



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**  
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

**CAMPUS VERACRUZ**

**POSTGRADO EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES**

**PRESENCIA DE RESIDUOS DE ANTIBIÓTICOS  
ZOOSANITARIOS EN EL AGUA SUPERFICIAL DEL  
CAUCE DE LA CUENCA BAJA DEL RÍO JAMAPA,  
VERACRUZ**

**ROSA ELENA ZAMUDIO ALEMÁN**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**DOCTORA EN CIENCIAS**

**TEPETATES, MANLIO FABIO ALTAMIRANO, VERACRUZ, MÉXICO.**

**2022**

La presente tesis, titulada: **Presencia de residuos de antibióticos zoonos sanitarios en el agua superficial del cauce de la cuenca baja del Río Jamapa, Veracruz**, realizada por la alumna: **Rosa Elena Zamudio Alemán**, 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. Eusebio Ortega Jiménez
Director de tesis	 Dra. María del Refugio Castañeda Chávez
Asesor	 Dr. Arturo Pérez Vázquez
Asesor	 Dr. Catalino Jorge López Collado
Asesor	 Dr. Eliseo García Pérez

# PRESENCIA DE RESIDUOS DE ANTIBIÓTICOS ZOOSANITARIOS EN EL AGUA SUPERFICIAL DEL CAUCE DE LA CUENCA BAJA DEL RÍO JAMAPA, VERACRUZ

Rosa Elena Zamudio Alemán, D.C.

Colegio de Postgraduados, 2022

## RESUMEN

En México la cuenca del Río Jamapa brinda diversos servicios ecosistémicos, la cual ocupa un área de 4,061 km<sup>2</sup>. El cauce del río tiene una longitud de 368 km y un escurrimiento natural medio superficial de 2,055 hm<sup>3</sup> año<sup>-1</sup>. La importancia de la cuenca del Río Jamapa se debe a la disponibilidad de los recursos hídricos para diversas actividades productivas, entre ellas agricultura y ganadería. Sin embargo, esta cuenca es receptora de escurrimientos agrícola, pecuario y de aguas negras no tratadas o tratadas parcialmente, las cuales poseen altos niveles de minerales y compuestos orgánicos, además de residuos de plaguicidas, antibióticos y fertilizantes, lo cual afecta la calidad del agua. Como consecuencia de lo anterior, en el presente trabajo de investigación de tesis planteó como objetivo determinar el deterioro de la calidad del agua en el cauce de la cuenca baja del Río Jamapa causado por fármacos (antibióticos) provenientes de fuentes puntuales y difusas de contaminación resultado del manejo zoonosanitario de actividades pecuarias y acuícolas que se realizan a lo largo de la cuenca baja del río Jamapa. El estudio se realizó en la cuenca baja del Río Jamapa, Veracruz. Se aplicó un cuestionario a los productores que habitan a una distancia no mayor de un kilómetro del cauce del río y se colectaron muestras de agua superficial en tres temporadas (nortes, lluvias y estiaje), se evaluaron *in situ* los parámetros de temperatura, pH, conductividad eléctrica y la concentración de oxitetraciclina se determinó por la técnica cualitativa establecida por (Max Signal Oxytetracycline ELISA KIT). Los datos se examinaron con el programa Statistic de un análisis de varianza seguido de una prueba de Tukey a un nivel de significancia del 95%. Con respecto a las concentraciones de oxitetraciclina en el agua superficial de la cuenca baja del río Jampa presentaron diferencias estadísticamente significativas [F(2,45)=53.9507, p≤0.0.5] entre temporadas siendo mayor en la temporada de estiaje y nortes en comparación con las concentraciones de oxitetraciclina encontradas en la temporada de lluvias; en tanto que

para el factor de sitio (Jamapa/Arroyo Moreno) se demostró no ser significativo para las concentraciones de oxitetraciclina [  $F(1,46)=0.8657$ ,  $p \geq 0.05$ ]. Esto demuestra que los antibióticos usados ampliamente por los ganaderos de la zona de utilizan con mayor frecuencia la oxitetraciclina para el control de enfermedades causadas por infecciones bacterianas y como estimuladores de crecimiento en la temporada de estiaje y nortes, en estos meses se realizan la aplicación de vacunación en la zona de estudio.

# **PRESENCE OF ANTIBIOTICS POLLUTION IN THE SURFACE WATER OF THE LOWER WATERSHED OF THE JAMAPA RIVER, VERACRUZ**

Rosa Elena Zamudio Alemán, D.C.

Colegio de Posgraduados, 2022

## **ABSTRACT**

In Mexico, the Jamapa River basin provides various ecosystem services, which occupies an area of 4,061 km<sup>2</sup>. The riverbed is 368 km long and has an average natural surface runoff of 2,055 hm<sup>3</sup> year<sup>-1</sup>. The importance of the Jamapa River basin is due to the availability of water resources for various productive activities, including agriculture and livestock. However, this basin is the recipient of agricultural, livestock and untreated or partially treated sewage runoff, which has high levels of minerals and organic compounds, as well as residues of pesticides, antibiotics and fertilizers, which affects the quality of the water. As a consequence of the above, in this thesis research work, the objective was to determine the deterioration of water quality in the bed of the lower Jamapa River basin caused by drugs (antibiotics) from point and diffuse sources of contamination resulting of animal health management of livestock and aquaculture activities carried out along the lower basin of the Jamapa River. The study was carried out in the lower basin of the Jamapa River, Veracruz. A questionnaire was applied to the producers who live at a distance of no more than one kilometer from the riverbed and samples of surface water were collected in three seasons (north, rainy and dry season), the parameters of temperature, pH, Electrical conductivity and oxytetracycline concentration were determined by the qualitative technique established by (Max Signal Oxytetracycline ELISA KIT). The data was examined with the Statistic program for an analysis of variance

followed by a Tukey test at the 95% level of significance. Regarding the concentrations of oxytetracycline in the surface water of the lower basin of the Jampa River, they presented statistically significant differences [ $F(2,45) = 53.9507, p \leq 0.05$ ] between seasons, being higher in the dry season and north in comparison with the concentrations of oxytetracycline found in the rainy season; while for the site factor (Jamapa/Arroyo Moreno) it was shown not to be significant for oxytetracycline concentrations [ $F(1,46) = 0.8657, p \geq 0.05$ ]. This shows that the antibiotics widely used by farmers in the area use oxytetracycline more frequently to control diseases caused by bacterial infections and as growth stimulators in the dry season and north, in these months the application of vaccination in the study area.

**Dedico esta tesis:**

**A Dios**, por darme la fortaleza en los días difíciles y por guiarme en este camino del saber. Gracias Dios por tu amor infinito.

Me dedico esta tesis a mí por el esfuerzo y dedicación y porque lo logré gracias a Dios y a mi dedicación.

A mi Consejo Particular ya que la presente tesis es parte de un trabajo en equipo donde ellos fueron mis faros guías.

Muy especial a la Dra. María del Refugio Castañeda Chávez por todo su apoyo incondicional, gracias Doctora por ser mi faro guía.

A mi familia que siempre creyó en mí.

## **Agradecimientos**

A la sociedad mexicana que a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por haberme otorgado una beca que me permitió realizar mis estudios de posgrado.

Al Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz por el Programa de Doctorado en Agroecosistemas Tropicales, que oferta para la contribución en mi formación académica y por el financiamiento otorgado para esta investigación.

Un especial agradecimiento a mi consejero, el Dr. Cesáreo Landeros Sánchez<sup>†</sup> por su valioso tiempo, apoyo incondicional y amistad. A mi Directora de Tesis Dr. Ma. Del Refugio Castañeda Chávez, por sus consejos, dedicación y esfuerzo para que todo marchara correctamente. Dr. Arturo Pérez Vázquez, Dr. Eusebio Ortega Jiménez; por cada una de sus contribuciones a la mejora de la presente tesis, a mi persona y vida profesional. A todos ellos les doy mi más sincero agradecimiento por ser mi faro guía a lo largo de mi estancia doctoral, sin ustedes esto no hubiese sido posible.

Con mucho cariño agradezco a la Dra. Fabiola Lango Reynoso por ser mi faro guía en este proyecto de vida, gracias Dra. faby por sus palabras y por impulsarme a seguir con este proyecto.

A mi compañero en esta etapa de mi vida Sergio de Ita Caselín por su infinito apoyo y ser un pilar en mi vida

A mis amigas Lucy, Yadira, Mijal, Dora, por su amistad infinita, risas y ánimos cuando el estrés me presionaba. A mis compañeros de generación por su contribución e invaluable amistad, quienes hicieron de este largo camino algo muy placentero.

Agradezco infinitamente la amistad y gran ayuda de Gabriela Estrella; gracias por su gran apoyo a tantas horas de trabajo en el laboratorio.

A todos los que de alguna manera contribuyeron a mi formación les doy mi más grande e infinito agradecimiento.

*“si tienes un gran sueño debes estar dispuesto a un gran esfuerzo para concretarlo  
porque solo lo grande alcanza a lo grande”*

*Facundo Cabral*

## CONTENIDO

RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	v
LISTA DE CUADROS.....	xiii
LISTA DE FIGURAS.....	xiv
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	0
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
Pregunta de Investigación.....	4
HIPÓTESIS.....	5
General.....	5
Específicas.....	5
OBJETIVOS.....	6
General.....	6
Particulares.....	6
MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....	7
Teoría General de Sistemas (TGS).....	7
Sistemas complejos.....	7
Sistemas ambientales como sistemas complejos.....	9
La Cuenca del Río Jamapa como sistema complejo.....	10
Conceptualización de agroecosistema (AES).....	11
Conceptualización del agroecosistema de la cuenca del Río Jamapa.....	14
El origen epistemológico de la contaminación del agua.....	17
Contaminación del agua.....	18
Calidad del agua.....	19
Teorías que respaldan el trabajo de investigación.....	19
Descargas de las fuentes puntuales y no puntuales o difusas.....	20
Fuentes puntuales.....	20
Fuentes no puntuales.....	21
Teoría de la Evolución.....	22

MARCO REFERENCIAL.....	23
Recurso hídrico.....	23
Importancia del agua en la agricultura.....	23
Entrada de contaminantes a los ríos.....	24
Impacto ambiental y la salud pública por los diferentes contaminantes emergentes en el agua.....	28
Contaminantes emergentes (antibióticos).....	28
Clasificación de los antibióticos.....	30
Tetraciclina.....	31
Oxitetraciclina.....	32
Ingreso de los contaminantes emergentes (antibióticos) al organismo y su liberación al ecosistema.....	33
Uso de contaminantes emergentes (antibióticos) en diversos sectores de interés comercial.....	34
Residuos de contaminantes emergentes (antibióticos) a través de la cadena alimentaria.....	39
Regulación Internacional de fármacos de uso veterinario en diferentes sectores.....	41
La calidad del agua en México y sus diferentes usos.....	43
Cuencas hidrográficas.....	43
Cuenca del Río Jamapa.....	44
CAPITULO I CONTAMINACIÓN DE LA CUENCA BAJA DEL RÍO JAMAPA POR LA APLICACIÓN DE ANTIBIÓTICOS DE USO VETERINARIO.....	46
1.1 RESUMEN.....	46
1.2 ABSTRACT.....	47
1.3 INTRODUCCIÓN.....	48
1.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	51
1.4.1 Área de estudio.....	51
1.4.2 Técnicas de muestreo y colecta de los datos.....	51
1.4.3 Análisis Estadístico.....	52

1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	53
1.5.1 Características socioeconómicas de los productores y actividad ganadera.....	53
1.5.2 Riesgo ambiental el modo de aplicación y manejo de antibióticos.....	61
1.6 CONCLUSIONES.....	64
CAPITULO II. PRESENCIA DE OXITETRACICLINA EN EL AGUA SUPERFICIAL DE LA CUENCA BAJA DEL RÍO JAMAPA, VERACRUZ, MÉXICO.....	65
2.1 RESUMEN.....	65
2.2 ABSTRACT.....	66
2.3 INTRODUCCIÓN.....	67
2.3.1 Problemática Ambiental.....	68
2.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	70
2.4.1 Área de estudio.....	70
2.4.2 Colecta de muestras.....	70
2.4.3 Análisis de las muestras de agua.....	71
2.4.4 Preparación de las muestras.....	71
2.4.5 Análisis estadístico.....	72
2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	73
2.6 CONCLUSIONES.....	79
CONCLUSIONES GENERALES.....	80
LITERATURA CITADA.....	82
ANEXOS.....	103

## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Familias de antibióticos según estructura química.....	30
<b>Cuadro 2.</b> Clasificación de los antibióticos.....	31
<b>Cuadro 3.</b> Perfil farmacocinética de los antibióticos.....	32
<b>CUADRO 4.</b> Uso de antibióticos en diferentes sectores de importancia comercial económica.....	36
<b>Cuadro 5.</b> Fármacos regulados por el Codex Alimentarius, clasificados por grupo farmacológico.....	41
<b>Cuadro 6.</b> Antibióticos de uso veterinario regulado por el Codex Alimentarius.....	41

## CAPITULO I

<b>Cuadro 1.1.</b> Características de los ganaderos bovinos en los municipios analizados de la zona centro de Veracruz. ....	55
<b>Cuadro 1.2.</b> Antibióticos de uso frecuente y empleados en el control de enfermedades (diarrea) reportado por ganaderos bovinos en los municipios de Medellín, Jamapa y Cotaxtla, Veracruz México. ....	57
<b>Cuadro 1.3.</b> Tratamiento preventivo para el control de enfermedades en el hato ganadero .....	59

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Factores de contaminación del agua de la cuenca baja del río Jamapa, Ver. .....	4
<b>Figura 2.</b> Modelo del sistema complejo hidrográfico “Cuenca del Río Jamapa” y su relación con el análisis sistémico de los agroecosistemas.....	16
<b>Figura 3.</b> Ruta de los antibióticos en el medio ambiente (Correia & Marcano, 2015).....	25
<b>Figura 4.</b> Estructura de la oxitetraciclina (Chopra y Roberts, 2001).....	32
<b>Figura 5.</b> Secuencia del proceso de los antibióticos LADME (Henríquez <i>et al.</i> , 2012).....	33

### CAPITULO I

<b>Figura 1.1.</b> Ubicación de los municipios de la cuenca baja del río Jamapa, Veracruz.....	50
<b>Figura 1.2.</b> Distribución de edad y escolaridad (años) de los ganaderos bovinos en los municipios de Medellín, Jamapa y Cotaxtla Veracruz, México.....	53
<b>Figura 1.3.</b> Frecuencia de uso de antibióticos reportada en el control de enfermedades utilizado por los ganaderos bovinos de la zona de estudio.....	56

### CAPITULO II

<b>Figura 2.1.</b> Ruta de los antibióticos en el medio ambiente. (Correia & Marcano, 2015).....	67
<b>Figura 2.2.</b> Ubicación de los municipios de la cuenca baja del Río Jamapa, Veracruz, México.....	69
<b>Figura 2.3.</b> Ubicación de las fuentes puntuales de contaminación de la zona de estudio.....	70
<b>Figura 2.4.</b> Concentración de Oxitetraciclina en agua superficial de la cuenca baja del río Jamapa-arroyo Moreno.....	72

<b>Figura 2.5.</b> Concentración de Oxitetraciclina en dos temporadas lluvia(a) y estiaje (b) en los diferentes sitios de muestreo en la zona de estudio.....	73
<b>Figura 2.6.</b> Concentración de Oxitetraxiclina en estiaje en agua superficial de arroyo Moreno y la cuenca baja del río Jamapa.....	74
<b>Figura 2.7.</b> Concentración de Oxitetraciclina en diferentes sitios de muestreo en tres temporadas del año.....	76

## INTRODUCCIÓN GENERAL

El agua es fundamental para mantener la vida y para conservar el equilibrio ecológico de nuestro planeta; es además indispensable para el sostenimiento de las funciones de los organismos y de los ecosistemas, es el componente principal de todos los seres vivos, el medio para transportar materia en el ambiente y facilitar el flujo de energía a través de las circulaciones oceánica y atmosférica. También se requiere para la producción de alimentos, para cubrir las necesidades de agua potable de las poblaciones humanas, para la higiene personal y la producción industrial y pesquera. (Badii *et al.*, 2008). En México la cuenca del Río Jamapa brinda diversos servicios ecosistémicos, esta región cuenta con un área de 4 061 km<sup>2</sup>. El cauce del Río tiene una longitud de 368 km y un escurrimiento natural medio superficial de 2055 hm<sup>3</sup> año<sup>-1</sup> (CONAGUA, 2017). La importancia de la cuenca del Río Jamapa se debe a la gran disponibilidad de los recursos hídricos para diversas actividades productivas, entre las que se desarrollan alrededor de la cuenca del Río Jamapa, la agricultura, ganadería, la acuicultura (PAMIC, 2017). Esto hace que en el estado de Veracruz sea considerado como una de las entidades de gran diversidad biológica y social; rico en recursos naturales y con actividades agropecuarias, forestales y pesqueras (Galaviz, 2010). Sin embargo, sus cuerpos de agua son receptores del drenaje agrícola, pecuario y de aguas negras no tratadas o tratadas parcialmente, las cuales poseen altos niveles de minerales y compuestos orgánicos, además de residuos de plaguicidas y fertilizantes, lo cual afecta principalmente la calidad del agua (EPA, 2004). La presencia de productos químicos farmacéuticos en el medio acuático ha sido reconocida como una preocupación. Las principales vías de productos farmacéuticos en el medio ambiente son a través de la excreción humana, la eliminación de los productos no utilizados y por el uso agrícola. Una amplia gama de productos farmacéuticos se ha detectado en aguas superficiales y subterráneas, asociada con la eliminación de las aguas residuales. Estos residuos son transportados a cuerpos de agua por diferentes rutas: las plantas de tratamiento de aguas residuales actúan como una puerta de entrada de estos productos, porque muchos de estos compuestos no son realmente retenidos en sus procesos y, además, porque muchos residuos farmacéuticos veterinarios son descargados directamente al ecosistema (Gil *et al.*, 2012).

Los antibióticos son fármacos de amplio uso en el mundo; su uso es por su efecto contra microorganismos patógenos en animales y humanos, así como su uso para la preservación de alimentos, lo cual ha incrementado su producción y consumo, derivando en grandes descargas sobre los cuerpos de agua con manifestaciones de resistencia microbiana en las zonas de estudio (Gil *et al.*, 2012). Existe evidencia de la presencia de residuos de antibióticos en el ambiente y su implicación en los mecanismos de defensa propios de los organismos vivos. Entre los antibióticos con mayor reporte en los cuerpos de agua están las tetraciclinas, aminoglicósidos, macrólidos, betalactámicos y vancomicina (Gil *et al.*, 2012).

La mayoría de los antibióticos no son metabolizados completamente por humanos y animales, estos son excretados en la orina como sustancias activas del 30 al 90% y logran pasar al ambiente (León-Aguirre *et al.*, 2017). Se ha reportado la toxicidad de antibióticos, junto con sus metabolitos, que incluyen casos de mortalidad en algas, invertebrados y peces (Escher *et al.*, 2011). Asimismo, antibióticos y mezclas de los mismos han sido encontrados en microorganismos acuáticos como cianobacterias y algas verdes (González *et al.*, 2013), además de que su presencia en los ambientes acuáticos puede influenciar en la resistencia a los antibióticos en las infecciones de la población humana. (Escher *et al.*, 2011). Como consecuencia de todo lo anterior, el propósito de esta investigación es conocer el uso de los antibióticos en el sector pecuario y acuícola que deterioran la calidad del agua de corrientes naturales y el riesgo en la salud pública y que se utilizan en el manejo zoonosario de actividades pecuarias y acuícolas.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Veracruz es uno de los principales productores agrícolas, ganaderos y acuícolas del sureste de México, esta importancia se expresa, sobre todo, a nivel económico. En consecuencia, es necesario estudiar el impacto ambiental que estas actividades pueden ejercer sobre el ambiente, principalmente al recurso hídrico, dada su relevancia ecológica y alta susceptibilidad a los cambios o descargas de contaminantes.

La cuenca baja del Río Jamapa es una de las zonas hidrológicas de Veracruz que se encuentra con un alto impacto ambiental negativo, esto es debido principalmente a la gran cantidad de actividades agropecuarias, la acuicultura y pesca que se desarrollan en ella, además de otras actividades antropogénicas urbanas; mismas que se expresan en forma de fuentes de contaminación puntuales y difusas; éstas pueden verter diferentes contaminantes de diversa naturaleza, como pueden ser contaminantes físicos, químicos o biológicos; de los cuales, en su mayoría, se encuentran regulados en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

En la última década, se ha reportado la aparición de diferentes contaminantes del agua definidos como emergentes, como es el caso de restos de fármacos, entre ellos los antibióticos de uso veterinario, mismos que su presencia y concentraciones en agua no está regulada o restringida por ninguna normatividad en México, asimismo se desconocen su dinámica e interacción con los diferentes componentes del ambiente.

Los contaminantes emergentes son compuestos cuyo vertido puede suponer un problema sanitario y ambiental que aún no está suficientemente investigado ni regulado. Son descargas no necesariamente persistentes, pero solubles en agua por lo que son capaces de penetrar en todas las etapas del ciclo del agua (Gil *et al.*, 2012).

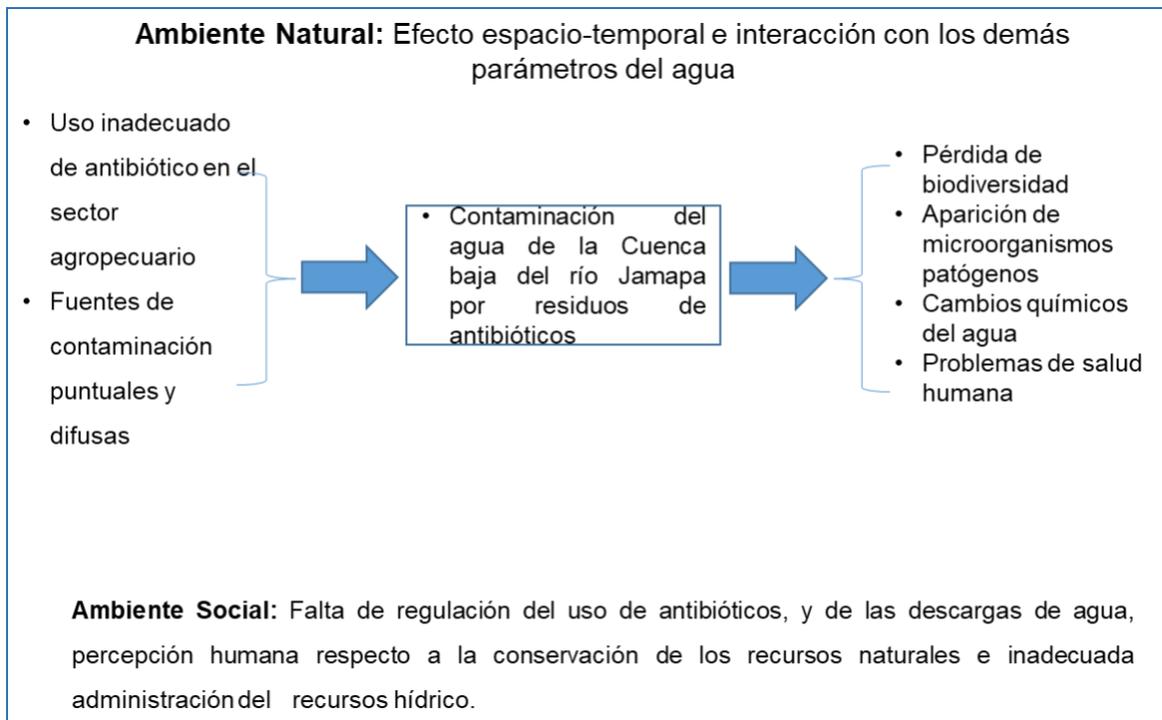
Con respecto a la presencia de antibióticos de uso veterinario en agua, se sabe que ambientalmente pueden alterar la microbiota natural, ya sea causando la pérdida de cepas susceptibles al fármaco o causando resistencia al mismo, es este último punto,

causa de interés debido a que cepas patógenas podrían hacerse resistentes, aumentando con el riesgo ambiental y sobre todo a la salud humana.

Por lo que resulta imperativo saber cuáles son y cómo se usan los antibióticos veterinarios en la cuenca baja del Río Jamapa, así como establecer la dinámica de la variación espacio-temporal de sus concentraciones, para determinar si representan un riesgo ambiental y de salud. Por lo anterior, se planteó la siguiente pregunta de investigación:

**Pregunta de Investigación:**

¿Cuáles son los residuos de fármacos (antibióticos) y sus concentraciones espacio-temporal, que representan un riesgo a la salud pública y ambiental, utilizados en el manejo zosanitario de actividades pecuarias y acuícolas, cuyas descargas se reciben en el cauce de la cuenca baja del Río Jamapa?



**Figura 1.** Factores de contaminación del agua de la cuenca baja del río Jamapa, Ver.

## **HIPÓTESIS**

### **General**

Existe un deterioro de la calidad del agua en el cauce de la Cuenca Baja del Río Jamapa causado por fármacos (antibióticos) provenientes de fuentes puntuales y difusas de contaminación que son el resultado del manejo zoonosanitario de actividades pecuarias y acuícolas que se realizan en esta zona.

### **Específicas**

**H1.** Los residuos de antibióticos están relacionados con las fuentes de contaminación puntual y difusas de las actividades ganaderas y acuícolas que se practican en la Cuenca Baja del Río Jamapa.

**H2.** La calidad del agua del cauce de la Cuenca Baja del Río Jamapa se impacta negativamente como resultado de un mal manejo de los antibióticos en las actividades ganaderas y acuícolas que se practican en la zona de estudio.

**H3.** El manejo de antibióticos usados en las actividades ganaderas y acuícolas deterioran la calidad del agua del cauce de la Cuenca Baja del Río Jamapa, por el impacto que éstos tienen en los organismos acuáticos y a la salud pública.

## OBJETIVOS

Identificar la presencia y concentración espacial y temporal de residuos de fármacos (antibióticos) que representan un riesgo a la salud pública y que se utilizan en el manejo zosanitario de actividades pecuarias y acuícolas, cuyas descargas se reciben en el cauce de la Cuenca Baja del Río Jamapa.

### General

Generar conocimiento sobre la presencia y concentración espacial y temporal de residuos de fármacos (antibióticos) que representan un riesgo a la salud pública y que se utilizan en el manejo zosanitario de actividades pecuarias y acuícolas, cuyas descargas se reciben en el cauce de la cuenca baja del Río Jamapa.

### Particulares

**OP1:** Identificar y georreferenciar las fuentes de contaminación puntuales y difusas relacionadas con las actividades ganadera y acuícolas que aportan antibióticos al cauce de la Cuenca Baja del Río Jamapa.

**OP2:** Conocer los diferentes antibióticos empleados en las actividades ganaderas y acuícolas que impactan la calidad del agua del cauce de la Cuenca Baja de Río Jamapa.

**OP3:** Determinar la concentración de residuos de antibióticos en el agua del cauce de la Cuenca Baja del Río Jamapa, provenientes de las fuentes de contaminación puntuales y difusas que se originan en las actividades ganaderas y acuícolas.

## MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

### Teoría General de Sistemas (TGS)

En un sentido amplio, se presenta como una forma sistemática y científica de aproximación y representación de la realidad, al mismo tiempo, esto permite una orientación hacia la práctica del pensamiento complejo (Arnold y Osorio, 1998).

Coexisten diversos enfoques para contribuir a la solución de problemas de tipo complejo, los cuales son lógicamente no homogéneos presentes en los modelos conceptuales. La TGS es representada bajo un paradigma científico con una visión holística e integradora. Sus principales objetivos son a) Estimular el desarrollo de un concepto en general, funciones y comportamientos sistémicos; b) Elaborar un conjunto de leyes que sean aplicables a los comportamientos sistémicos y c) Desarrollar formulaciones de estas leyes (Arnold y Osorio, 1998).

La TGS ha trascendido por diferentes generaciones. Inicialmente se puede mencionar la investigación operativa, la cual trata sobre la interdependencia de los sistemas mecánicos; la segunda sobre la interacción y la auto-organización en función de la aplicación de la cibernética, información económica, política, ambiental y social y la tercera, que responde a la interdependencia, auto-organización y libertad de elección, en el contexto de los sistemas socio-culturales (Cruz-Bautista *et al.*, 2017). La cuarta se ve desde cuatro corrientes: la primera es la cartesiana por Rolando García que ve “sistemas complejos”; la segunda es la Humanista por Edgar Morín que se encarga de ver “La complejidad”; la tercera es la sociológica por Niklas Luhmann quien aportó la “teoría social autopoietica” y la cuarta es la de sistema en crisis por Carlos Maldonado y Luis Torres con “La complejidad y su paradigma”. Todo ello sirve para elaborar una construcción mental que permita entender la contaminación de las cuencas por fármacos zoonos como un sistema complejo.

### Sistemas complejos

El enfoque sistémico se encuentra en la corriente Galileana con una postura empírica-analítica, como un conocimiento a priori (Bautista *et al.*, 2017); que nace de la teoría

general de sistemas (Bertalanffy, 1976), donde se le consideró como un entorno real. Un sistema abierto que posee cierta estructura, componentes, entradas (*inputs*), salidas (*outputs*), funciones e interacciones entre sus elementos y componentes (Vilaboa-Arroniz *et al.*, 2009). Cabe mencionar que con el surgimiento del tripe desafío de la interdependencia, autoorganización y libertad de elección, en el contexto de los sistemas socio-culturales que enfrentó la tercera y cuarta generación de la TGS, se consideró abordar la complejidad de los sistemas con una visión interdisciplinaria (Bautista *et al.*, 2017).

Álvarez-Salas *et al.* (2014), en el avance de las ciencias señalan que existe la necesidad de desarrollar nuevos enfoques de investigación que se aproximen a la realidad compleja que se percibe en el mundo. Además, indican que las ciencias nuevas superan las ataduras de los modelos clásicos de la investigación científica, no solo mediante la fusión simple de enfoques cualitativos y cuantitativos, sino realizando una proyección de la complejidad del mundo sobre la multiplicidad en el abordaje de esa realidad. Snow (2000) indicó que la separación entre las ciencias duras y blandas dentro del contexto de las ciencias clásicas, había generado una separación en el abordaje de la complejidad de la realidad del mundo en materia y forma.

De acuerdo con Conway (1987), define a los agroecosistemas como sistemas ecológicos modificados por los seres humanos para producir alimento, fibra y productos agrícolas. A medida 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 la dinámica de los procesos ecológicos y socioeconómicos.

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 sirven además como base conceptual, teórica y metodológica para abordar estudios desde un enfoque de sistemas (Casanova-Pérez *et al.*, 2015).

