamapa mostraron una actitud ligeramente negativa sobre la preservación de la calidad del agua del río Jamapa, mientras que los de Soledad tuvieron una actitud neutra o indecisa. Con relación a los enunciados sobre disponibilidad y calidad del agua del río Jamapa, la afirmación “El agua del río Jamapa está siempre limpia”, recibió la calificación más baja de la escala de actitud (IL), con el mayor porcentaje de participantes “En desacuerdo” (Medellín: 71.4 %; Jamapa: 83.3 %; Soledad: 88.9 %) (Cuadro 20). Lo mismo ocurrió ante la afirmación “Las familias de la región pueden bañarse en el río Jamapa con confianza” Asimismo, en el enunciado “Hay suficiente agua en el río Jamapa para el desarrollo de mi región”, los entrevistados mostraron de igual forma una actitud ligeramente negativa. Por lo anterior, los encuestados de los tres municipios perciben que el agua de río Jamapa no es de buena calidad, y que el afluente no tiene suficiente agua para soportar el desarrollo de la región.

Cuadro 20. Porcentajes de la escala de actitud para cada enunciado.

Categorías	Número de enunciados ¹											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Medellín												
Totalmente en desacuerdo	14.3	5.7	5.7	5.7	2.9	0	0	2.9	0	5.7	2.9	14.3
En desacuerdo	71.4	82.9	65.7	34.3	51.4	11.4	34.3	37.1	37.1	37.1	20	60
Indeciso	0	0	0	25.7	11.4	2.9	17.1	20	14.3	22.9	20	8.6
De acuerdo	14.3	11.4	28.6	34.3	31.4	82.9	42.9	37.1	45.7	34.3	57.1	17.1
Totalmente de acuerdo	0	0	0	0	2.9	2.9	5.7	2.9	2.9	0	0	0
Jamapa												
Totalmente en desacuerdo	8.3	2.8	0	2.8	0	0	0	0	0	0	0	2.8
En desacuerdo	83.3	69.4	63.9	66.7	30.6	30.6	30.6	22.2	52.8	38.9	11.1	50
Indeciso	2.8	0	0	30.6	0	0	13.9	25	5.6	19.4	33.3	19.4
De acuerdo	5.6	27.8	36.1	0	69.4	69.4	52.8	52.8	41.7	41.7	55.6	27.8
Totalmente de acuerdo	0	0	0	0	0	0	2.8	0	0	0	0	0
Soledad												
Totalmente en desacuerdo	5.6	2.8	2.8	2.8	0	0	0	0	0	0	2.8	13.9
En desacuerdo	88.9	63.9	66.7	50	25	2.8	8.3	19.4	25	33.3	38.9	72.2
Indeciso	0	0	0	44.4	2.8	2.8	2.8	13.9	2.8	11.1	30.6	5.6
De acuerdo	5.6	30.6	30.6	2.8	72.2	94.4	88.9	63.9	69.4	55.6	27.8	5.6
Totalmente de acuerdo	0	2.8	0	0	0	0	0	2.8	2.8	0	0	2.8

¹Los números corresponden a los enunciados mostrados en el Cuadro 19.

Con respecto a los enunciados sobre la presencia de peces y crustáceos sujetos a pesquería artesanal, sólo ante la afirmación “En el río Jamapa hay lisa todo el años” los encuestados mostraron una actitud ligeramente negativa, mientras que para los enunciados 5 y 6 (ver cuadro 19) se encontró una actitud ligeramente positiva, con excepción de Medellín, donde los participantes perciben que no hay camarón todo el año en el río Jamapa. Posiblemente la sobrepesca de las especies, aunado a los problemas de contaminación del agua del río Jamapa, sean las causas de la ausencia o disminución de lisas y camarones. En el caso de las mojarra, estas especies son muy resistentes a condiciones de baja calidad del agua, por lo cual, su presencia en el cauce del río Jamapa es notoria.

En los enunciados relativos a la presencia de plantas comestibles en las cercanías del cauce del río Jamapa (afirmaciones 7, 8 y 9, del Cuadro 19), los encuestados mostraron en general una actitud ligeramente positiva. Solamente en Jamapa no se percibe que “El quelite es una planta que crece siempre en el río”.

En cuanto a las afirmaciones sobre las fuentes de contaminación del río Jamapa, se mostró una actitud ligeramente negativa por parte de los entrevistados de los tres municipios hacia el enunciado “El drenaje de mi comunidad se maneja de manera limpia para el cuidado del río Jamapa”, lo cual sugiere que los participantes perciben que los drenajes de su comunidad no se manejan de manera limpia y representan una fuente de contaminación al río. A la afirmación “En la agricultura de la región se manejan bien los fertilizantes y se mantiene el río sano”, en Jamapa y Soledad los encuestados mostraron actitud ligeramente positiva, mientras que en Medellín, la actitud por parte de los participantes fue ligeramente negativa. La actitud positiva de los entrevistados a este enunciado puede deberse a que en su región, prácticamente los terrenos agrícolas cercanos al afluente son usados como potreros, y no perciben que esta actividad tenga efectos negativos en el río.

Asimismo, ante el enunciado “Las granjas de peces en el río Jamapa se manejan de manera limpia para el cuidado del ambiente”, los encuestados de Medellín y Jamapa mostraron actitudes favorables sobre dicha afirmación (en Medellín 57.1 y Jamapa 55.6 % De acuerdo), lo cual indica que en estos municipios, no se percibe que la actividad acuícola afecte la calidad del agua del afluente. Además, las granjas acuícolas y algunas jaulas instaladas en el cauce del río Jamapa, se ubican en zonas comprendidas entre ambos municipios, por lo cual la actividad acuícola es más conocida por la población, respecto a las zonas ubicadas aguas arriba, donde se ubica el municipio de Soledad (donde los mayores porcentajes se ubicaron En desacuerdo, con 38.9 % e Indeciso, con 30.6 %), donde la acuicultura no está desarrollada.

De acuerdo con los resultados obtenidos del análisis de correlación r de Pearson, se encontró una ligera correlación positiva ($r = 0.2295$; $p < 0.017$) entre las variables Edad e

Índice Likert. Esto es, que los entrevistados de mayor edad muestran una actitud más positiva, con respecto a los de menor edad (Figura 13).

Respecto a correlación entre los años de estudio y el Índice Likert, se encontró una ligera tendencia negativa ($r = -0.2815$; $p < 0.003$) entre ambas variables (Figura 14), lo cual sugiere que a mayor escolaridad, la actitud de los encuestados residentes en el cauce de la cuenca Baja del río Jamapa tiende a ser negativa.

