



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE HIDROCIENCIAS

CALIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA RIO JAMAPA, VERACRUZ

JOSÉ FRANCISCO SÁNCHEZ SÁNCHEZ

T E S I S

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

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO

2022



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

La presente tesis titulada: “Calidad del agua en la cuenca del río Jamapa, Veracruz” realizada por el (la) estudiante: “José Francisco Sánchez Sánchez” bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

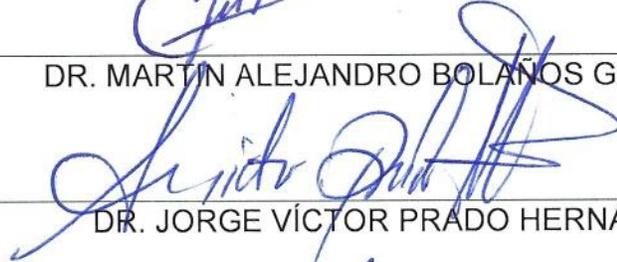
MAESTRO EN CIENCIAS
HIDROCIENCIAS

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO


DR. MARTÍN ALEJANDRO BOLAÑOS GONZÁLEZ

ASESOR


DR. JORGE VÍCTOR PRADO HERNÁNDEZ

ASESOR


DR. ADOLFO ATENOR EXEBIO GARCÍA

Montecillo, Texcoco, Estado de México, mayo de 2022

CALIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO JAMAPA, VERACRUZ.

**José Francisco Sánchez Sánchez , M.C.
Colegio de Postgraduados, 2022**

RESUMEN

La calidad del agua de los ríos se afecta por las diversas cargas de contaminantes que son vertidas principalmente como consecuencia de diferentes actividades humanas. Esta varía temporal y espacialmente debido al efecto amortiguador de volúmenes de estiaje y avenidas. En este trabajo se examinó la calidad del agua en la cuenca hidrográfica del río Jamapa, desde la zona de las Altas Montañas hasta su desembocadura en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV). Se analizó el grado de contaminación en sus dos afluentes principales, río Jamapa y río Cotaxtla, realizando muestreos en la época húmeda y en la época seca, en 16 sitios distribuidos tomando en cuenta las poblaciones con aportes significativos de descarga, las actividades económicas, el uso de suelo y vegetación en toda la cuenca y, con ayuda de un sistema de información geográfica, se realizó el análisis espacial de los resultados en laboratorio. Se encontró una mayor concentración de contaminantes conforme los afluentes principales se acercaron a la desembocadura, así como en la época seca con respecto a la época húmeda, mostrando un efecto de dilución en la segunda. Al comparar los parámetros de calidad del agua del río Jamapa con los del dren de la zona urbana de Boca del Río, que se une a éste 1500 m antes de desembocar en el PNSAV, se encontró que todos fueron mayores en este último durante la época seca del año: conductividad eléctrica 13.69 y 23.5 dS m⁻¹, fuera del LMP para agua potable DOF-CE-CCA-001/89; sólidos totales disueltos 12,500 y 21,900 mg L⁻¹, dureza 541.1 y 1,354.3 mg L⁻¹, sodio 3,019 y 7,673 mg L⁻¹; cloro 4,849.22 y 11,621.1 mg L⁻¹; y sulfatos 778.91 y 1,840.03 mg L⁻¹, parámetros fuera del límite permisible para uso y consumo humano (NOM-127-SSA1-1994). En cuanto a coliformes fecales y totales, solo los sitios ubicados cerca del Pico de Orizaba estuvieron dentro de los límites máximos permisibles (LMP), NOM-127-SSA1-1994. Respecto a los metales pesados, solo se encontraron bario y arsénico, en concentraciones por debajo de la MLP (NOM-127-SSA1-1994).

Palabras clave: análisis fisicoquímicos, contaminación, coliformes, metales pesados.

WATER QUALITY IN THE JAMAPA RIVER BASIN, VERACRUZ.

José Francisco Sánchez Sánchez , M.C.
Colegio de Postgraduados, 2022

ABSTRACT

The quality of river water is affected by the various loads of pollutants that are discharged as a result of different human activities. This varies temporally and spatially due to the buffer effect of volumes of low water and floods. In the present research work, the quality of the water in the hydrographic basin of the Jamapa River was examined, from the area of the Altas Montañas to its mouth in the Veracruz Reef System National Park (Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano - PNSAV). To do this, the degree of contamination in its two main tributaries, the Jamapa River and the Cotaxtla River, was analyzed, taking samples in the rainy season and in the dry season, in 16 sites distributed throughout the basin. A higher concentration of pollutants was found as the main tributaries approached the mouth, as well as in the dry season with respect to the rainy season, showing a dilution effect in the latter. When comparing the water quality parameters of the Jamapa River with those of the Boca del Río urban drain, which joins it 1500 m before emptying into the PNSAV, we found that all were higher in the latter during the dry season of the year: electrical conductivity 13.69 and 23.5 dS m⁻¹, outside the LMP for drinking water DOF-CE-CCA-001/89; total dissolved solids 12,500 and 21,900 mg L⁻¹; hardness 541.1 and 1,354.3 mg L⁻¹, sodium 3,019 and 7,673 mg L⁻¹, chlorides 4,849.22 and 11,621.1 mg L⁻¹, and sulfates 778.91 and 1,840.03 mg L⁻¹, parameters outside the permissible limit for human use and consumption (NOM-127-SSA1-1994). Regarding fecal and total coliforms, only the sites located near Pico de Orizaba were within the maximum permissible limits (MPL), NOM-127-SSA1-1994. Regarding heavy metals, only barium and arsenic were found, in concentrations below the MLP (NOM-127-SSA1-1994).

Keywords: physicochemical analyses, pollution, coliforms, heavy metals.

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados por haber facilitado los recursos necesarios para realizar esta investigación. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para estudio de maestría del ingeniero José Francisco Sánchez Sánchez. Al Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, por haber apoyado con los conocimientos y herramientas necesarias para el desarrollo de la presente investigación.

Al Dr. Martín A. Bolaños González, por la paciencia, consejos y asesoramiento para realizar este tema de investigación y por las facilidades brindadas para poder desarrollar el tema a pesar de las dificultades económicas y temporales presentadas a lo largo de este periodo, por su compromiso con la investigación y por su gran entrega en su trabajo realizado día con día.

Al Dr. Jorge Víctor Prado Hernández, por el apoyo brindado, la orientación, el ánimo y el tiempo otorgado para poder avanzar en la investigación.

Al Dr. Adolfo Antenor Exebio García, por el tiempo dedicado a la realización de la investigación y el apoyo brindado durante este tiempo.

Al Dr. Axel Eduardo Rico Sánchez, por el apoyo y para la culminación de este proceso y las observaciones constructivas realizadas.

DEDICATORIA

A Dios primeramente por haber culminado una meta más en mi vida profesional, ya que sin la sabiduría, salud y fortaleza que me acompaña a diario esto no podría ser posible, por mostrarme el camino correcto a pesar de las adversidades a lo largo de la vida.

A mis padres Victorino Sánchez Enríquez y Catalina Sánchez Ruiz ya que son el motor y la inspiración para mejorar día con día y ser una mejor versión profesional y como persona, agradezco sus consejos y orientación que han sabido dar para poder llegar a esta etapa de mi vida.

A mis abuelitos Genoveva Ruiz Martínez (†) y Gregorio Díaz Martínez, por la educación brindada a lo largo de los años y por todo el cariño incondicional.

A mi abuelito José Sánchez Bello (†), porque sus recuerdos me motivan a trabajar en las metas que me propongo día con día.

A mis hermanos Víctor Hugo, Eslit Kassandra, Zaira Sarahí, Leslye Guadalupe y Suhay Yosani, por el apoyo incondicional que siempre me han brindado y por la unión familiar que hemos formado.