García (2011), indica que la complejidad de un sistema no está solamente determinada por la heterogeneidad de los elementos o subsistemas que lo componen y cuya naturaleza los sitúa normalmente dentro del dominio de diversas ramas de la ciencia y

tecnología. Además de la heterogeneidad la característica determinante de un sistema complejo es interdefinibilidad y mutua dependencia de las funciones que cumplen dichos elementos dentro del sistema total. Pérez-Vázquez y Leyva-Trinidad (2019) señalan desde el enfoque sistémico, que el agroecosistema puede definirse como un modelo o abstracción del fenómeno de la agricultura (actividad agrícola, pecuaria, forestal, acuícola o sus combinaciones) donde inciden factores económicos, sociales y ecológicos para la obtención de alimentos y otros satisfactores que la sociedad demanda.

Escofet (2004) coincide de igual forma, que el carácter complejo de un sistema no está dado por la heterogeneidad de sus elementos, ni por la definición de límites entre éstos, únicamente, sino por las interrelaciones entre sus componentes, cuyas funciones dentro del sistema no son independientes y es el conjunto de sus relaciones lo que constituye la estructura del sistema y que le da la forma de organización para hacerlo funcionar como un todo. Por tanto, los sistemas complejos carecen de límites precisos tanto en la extensión física como en problemática, esto es, los límites de estos sistemas dependen de lo que se pretenda conocer del mismo. De esta manera, estos límites son de alguna manera arbitrarios, pudiéndose establecer desde diferentes puntos de vista, sea geográfico, social, económico, ambiental, etc., no obstante, se debe considerar que en esos “límites arbitrarios” no se interrumpen en la realidad las interrelaciones de lo que “queda adentro” y lo que “queda afuera” (García, 1986).

Existen diferentes maneras de conceptualizar el estudio de sistemas que oscilan entre dos posiciones: en una las estructuras son conceptualizaciones fijas cuya historia de desarrollo es esencial a la explicación, ésta es la postura del estructuralismo más obtuso; en la segunda la estructura es imposible fuera de las relaciones formales, ya que existe demasiada variabilidad en el mundo concreto. Sin embargo, el estudio de estructuras ha dado numerosos frutos fuera de ambas posiciones lo que ha llevado a nuevas formas de conceptualizar sistemas concretos. Básicamente dos tipos, uno ligado a la teoría de “análisis de sistemas” y el otro correspondiente a la Teoría de Sistemas Complejos.

### **Sistemas ambientales como sistemas complejos**

La elección de los límites se debe realizar de manera que aquello que se va a estudiar presente cierta organización o estructura; por esta razón, se debe considerar que las

propiedades de los elementos y de la estructura correspondan a niveles de análisis diferentes (García, 1986).

En los ecosistemas acuáticos, los procesos son las acciones, eventos de carácter físico, químico y biológico, que vinculan a los organismos entre si y a su medio ambiente. Sin embargo, para comprender los problemas ambientales es necesario entender que estos abarcan varios factores que involucran al medio físico-biológico, social y económico. En este contexto, se caracterizan porque convergen múltiples procesos cuyas interrelaciones conforman la estructura de un sistema que funciona como un todo organizado, al que se le denomina un sistema complejo (García, 1992).

De acuerdo con las premisas anteriores, los sistemas ambientales pueden definirse como sistemas complejos ya que estos poseen una localización geográfica y también tienen un conjunto de fenómenos que pueden agruparse en cierto número de componentes o subsistemas que varían según la naturaleza del sistema y que se encuentran funcionalmente ligados entre sí (García, 1992; Escofet, 2004; Ortiz, 2013).

### **La Cuenca del Río Jamapa como sistema complejo**

Una cuenca es un área de terreno delimitada topográficamente que hace que el agua captada drene hacia un punto común en su parte más baja (Ordoñez, 2011; Mass, 2015). Al respecto, Flotemersh et al. (2015) señala que una cuenca hidrográfica son unidades de paisaje espacialmente explícitas que contienen una serie de atributos físicos, ecológicos y sociales que interactúan y que por tanto son sistemas socioecológicos que proporcionan una gama de servicios ecosistémicos valorados por la sociedad, donde su capacidad para prestar estos servicios depende, en gran medida el grado en que se vean afectados por la actividad humana. Las cuencas se pueden abordar con el enfoque de sistemas complejos, ya que estas interconectan todo espacio geográfico que las conforman a través de flujos hídricos, de los nutrientes y de materia y energía. Están conformadas por una serie de ecosistemas a lo largo de los gradientes altitudinales y sobrepasan los límites de las entidades de gestión, que pueden ser locales (a nivel de comunidad, ejido o municipio), estatales, federales o nacionales (Garrido *et al.*, 2010) Así mismo, las cuencas se delimitan por la función de captación y regulación del agua, se subdividen en unidades espaciales o zonas funcionales a partir de la función hídrica

particular que desempeñan y que están interrelacionadas entre ellas (Garrido *et al.*, 2010), estas zonas son:

**Cuenca Alta:** se caracteriza por ser el área de colecta o captación de agua, la cual es filtrada y se concentra en escorrentías; es la porción altimétrica más elevada, con la mayor pendiente en toda la cuenca, lo que ocasiona que sea una zona con características flujo-erosivas.

**Cuenca Media:** es un área de función mixta, ya que el agua se colecta y almacena, pero también se desaloja. Es una zona de transición entre la Cuenca Alta y la Baja, la pendiente es menos abrupta que la Cuenca Alta.

**Cuenca Baja:** es la zona de deposición y descarga de la cuenca; en esta área, la pendiente es muy suave o nula, es el área de salida o emisión de la cuenca, comprendiendo las planicies de inundación ordinaria y extraordinaria.

La cuenca baja del Río Jamapa es una de las cuencas hidrológicas de Veracruz que se encuentra con un alto impacto ambiental o afectada negativamente por el ser humano, debido a la cantidad de actividades agropecuarias, acuacultura y pesca que se desarrollan en ella, además de otras actividades antropogénicas urbanas; mismas que se expresan en forma de fuentes de contaminación puntuales y difusas. Estas usualmente pueden verter diferentes contaminantes de diversa naturaleza que pueden ser físicos, químicos o biológicos; de los cuales, en su mayoría, se encuentran regulados en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

La cuenca del río Jamapa pertenece a la región hidrológica del río Papaloapan; nace en las faldas del Pico de Orizaba. Tiene un área aproximada de 3 912 km<sup>2</sup> y escurrimiento de aguas superficiales de 4 216 millones de m<sup>3</sup>; se ubica entre la cuenca del río la Antigua y el río Papaloapan, abarcando 28 municipios del estado de Veracruz. Cuenta con dos corrientes importantes, el río Cotaxtla y el Jamapa (Moreno-Casasola, 2010).

### **Conceptualización de agroecosistema (AES)**

La conceptualización del agroecosistema como un modelo abstracto de investigación, radica en su observación desde diversos planos de la realidad y puede utilizarse con

diferentes enfoques, tales como: agrícolas, ecológicos, sociales y económicos que puedan hacer posible su integración. Además, presenta características de un sistema abierto y la intervención humana, como el tomador de decisiones, que interactúan con factores agroecológicos, físicos, biológicos, sociales, económicos, culturales y políticos (Ruíz 1995; Sarandón, 2014; Casanova-Pérez *et al.*, 2015).

De acuerdo con la palabra agroecosistema es una palabra compuesta por agro del latín *ager* o *agri* que significa campo y ecosistema (Martínez *et al.*, 2011). Anteriormente Moreno-Casasola (2010), indicó que el concepto de AES deriva de las palabras agro-eco y sistemas, donde el agro es entendido como la actividad agropecuaria que tiene como fin producir un bien o servicio. Mientras el vocablo eco se refiere al ecosistema, el cual es modificado y manipulado por el hombre para dar lugar al agro, y el sistema hace alusión a que tal actividad agrícola en espacios transformados está influenciada por elementos y factores que en su conjunto hacen el funcionar de la actividad.

El origen del agroecosistema tiene diversas fuentes, su desarrollo formal surgió a finales de los años 70 y principios de los 80. Sin embargo, desde la formación del concepto y los elementos integrados en el mismo, éstos se han hecho más complejos e interdependientes para tender a realizar un estudio con una tendencia holística e integral. Continuando con el origen del concepto de AES, Altieri (1995) hizo referencia al concepto de agroecosistema desarrollado por el ecólogo Odum (1969), como ecosistema domesticado, es decir una interfaz entre los ecosistemas naturales y los modificados. Mientras que Vilaboa-Arroniz (2011) indicó que Harper (1974) realizó la primera conceptualización de agroecosistema. Continuando con los inicios sobre la construcción del concepto de AES, para Hernández y Ramos (1977), un AES es un ecosistema modificado en menor o mayor grado por el ser humano para utilizar los recursos naturales en proceso de producción agrícola, pecuaria, forestal y de fauna silvestre; en el cual deben incluirse en su análisis los tres ejes correspondientes a: socioeconómico, ambiental y tecnológico. Cabe resaltar que como se mencionó previamente que la evolución y modificación en este concepto ha ocurrido respecto a un investigador con otro y hasta un mismo autor con lo cual se ha incurrido en la integración de distintos elementos en el concepto. No obstante, a que en el desarrollo de la investigación en agroecosistemas no ha estado exento de caer en la investigación disciplinar debido a

problemas metodológicos sobre el origen del concepto de AES. Por lo cual, a continuación, se argumentará sobre algunos de los principales conceptos de AES utilizados por diferentes investigaciones.

Posteriormente Conway (1985) definió al AES también como un ecosistema modificado por el hombre, quien en su interacción con el medio provee su labor y determina su manejo. Asimismo, Conway (1987) considera los AES como sistemas ecológicos modificados por los seres humanos, e incluye como nuevo elemento la finalidad de dicha modificación en el sistema, es decir, la producción de alimentos, fibras y otros productos y servicios. Algunos años después al concepto de AES generado se incluyen la consideración de nuevos atributos como: los elementos (subsistemas) y los niveles (jerarquía), y propiedades emergentes. Coincidiendo con lo anterior Hart (1987), añadió al concepto de AES la incorporación del concepto de sistemas jerárquicos en el proceso de producción agrícola, donde se genera un conjunto de sistemas agrícolas relacionados jerárquicamente, con interacción tanto vertical como horizontal. Considerando que cada nivel jerárquico es un conjunto funcional de subsistemas, donde los productos de un subsistema pueden ser los insumos de otro.

Posteriormente, se hace la inclusión de otros elementos sobre la definición de AES, Conway (1990 y 1994) señaló que un AES es un ecosistema transformado por la agricultura. Por medio de este proceso el sistema se define con mayor claridad en sus límites, se vuelve menos permeable al exterior, simplificándose al eliminar biodiversidad y perder muchos procesos naturales físico-químicos. Por tanto, los procesos ecológicos son recubiertos y regulados por los procesos agrícolas de cultivo, subsidio (fertilizantes), control (enfermedades, agua) y cosecha. No obstante, también se destaca que estos procesos agrícolas se encuentran a su vez regulados por factores socioeconómicos por lo que el agroecosistema incluye dimensiones biofísicas y socioeconómicas.

En este mismo sentido, un AES es un modelo conceptual y una abstracción de la actividad agrícola en su nivel mínimo de control cibernético humano, y es considerado como la unidad óptima para el estudio de la agricultura y para su propia transformación; está integrado a un sistema agrícola y rural regional a través de cadenas producción-consumo, con interferencias de política y cultura de instituciones públicas y privadas. El AES es un sistema contingente abierto y construido a partir de la modificación social de

un sistema natural, para contribuir a: 1) La producción de alimentos, materias primas, y servicios ambientales que la sociedad en su conjunto demanda; 2) Al bienestar de la población rural; y 3) A su propia sostenibilidad ecológica. El AES posee procesos dinámicos de retroalimentación y control, regulados y autorregulados, como respuesta a variaciones internas y de su entorno. La dimensión espacial, biodiversidad y objetivos del AES dependen del tipo de controlador que regula, de los recursos que éste maneja y de su interrelación con el entorno complejo (Martínez *et al.*, 2011).

A partir de la consideración anterior Casanova-Pérez *et al.* (2015) señalaron que el AES es un modelo conceptual que representa a la realidad agrícola, cuyo controlador/ sistema de conciencia es el receptor de la autopoiesis de los sistemas de comunicación denominados “producción de subsistencia”, “producción en transición” y “producción empresarial”. Así como de las repercusiones estructurales de dichos sistemas generados por su relación intersistémica con otros sistemas de su entorno social y de los ajustes estructurales de los mismos por el efecto de las resonancias derivadas de la coacción del entorno natural sobre ellos.

### **Conceptualización del agroecosistema de la cuenca del Río Jamapa**

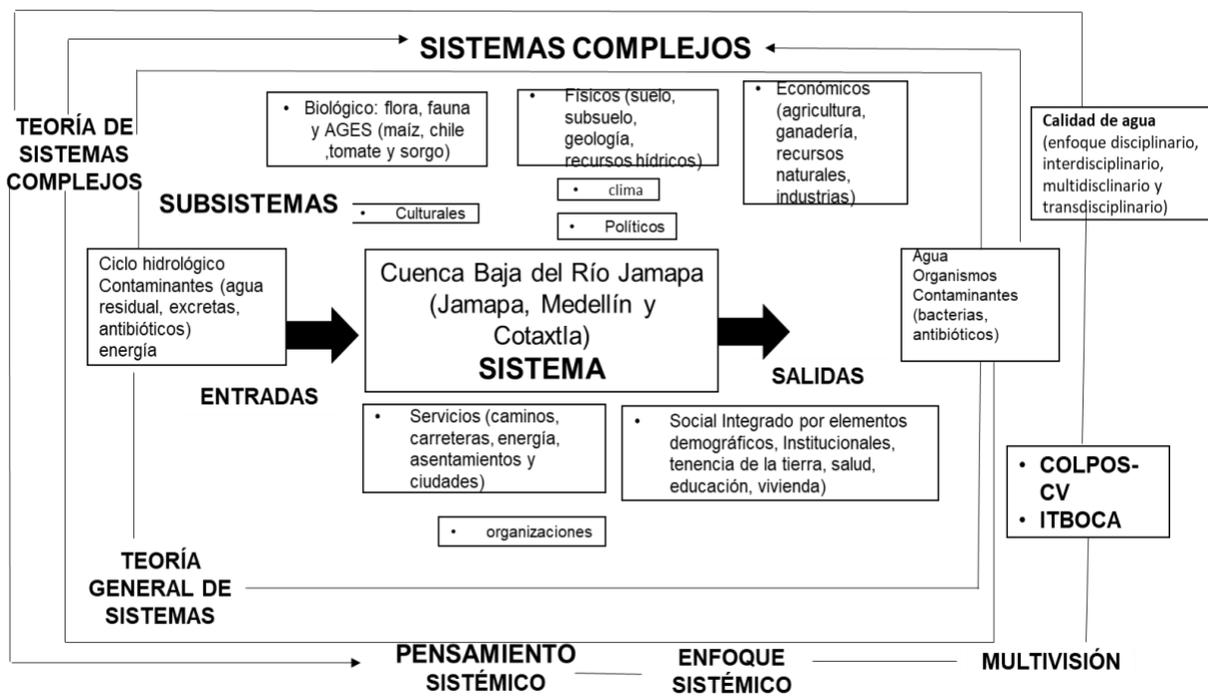
La cuenca hidrográfica es un sistema, que cuenta con entradas como el ciclo hidrológico, que por medio de la precipitación se puede medir la cantidad de agua que ingresa a la cuenca, además contribuye al flujo de agua en los ríos que permite su salida por las desembocaduras o cualquier otro uso. Existen interacciones entre elementos como la deforestación en zonas altas que originan inundaciones en zonas bajas. Está integrada por subsistemas como el biológico (la flora y fauna, y cultivos del hombre), el físico (suelo, subsuelo, geología, microfauna, recursos hídricos y el clima), económicos (agricultura, ganadería, recursos naturales, industrias), servicios (camino, carreteras, energía, asentamientos y ciudades) y el social integrado por elementos demográficos, institucionales: tenencia de la tierra, salud, educación, vivienda; culturales, organizaciones, políticos, etc. (Faustino, 2004). Por lo que cuenta con diversas entradas, una de ellas es el ciclo hidrológico, en la cual la precipitación contribuye al flujo de agua en los ríos (opera en ella internamente), que permite su salida por las desembocaduras o cualquier otro uso (Martínez, 2006; Cabrera, 2011). Los procesos hidrológicos de una

cuenca se caracterizan por ser: 1) No lineales, pues tienen variaciones complejas en el espacio y en el tiempo; 2) No estacionarios, pues están sujetos a periodicidad y tendencias; 3) Variables en el espacio, debido a las características variables del suelo, del uso y del clima a lo largo de la cuenca y 4) Variable en el tiempo, en todas las escalas (hora, día o mes) (Cabrera, 2011). De acuerdo con Martínez (2006), el manejo de cuencas se debe realizar bajo un enfoque sistémico y mecanicista. Para la valoración de la calidad del agua de una cuenca hidrológica, es importante evaluar las características físicas, biológicas, económicas y sociales. García (2006) considera que el estudio de los sistemas complejos se deben abordar con una metodología interdisciplinaria de forma integral, comprendiendo los elementos de análisis provenientes de tres fuentes: 1) Objetivo de estudio “el sistema complejo” (un sistema ambiental), por ejemplo la cuenca baja del Río Jamapa; 2) Marco conceptual, desde el cual se aborda el objetivo de estudio, lo que los investigadores identifican, seleccionan y organizan los datos de la realidad que se proponen estudiar, por ejemplo (calidad de agua, antibióticos y agroecosistemas) y 3) Los estudios disciplinarios, que corresponden a aquellos aspectos o recortes de esa realidad compleja visualizados desde una disciplina específica. Para abordar el primer concepto del estudio “calidad de agua”, es necesario considerar un enfoque multidisciplinario.

El enfoque de cuenca es importante porque el agua constituye el eje integrador del territorio que vincula e interconecta los elementos naturales, sociales y económicos. Las cuencas hidrográficas constituyen las unidades territoriales idóneas para la planeación y gestión de los recursos naturales (Cotler *et al.*, 2010). El manejo integral de cuencas puede facilitar la transversalidad de políticas sectoriales permitiendo la gestión equilibrada de los recursos naturales y la integración de diversos actores (Cotler, 2007). Sin embargo, en México se han llevado a cabo diferentes concepciones y delimitaciones de las cuencas por diversas instituciones, lo que es un reflejo de la diferente visión institucional sobre el manejo de un recurso natural de uso común como es el agua (Paré *et al.*, 2008). En México existe un esfuerzo para transitar de un enfoque sectorial y centralista hacia uno integral, descentralizado y de mayor participación social a través del manejo de cuencas (Cotler, 2007).

La dispersión de la contaminación va más allá de los límites administrativos, por ejemplo, los municipales. Es por esto que la calidad del agua en una cuenca es un buen indicador del impacto de las actividades humanas en un determinado territorio, es necesario implementar disciplinas como la física, química, biología, ciencias ambientales, ciencias políticas y sociales, métodos y técnicas, esto es con la finalidad de estudiar diferentes variables.

Para esta investigación, es necesario abordarla con un enfoque de la TGS, la cual explica que es un sistema y sus componentes, interacciones, recursividad, retroalimentación, entradas, salidas considerando al agroecosistema. El objetivo y el problema de investigación, se debe desarrollar bajo un enfoque sistémico, debido a que es necesario procesar la complejidad de nuestra área de estudio con una multivisión para disminuir la visión reduccionista (Figura 2).



**Figura 2.** Modelo del sistema complejo hidrográfico “Cuenca del Río Jamapa” y su relación con un enfoque de análisis agroecosistémico.

## **El origen epistemológico de la contaminación del agua**

Desde sus orígenes el ser humano, ha buscado e implementado técnicas y mecanismos para beneficiarse de los servicios que los recursos naturales le ofrecen para su subsistencia. El aumento demográfico y su modernización e industrialización, así como la mala organización y poco conocimiento de las consecuencias del mal aprovechamiento de los recursos naturales, ha impactado en la contaminación de los ecosistemas. Esto los llevó a implementar actividades como la agricultura y desvío de cauces de los ríos, así como también construyeron casas más resistentes y domesticaron animales para trabajo de carga en el campo y consumo, con el tiempo, los humanos emigraron hacia tierras más fértiles y factibles para sobrevivir, formaron comunidades y poblaciones que con el paso de los años se volvieron grandes culturas y a su vez de los problemas ambientales (Salcedo, 2019).

Desde la perspectiva de la construcción de los paradigmas del pensamiento Occidental, la corriente del teocentrismo pasó al antropocentrismo, en ese cambio de pensamiento se dejó de buscar respuestas teológicas que trataran de explicar al mundo como un pensamiento integral de contacto espiritual a otro, que se destaca por ser un pensamiento analítico en la coherencia y racionalidad de teorías explicativas. La explicación científica y desarrollo tecnológico son los principales cambios. A mediados del siglo XX, durante los años de posguerra como resultado de la confrontación del bloque soviético y el americano, surgió un cambio en la tendencia del pensamiento, que estaría al servicio de la expansión del sistema capitalista, que ocasionó el deterioro de la naturaleza. Mientras tanto, en el Occidente se gestionaba el movimiento ambiental, que se oponía y se manifestaba fuertemente con críticas al proceso de modernidad y modernizado, que de alguna forma ocasiona perjuicios a la naturaleza (Salcedo, 2019). Los problemas de 1970 eran los recursos naturales estos eran percibidos por diferentes corrientes, la primera fue dominada por la eficiencia económica “análisis costo-beneficio”, donde permitían al mercado la explotación de los recursos naturales, no importando la contaminación o degradación de éstos. Su concepción se fundamentaba en el utilitarismo y derechos de propiedad. La segunda fue la corriente preservacionista, centrada en la conservación integral de la biósfera, en la cual ningún aspecto constitutivo de la biósfera podría ser tocado o manipulado por las actividades del ser humano, es decir; que el ser

humano no tiene ningún derecho sobre los recursos naturales (Quintero *et al.*, 2008). Para Martínez (1992), los recursos naturales son los diferentes elementos producidos por la naturaleza sin la intervención del ser humano, incluyendo las funciones y servicios que realiza la naturaleza, que satisfacen las necesidades del ser humano. Se considera un recurso natural no renovable cuando la tasa de renovación del recurso es muy lenta, comparada con la tasa de crecimiento humana. Cuando la tasa natural de renovación es relativamente alta, es un recurso renovable (Salcedo, 2019). Con esta postura se generaron discusiones sobre las consecuencias ambientales del desarrollo económico, que se originaron a nivel de organizaciones internacionales y de los gobiernos. Se ha planteado una reforma con carácter tecnológico que permita mantener el crecimiento llamado “Desarrollo sostenible” con sus tres componentes o pilares: ambiental, social y económico; perspectivas que suelen calificar como ecología superficial (Caicedo, 2011). Una tercera corriente es la conservacionista, que considera a los recursos naturales y los problemas del ambiente como una restricción para el crecimiento económico. Sugiere que esta situación debe detenerse de manera significativa. Las primeras dos corrientes son el resultado de un enfoque reduccionista, y las otras dos provienen de forma diversa del compromiso entre economía, por una parte; y de ambiente y recursos naturales por la otra (Quintero *et al.*, 2008).

### **Contaminación del agua**

La contaminación como un subproducto del desarrollo y del crecimiento económico, la cual ocasiona problemas de salud pública al inducir diversas enfermedades causadas, tanto por un agente agresor o como enfermedades crónicas degenerativas, que lamentablemente el sector marginado es el más afectado (Salcedo, 2019). Por otro lado, Ibarra (2010), considera que las propiedades químicas, físicas y biológicas de los sistemas acuáticos determinan su calidad y se. Consideran que la calidad del agua es la condición de ésta con respecto a sus características físicas, químicas y biológicas en su estado natural, o después de ser alterada por alguna actividad del ser humano. Se considera que el agua es de buena calidad cuando sus principales características fisicoquímicas como oxígeno disuelto, pH, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), nitratos, coliformes fecales, temperatura, turbiedad y sólidos disueltos totales, no

transmitan enfermedades y efectos desagradables al ser consumida. La importancia de contar con agua de buena calidad radica en que se evita la afectación de la salud pública y la de organismos, debido a su consumo y contacto con la misma (Salcedo, 2019).

### **Calidad del agua**

La calidad del agua se define en función de un conjunto de características variables fisicoquímicas o microbiológicas, así como de sus valores de aceptación o de rechazo. La calidad físico-química del agua se basa en la determinación de sustancias químicas específicas que pueden afectar a la salud, tras cortos o largos periodos de exposición (Salcedo, 2019).

Otro termino de 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, 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 (Palomarez-García, 2010).

La calidad del agua, 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 sentidos, pero si ejercer impactos negativos sustanciales en la salud de los cuerpos de agua que utiliza el ser humano (Palomarez-García, 2010).

### **Teorías que respaldan el trabajo de investigación**

Los residuos generados se les denomina Descargas No Puntuales (DNP), en el marco conceptual de la corriente “economía ecológica” y bajo el régimen de las políticas agroambientales, se estimuló el desarrollo de una corriente teórica para la contaminación difusa del sector agropecuario llamada “Teoría de las Descargas No Puntuales”. Se le atribuye a Griffin & Koohafkan (1999), ser los pioneros por sus aportes con la teoría de “función de producción no puntual” (FPNP), para medir en forma directa las descargas agropecuarias que no podemos observar, donde emplearon relaciones determinísticas

para la construcción de instrumentos. En 1986 Shortle y Dunn emplearon el trabajo de FPNP y construyeron un modelo más sofisticado el que reconoce que las emisiones no puntuales no son determinísticas, sino estocásticas y no observables, que los procesos de destino y transporte de contaminantes también son estocásticos y que existe asimetría en la información entre el agente regulador y el productor. Derivados a los trabajos anteriores, para el 2003 Eirik Romstad realizó un modelo aplicando incentivos económicos de acuerdo a la aplicación del manejo de buenas prácticas para las personas dedicadas a las actividades agropecuarias (Pérez, 2008).

### **Descargas de las fuentes puntuales y no puntuales o difusas**

La calidad del agua está afectada por diversos factores como los usos del suelo, la producción industrial y agrícola, el tratamiento que se le da antes de ser vertida nuevamente a los cuerpos de agua, y a la cantidad misma del agua de los ríos y lagos, ya que de ésta depende su capacidad de purificación. Calidad del agua, es el término ampliamente usado, sin embargo, la cuantificación científica resulta bastante importante y esta solución es una estrategia básica en el desarrollo de los fundamentos para el manejo de los recursos hídricos (Hakanson *et al.*, 2000).

La percepción que tiene la comunidad sobre la salud pública, se basa en las normas establecidas para reutilizar el agua residual las NOM-001-SERMANAT, 1996. Por su parte, Jones (2006), indica que las estrategias de limpieza de aguas residuales fueron: a) promover la calidad del agua al límite inferior particularmente la DBO, y el amonio; b) promover o aumentar los tratamientos primarios de las aguas residuales; c) imponer un estricto control en las descargas industriales.

### **Fuentes puntuales**

Los recursos hídricos son cuerpos receptores de residuos y sustancias nocivas provenientes de distintas fuentes de contaminación. Cuando se conoce el origen y al responsable de las descargas de agua contaminada, se denominan descargas puntuales y pueden ser de origen municipal o industrial (Pérez, 2008; Salgado, 2019).

El término “fuente puntual” significa toda infraestructura o medios perceptibles,

empleados para la conducción o transporte de agua y materiales contaminados, los cuales se encuentran claramente delimitados. Algunos ejemplos de lo anterior son: tubería, canal, conducto, pozo, fisura discreta, contenedor, actividades concretas de alimentación de animales y material rodante. En este término no se incluyen las descargas agrícolas de agua de lluvia ni el caudal de retorno de la agricultura de regadío (Ongley, 1997).

En países como China, la contaminación de aguas superficiales origina florecimientos algales, el cual es un claro ejemplo de la eutrofización de ríos y otros cuerpos de agua, debido a la presencia de nitrógeno, fósforo y potasio provenientes de los fertilizantes. Otro proceso que agudiza este fenómeno es la descarga de aguas residuales a los referidos a los cuerpos de agua arriba mencionados.

La contaminación de agua procedente de fuentes no localizadas, conocida anteriormente con el nombre de contaminación “difusa”, es resultado de un amplio grupo de actividades humanas en las que los contaminantes no tienen un punto claro de ingreso en los cursos de agua que los reciben. Por el contrario, la contaminación procedente de fuentes localizadas está asociada a las actividades en que el agua residual va a parar directamente a las masas de agua receptoras, por ejemplo, mediante cañerías de descarga en las que se pueden fácilmente cuantificar y controlar. Es claro que la contaminación de fuentes no localizadas es mucho más difícil de identificar, medir y controlar.

### **Fuentes no puntuales**

Las fuentes de contaminación que no son posibles de identificar, cuantificar y controlar las concentraciones de contaminantes ni las descargas se les llama fuentes o descargas no puntuales o difusas, son de naturaleza muy variada, por ejemplo, los efluentes de la agricultura (Pérez, 2008). Las actividades agrícolas son una de las causas más importantes de fuentes no puntuales de contaminación, son relativamente difícil de evaluar sus impactos como la generación de sólidos producidos por la quema de pastizales y zonas cañeras, el drenaje agrícola, las escorrentías provenientes de campos agrícolas o de pastoreo, además de las escorrentías pluviales, las fugas en tuberías que

transportan combustibles o gasolineras y las fugas en la red de alcantarillado (Pérez, 2008).

### **Teoría de la Evolución**

Otra de las teorías que sustentan este trabajo, históricamente existen dos teorías, que han explicado la evolución; cómo los organismos adquieren características nuevas o adaptan las constitutivas para sobrevivir y mantenerse en un ambiente determinado. La teoría de adaptación de Lamarck expuesta en 1809, se basa en la premisa que la evolución está dada por cambios fenotípicos y genotípicos a lo largo del tiempo, generados por variaciones ambientales, que le permiten al organismo adaptarse al medio modificado; éstas serían deterministas y se transmitirían de una generación a otra (Koonin & Wolf, (2009). Por otro lado, está la teoría de selección natural de Darwin que da mayor importancia a cambios al azar, que proporcionan características de ventaja a ciertos organismos; sobreviven los que ante una presión determinada presentan la característica que les permite adaptarse (aptos) y son seleccionados sobre aquellos que carecen de la característica (Creager, 2007; Koonin & Wolf, 2009).

## MARCO REFERENCIAL

### Recurso hídrico

Los ríos y arroyos del país constituyen una red hidrográfica de  $6.33 \times 10^5$  km, en la que destacan 51 ríos principales por los que fluye el 87% del escurrimiento anual y cuyas cuencas ocupan el 65% del territorio nacional. Por su superficie destacan las cuencas de los ríos Bravo y Balsas y por su longitud los ríos Bravo y Usumacinta. Para el año 2015 el 32.4% de las aguas superficiales fueron clasificadas como contaminadas (26.2%) o fuertemente contaminadas (5.8%) para el indicador de demanda química de oxígeno (DQO) (Martínez- Austria *et al.*, 2019).