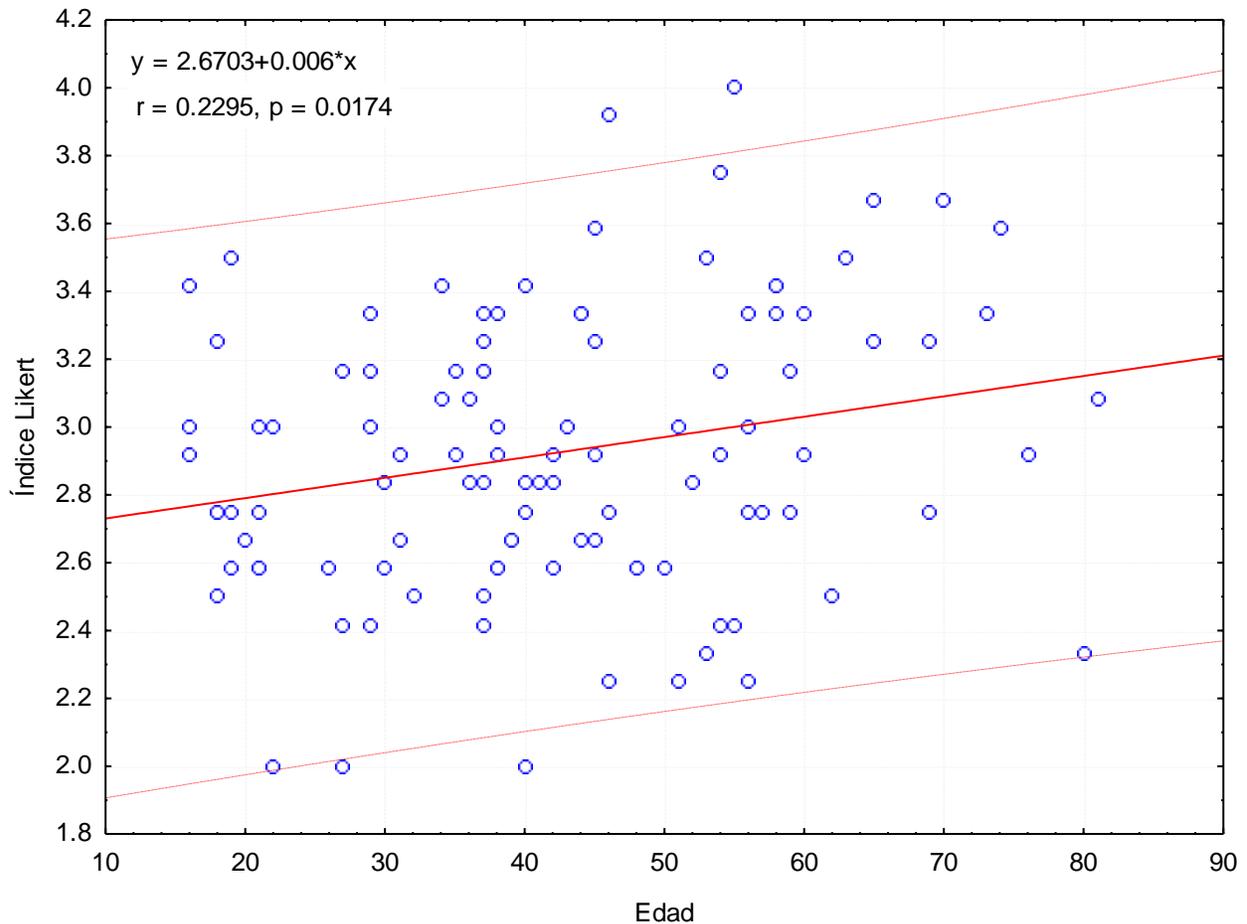


Figura 13. Correlación entre las variables Edad e Índice Likert.

Lo anterior tiene sentido si se considera que los encuestados de menor edad tienen, en la mayoría de los casos, más años de estudios con respecto a los adultos de mayor edad. Esto es, los encuestados con más años de estudio tienen otra percepción respecto a la calidad del agua del río Jamapa, percepción que es adquirida por la

enseñanza sobre estos temas de contaminación en los niveles de secundaria, medio superior, superior y postgrado.

Lichtenberg y Zimmerman (1999) mencionan que si bien la conducta (o comportamiento) de las personas es influenciada por un conjunto de factores, ésta es formada en parte por actitudes hacia el ambiente, que a su vez es influenciado por el conocimiento y la información. Asimismo, Kaiser *et al.* (1999) señalaron que el conocimiento ambiental y los valores ambientales, son datos importantes utilizados para predecir el comportamiento ecológico. Quintana *et al.* (2000) puntualizan que existen diversos tipos de pensamientos y sentimientos, los cuales están modulados por nuestros conocimientos, creencias, actitudes y valores que determinan nuestro comportamiento.