A la Ing. Diana Laura Martínez Ayala por todo el apoyo brindado a lo largo de este tiempo, el cariño y por todo el aprendizaje a lo largo de los años.

Al Ing. Francisco Ramírez Martínez, por el acompañamiento y apoyo brindado durante estos años de maestría y por la amistad.

CONTENIDO

RESUMEN	3
ABSTRACT	4
AGRADECIMIENTOS	5
DEDICATORIA	6
CONTENIDO	7
LISTA DE CUADROS	9
LISTA DE FIGURAS	10
I. INTRODUCCIÓN	15
1.1 Planteamiento del problema	17
1.4 Justificación	17
II. REVISIÓN DE LITERATURA	18
2.1 La contaminación en los cuerpos de agua superficial	18
2.3 Aguas residuales domesticas	19
2.3.1 Asentamientos humanos	19
2.2 Actividad agrícola	19
2.4 Industria azucarera	21
2.5 Industria cafetalera	22
2.6 Actividad Ganadera	23
2.7 Tenerías	24
2.8 Los Sistemas de Información Geográfica (SIG)	25
2.8.1 ArcGIS	26
2.8.2 ArcMap	27
III. HIPÓTESIS	27
3.1. Hipótesis General	27
3.2. Hipótesis Particulares	27
IV. OBJETIVOS	27
4.1 Objetivo general	27
4.2 Objetivos específicos	28
V. MATERIALES Y METODOS	28
5.1 Selección de sitios de muestreo	28

5.2 Toma de muestras.....	29
5.3 Análisis de muestras	30
5.4 Procesamiento de datos	31
5.5 Uso de los SIG.....	31
Hidrología.....	31
Uso de suelo y vegetación	31
Mapeo de los resultados	31
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
6.1 Uso del suelo y vegetación	32
6.3 Industria cafetalera	34
6.4 Industria azucarera.....	38
6.5 Tenerías	41
6.6 Agricultura.....	44
6.7 Ganadería.....	44
6.7.1 Establos lecheros	45
6.7.2 Rastros municipales.....	48
6.8 Drenaje Doméstico	49
6.8.1 Coliformes	49
6.8.2 Aguas residuales domesticas	49
6.8.3 Aguas grises.....	49
6.9 Industria hotelera	60
6.10 Hidrología.....	62
6.11 Metales pesados.....	64
6.12 Comparación con otros estudios de calidad de agua en ríos	66
6.13 Comportamiento de la calidad del agua a nivel de cuenca.....	67
VII. CONCLUSIONES.....	67
VIII. RECOMENDACIONES.....	68
IX. LITERATURA CITADA	69
ANEXOS	78
ANEXO A RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE CALIDAD DEL AGUA.....	78
ANEXO B MAPAS DE RESULTADOS DE VALORES DE LOS ANALISIS DE CALIDAD DE AGUA REALIZADOS	84
ANEXO C GRAFICOS DE LOS ELEMENTOS ANALIZADOS	105

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1: Normas utilizadas en la toma de muestras y en los análisis de las variables consideradas para realizar el estudio.	30
Cuadro 2: Uso de suelo y Vegetación de la Cuenca del Rio Jamapa	32
Cuadro 3: Cambio de usos del suelo y vegetación en la cuenca del Rio Jamapa.....	32
Cuadro 4: Superficie dedicada a la ganadería en la cuenca del rio Jamapa por municipio..	44
Cuadro 5: Resultados Fisicoquímicos del río Cotaxtla (Época Húmeda)	78
Cuadro 6: Resultados Fisicoquímicos del Rio Jamapa (Época Húmeda).	79
Cuadro 7: Resultados Fisicoquímicos del Rio Cotaxtla (Época Seca)	80
Cuadro 8: Resultados Fisicoquímicos del Rio Jamapa (Época Seca)	81
Cuadro 9: Resultados Coliformes Fecales y Totales, época seca y húmeda.	82
Cuadro 10: Resultados Metales pesados, época seca y húmeda.....	83

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación de los sitios de muestreo en la cuenca del río Jamapa.....	29
Figura 2: Concentraciones de Nitratos Río Jamapa, época seca y húmeda. Fuente: Elaboración Propia.	35
Figura 3: Concentraciones de Nitratos Río Cotaxtla, época seca y húmeda. Fuente: Elaboración Propia.	35
Figura 4: Mapa de Nitratos, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz. .	35
Figura 5: Mapa de Nitratos, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.	36
Figura 6: Concentraciones de Fosfatos Río Cotaxtla durante la época Seca y época Húmeda.	37
Figura 7: Concentraciones de Fosfatos Río Cotaxtla durante la época Seca y época Húmeda.	37
Figura 8: Mapa de Fosfatos, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz..	37
Figura 9: Mapa de Fosfatos, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.....	38
Figura 10: Mapa de pH, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.	39
Figura 11: Mapa de pH, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.	40
Figura 12: pH afectado por la industria azucarera en el río Cotaxtla, época húmeda y seca.	40
Figura 13: pH en el cauce del río Jamapa, época húmeda y seca.....	41
Figura 14: Sólidos Totales Disueltos en el cauce del río Cotaxtla, época húmeda y seca. .	42
Figura 15: Mapa de Sólidos Totales Disueltos, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.....	43
Figura 16: Mapa de Sólidos Totales Disueltos, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.....	43
Figura 17: Conductividad Eléctrica en el cauce del río Cotaxtla, época húmeda y seca.	46
Figura 18: Conductividad Eléctrica en el cauce del río Jamapa, época húmeda y seca.	46
Figura 19: Mapa de Conductividad Eléctrica, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.....	47
Figura 20: Mapa de Conductividad Eléctrica, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.....	47
Figura 21: Sólidos Totales Disueltos en el cauce del río Jamapa, época húmeda y seca....	48
Figura 22: Calcio en el cauce del río Cotaxtla, época húmeda y seca.....	50
Figura 23: Calcio en el cauce del río Jamapa, época húmeda y seca.	50
Figura 24: Magnesio en el cauce del río Cotaxtla, época húmeda y seca.	51
Figura 25: Magnesio en el cauce del río Jamapa, época húmeda y seca.	51
Figura 26: Mapa de Calcio, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz...	52
Figura 27: Mapa de Calcio, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.....	52
Figura 28: Mapa de Magnesio, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.	53
Figura 29: Mapa de Magnesio, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz. ..	53
Figura 30: Sodio en el cauce del río Cotaxtla, época húmeda y seca.	54
Figura 31: Sodio en el cauce del río Jamapa, época húmeda y seca.	55