El agua subterránea en México presenta una recarga media anual de  $91788 \text{ hm}^3$  de los cuales se suministra el 38.9% ( $33310 \text{ hm}^3 \text{ año}^{-1}$ ) del consumo total de agua del país ( $85660 \text{ hm}^3 \text{ año}^{-1}$ ), para todos los usos consuntivos. El agua subterránea se utiliza principalmente para usos consuntivos ( $32860 \text{ hm}^3 \text{ año}^{-1}$ ) en el año 2015; (CONAGUA, 2016); y específicamente para el riego de cultivos hasta en un tercio de la superficie total irrigada del país (unos 6.5 millones de hectáreas). Más de 71 millones de personas (55 millones en zonas urbanas y 16 millones en zonas rurales) dependen del abastecimiento de agua subterránea ( $7320 \text{ hm}^3 \text{ año}^{-1}$ ). Además, al menos el 50% de las instalaciones industriales auto abastecidas (que toman agua directamente de aguas superficiales o acuíferos) utilizan las aguas subterráneas en sus procesos  $2070 \text{ hm}^3 \text{ año}^{-1}$  (CONAGUA, 2016).

### Importancia del agua en la agricultura

El agua es uno de los recursos renovables más importantes y valiosos para la agricultura y para la humanidad. Aunque el agua abunda en nuestro planeta ( $2/3$  de su superficie están cubiertas por agua) y forma parte de un ciclo que parece no agotarse nunca, hay dos características que deben ser tomadas en cuenta y que pueden significar un serio problema para los humanos: su calidad y su disponibilidad. La mayor parte del agua es salada y, por tanto, no útil para la mayoría de los usos, entre ellos el consumo humano y el riego para la agricultura a menos que pase por procesos de desalinización. Por lo

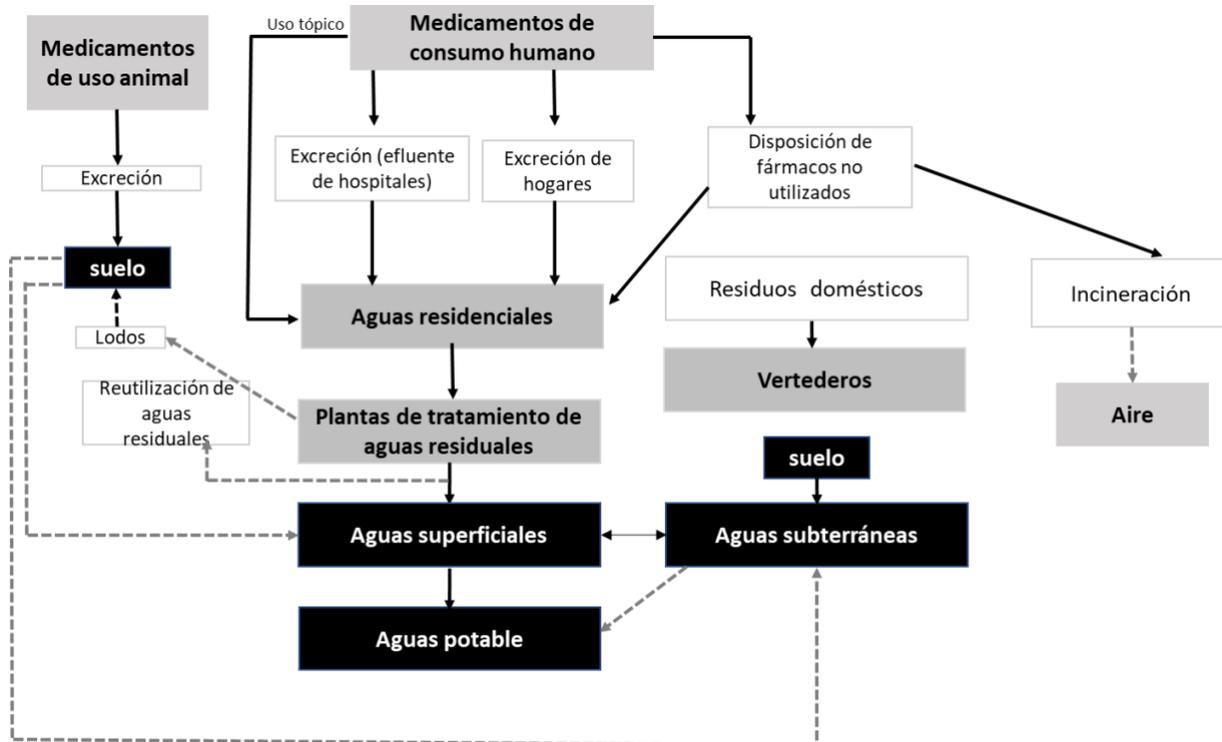
tanto, la disponibilidad de agua dulce impone importantes restricciones a su uso indiscriminado (UNESCO, 2015).

En México el sector agrícola ocupa el 76% de agua. Esto se debe que México cuenta con más de 4 mil unidades de riego, en el 2016 se le destinó un volumen de agua de 66 048.7 hm<sup>3</sup>, de los cuales el 36% del agua concesionada es de origen subterráneo. En el 2007, la superficie en unidades agrícolas de producción fue de 30.2 millones de hectáreas (18% de riego y el resto de régimen de temporal). En el 2016 en México, la superficie sembrada bajo riego fue de 6.05 millones de hectáreas, de las cuales aproximadamente la mitad se ubican en 86 distritos de riego, y el restante en más de 40 mil unidades de riego (CONAGUA, 2017).

### **Entrada de contaminantes a los ríos**

Las principales causas de contaminación del agua en México son: 1) Contaminación microbiológica por desechos de aguas municipales no tratadas; 2) Sustancias químicas de desechos industriales; 3) Fertilizantes y pesticidas; y 4) La intrusión salina. Estos factores originan la restricción del uso y consumo del agua para los humanos, además, afecta y compromete la subsistencia de la biodiversidad que vive en los cuerpos de agua afectando el ciclo hidrológico (Salcedo, 2019). Dentro de este grupo de contaminantes, existe una creciente preocupación por los potenciales efectos adversos de los antibióticos, pues son fármacos ampliamente utilizados en medicina, agricultura industrial y acuicultura. En concreto, el rápido desarrollo de la piscicultura ha aumentado el uso de antibióticos para prevenir enfermedades bacterianas en las granjas de cultivo de peces. En la acuicultura, los antibióticos pueden administrarse directamente en las aguas o incorporarse a la dieta, siendo excretados al medio en las heces y en la orina (Shao, 2001). Esta continua descarga de antibióticos puede causar daños en los ecosistemas acuáticos y promover el desarrollo de resistencias bacterianas (Eguchi *et al.*, 2004; Sarmah *et al.*, 2006; Santaefemia *et al.*, 2016). El riesgo asociado al uso de los antibióticos incluye los efectos adversos después de la ingesta o aplicación. Sin embargo, no se considera que, después de su uso, éste terminará en el ambiente después de la excreción, donde una cierta cantidad del compuesto del antibiótico (en forma inalterada) y sus productos de degradación (metabolitos) terminan en las redes

cloacales y finalmente en las plantas de tratamiento de aguas residuales, como se muestra en la Figura 3.



**Figura 3.** Ruta de los antibióticos en el medio ambiente (Correia y Marcano, 2015).

Actualmente existe evidencia de la presencia de residuos de antibióticos en el ambiente y su implicación en los mecanismos de defensa propios de los organismos (Jiménez *et al.*, 2011). Entre los antibióticos con mayor reporte en los cuerpos de agua están las tetraciclinas (Dang *et al.*, 2007), los aminoglicósidos (Shakil *et al.*, 2008), los macrólidos, los betalactámicos y la vancomicina (Roberts *et al.*, 1999). Tales antibióticos no se remueven con facilidad en las plantas de tratamiento de agua residuales y, generalmente, terminan en aguas superficiales y de consumo humano, exponiendo de forma crónica la especie humana a sus efectos tóxicos (Ternes, 2001).

Pocos trabajos se encuentran en los que determinan la concentración de los antibióticos en el agua superficial en ríos. En algunos de estos se ha empleado en sedimentos utilizando la cromatografía para su determinación. Para ello, se requiere

considerablemente de investigación para desarrollar herramientas eficaces de soporte de decisiones para la determinación de los antibióticos en agua superficial. La presencia de productos químicos farmacéuticos en el medio acuático ha sido reconocida como una preocupación (Gil *et al.*, 2012). Las principales vías de productos farmacéuticos en el medio ambiente son a través de la excreción humana, la eliminación de los productos no utilizados y por el uso agrícola (Poynton y Vulpe, 2009). Una extensa gama de productos farmacéuticos se ha detectado en aguas superficiales y subterráneas, asociada con la eliminación de las aguas residuales (Gil *et al.*, 2012). Los residuos farmacéuticos son transportados al ciclo del agua por diferentes rutas: las plantas de tratamiento de aguas residuales actúan como una puerta de entrada de estos productos a los cuerpos de agua, porque muchos de estos fármacos no son retenidos en sus procesos y, además, porque muchos residuos farmacéuticos veterinarios son descargados directamente al ecosistema, permitiendo grandes descargas sobre los cuerpos de agua con manifestaciones de resistencia microbiana en las zonas de estudio. Hay evidencia de la presencia de residuos de antibióticos en el ambiente y su implicación en los mecanismos de defensa propios de los organismos vivos. Entre los antibióticos con mayor reporte en los cuerpos de agua están las tetraciclinas, los aminoglicósidos, los macrólidos, los betalactámicos y la vancomicina (Gil *et al.*, 2012).

Para Delgado (2011), la mayor preocupación con respecto a estos fármacos ha sido el hallazgo de algunos de ellos, tales como el ibuprofeno, el diclofenaco, la carbamacepina o el ácido clofíbrico en aguas potables. Según las propiedades físico-químicas de los fármacos, sus metabolitos, productos de degradación y las características de los suelos, estas sustancias pueden llegar a alcanzar las aguas subterráneas y contaminar los acuíferos o bien quedar retenidas en el suelo y acumularse. Tal situación puede afectar seriamente al ecosistema y a la salud pública a través de la cadena trófica (Barceló y López, 2007). Los antibióticos son fármacos de amplio uso en el mundo; su efecto contra microorganismos patógenos en animales y humanos, así como su uso para la preservación de alimentos, han incrementado su producción y consumo. Lo que resulta en grandes descargas de los referidos fármacos en los cuerpos de agua con manifestaciones de resistencia microbiana en las zonas de estudio. Hay evidencia de la

presencia de residuos de antibióticos en el ambiente y su implicación en los mecanismos de defensa propios de los organismos vivos (Gil *et al.*, 2012).

Por otro lado, el fenómeno de difusión de los antibióticos en los ecosistemas (Jiang *et al.*, 2014), asume que los hospitales son la fuente de introducción de los antibióticos y las bacterias resistentes en las aguas residuales municipales, pero se reporta que los efluentes hospitalarios contribuyen con menos del 1% de la cantidad total presente en estas aguas. Esta es la razón por la que los hospitales no son la fuente principal de las bacterias resistentes en el ambiente acuático. Además, para Hiroshi *et al.* (2009) los antibióticos rara vez se encuentran en el agua subterránea y en caso de encontrarse se debe a la lixiviación de los campos tratados con antimicrobianos en actividades como la agricultura, acuicultura y medicina veterinaria.

Por otra parte, Vargas y Ruiz (2007) señalaron que la exposición a los antibióticos en las aguas superficiales puede tener efectos adversos en la reproducción en las primeras etapas de vida de los diferentes organismos. Acevedo-Barrios *et al.* (2015) determinaron que la presencia de antibióticos en el medio ambiente también puede afectar el comportamiento de los organismos. En el caso de peces ocasiona deformaciones del esqueleto, al igual que en el caparazón de las tortugas que han estado expuestas a altas concentraciones de antibióticos en el medio ambiente.

Castañeda *et al.* (2009) reportaron que los antibióticos que se unen a las partículas de los sedimentos retrasan su biodegradación. Esto explica la persistencia de éstos en el largo plazo en el medio ambiente, debido a que son retenidos en el suelo por su asociación con los productos químicos del mismo. Harada *et al.* (2012) determinaron los niveles de concentración de antibióticos de uso veterinario en matrices ambientales como el suelo, agua y estiércol, así como su destino y transporte en el medio ambiente.

De igual manera, Moura *et al.* (2012) identificaron que la agricultura jugó un papel muy importante en la administración en suelos agrícolas, ya sea como metabolito o compuesto original en el estiércol y el abono. En la acuicultura, los antibióticos se han utilizado principalmente para fines terapéuticos y como agentes profilácticos. Entre estos encontramos oxitetraciclina, florfenicol, premezcla, sarafloxacin, sulfonamidas eritromicina (Cabello, 2006).

En la actualidad no hay un consenso sobre la denominación de este campo del conocimiento del uso de los antibióticos tanto para humanos como veterinarios. Lo que ha provocado una constante y continua disposición en el medio ambiente, teniendo serios efectos negativos sobre la fauna y flora (Camacho-Moreno, 2013).

### **Impacto ambiental y la salud pública por los diferentes contaminantes emergentes en el agua**

Existen diversos contaminantes que atentan contra la integridad de los ecosistemas, siendo los contaminantes emergentes (CE) los que han centrado la atención de la comunidad científica en 1990, al encontrarse estas sustancias sin estatus regulatorio y con efectos desconocidos en el ambiente (Meléndez-Marmolejo *et al.*, 2020). Los CE son sustancias que pueden causar efectos a la ecología y a la salud humana, a pesar de que sus concentraciones sean bajas ( $\mu\text{g L}^{-1}$  y  $\text{ng L}^{-1}$ ). Estos compuestos no están incluidos en las redes de monitoreo ambiental de rutina y muchas plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) no están construidas o adaptadas para hacer frente a estos contaminantes (Meléndez-Marmolejo *et al.*, 2020).

### **Contaminantes emergentes (antibióticos)**

Dentro del amplio grupo de los CE, los compuestos farmacéuticos representan uno de los grupos de contaminantes con mayor frecuencia de detección en el medio acuático (Botero-Coy *et al.*, 2018). Los compuestos farmacéuticos son un grupo amplio y diversas mezclas con propiedades para prevenir, curar y tratar enfermedades, cuyo uso ha tenido un aumento constante, debido principalmente al incremento mundial de la población, al desarrollo de nuevos fármacos y al acceso a medicamentos genéricos de menor costo (Correira & Marcano, 2016)

Los antibióticos son fármacos de amplio uso en el mundo; y tienen un amplio efecto contra microorganismos patógenos en animales y humanos, así como su uso en la preservación de alimentos. En las principales actividades productivas se ha incrementado su consumo, a nivel mundial la producción acuícola alcanzó 90.4 millones de toneladas en 2012, correspondiendo a 66.6 millones de toneladas a especies

comestibles, incluyendo la producción de camarones de cultivo. Esta última representó el 9.7%; es decir, 6.4 millones de toneladas (Varela-Mejías & Alfaro-Mora, 2018).

En términos de antibióticos son fármacos de amplio uso en el mundo; su efecto contra microorganismos patógenos en animales y humanos, así como su uso para la preservación de alimentos, han incrementado su producción y consumo, permitiendo grandes descargas sobre los cuerpos de agua con manifestaciones de resistencia microbiana en las zonas de estudio (Jiménez *et al.*, 2011). Otro concepto es el generado por Mota (1996) quien lo describe como una sustancia química derivada o producida por microorganismos que poseen la capacidad de matar o inhibir el desarrollo de otros microorganismos.

Por otro lado, un antibiótico se define como sustancias químicas producidas por diferentes especies de microorganismos que suprimen el crecimiento de otros microorganismos y pueden, eventualmente, destruirlos (Cancho-Grande *et al.*, 2000). Cabe agregar que también se conoce como drogas de origen natural semisintéticas o sintéticas con actividad antibacterial, antifúngica o antiparasitaria (Guzmán-Carrillo *et al.*, 2012).

Estas sustancias químicas inhiben el crecimiento de bacterias (bacteriostáticos) o matan bacterias (bactericidas) son producidas por una variedad de bacterias y hongos (Muñoz, 2004).

La presencia de los antibióticos en los ecosistemas es una temática que debe analizarse, dado que tienen la finalidad de tratar en su mayoría los problemas de salud de toda la población, lo que ayuda a que mejore el estilo de vida de dicha población, de esta manera lo que se quiere dejar en claro, es la calidad de vida del ecosistema (Henríquez *et al.*, 2012).

Para poder entender cómo los antibióticos llegan al medio ambiente, al ser emitidos por el ser humano, es primordial conocer los mecanismos que regulan el comportamiento dentro del organismo (Henríquez *et al.*, 2012).

## Clasificación de los antibióticos

Los primeros antibióticos fueron de origen natural, por ejemplo, la penicilina producida por el hongo del género *Penicillium*, o la Estreptomina a partir de bacterias del género *Streptomyces*. Actualmente se obtienen antibióticos por síntesis química, como las sulfamidas (por ejemplo, sulfametoxazol), o por modificación química de compuestos de origen natural como se describe en el cuadro 2. Actualmente los antibióticos se pueden agrupar por su estructura química o mecanismo de acción. Son un grupo diverso de productos químicos que se pueden dividir en diferentes subgrupos como  $\beta$ -lactámicos, quinolonas, tetraciclinas, macrólidos, sulfonamidas y otros. A menudo son moléculas complejas que pueden poseer diferentes funcionalidades dentro de la misma molécula (Kümmerer, 2009). La clasificación de los antibióticos está dada de acuerdo a muchos criterios, el más usado es la estructura molecular, como se muestra en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Familias de antibióticos según estructura química

---

<b><math>\beta</math>- LACTÁMIDOS: LACTÁMIDOS</b>	Penicilina y derivados, cefalosporinas, cefamicinas, carbapenem, monobactámicos, inhibidores de las betalactamasas
<b>AMINONOGLICÓSIDOS</b>	Estreptomina, gentamicina, amikacina, netilmicina, kanamicina

---

**Cuadro 2.** Clasificación de los antibióticos

---

<b>β- LACTÁMIDOS</b>	Penicilina y derivados, cefalosporinas, cefamicinas, carbapenem, monobactámicos, inhibidores de las betalactamasas.
<b>AMINONOGLICÓSIDOS</b>	estreptomina, gentamicina, amikacina, netilmicina, kanamicina
<b>TETRACICLINAS</b>	oxitetraciclina, doxiciclina
<b>MACRÓLIDOS</b>	eritromicina/nuevos macrólidos: claritromicina, roxytromicina, azitromicina (azólido)
<b>SULFONAMIDAS</b>	sulfametoxazole, sulfisoxazole
<b>QUINOLONAS</b>	ácido nalidíxico, pipemídico/quinolonas fluoradas: pefloxacina, ciproflaxacina, norfloxacina, sparfloxacina.
<b>DERIVADOS NITROIMIDAZÓLICOS</b>	metronidazole, tinidazole, ornidazole.
<b>POLIMIXINAS</b>	Polimixina B y E
<b>NITROFURANTÍNA</b>	
<b>RIFAMPICINA</b>	

---

Fuente: Maguiña-Vargas *et al.* (2006).

### **Tetraciclina**

Las tetraciclinas se pueden clasificar de acuerdo a cuatro apartados: productos naturales de tetraciclinas (clortetraciclina, oxitetraciclina, tetraciclina), compuestos de segunda generación o compuestos semisintéticos de tetraciclinas (minociclina, doxiciclina, metaciclina), tetraciclinas de tercera generación o glicilciclinas (tigeciclina) y las tetraciclinas químicamente modificadas (CMTs). Otro de los efectos de las tetraciclinas es que son anti-inflamatorios y anti-apoptóticos y afectan a múltiples procesos como la angiogénesis, la proteólisis y el metabolismo óseo. Se han utilizado con diferentes resultados en afecciones en las que no existe un mecanismo infeccioso (artritis

reumatoide, diferentes tipos de cáncer y sus metástasis, enfermedades cardiovasculares y metabólicas, etc.) (Álvarez-Lerma *et al.*, 2010). Los agentes bacteriostáticos, con actividad sobre una gran variedad de microorganismos, por lo que se han convertido en antibióticos de uso en los seres humanos, animales y en algunas áreas de la agricultura (Sánchez-Saldaña *et al.*, 2004).

Sánchez-Saldaña *et al.* (2004) clasifica a las tetraciclinas de acuerdo a su perfil farmacocinética como se muestra en el Cuadro 3.

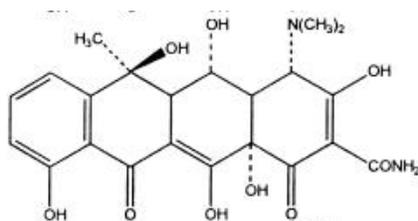
**Cuadro 3.** Perfil farmacocinética de los antibióticos.

Perfil farmacocinética	Antibiótico
De vida media corta (6-8 hrs)	Clortetraciclina, oxitetraciclina y tetraciclina
De vida media intermedia (12-14 hrs)	Demeclociclina, oxitetraciclina y tetraciclina
De vida mediana larga (16-18 hrs)	Doxiciclin, minociclina y limeciclina

Fuente: Sánchez-Saldaña *et al.* (2004).

### Oxitetraciclina

La oxitetraciclina (OTC, 5-hidroxytetracycline), Figura 4, es un antibiótico que pertenece a la familia de las tetraciclinas. Se descubrieron en la década de 1940, son de la familia de los antibióticos que inhiben la síntesis de proteínas al prevenir la unión de aminoacil-tRNA al aceptor ribosoma (sitio A) en la subunidad menor del ribosoma (30S) bloqueando por lo tanto el primer paso de la fase de elongación de manera irreversible (Chopra y Roberts, 2001).

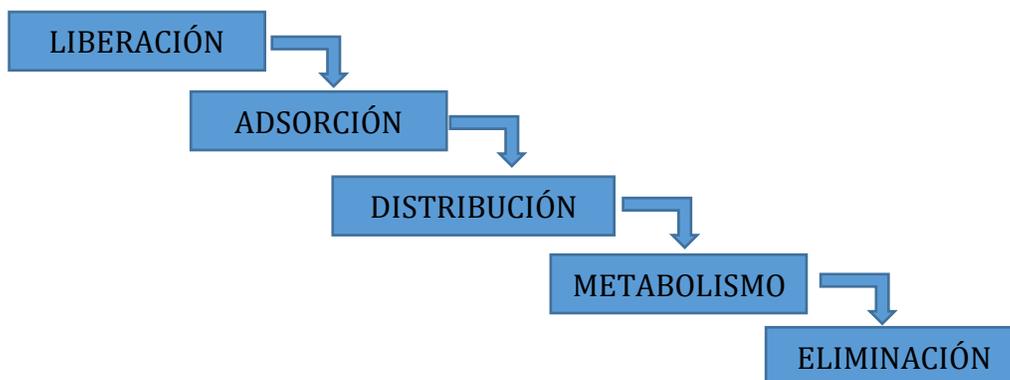


**Figura 4.** Estructura de la oxitetraciclina (Chopra y Roberts, 2001).

Son agentes de amplio espectro que exhiben actividad frente a una amplia gama de bacterias gram-positivas y gram-negativas. Amplio espectro de acción de estos agentes y la ausencia de efectos secundarios mayores han conducido a su extensivo uso en terapias de infección en humanos y animal (Chopra y Roberts, 2001).

### **Ingreso de los contaminantes emergentes (antibióticos) al organismo y su liberación al ecosistema**

Los antibióticos ingresan al organismo generalmente vía oral, en donde los principios activos que contiene el antibiótico son expuestos para su absorción en el intestino delgado, a través de las vellosidades que éste posee, después que los jugos gástricos del estómago han realizado su trabajo de liberarlos. Cuando el antibiótico ya se encuentra en el torrente sanguíneo, éste se distribuye, metaboliza y elimina. A esta secuencia de procesos se le conoce como, Liberación, Adsorción, Distribución, Metabolismo y Eliminación (LADME), mecanismo por el cual los antibióticos pasan desde su absorción hasta su eliminación, lo cual se ilustra en la (Figura 5). Ésta muestra la secuencia del proceso de los antibióticos LADME (Henríquez *et al.*, 2012).



**Figura 5.** Secuencia del proceso de los antibióticos LADME. Fuente: Henríquez *et al.* (2012).

Al estar presente los antibióticos en el medio ambiente, estos sufren diversas biotransformaciones conocidas como biodegradación, debido a la variedad de agentes

que implican la alteración de los mismos. Los antibióticos están constituidos por moléculas orgánicas, lo que nos indica que sus mecanismos de degradación a los que están expuestos en el medio ambiente son iguales a los de cualquier compuesto orgánico. Con la diferencia de que todas las reacciones que se llevan a cabo se realizan aun cuando las concentraciones de estos compuestos estén diluidas (Henríquez *et al.*, 2012). Considerando también la bioactividad de estos compuestos, se considera un ejemplo de principio activo a la amoxicilina, que es un derivado semisintético de la penicilina, y se usa como antibiótico. Éste actúa sobre un amplio espectro de microorganismos. Debido a su buena absorción gastrointestinal, la amoxicilina genera niveles mayores de antibiótico en sangre y menores efectos gastrointestinales. La amoxicilina tiene un espectro de actividad antibacteriana superior al de la penicilina, si bien no es estable frente a las  $\beta$ -lactamasas. Los antibióticos  $\beta$ -lactámicos, como la amoxicilina, son bactericidas (Martínez *et al.*, 2010).

Los antibióticos (moléculas puras o metabolitos) llegan al suelo por diferentes vías. Su persistencia en este medio favorece el desarrollo de especies bacterianas resistentes, lo que supone una pérdida de eficacia en los tratamientos farmacológicos de infecciones causadas por microorganismos no sensibles. Por la misma razón por la que el suelo actúa como “caldo de cultivo” de resistencias bacterianas, también se ha constituido como fuente potencial para la obtención de nuevos antibióticos, precisamente por la amplia diversidad de microorganismos que habitan en sus estratos (Muñoz-Arranz, 2017).

### **Uso de contaminantes emergentes (antibióticos) en diversos sectores de interés comercial**

Por otra parte, los antibióticos promotores del crecimiento pueden dar mejoras en la ganancia diaria de peso y en el índice de conversión de alimentos en un orden de 3 a 5% en pollos de engorda. Además de los beneficios económicos, las principales ventajas para los ganaderos son la mayor uniformidad de crecimiento, estabilización de la flora intestinal en los animales y mantenimiento de la salud en casos de estrés medio ambiental en un grado que se puede decir que estos antimicrobianos promotores de

crecimiento actúan profilácticamente, es decir, reducen la morbilidad (Moreno-Bondi *et al.*, 2009; Guzmán-Carrillo *et al.*, 2012). En tal sentido y tomando en cuenta los retos propios de los sistemas de producción, los antibióticos se han utilizado frecuentemente con fines terapéuticos, profilácticos y/o como promotores del crecimiento (Otero *et al.*, 2001; Molero-Saras *et al.*, 2006). Considerando que es un compuesto de amplio espectro, en diversos países se aplica en diferentes sectores. Los antibióticos son utilizados en los diferentes cultivos comestibles y no comestibles que se indican en el Cuadro. 4. Al margen de su reconocida utilidad, los antibióticos han sido utilizados de manera inapropiada, tanto en el ámbito médico humano como veterinario, siendo administrados en muchas ocasiones de forma irracional y en dosis inapropiadas, lo que conlleva a un conjunto de complicaciones en los humanos, lo cual a su vez crea la necesidad cada vez mayor de producir y usar nuevas drogas (Cancho-Grande *et al.*, 2000; Molero-Saras *et al.*, 2006).

Actualmente la Oxitetraciclina (OTC) (es uno de los antibióticos más utilizado alrededor del mundo por ser económico, de amplio espectro y fácil de manejar (Gallina *et al.*, 2008). Así, este fármaco puede ser empleado en medicina humana y veterinaria, en agricultura para el control de bacterias en manzanos, perales y árboles ornamentales (González-Martínez *et al.*, 2016) y en acuicultura, así como en la ganadería, con el propósito de prevenir o tratar infecciones microbianas.

Las tetraciclinas tienen aplicaciones para el tratamiento de infecciones en aves de corral, bovinos, ovinos y porcinos. En algunos casos, para el tratamiento terapéutico de grandes cantidades de aves de corral criadas en granjas comerciales, los antibióticos se agregan directamente en los alimentos o en el agua como promotores de crecimiento animal, los antibióticos representan una de las pocas clases de drogas que pueden ser utilizados en animales tanto terapéuticamente para tratar enfermedades y subterapéuticamente, generalmente durante largos períodos, para mejorar su tasa de crecimiento y eficiencia de conversión alimenticia. La práctica de agregar bajas concentraciones de antibióticos, aprobada en Estados Unidos, es de 200 g t<sup>-1</sup> de alimento para animales, con la finalidad de mejorar el crecimiento y la eficiencia alimenticia se conoce como promotor de crecimiento. Un resultado obvio de esta práctica es que los animales necesitan menos

comida para alcanzar el peso comercializable. Los mecanismos responsables para la promoción del crecimiento no se han aclarado por completo, pero aparecen para incluir la mejora de la producción de vitaminas por microorganismos, eliminación de poblaciones subclínicas de organismos patógenos y aumento intestinal en la absorción de nutrimentos. Se descubrieron las propiedades promotoras del crecimiento de las tetraciclinas (Chopra y Roberts, 2001).