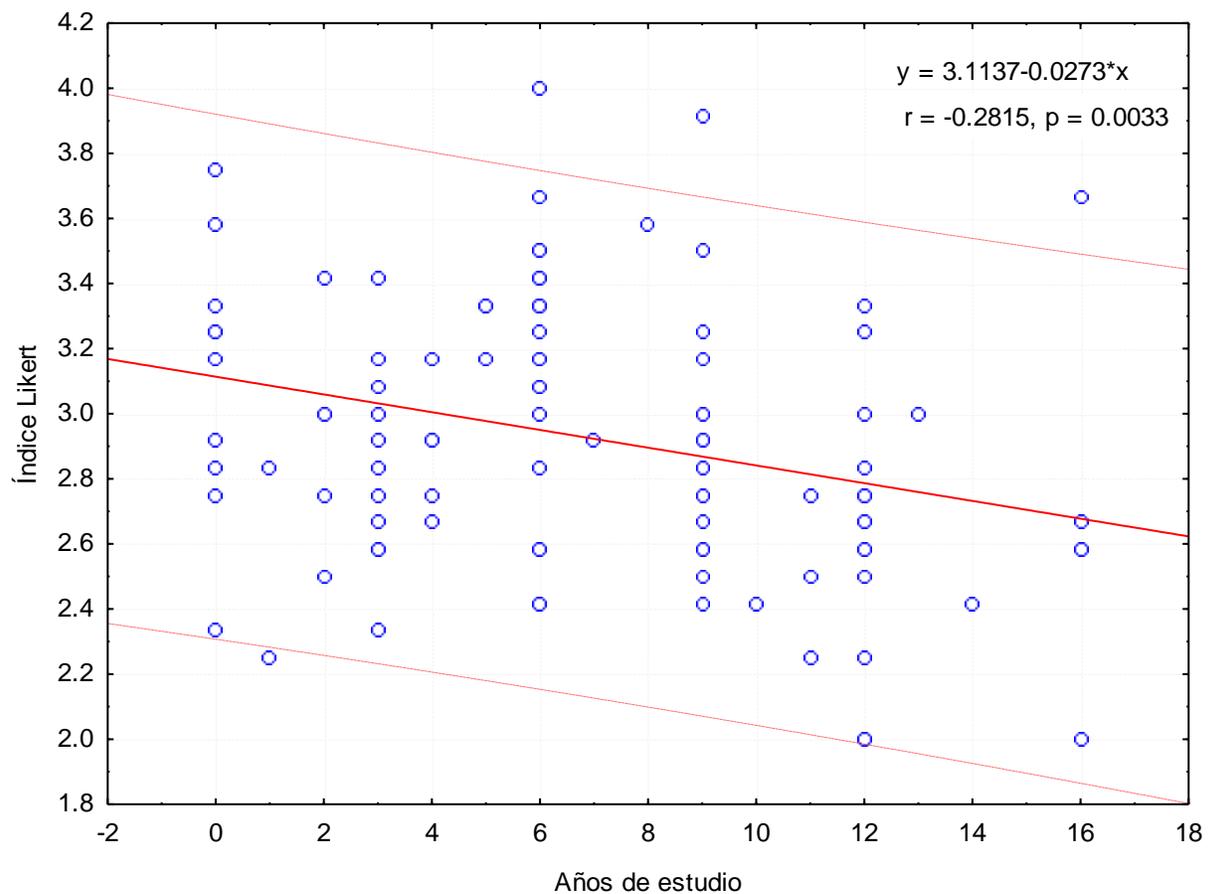


Figura 14. Correlación entre las variables Años de estudio e Índice Likert.

De acuerdo con Aragonés y Américo (1991), entre las variables sociodemográficas, el nivel de educación está muy relacionado con la preocupación ambiental, es decir, cuanto más baja la escala de actitud y mayor el nivel de educación por parte de los entrevistados, mayor es la preocupación ambiental manifestada por los sujetos en la escala. Asimismo, Pendleton *et al.* (2001) mencionan que la experiencia de las personas influye de cómo ellos perciben la calidad ambiental. Además, el estar familiarizado o tener información acerca de la calidad del ambiente, interactúa con los atributos personales lo que afecta las percepciones.

Al analizar las variables demográficas por sexo, se encontró una ligera correlación positiva ($r = 0.2317$; $p < 0.047$) entre la edad de las mujeres y el Índice Likert, como se muestra en la Figura 15, lo cual indica que para este género, a mayor edad, mayor actitud hacia la preservación de la calidad del agua.

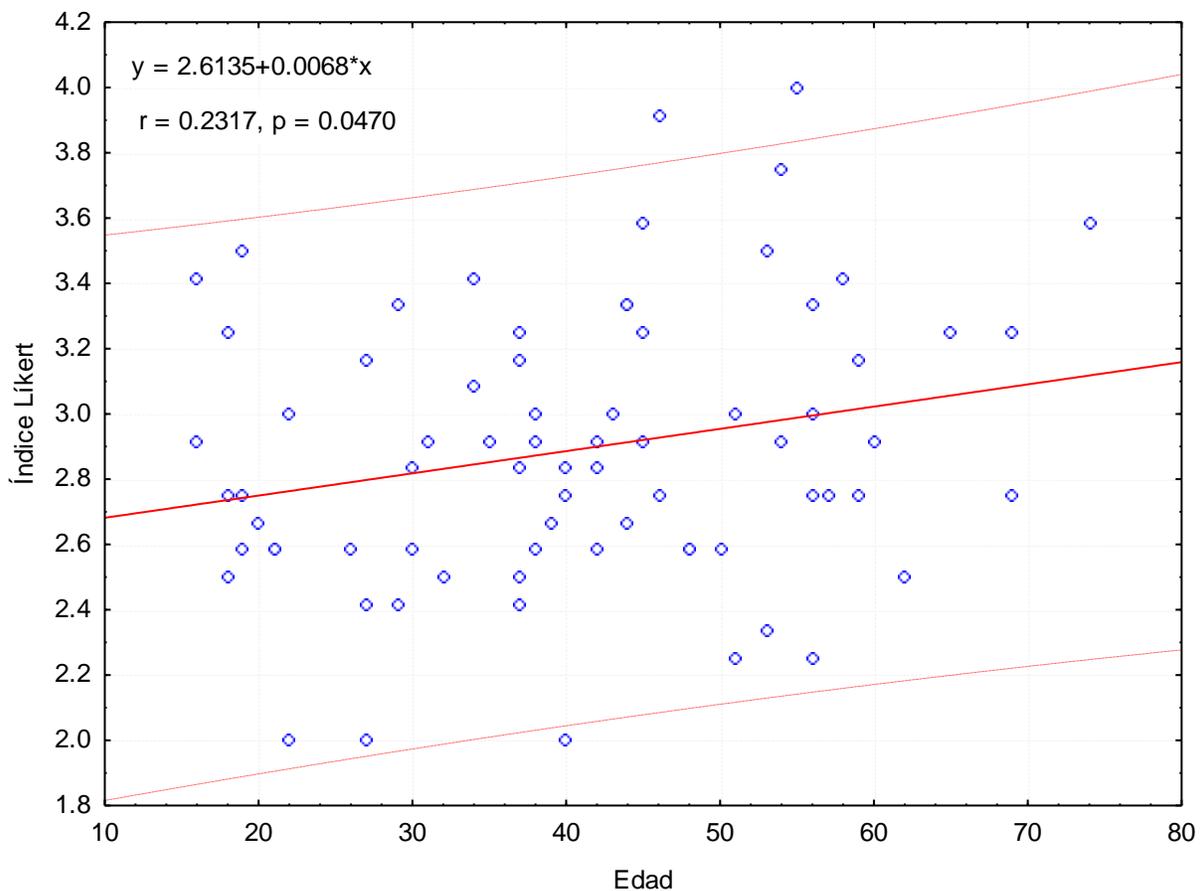


Figura 15. Correlación entre las variables Edad e Índice Likert, según mujeres.

Asimismo, con las variables Años de estudio e Índice Likert, se encontró una tendencia negativa ($r = -0.3546$; $p < 0.0019$) (Figura 16), lo que muestra una actitud negativa sobre la preservación de la calidad del agua, a mayor escolaridad de las entrevistadas.