Figura 32: Coliformes Totales en el cauce del rio Cotaxtla, época húmeda y seca.	55
Figura 33: Coliformes Totales en el cauce del rio Jamapa, época húmeda y seca.	56
Figura 34: Coliformes Fecales en el cauce del rio Cotaxtla, época húmeda y seca.	56
Figura 35: Coliformes Fecales en el cauce del rio Jamapa, época húmeda y seca.	57
Figura 36: Mapa de Coliformes Fecales, en la época húmeda, en la cuenca del rio Jamapa, Veracruz.....	58
Figura 37: Mapa de Coliformes Fecales, en la época seca, en la cuenca del rio Jamapa, Veracruz.....	58
Figura 38: Mapa de Coliformes Totales, en la época húmeda, en la cuenca del rio Jamapa, Veracruz.....	59
Figura 39: Mapa de Coliformes Totales, en la época seca, en la cuenca del rio Jamapa, Veracruz.....	59
Figura 40: Concentraciones de Sodio en sitios de muestreo Unión Jamapa-Cotaxtla y Boca del Rio durante la época Seca. Fuente: Elaboración Propia.	60
Figura 41: Concentraciones de Sodio en sitios de muestreo Unión Jamapa-Cotaxtla y Boca del Rio durante la época Húmeda. Fuente: Elaboración Propia.	60
Figura 42: Mapa de Sodio, en la época húmeda, en la cuenca del rio Jamapa, Veracruz.	61
Figura 43: Mapa de Sodio, en la época seca, en la cuenca del rio Jamapa, Veracruz.	61
Figura 44: Arsénico detectado en la unión Jamapa-Cotaxtla en la época seca.	64
Figura 45: Manganeso detectado en Boca del Rio en la época seca.	65
Figura 46: Concentración de bario en la unión Jamapa-Cotaxtla y Boca del Río.....	66
Figura 47: Mapa de Dureza, en la época húmeda, en la cuenca del rio Jamapa, Veracruz. .	84
Figura 48: Mapa de Dureza, en la época seca, en la cuenca del rio Jamapa, Veracruz.....	84
Figura 49: Mapa de Potasio, en la época húmeda, en la cuenca del rio Jamapa, Veracruz..	85
Figura 50: Mapa de Potasio, en la época seca, en la cuenca del rio Jamapa, Veracruz.	85
Figura 51: Mapa de Boro, en la época húmeda, en la cuenca del rio Jamapa, Veracruz.	86
Figura 52: Mapa de Boro, en la época seca, en la cuenca del rio Jamapa, Veracruz.	86
Figura 53: Mapa de Manganeso, en la época húmeda, en la cuenca del rio Jamapa, Veracruz.	87
Figura 54: Mapa de Manganeso, en la época seca, en la cuenca del rio Jamapa, Veracruz.	87
Figura 55: Mapa de Cloruros, en la época húmeda, en la cuenca del rio Jamapa, Veracruz.	88
Figura 56: Mapa de Cloruros, en la época seca, en la cuenca del rio Jamapa, Veracruz.	88
Figura 57: Mapa de Carbonatos, en la época húmeda, en la cuenca del rio Jamapa, Veracruz.	89
Figura 58: Mapa de Carbonatos, en la época seca, en la cuenca del rio Jamapa, Veracruz.	89
Figura 59: Mapa de Bicarbonatos, en la época húmeda, en la cuenca del rio Jamapa, Veracruz.	90
Figura 60: Mapa de Bicarbonatos, en la época seca, en la cuenca del rio Jamapa, Veracruz.	90
Figura 61: Mapa de Sulfatos, en la época húmeda, en la cuenca del rio Jamapa, Veracruz.	91
Figura 62: Mapa de Sulfatos, en la época seca, en la cuenca del rio Jamapa, Veracruz.	91

Figura 63: Mapa de Metales Pesados-Arsénico, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.....	92
Figura 64: Mapa de Metales Pesados-Arsénico, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.....	92
Figura 65: Mapa de Metales Pesados-Cadmio, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.....	93
Figura 66: Mapa de Metales Pesados-Cadmio, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.....	93
Figura 67: Mapa de Metales Pesados-Bario, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.....	94
Figura 68: Mapa de Metales Pesados-Bario, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.....	94
Figura 69: Mapa de Metales Pesados-Aluminio, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.....	95
Figura 70: Mapa de Metales Pesados-Aluminio, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.....	95
Figura 71: Mapa de Metales Pesados-Cobre, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.....	96
Figura 72: Mapa de Metales Pesados-Cobre, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.....	96
Figura 73: Mapa de Metales Pesados-Mercurio, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.....	97
Figura 74: Mapa de Metales Pesados-Mercurio, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.....	97
Figura 75: Mapa de Metales Pesados-Plomo, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.....	98
Figura 76: Mapa de Metales Pesados-Plomo, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.....	98
Figura 77: Mapa de Metales Pesados-Cromo, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.....	99
Figura 78: Mapa de Metales Pesados-Cromo, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.....	99
Figura 79: Mapa de Metales Pesados- Fierro, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.....	100
Figura 80: Mapa de Metales Pesados-Fierro, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.....	100
Figura 81: Mapa de Metales Pesados- Manganeseo, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.....	101
Figura 82: Mapa de Metales Pesados- Manganeseo, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.....	101
Figura 83: Mapa de Metales Pesados- Sodio, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.....	102

Figura 84: Mapa de Metales Pesados- Sodio, en la época seca, en la cuenca del rio Jamapa, Veracruz.....	102
Figura 85: Mapa de Metales Pesados- Zinc, en la época húmeda, en la cuenca del rio Jamapa, Veracruz.....	103
Figura 86: Mapa de Metales Pesados- Zinc, en la época seca, en la cuenca del rio Jamapa, Veracruz.....	103
Figura 87: Mapa de Residuos de Plaguicidas, en la época húmeda, en la cuenca del rio Jamapa, Veracruz.....	104
Figura 88: Mapa de Residuos de Plaguicidas, en la época seca, en la cuenca del rio Jamapa, Veracruz.....	104
Figura 89: Dureza en el cauce del rio Cotaxtla, época húmeda y seca.....	105
Figura 90: Dureza en el cauce del rio Jamapa, época húmeda y seca.	105
Figura 91: Potasio en el cauce del rio Cotaxtla, época húmeda y seca.	106
Figura 92: Potasio en el cauce del rio Jamapa, época húmeda y seca.	106
Figura 93: Boro en el cauce del rio Cotaxtla, época húmeda y seca.	107
Figura 94: Boro en el cauce del rio Jamapa, época húmeda y seca.....	107
Figura 95: Manganeso en el cauce del rio Cotaxtla, época húmeda y seca.....	108
Figura 96: Manganeso en el cauce del rio Jamapa, época húmeda y seca.	108
Figura 97: Cloruros en el cauce del rio Cotaxtla, época húmeda y seca.	109
Figura 98: Cloruros en el cauce del rio Jamapa, época húmeda y seca.....	109
Figura 99: Carbonatos en el cauce del rio Cotaxtla, época húmeda y seca.....	110
Figura 100: Carbonatos en el cauce del rio Jamapa, época húmeda y seca.	110
Figura 101: Bicarbonatos en el cauce del rio Cotaxtla, época húmeda y seca.	111
Figura 102: Bicarbonatos en el cauce del rio Jamapa, época húmeda y seca.....	111
Figura 103: Sulfatos en el cauce del rio Cotaxtla, época húmeda y seca.	112
Figura 104: Sulfatos en el cauce del rio Jamapa, época húmeda y seca.....	112
Figura 105: Fosfatos en el cauce del rio Cotaxtla, época húmeda y seca.....	113
Figura 106: Fosfatos en el cauce del rio Jamapa, época húmeda y seca.	113
Figura 107:pH y CE en la unión Jamapa-Cotaxtla y Boca del Rio en la época seca.	114
Figura 108: pH y CE en la unión Jamapa-Cotaxtla y Boca del Rio en la época húmeda. .	114
Figura 109: STD, Cloruros, Sulfatos y Sodio en la unión Jamapa-Cotaxtla y Boca del Rio en la época seca.	115
Figura 110: STD, Cloruros, Sulfatos y Sodio en la unión Jamapa-Cotaxtla y Boca del Rio en la época húmeda.	115
Figura 111: Dureza, Potasio, Calcio y Magnesio en la unión Jamapa-Cotaxtla y Boca del Rio en la época seca.	116
Figura 112: Dureza, Potasio, Calcio y Magnesio en la unión Jamapa-Cotaxtla y Boca del Rio en la época húmeda.....	116
Figura 113: Carbonatos y Bicarbonatos en la unión Jamapa-Cotaxtla y Boca del Rio en la época seca y húmeda.	117
Figura 114: Boro, Fosfatos y Nitratos en la unión Jamapa-Cotaxtla y Boca del Rio en la época seca y húmeda.....	117

Figura 115: Metales pesados en la unión Jamapa-Cotaxtla y Boca del rio en la época seca y húmeda. 118

Figura 116: Sodio detectado en la unión Jamapa-Cotaxtla y Boca del rio en la época seca. 119

Figura 117: Sodio detectado en la unión Jamapa-Cotaxtla y Boca del rio en la época húmeda. 119

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación implica “la introducción de agentes biológicos, químicos o físicos a un medio al que no pertenecen... así como “cualquier modificación indeseable de la composición natural de un medio; por ejemplo, agua, aire o alimentos”. Más específicamente la contaminación ambiental se describe como “la que, por cualquier causa, altera un medio natural, introduce en él formas de materia o energía que le son ajenas o causa el aumento de las concentraciones basales de alguno o algunos de sus componentes naturales. En general es indeseable y puede tener efectos adversos para la salud y el equilibrio ecológico, a corto o a largo plazo (Albert *et al.*, 2001).