**Cuadro 4.** Uso de antibióticos en diferentes sectores de importancia comercial económica

Sector aplicación	Uso del Antibiótico	Efectos (en la salud humana y en medio acuático)	Referencia
Industria avícola	Enrofloxacin	Infecciones múltiples, retraso en la identificación del agente causal y aparición de resistencia de gérmenes antibiótico-resistentes	Molero-Saras <i>et al.</i> , 2006
Industria porcina	Oxitetraciclina (OTC)	Cambios en la flora intestinal y desarrollo a la resistencia bacteriana	Acosta-Agudelo <i>et al.</i> , 2014
Industria avícola	Oxitetraciclina (OTC)	Los residuos de OTC en animales, pueden causar efectos tóxicos como reacciones alérgicas cutáneas, náuseas, vomito, choque anafiláctico e incluso la muerte	Izquierdo <i>et al.</i> , 2010
Cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> )	sulfonamida	Efectos adversos en el crecimiento de la raíz. Muerte del maíz en concentraciones altas	Michelini <i>et al.</i> , 2012
Cultivo de camarón	Oxitetraciclina, florfenicol, ormetoprim-sulfametoxazol, sarafloxacin	Resistencia en el medio ambiente/ presencia de residuos de antibiótico en el producto final para el consumidor afectación en la flora intestinal	Santiago <i>et al.</i> , 2009
Cultivo de camarón	enrofloxacin Oxitetraciclina	y La inclusión de OTC en la dieta redujo ligeramente el consumo de alimentos de los camarones	Reyes, 2001
Cultivo de manzana, pera, tomate, pimiento y papa	estreptomicina	Resistencia a la estreptomicina en bacterias fitopatógenas por plantas, <i>Erwinia amylovora</i> , <i>Pseudomonas syringae</i> , <i>Xanthomonas campestris</i>	McManus, 1999
Cultivo de Agave ( <i>Fourcroydes Lem</i> )	Ticarcilina	En el cultivo de agave se observa fitotoxicidad	Abreu <i>et al.</i> , 2016
Cianobacterias ( <i>Anabaena flosaquae</i> ), lenteja de agua ( <i>Lemna minor</i> )	Enrofloxacin, ciprofloxacina	Inhibición en el crecimiento	Ebert <i>et al.</i> , 2011

Se utilizan sustancias químicas en la acuicultura, con el fin de mejorar la calidad del suelo y del agua, para controlar el (floreamiento) de fitoplancton, algas acuáticas, vectores de enfermedades y proliferación de peces silvestres indeseables. Así, Lalumera et al. (2004) y Cabello (2006) señalaron que el uso de compuestos químicos utilizados en la acuicultura, principalmente en los tecnificados, para el control de enfermedades, son utilizados indiscriminadamente y liberados al ambiente a través de los recambios de agua, los cuales pueden acumularse en sedimentos y crear resistencia en los organismos patógenos, en detrimento de los peces, animales terrestres, el ambiente y la salud humana. Como puede observarse, 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, es decir, acumulación de microalgas muertas en el fondo de los estanques (Palomarez-García, 2010). El uso inadecuado de grandes cantidades de antibióticos como tratamiento preventivo en la industria acuícola, puede traer consigo efectos potencialmente dañinos para la salud humana y animal (Cabello, 2006).

Alrededor del mundo, se emplean antibióticos como clortetraciclina, quinolonas, ciprofloxacina, norfloxacina, ácido oxolínico, perfloxacina, sulfametazina, gentamicina y tiamulina (Holmstrom *et al.*, 2003). Por otro lado, el antibiótico más utilizado en la acuicultura a nivel mundial es la Oxitetraciclina (OTC) (Lunestad y Goksoyr, 1990). La Oxitetraciclina (OTC) es el único antibiótico aprobado desde 1970 por la Administración de Alimentos y Fármacos (FDA, por sus siglas en inglés), de los Estados Unidos de Norteamérica, para ser empleado en el cultivo de peces (Park *et al.*, 1994). Este, puede afectar la flora intestinal humana de diversas maneras, por ejemplo, ejercer una presión selectiva en las bacterias dominantes, promover directa o indirectamente el desarrollo de resistencia, alterar la actividad metabólica enzimática, además de problemas de alergias e intoxicaciones (Cabello, 2006). En medicina humana, la OTC se emplea para combatir infecciones del tracto respiratorio originadas por cepas sensibles de *Streptococcus pneumoniae*, *Haemophilus influenzae*, *Klebsiella pneumoniae*, entre otros microorganismos (Mensa *et al.*, 2008).

## **Residuos de contaminantes emergentes (antibióticos) a través de la cadena alimentaria**

Los residuos de antibióticos pueden llegar al consumidor a través de la cadena alimenticia y provocar reacciones alérgicas, resistencia bacteriana, alteración de la flora bacteriana intestinal y ocasionar problemas de comercialización establecidas en distintos países (Molero-Saras *et al.*, 2006; Guzmán-Carrillo *et al.*, 2012) Los promotores de crecimiento básicamente actúan modificando la flora microbiana intestinal, provocando una disminución de los microorganismos causantes de enfermedades. También actúan reduciendo la flora normal que compite con el huésped por los nutrientes, lo que resulta en una mejora en la productividad y reducción de la mortalidad de los animales (Moreno-Bondi *et al.*, 2009; Guzmán-Carrillo *et al.*, 2012).

Los antibióticos presentan diversas propiedades químicas que los diferencian entre sí; por lo tanto, se requiere el uso de métodos de análisis específicos en cada caso. Tradicionalmente se han empleado ensayos microbiológicos, estos métodos presentan dificultades en la selectividad y especificidad para el análisis de antibióticos de una misma familia. En este sentido, los métodos de análisis de cromatografía ofrecen una respuesta rápida, de alta sensibilidad y una separación eficiente de todos los análogos de una familia o grupo de antibióticos, lo cual permite que cada especie interactúe de manera particular con la fase móvil y estacionaria del sistema cromatografía (Izquierdo *et al.*, 2010). La industria avícola ocupa en el mundo un importante sitio dentro del sector agroindustrial gracias a los avances tecnológicos logrados en sus diferentes áreas (Morán, 2000). De esta manera y tomando en cuenta los retos propios de los sistemas de producción, los antibióticos se han utilizado frecuentemente con fines terapéuticos, profilácticos y/o como promotores del crecimiento (Otero *et al.*, 2001; Molero-Saras *et al.*, 2006). Al margen de su reconocida utilidad, los antibióticos pueden ser utilizados de manera inapropiada, tanto en el ámbito médico humano como veterinario, si se administran en muchas ocasiones de forma irracional y en dosis inapropiadas. Sin duda alguna, esto conlleva a un conjunto de complicaciones en los humanos, lo cual a su vez crea la necesidad cada vez mayor de producir y usar nuevas drogas (Cancho-Grande *et al.*, 2000; Molero-Saras *et al.*, 2006).

La aplicación de antibióticos en animales destinados al consumo humano facilita el control de enfermedades infecciosas y permite una mejora en la producción al promover el crecimiento. Esto depende del tiempo transcurrido entre la aplicación de un antibiótico y el sacrificio pueden quedar residuos de antibióticos en los tejidos, estos compuestos y sus metabolitos son eliminados a través de las heces u orina de los animales tratados; éstos son diseminados en el medio ambiente (Gratacós, 2007). Acevedo-Barrios y Severiche-Sierra (2013) cuantificó los niveles de sulfametoxazol, norfloxacin, ciprofloxacino y lincomicina en pollo comercializado en el mercado Bazurto, tiendas de conveniencias y supermercados de la Ciudad de Cartagena (Colombia). La cuantificación se realizó por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC); se observó que todas las muestras sobrepasan las cantidades mínimas de fármacos de acuerdo al Codex Alimentarius, exceptuando las pechugas de supermercado.

Guzmán-Carrillo et al. (2012) estudiaron la presencia de lincomicina como promotor de crecimiento en carne de pollo comercializado en supermercados de Cartagena (Colombia). Por otro lado, Molero-Saras et al. (2006) analizaron residuos de enrofloxacin en tejido hepático y muscular de pollos beneficiados en el municipio de San Francisco del estado Zulia, Venezuela. En este trabajo, estos mismos autores utilizaron, como método para cuantificar, la cromatografía líquida de alta resolución, la cual dio resultados por encima de los límites permitidos de residuos  $3810 \text{ ug Kg}^{-1}$  en músculo pechuga.

León-Aguirre et al. (2017) reportaron la detección de oxitetraciclina en agua residual porcícola de granjas pequeñas y medianas en Yucatán, para lo cual utilizaron dos técnicas para la detección de oxitetraciclina. Una de ellas fue la cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC), empleada comúnmente por su reproductibilidad y selectividad en la detección de rapidez y poca generación de residuos; en donde las muestras se analizaron a  $255 \text{ nm}$ , detectando concentraciones de  $0.3$  y  $1.0 \text{ mg L}^{-1}$ , mientras que; la técnica del análisis por espectrofotometría de fluorescencia se realizó a una longitud de onda de  $390 \text{ nm}$  y de emisión de  $512 \text{ nm}$ . Las concentraciones encontradas fueron de  $0.5$  y  $1.4 \text{ mg L}^{-1}$ .

## **Regulación Internacional de fármacos de uso veterinario en diferentes sectores**

La regulación de medicamentos de uso veterinario se orienta a controlar el uso y residualidad de estas sustancias en las especies en las cuales son administradas; estos aspectos son mundialmente vigilados por diferentes organizaciones, dentro de las cuales se destacan: 1) la Comisión del *Codex Alimentarius*, que se encarga de proteger la salud de los consumidores, facilitar prácticas justas en el comercio de alimentos y promover la coordinación de normas alimentarias acordadas por diversas organizaciones. 2) el Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas (IPCS, por sus siglas en inglés) establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización Internacional del Trabajo (OIT) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), que establece bases científicas para el uso seguro de los químicos. 3) el Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA) que proporciona asesoramiento científico mediante la publicación de monografías y reportes técnicos acerca de la inocuidad de los aditivos alimentarios, la evaluación de los contaminantes, las sustancias tóxicas naturales y los residuos de medicamentos veterinarios. 4) la administración de alimentos y drogas de los Estados Unidos (*Food and Drug Administration* FDA) que además de regular la fabricación y distribución de los medicamentos de uso veterinario a través del CVM (Centro de Medicina Veterinaria), protege la salud de los consumidores garantizando la seguridad de los aditivos alimentarios, productos cosméticos y medicamentos de uso humano y veterinario. 5) la Agencia Europea de Medicamentos (EMA) cuya misión principal es proteger y promover la salud pública y animal mediante diversas actividades, entre ellas el establecimiento de límites de seguridad para los residuos de medicamentos veterinarios en animales productores de alimentos. 6) la Autoridad Australiana en Pesticidas y Medicina Veterinaria (Australian Pesticides and Veterinary Medicines Authority – APVMA) responsable de la evaluación, registro y regulación de plaguicidas y medicamentos veterinarios. Y 7) la Autoridad Europea para la Seguridad Alimentaria (EFSA, por sus siglas en inglés) que participa activamente en la evaluación del riesgo asociada a alimentos (Lozano *et al.*, 2008).

Tanto el *Codex Alimentarius* como la EMEA han elaborado su propia lista de fármacos regulados, esta incluye los límites de residuos máximos (LMRs) para cada principio activo detallando en qué especie animal (avícola, bovina, caprina, ovina, piscícola o porcina) y tejido o subproducto de esta (leche, huevos, grasa, músculo, hígado o riñón) se establece dicho límite. En el Cuadro 5 Y 6 se presentan una lista de los fármacos regulados por el *Codex Alimentarius* (Lozano *et al.*, 2008).

**Cuadro 5.** Fármacos regulados por el *Codex Alimentarius*, clasificados por grupo farmacológico

<b>Farmacológico</b>	<b>Antibiótico</b>
Antimicrobianos	Bencilpenicilina, Ceptiofur, Clortetraciclina, Dihidroestreptomomicina, Espectinomomicina, Espiramicina, Estreptomomicina, Flumequina, Gentamicina, Lincomomicina, Neomicina, Oxitetraciclina, Sarafloxacin, Sulfadimidina, Tetraciclina, Tilmicosin.

Fuente: Lozano et al. (2008).

**Cuadro 6.** Antibióticos de uso veterinario regulado por el *Codex Alimentarius*

<b>Grupo Farmacológico</b>	<b>Fármacos</b>	<b>Especies en la que se prescribe su uso</b>
Antimicrobianos	Bencilpenicilina	Bovinos
	Clortetraciclina	Aves y porcinos
	Dihidroestreptomomicina	Aves, bovinos y porcinos
	Espiramicina	Aves, bovinos y porcinos
	Estreptomomicina	Aves, bovinos y porcinos
	Flumequina	Aves
	Gentamicina	Bovinos y porcino
	Lincomomicina	Aves, bovinos y porcinos
	Neomicina	Aves, bovinos y porcinos
	Oxitetraciclina	Aves, bovinos y porcinos
	Sulfadimidina	Aves, bovino y porcinos
	Tilmicosin	Aves, bovino y porcinos
	Abamectina	Bovinos y porcinos
	Albendazol	Bovinos
	Doramectin	Bovinos y porcinos
	Eprinomectín	Bovino
	Fenbendazol	Bovinos y porcinos
Flubendazol	Aves y porcinos	
Ivermectina	Bovinos y porcinos	

Fuente: Lozano et al. (2008).

## **La calidad del agua en México y sus diferentes usos**

La Red Nacional de Monitoreo de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) es la responsable de vigilar la calidad del agua en México, lo cual se realiza mediante el monitoreo de los cuerpos de aguas (superficiales, subterráneos y zonas costeras). La CONAGUA cuenta con aproximadamente 5,000 sitios de muestreo ubicados en zonas con alta influencia de actividades antropogénicas en todo el país, en 187 de estos sitios se ha observado un alto grado de contaminación (CONAGUA, 2015). La calidad de agua se valora con la presencia y concentración de contaminantes como el nitrato, nitritos, amonio, detergentes, fósforo, bacterias coliformes y fecales, materia orgánica, metales pesados y sales iónicas que indican la introducción de aguas contaminadas a las aguas subterráneas (Ruelas-Mojardin, 2010). Algunas fuentes de agua subterránea son empleadas para el suministro de agua para consumo humano. Diariamente, el agua se utiliza de diversas formas en todas las actividades humanas, ya sea para subsistir, producir o para intercambiar bienes y servicios (Jiménez *et al.*, 2011). Los principales usos del agua son: 1) Agricultura 76.8%; 2) Público-urbano 15%; 3) Energía eléctrica 5% y 4) Industrial 4% (CONAGUA, 2017).

## **Cuencas hidrográficas**

Una cuenca hidrográfica es una región geográfica natural delimitada por la altitud del relieve, en particular por las zonas más altas que constituyen montañas, colinas y lomeríos, rasgos que sirven para definir las divisorias de aguas, al interior de esta región natural se desarrolla un sistema fluvial o de drenaje superficial integrado por arroyos o ríos que confluyen y concentran sus aguas en un río principal, éste río puede desembocar en un punto de salida común, el cual puede ser el mar (PAMIC, 2017). Una cuenca hidrográfica se constituye como “unidad físico-biológica y también como unidad socio-política para la planificación y ordenación de los recursos naturales” De acuerdo con la SEMARNAT (2013) “en estos territorios hay una interrelación e interdependencia espacial y temporal entre el medio biofísico (suelo, ecosistemas acuáticos y terrestres, cultivos, agua, biodiversidad, estructura geomorfológica y geológica), los modos de

apropiación (tecnología y/o mercados) y las instituciones (organización social, cultura, reglas y/o leyes)”(PAMIC, 2017).

En México existen 1471 cuencas muy heterogéneas exorreicas, endorreicas y arreicas, (PAMIC, 2017); lo cual significa que las aguas de esas cuencas pueden ser vertidas al mar, o en una masa de agua sin salida al mar; por ejemplo, un lago, o que el agua de esa cuenca se evapore o se filtre y no llegue al mar o algún lago. En particular su superficie resulta crítica porque tiene implicaciones en el tipo de gestión de la cuenca, por ejemplo, mientras que existen 807 cuencas menores a 50 km<sup>2</sup>, por otra parte, hay 16 cuencas con tamaños mayores a 20,000 km<sup>2</sup>. Este panorama evidencia “la desigual distribución espacial de las cuencas en el país, lo que repercute en la complejidad que adquiere el manejo de cuencas en México” (PAMIC, 2017).

### **Cuenca del Río Jamapa**

La Cuenca del Río Jamapa se ubica en la vertiente del Golfo de México, sus coordenadas geográficas extremas y cuencas colindantes se muestran en el cuadro adjunto. En un contexto fisiográfico, la parte este de la Cuenca se ubica en la Llanura Costera del Golfo Sur, mientras que la parte oeste se ubica en el Eje Neovolcánico (Faja Volcánica Mexicana). Esta cuenca ocupa una superficie de 3,918 km<sup>2</sup> y está conformada por los estados de Veracruz (98 %) y Puebla (2 %), el primero representado por 31 municipios, y el segundo por 3; respectivamente. La mayor elevación registrada es de 5,670 msnm. El cauce principal del río Jamapa se extiende hasta 148.47 km<sup>2</sup>. Las localidades más pobladas en la cuenca son, de acuerdo con el censo de población y vivienda más reciente (PAMIC, 2017) son: Córdoba con 140,896 habitantes (si bien sólo alrededor del 40% del territorio de la ciudad se encuentra dentro de la cuenca), Huatusco (31,305 habitantes), Coscomatepec (15,252 habitantes) y Potrero Nuevo. Mpio. Atoyac (14,287 habitantes). Así como las ciudades de Boca del Río y Veracruz cuentan con una pequeña parte de sus territorios y población (<5%) dentro de los límites de la cuenca. Este río contribuye a su vez con servicios ecosistémicos como la captura de carbono, aporte de agua y recibe el desecho de nutrientes provenientes de la producción agrícola de la cuenca alta y de la ganadería hacía la cuenca baja (March y Castro, 2010) con un alto impacto negativo

en la calidad del agua. La vegetación y agricultura que predomina en el estado de Veracruz, corresponde a pastizal, bosques, manglares, vegetación de dunas. El clima cálido húmedo y subhúmedo propician el desarrollo de una gran variedad de cultivos como: cítricos, mango, café, arroz, piña, vainilla, plátano, caña de azúcar y maíz (Palomarez-García, 2010).

# CAPITULO I CONTAMINACIÓN DE LA CUENCA BAJA DEL RÍO JAMAPA POR LA APLICACIÓN DE ANTIBIÓTICOS DE USO VETERINARIO

## 1.1 RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue analizar el nivel de uso de los antibióticos en las actividades ganaderas y acuícolas desarrolladas en la cuenca Baja de Río Jamapa, para conocer el impacto posible de estos compuestos en la calidad del agua y el riesgo a la salud pública. Metodología: Se realizó una encuesta a 60 ganaderos utilizando un cuestionario estructurado con 41 preguntas abiertas y cerradas durante el año 2020; se recurrió al uso de “informantes clave con experiencia” e “informantes relacionados” con el sector ganadero en la zona de estudio. Resultados: Respecto al perfil de los productores, se encontró que el 95% fueron hombres, y las mujeres solo representaron el 5% (2 mujeres). El 50% de los productores tiene un nivel de escolaridad básica saben el 85% de los entrevistados utilizaron antibióticos como tratamiento preventivo para el control de enfermedades, un 8.3% aplica vitaminas y 6.7% desparasitantes. Dentro de los antibióticos empleados con mayor frecuencia esta la Oxietraciclina. Conclusiones: Existe una gran preocupación sobre el impacto que los productos farmacéuticos pueden presentarse en el agua, incluso fuera de ella, es necesario realizar evaluaciones de riesgo basándose en las respuestas tradicional de los peces, tales como cambios en el crecimiento o en la supervivencia. Recomendaciones: para evaluar el riesgo tóxico que existe al usar antibióticos el sector ganadero, es necesario el desarrollo de procedimientos y planeamiento de nuevas regulaciones para el uso de antibióticos en dicho sector.

**Palabras clave:** medicamentos veterinarios, antibiótico, enfermedades.

## 1.2 ABSTRACT

The objective: of this research was to analyze the level of use of antibiotics in livestock and aquaculture activities developed in the Lower Jamapa River basin, to know the possible impact of these compounds on water quality and the risk to contamination. Public health. Methodology: A survey of 60 farmers was conducted using a structured questionnaire with 41 open and closed questions during the year 2020; Key informants with experience in the livestock sector and related to the livestock sector in the study area were used. Results: Regarding the profile of the producers, 95% were men and 5% were women (2 women). 50% of the producers have a basic schooling level and know that 85% of the interviewees used antibiotics as a preventive treatment for disease control, 8.3% apply vitamins and 6.7% dewormers. Among the most frequently used antibiotics is Oxytracycline. Conclusions: There is a great concern about the impact that pharmaceutical products can have in the water, even outside of it. It is necessary to carry out risk assessments based on the traditional responses of the fish, such as changes in growth or survival. Recommendations: to assess the toxic risk that exists when using antibiotics in the livestock sector, it is necessary to develop procedures and plan new regulations for the use of antibiotics in the sector.

**Keywords:** veterinary drugs, antibiotics, diseases.

### 1.3 INTRODUCCIÓN

Los antibióticos son el grupo de productos farmacéuticos de uso extensivo a nivel mundial por sus fines terapéuticos en medicina humana, veterinaria y en agricultura (Tang *et al.*, 2017). La administración extensiva de antibióticos por una inadecuada regulación y malas prácticas en su uso se asocia con el incremento de bacterias y genes de resistencia a los antibióticos (FAO, 2016; Tang *et al.*, 2017; Mestorino *et al.*, 2019; Magnusson *et al.*, 2019; Fernández-Rodríguez *et al.*, 2020). Se ha detectado la residualidad de estos compuestos en subproductos de ganado bovino como carne (Aguilar-Gálvez *et al.*, 2018; Rivera-Alegría *et al.*, 2020; Vega-Sánchez *et al.*, 2020), riñón (Guerra-Delgado & Elera-Ojeda, 2021) y leche cruda (Cruz-Mendoza *et al.*, 2017; Jáuregui y Celis-Vielman, 2018). En México, se han reportado numerosos problemas relacionados con el uso inadecuado de los antibióticos empleados en medicina humana y veterinaria (INSP-UNAM, 2010). Sin embargo, las investigaciones sobre el manejo de estos compuestos por los usuarios y su presencia en agua superficial como los ríos son escasa en México. Los antibióticos tienen como principal vía de ingreso al medio ambiente a través de la excreción humana, la eliminación de los productos no utilizados y por el uso agrícola (Gil *et al.*, 2012).

Las actividades agropecuarias como la ganadería bovina y porcina (Cancho-Grande *et al.*, 2000; Echtermann *et al.*, 2019), avicultura (de Assis *et al.*, 2016; Mestorino *et al.*, 2019) y las actividades acuícolas como la camaricultura (Le Truong and Thanh, 2019; Thiang *et al.*, 2021), en conjunto constituyen las principales fuentes de antibióticos de uso veterinario (Lara *et al.*, 2019). Su presencia ha sido reportada por diversos sectores del ecosistema acuático y el impacto asociado a los organismos que habitan dicho ecosistema.

Los antibióticos de uso veterinario son empleados en la industria de animales de granja con una diversidad y tipos de compuestos que son administrados principalmente a través de alimentos y agua en actividades, las cuales incluyen mejorar la eficiencia en el crecimiento, alimentación, reducir la morbilidad con fines terapéuticos y profilácticos (et Kožárova *al.*, 2004; Grossi-Botelho *et al.*, 2015; Khatun *et al.*, 2018). El impacto de la mezcla de antibióticos sobre la diversidad de las poblaciones microbianas puede

asociarse con la contribución en su capacidad para adaptarse y resistir a los compuestos antibióticos del agua residual en la producción porcícola (Reynoso-Varela *et al.*, 2020). Asimismo, su presencia se asocia a la generación de daños a nivel de ADN en seres vivos (Zirena-Vilca *et al.*, 2018).

Los efectos adversos causados por el uso de estos compuestos han contribuido para ser incluidos dentro del grupo de los contaminantes emergentes, considerados como no persistentes pero cuya solubilidad en agua contribuye a su capacidad de ingresar en todas las etapas del ciclo hidrológico, y pueden ser detectables en ecosistemas acuáticos (Gil *et al.*, 2012; Snow *et al.*, 2018). La diversidad de compuestos de antibióticos de uso veterinario es incorporada a los sistemas acuáticos por el ingreso de efluentes sin tratamiento previo, pueden causar efectos en la biodiversidad y estado de salud de los organismos que habitan en estos ecosistemas acuáticos (Barceló y López, 2007; Jiménez, 2011; Salcedo, 2019).

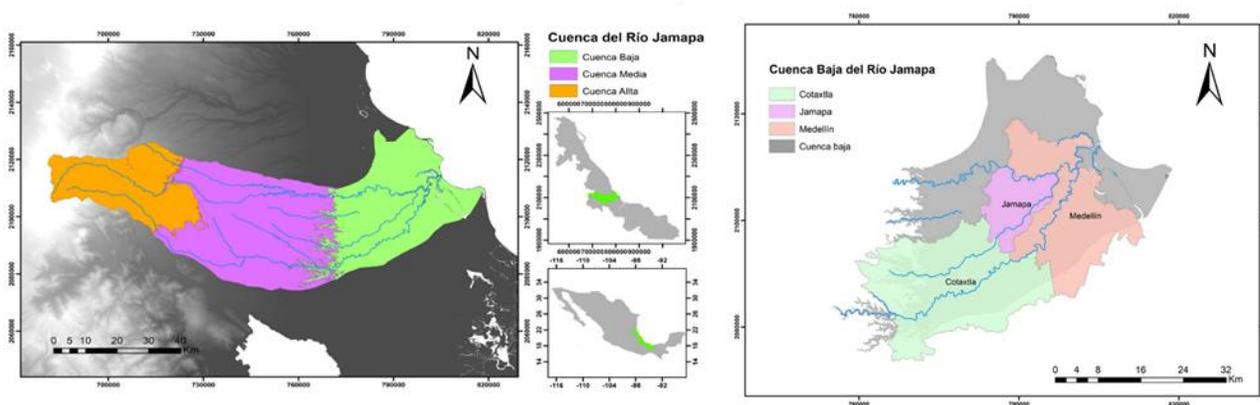
En el estado de Veracruz la mayoría de los ríos que cruzan por los principales centros de población reciben descargas de aguas residuales municipales, descargas industriales y diversos tipos de contaminación de fuentes no puntuales (Torres-Beristáin, 2013). Aunado a esto de los 14 ríos veracruzanos más importantes registran niveles importantes de contaminación lo que implica graves consecuencias a la salud humana, limita las actividades productivas y deteriora el ambiente (CSVA, 2004). Los nutrientes y contaminantes se reciclan en los ecosistemas acuáticos y terrestres de manera natural, sin embargo, la influencia antrópica ha alterado estos ciclos incrementando la cantidad de nutrientes y contaminantes que terminan en los cuerpos de agua, provocando problemas de eutrofización y disrupción de ecosistemas naturales y daños a la salud humana (Torres-Beristáin, 2013). Esto representa un riesgo para las especies acuáticas silvestres, como peces, dado su potencial incorporación en sus tejidos y generación de efectos adversos como la resistencia bacteriana, entre otros (Zaragoza *et al.*, 2020). Por ello se resalta la importancia de evaluar el uso que realizan los usuarios de las distintas actividades productivas desarrolladas en esta cuenca, dado el potencial impacto de los antibióticos a la salud pública y al medio ambiente. El objetivo de esta investigación fue determinar el nivel de uso de antibióticos en las actividades ganaderas y acuícolas

desarrolladas en la cuenca baja de río Jamapa, para conocer el potencial impacto de estos compuestos en la calidad del agua y el riesgo a la salud pública.

## 1.4 MATERIALES Y MÉTODOS

### 1.4.1 Área de estudio

La Cuenca del Río Jamapa forma parte del río Jamapa-Cotaxtla y Medellín (Figura. 1.1), ésta ubicada entre los 18° 45´ y 19° 13´ latitud norte, y los 95° 56´ y 97° 16´ longitud oeste; tiene un área aproximada de 3,912 km<sup>2</sup>, abarca 28 municipios del Estado de Veracruz; dentro de los límites de la cuenca quedan comprendidos dos cauces principales, los ríos Jamapa y Cotaxtla que se originan en el Citlaltepeltl o Pico de Orizaba el cual tiene una altura de 5700 m.s.n.m., desembocando en el Golfo de México (Ortiz-Lozano, 2013).



**Figura 1.1.** Ubicación de los municipios de la cuenca baja del río Jamapa, Veracruz

### 1.4.2 Técnicas de muestreo y colecta de los datos

Los datos se obtuvieron mediante la aplicación de una encuesta estructurada como instrumento de muestreo (Piña-Guzmán *et al.*, 2019; Costa *et al.*, 2021; Ogwuche *et al.*, 2021). Esta fue aplicada a ganaderos bovinos en los municipios de Jamapa, Cotaxtla y Medellín en Veracruz, México. La población de estudio incluyó usuarios de antibióticos ubicados en los municipios antes indicados, esto permitió incluir una mayor representatividad con relación al sexo y edad de los participantes. Asimismo, incluyó datos sobre la unidad de producción familiar, la superficie del rancho, la distancia del rancho con respecto a la cuenca baja del río Jamapa.

El cuestionario fue la herramienta de recopilación de datos sobre demografía, prácticas de uso de antibióticos y regulaciones de manejo de estos (Ogwuche *et al.*, 2021). El cuestionario estuvo estructurado con 41 preguntas abiertas y cerradas. Se entrevistó a una muestra representativa seleccionada al azar de 60 productores ganaderos de manera individual y grupal. El cuestionario fue evaluado previamente con un grupo de productores de la zona de estudio para verificar la calidad de las preguntas y el buen funcionamiento del instrumento diseñado. Se recurrió al uso de informantes clave con “experiencia en el sector ganadero” e “informantes relacionados” con el sector ganadero en la zona de estudio.

### **1.4.3 Análisis Estadístico**

Se utilizó estadística descriptiva con el software estadístico TIBCO Statistica 14.0.0.15 software (TIBCO Software Inc., Palo Alto CA, USA), para agrupar toda la información recabada sobre, las variables demográficas de los entrevistados, el uso de antibiótico para el hato ganadero, frecuencia de aplicación antibióticos, compuestos de mayor frecuencia de uso, se consideraron los datos más importantes en el manejo del hato ganadero.

## 1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1.5.1 Características socioeconómicas de los productores y actividad ganadera

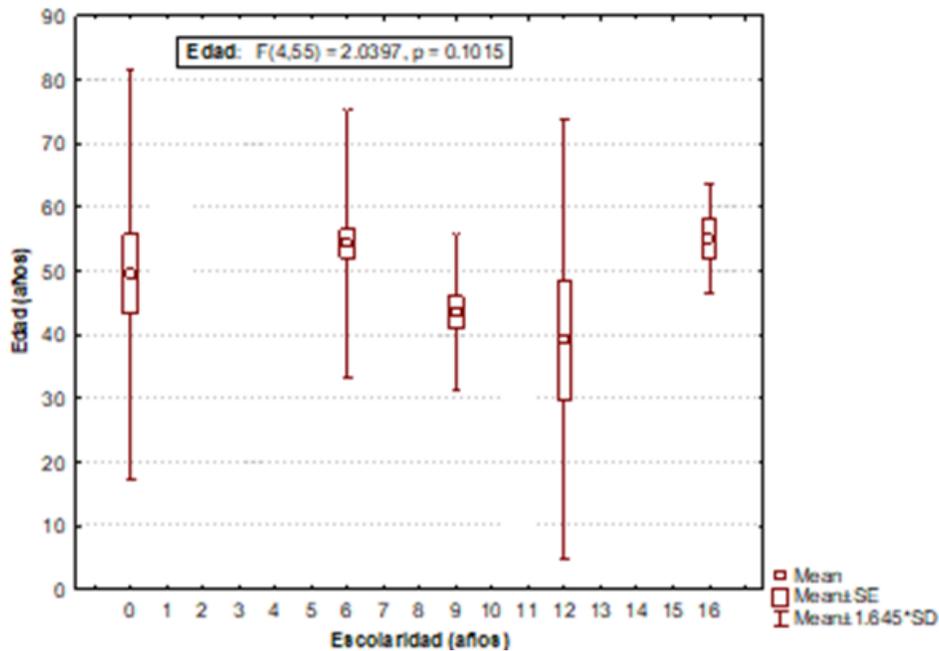
En la (Figura 1.2), se presenta la edad media de los ganaderos bovinos en los municipios analizados en esta investigación fue  $50.6 \pm 14.6$ . Orantes-Zebadúa *et al.* (2014) reportaron la misma tendencia en productores ganaderos en Chiapas, con una edad promedio de 50 años. Mientras, Vilaboa-Arroniz *et al.* (2009) indicaron en tres grupos etarios para ganaderos de la región del Papaloapan Veracruz, con edades medias de  $53 \pm 13$ ,  $54 \pm 15$  y  $56 \pm 12$  años. Asimismo, De los Santos-Lara *et al.* (2015) indicaron la misma tendencia de edad en los ganaderos de la región centro de Chiapas, reportaron una edad promedio promediaron 52.4 años, de los cuales un 53% indicaron una edad mayor a 50 años.