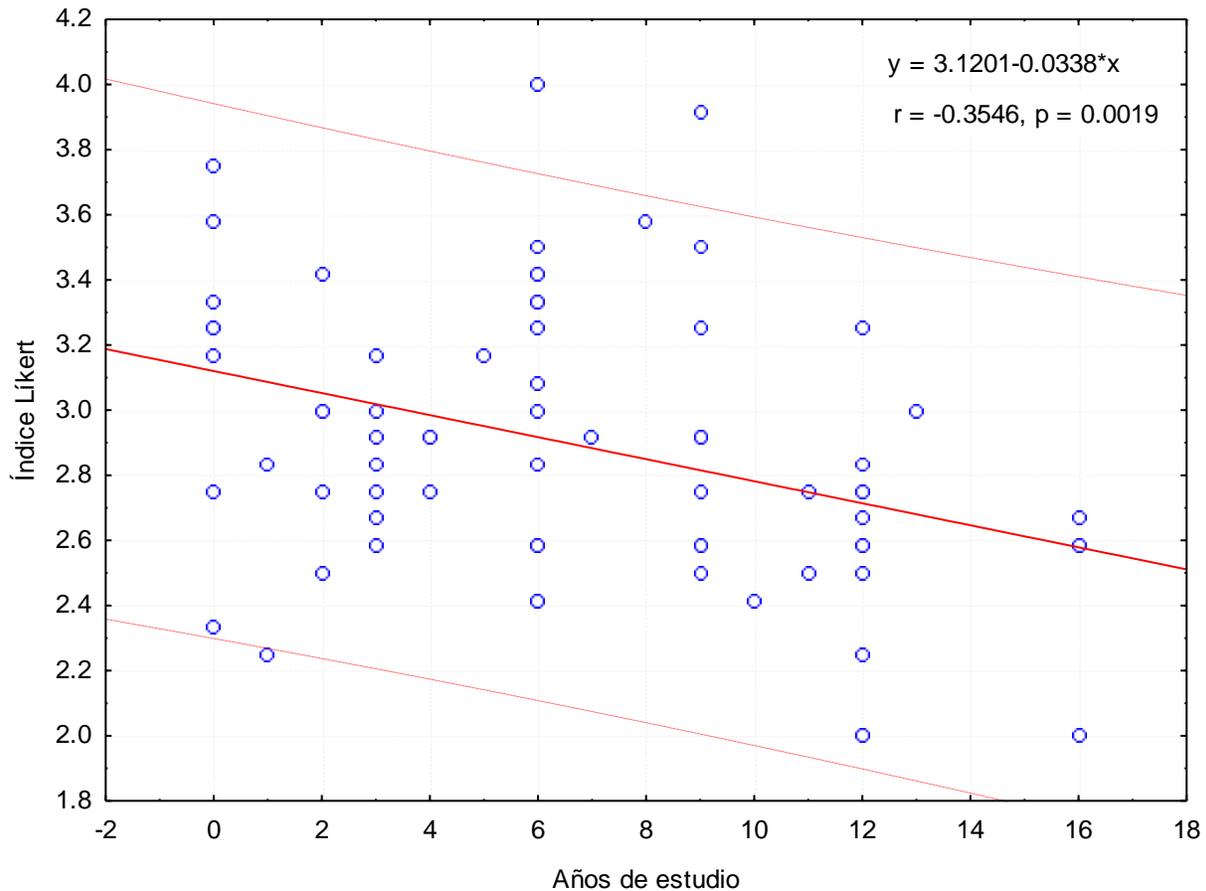


Figura 16. Correlación entre las variables Años de estudio e Índice Likert, según mujeres.

Con relación a la actitud de los encuestados sobre la preservación de la calidad del agua del río Jamapa, por municipio, en el Cuadro 21 se aprecia que sólo la edad de las personas entrevistadas de Medellín, presentó una tendencia similar a la población total encuestada, es decir, una ligera tendencia positiva ($r = 0.337$; $p < 0.045$) entre la edad y el Índice Likert; en este municipio, a mayor edad, las personas sujetas a estudio presentaron una actitud positiva.

Asimismo, en el Cuadro 22 se muestran las correlaciones entre variables demográficas y el Índice Likert, por municipios, según hombres; sólo en Jamapa se observó fuerte asociación positiva entre la edad y la escala de actitud, ($r = 0.8914$; $p < 0.017$), lo cual muestra que los encuestados de esta localidad muestran una actitud positiva hacia la preservación de la calidad del agua.

Cuadro 21. Correlación entre las variables Edad, Años de estudio, Tiempo de residencia en la zona e Índice Likert, por municipio.

Municipios / variables	N	r	p
Medellín			
Edad-Índice Likert	35	0.33739	0.04747
Años de estudio-Índice Likert	35	-0.28608	0.09571
Tiempo de residencia-Índice Likert	35	0.22187	0.20021
Jamapa			
Edad-Índice Likert	36	0.30645	0.06910
Años de estudio-Índice Likert	36	-0.27807	0.10057
Tiempo de residencia-Índice Likert	36	0.07413	0.66744
Soledad			
Edad-Índice Likert	36	0.17794	0.29915
Años de estudio-Índice Likert	36	-0.11753	0.49483
Tiempo de residencia-Índice Likert	36	0.18071	0.29155

Correlación significativa a $p < 0.05$. Nivel de confianza: 95 %.

De igual manera, en el Cuadro 23 se presentan las correlaciones entre las variables demográficas y el Índice Likert, por municipios, según mujeres; se aprecia que en Medellín, se encontró asociación positiva entre la edad y el Índice Likert ($r = 0.42$; $p < 0.0499$) y tendencia negativa entre los años de estudio con la escala de actitud ($r = -0.509$; $p < 0.01546$). Esta tendencia es similar a la observada entre el Índice Likert y las variables Edad y Años de estudio, de la población total encuestada y del total de mujeres entrevistadas.

Cuadro 22. Correlación entre las variables Edad, Años de estudio, Tiempo de residencia en la zona e Índice Likert, por municipio, según hombres.

Municipios/variables demográficas	N	r	p
Jamapa			
Edad-Índice Likert	6	0.891435	0.017040
Años de estudio-Índice Likert	6	-0.606450	0.201846
Tiempo de residencia-Índice Likert	6	-0.303497	0.558731
Medellín			
Edad-Índice Likert	13	0.198872	0.514821
Años de estudio-Índice Likert	13	0.063089	0.837765
Tiempo de residencia-Índice Likert	13	0.256439	0.397711
Soledad			
Edad-Índice Likert	14	0.253929	0.381018
Años de estudio-Índice Likert	14	-0.250546	0.387611
Tiempo de residencia-Índice Likert	14	0.207809	0.475910

Cuadro 23. Correlación entre las variables Edad, Años de estudio, Tiempo de residencia en la zona e Índice Likert, por municipio, según mujeres.

Municipios/variables demográficas	N	r	p
Jamapa			
Edad-Índice Likert	30	0.261095	0.163432
Años de estudio-Índice Likert	30	-0.294422	0.114260
Tiempo de residencia-Índice Likert	30	0.071961	0.705515
Medellín			
Edad-Índice Likert	22	0.422788	0.049955
Años de estudio-Índice Likert	22	-0.509380	0.015461
Tiempo de residencia-Índice Likert	22	0.179552	0.423974
Soledad			
Edad-Índice Likert	22	0.135618	0.547331
Años de estudio-Índice Likert	22	-0.062134	0.783556
Tiempo de residencia-Índice Likert	22	0.208499	0.351774

Con base en los resultados obtenidos sobre la actitud, se determina que la tercera hipótesis que plantea: “la actitud de los pobladores aledaños a la zona de estudio, sobre la preservación de la calidad del agua es positiva, y no muestra diferencias significativas con las variables, género, edad, escolaridad y tiempo de residencia en la zona”, SE RECHAZA.