El agua es el elemento esencial para la vida y el ambiente. Además, este recurso es indispensable para el desarrollo económico y social, la seguridad alimentaria y la reducción de la pobreza (WWC, 2009). Sin embargo, los problemas de contaminación del agua por los aportes continuos de efluentes municipales, industriales y agrícolas afectan la calidad de este recurso en los ecosistemas acuáticos. La calidad del agua, ya sea para consumo humano, irrigación, o propósitos recreativos, es significativa para la salud. Una característica deseable de calidad del agua es la ausencia de olor, turbidez y color, no obstante, la presencia de elementos tóxicos (por ejemplo, metales pesados), nitrógeno y fósforo excesivo, o de material orgánico disuelto pueden no ser percibidos por los sentidos, pero sí ejercer impactos negativos sustanciales en la salud de los cuerpos de agua y del humano (Spellman, 2009).

La relación entre calidad del agua de uso humano y la salud pública, está ampliamente reconocida. En este sentido, el aumento de la contaminación de ecosistemas hídricos provoca que estos recursos naturales se conviertan en inadecuados para el uso primario y/o secundario de la población. El agua del río es un recurso hídrico vital vulnerable a la contaminación. La calidad del agua superficial en una región está establecida por procesos naturales (tasa de precipitación, procesos de erosión, erosión del suelo) y antropogénicas (doméstica, industrial y agrícola) (Gamarra Torres, 2018).

A lo largo del tiempo, el ser humano ha establecido sus poblados cerca de una fuente de agua (lagos, ríos, lagunas y ciénagas), las cuales ha utilizado para desempeñar sus funciones básicas (abastecimiento de agua potable, alimentación, recreación y economía), además, este recurso es útil para el funcionamiento de los ecosistemas del planeta y uno de los factores críticos para el desarrollo sustentable de las naciones (SEMARNAT, 2008). La influencia antrópica ha alterado los ciclos naturales del reciclaje de nutrientes al incrementar la cantidad de desechos orgánicos y otros contaminantes en los cuerpos de agua, lo cual afecta la calidad del agua y provoca problemas de eutrofización, disrupción de ecosistemas naturales y daños a la salud humana (Beristáin *et al.*, 2013).

La calidad del agua superficial en una región está determinada por procesos naturales (erosión del suelo, tasa de precipitación y otros procesos de erosión) y los usos antropogénicos (doméstico, industrial y agrícola). Las actividades humanas en la tierra son la razón principal por la que los ríos están contaminados y, una vez en un río, los contaminantes pueden transportarse largas distancias hasta su difusión en las zonas costeras (Kroeze *et al.*, 2016). Alrededor de un 90% de los contaminantes es transportado por los ríos

al mar (Escobar, 2002). La relación entre calidad del agua de uso humano y la salud pública, está ampliamente reconocida. En este sentido, el aumento de la contaminación de ecosistemas hídricos provoca que el agua sea inadecuada para el uso primario y/o secundario de la población (Gamarra Torres, 2018). Se ha documentado que, en México, 80% de los ecosistemas acuáticos entre ellos cuerpos de agua como los ríos, se encuentran bajo algún grado de contaminación, siendo los principales contaminantes materia orgánica, nutrientes y microorganismos. Atender esta problemática es de vital importancia para la conservación de los ecosistemas acuáticos y para mejorar la calidad de vida de los pobladores aledaños (Hernández Vargas *et al.*, 2020).

Los ríos del estado de Veracruz no son ajenos a esta problemática, ya que a su paso por los principales centros de población reciben descargas de aguas residuales, industriales y diversos tipos de contaminación no puntuales, limitando las actividades productivas y deteriorando el ambiente. Para el estudio de esta problemática, el enfoque de cuenca cobra especial importancia. Según Cotler *et al.* (2010) la cuenca vincula los elementos naturales, sociales y económicos, formando unidades territoriales adecuadas para la planeación y la gestión de los recursos naturales dentro de ella.

Una de las actividades que también afectan a las cuencas hidrológicas, es el ingreso de pesticidas y de gran cantidad de material particulado proveniente de las actividades agrícolas, la deforestación, la fragmentación del hábitat y el cambio del sustrato por remoción y extracción de materiales, a lo cual se suma el incremento de materia orgánica por ingreso de agua no tratada (Gómez-Anaya *et al.*, 2017). En la zona de estudio se produce café, la cual es una de las agroindustrias que más contamina el agua en los países en vías de desarrollo (Gómez-Anaya *et al.*, 2017). Además, no se puede dejar de lado que, de acuerdo con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la industria azucarera en el país genera problemas de contaminación del agua, producto de su elevado consumo energético, descarga de agua con alta temperatura y gran contenido de materia orgánica (bagazo, cachaza y vinazas). El agua residual, producto de su operación, representa 28% del total a nivel nacional; logrando el giro que más contribuye en cuanto a la descarga de materia orgánica en aguas residuales (Candi Ashanti *et al.*, 2014).

La cuenca del río Jamapa es un importante abastecedor de agua potable de ciudades como Veracruz, Boca del Río, Córdoba, Huatusco y Coscomatepec, así como a más de mil localidades, las cuales han mostrado ineficiencia en el uso de los recursos naturales, impactando de forma negativa en su calidad ambiental. Por esta razón, a la mayoría de los municipios conurbanos y periurbanos les hacen falta recursos para la planificación y el desarrollo urbano, que consciente o inconscientemente utilizan los cauces naturales como drenajes, depósitos de basura y escombros diversos, por lo cual existe una creciente contaminación de las aguas de los ríos por diversas fuentes inorgánicas, bacteriológicas y orgánicas (Navarro-Garza, 2005).

La química del agua superficial en cualquier punto refleja importantes influencias litológicas, atmosféricas, climáticas y antropogénicas, por lo que es fundamental poder identificar y cuantificar estas influencias (Beita-Sandí & Barahona-Palomo, 2011). Por ello, es importante

conocer los problemas de calidad del agua que actualmente sufren los ríos y otros sistemas acuáticos en nuestro país. Así, en este trabajo se realizó un análisis del agua superficial para determinar el estado actual de la calidad del agua del río Jamapa, partiendo de las concentraciones de los diferentes contaminantes presentes en los muestreos. El objetivo principal fue conocer el comportamiento de los parámetros de calidad encontrados en los análisis fisicoquímicos, de metales pesados, de residuos de plaguicidas y de coliformes fecales y totales, durante la época de seca y la época de lluvia.

1.1 Planteamiento del problema

En las últimas décadas, los sistemas fluviales han estado sometidos a una fuerte presión antropogénica que ha provocado cambios en la calidad del agua y su biodiversidad. Uno de los problemas más críticos de los países en desarrollo es el manejo incorrecto de desechos y su eliminación en el ambiente. Puesto que los ríos constituyen los principales recursos hídricos para el abastecimiento doméstico, industrial y de riego, es imprescindible para prevenir y controlar la contaminación de los mismos obtener información sobre la calidad del agua. En el control de esta contaminación y la gestión de los recursos hídricos, es preciso identificar las fuentes de contaminación y sus contribuciones desde un punto de vista fisicoquímico, como consecuencia de las actividades agropecuarias; y microbiológico, de origen animal y humano (Gamarra Torres, 2018).