Chalate-Molina *et al.* (2010) reportaron que productores ganaderos de doble propósito del estado de Morelos tuvieron una edad media de  $52 \pm 12$  años.

La edad promedio obtenida en las investigaciones anteriores indica que existe poco reemplazo generacional en la actividad ganadera en la zona de estudio, coincidiendo con esto Chalate-Molina *et al.* (2010) quienes indicaron que los grupos de productores ganaderos se caracterizan por tener una edad avanzada y bajo nivel educativo. Esto último coincidió en la presente investigación dado que se identificó que solo 3 entrevistados (5%) indicaron contar con estudios de nivel superior como licenciatura con una escolaridad de 12 años. Chalate-Molina *et al.* (2010) mencionaron que el INEGI en 2005, registraron que la escolaridad promedio de los ganaderos fue  $6 \pm 4$  años, este valor fue inferior a la media nacional de 8.1 años.

De igual forma, Orantes-Zebadúa *et al.* (2014) indican que en los ganaderos existe un nivel de estudio básico con una escolaridad de 6 años (primaria terminada). Por su parte (Vilaboa-Arroniz *et al.*, 2009) reportan que los ganaderos tradicionales indicaron una escolaridad a nivel básico con  $6 \pm 6$  años, aunque también señalaron que 12.1% tuvieron un nivel de escolaridad de licenciatura. En contraste, De los Santos-Lara *et al.* (2015) indicaron que el 90% de sus entrevistados tuvieron un nivel de estudio de licenciatura

con una escolaridad promedio de 17 años, 3% tenía estudios de posgrado y 7% estudios básicos. Vilaboa-Arroniz et al. (2009) identificaron diferencias en la escolaridad, reportaron que los ganaderos en transición con un 31% refieren que tienen estudios de licenciatura y los ganaderos tradicionales un 12%.



**Figura 1.2.** Distribución de edad y escolaridad de los ganaderos bovinos en los municipios de Medellín, Jamapa y Cotaxtla, Ver, Méx.

En relación al género el 95% de los entrevistados fueron hombres, esto indicó que la ganadería bovina es una actividad dominada por el sexo masculino en la zona de estudio, debido a que las mujeres solo representaron el 5% (2 mujeres) de los participantes (Tabla 1). En contraste, De los Santos-Lara et al. (2015) reportan que las mujeres con educación de nivel superior (profesionistas) tuvieron una mayor participación en actividades agropecuarias y éstas representan un 10% de la población de estudio analizada. Lo anterior, puede indicar una diferencia en la participación de la mujer en el sector ganadero asociado con el nivel académico y la región del país, debido a que otros trabajos no hacen mención de la participación de la mujer en este sector.

En la zona de estudio se identificó que los entrevistados tuvieron una experiencia de trabajo en la ganadería de  $25.55 \pm 50$  años. Se identificó una correlación baja con una  $r^2=0.5377$  entre la edad y los años de experiencia en el sector ganadero como se indica en el Cuadro 1.1. Lo anterior coincidió con los años de experiencia en la actividad indicada para ganaderos tradicionales con  $25 \pm 13$  años, un máximo de 60 y mínimo 1 año (Vilaboa-Arroniz *et al.*, 2009). De acuerdo con Chalate-Molina *et al.* (2010), la experiencia del productor en la actividad ganadera bovina es la principal fortaleza que tiene como base el recurso humano en la ganadería de doble propósito (DP), además destacaron la importancia de otros atributos como la disponibilidad de mano de obra familiar, la experiencia en la producción y la rusticidad de las razas utilizadas. En contraste, De los Santos-Lara *et al.* (2015) indicaron que los criadores de ganado suizo en Chiapas se caracterizan por experiencia, educación, potencial económico y social para innovar y mejorar los procesos de cría y selección de ganado.

El 96.66% de los entrevistados en esta investigación realiza una ganadería extensiva y solo dos productores (3.33 %) indicaron realizar el tipo intensivo. El pastoreo extensivo es el principal sistema de manejo con un 98% (Vilaboa y Díaz (2009); el 86.9 % del sistema de producción bovina doble propósito se desarrolla principalmente bajo el sistema de manejo de pastoreo extensivo en las regiones tropicales de América Latina (Vilaboa-Arroniz *et al.* (2009). Coincidiendo con lo anterior, Herrera-Calvo y Majadas-Andray (2018) indicaron que la ganadería extensiva aprovecha los recursos del territorio, tiene un comportamiento de integración y respeto con los procesos ecológicos locales, ya que necesariamente debe adaptarse a ellos para mantener el proceso productivo.

Debe señalarse que la información sobre superficie disponible para la actividad ganadera y el número de cabezas de ganado bovino no fueron proporcionadas por los productores. Éste tipo de información hubiese permitido caracterizar la escala de producción ganadera en la zona de estudio y el uso de antibióticos usados en esta actividad agropecuaria.

Las razas de mayor predominancia en los municipios analizados fueron ganado Criollo doble propósito con 40% (24 entrevistados) y Cebú-suizo con (17). En contraste, Vilaboa-Arroniz *et al.*, 2009) indicaron que el patrón racial de la cruce Suizo x Cebú (79.8%) como el más representativo y tiene como objetivo fundamental la producción de leche.

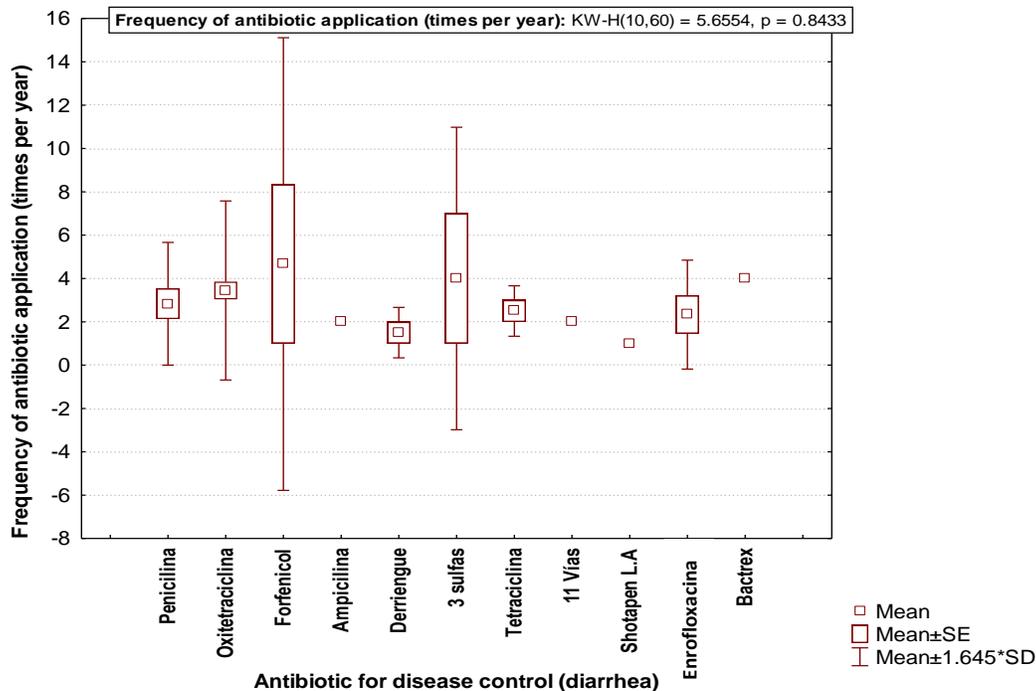
Asimismo, Orantes *et al.* (2010) indicaron que, en los sistemas de producción bovinos mediante el pastoreo extensivo, tienen como y la fuente genética las razas Cebú x suizo; Cebú x Holandés y Cebú x Simmental, entre las principales. La predominancia del ganado criollo en la zona de estudio indica la adecuación de los ganaderos a la obtención de un ganado acorde a sus condiciones económicas y de la zona de producción.

**Cuadro 1.1.** Características de los ganaderos bovinos en los municipios analizados de la zona de centro de Veracruz.

<b>Variable</b>	<b>Media</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Edad (años)	50.63	18	85
Escolaridad (años)	6.45	0	16
Género (%)	Masculino 95% Femenino 5%		
Experiencia en ganadería (años)	25.55	2	60
Superficie disponible (ha)	20.5	2	72
Número de cabezas de ganado	37	7	150

Elaboración propia

Los productores ganaderos entrevistados reportaron el uso frecuente de 11 distintos tipos de antibióticos; e indicaron que la Oxitetraciclina con 43.33 %, fue el antibiótico de uso más frecuente por los ganaderos bovinos en los tres municipios analizados; seguido por la Penicilina con 15 % y el Forfenicol con 8.33 %. El resto de los antibióticos indicaron un uso menos recurrente como 3 Sulfas y Tetraciclina con 6.66%, Derriengue y Draxxin con 5.0 % (Cuadro 1.2). Al respecto, Ogwuche *et al.* (2021) indicaron en la ganadería el uso de oxitetraciclina (82.6%, 317/384), tilosina (44.5%, 171/384) y gentamicina (43.8%, 168/384), penicilina 39,3% (151/384) y enrofloxacin 38,5% (148/384). Herrera-Calvo y Majadas-Andray (2018) destacaron el uso de tetraciclinas, penicilinas, sulfonamidas y polimixinas en el ganado bovino de España, aunque destacaron que una cifra superior al 50% de los antibióticos se destinaron a la producción porcina.



**Figura 1.3.** Frecuencia de uso de antibióticos reportada en el control de enfermedades diarreicas utilizados por los ganaderos bovinos de la zona de estudio

En la (Figura 1.3), los productores ganaderos en la zona de estudio no indicaron realizar ningún tipo de análisis clínicos para la aplicación de estos medicamentos. Asimismo, Ogwuche *et al.* (2021) indicaron que 32.0% de los entrevistados no se sometió a la prueba de susceptibilidad a los antimicrobianos (AST) antes del tratamiento con antibióticos. Recientemente se ha resaltado la necesidad de una administración adecuada de los antibióticos para preservar la eficacia de los antibióticos existentes ante los patógenos (Aslam *et al.*, 2018).

Los antibióticos son esenciales en el tratamiento terapéutico de enfermedades bacterianas en la producción ganadera, debido a que afectan la salud, la producción y el bienestar del ganado (Van *et al.*, 2020). Ogwuche *et al.* (2021) reportaron que un 60% de los entrevistados recomendaron el uso de antibióticos para el tratamiento de patógenos no bacterianos, incluidos patógenos virales, helmintos y fúngicos. Esto puede indicar un abuso de los antibióticos para el tratamiento de patologías no indicadas por estos compuestos.

Los distintos tipos de antibióticos indicados por los ganaderos en esta investigación implican una diversidad de compuestos aplicados en una escala de producción extensiva. Sin embargo, Herrera-Calvo y Majadas-Andray (2018) indicaron que independientemente de la escala de producción extensiva e industrial existen una repercusión en estas actividades, y el uso de antibióticos en la ganadería extensiva que debe mejorarse como se observa en la (Figura 1.3).

**Cuadro 1.2.** Antibióticos de uso frecuente y empleados en el control de enfermedades (diarrea) reportado por los ganaderos bovinos en los municipios de Medellín, Jamapa y Cotaxtla, Veracruz, Méx.

<b>Antibióticos de uso Veterinario</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Antibiótico usado en el control de diarreas</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>
<b>Penicilina</b>	9	15.00	<b>Penicilina</b>	6	10.00
<b>Oxitetraciclina</b>	26	43.33	<b>Oxitetraciclina</b>	38	63.33
<b>Forfenicol</b>	5	8.33	<b>Forfenicol</b>	3	5.00
<b>Derriengue</b>	3	5.00	<b>Ampicilina</b>	1	1.66
<b>3 sulfas</b>	4	6.66	<b>Derriengue</b>	2	3.33
<b>Tetraciclina</b>	4	6.66	<b>3 sulfas</b>	2	3.33
<b>Flunixin</b>	1	1.66	<b>Tetraciclina</b>	2	3.33
<b>Draxxin</b>	3	5.00	<b>11 Vías</b>	1	1.66
<b>Shotapen L.A</b>	1	1.66	<b>Shotapen L.A</b>	1	1.66
<b>Fluvicina</b>	2	3.33	<b>Enrofloxacina</b>	3	5.00
<b>7 vías</b>	2	3.33	<b>Bactrex</b>	1	1.66

Elaboración propia

El 100% de los entrevistados indicaron que la vía de administración de estos antibióticos es a través de inyección. Esto implica que se requiere un periodo de eliminación para los antibióticos y evitar la residualidad de estos reportada en leche y carne. Asimismo, se identificó que solo el 20% de los entrevistados (12 ganaderos) indicaron tener conocimientos sobre el uso de antibiótico, estos respondieron que “Mata bacterias”. El resto de los entrevistados (80%) indicó no tener conocimiento sobre los antibióticos. Esto último indica la importancia del conocimiento que requieren poseer los productores sobre la acción de los antibióticos para una mejor toma de decisión sobre la aplicación de estos al ganado. Con relación al acceso a la asesoría técnica, el 85% de los entrevistados indicó contar con la asesoría de un médico veterinario zootecnista (MVZ); el 15% indicaron no contar con este tipo de asesoría profesional.

No obstante, el 100% de los entrevistados indicaron que adquieren los antibióticos suministrados al ganado en las clínicas veterinarias. En contraste, Vilaboa-Arroniz et al. (2009) indicaron que solo 47% de los productores reciben asesoría técnica por los MVZ relacionados a la Asociación Ganadera Local y un 0.25 % recibe asesoría de Centros de Investigación, universidades públicas y privadas. Esto último indica la importancia de la asesoría técnica con los MVZ, particularmente en el manejo de antibióticos de uso veterinario.

Los antibióticos se encuentran entre los medicamentos más vendidos y consumidos en México, de acuerdo con datos del IMSH (2005) estos representan un mercado anual de 960 millones de dólares y ocupa el segundo lugar en ventas anuales (14.3%) en farmacias privadas en el país (Dreser *et al.*, 2008). Debe destacarse que en México no existe información oficial publicada sobre el volumen y manejo de los antibióticos en medicina humana y veterinaria. Este tipo de información no es requerida a los productores en estadísticas oficiales como el Censo Nacional Agropecuario (INEGI, 2019), este instrumento está centrado en recabar información sobre superficie disponible, número de cabeza de ganado (bovino, ovino, porcino, avícola), tipo de alimentación, entre otros. Además, recopila información sobre el manejo de compuestos como hormonas y los baños garrapaticidas, pero el uso de antibióticos no es considerado en la actividad ganadera.

Se identificó que 85.00% de los entrevistados utilizaron antibióticos como tratamiento preventivo para el control de enfermedades, un 7.5% aplicaron desparasitante y vitaminas (Cuadro 1.3). Coincidiendo con lo anterior (Ogwuche *et al.*, 2021) indicaron una tendencia similar, 96.6% reportaron suministrar un tratamiento terapéutico de una enfermedad fue la razón más frecuencia para la recomendaron el uso de antibióticos, seguida por la prevención y profilaxis de enfermedades con 41.7% y para la promoción del crecimiento un 4.7%. Debe destacarse que el tratamiento preventivo con antibióticos reportado en la zona de estudio debe añadirse al realizado para el control de enfermedades y casos de diarreas en el ganado. Esto aumenta tres veces el consumo de antibióticos suministrado al ganado en esta investigación.

**Cuadro 1.3.** Tratamiento preventivo para el control de enfermedades en el hato ganadero.

<b>Tratamiento preventivo para el control de enfermedades</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>
Antibióticos	50	85
Desparasitante	5	7.5
Vitaminas	5	7.5

Elaboración propia

El uso inespecífico de antibióticos sin conocer el agente causal de la enfermedad en los animales en la zona de estudio, es una práctica común en la actividad agropecuaria a nivel mundial. Asimismo, Ogwuche *et al.* (2021) indicaron que una alta proporción de entrevistados que correspondieron a 81.3 %, recomendaron el uso de antibióticos para controlar patógenos no bacterianos, incluidos virus, protozoos e incluso hongos. Aunque también reportaron que 98.7% informaron recomendar el uso de antibióticos para el control de patógenos bacterianos.

El 100% de los entrevistados indicaron no contar con ningún tipo de apoyo gubernamental, esto puede implicar que no existe apoyo para el manejo del ganado bovino y que tampoco existe un control estricto en la compra y uso de compuestos de uso controlado como los antibióticos en la zona de estudio. Chalate-Molina *et al.* (2010) indicaron que existe poca difusión de los programas de apoyo federal, estatal y municipal. Destacaron el escaso contacto con las personas involucradas en el fomento de la actividad agropecuaria y como esta situación dificulta los trámites de apoyos gubernamentales. Cuevas-Reyes *et al.* (2012), reportaron con información del Censo Agrícola, Ganadero y Forestal en México, que la cobertura de la asistencia técnica es baja, 3% del total nacional de unidades de producción con actividad agropecuaria disponen de este servicio, y sólo 11.7% perciben como problema la falta de asistencia técnica y capacitación. En contraste, Vilaboa-Arroniz *et al.* (2009) indicaron que 50.1% de los ganaderos región del Papaloapan no reciben asistencia técnica. Lo cual es normalmente una situación generalizada en el sureste de México, particularmente en sistemas ganaderos de doble propósito o de rejejería.

### 1.5.2 Riesgo ambiental el modo de aplicación y manejo de antibióticos

Se indicó previamente que la oxitetraciclina fue el antibiótico con mayor frecuencia para los ganaderos en la zona de estudio, debido a que estos indicaron su fácil acceso de adquisición y costo económico accesible. Esto coincide con lo reportado por León-Aguirre et al. (2017) indicaron la detección de oxitetraciclina en agua residual porcícola de granjas pequeñas y medianas en Yucatán, esto demostró la persistencia y el uso recurrente de este antibiótico en agua utilizadas en la actividad ganadera en México. Los antibióticos con mayor reporte de detección en ecosistemas acuáticos corresponden a grupos químicos diversos que incluyen las tetraciclinas (Dang *et al.*, 2007), los aminoglicósidos (Shakil *et al.*, 2008).

La contaminación por residuos de antibióticos puede llegar al consumidor a través de la cadena alimenticia. Se ha identificado que estos pueden provocar reacciones alérgicas, alterar la flora bacteriana intestinal de los humanos esto contribuye a potencializar el riesgo de proliferación de cepas bacterianas generando bacterias resistencia a antibióticos (ARB) y genes de resistencia a los antibióticos (ARG) (OMS, 2018; Ventola, 2015 ) Así como, ocasionar problemas de comercialización al afectar la calidad del producto y competitividad del mercado (Guzmán-Carrillo *et al.*, 2012; Grossi-Botelho *et al.*, 2015). Los datos sobre la extensión de la superficie utilizada por los ganaderos permiten conocer el impacto de esta actividad por el uso de compuestos químicos como los fármacos que incluye a los antibióticos y plaguicidas como los insecticidas y herbicidas entre los principales.

Se identificó que 93.33% de los ganaderos desechan los residuos de antibióticos al tirar los frascos en la basura y que el 6.66% de los frascos con residuos de antibióticos son quemados, lo que se ha documentado previamente por Ramírez et al. (2019) en un estudio del uso de plaguicidas en el agroecosistema con caña de azúcar en la regional central de Veracruz. México, que el 35.37 % de los entrevistados sigue las indicaciones de triple lavado de envases vacíos y su perforación, como se describe en la NOM-003-STPS-1999 (DOF, 1999); sólo el 12.24 % lleva los envases vacíos a los centros de acopio del programa federal Campo Limpio, instalados en diferentes localidades de la zona. El 13 % de los entrevistados desecha los envases sin lavar y el 78 % los deja incluso en la

parcela, donde se queman durante la cosecha o se depositan en un rincón o borde de la parcela. Es decir, los productores no tienen la información del procedimiento adecuado de la disposición final de los envases de los plaguicidas.

Coincidiendo con lo anterior, Piña-Guzmán et al. (2019) señalaron que los medicamentos veterinarios caducos son considerados residuos peligrosos en México (NOM-052-SEMARNAT-2005). Sin embargo, indicaron la desorganización en los procedimientos que comprenden el manejo y disposición final de los antibióticos, ya que estos son eliminados en conjunto con los residuos sólidos urbanos o se vierten al drenaje. Esto puede exponer a la población general y el medio ambiente a dosis bajas de estos antibióticos, que pueden implicar una vía adicional a estos compuestos.

Las principales vías de productos farmacéuticos como los antibióticos al medio ambiente son a través de la excreción, una amplia gama de estos productos se identificó en aguas superficiales, subterráneas y de aguas residuales (Gil *et al.*, 2012). Asimismo, Cheng et al. (2018) indicaron que aproximadamente un 70% son desechados en su fórmula original a través de las excretas y orina. Mientras, Kümmerer (2009) indicaron que entre el 80 al 90% de los antibióticos (ATB) son excretados como compuestos originales en el medio ambiente, lo cual significa que los compuestos no se han metabolizado en el cuerpo animal. Esto último tiene especial relevancia ya que la cercanía de las fuentes de agua como la cuenca baja del río Jamapa, se identificó una distancia promedio de la  $18,046.97 \pm 90,291.0.6$  m, con una distancia mínima de 0.0 y máxima de 50,000 m. Además, del uso de antibióticos se identificó en la zona de estudio. El 100% de los ganaderos indicaron realizar baños garrapaticidas a su hato ganadero. El uso intensivo de antibióticos ha generado la contaminación de matrices ambientales como suelo, agua, sedimentos, plantas y sus efectos negativos han sido particularmente destacados en la biota (Grossi-Botelho *et al.*, 2015). Lo anterior concuerda con, Zirena-Vilca et al. (2018) quienes resaltaron la necesidad de realizar el monitoreo en diversas matrices ambientales para detectar y cuantificar la presencia de los antibióticos para tener un mejor conocimiento de sus efectos a largo plazo en seres vivos.

El riesgo ecológico potencial de los antibióticos en el ambiente debe ser evaluado para desarrollar estrategias de manejo de estas sustancias, con el objetivo de contribuir con la reducción de estos compuestos en los sistemas acuáticos (Grossi-Botelho *et al.*, 2015). Dreser *et al.* (2008) indicaron que la venta de antibióticos en México tiene una proporción mayor en comparación con países desarrollados y en transición con mercados farmacéuticos grandes. Pero además debe de mediar restricción en el uso y venta de estos productos, al igual que la disposición de medicamentos no usados o caducos. En el caso de nuestro país como se indicó previamente no existen información oficial sobre el uso de antibióticos veterinarios, esto dificulta el establecimiento de mecanismos para contribuir a su uso racional en este sector. Por su parte, Ogwuche *et al.* (2021) indicaron que en Nigeria no existen directrices que restrinjan el acceso a los medicamentos veterinarios.

Grossi-Botelho *et al.* (2015) recomendaron que las instituciones sanitarias y reguladoras en materia de salud pública deben tener el compromiso y responsabilidad de establecer lineamientos sobre el uso prudente de los antibióticos de uso veterinario (AV) debido al riesgo que representan para la salud humana y el ambiente.

## 1.6 CONCLUSIONES

El manejo adecuado de antibióticos debe ser un tema central en la materia de sanidad animal en el sector ganadero en México. Los ganaderos de bovinos de la cuenca baja del río Jamapa utilizan los antibióticos en el tratamiento de enfermedades, como las diarreicas, sin una causa bacteriana corroborada. Los entrevistados reportan 11 antibióticos distintos en los municipios evaluados en la cuenca baja del río Jamapa. Es decir, el uso de una mezcla de compuestos cuyos residuos puedan llegar al cauce del río dado la cercanía de las unidades de producción ganadera con la fuente de agua.

El manejo de los residuos de los antibióticos y su disposición final debe ser abordado como parte de las buenas prácticas de la producción pecuaria, debido a que los productores utilizan de forma recurrente la Oxitetraciclina para el tratamiento de diarreas en el ganado bovino. Esto indica el uso de frecuente de este compuesto con los riesgos asociados a la presencia de estos compuestos en el ambiente y posibles efectos en la salud pública.

Los ganaderos entrevistados tienen conocimiento en el manejo de la producción de ganado. Sin embargo, un alto porcentaje no conocen los riesgos potenciales de los antibióticos. Los ganaderos y todas aquellas personas dedicadas en la cadena de valor en la producción y engorada de bovinos deben de recibir información a través de asesoría gubernamental e instituciones de investigación, para brindarles un conocimiento sobre los antibióticos y contribuir a reducir el uso inadecuado e implementar buenas prácticas de uso. Además, la autoridad gubernamental debe de proveer lineamientos legales que limiten el uso y abuso descontrolado de antibióticos en la actividad pecuaria y la disposición de envases y productos caducos o no empleados.

## **CAPITULO II. PRESENCIA DE OXITETRACICLINA EN EL AGUA SUPERFICIAL DE LA CUENCA BAJA DEL RÍO JAMAPA, VERACRUZ, MÉXICO**

### **2.1 RESUMEN**

Las actividades que se realizan en los márgenes de la cuenca baja del río Jampa, pueden provocar efectos negativos en el ecosistema, generando alteraciones sobre el medio acuático, ya que se usan diversos antibióticos que son considerados como contaminantes emergentes, usados para el tratamiento de enfermedades bacterianas, y en la salud humana y veterinaria. Usualmente los ganaderos utilizan deliberadamente los antibióticos para curar enfermedades y promover el crecimiento y engorda del ganado, esto provoca el desarrollo de bacterias resistentes. Los antibióticos al no ser metabolizados llegan a las aguas residuales a través de las heces fecales y la orina, además por la mala disposición final de los frascos o los antibióticos caducos, asentamientos humanos, granjas acuícolas, llegando a las plantas de tratamientos de aguas residuales, en donde no son tratadas adecuadamente por falta de normativas. Los antibióticos en el ambiente generan resistencia bacteriana, y causan toxicidad en algunos organismos acuáticos. Por tanto, el objetivo fue analizar la presencia del antibiótico oxitetraciclina en el agua superficial de la cuenca baja del río Jamapa, Veracruz derivado de diferentes fuentes puntuales y el uso de antibióticos en las actividades agropecuarias en la zona centro costera del estado de Veracruz. Los análisis se llevaron a cabo por triplicado en ocho sitios de muestreo durante tres temporadas. En los sitios de muestreo la mayor concentración de oxitetraciclina fue en el río Jamapa ( $5.74 \mu\text{g L}^{-1}$ ). Por lo anterior, se concluye que se determinó la presencia de oxitetraciclina en el agua superficial del río Jampa y arroyo Moreno, son impactadas por las fuentes puntuales de contaminación como son las granjas acuícolas que descargan directamente en el río Jampa y los ranchos ganaderos, así como los asentamientos humanos que hay alrededor de la zona de estudio.

**Palabras claves:** Oxitetraciclina, contaminantes emergentes, antibióticos, ganadería

## 2.2 ABSTRACT

The activities that are carried out besides the lower basin of the Jamapa River might cause negative effects on the ecosystem, generating alterations in the aquatic environment, since various antibiotics are used that are considered as emerging contaminants, used for the treatment of bacterial diseases. And in human and veterinary health, farmers deliberately use antibiotics for diseases and promote the growth and fattening of cattle, this causes the development of resistant bacteria, antibiotics, not being metabolized, reach the wastewater through the feces and urine, adding to this due to the poor final disposal of bottles or expired antibiotics, human settlements, aquaculture farms, reaching wastewater treatment plants, where they are not treated properly due to lack of regulations. Antibiotics in the environment generate bacterial resistance, and cause toxicity in some aquatic organisms, for this reason the objective of this work is to analyze the presence of the antibiotic oxytetracycline in the surface water of the lower basin of the Jamapa River, Veracruz derived from different point sources. And the use of antibiotics in agricultural activities in the central coastal zone of the state of Veracruz. The analyzes were carried out by triplicate in eight sampling sites during three seasons. In the sampling sites, the highest concentration of oxytetracycline was in the Jamapa river, therefore the results obtained represent a risk the presence of oxytetracycline in the surface water of the Jampa river and Moreno stream.