10. CONCLUSIONES

Todas las hipótesis de investigación fueron respondidas con los resultados obtenidos en este estudio. Una de las hipótesis se enfocó sobre la calidad del agua del cauce de la cuenca baja del río Jamapa. Se encontró que la mayoría de los parámetros de calidad del agua analizados en los seis sitios de muestreo del río Jamapa, en los cuales se reciben efluentes, estuvieron dentro de los límites permitidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996, y en Ley Federal de Derechos (2009), para la protección de la vida acuática. Sólo el Cadmio y los Coliformes Totales estuvieron por encima de lo indicado en la legislación. Asimismo, en algunos sitios, el oxígeno disuelto se encontró en niveles por debajo del límite permitido para la protección acuática, principalmente en aquellos sitios de muestreo donde se encontraron concentraciones relativamente altas (Arroyo Moreno y Bocana) respecto a los sitios donde tales contaminantes se encontraron en los menores niveles (Dos Bocas 1 y Dos Bocas 2).

El análisis estadístico aplicado demostró que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los valores medios de los contaminantes en los sitios de muestreo y las épocas del año. Con el análisis multivariado, fue posible encontrar el componente con la mayor varianza explicada y el Índice, con el cual se agruparon los sitios donde se encontraron las concentraciones más altas de los contaminantes en la Categoría de Mayor nivel de contaminación, y los sitios con los niveles más bajos de contaminantes, en el grupo de menor nivel de contaminación. Así, se demostró que los sitios Arroyo Moreno y Bocana presentaron los niveles más altos de los contaminantes analizados; por el contrario, los sitios menos contaminados, fueron Dos Bocas 1, Dos Bocas 2, Rayana y Gualdras.

Con respecto a la hipótesis sobre la calidad del agua de los influentes y efluentes de las granjas de tilapia que operan en la zona, con el estadístico “t” se demostró que existen diferencias significativas entre el “Antes” y el “Después” de las granjas acuícolas, con la mayoría de los parámetros de calidad del agua. Al comparar las concentraciones medias de las variables que presentaron diferencias significativas, se

encontraron mayores concentraciones en los efluentes de las granjas, lo cual indica un aporte de contaminantes hacia el afluente, principalmente sólidos y metales pesados. A pesar de que la mayoría de los parámetros de calidad analizados se encontraron dentro de los límites permisibles por la normatividad vigente, los aportes continuos de éstos en el ambiente, pueden llegar a tener efectos locales adversos, principalmente si se considera una expansión de la actividad acuícola en la zona, altamente tecnificada y demandante de mayor energía e insumos.

La tercera hipótesis de investigación, se enfocó en la actitud sobre la preservación de la calidad del agua del río Jamapa por parte de los pobladores aledaños al cauce de la cuenca baja del río Jamapa. El análisis descriptivo de los resultados obtenidos de la encuesta muestra que la mayoría de las personas mostraron una actitud ligeramente negativa (o desfavorable) sobre el tema de la preservación de la calidad del agua. Ante los enunciados sobre disponibilidad y calidad del agua del río, todas las personas de los tres municipios perciben que el río Jamapa enfrenta problemas de contaminación, y que bajo las condiciones actuales de aforo de agua, el río Jamapa no es capaz de soportar un mayor desarrollo en la zona. Asimismo, las personas encuestadas perciben una disminución de peces y crustáceos en el río, posiblemente por la sobrepesca y los problemas de contaminación. Con respecto a las fuentes contaminantes del río, todas las personas encuestadas perciben que la principal fuente de contaminación del afluente son los drenajes de los municipios, mientras que las actividades agrícolas y las granjas acuícolas, son consideradas por la mayoría de los entrevistados como actividades limpias.

Por otra parte, la actitud general de los encuestados tiende a estar relacionada sólo con la edad y los años de estudio. El análisis de correlación entre el Índice de actitud Likert y la edad de los entrevistados mostró una asociación significativa y positiva entre ambas variables, lo cual sugiere que los encuestados de mayor edad muestran una actitud favorable sobre la preservación de la calidad del agua, mientras que los participantes de menor edad presentan una actitud negativa. Asimismo, la correlación entre el Índice Likert y los años de estudio, indica que los participantes con mayor

escolaridad, muestran una actitud negativa sobre la preservación de la calidad del agua, y los que poseen menor escolaridad, muestran una actitud positiva.

El análisis integral sobre los problemas de contaminación que enfrenta el río Jamapa, así como su relación con las actividades que se desarrollan en su cauce, como la actividad acuícola, y sobre todo, la inclusión de la gente para conocer sus actitudes sobre la preservación del agua del afluente, permite tener una perspectiva general y real de la situación que enfrenta el río Jamapa, al igual que muchos ríos del Estado de Veracruz y de nuestro país.

El río Jamapa enfrenta serios problemas de contaminación, principalmente microbiológica, debido a las descargas municipales sin tratamiento o tratamiento deficiente de muchas localidades ubicadas a lo largo de su cauce. Asimismo, las granjas acuícolas generan un impacto en el afluente, que si bien no es comparado con las descargas municipales, en el largo plazo pueden generar problemas locales serios, sobre todo si no se instalan sistemas de depuración de aguas en sus efluentes, y si la actividad acuícola se expande con sistemas altamente intensificados. En general, los residentes del cauce de la cuenca baja entrevistados, perciben que el río Jamapa enfrenta problemas de contaminación y que la principal causa de contaminación son los drenajes municipales, actitud que es muy influenciada por la edad y la escolaridad.

11. RECOMENDACIONES

Con el fin de profundizar más en el conocimiento de los problemas de la contaminación que sufren los ríos de nuestro país, me permito hacer las siguientes recomendaciones:

1. Es necesario realizar estudios sobre calidad del agua, en sitios donde se encuentren fuentes de contaminación, que incluyan otros parámetros como la DBO₅, así como análisis de compuestos tóxicos como el mercurio y compuestos orgánicos

bioacumulables, en el tejido de peces y crustáceos de importancia pesquera y acuícola en la zona. Todo lo anterior desde un enfoque de sistemas.

2. Realizar más estudios de tipo social, a fin de conocer los problemas de contaminación que ocurre en los afluentes, a través de las personas que interactúan y conviven en los ríos que han sido impactados en su calidad el agua.

3. Realizar ensayos con sistemas de depuración de aguas residuales en las granjas acuícolas, a fin reducir los niveles de contaminantes en sus efluentes, y a la vez, evitar la posible entrada de contaminantes del río a los sistemas de cultivo, que ponga en riesgo la calidad sanitaria de sus productos.