Por otra parte, el agua puede mejorar su calidad mediante diversos mecanismos que ocurren durante los procesos de infiltración (flujo base) y escurrimiento superficial en los ríos, bajo una serie de fenómenos físicos naturales (sedimentación, atrapamiento, etc.), fenómenos fisicoquímicos (coagulación natural, complejación y precipitación, filtración, adsorción, intercambio iónico, etc.), fenómenos químicos (oxidación, reducción, metilación, alquilación, etc.) y fenómenos biológicos (descomposición, degradación, etc.) (Oki y Kanae, 2006; Wang *et al.*, 2015).

Por lo tanto, es necesario generar información que defina con claridad la naturaleza y magnitud de los cambios ambientales en los cuerpos de agua, para realizar el planteamiento de estrategias que impidan o reduzcan su contaminación y, en consecuencia, la pérdida de calidad para su uso, ya sea para actividades humanas y/o ecosistémicas.

1.4 Justificación

El propósito de esta investigación fue realizar un sondeo de calidad del agua desde el origen de los escurrimientos en la parte alta de la cuenca del río Jamapa (deshielo del Pico de Orizaba y escurrimientos fluviales) hasta su descarga en Boca del Río, Veracruz. Tomando en cuenta descargas de agua de ciudades importantes como son Coscomatepec, Huatusco, Ixhuatlán del Café, Córdoba, Veracruz y Boca del Río. También se tomó en cuenta la descarga de aguas residuales del sector cafetalero y cañero, principalmente. Para finalmente presentar opciones para minorar la contaminación del río Jamapa.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 La contaminación en los cuerpos de agua superficial

El agua de los ríos y arroyos es base para actividades productivas, y es parte importante del abastecimiento público (Mora, Portuquez, & Brenes, 2002). Sin embargo, dichos cuerpos de agua han sido usados como receptores de residuos generados por actividades humanas que son determinantes de su alteración, tanto en cantidad como en calidad, por ejemplo, pueden repercutir negativamente sobre la biodiversidad acuática o bien en la alteración de la calidad de las aguas subterráneas y por ende en la salud humana cuando se consume o usa (Hernández, 2018).

En un principio, la demanda de la sociedad a la industria se enfocó solamente en la fabricación de los productos de consumo básico para el ser humano, sin embargo, con el transcurrir del tiempo, la oferta de la industria ya no era solo de lo básico, sino de productos prescindibles. Con el surgimiento de la revolución industrial, la contaminación en términos generales, tuvo un aumento acelerado (Reyes, 2006). Así mismo, el desarrollo económico y la gran competitividad de la industria por cubrir las peticiones de la sociedad han sido un factor clave en la generación de residuos de todo tipo, la acumulación de éstos se encuentra en alguna de sus formas en el suelo, el aire y el agua.

La contaminación del agua dulce (desechos orgánicos e inorgánicos, líquidos o sólidos) pone en riesgo su calidad, ya que favorece la presencia de agentes infecciosos, productos químicos tóxicos, entre otros; también pone en riesgo su cantidad porque el agua disponible con la calidad necesaria para los diferentes usos no es suficiente debido a que no cumple con los estándares recomendados por la normatividad nacional e internacional en la mayoría de las ocasiones (Reyes, 2015).

El agua superficial es vulnerable a la contaminación por actividades antropogénicas, principalmente eliminación de desechos y prácticas agrícolas. Debido a la acumulación y el transporte de contaminantes, los ríos son importantes vectores de contaminación (Assaf y Saadeh, 2008). A pesar de esta riqueza de agua, la disponibilidad y la calidad del agua están disminuyendo significativamente debido a la falta de planes de gestión eficientes y las fuentes generalizadas de contaminación. La contaminación se debe principalmente a la creciente población, el desarrollo industrial, las actividades agrícolas, los vertidos incontrolados de industrias y la mala gestión de los residuos sólidos (Abu-Jawdeh *et al.*, 2000; Singh *et al.*, 2004). Además, el cambio climático y el calentamiento global están provocando perturbaciones significativas de los ciclos hidrológicos y, por lo tanto, están afectando la contaminación del agua (Fan *et al.*, 2010).

Todos estos problemas tienen un impacto directo en el funcionamiento de los ecosistemas y la biodiversidad. Como los ríos son la fuente de agua utilizada para la mayoría de las actividades humanas en el interior, es importante controlar constantemente su calidad teniendo en cuenta las variaciones temporales y espaciales.

2.3 Aguas residuales domesticas

De manera específica, las aguas residuales domésticas hacen referencia a aquellas utilizadas con fines higiénicos (baños, cocinas, lavanderías, etc.), consisten básicamente en residuos humanos que llegan a las redes de alcantarillado por medio de descargas de instalaciones hidráulicas de la edificación también en residuos originados en establecimientos comerciales, públicos y similares (Mara, 1976). Se estima que las aguas residuales domésticas están constituidas en un elevado porcentaje (en masa) por agua, cerca de 99.9 % y apenas 0.1 % de sólidos suspendidos, coloidales y disueltos, esta pequeña fracción de sólidos es la que presenta los mayores problemas en su tratamiento y su disposición (Díaz-Cuenca, 2012).

Por otro lado, las descargas domésticas afectan a las aguas superficiales debido a que transportan contaminantes orgánicos, inorgánicos y microorganismos. El 98% de las aguas residuales domésticas están contaminadas con sólidos suspendidos, compuestos no biodegradables, metales y nutrientes, entre otros como los contaminantes emergentes (Teixeira-Correia *et al.*, 2013). Dentro de las afectaciones más importantes está el enriquecimiento por fosfatos y nitratos, ya que estos favorecen el crecimiento de los microorganismos y plantas que se encuentran en la base de las redes tróficas acuáticas (Rivas *et al.*, 2009). El fósforo en las descargas domésticas proviene principalmente del uso de detergentes y de los excrementos humanos. Por lo tanto, es necesario generar más datos que permitan definir con claridad la naturaleza y magnitud de los cambios ambientales en los cuerpos de agua (Gómez-Anaya *et al.*, 2017).

2.3.1 Asentamientos humanos

Con referente a los asentamientos humanos podemos afirmar que en todas las ciudades de importancia ocurren descargas de agua residual de uso doméstico, pero debido a que a lo largo de toda la cuenca existen diferentes actividades económicas a continuación se mencionan las de mayor impacto en la cuenca.

En todas las ciudades de importancia dentro de la cuenca ocurren descargas de agua residual de uso doméstico, pero también ocurren descargas de actividades económicas de gran impacto como se mencionan a continuación.

2.2 Actividad agrícola

La agricultura se encuentra entre las principales causas de contaminación del agua a nivel mundial, siendo responsable de la descarga de grandes cantidades de agroquímicos, nutrientes, materia orgánica, residuos de medicamentos, sedimentos, patógenos, entre otros (Evans *et al.*, 2019). En México se desconoce el impacto del sector agropecuario en los recursos hídricos porque no hay información oficial sobre las fuentes de contaminación del agua y porque la que existe sobre empleo de insumos contaminantes, como fertilizantes y pesticidas, data de 1991. A partir de esta información sabemos que, por ejemplo, en Guanajuato —uno de los estados más importantes por el peso de las actividades agropecuarias— en ese año se utilizaban 50 diferentes tipos de agroquímicos, de los cuales nueve eran fertilizantes, dos fungicidas, 16 herbicidas y 23 insecticidas diversos, sustancias que indudablemente repercutían en la calidad del suelo y del agua. La falta de seguimiento en este tipo de información no ha permitido cuantificar este impacto (Ibarra & Espejo, 2008).