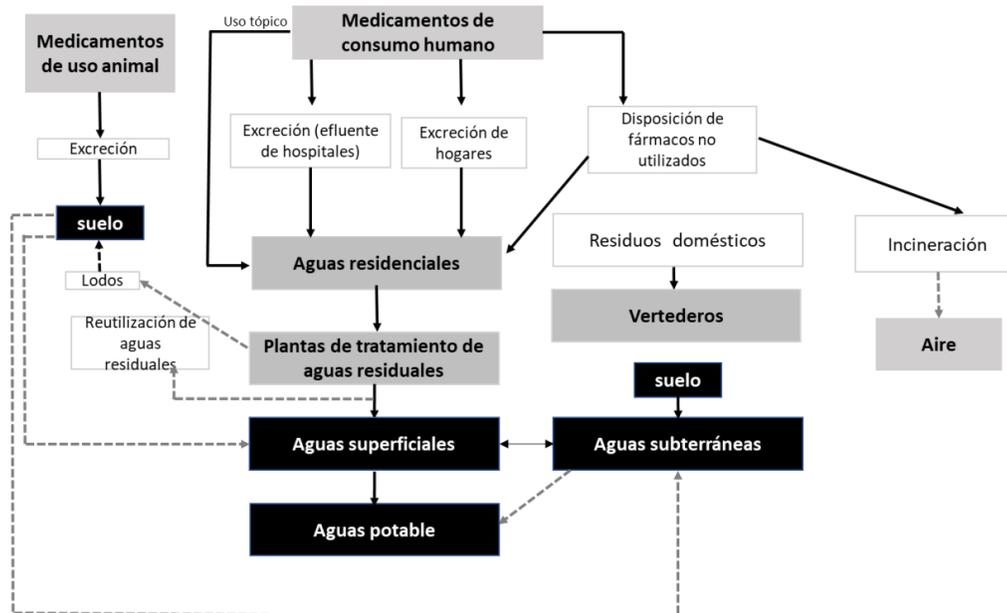
**Keywords:** Oxytetracycline, emerging contaminants, antibiotics, livestock

## 2.3 INTRODUCCIÓN

En la última década los llamados contaminantes emergentes (CE), se consideran de interés nacional; principalmente por tener relación directa con el acelerado crecimiento poblacional, actividades industriales, usos de farmacéuticos y por las diferentes actividades agropecuarias. Cada actividad agropecuaria que emplea medicamentos o agroquímicos genera descargas de efluentes que son depositados a los cuerpos de agua, sin recibir tratamiento previo (Ramírez *et al.*, 2019). Entre los CE se pueden encontrar diferentes fármacos, antibióticos, residuos de productos de higiene personal y filtros ultravioleta, entre otros (Martínez-Alcalá *et al.*, 2020). Los antibióticos son sustancias orgánicas que pueden ser producidas a través del metabolismo secundario de microorganismos o bien se sintetizan artificialmente o semiartificial. Estos compuestos entran en el medio acuático principalmente a través de los efluentes de plantas de tratamientos de aguas residuales, que reciben las excretas derivadas de la orina o por las heces fecales, también algunos de ellos se generan durante uso doméstico, de origen hospitalarios e incluso industrial y acuícola (Li *et al.*, 2015), pero también a través de descargas difusas. Los nuevos métodos de análisis que hay en el mercado por su capacidad para identificar y cuantificar, han logrado la identificación de la presencia de diversos contaminantes potencialmente peligrosos, dentro del grupo de los emergentes. El término de CE se refiere a aquellas sustancias químicas, naturales o sintéticas, que están liberándose continuamente al medio acuático a bajas concentraciones en  $\mu\text{g L}^{-1}$  o  $\text{ng L}^{-1}$ . Fundamentalmente se generan a través de los efluentes de las plantas de tratamientos de aguas residuales, son sustancias que se caracterizan por su persistencia en el medio acuático. Sin embargo, no existen en la actualidad criterios para su regulación destinados a proteger la salud humana y ambiental (Oropesa *et al.*, 2017). El objetivo fue analizar la presencia del antibiótico oxitetraciclina en el agua superficial de la cuenca baja del río Jamapa, Veracruz derivado de diferentes fuentes puntuales y el uso de antibióticos en las actividades agropecuarias en la zona centro costera del estado de Veracruz. La hipótesis planteada fue el manejo de antibióticos usados en las actividades ganaderas y acuícolas deterioran la calidad del agua del cauce de la cuenca baja del río Jamapa y Arroyo Moreno, por el impacto que estos tienen en los organismos acuáticos y la salud pública.

### 2.3.1 Problemática Ambiental

En los últimos años la contaminación del agua se considera un problema ambiental emergente que tiene efectos graves en la salud y en los ecosistemas. Se estima que, en el año 2025, más del 60% de la población mundial sufrirá problemas de escasez de agua. Es decir que el desafío futuro será tener agua suficiente y de buena calidad, y evitar que la población esté expuesta a diversos contaminantes a través del consumo del agua (Martínez-Alcalá *et al.*, 2020). El uso y abuso de antibióticos en la población, hospitales, ganadería y agricultura genera compuestos que no se han identificado, por estar dispersos en el medio acuático a través de fuentes difusas y puntuales como son las plantas de tratamientos de agua residuales no tratadas; lo que contribuye a la selección y diseminación de bacterias resistentes en el ambiente acuático. Los antibióticos en el ambiente generan resistencia bacteriana y es una preocupación mundial. Fenómeno ambiental que requiere ser estudiado (Martínez-Alcalá *et al.*, 2020). Diversos reportes han revelado que las concentraciones subinhibitorias de antibióticos reportadas en ambientes acuáticos (Kümmer, 2009) .



**Figura 2.1.** Ruta de los antibióticos en el medio ambiente. Fuente: Correia y Marcano (2015).

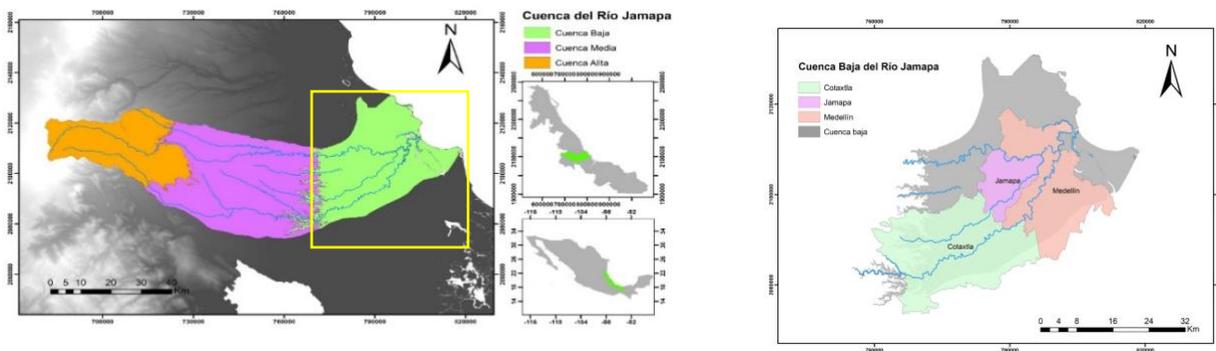
Otro de los problemas ambientales de los antibióticos es la persistencia ambiental, debido a su resistencia a la degradación por métodos bióticos o abiótico; y su continua introducción en el medio acuático a través de los efluentes de las plantas de tratamientos de aguas residuales (Oropesa, 2017). Aun así, no se considera que después de su uso, los antibióticos terminan en el ambiente después de la excreción, donde una cierta cantidad del compuesto del antibiótico permanece en forma inalterada y sus productos de degradación denominados metabolitos, terminen en las redes cloacales y finalmente en las plantas de tratamiento de aguas residuales (Figura 2.1).

## 2.4 MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.4.1 Área de estudio

La cuenca Baja del Río Jamapa forma parte de la cuenca del río Jamapa-Cotaxtla; ubicada entre los 18°45' y 19°14' latitud N, y entre 95°56' y 97°17' longitud O (CONAGUA, 2005). El área aproximada de la cuenca del Río Jamapa es de 3912 km<sup>2</sup>, distribuida en su totalidad dentro del estado de Veracruz (Castañeda *et al.*, 2020).

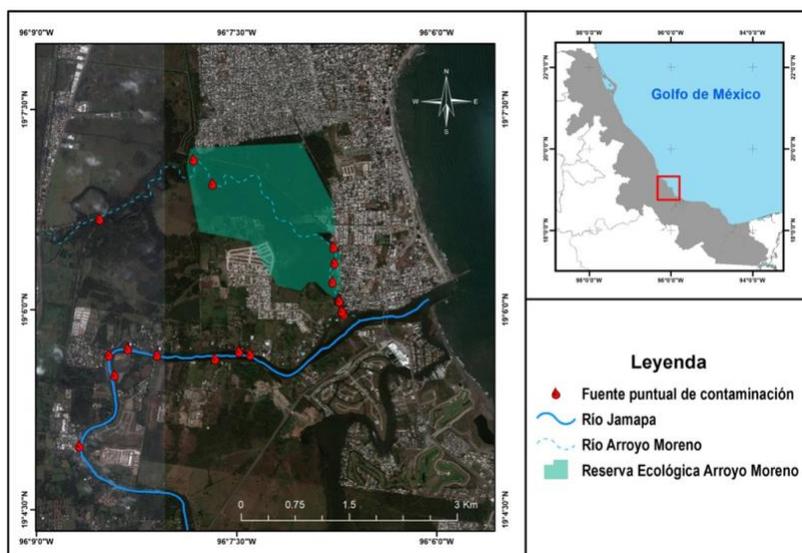
La porción de la cuenca baja comprende un área ubicada entre los 0 m snm hasta los 100 m snm. Esta parte de la cuenca se caracteriza por poseer una pendiente que es casi nula y con esto se genera la presencia de zonas de deposición y de encharcamiento (Ortiz-Lozano, 2013). La cuenca Baja del Río Jamapa comprende los municipios de Jamapa, Cotaxtla y Medellín (Figura 2.2).



**Figura 2.2.** Ubicación de los municipios de la cuenca baja del río Jamapa, Veracruz, Méx.

### 2.4.2 Colecta de muestras

Se realizó una visita prospectiva en la cuenca baja del río Jamapa para la identificación de fuentes de contaminación en el área de estudio, posteriormente se seleccionaron e identificaron sitios del muestreo con un geoposicionador Garmin modelo (GARMIN International Inc., Olathe, Kansas, USA). Esta selección se llevó acabo con las siguientes características: zonas de descargas como asentamientos humanos, así como las actividades de producción acuícolas y la central termoeléctrica, también se consideró el aporte de la descarga del arroyo Moreno que recibe los efluentes municipales de las ciudades Veracruz-Boca del Río (Figura 2.3).



**Figura 2.36.** Ubicación de las fuentes de contaminación de la zona de estudio.

Se realizaron tres muestreos en las tres temporadas climatológicas (Lluvias, Estiaje y Nortes). Las muestras de agua de los diferentes sitios de muestreo de la zona de estudio se colocaron en frascos de polietileno ámbar de 1000 mL. Las muestras se mantuvieron en cadena fría durante el transporte al Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca de Río (ITBoca).

### 2.4.3 Análisis de las muestras de agua

En cada muestreo se registraron *in situ* la temperatura, pH y la conductividad eléctrica (CE). Posteriormente se determinó la concentración de oxitetraciclina por el método proporcionado por el equipo (MaxSignal®Oxytetracycline ELISA KIT). Que a continuación se detalla:

### 2.4.4 Preparación de las muestras

Se filtró 500 ml de muestras, posteriormente se tomaron 200  $\mu$ L de muestra se le adiciono 25  $\mu$ L de solución reguladora, y 275  $\mu$ L de diluyente de la muestra y se agito en un vortex durante 1 min. Para la determinación cualitativa de oxitetraciclina se siguió la técnica establecida por (MaxSignal Oxytetracycline ELISA KIT). Se prepararon los estándares

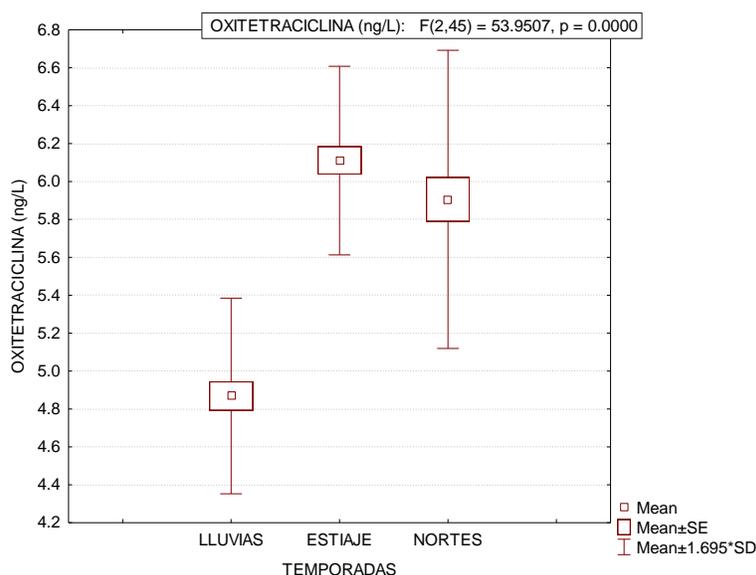
(se adicionaron 75  $\mu\text{L}$  de cada estándar con las diferentes concentraciones (4.5  $\mu\text{L}$ , 1.5  $\mu\text{L}$ , 0.75  $\mu\text{L}$ , 0.375  $\mu\text{L}$ , 0.15  $\mu\text{L}$  y el control negativo), todo por duplicado en los pocillos previamente asignados. Posteriormente de la muestra ya filtrada y tratada previamente se tomaron 75  $\mu\text{L}$  se le adiciono 100  $\mu\text{L}$  de cada estándar de previamente preparados con las diferentes concentraciones ya mencionadas en cada pocillo, se agito la placa simultáneamente para homogenizar las muestras se procedió a incubar por la placa por 55 min a una temperatura de (20-25  $^{\circ}\text{C}$ ). se realizaron tres lavados con la solución proporcionada por el kit. Para después adicionar a cada pocillo 150  $\mu\text{L}$  del Anticuerpo2-HRP, se homogenizaron las muestras y se incubo por 25 min a (20-25  $^{\circ}\text{C}$ ), nuevamente se procedió a tres lavados de las muestras y se le adiciono a cada pocillo 100  $\mu\text{L}$  de sustrato TMB y se homogenizaron las muestras para incubar por 15 min a (20-25  $^{\circ}\text{C}$ ), se adiciono a cada pocillo 100  $\mu\text{L}$  de solución de parada para detener la reacción sustrato-cromógeno. Posteriormente se procedió a la lectura en un lector de microplacas de 96 pocillos modelo 4303, a una longitud de onda de 450 nm estos valores fueron proporcionado en la técnica (MaxSignal Oxytetracycline ELISA KIT).

#### **2.4.5 Análisis estadístico**

Se lleva a cabo el análisis estadístico de los datos utilizando el software STATISTICA versión 7.0 (StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA), se comprobó la normalidad y homogeneidad de varianzas. Además de un análisis de varianza de una vía (ANOVA), seguido de una prueba de Tukey a un nivel de significancia del 95%.

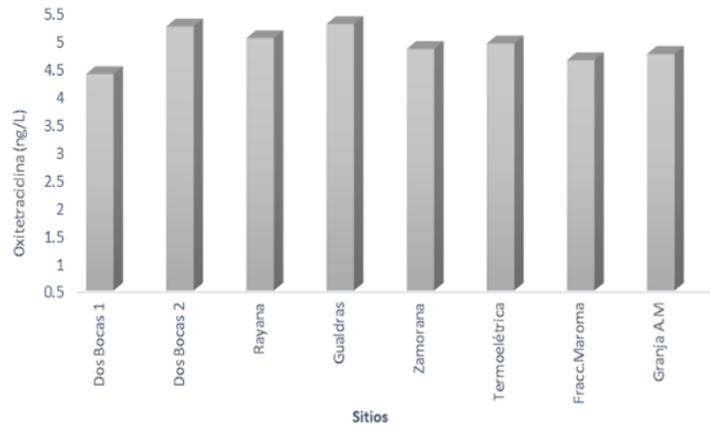
## 2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De las tres temporadas de muestreo (norte, estiaje y lluvias), se encontró que en lluvias se presentó la menor concentración de Oxitetraxiclina con respecto a norte y estiaje. Se encontró una diferencia significativa en estiaje y nortes con respecto a lluvias (Figura 2.4). El agua superficial de la cuenca del río Jamapa se descargan efluentes domésticos y a su alrededor existen unidades de ganadería bovina (Palomarez-García, 2010).

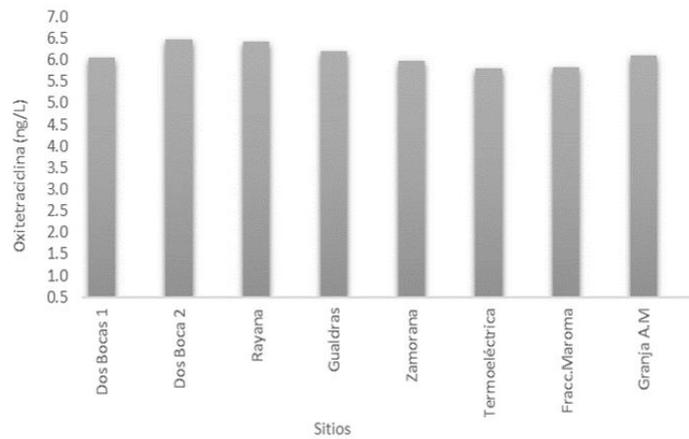


**Figura 2.4.** Concentración de oxitetraciclina en agua superficial de la cuenca baja del río Jamapa- arroyo Moreno.

En los últimos 12 años se ha reportado que los fármacos más prevalentes en las aguas residuales en el mundo son los antiinflamatorios en un 16 %, antibióticos en un 15 % y reguladores de lípidos en un 12 %. En algunos casos su prevalencia en el ambiente puede atribuirse a su persistencia y baja biodegradabilidad (Gutiérrez-Macias, 2015). Por otro lado, la persistencia de los fármacos en el ambiente es de más de un año, donde fármacos como la Eritromicina, Ciclofamida, Naproxeno y Sulfmetoxazol es de hace varios años. En suelos a profundidad de 10 cm se han encontrado fármacos como: ibuprofeno, naproxeno, triclosan y bisfenol, y en 30 cm de profundidad se ha encontrado clófrico ACL y estrona (Gutiérrez-Macias, 2015).



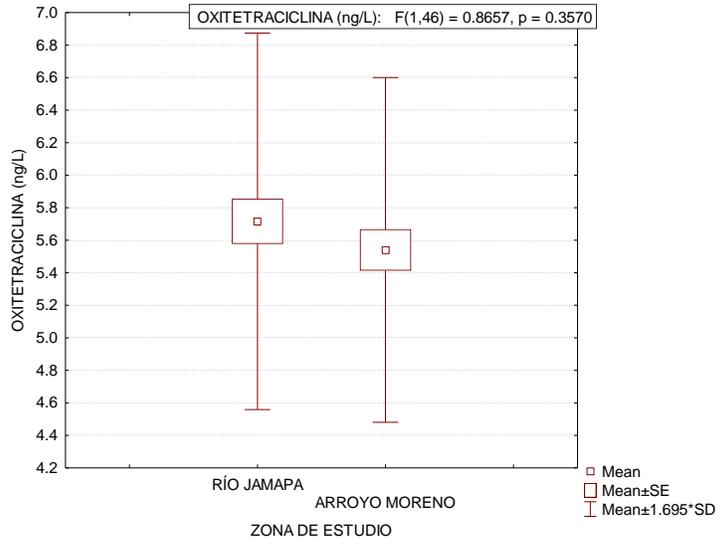
(a)



(b)

**Figura 2.5.** Concentración de oxitetraciclina en dos temporadas lluvias (a) y estiaje (b) en los diferentes sitios de muestreos en la zona de estudio.

Respecto a las temporadas de muestreo, lluvias y estiaje, se reporta en lluvias una concentración de  $5.26 \text{ ng L}^{-1}$  de oxitetraciclina en el sitio Gualdras. Se encontró un incremento en la temporada de estiaje en el sitio Dos Bocas, donde la concentración de oxitetraciclina incremento a  $6.46 \text{ ng L}^{-1}$  en el sitio de Dos Bocas 2 durante la temporada de estiaje. Este resultado refleja que probablemente y debido a las características de las corrientes del río Jamapa puede considerarse la principal fuente de descarga de la Oxitetraciclina que es transportada por el flujo de los efluentes doméstico al medio acuático (Zamudio *et al.*, 2014).



**Figura 2.6.** Concentración de oxitetraciclina en agua superficial de la cuenca baja de la cuenca baja del río Jamapa.

La concentración más elevada en las tres temporadas climatológicas; lluvias, estiajes y nortes (Figura 2.5) se presentó en el río Jamapa. Sin embargo, no hubo diferencia significativa en arroyo Moreno. La presencia de antibióticos en el medio acuático se debe con la proximidad a grandes núcleos de población (Oropesa, 2017).

Por otro lado, existen pocos estudios de antibióticos en muestras de agua, los existentes son en muestras de agua residual reportadas en Brasil con las siguientes concentraciones de Ciprofloxacino ( $33.7 \text{ ng L}^{-1}$ ), Norfloxacino ( $37.7 \text{ ng L}^{-1}$ ), Sulfametozol ( $376 \text{ ng L}^{-1}$ ), Trimetoprima ( $65.1 \text{ ng L}^{-1}$ ) y Azitromicina ( $23.7 \text{ ng L}^{-1}$ ) (Meléndez-Marmolejo *et al.*, 2020).

La concentración de oxitetraciclina en el río Jamapa fue de ( $5.74 \mu\text{g L}^{-1}$ ) en este sitio de muestreo se encuentran granjas acuícolas las cuales descargan directamente al río. Coincidiendo con Benavides *et al.* (2018), en el cultivo de salmón en Chile hay un uso generalizado de dos antibióticos, Florfenicol con 63 % y Oxitetraciclina 35 %, ambos son de uso veterinario. Se han reportado la presencia de otros antibióticos como es el caso de Sulfametoxazol, encontrándose en una concentración de ( $11.92 \mu\text{g L}^{-1}$ ) en el agua del río Llobregat, España (Ginebreda *et al.*, 2010).

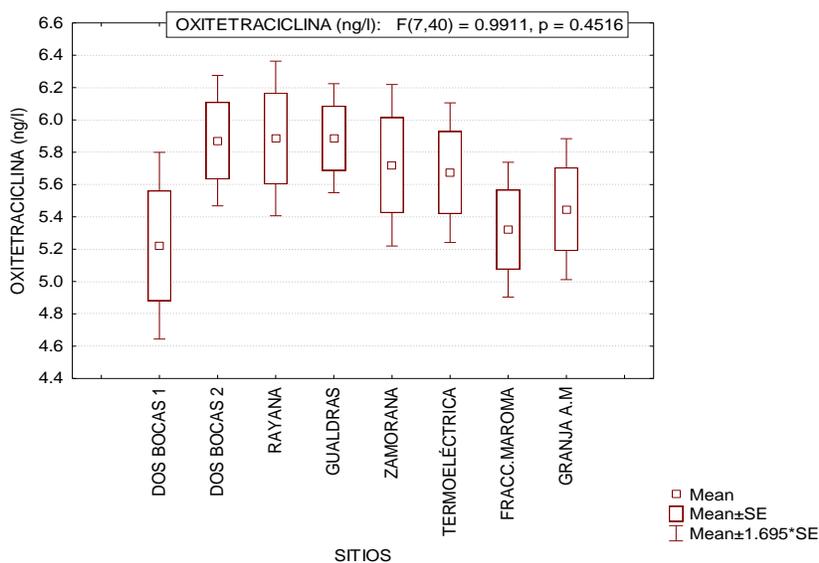
Por otro lado, León-Aguirre *et al.* (2017) reportan la detección de Oxitetraciclina en agua residual porcícola de granjas pequeñas y medianas en Yucatán, para lo cual utilizaron dos técnicas para la detección de Oxitetraciclina en muestras de aguas residuales de tres granjas porcícolas cercanas a la ciudad de Mérida. La cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC), empleada comúnmente por su reproductibilidad y selectividad en la detección, rapidez y poca generación de residuos. Para el análisis por cromatografía las muestras se analizaron a 255 nm, detectando concentraciones de 0.3 y 1.0 mg L<sup>-1</sup>, mientras que el análisis por espectrofotometría de fluorescencia se realizó a una longitud de onda de 390 nm y de emisión de 512 nm. Las concentraciones encontradas fueron de 0.5 y 1.4 mg L<sup>-1</sup>.

La concentración más elevada en las tres temporadas climatológicas se presentó en la granja la Rayana seguido de Dos Bocas. Respecto a los periodos de muestreo no se encontró diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) en concentraciones de Oxitetraciclina (Figura 2.6). Se tiene registrado más de 3,000 fármacos por la Unión Europea (UE) estos al ser excretados pueden provocar posibles efectos a nivel ambiental, resistencia bacteriana, genotoxicidad que en algunos casos puede llegar a dañar al ser humano, (Gutiérrez-Macias, 2015). Un grupo de investigadores (Hirsch *et al.*, 1999; Ternes, 2001; Jemba, 2006) clasificaron a los productos farmacéuticos comúnmente encontrados en las aguas residuales de acuerdo a su tasa de excreción en:

- Baja excreción (5%): Aspirina, carbamezapina, gemfibrozil (GFZ) e ibuprofeno.
- Moderado: (3-39%): Diclofenaco, metropol, primidona y sulfametazol.
- Relativamente alto: (40-69%): Bezafibrato (BZF), trimetoprima, norfloxacino.
- Alto (70%): Amoxicilina, ciproflaxino, tetraciclina.

Los fármacos de baja tasa no necesariamente están presentes en niveles bajos en las aguas residuales. Esto es probablemente a las bajas tasas de excreción se compensan por su uso masivo, además las enfermedades comunes de cada localidad pueden inducir a un mayor consumo de fármacos específicos durante ciertos periodos (Gutiérrez-Macias, 2015)

Por lo anterior los resultados obtenidos reflejan la consecuencia del alto consumo de fármacos y a su vez entran en el medio acuático principalmente a través de los efluentes de planta de tratamientos de aguas residuales, ya que son excretados por la orina y por las heces, también algunos de ellos son productos de uso domésticos, otros tienen origen hospitalario o incluso industrial y algunos son utilizados en la acuicultura (Li *et al.*, 2015) Como se observa en la (Figura 2.7), la concentración de oxitetraciclina en los sitios de muestreo de las tres temporadas.



**Figura 2.7.** Concentración de oxitetraciclina en sitios de muestreo en las tres temporadas del año en la zona de estudio.

Por otro lado, otros estudios coinciden con el uso más frecuente de diversos antibióticos en la acuicultura son; enrofloxacin, florfenicol, oxitetraciclina, clortetraciclina, ciprofloxacina, norfloxacina, ácido oxolínico, perfloxacina, sulfametazina, gentamicina y tiamulina (Santiago, 2009; Gracia *et al.*, 2012).

Con relación a otros estudios se ha encontrado que el uso del antibiótico tetraciclina forma parte de la familia de la oxitetraciclina, las que tienen actividad antimicrobiana; se ha estudiado en cuerpos de agua en concentraciones de  $0.1-1.0 \mu L^{-1}$  y en aguas residuales de industrias con una concentración mayor de  $1.5 mg L^{-1}$ . Ha dicho antibiótico se le atribuye a la disminución del crecimiento y producción de la clorofila del centeno, además de producir estrés oxidativo en concentraciones de  $10mg L^{-1}$  (Meléndez-

Marmolejo *et al.*, 2020). Otro de los efectos adversos de los residuos de tetraciclina es de 100 mg L<sup>-1</sup> en vermicomposta, promueven los genes de resistencia a antibióticos, además de afectar la diversidad microbiana afecta los tiempos de descomposición de la materia orgánica (Xia, 2019). En otro estudio utilizaron la tetraciclina en embriones de pez cebra (*Danio rerio*) para determinar la toxicidad por exposición a tetraciclina; las larvas mostraron fenotipos de retraso del desarrollo, así como retraso en la eclosión, longitud corporal más corta, aumento del área del saco vitelino y vejiga natatoria (Meléndez-Marmolejo *et al.*, 2020).

## 2.6 CONCLUSIONES

La acuicultura y la ganadería tienen un papel importante en la contaminación de los ecosistemas acuáticos. Sin embargo, el uso excesivo de los antibióticos liberados al medio ambiente está poco identificado. Esta investigación indica que la contaminación por antibióticos podría tener consecuencias al medio ambiente como la aparición de bacterias resistentes a los antibióticos.

La concentración de oxitetraciclina en el medio acuático puede afectar el desarrollo de las algas, así como la primera fase de desarrollo de los organismos, e incluso provoca la muerte de los mismos. Los antibióticos al ser consumidos son metabolizados solo en parte en el organismo, por lo que la mayoría son excretados y vertidos al medio ambiente a través de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

La presencia de oxitetraciclina en la cuenca baja del río Jamapa y arroyo Moreno está asociado directamente a las actividades realizadas alrededor de la zona de estudio como es la ganadería en esta actividad ocupan la oxitetraciclina para diversas enfermedades en el hato ganadero, así como también la acuicultura, asentamientos humanos, así como las descargas de agua residuales, este trabajo podría servir de referencia para estudios posteriores ya que pone de manifiesto el riesgo potencial para el ambiente acuático, e indica la necesidad de implementar estrategias de control para prevenir la aparición de bacterias resistentes a los antibióticos.

Existen fluctuaciones en la concentración de oxitetraciclina durante la temporada de muestreo que pueden ser atribuidos a los fenómenos naturales que se presentaron como el incremento del uso de antibióticos derivado del COVID-19; aunado a las actividades desarrolladas en el área de estudio.

## CONCLUSIONES GENERALES

Se comprende que de acuerdo a la presencia de oxitetraciclina en el agua superficial de la cuenca del río Jamapa asociadas al consumo por el sector ganadero se debe reducir el consumo de antibióticos de uso ganadero para la zona de estudio y tener mayor vigilancia.

Este trabajo pretende lograr un mayor conocimiento sobre la cantidad de antibióticos utilizados en el sector ganadero que tienen destino final en el río Jamapa y las posibles consecuencias asociadas a dicha concentración, para esto también es necesario realizar diversos análisis sobre la presencia de antibióticos en influentes y efluentes de aguas residuales de las plantas de aguas residuales y que son descargadas a dicho río.

Se entiende que la persistencia de los fármacos en el medio ambiente es desde un año, por ello los efectos potencialmente acumulativos de los fármacos en el agua residual (a mediano o largo plazo) pueden ocasionar daños en el medio ambiente y en el hombre causando procesos psicológicos anormales, debilitación reproductiva, efectos crónicos incluso toxicidad además de crear una proliferación de microorganismos resistentes a los fármacos.

**Respecto a la hipótesis particular I:** los residuos de antibióticos están relacionados con las fuentes de contaminación puntuales y difusas de las actividades ganaderas y acuícolas que se practican en la Cuenca Baja del Río Jamapa. Se identificaron las fuentes puntuales de contaminación puntuales de restaurantes y fraccionamientos alrededor de la zona de estudio lo cual son las entradas de contaminación de dichos contaminantes. Se identificaron 12 fuentes de contaminación, los cuales corresponden de actividades ganaderas y acuícolas en su mayoría corresponde a la ganadería (95%) y en su minoría a las actividades acuícolas (5%). No obstante, se identificó el dren B del canal de la Zamorana y descargas de desarrollo urbano estos en arroyo Moreno el cual descarga en la cuenca del río Jamapa

Por lo tanto, no se rechaza la hipótesis I

**Con respecto a la hipótesis particular II:** la calidad del agua del cauce de la Cuenca Baja del Río Jamapa se impacta negativamente como resultado de un mal manejo de los antibióticos en las actividades ganaderas y acuícolas que se practican en la zona de estudio. La calidad del agua se ve afectada por la presencia de antibióticos registrados en las temporadas climáticas establecidas en el área de estudio, se obtuvieron con el método (MaxSignal® Oxytetracycline ELISA KIT).

Por lo tanto, no se rechaza la hipótesis II

**Con respecto a la hipótesis particular III.** El manejo de antibióticos usados en las actividades ganaderas y acuícolas deterioran la calidad del agua del cauce de la Cuenca Baja del Río Jamapa, por el impacto que éstos tienen en los organismos acuáticos y a la salud pública. La calidad del agua del cauce de la cuenca baja del río Jamapa se deteriora por la presencia de oxitetraciclina en contradas ya sea en baja concentraciones el cual no debería de estar presente en el agua dicho antibiótico el cual su presencia causa daño al ecosistema y efectos adversos para la salud en organismos y la salud humana.

Por lo tanto, no se rechaza la hipótesis III.