12. LITERATURA CITADA

- Alloway, B.J. and D.C. Ayres. 1997. Chemical principles of environmental pollution. Second edition. Blackie Academic & Professional. Chapman & Hall. 395 p.
- Álvarez J.P.A., Panta E.R., Ayala C.R. y Acosta E.H. 2008. Calidad Integral del Agua Superficial en la Cuenca Hidrológica del Río Amajac. *Inf. Tecnol.* 19(6), 21-32.
- Aragonés y Américo. 1991. Un estudio empírico sobre las actitudes ambientales. *Revista de Psicología Social*, 6(2): 223-240.
- ATSDR. 2007. Toxicological Profile for Lead. Agency for Toxic Substances and Disease Registry [<http://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp13.pdf>].
- ATSDR. 2008. Toxicological Profile for Cadmium. Agency for Toxic Substances and Disease Registry [on line <http://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp5.pdf>].
- Ávila-Pérez, P., G. Zarazúa-Ortega. 1993. Concentración de metales pesados en ostiones (*Crassostrea virginica* Gmelin), del canal del Chijol, Veracruz, México. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 9(22): 53-63.
- Avilés-Quevedo, S. y M. Vázquez-Hurtado. 2005. Fortalezas y debilidades de la acuicultura en México. Comisión de Pesca de la Cámara de Diputados. México. 1-36 p.
- Ayoko G.A., Singh K., Balarea S., Kokot S. 2007. Exploratory multivariate modeling and prediction of the physico-chemical properties of surface water and groundwater. *J. Hydrol.* 336, 115-124.
- Barrera-Escorcia, G., I. Wong-Chang, A.S. Sobrino-Figueroa, X. Guzmán-García, F. Hernández-Galindo y F. Saavedra-Villeda. 1998. estudio preliminar de contaminación bacteriológica en la laguna Pueblo Viejo, Veracruz, México. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 14(2): 63-68.
- Beaumont, M. 2000. Pobreza y medio ambiente: una visión general. Lima: IEP, documento de trabajo, 111. Serie Sociología y Política, 27: 69 p.
- Birkett, J.W. and J.N. Lester. 1999. Water Pollution. Microbiology and Chemistry for Environmental Scientists and Engineers. Taylor & Francis.
- Blanco, N. y M.E. Alvarado. 2005. Escala de actitud hacia el proceso de investigación científico social. *Revista de Ciencias Sociales*, 1(3):
- Borja, Á. 2002. Los impactos ambientales de la acuicultura y la sostenibilidad de esta actividad. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.* 18(1-4): 41-49.

- Boyd, C.E. 2003. Guidelines for aquaculture effluent management at the farm-level. *Aquaculture* 226 (2003) 101-112.
- Boyd, C.E. and L. Massaut. 1999. Risks associated with the use of chemicals in pond aquaculture. *Aquacultural Engineering* 20: 113-132.
- Cabello, F.C. 2006. Heavy use of prophylactic antibiotics in aquaculture: a growing problem for human and animal health and for the environment. *Environmental Microbiology*, 8(7): 1137–1144.
- Calderón-Villagómez, H.E., R. González-Enríquez y C. Durán de Bazúa. 2001. Plaguicidas organoclorados en sedimentos y organismo acuáticos del lago de Catemaco, Veracruz, México. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 17(1): 23-30.
- Camargo, J.A. and A. Alonso. 2006. Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: a global assessment. *Environmental International* 32: 831-849.
- Castañeda-Chávez M.R., Pardo-Sedas V., Orrantía-Borunda E. and Lango-Reynoso F. 2005. Influence of Water temperature and salinity on seasonal occurrences of *Vibrio cholerae* and enteric bacteria in oyster-producing areas of Veracruz, México. *Mar. Pollut. Bul.* 50, 1641-1648.
- Castillo, A., A. Magaña, A. Pujadas, L. Martínez, and C. Godínez. 2005. Understanding the Interaction of Rural People with Ecosystems: A Case Study in a Tropical Dry Forest of Mexico. *Ecosystems*, 8: 630-643.
- Castro-González, M.I. and M. Méndez-Armenta. 2008. Heavy metals: Implications associated to fish consumption. *Environmental Toxicology and Pharmacology* 26: 263–271.
- Cervantes-Carrillo, F., J. Pérez y J. Gómez. 2000. Avances en la Eliminación Biológica del Nitrógeno de las Aguas Residuales. *Revista Latinoamericana de Microbiología* 42:73-82.
- CONAPESCA. 2008. Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. SAGARPA. México. 212 p.
- Conway, G.R. 1987. The Properties of Agroecosystems. *Agricultural Systems* 24: 95-117.
- COPLADEVER. 2005. Región Sotavento. Comité para la Planeación del Desarrollo del Estado de Veracruz. 2005. 38 p.

- Correll, R., P. Dillon, R. Kookana, M. Megharaj, R. Naidu and W.W. Wenzel. 2008. Pollution: Point Source (PS). 876-881. *In*: S.W.Trimble. Encyclopedia of Water Science, Second Edition. CRC Press.
- CSVA. 2006. Participación del Estado de Veracruz en el IV Foro Mundial del Agua. <http://www.csva.gob.mx>.
- De la Lanza-Espino, G., C. Cáceres-Martínez, S. Hernández-Pulido y S. Hernández-Pulido. 1999. Tercer Diccionario de Hidrología y Ciencias Afines Editorial Plaza y Valdéz-UNAM-UABCS. 286 p.
- Diagomanolin V., Farhang M., Ghazi-Khansari M. and Jafarzadeh N. 2005. Heavy metals (Ni, Cr, Cu) in the Karoon waterway River, Iran. *Toxicol. Lett.* 151, 63-68.
- D.O.F. 2004. Ley de aguas nacionales. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 69 p.
- Emerson, C. 1999. Aquaculture. Impacts on the environment. Cambridge Scientific Abstracts. <http://www.csa.com/hottopics/aquacult/overview.html>.
- Enciclopedia de los Municipios de México, 2005. http://www.inafed.gob.mx/wb2/ELOCAL/ELOC_Enciclopedia.
- Escobar, J. 2002. La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar. CEPAL Serie 50, división de recursos naturales e infraestructura. 68 p.
- Evaluación exhaustiva del manejo del Agua en Agricultura. 2007. Agua para la Alimentación, Agua para la Vida. Londres: Earthscan y Colombo: Instituto Internacional del Manejo del Agua. 47 p.
- FAO. 1995. Código de conducta para la pesca responsable. Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación. Roma. 46 p.
- FAO. 1999. La acuicultura rural en pequeña escala en el mundo. Red de Acuicultura Rural en Pequeña Escala. 24 p.
- FAO. 2001. Planning and management for sustainable coastal aquaculture development. GESAMP. Reports and studies 68: 57 p.
- FAO. 2004. El estado mundial de la pesca y la acuicultura. http://www.fao.org/sof/sofia/index_es.htm.
- Flower, L. 2006. Environmental Pollution -Especially Air Pollution - and Public Health. *AU J.T.* 10(1): 29-37.