Por otro lado, el aumento de las actividades agrícolas, ha incrementado la cantidad y frecuencia de aplicación de plaguicidas para el control de plagas. La contaminación por plaguicidas es normalmente de tipo difusa, y se mueve a través de diferentes fuentes como escorrentía superficial, erosión, lixiviación y mala disposición de los envases vacíos, lo que provoca que estos compuestos se detecten lejos de su punto de aplicación. La determinación de las concentraciones de plaguicidas en aguas superficiales es considerada un primer acercamiento hacia la evaluación del grado de contaminación de un ecosistema, del riesgo tóxico hacia la biota y los seres humanos debido a su exposición, y de su dinámica en el medio ambiente (Rodríguez Aguilar *et al.*, 2019).

El auge de la productividad agrícola mundial que siguió a la Segunda Guerra Mundial se logró en gran parte a través del uso intensivo de insumos, como plaguicidas y fertilizantes químicos. Desde 1960, el uso de fertilizantes minerales se ha multiplicado por diez, mientras que desde 1970 las ventas mundiales de plaguicidas pasaron de cerca de 1 000 millones de dólares EEUU anuales, a 35 000 millones de dólares al año. La agricultura es el mayor productor de aguas residuales, por volumen. A medida que se ha intensificado el uso de la tierra, los países han aumentado enormemente el uso de pesticidas sintéticos, fertilizantes y otros insumos (FAO, 2022).

La contaminación del agua es una de las formas de exposición crónica a bajas dosis de plaguicidas a las cuales está sometido el ser humano, así como la fauna acuática y terrestre; adicionalmente, es una de las vías a través de las cuales se transportan los plaguicidas COP aguas abajo de los lugares donde fueron aplicados (Molina-Morales *et al.* 2012).

Los plaguicidas utilizados en la agricultura llegan a los cursos de aguas subterráneas y superficiales (ríos y lagos) fundamentalmente por arrastre y lixiviación, pudiendo contaminar los reservorios de agua para consumo humano que son alimentados por estos recursos hídricos. La dinámica de los plaguicidas en el suelo es muy compleja y depende de una serie de factores que influyen en los procesos antes mencionados (Dierksmeier *et al.* 2002, Pérez Espejo 2012), las sustancias rociadas sobre los cultivos pueden ser lavadas por el agua de lluvia y riego, para luego ser transportadas hacia aguas subterráneas por lixiviación y a aguas superficiales por escorrentía, fenómeno que además está influenciado por la pendiente del terreno; es decir, el volumen de agua que cae al suelo y la topografía de la zona donde se desarrollan los cultivos son dos de los factores que juegan un papel importante en el riesgo de contaminación de los recursos hídricos por plaguicidas (Duffner *et al.* 2012, Leistra y Boesten 2012).

Los procesos de transporte también son afectados por las propiedades de adsorción del suelo, las cuales están determinadas principalmente por el contenido de materia orgánica, óxido de hierro y arcilla, la capacidad de intercambio iónico y el pH (Duffner *et al.* 2012). No menos importantes son las características fisicoquímicas de los plaguicidas; en general las sustancias más solubles en agua y más persistentes, es decir, las que tienen mayor tiempo de vida media, son las más fácilmente transportables y representan el mayor riesgo de contaminación (Hernández & Hansen 2011).

La contaminación de los cuerpos de agua dentro de las cuencas hidrológicas ha cobrado relevancia en la última década. Se señala a la agricultura como la principal actividad antropogénica generadora de este fenómeno de contaminación. Los estudios especializados, definen a este tipo de contaminantes como “contaminación difusa” debido a la forma en que se distribuye dentro de las cuencas. Entre las principales sustancias reportadas provenientes de la agricultura se encuentran nitratos y fosfatos, como remanentes de los procesos de fertilización (Rojas, 2020).

El cómo proteger y remediar la degradación de los cuerpos de agua sigue siendo un tema inconcluso debido a la variedad de factores, escalas y procesos ecológicos involucrados (Wahl, Neils y Hooper, 2013). Para un monitoreo eficiente, se deben estudiar muchos parámetros fisicoquímicos, bacteriológicos e hidrológicos.

2.4 Industria azucarera

El estado de Veracruz es, desde hace más de una década, el que mayor producción de caña de azúcar registra en el país, uno de cada siete veracruzanos depende directa o indirectamente de su cultivo o transformación. En el cultivo de la caña de azúcar se usan grandes cantidades de fertilizantes y plaguicidas que pueden llegar a los cuerpos de agua. Las precipitaciones arrastran importantes cantidades de sedimentos y agroquímicos de los campos de caña de azúcar, que es el cultivo más común en la zona de estudio. Un estudio en el ingenio La Gloria, en Veracruz, identificó que de los 200 kg de nitrógeno por hectárea que se aplican, se pierde el 43 %; sin embargo, no se tienen identificadas por cuenca o microcuenca las hectáreas que son cultivadas con caña de azúcar para lograr hacer una estimación precisa (Beristáin, 2013).

La industria azucarera utiliza grandes cantidades de agua, entre las que destacan a) el lavado de la caña y la condensación de vapor, b) el lavado del carbón animal y carbón activo, c) suministro de agua a las calderas, d) soluciones del proceso, e) lavado de los filtros para el intercambio de iones en el enfriamiento sin contacto, f) agua para compensar las pérdidas en la alimentación de la caldera, g) agua para la ceniza volante y, h) agua para el lavado de los pisos. Estas grandes cantidades de agua residuales escasamente son tratadas para su descontaminación siendo vertidas en los ríos o arroyos cercanos a la industria provocando un gran efecto de contaminación para las comunidades cercanas a esta. La contaminación de las aguas superficiales es uno de los factores importantes que provoca desequilibrio en el ambiente, por lo que la mitigación de los efectos de la contaminación es necesaria. El uso del agua en un ingenio azucarero es sinónimo de contaminación ya que muy pocos ingenios incluyen procesos de tratamiento de sus aguas residuales, almacenándola y posteriormente depositándola en los ríos cercanos a este. Esto provoca importante contaminación para la flora, fauna y seres vivos aledaños al ingenio azucarero (Morales, 2011).

Al periodo de cosecha de caña de azúcar se le conoce comúnmente como “zafra” (ALMER, 2022). La palabra zafra significa la recolección de la caña de azúcar y en la temporada en que se realiza. Viene del árabe safra, “viaje”, porque se necesitaba gran multitud de trabajadores temporeros para cortarla y éstos hacían una peregrinación hasta los lugares donde se cultivaba la caña, que en la España medieval eran solamente los de la costa mediterránea andaluza (Eti, 2022). La industria azucarera mexicana, por lo general se ubica

cerca de grandes fuentes de agua, en su mayoría ríos, para poder sostener su proceso industrial, en la obtención de azúcar, durante el periodo de zafra. La descarga del agua residual de los ingenios azucareros en México ocupa un 53% de contaminación a los mantos acuíferos, en su mayoría ríos, aportando contaminantes como cachaza, azúcares y vinazas (García, 2002).

Actualmente, a nivel mundial México es el sexto mayor productor de azúcar de acuerdo con el Departamento de Agricultura de Estados Unidos de América. La agroindustria de la caña de azúcar del país representa 11% del valor del sector primario, 2.5% del Producto Interno Bruto (PIB) manufacturero y 0.4% del PIB nacional, por lo que genera más de 450,000 empleos directos y beneficia a más de 2.2 millones de personas. La producción de caña de azúcar se realiza en alrededor de 700 mil hectáreas que abastecen a 57 Ingenios de 15 estados cañeros, por lo que es una actividad de alto impacto en 227 municipios donde habitan más de 12 millones de mexicanos (Candi Ashanti *et al.*, 2014).