## LITERATURA CITADA

- Abreu, E., M., Sosa-del Castillo, G., Ascunce-del Sol, y G., González, 2016. Efecto de antibióticos en la propagación in vitro de *Agave fourcroydes* Lem. *Biología Vegetal* 16(1): 31-36.
- Acevedo-Barrios, R. L., Severiche-Sierra C.A., y Jaimes-Morales, J.C. 2015. Bacterias resistentes a antibióticos en ecosistemas acuáticos. *Rev. P+L* 10: 160-172. ISSN 1909-0455.
- Acevedo-Barrios, R. L., y Severiche-Sierra, C.A. 2013. Identificación de bacterias resistentes a di-bromo-mercurio aisladas de sedimentos en playas de Cartagena de Indias, Caribe Colombiano. *Rev. Avan. Inv. Ing.* 10(2): 73-79.
- Acosta-Agudelo, S. M., Romero-Peñuela, M., y Taborda-Ocampo, G. 2014. Determinación de residuos de oxitetraciclina en muestras de carne bovina. *Revista Luna Azul* 39: 143-152.
- Aguilar-Gálvez, F.L., Flores-Blacio, M.V, Sánchez-Quinche, Á, R., Zapata-Saavedra M. L. 2018. Determinación de residuos de tetraciclinas en muestras de carne bovina destinadas al consumo humano. *Revista La Técnica*, 20: 67-78.
- Altieri, M. A. 1995. El agroecosistema: Determinantes, recursos, procesos y sustentabilidad. En: *Agroecología: Bases Científicas para una agricultura sustentable*. 2ª (ed). CLADES, Santiago de Chile. 22-31 pp.
- Álvarez-Lerma, F., R., Sierra-Camerino, L., Álvarez-Rocha, y Ó., Rodríguez-Colomo. 2010. Política de antibióticos en pacientes críticos. *Medicina Intensiva* 34(9): 600-608.
- Álvarez-Salas, L., Polanco-Echeverry, D., y Ríos-Osorio, L. 2014. Reflexiones acerca de los aspectos epistemológicos de la agroecología. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 11(74): 55-74.
- Arnold, M., y F. Osorio. 1998. Introducción a los conceptos básicos de la teoría general de sistemas. *Cinta Moebio* 3: 40-49 [www.moebio.uchile.cl/03/frprinci.htm](http://www.moebio.uchile.cl/03/frprinci.htm)

- Aslam, B., Wang W., Arshad, M.I., Khurshid, M., Muzammil, S., Rasool, M. H. 2018. Antibiotic resistance: A rundown of a global crisis', *Infection and Drug Resistance* 11:1645–1658.
- Badii, M. H., J. L. Landeros, y E. Cerna. 2008. El recurso de agua y sustentabilidad. *International Journal of Good Conscience*. 3: 661-671.
- Barceló D., y López, M. J. 2007. Contaminación y calidad química del agua: el problema de los contaminantes emergentes. En: Panel Científico-Técnico de seguimiento de la política de aguas. Instituto de Investigaciones Químicas y Ambientales-CSIC. Barcelona.
- Bautista, P., J. P., Martínez, F. Osorio, G. López, Estrella, N. 2017. Marco epistémico para estudiar los agroecosistemas. *Rev. Mex. De Cienc. Agríc.* 8(1): 159-170.
- Benavides, O. A., González, F., Sáez, K., Chávez, R., & Hernández, M. 2018. Efectos adversos provocados en la descendencia de *Drosophila melanogaster* Meigen inducidos por antibióticos usados en Salmonicultura. *Rev. Gayana*, 82(2), 139-155.
- Bertalanffy Von, L. 1976. *Teoría General de los Sistemas*. Editorial Fondo de Cultura Económica. México. pp 312.
- Botero-Coy, A.M., Martínez-Pachón, D., Boix, C., Rincón, R. J., Castillo, N., Arias-Marín, L.P., Manrique-Losada, L., Torre-Palma, R., Moncayo-Lasso, A., Hernández, F. 2018. "An investigation into the occurrence and removal of pharmaceuticals in Colombian wastewater. *Science of Total Environment*. 642: 842-853.
- Cabello, F. 2006. Heavy use of prophylactic antibiotics in aquaculture: a growing problem for human and animal health and for the environment. *Environ. Microb.* 7: 1137–1144.
- Cabrera, J., y Cuc, P. 2002. Diagnostico socio ambiental de la cuenca del río Usumacinta. Proyecto conflicto cooperación ambiental en cuencas internacionales centroamericanas. Universidad de Costa Rica. [Revisado 27 mayo 2016] <http://www.portalces.org/sites/default/files/migrated/docs/277.pdf>

- Caicedo S, A. 2011. La gobernanza del agua. Cuadernos de Ciencias Jurídicas y Política Internacional. 1: 65-96.
- Camacho-Moreno, G. 2013. Programas de uso prudente de antibióticos en los hospitales: una estrategia efectiva para disminuir la resistencia a los antimicrobianos. Revista de Enfermedades Infecciosas en Pediatría. 26(104): 279-280.
- Cancho-Grande, B., García-Falcón, M.S., y Simal-Gándara, J. 2000. El uso de los antibióticos en la alimentación animal: Perspectiva actual, Cien. Tecnol. Alim 3: 39-47.
- Casanova-Pérez, L., Martínez-Dávila, J.P., López-Ortiz, S., Landeros-Sánchez, C., López-Romero, G., y Peña-Olvera, B. 2015. Perspectives of complex thought in agroecology. Interciencia 40(3): 2011-2016.
- Castañeda Y., López, P., Figueroa R., y Fuentes, J.L. 2009. Susceptibilidad a antibióticos de bacterias indicadoras de contaminación fecal aisladas de aguas y sedimentos marinos de playas de la Isla de Margarita, Venezuela. Saber. 21: 12-19.
- Castañeda-Chávez, Ma. Del Refugio., Lango-Reynoso, Fabiola., Navarrete-Rodríguez, Gabycarmen. 2020. Study on Contamination by Heavy Metals in the Cotaxtla-Jamapa Basin with Influence in the Central Zone of the Gulf of Mexico. Rev. Water Air Soil Pollut, 231(99), 1-13. Doi.org/10.1007/s11270-020-4446-9.
- Chalate-Molina, H., Gallardo-López F., Pérez-Hernández F.P., Lang-Ovalle., Ortega-Jiménez E., y Vilaboa-Arroniz J. 2010. Características del sistema de producción bovinos de doble propósito en el estado de Morelos, México. Zootecnia Trop, 28(3): 329-339.
- Cheng, D. L., Ngo H. H., Guo W. S., Liu. Y. W., Zhou. J. L, Chang. S. W., Zhang X. B. 2018. Bioprocessing for elimination antibiotics and hormones from swine wastewater. Science of the Total Environment. Elsevier B.V. 621:1664–1682.
- Chopra, I, y Roberts, M. 2001. Tetracycline antibiotics: mode of actions, applications, molecular biology and epidemiology of bacterial resistance. Microbiol. Mol. Biol. Rev 65(2): 232-260.

- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2015. Estadística del agua en México. Consultado el 03 enero 2017  
<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM2015.pdf>
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2016. Atlas del Agua en México. Ciudad de México: Comisión Nacional del Agua.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2017. Estadísticas del agua en México. [conagua.gob.mx/publicaciones/EAM\\_2017.pdf](http://conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2017.pdf).
- Conway, G. 1994. Sustainability in Agricultural Development: Tradeoffs Between Productivity, Stability, and Equitability. *Journal for Farming Systems and Research-Extensions* 4: 1-14.
- Conway, G.R. 1990. Agroecosystems. In Jones, J.G.W, Street P.R (Eds.) *Systems theory applied to agriculture and the food chain*. Elsevier, New York, USA.
- Conway, R. G. 1985. Agroecosystem Analysis. *Agricultural Administration*. 20:31-55.
- Conway, R.E. 1987. The properties of agroecosystem. *Agric. Systems*. 24:95.
- Correia, A. & Marcano, L. 2015. Presencia y eliminación de compuestos farmacéuticos en plantas de tratamientos de aguas residuales. Revisión a nivel mundial y perspectiva nacional. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental* 55(1): 1-18.
- Costa A, M., Miranda C., Silva V., Silva A., Martins Â., Pereira J. E., Maltez E., Capita R. Calleja-Alonso C., Igrejas G., and Poeta P. 2021. Survey of the Knowledge and Use of Antibiotics among Medical and Veterinary Health Professionals and Students in Portugal. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 18: 2753. <https://doi.org/10.3390/ijerph18052753>
- Cotler H. 2007. El manejo integral de cuencas en México: estudios y reflexiones para orientar la política ambiental. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México D.F., México. 264 pp.

- Cotler, H., Garrido, A., Bunge, V., Cuevas, M. L. 2010. Las cuencas hidrográficas de México: Priorización y toma de decisiones In: Cotler, H. Cuencas hidrográficas de México diagnóstico y priorización. Pluralia Ediciones e Impresiones S.A. de C. V. 1ª (ed). México. 232 p.
- Creager, A. N. H. 2007. Adaptation or selection? Old issues and new stakes in the postwar debates over bacterial drug resistance. *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, 38(1), 159-90. Recuperado a partir de <http://doi.org/10.1016/j.shpsc.2006.06.016>
- Cruz-Bautista, P., J. P., Martínez-Dávila., F. Osorio-Acosta., G. López-Romero., N. EstrellaChulin, y J. Regalado-López. 2017. Marco epistémico para estudiar los agroecosistemas. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 1(8): 159-170.
- Cruz-Mendoza, M. L., Hernández-Zepeda J. S., Silva-Gómez S. E., y M.L. Zaragoza-Martínez. 2017. Detección de antibióticos en leche de vaca en San Bernabé Temoxtitla Ocoyucan, Puebla. *Rev. Int. Contam. Ambie*, 34. DOI: 10.20937/2018.34. MANCA
- CSVA. (Consejo del Sistema Veracruzano del Agua). 2004. Proyecto de Programa Hidráulico del Estado de Veracruz. Resumen Ejecutivo. Veracruz. 40 pp
- Cuevas-Reyes, V., J. Baca del Moral, F. Cervantes-Escoto, y J. Aguilar-Ávila. 2012. Asistencia técnica en el sector agropecuario en México: análisis del VIII censo agropecuario y forestal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3:943-957
- Dang H., Zhang X., Song L., Chang Y., Yang G. 2007. Molecular determination of Oxytetracycline resistant bacteria and their resistance genes from mariculture environments of China. *Journal of Applied Microbiology*, 103:2580–2592.
- De Assis D.C.S., da Silva G.R, Lanza I.P, Ribeiro A.C.D.S.R, Lana Â.M.Q, Lara L.J.C, *et al.* 2016. Evaluation of the Presence and Levels of Enrofloxacin, Ciprofloxacin, Sulfaquinoxaline and Oxytetracycline in Broiler Chickens after Drug Administration. *PloS ONE* 11: e0166402. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166402>

- De los Santos-Lara, M.C., Orantes-Zebadúa M. A., Osorio-Arce M. M., Córdova-Avalos V., Herrera-Haro J. G., Ruiz-Rojas J. L., Nahed-Toral J., Sánchez-Muñoz B., Manzur-Cruz A., Cruz-López J. L. 2015. Caracterización técnica y socioeconómica de criadores de ganado suizo de registro en el centro de Chiapas, México. *Agro* 249:25-29. DOI: 10.20937/RICA.2019.35.esp02.04
- Delgado, S. 2011. Evaluación de tecnologías potenciales de reducción de la contaminación de las aguas de canarias (tecnoagua). Proyecto Universidad de La Laguna.
- Dreser, A., Wirtz V. J., Corbett K.K., & Echániz G. 2008. Uso de antibióticos en México: revisión de problemas y políticas. *Salud Pública de México*, 50: S480-S487.
- Ebert I., J., Bachmann, U., Kühnen, A., Küster, C., Kussatz, D., Maletzki, y C., Schlüter. 2011. Toxicity of the fluoroquinolone antibiotics enrofloxacin and ciprofloxacin to photoautotrophic aquatic organisms. *Environ. Toxicol. Chem.* 30: 2786-2792.
- Echtermann T., Muentener C., Sidler X., and Kümmerlen D. 2019. Antimicrobial Drug Consumption on Swiss Pig Farms: A Comparison of Swiss and European Defined Daily and Course Doses in the Field. *Front. Vet. Sci.* 6:240. DOI: 10.3389/fvets.2019.00240.
- Eguchi, K., H., Nagase, M., Ozawa, Y.S., Endoh, K., Goto, K., Hirata, K., Miyamoto, y H., Yoshimura. 2004. Evaluation of antimicrobial agents for veterinary use in the ecotoxicity test using microalgae. *Chemosphere* 57: 1733-1738.
- EPA. 2004. Salud Ambiental Infantil. Séptimo Informe de la Junta Ambiental del Buen Vecino. EPA 130-R-04-001. [.gov/ocem/gneb.htm](http://www.epa.gov/ocem/gneb.htm).
- Escher, B. I., R., Baumgartner, M., Koller, K., Treyer, J., Lienert, y C. S., McArdell. 2011. Environmental toxicology and risk assessment of pharmaceuticals from hospital wastewater. *Water Research* 45(1): 75-92.
- Escofet, G. A. 2004. Aproximación conceptual y operativa para el análisis de la zona costera de México: un enfoque sistémico-paisajístico de multiescala. Tesis

- Doctoral. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, B. C. México 260 pp.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2016. The FAO action plan on antimicrobial resistance, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 3-25p. <https://www.fao.org/3/i5996e/i5996e.pdf>
- Farías, S. J. A. 1991. Ecology, culture and utilization of the mussel *Brachiodontes recurves* (Rafinesque), in the context of an integrated management approach to Boca del Río-Mandinga estuarine system, Veracruz, México. Tesis doctoral. Universidad de Stirling Escocia. 234 p.
- Fernández-Rodríguez R. E., Bolívar-Anillo H., Hoyos-Turcios C., Carrillo-García L., Serrano- Hernández M., Abdellah E. 2020. Resistencia antibiótica: el papel del hombre, los animales y el medio ambiente. *Salud Uninorte*, 36: 298-32. DOI: <http://dx.doi.org/10.14482/sun.36.1.615>.
- Flotemersch, J. E., Leibowitz, S, G., Hill, R. A., Stoddard, J. L., Thoms, M. C., y Tharme, R. E. 2015. A watershed integrity definition and assessment approach to support strategic management of watersheds. *River Res. Applic.*, 32: 1654-1671. doi:10.1002/rra.2978.
- Galaviz, V., I. 2010. Contaminación del agua con nitritos y nitratos y su impacto en la salud Pública en la zona de influencia del módulo de riego (I-1) La Antigua, Ver. México. Tesis de doctorado en Ciencias en Agroecosistemas Tropicales. Colegio de posgraduados campus Veracruz. 128 p.
- Gallina, G., C., Poltronieri, R., Merlanti, y M., de Liguoro. 2008. Acute toxicity evaluation of four antibacterials with *Daphnia magna*. *Vet. Res. Commun.* 32(1): 287-290.
- García, D. 2011. Efectos biológicos de la fragmentación de hábitats: nuevas aproximaciones para resolver un viejo problema, *Ecosistemas* 20 (2): 1-10.
- García, R. 1986. Conceptos Básicos para el estudio de Sistemas Complejos. Pp. 45-71. En: Leff, E. (coord.). Los problemas del conocimiento y la perspectiva ambiental del desarrollo. Siglo XXI, México D. F.

- García, R. 1992. Interdisciplinariedad y Sistemas Complejos. Pp. 85-123. En: Leff, E. (coord.) Ciencias Sociales y formación ambiental. Editorial Gedisa. Barcelona.
- Garrido, A., Pérez Damián, J. L., y Enríquez Guadarrama, C. 2010. Delimitación de las zonas funcionales de las cuencas hidrográficas de México. Pp. 14-17. En: Cotler-Ávalos, H. (coord.). Las cuencas hidrográficas en México. Diagnóstico y priorización. Instituto Nacional de Ecología. México D.F.
- Gil, M. J., A. M. Soto, y J. I. Usma. 2012. Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. Producción + Limpia. 2(7): 52-73. <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v7n2/v7n2a05.pdf>.
- Ginebreda, A., Muñoz, I., de Alda, M., Brix, R., López-Doval, J., Barceló, D. 2010. Environmental risk assessment of pharmaceuticals in rivers: Relationships between hazard indexes and aquatic macroinvertebrate diversity indexes I Llobregat River (NE Spain). *Environ. Int.* 36(2), 153-162.
- González, M., S., Gonzalo, I., Rodea, F., Leganéz, R., Rosales, y K., Boltes. 2013. Toxicity of five antibiotics and their mixtures toward photosynthetic aquatic organisms: implications for environmental risk assessment. *Water Research* 47: 2050-2064.
- González-Martínez, M., López-Novo, M., Montesino-López, M., Pérez-Plana, Y., y Martínez-Sánchez, H. 2016. Resistencia microbiana de microorganismos aislados en neonatología. Hospital Abel Santamaría Cuadrado. *Revista Científica Médica de Pinar del Río* 20(5): 593-602.
- Gratacós C., M. 2007. Desarrollo de métodos rápidos para el análisis de residuos en producción animal. Institut de Recerca Tecnologia Agroalimentarias IRTA-Monells Unitat Química Alimentària.
- Griffin, M. & P. Koohafkan. 1999. El carácter multifuncional de la agricultura y la tierra: documento expositivo. Maastricht: FAO, 49 p. Consultado 07 de enero 2017 [www.fao.org/mfcal/pdf/ip\\_s.pdf](http://www.fao.org/mfcal/pdf/ip_s.pdf)

- Grossi-Botelho R., Henrique-Monteiro S. & Luiz-Tornisielo V. 2015. Veterinary Antibiotics in the Environment. Emerging Pollutants in the Environment-Current and Further Implications. <http://dx.doi.org/10.5772/60847>
- Guerra-Delgado M. S. & Elera-Ojeda R.N. 2021. Residuos de antimicrobianos en tejido muscular y riñones bovinos comercializados en supermercados de Piura, Perú. *Salud Y Tecnología Veterinaria*, 1: 9-16. <https://doi.org/10.20453/stv.v9i1.4008>
- Gutiérrez-Macias, T. 2015. Remoción de Fármacos Reguladores de Lípidos Mediante Biorreactores con Membranas Sumergidas. Tesis doctoral Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería Ambiental-Agua Universidad Nacional Autónoma de México.
- Guzmán-Carrillo L. E., Espitia-Yanez C., Berthel L.L. 2012. Presencia de Lincomicina como promotor de crecimiento en carne de pollo comercializado en supermercados de Cartagena, Colombia. *Vitae* 19: 328-330.
- Harada K., E. Okada., T. Shimizu., Y. Kataoka., T. Sawada., y T. Takahashi. 2012. Antimicrobial resistance, virulence profiles, and phylogenetic groups of fecal *Escherichia coli* isolates: A comparative analysis between dogs and their owners in Japan. *Comp. Imm. Microb. Infec. Dis.* 35: 139– 144.
- Harper, L. 1974. Population biology of plants. Academic Press. London. 18 p.
- Hart R., D. 1987. An ecological systems conceptual framework for agricultural research and development. Readings in FSR and development. USAID, pp. 50 65.
- Henríquez, D., A. L., Leal, J. A., Cortés, S., Gualtero, J., Patiño, y M. V., Ovalle. 2012. Boletín epidemiológico de resistencia bacteriana- SIVIBAC. Bogotá D.C.
- Hernández X., E. y A. Ramos R. 1977. Metodología para el estudio de agroecosistemas con persistencia de tecnología agrícola tradicional. En: Agroecosistemas de México. E. Hernández X. (Ed). C.P. Chapingo, México. pp. 321-333
- Herrera-Calvo P.M, y Majadas-Andray J. 2018. La ganadería extensiva, una actividad esencial para nuestra alimentación. Cuaderno Estretando 4. Fundación

Entretantos (ed). Valladolid, España. pp:25.  
doi.org/10.2175/106143018X15289915807254.

Hiroshi Y., Y., Nakamura., S., Moriguchi., y J., Sekizawa. 2009. Persistence and partitioning of eight selected pharmaceuticals in the aquatic environment: Laboratory photolysis, biodegradation, and sorption experiments. *Wat. Res.* 43: 351-362.

Holmstrom K., S., Gräslund, A., Wahlström, S., Pongshompoo, B. E., Bengtsson, & N., Kautsky, 2003. Antibiotic use in shrimp farming and implications for environmental impacts and human health. *International Journal of Food Science and Technology* 38: 255–266.

Ibarra, A. A. 2010. *Calidad del agua: un enfoque multidisciplinario*. México D.F.: Instituto de Investigaciones Económicas.

INSP-UNAM (Instituto Nacional de Salud Pública-Universidad Nacional Autónoma). 2010. Regulación y promoción para el uso adecuado de antibióticos en México. Propuesta de lineamientos para la acción. Instituto Nacional de Salud Pública (INSP). Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia UNAM. México. 15 p.

Instituto Nacional de Estadística Geografía, e Informática INEGI. Censo Nacional Agropecuario. 2019. Disponible en línea: [www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx) (marzo 15, 2020).

International Marketing System-Health (IMSH). 2005. IMS Retail Drug Montor - April: International Marketing System-Health, [consultado el 13 de abril de 2008] Disponible en: <http://www.imshealth.com>.

Izquierdo P., Mavárez, R., Ysambertt, F., Piñero, M. Y., Torres,G., Allara, M. 2010. Extracción de oxitetraciclina en carne de pollo: estudios de rendimiento con aumento de la fase polar del solvente de extracción. *Revista Científica XX*: 430-435.

Jáuregui R., Celis-Vielman E. A. 2018. Prevalencia de antibióticos residuales en leche cruda de bovino en fincas tradicionales en el departamento de Chiquimula, Guatemala. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal*, 12: 25-33.

- Jiang, J., Lee, C y Fang, M. 2014. Emerging organic contaminants in coastal waters: anthropogenic impact, environmental release and ecological risk. *Marine Pollution Bulletin* 85(2): 391-399.
- Jiménez, A., A., Tijerino, y J., Vargas. 2011. Mecanismos de resistencia a los antibióticos de importancia clínica en enterobacterias. II Curso Avanzado WHO-Global Foodborne Infections Network 1-18.
- Jones, P.D. 2006. Water quality and fisheries in the Mersey estuary, England: A historical perspective. *Marine Pollution Bulletin*: 53, 144-154.
- Khatun, H., Islam S.B., Naila N.N., Islam S.A., Nahar B., Alam NH., y Ahmed T. 2018. Perfil clínico, patron de susceptibilidad a antibióticos de aislados bacterianos y factores asociados con complicaciones en cultivo- pacientes con fiebre tifoidea admidos en un hospital urbano en Bangladesh. *Trop. Med. Int Salud*, 23: 359-366. <https://doi.org/10.1111/tmi.13037>
- Koonin, E. V, & Wolf, Y. I. 2009. Is evolution Darwinian or/and Lamarckian? *Biology Direct*, 4(1), 42. Recuperado a partir de <http://doi.org/10.1186/1745-6150-4-42>.
- Kožárova, I., Máté D., Hussein K., Raschmanová K., Marcinčák S., Jevinová P. 2004. High-performance liquid chromatographic determination of sulfamidine residues in eggs. *Acta veterinaria*, 54:5-6, 427-435.
- Kümmerer, K. 2009. Antibiotics in the aquatic environment - A review - Part I. *Chemosphere*, 75:417- 434. doi:10.1016/j.chemosphere.2008.11.086
- Lalumera G. M., D., Calamari, P., Galli, S., Castiglioni, G., Crosa, y R., Fanelli. 2004. Preliminary investigation on the environmental occurrence and effects of antibiotics used in aquaculture in Italy. *Chemosphere* 54: 661-668.
- Lara M., Torres M., Baez, S. Albertini. 2019. Aspectos generales del uso de antimicrobianos y su interacción con el medio ambiente: una problemática emergente. *Compend. Cienc. Vet.* 9:24-37. doi: 10.18004/compend.cienc.vet.2019.09.02.24-37

- Le Truong, G., and T.L.T. Thien. 2019. Determination of residual quantity of tetracycline antibiotics in shrimp pool water by UPLC-HRMS method. *Vietnam J. Chem*, 57: 758-764. DOI: vjch.2019000126
- León-Aguirre, K. G., González-Sánchez, A. A., Hernández-Núñez, E., Giacomán-Vallejos, Germán. 2017. Detección de Oxitetraciclina en agua residual porcícola de granjas pequeñas y medianas en Yucatán. XII Congreso Regional para Norteamérica y el Caribe Primer Simposio Interamericana de AIDIS Joven y Primer Encuentro Internacional de Jóvenes Investigadores en Evaluación de Tecnología Ambiental, EJITA, de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, UJAT.
- Li H., Dong, Z., Weng, Q., Chang C., Lui, B. 2015. Emerging pollutants- Part I: Occurrence, fate and transport. *Water Environ. Res.* 87(10) 1849-1872.
- Lozano A, M. C., Arias M, D. C. 2008. Residuos de fármacos en alimentos de origen animal: panorama actual en Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias.* 21:121-135.
- Lunestad, B.T., y J., Goksoyr. 1990. Reduction in the antibacterial effect of oxytetracycline in seawater by complex formation with magnesium and calcium. *Diseases of Aquatic Organisms.* 9: 67-72.
- Magnusson U., Sternberg S, Eklund G, Rozstalnyy A. 2019. Prudent and efficient use of antimicrobials in pigs and poultry. *FAO Animal Production and Health Manual* 23. Rome. FAO.
- Maguiña-Vargas, C., C. A., Ugarte-Gil, y M., Montiel. 2006. Uso adecuado y racional de los antibióticos. *Acta Med. Per.* 23(1): 15-20.
- March, I., M. Castro. 2010. La cuenca del río Usumacinta: perfil y perspectivas para su conservación y desarrollo sustentable. En H. Cotler Ávalos, *Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y Priorización.* México: Pluralia Ediciones e Impresiones S.A. de C.V. p 232.

- Martínez, A. Cruz, M. Veranes, O., Carballo, M. 2010. Antibiotic and metals resistance in bacteria isolates from Almendares River. *Rev. Cenic*.41: 1-10.
- Martínez, C., E.1992. Recursos naturales, biodiversidad, conservación y usos múltiples. *Multequina* 1:11-18.
- Martínez, D. 2006. Enfoque sistémico en la investigación de cuencas hidrográficas. *Revista Científica "visión de Futuro"* 5: 1-13. ISSN 1668-7634 p. 1-13.
- Martínez, J., Gallardo, F., Bustillos, L., y Pérez, A. 2011. El agroecosistema, unidad de estudio y transformación de la diversidad agrícola. *La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. CONABIOS. Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A. C.* pp: 451-541.
- Martínez-Alcalá, I., Soto, J., Lahora, A. 2020. Antibióticos como contaminantes emergentes. Riesgo ecotoxicológico y control en aguas residuales y depuradas. *Ecosistemas* 29(3),1-9. Doi:10.7818/ECOS.2070.
- Martínez-Austria, P.F., Díaz-Delgado, C., Moeller-Chavez, G. 2019. Water security in México: general diagnosis and main challenges. *Ingeniería del agua*, 23(2), 107-121. <https://doi.org/10.4995/la.2019.10502>.
- Mass M., J. M. 2015. El manejo de cuencas desde un enfoque socioeconómico. *Cuencas México* 1 (1): 3-8. Última revisión 30 de marzo 2018 [www.riob.org/IMG/pdf/cuencas\\_de\\_Mexico\\_web.pdf](http://www.riob.org/IMG/pdf/cuencas_de_Mexico_web.pdf).
- McManus, P. S. 1999. Uso de antibióticos en el control de enfermedades de las plantas. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología* 19(4): 192-196.
- Meléndez-Marmolejo, J., García-Saavedra, Y., Galván-Romero, V., Díaz de León-Martínez, L., Vargas-Berrones, K., Mejía-Savedra, J., Flores-Ramírez, R. 2020. Contaminantes emergentes. Problemática ambiental asociada al uso de antibióticos. Nuevas técnicas de detección, remediación y perspectivas de legislación en América Latina. *Rev. Salud ambient*, 20(1) 53-61.

- Mensa, J., Gatell, J.M., Corachan, M., Escofet, M.C., Martínez, J. A., y Zamora, L. 2008. Guía de terapéutica antimicrobiana. Barcelona: Salvat Editores.
- Mestorino, N., D. Buldain, A. Buchamer, M.L. Marchetti. 2019. Enrofloxacin and ciprofloxacin residues in broiler chicken feathers after enrofloxacin oral administration. *EC Veterinary Science*, 4:180-186.
- Michelini L., Reichel, R., Werner, W., Ghisi, R., y Thiele-Bruhn, S. 2012. Sulfadiazine uptake and effects on *Salix fragilis* L. and *Zea mays* L. plants. *Water Air Soil Poll* 223: 5243-5257.
- Molero-Saras, G.L., Pérez-Arévalo, M.L., Sánchez-Villalobos, A.J., Mavárez de Serrano, M.C., Ascanio-Evanoff, E., y Oviedo de Vale, M.G. 2006. Residuos de enrofloxacin en tejido hepático y muscular de pollos beneficiados en el municipio San Francisco del estado Zulia, Venezuela. *Revista Científica* 16:629-633.
- Morán, E. 2000. Nutrición, genética e interacciones de enfermedades en la producción moderna de pollos de carne. *Avic. Prof.* 18(2): 33-36.
- Moreno-Bondi, M. C., Marazuela, M.D., Herranz, S y Rodriguez, E. 2009. An overview of sample preparation procedures for LC-MS multiclass antibiotic determination in environmental and food samples. *Anal Bioanal Chem* 395: 921-946.
- Moreno-Casasola, Patricia. 2010. Inventario, delimitación, caracterización y uso sustentable de los humedales de la cuenca del río Papaloapan, Proyecto No. 48247, Veracruz, inecol/imta/unam/Conagua/Conacyt.
- Mota, L. M. A. 1996. *Farmacología Veterinaria*. 1ra ed. Universidad Veracruzana, México, pp 50-51.
- Moura A., C. Pereira., I. Henriques., y A. Correia. 2012. Novel gene cassettes and integrons in antibiotic-resistant bacteria isolated from urban wastewaters. *Res. Microb.* 163: 92-100.
- Muñoz D, K., Arango A, G.J., Jaramillo F, M.C. 2004. Los Antibióticos y su Situación Actual. *Vitae*, 11(1): 21-33. ISSN: 0121-4004 Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169818259003>

- Muñoz-Arranz, A. 2017. Antibióticos en el suelo. Facultad de Farmacia. Universidad Complutense.
- Norma Mexicana NMX-AA-003-SCFI-1980. Aguas residuales-muestreo. <http://www.anig.org.mx/pqta/pdf/NMX-AA-muestreo.pdf>
- Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNART-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y Bienes Nacionales. México.
- Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT. 2005, Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.
- Odum, E. P. 1969. The strategy of ecosystem development. Sustainability: Sustainability 164: 58. <http://science.sciencemag.org/content/164/3877/262>.
- Ogwuche, A., Ekiri A. B., Endacott I., Maikai B.V., Idoga E. S, R. Alafiatayo. *et al.*2021. 'Antibiotic use practices of veterinarians and para-veterinarians and the implications for antibiotic stewardship in Nigeria', Journal of the South African Veterinary Association 92:4-14. <https://doi.org/10.4102/jsava.v92i0.2120>
- Ongley, E. D. 1997. Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos. Estudio FAO riego y drenaje. Burlington, Canadá. 154 p. ISBN 92-5-303875-6.
- Orantes-Zebadúa M. A., A.J. Vilaboa A, Ortega J. E, Córdova A.V.2010. Comportamiento de los comercializadores de Ganado bovino en la región centro del estado de Chiapas. Revista Quehacer Científico 1(9): 51-56.
- Orantes-Zebadúa, M.A., D. Platas-Rosado., V. Córdova-Avalos., M.C. De los Santos-Lara., A. Córdova-Avalos. 2014. Caracterización de la ganadería de doble propósito en una región de Chiapas, México. Rev Ecosistemas y Recursos Agropecuarios. 1:49-58.
- Ordoñez, G., J. J. 2011. Cartilla técnica. ¿Qué es cuenca hidrológica? 1a (ed). Foro peruano para el agua GWP Perú. 44 p. ISBN: 978-9972-602-76-4.