- Garduño-Lugo, M. y G. Muñoz-Córdova. 2007. El bajo nivel de lípidos en la carne de tilapia, puede ser una característica explotable comercialmente por los productores. *Desarrollo Acuícola (AVAC)*, 2(1): 16 p.
- GESAMP. 2001. (IMO/FAO/UNESCO-IOC/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint group of experts on the scientific aspects of marine environmental protection). Planning and management for sustainable coastal aquaculture development. *Rep.Stud.GESAMP*, (68): 90 p.
- Gliessman, S.R. 2004. Agroecology and agroecosystems. In Rickerl, D. & C. Francis (eds) *Agroecosystems Analysis. Agronomy Monograph No. 43*.
- Gobierno del Estado de Veracruz. 2008. Prospectiva del subsector acuícola y pesquero en el Estado de Veracruz. SAGARPA, Agrosistemas JOSEMAR SPR de RL. 147 p.
- Gómez-Álvarez, A., A. Villalba-Atondo, G. Acosta-Ruíz, M. Castañeda-Olivares y D. Kamp. 2004. Metales pesados en el agua superficial del río San Pedro durante 1997 y 1999. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 20(1): 5-12.
- Goode, W.J. y Hatt. 1972. *Métodos de Investigación Social*. Editorial Trillas, México. 469 p.
- Guzmán-Quintero, A., O.L. Palacios-Vélez, R. Carrillo-González, J. Chávez-Morales y I. Nikolskii-Gavrilov. 2006. La contaminación del agua superficial en la cuenca del río Texcoco, México. *Agrociencia* 41: 385-393.
- Hatje, V., T.E. Payne, D.M. Hill, G. McOrist, G.F. Birch and R. Szymczak. 2003. Kinetics of trace element uptake and release by particles in estuarine waters: effects of pH, salinity, and particle loading. *Environment International* 29: 619– 629.
- Hernández-Mogica, M., J.L. Reta-Mendiola, F. Gallardo-López y M.E. Nava-Tablada. 2002. Tipología de productores de mojarra tilapia (*Oreochromis spp*): base para la formación de grupos de crecimiento productivo simultaneo (GCPS) en el Estado de Veracruz, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 1(1): 13-19.
- Herrscher, E.G. 2005. *Pensamiento sistémico. Caminar el cambio o cambiar el camino*. 1ª ed. 2ª reimp. Buenos Aires: Granica. 272 p.
- INEGI. 2008. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. <http://www.inegi.gob.mx>
- Kaiser, F.G., S. Wölfling and U. Fuhrer. 1999. Environmental attitude and ecological behavior. *Journal of Environmental Psychology*, 19, 1-19.

- Kazi T.G., Arain M.B., Jamali M.K., Jalbani N., Afridi H.I., Sarfraz R.A., Baig J.A. and Shah A.Q. 2009. Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: A case study. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 72, 301-309.
- La Jornada Veracruz. 2010. Padecen ríos y cuencas del estado grave contaminación, afirma Conagua. [21/06/10].
http://www.jornadaveracruz.com.mx/Noticia.aspx?ID=100618_175627_824
- Lalumera, G.M., D. Calamari, P. Galli, S. Castiglioni, G. Crosa, and R. Fanelli. 2004. Preliminary investigation on the environmental occurrence and effects of antibiotics used in aquaculture in Italy. *Chemosphere* 54: 661-668.
- Lam, K.L, P.W. Ko, J. K-Y Wong and K.M. Ghan. 1998. Metal Toxicity and Metallothionein Gene Expression Studies in Common Carp and Tilapia. *Marine Environmental Research*, 46(1-5): 563-566.
- Lang-Ovalle, F.P., A. Pérez-Vázquez, J.P. Martínez-Dávila, D.E. Platas-Rosado, L.A. Ojeda-Enciso y D.A. Ortega-Zavaleta. 2007. Actitud hacia el cambio de uso de suelo en la región Golfo Centro de Veracruz, México. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo*, 23(1): 47-56.
- Latorre-Estrada, E. 1996. Teoría general de sistemas aplicada a la solución integral de problemas. Universidad del Valle. 217 p.
- Lesven L., Lourino-Cabana B., Billon G., Proix N., Recourt P., Ouddane B., Fischer J.C. and Boughriet A. 2008. Water Quality Diagnosis and Metal Distribution in a Strongly Polluted Zone of Deûle River (Northern France). *Water Air Soil Pollut.* 198:31-44.
- Ley Federal de Derechos. 2009. Disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales. México. D.O.F. 13 de Noviembre de 2008. 67 p.
- LGEEPA. 1988. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. D.O.F. 28 de enero de 1988. Última Reforma 06-04-10. México. 103 p.
- Liang, Y. and M.H. Wong. 2003. Spatial and temporal organic and heavy metal pollution at Mai Po Marshes Nature Reserve, Hong Kong. *Chemosphere* 52:1647–1658.
- Lichtenberg, E. and R. Zimmerman. 1999. Information and farmers' attitudes about pesticides, water quality, and related environmental effects. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 73: 227–236.
- Manahan, S.E. (2007). Introducción a la química ambiental. Ed. Revereté-UNAM. España. 725 p.

- Meybeck, M., E. Kuusisto, A. Mäkelä and E. Mälkki. 1996. Water quality. 1-25. *In*: R. Ballance and J. Bartram. Water Quality Monitoring. A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes. Taylor & Francis.
- Moreno, M., J.A. Corraliza y J.P. Ruiz. 2005. Escala de actitudes ambientales hacia problemas específicos. *Psicothema*, 17(3): 502-508.
- Muñoz, H., M.A. Armienta, A. Vera, N. Cisneros. 2004. Nitrato en agua subterránea del Valle de Huamantla, Tlaxcala, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 20(003): 91-97.
- NMX-AA-004-SCFI-2000. Análisis de agua. Determinación de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba. México.
- NMX-AA-005-SCFI-2000. Análisis de agua. Determinación de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba. México.
- NMX-AA-026-SCFI-2001. Análisis de agua. Determinación de nitrógeno total kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba. México.
- NMX-AA-034-SCFI-2001. Análisis de agua. Determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba. México.
- NMX-AA-042-SCFI-2005. Calidad del agua. Determinación del numero más probable (NMP) de Coliformes Totales, Coliformes Fecales (termotolerantes) y *Escherichia coli* presuntiva. México.
- NMX-AA-051-SCFI-2001. Análisis de agua. Determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas. Método de prueba. México.
- NMX-AA-089/1-1986. PROTECCION AL AMBIENTE-CALIDAD DEL AGUA - VOCABULARIO-PARTE 1. Dirección General de Normas. México. 11 p.
- NOM-001-SEMARNAT-1996. Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. México.
- Olguín, E.J., G. Sánchez and G. Mercado. 2004. Cleaner production and environmentally sound biotechnology for the prevention of upstream nutrient pollution in the Mexican coast of the Gulf of Mexico. *Ocean & Coastal Management* 47: 641-670.