2.5 Industria cafetalera

Una de las agroindustrias que más contamina el agua en los países en vías de desarrollo es la del café (Gómez-Anaya *et al.*, 2017). En particular, el beneficio húmedo de café utiliza una gran cantidad de agua para el despulpado, fermentación y lavado de la cereza del café sin recirculación, generando grandes cantidades de aguas residuales de alta concentración que descargan directamente a los cuerpos de agua (Genanaw *et al.*, 2021). Los efluentes del café son la principal fuente de contaminación orgánica en ambientes donde se practica el procesamiento intensivo del café sin sistemas de manejo de producto apropiados, produciendo aguas residuales con altas concentraciones de sólidos suspendidos, sólidos disueltos y nutrientes (Woldesenbet *et al.*, 2014). De acuerdo a la Oficina de Cultivo del Café de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Rural y Pesca del Gobierno del Estado, en la zona Córdoba-Huatusco para el ciclo 2014-2015 se cosecharon 47,735 ha con un volumen de producción de 20,732 ton de café oro, las cuales se benefician en húmedo en beneficios ubicados en los municipios de Córdoba, Tomatlán, Chocamán, Huatusco e Ixhuatlán del café (SIAP, 2014).

La contaminación ocasionada por la industria cafetalera en el proceso de beneficio del café constituye también un serio problema de contaminación en los países productores del mismo. El procesado del fruto se realiza generalmente mediante el llamado “beneficio húmedo del café”, donde se consume cantidades considerables de agua y casi el 80 % del fruto se considera de poco o nulo valor económico y por consiguiente es designado como desecho, el cual se vierte generalmente en los ríos, generando malos olores, contaminando dichos ríos, limitando su uso con fines recreativo y de sustento familiar por la contaminación ocasionada en épocas cafetaleras. Las aguas residuales del proceso de despulpado y lavado del café, comúnmente conocida como agua miel, se consideran como una de las mayores fuentes de contaminación orgánica en el sector cafetalero. El café uva maduro presenta una composición física tal que los granos representan el 20% que en el proceso genera un 80% de rechazo de la pulpa, representando un alto riesgo de impacto sobre el medio ambiente si no se le da un tratamiento apropiado. El proceso de despulpado y lavado de un kilogramo

café genera una cantidad de agua y material contaminante equivalente a aquella producida por 6 personas en un día (Rugama *et al.*, 2016).

La actividad cafetalera no es una actividad exclusivamente agrícola, al involucrar un componente esencialmente de procesamiento industrial como es el beneficiado, a partir del cual se obtiene el producto de comercialización. Este procesamiento es altamente demandante en agua, por lo que los beneficios se ubican en las cercanías de los ríos, tanto para obtener el agua para el proceso mismo como una vía para la expulsión de desechos. Ahí se establece una importante fuente de contaminación (Román, 2004).

Debido a la falta de modelos de gestión adecuados para el manejo de los residuos provenientes de nuestras actividades, a la falta de conciencia de la población y por un atraso cultural, tradicionalmente los cuerpos de agua superficiales se han utilizado como vertederos, concretamente de basuras, pesticidas, metales pesados, aguas residuales domésticas e industriales, incluyendo en este último caso las procedentes del beneficiado húmedo del café. Una de las principales causas que conllevan a esta problemática es la generación de agua miel producto del beneficiado húmedo del café (López, 2012).

Por otro lado, tenemos que tradicionalmente la pulpa del café que resulta del beneficio se deposita en las corrientes de agua, lo que eutrofiza los cuerpos de agua, genera un aumento considerable de la demanda bioquímica de oxígeno, aumenta la carga de sólidos totales, disminuye el pH e incrementa la temperatura del agua (Ferrell & Cockerill, 2012). Se trata de una forma de contaminación severa que afecta a la flora y fauna acuáticas, que además impide el uso del agua por el hombre para fines domésticos, industriales o recreativos (Álvarez, Hugh, Cuba & Loza-Murguía, 2011).

2.6 Actividad Ganadera

La expansión de la agricultura y ganadería intensiva se han establecido mayoritariamente en áreas con escasas de agua. El agua es contaminada por excretas ganaderas directamente a través de escurrimientos, infiltraciones y percolación profunda en las granjas, e indirectamente por escorrentías y flujos superficiales desde zonas de pastoreo y tierras de cultivo. El nitrógeno es abundante en el estiércol, y está relacionado con la contaminación de aguas subterráneas por la lixiviación de nitrato a través del suelo, mientras que el fósforo del estiércol está relacionado con la contaminación de aguas superficiales. Debido a que el fósforo en el agua no se considera directamente tóxico, no se han establecido niveles estándares en el agua potable. Sin embargo, el fósforo tiene un impacto ambiental importante en los recursos hídricos porque vertido directamente o indirectamente en las corrientes o aplicado en dosis excesivas en el suelo, ya que este elemento es una fuente de aceleración para la eutrofización de los cuerpos de agua superficiales, el cual promueve la proliferación de algunas plantas acuáticas, disminuye el oxígeno disuelto y varía el pH, afectando así la calidad del agua (Pinos *et al.*, 2012). La eutrofización según Wetzel (2001) es simplemente la alteración de la producción de un cuerpo de agua a lo largo de un continuo en la dirección de valores bajos a altos, es decir, de oligotrofia a eutrofia, teniendo en cuenta que por producción se refiere a cantidad de algas fitoplanctónicas y éstas están determinadas por varios factores, particularmente la disponibilidad de fósforo y nitrógeno, agregando los

términos oligotrofia para cuerpos de agua de baja producción y eutrofia para cuerpos de agua de alta producción.

La producción agropecuaria es considerada como una de las principales actividades productivas responsables de la contaminación difusa de cursos de agua, debido a que genera el enriquecimiento de éstas con nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, y su contaminación biológica con patógenos. En países de Europa occidental se ha estimado que entre un 37% y 82% del nitrógeno y entre un 27% y 38% del fósforo que llega a las aguas proviene de actividades agropecuarias. Esto se evidencia cuando existe una alta correlación entre la intensidad de producción del sistema ganadero (alto número de animales por unidad de superficie) y los niveles de eutrofización de los cursos de agua. Se ha llegado a establecer que la combinación entre población animal (alta o baja) y la aplicación de fertilizantes (bajas o altas dosis), en especial de fertilizantes fosfatados, son los factores claves que controlan la entrega de nutrientes a cursos de agua superficiales a nivel de cuencas hidrográficas. En áreas donde se desarrollan sistemas intensivos de producción animal y se aplican altas cantidades de fertilizantes fosfatados, las pérdidas de fósforo a cursos de agua pueden superar los 31 kg P ha⁻¹ año⁻¹, esto es, 70 kg de P₂O₅ ha⁻¹ año⁻¹, y en áreas donde la eficiencia del nitrógeno utilizado como fertilizante es baja, existiendo una sobredisponibilidad de este elemento, las pérdidas de N pueden llegar a ser equivalentes a 250 kg N ha⁻¹ año⁻¹ (Alfaro *et al.*, 2005).

Otros impactos agregados se generan en las industrias y agroindustrias que procesan carne, leche y pieles por vertimientos puntuales a las aguas y emisiones al aire o por el uso masivo de empaques no biodegradables (plásticos, polietilenos, mezclas de aluminio y plástico) para todos los insumos y productos (alcaloides, fertilizantes, suplementos, leche, queso, etc.) que se arrojan después de su uso y solo en el mejor de los casos terminan en los rellenos sanitarios de las grandes ciudades (Murgueitio, 2003).