- Organización Mundial de la Salud (OMS). 2018. Resistencia a los antibióticos
- Oropesa, A. L., Moreno, J. J. & Gómez, L. J. 2017. Lesiones histopatológicas en peces originadas por contaminantes emergentes: recopilando y analizando datos. *Rev. Toxicol*, 34(2), 99-108.
- Ortiz-Lozano J.A. 2013. Modificación en la provisión de los servicios ambientales por efecto del cambio en la heterogeneidad ambiental en la Cuenca del Río Jamapa, Veracruz, México. Tesis de Maestría Ecología y Pesquerías, Universidad Veracruzana. Boca del Río, Veracruz. México.137 pp.
- Otero, J. L., N. Mestorino., y J.O. Errecalde. 2001. Enrofloxacin una fluorquinolona de uso exclusivo en veterinaria (parte II): farmacocinética y toxicidad. *Anal. Vet.* 21: 42-49.
- Palomarez-García, J. M. 2010. Valoración de la calidad de los influentes y efluentes de las granjas acuícolas de la Cuenca Baja del río Jamapa, Veracruz. Tesis doctoral en Ciencias en Agroecosistemas Tropicales. Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. 98 p.
- PAMIC. 2017. Plan de acción de manejo integral (PAMIC). Cuenca Jamapa. Cuencas Costeras. SEMARNAT. 1 ed. 113 pp. [online]. Available from <http://www.c6.org.mx/wpcontent/uploads/2017/06/JAM-PAMIC-eb9Jun17baja.pdf>. Accessed 26 October 2018.
- Paré L., González M.A. y Robinson D. 2008. Gestión de cuencas y servicios ambientales hidrológicos: perspectivas ciudadanas y comunitarias. INE, Itaca, Raíces, SENDAS, WWF, Gaia. México D.F., México. 303 pp.
- Park, E. D., D. V., Lightner, J. M., Stamm, y T. A., Bell. 1994. Preliminary studies on the palatability, animal safety, and tissue residues of sarafloxacin-HCl in the penaeid shrimp, *Penaeus vannamei*. *Aquaculture* 126: 231-241.
- Peña-Álvarez., A. y Castillo-Alanís., A. 2015. Identificación y Cuantificación de Contaminantes emergentes en Aguas Residuales por Microextracción en fase

- Sólida-Cromatografía de Gases-Espectrometría de Masas (mefs-cg-em). Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 18(1):29-42.
- Pérez E., R. 2008. Contaminación agrícola y políticas públicas en México. XI Jornadas de Economía Crítica. 23 p.
- Pérez-Vázquez, A., y Leyva-Trinidad D. A. 2019. Analisis comparativo de los principales enfoques de investigación de los sistemas agrícolas. *Agro productividad*, 12(6), 31-36. doi:org/10.32854/agrop.v0i0.1385
- Piña-Guzmán, A.B., O. Prado-Rojas, M.G. Ramírez-Sotelo, y F. Robles-Martínez. 2019. Manejo de los medicamentos veterinarios caducos en la zona metropolitana del Valle de México. *Rev. Int. Contam. Ambie. (Residuos sólidos en México)* 35:29-39.
- Poynton, H. C., & C. D., Vulpe. 2009. Ecotoxicogenomics: Emerging Technologies for Emerging Contaminants. En: *Journal of the American Water Resources Association*. 45: 83–96.
- Ramírez Cando, L. J., Chicaiza Ramírez, S. E., Ramos López, A. D., Álvarez, C. I. 2019. Detección de antibióticos Betalactámicos, Tetraciclinas y Sulfamidas como Contaminantes emergentes en los ríos San Pedro y Pita del Cantón Rumiñahui. *Ciencias de la Vida*, 30(2), 88-102.
- Reynoso-Varela A., R. Alcántara-Hernández, U. Durán-Hinojosa, R. Ulloa-Mercado, D. Serrano-Palacios. 2020. Impacto de los antibióticos de uso veterinario sobre la diversidad microbiana presente en el tratamiento de efluentes porcinos. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*, 11:423-426.
- Rivera-Alegría F.M., Chay-Canul, A. J., Cardador-Martínez, A., Téllez-Medina, I., Piña-Gutiérrez, J. M., y Jiménez-Martínez, C. 2020. Residuos de promotores y antibióticos en carnes de res de la Ciudad de México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 7:1: e2252. Dio: 10.19136/era.a7n1.2252

- Roberts, M. C., J., Sufcliffe, P., Courvaun, L.B., Jensen, J., Rood, y H., Seppälä. 1999. Nomenclature for macrolide and macrolide-lincosamide-streptogramin B resistance determinants. *Antimicrob. Agents. Chemother.* 43: 2823-2830.
- Ruelas-Mojardin, L. C. 2010. Planning Approaches to the Management of Water Problems in Mexico. *Process Management.* pp 338. ISBN 979-953-307-085-5
- Ruiz, O. 1995. Agroecosistema. Término, concepto y su definición bajo el enfoque agroecológico y sistémico. In: Seminario Internacional de Agroecología. UACH. Estado de México. pp. 29-31.
- Salcedo-Garduño, Magnolia. 2019. Análisis de la Calidad del Agua de la Cuenca Baja del Río Usumacinta, Tabasco, Como Resultado de las Actividades Antrópicas. Tesis doctoral en Ciencias en Agroecosistemas Tropicales. Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. Pp. 128
- Sánchez-Saldaña, L., E., Sáenz-Anduaga, J., Pancorbo-Mendoza, P., Lanchipa-Yokota, y R., Zegarro-del Carpio. 2004. Antibióticos sistémicos en dermatología. Segunda parte: tetraciclinas, lincosaminas, fluoroquinolonas, sulfonamidas, rifamicinas, cloranfenicoles, ácido fusídico, metronidazol y nuevos antibióticos. *Educación Médica Continua. Dermatología Peruana* 14(3): 161-179.
- Santaeufemia, S., Torres, E., Mera, R., y Abalde, J. 2016. Bioremediation of oxytetracycline in seawater by living and dead biomass of the microalga *Phaeodactylum tricornutum*. *Journal of Hazardous Materials.* 320: 315-325.
- Santiago, M. L., Espinosa, A., Bermúdez, M. C. 2009. Uso de antibióticos en la camaronicultura. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas* 40(3): 22-32.
- Sarandón, S. J. 2014. El agroecosistema: Un ecosistema modificado In: Sarandón S. J., y C. C. Flores. *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables.* 1a (ed). La Plata: Universidad Nacional de La Plata. 100-130 p.

- Sarmah, A. K., Meyer, M.T., y., Boxall, A.B.A. 2006. A global perspective on the use, sales, exposure pathways, occurrence, fate and effects of veterinary antibiotics (Vas) in the environment. *Chemosphere* 65: 725-759.
- Shakil S., Khan, R., Zarrilli, R. *et al.* 2008. Aminoglycosides versus bacteria- a description of the action, resistance mechanism, and nosocomial battleground. *J Biomed Sci.* 15:5-14 <https://doi.org/10.1007/s11373-007-9194-y>
- Shao, Z. J. 2001. Aquaculture pharmaceuticals and biologicals: current perspectives and future possibilities. *Adv. Drug Deliv. Rev.* 50: 229-243.
- Snow C. 2000. *Las dos culturas*. Madrid: Ediciones Nueva Visión.
- Snow D.D., D.A. Cassada, S. Biswas, M. Shafieifini, Li, X., D'Alessio, M., Carter, L. and Sallach, J.B. 2018, Detection, Occurrence and Fate of Emerging Contaminants in Agricultural Environments. *Water Environment Research.* 90: 1348-1370.
- Tang K.L., Caffrey N.P., Nóbrega D. B., Cork S. C., Ronksley P. E., Barkema H.W., Polachek A.J., Ganshorn H., Sharma N., Kellner J.D., Ghali W.A. 2017. Restricting the use of antibiotics in food-producing animals and its associations with antibiotic resistance in food-producing animals and human beings: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Planet Health* 1: e316-e327. [http://dx.doi.org/10.1016/S2542-5196\(17\)30141-9](http://dx.doi.org/10.1016/S2542-5196(17)30141-9)
- Ternes, T. 2001. Analytical methods for the determination of pharmaceuticals in aqueous environmental samples. *Trends in Analytical Chemistry* 20(8): 419-434.
- Thiang E. L., C.W. Lee, H. Takada, K. Seki, A. Takei, S. Suzuki, C.W. Bong. 2021. Antibiotic residues from aquaculture farms and their ecological risks in Southeast Asia: a case study from Malaysia. *Ecosystem Health and Sustainability.* 7: 1926337. doi:10.1080/20964129.2021.1926337.
- Torres-Beristáin B., González-López G., Rustrían-Portilla E., y Houbron, E. 2013. Enfoque de cuenca para la identificación de fuentes de contaminación y evaluación de la calidad de un río, Veracruz, México. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 29:3, 135-146.

- UNESCO. 2015. Facing the challenges: Case studies and indicators. Paris, Francia:UNESCO.
- Varela-Mejías, A., y Alfaro-Mora, R. 2018. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú. 29(1): 1-14.
- Vargas E., y Ruiz, L. 2007. Química Verde en el siglo XXI: Química Verde, Una Química Limpia. Rev. Cub. Quím. 14: 29-32.
- Vega-Sánchez, V., Talavera-Rojas, M., Barba-León, J., Zepeda-Velázquez, A.P., Reyes-Rodríguez, N. E. 2020. La resistencia antimicrobiana en Escherichia coli aislada de canales y heces bovinas de rastros en el centro de México. Rev Mex Cienc Pecu,11:991-1003.
- Ventola C. L. 2015. The antibiotic resistance crisis: part 1: causes and threats. P & T: a peer-reviewed journal for formulary management, 40:4 277–283.
- Vilaboa-Arroniz J. 2011. Agroecosistemas: Una forma de entender la relación sociedad-Naturaleza. Agroentorno. 131: 27-30.
- Vilaboa-Arroniz, J., Díaz-Rivera, P., Ruiz-Rosado, O., Platas-Rosado, D.E., González-Muñoz, S., y Juárez-Lagunes, F. 2009. Caracterización socioeconómica y tecnológica de los agroecosistemas con bovinos de doble propósito de la región del Papaloapan, Veracruz, México. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 10 (1): 53 – 62.
- Vilaboa-Arroniz, J., y Díaz-Rivera. P. 2009. Caracterización socioeconómica de los sistemas ganaderos en siete municipios del estado de Veracruz, México. Zootecnia Tropical 27: 427-436.
- Xia, H., Chen, J., Chen, X., Huang, & K., Wu, Y. 2019. Effects of tetracycline residual on humification, microbial profile and antibiotic resistance genes during vermicomposting of dewatered sludge. Rev. Environ Pollut.
- Zamudio-Alemán, R. E., Castañeda-Chávez, M. d. R., LangoReynoso, F., Galaviz-Villa, I., Amaro-Espejo, I. A., & Romero-González, L. (2014). Metales pesados en

sedimento marino del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 1(4), 159–168.

Zaragoza-Bastida A., Flores-Aguilar S. C., Aguilar-Castro L. M., Morales-Ubaldo A. L., Valladares-Carranza, B., Rangel-López, L., Olmedo-Juárez, A., Rosenfeld-Miranda, C. E., Rivero-Pérez, N. 2020. Antibacterial and Hemolytic Activity of *Crotalus triseriatus* and *Crotalus ravus* Venom. *Animals* 10 281. <https://doi.org/10.3390/ani10020281>

Zirena-Vilca, F., W. Gosgot-Angeles, E. Tello-Palma, C. N. Campos-Quiroz, T. Donaires-Flores, y W.A. Zamalloa-Cuba. 2018. Antibiotics and their environmental implications. *Journal of High Andean Research*, 20: 215-224. DOI: <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2018.365>

## **ANEXOS**

### **Principales Actividades Antrópicas en los Municipios de Cotaxtla, Jamapa y Medellín**

Para este estudio, se realizaron consultas a personas clave acerca del tipo de agricultura, tipos de cultivos (variedades o razas), producción ( $t\ ha^{-1}$ ), y uso de antibióticos por municipio, cobertura y uso de suelo. Después de haber establecido contacto con los productores (ganaderos y acuicultores) en cada uno de los municipios del área de estudio, se solicitó información relacionada con la ubicación e identificación geográfica de afluentes, sitios de aprovechamiento de aguas (superficiales y subterráneas), fuentes de contaminación puntuales y difusas de la actividad agropecuaria, y características físicas y biológicas del suelo de la cuenca baja del Río Jamapa.

### **Estructura del desarrollo de la investigación General**

El desarrollo de la presente investigación consistió en tres etapas, la primera correspondió a la fase de campo en el cual se incluyó la aplicación de un cuestionario a informantes claves y la colecta de muestras, mientras la segunda etapa correspondió en un recorrido prospectivo en el cauce de la cuenca baja del río Jampa y en los municipios, Cotaxtla, Jamapa y Medellín para la identificación de las fuentes puntuales y difusas de contaminación, en la tercera etapa al análisis corresponde a la toma de las muestras para su análisis en el laboratorio. La descripción de estas etapas se presenta en los siguientes apartados.

### **Entrevista con informantes claves**

La obtención de la información en campo se realizó mediante el método de la encuesta, con entrevistas a informantes clave como ganaderas y acuicultores pertenecientes a los municipios ubicados en las inmediaciones de la cuenca baja del Río Jamapa. Se empleó como herramienta un cuestionario aplicado a los ganaderos y acuicultores de la zona de estudio. La aplicación del cuestionario comprendió del 11 de junio de 2019 al 15 de abril de 2020. El cuestionario se estructuró en tres apartados, el primero proporcionó información general sobre los entrevistados, mientras que los siguientes se enfocaron en obtener información sobre el manejo del agroecosistema cuenca del río Jamapa y del

contaminante mediante la descripción de los indicadores sociales y económicos que caracterizan a los ganaderos y acuicultores.

### **Identificación de las fuentes de contaminación puntuales y difusas en el cauce de la cuenca baja del río Jamapa**

Como parte del desarrollo de esta investigación se realizó una revisión exhaustiva de la literatura existente y de interés. Respecto a la ubicación de los sitios de muestreo, se llevó a cabo un recorrido de prospección, del cauce, de campo, de reconocimiento por tierra y por agua (en vehículo y en lancha, respectivamente) en la zona de estudio, a fin de ubicar las fuentes puntuales y difusas de contaminación, como efluentes del río. Dentro de esta fase se estableció una ruta y puntos de muestreo a lo largo del cauce de la cuenca baja del río Jamapa. Los sitios de muestreo se identificaron y se georreferenciaron, mediante un sistema de posicionamiento global (GPS-GARMIN International Inc., Olathe, Kansa, USA).

### **Toma de muestras de agua**

Se seleccionaron tres sitios de muestreo, localizados en: las granjas acuícolas localizadas en la zona de estudio y que se consideraron en este estudio Rayana, Gualdras y Aquaguadalupe; las dos primeras se abastecen de agua del río mediante bombeo, mientras que la granja Aquaguadalupe se abastecen de agua de pozo cercano a sus instalaciones. Las tres granjas acuícolas descargan sus efluentes directamente al río sin un tratamiento previo. Así mismo, se registraron in situ las variables de calidad del agua, Temperatura ( $T$  °C), Salinidad (USP), Oxígeno Disuelto (OD) y pH, con una sonda multiparamétrica (YSI 6600). Las muestras siguieron el protocolo de análisis de residuos de antibióticos descrito por Peña-Álvarez y Castillo-Alanís (2015). Para este procedimiento, se utilizó la técnica proporcionada por el equipo, con lecturas entre las 09:00 y 16:00 h a una profundidad de 20 cm por debajo del espejo del agua. El volumen de muestra para determinar antibiótico fue de 1000 mL; el cual se colectó en botellas de vidrio esterilizada color ámbar y fue de acuerdo a la NOMX-AA-003-1980. Todas las muestras de agua fueron refrigeradas a 4°C hasta su análisis las muestras fueron transportadas en hileras al laboratorio (LIRA).

## Periodicidad de Monitoreo y Análisis

Se realizaron tres muestreos, por temporadas (nortes, estiaje y lluvias) durante un año; considerando para tal efecto las temporadas climatológicas prevaletientes durante el periodo de estudio propuestas por Farías (1991), las cuales se describen en el siguiente cuadro:

Principales épocas climáticas existentes en un ciclo anual en el Estado de Veracruz (Farías, 1991).

Época	Características	
	Temperatura ambiental	Precipitación pluvial
Nortes (noviembre-febrero)	baja	Ocasional
Estiaje (marzo-junio)	Alta	Nula
Lluvias (julio-octubre)	Alta-Media	Abundante

## Determinación del contaminante 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 el laboratorio de Investigación de Recursos Acuáticos (LIRA) del contaminante (antibiótico) oxitetraciclina. Para este procedimiento, se empleó la técnica proporcionada por el equipo de análisis, que se encuentra regulado por la EPA Method 1964 Productos farmacéuticos y de uso personal en agua, sedimentos y biosólidos (EPA, 2007).

## Preservación de la muestra

Los recipientes utilizados en la colecta de muestras fueron lavados previamente con el objetivo de disminuir la posible contaminación de la muestra, durante su transporte las muestras se aislaron en una termo hielera hasta que fueron resguardadas en un refrigerador a 4°C en el Laboratorio de Investigación en Recursos Acuáticos (LIRA), para su posterior procesamiento.

### **Tratamiento de la muestra para su análisis**

Antes de proceder al análisis de las muestras se les dio un tratamiento previo, se filtraron con el objetivo de eliminar las partículas en suspensión, posteriormente se siguieron las indicaciones que proporciona MaxSignal Oxytetracycline ELISA Kit, las cuales se detallan a continuación:

1. A 200  $\mu\text{L}$  de muestra se le adicionaron 25  $\mu\text{L}$  de disolución reguladora.
2. Posteriormente se adicionaron 275  $\mu\text{L}$  de diluyente de la muestra.
3. Se agitó durante 1 minuto.

### **Determinación Cualitativa y cuantitativa de oxitetraciclina mediante ensayo por inmunoabsorción ligado a enzimas (Elisa) general**

#### Fase cualitativa

Para la determinación cualitativa de oxitetraciclina se siguió el siguiente protocolo establecido por MaxSignal Oxytetracycline ELISA Kit

1. Se adicionaron 75  $\mu\text{L}$  de cada estándar (4.5  $\mu\text{L}$ , 1.5  $\mu\text{L}$ , 0.75  $\mu\text{L}$ , 0.375  $\mu\text{L}$ , 0.15  $\mu\text{L}$  y el control negativo) por duplicado en los pocillos previamente asignados, se utilizó una micropipeta distinta para cada estándar con la finalidad de evitar contaminación cruzada.
2. Se adicionaron 75  $\mu\text{L}$  de la muestra.
3. Posteriormente se adicionaron 100  $\mu\text{L}$  de anticuerpo 1 en cada pocillo.
4. Se agitó la placa sutilmente para homogeneizar la mezcla.
5. Se incubó la placa por 55 minutos a una temperatura controlada (20-25  $^{\circ}\text{C}$ ).
6. Después de la incubación se procedió a lavar la placa 3 veces con la solución de lavado que proporcionó el kit, el procedimiento de lavado fue el siguiente:
7. Se decantó el líquido contenido en los pocillos.
8. Se agregaron a cada pocillo 250  $\mu\text{L}$  de solución de lavado y se incubó por 15 segundos.
9. Se decanta nuevamente el líquido contenido en los pocillos y se repitieron los pasos b y c.
10. Se adicionaron a cada pocillo 150  $\mu\text{L}$  del conjugado Anticuerpo2-HRP.

11. Se homogeneizó la mezcla y se incubó por 25 minutos a temperatura controlada (20-25 °C).
12. Después de la incubación se procedió a lavar 3 veces la placa con el procedimiento descrito en el paso 6. Después del último lavado se limpió la superficie de la placa con una toalla estéril para eliminar posibles restos de las soluciones utilizadas.
13. Se adicionaron a cada pocillo 100 µL de sustrato TMB y se agitó la placa sutilmente para homogenizar la mezcla.
14. Se incubó la placa por 15 minutos a temperatura controlada (20-25°C) y en ausencia de luz.
15. Posteriormente se adicionaron a cada pocillo 100 µL de solución de parada para detener la reacción sustrato-cromógeno.

El cambio colorimétrico es indicativo de la presencia de oxitetraciclina en las muestras, al ser una determinación de tipo competitivo, la intensidad en el color mostrado es inversamente proporcional, es decir; entre más intenso sea el color menos concentración de oxitetraciclina hay en las muestras y viceversa.

#### Fase cuantitativa

Para obtener los valores de absorbancia y concentración se utilizó un lector de microplacas de 96 pocillos modelo 4303, marca BRAXIS en el cual se leyeron las muestras específicamente para la determinación de oxitetraciclina a una longitud de onda para el filtro primario fueron de 450 nm y diferencial de 650nm, valores indicados por el manual MaxSignal Oxytetracycline ELISA Kit.

## **CUESTIONARIO PARA RECOLECTAR INFORMACIÓN SOBRE EL USO DE ANTIBIÓTICOS EN LOS SISTEMAS ACUÍCOLAS EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO JAMAPA, VERACRUZ**

Mi nombre es Rosa Elena Zamudio Alemán. Soy estudiante del programa de Doctorado en Ciencias en Agroecosistemas Tropicales (AEST) del Colegio de Postgraduados Campus Veracruz. Este cuestionario tiene como objetivo identificar las fuentes puntuales y no puntuales de contaminación por residuos de antibióticos utilizados en los sistemas de producción pecuaria (ganado bovino), cuyas descargas se reciben en el cauce de la cuenca baja del Río Jamapa. La información que Usted nos proporcione se utilizará exclusivamente para el desarrollo de una investigación de tesis que servirá para obtener el grado de doctora en ciencias de una servidora en la institución antes mencionada.

Agradezco a usted de antemano su confianza y respuestas, así como el tiempo que dedicó para contestar este cuestionario.

Nombre del Entrevistador \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

### **1. PERFIL DEL ENTREVISTADO**

1.1. Nombre del entrevistado: \_\_\_\_\_

Género

a) Hombre ( )      b) Mujer ( )

1.2. ¿Qué edad tiene? \_\_\_\_\_ años

1.3. ¿Cuál es su nivel de escolaridad máximo? \_\_\_\_\_

1.4. ¿Cuál es su responsabilidad en el rancho ganadero?

Propietario ( ) Empleado ( ) Técnico ( ) Otros: \_\_\_\_\_

1.5. Si es propietario: ¿Cuántos años tiene trabajando en la ganadería de bovinos?

\_\_\_\_\_

1.6. Si no es propietario: ¿Qué tiempo tiene trabajando en la ganadería de bovinos?

\_\_\_\_\_

1.7. ¿Cuántos trabajadores se emplean permanentemente en el rancho ganadero?

\_\_\_\_\_

## **2. PERFIL DE LA FINCA**

2.1. Nombre de la comunidad: \_\_\_\_\_

2.2 Municipio \_\_\_\_\_

2.3. ¿Cuál es la superficie total que tiene el rancho ganadero? \_\_\_\_\_ ha

2.4. Esta propiedad es: Rentada: \_\_\_\_\_ Propia: \_\_\_\_\_ Otro: \_\_\_\_\_

2.5. Esta rancho ganadero es un proyecto: Personal ( ) Asociación de productores ( )

Otros: \_\_\_\_\_

2.6. ¿Distancia (en línea recta) tiene el rancho ganadero con respecto al río Jampa?

Menos de 1 km ( ) Entre 1 a 2 km ( ) Más de 2 km y menos de 4 km ( ) Más de 4 km y menos de 6 km ( ) Más de 6 km ( )

## **3. MANEJO DEL AGROECOSISTEMA EN LA GANADERÍA**

3.1. ¿Qué producción de ganado bovino tiene en su rancho?

Intensiva ( ) Extensiva ( ) Autoconsumo ( ) Otros: \_\_\_\_\_

3.2. ¿Qué raza de ganado bovino tiene en el rancho?

Cebú ( ) Pardo Suizo ( ) Holstein ( ) Jersey ( ) Simmental ( ) Otro: \_\_\_\_\_

3.3. ¿Cuál es la fuente de agua que utiliza en los bebederos para el ganado bovino?

Río ( ) Pozo ( ) Otros: \_\_\_\_\_

3.4. ¿Qué medidas preventivas realiza para prevenir enfermedades en el hato ganadero?

Aplicación de antibióticos ( ) Aplicación de vitaminas ( ) Aplicación de desparasitante ( )

3.5. ¿Cuáles son las principales enfermedades que se presentan en su hato ganadero?

Mastitis severa ( ) Brucelosis ( ) Plagas de garrapatas ( ) Otros: \_\_\_\_\_

3.6. ¿Qué medidas preventivas realiza para prevenir el problema de garrapatas en el hato ganadero?

Aplica antibióticos ( ) Baños garrapaticidas ( ) Rotación de potrero ( ) Otros: \_\_\_\_\_

3.7. ¿Sigue las recomendaciones de algún asesor técnico en cuanto al manejo de los antibióticos para su aplicación? SI ( ) NO ( )

3.8. ¿Cuál es el tipo de antibiótico que utiliza con menor frecuencia (++) y mayor frecuencia (+++) en el ganado bovino?

a) Oxitetraciclina ( ) b) Forfenicol ( ) c) Tetraciclina ( ) d) Ciprofloxacina ( )

e) Otros: \_\_\_\_\_

3.9. ¿Qué características tiene el antibiótico que utiliza para el ganado bovino?

Polvo ( ) Líquido ( ) Crema ( ) Inyección ( ) Otros: \_\_\_\_\_

3.10. ¿Qué dosis de antibiótico utiliza usualmente en su hato ganadero?

\_\_\_\_\_ Kg/animal \_\_\_\_\_ ml/organismo Otros: \_\_\_\_\_

3.11. ¿Cuál es el método de aplicación de antibiótico en el ganado bovino?

profiláctico ( ) Cutáneo ( ) Intramuscular ( ) Baños ( ) Otros: \_\_\_\_\_

3.12. Marque con una cruz según corresponda, SI o NO ¿Por qué utiliza antibiótico en el hato ganadero?

- |                                 |               |
|---------------------------------|---------------|
| a) Efectividad                  | SI ( ) NO ( ) |
| b) Fácil de conseguir           | SI ( ) NO ( ) |
| c) Precio bajo                  | SI ( ) NO ( ) |
| d) Distancia del punto de venta | SI ( ) NO ( ) |
| e) Disponibilidad               | SI ( ) NO ( ) |
| f) Facilidad de la aplicación   | SI ( ) NO ( ) |
| g) Costumbre                    | SI ( ) NO ( ) |
| h) Apoyo de gobierno            | SI ( ) NO ( ) |

Si hay otra razón por la cual usa antibióticos, por favor especifique:

---

#### **4. Uso de los antibióticos:**

4.1. ¿Sabe qué es un antibiótico? Si la respuesta es SI, DESCRIBA, de lo contrario pase a la pregunta 4.2

SI ( ) NO ( )

Describe:

---

4.2. ¿Qué antibiótico usa con mayor frecuencia en su hato ganadero?

---

4.3. ¿Con base en los efectos del antibiótico, qué ha observado en el ganado bovino?

Elimina bacterias ( ) Es de fácil su aplicación ( ) Hay ganancia de peso en el ganado ( )

4.4. ¿Cuál es el grado de aceptación de los antibióticos?

Muy alto ( ) Alto ( ) Regular ( ) Bajo ( ) Muy bajo ( )

4.5. ¿Realiza algún tipo de limpieza para desinfectar los potreros?

SI ( ) NO ( )

4.6. ¿Cada cuánto realiza baños al hato ganadero?

Cada 8 días ( ) Cada 15 días ( ) Cada 20 días ( ) Cuando hay incidencia de garrapatas ( ) Otro: \_\_\_\_\_

4.7. ¿Cuantas veces al año aplica antibióticos? \_\_\_\_\_ ¿En qué periodos?

---

4.8. ¿Qué antibióticos utilizas para control de enfermedades en el hato ganadero?

---

#### **5. ELEMENTOS CULTURALES:**

5.1. ¿Dónde adquiere los antibióticos?

Veterinarias ( ) Farmacias ( ) programas gubernamentales ( ) Otro: \_\_\_\_\_

5.2. ¿Considera que aspectos culturales lo han llevado a la práctica del uso de antibióticos?

SI ( ) NO ( )

5.3. De los siguientes aspectos: ¿Cuál considera la razón por la que usted usa antibióticos?

Cultural	Muy de acuerdo	De acuerdo	Ni de acuerdo, ni en desacuerdo	En desacuerdo	Muy en desacuerdo
Conocimiento previo					
Recomendaciones del médico veterinario					
Imitación de vecinos					
Falta de capacitación					
Tradición de la familia					
Por el precio					

5.4. ¿Qué destino tienen los frascos de los antibióticos que desecha?

Se llevan a un centro de acopio ( ) Se tiran en el área de trabajo ( ) Se tiran al Río ( )

## 6. ELEMENTOS POLÍTICOS: (Programas gubernamentales)

6.1. ¿Con que tipo de programas se beneficia? \_\_\_\_\_

6.2. ¿Qué beneficios recibe de dicho programa? Económico ( ) En especies ( )

En capacitación ( ) Otro: \_\_\_\_\_

6.3. ¿Cuál es la cantidad de dinero del apoyo que recibe anualmente?

\_\_\_\_\_

6.4. ¿Si el apoyo de dicho programa es en efectivo, para que utiliza el recurso?

\_\_\_\_\_

6.7. ¿Desde qué tiempo recibe algún programa gubernamental? \_\_\_\_\_

¡Por su atención, gracias!!