- Páez-Osuna, F., S.R. Guerrero-Galván and A.C. Ruiz-Fernández. 1998. The Environmental Impact of Shrimp Aquaculture and the Coastal Pollution in Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, 36: 65-75.
- Palomarez-García, J.M., C. Landeros-Sánchez, J.P. Martínez-Dávila, J.L. Retamendiola, O.L. Palacios-Vélez y M.R. Castañeda-Chávez. 2007. Valoración de la contaminación microbiológica y por metales pesados en agua y peces de la cuenca baja del río Jamapa, Veracruz, México. SOMAS. IX Simposio Internacional y IV Congreso Nacional de Agricultura Sostenible y XX Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria, Veracruz, México. Memorias.
- Paredes, S.R. 2005. Contaminación química en la infancia: bioacumulación y efectos potenciales. *Revista Española de Salud Pública*, 79(002): 221-228.
- Pendleton, L., N. Martin and D.G. Webster. 2001. Public perceptions of environmental quality: a survey study of beach use of perception in Los Angeles County. *Marine Pollution Bulletin* 42(11): 1155-1160.
- Primavera, J.H. 2006. Overcoming the impacts of aquaculture on the coastal zone. *Ocean & Coastal Management* 49: 531-545.
- Quintana, C.P., M.C. Rojas, A.P. Rodríguez y V.P. Díaz. 2000. Conocimientos y actitud de la población en relación con el saneamiento básico ambiental. *Rev. Cubana Hig. Epidemiol.* 38(2):137-44.
- Quiróz-Castelán, H., L.M. Mora-Zúñiga, I. Molina-Astudillo y J. García-Rodríguez. 2004. Variación de los Organismos Fitoplanctónicos y la Calidad del Agua en el Lago de Chapala, Jalisco, México. *Acta universitaria* 14(1): 47-58.
- Ramos, G.S. 2001. Participación social y comunitaria. Reflexiones. *Rev. Cubana Salud Pública*, 27(2): 89-95.
- Rivas Z., Márquez R., Troncone F., Sánchez J., Colina M., Hernández P. 2005. Contribución de los principales ríos tributarios a la contaminación y eutrofización del lago Maracaibo. *Ciencia*. 13(1), 68-77.
- Rojas-Soriano, R. 1995. Investigación social: teoría y praxis. Plaza y Valdez, México. 220 p.
- Rojas-Soriano, R. 2002. Investigación social. Teoría y Praxis. Plaza y Valdéz. Folios Universitarios. México. 190 p.
- Schwantes, V.S., J.S. Diana and Y. Yi. 2009. Social, economic, and production characteristics of giant river prawn *Macrobrachium rosenbergii* culture in Thailand. *Aquaculture* 287: 120-127.

- SEMARNAT. 2007. Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC). Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. (<http://app1.semarnat.gob.mx/retc/retc/index.php>).
- SEMARNAT. 2008. Distribución porcentual de los cuerpos de agua superficiales según su calificación con base en el Índice de calidad del agua (porcentaje). Compendio de Estadísticas Ambientales. México.
- SEMARNAT. 2009a. Compendio de Estadísticas Ambientales. Distribución de las estaciones de monitoreo de calidad del agua superficial, según categoría de DBO5 por región Hidrológico-Administrativa [en línea]. http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_2008/compendio_2008/03_ambiental.html 11/11/09.
- SEMARNAT. 2009b. Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios de disponibilidad media anual de las aguas superficiales en las cuencas hidrológicas Río Actopan, Río La Antigua, Río Jamapa, Río Cotaxtla, Jamapa-Cotaxtla y Llanuras de Actopan, mismos que forman parte de la porción de la Región Hidrológica denominada Papaloapan A. México. D.O.F. 3/11/08. 15 p.
- SEMARNAT. 2010. Estadísticas del agua en México. SEMARNAT-CONAGUA. México.
- SENASICA. 2008. Manual de Buenas Prácticas de Producción Acuícola de Tilapia para la Inocuidad Alimentaria. SAGARPA, México. 155 p.
- Shrestha S. and Kazama F. 2007. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. *Environ. Mod. Soft.* 22 (2007) 464-475.
- SIAP.2010. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. SAGARPA, México. (Acceso: 08/11/11). <http://www.siap.gob.mx>.
- Singh K.P., Malik A., Mohan D. and Sinha S. 2004. Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India)—a case study. *Wat. Res.* 38, 3980–3992.
- Spellman, F.R. 2008. *The Science of water: concepts and applications*. Second edition. CRC press. 201-210 p.
- Spellman, F.R. 2009. *Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations*, Second Edition. CRC Press. 503-518 p.
- Stanley E.M. 2000. Water pollution. *In*: Stanley E. Manahan (ed). *Fundamentals of Environmental Chemistry*, 2nd Ed. Boca Raton: CRC Press LLC, 2000. University of Missouri, Columbia, USA. 1024 p.

- Treece, G.D. 2000. Pollution. In: R.R. Stickney (Ed.). Encyclopedia of aquaculture. Wiley-Interscience, New York. 649-658.
- UN-WATER/WWAP, 2007. El agua, una responsabilidad compartida. 2do. Informe de las naciones unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo. 567 p.
- Uresti-Marín, R.M., R. Santiago-Adame, N. E. Díaz-Morales; J. Gutiérrez-Lozano; M. Vázquez; J.A. Ramírez de León. 2008. Evaluación preliminar de la presencia de pesticidas organoclorados en pescados de la presa Vicente Guerrero (Tamaulipas, México). *Cienc. Tecnol. Aliment.* 6(1): 48-55.
- Vázquez-Botello, A., S. Villanueva-Fragoso y L. Rosales-Hoz. 2004. Distribución y contaminación de metales en el Golfo de México, 681-710. En: Caso, M., I. Pisanty y E. Excurra (comp.). Diagnóstico Ambiental del Golfo de México. SEMARNAT, INE, INECOL, H.R.I.G.M.S. México. 1047 p.
- Vélez Vargas, L.D. 2004. El paradigma científico de las ciencias agrarias: una reflexión. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*, 57 (1): 2145-2160.
- WWC. 2009. Global Water Framework. World Water Council, 5th World Water Forum, Bridging Divides for Water, T.C. Dışişleri Bakanlığı. Istanbul. 30 p.
- Yáñez P.B. y P. Pulido. 2006. Actitud de los agricultores hacia el manejo y conservación del suelo y agua en dos comunidades rurales del Estado Lara, Venezuela. *Bioagro* 18(3): 155-161.
- Zdravomislov, A.G. 2009. Diseño de escalas de medición de actitudes en la investigación social. *La Sociología en sus escenarios*. Universidad de Antioquía, Facultad de Ciencias Sociales y Humanas, CEO. (5), 18p.
- Zetina-Cordoba, P., J.L. Reta-Mendiola, C. Olguín-Palacios, R. Acosta-Barradas y G. Espinosa-Sánchez. 2006. El Cultivo de tilapia (*Oreochromis spp*) en la rentabilidad de seis agroecosistemas en el Estado de Veracruz. *Técnica Pecuaria*, 44(002):169-179.