El principal problema ocasionado por la cría de ganado son las eyecciones ya que contaminan fuentes de agua y producen emisiones de CO₂. En lo referente a los contaminantes generados por procesos de contaminación con excretas al agua, estas aportan patógenos que constituyen un riesgo para la salud humana y son una fuente de contaminación por la presencia de nitrógeno, fósforo y la demanda bioquímica de oxígeno (Titin, 2018). Es importante tener en cuenta que el ganado genera mayor volumen de excretas que los humanos (FAO, 2022).

En cuanto a la ganadería, sabemos que además del uso directo e indirecto del agua, uno de los desafíos centrales de la producción animal es el manejo y la disposición de sus residuos. El estiércol, la orina y las aguas servidas generadas durante la producción pueden contener compuestos orgánicos tales como macronutrientes, residuos de drogas, hormonas, patógenos (ej. bacterias y virus) y sustancias inorgánicas como metales pesados y otros elementos utilizados como aditivos en los forrajes. Los desechos de origen animal pueden esparcir residuos biológicos y químicos en el medioambiente también (FAO, 2018).

2.7 Tenerías

Una de las actividades que genera residuos de alto impacto a la contaminación del río Jamapa es el curtido de pieles en las tenerías. Los residuos que se generan en la producción de cuero son: carnazas, tiras de cuero, aserrín de cuero y residuos líquidos con elevadas

concentraciones de: sulfuros (S^{2-}), cromo trivalente (Cr^{3+}), sólidos suspendidos totales (SST), por lo que se caracterizan por poseer una elevada demanda química de oxígeno (DQO). En el proceso de curtido, la etapa que genera mayor carga contaminante es la de pelambre. Esta operación tiene como objetivo depilar la piel utilizando reactivos como: sulfuro de sodio (Na_2S), hidrógeno sulfuro de sodio ($NaHS$), hidróxido de calcio ($Ca(OH)_2$), hidróxido de sodio ($NaOH$), aminas y enzimas (Roque, 2017).

El consumo de agua en las industrias curtidoras es muy elevado, se estima un gasto promedio de 10 L agua/kg cuero. En León, Guanajuato-México son procesados alrededor de 5 millones de unidades de cuero anualmente, lo cual implica un gasto promedio de 1,254,750 L agua/año por la industria curtidora. El curtido al cromo es el método más utilizado alrededor del 80% de las industrias curtidoras lo usan y solo 20% con taninos vegetales en León, Guanajuato-México. El agua residual de baños de curtido al cromo generalmente no se recupera, éste efluente presenta alta concentración de cromo (3 y hasta 10 g L^{-1}) así como componentes desengrasantes, aminas, cloruros, sulfuros y sodio, condición que identifica a un efluente altamente contaminado (Alvarez *et al.*, 2004)

El agua residual proveniente del proceso de curtido de cuero realizado en las tenerías contiene ciertos contaminantes muy perjudiciales. Son aguas catalogadas como tóxicas y peligrosas, dado su alto contenido en cromo y sales neutras, que se generan en el curtido de la piel que se realiza con sales de cromo. El cromo trivalente (Cr^{3+}), es el que se encuentra en mayor cantidad en estos efluentes, no es de gran toxicidad, pero bajo ciertas condiciones del medio en el que se encuentre, puede oxidarse pasando a cromo hexavalente (Cr^{+6}), el cual es de muy alta toxicidad, afectando los ciclos biológicos y al ser humano, por esto su concentración está muy limitada en los vertidos a cauces y colectores. En estos efluentes, también se encuentra la presencia de sulfuros, los cuales son utilizados para la eliminación del pelo (Rodas, 2016).

La industria de las curtiembres son las industriales de mayor impacto hacia el ambiente, debido a que la transformación de las pieles de los animales a cuero, es un proceso en el cual se aplican insumos químicos, y a su vez existe el consumo de grandes volúmenes de agua produciendo efluentes con altas cargas contaminantes. Además, es importante tener en cuenta que la mayoría de las empresas de curtiembre nacionales se caracterizan por emplear sistemas artesanales de curtición a través de sales de cromo o agentes vegetales, sin un adecuado tratamiento de residuales y disposición de los desechos producidos. Desde siempre el agua ha sido una de las preocupaciones más grandes de los fabricantes, teniendo en cuenta que el agua es un elemento indispensable para realizar el curtido del cuero, debido a en este proceso se utilizan grandes cantidades de agua (por cada metro cúbico de piel se necesitan de 3 metros cúbicos de agua), además de productos químicos orgánicos e inorgánicos que producen los residuos del cuero trabajado, los cuales son desembocados al medio ambiente sin un tratamiento adecuado, afectando de manera negativa la vida del ecosistema acuático y por consiguiente, la salud pública (Ilbay, 2021).

2.8 Los Sistemas de Información Geográfica (SIG)

El SIG es un conjunto de “*hardware*”, “*software*”, datos geográficos y personal capacitado, organizados para capturar, almacenar, consultar, analizar y presentar todo tipo de

información que pueda tener una referencia geográfica. Un SIG es una base de datos espacial (Puerta *et al.*, 2011).

Los SIG constituyen herramientas idóneas para facilitar un mejor conocimiento y gestión del medio ambiente, por su capacidad para integrar información espacial de diferentes fuentes con base de datos temáticas, generar modelos, simular escenarios y prever consecuencias de determinadas decisiones de planificación (Hammerly, 2006).

El uso de los SIG se ha vuelto de suma importancia para los trabajos de hidrología, desde un punto de vista global un SIG puede ser considerado un conjunto organizado de *hardware*, *software*, datos y técnicas eficientes diseñadas para la captura, almacenamiento, actualización, manipulación, visualización y análisis de información geográficamente referenciada (Tarango, 2019).

El uso de sistemas de información geográficas (SIG) facilita modelar información específica permitiendo mayor rapidez, menor costo y precisión para la planeación de las actividades agrícolas de grandes extensiones territoriales. Con los cambios y avances tecnológicos es necesaria la adopción y uso de estas nuevas tecnologías, tales como el uso de *software* especializado (ArcGIS) en el geoprocesamiento de datos vectoriales, rásters y Sistemas de Información Geográficas (SIG), por su parte los SIG permiten coleccionar, actualizar, almacenar, analizar, desplegar y distribuir datos espaciales e información, que finalmente se presentan en formato tabular y en mapa, generando cálculos con una mayor precisión y confiabilidad (Espejel *et al.*, 2015).

Un sistema de información geográfica (SIG) está diseñado para analizar datos referenciados por coordenadas espaciales o geográficas y sus correspondientes bases de datos no espaciales. Su principal objetivo consiste en apoyar y asistir en la toma de decisiones para el manejo y conservación de recursos. En el caso de la hidrología, un SIG asiste en el análisis de datos hidro meteorológicos e hidrogeológicos (cuantitativos) y temáticos (roca, relieve, suelo y cobertura). La naturaleza distribuida de un sistema de modelamiento permite reconocer la variación espacial, las características y los cambios dentro de una cuenca; además, éstos pueden utilizarse para crear nuevos escenarios. Los MHED (Modelamiento Hidrológico Espacialmente Distribuido) tienen ventajas particulares en estudios sobre los efectos del cambio de la cobertura vegetal y uso de suelo (CCVUS). El modelo no únicamente proporciona una descarga de salida, sino salidas múltiples sobre una base temporal y espacialmente distribuida. Las desventajas con estas formas de modelamiento son la gran cantidad de datos de alta resolución y los elevados requerimientos computacionales (Mendoza *et al.* 2002).

Las herramientas que se utilizaron en el presente trabajo fueron las siguientes:

2.8.1 ArcGIS

Es un sistema de información geográfica, el cual posee una interface gráfica de usuario, de manejo sencillo con el ratón, posibilita cargar con facilidad datos espaciales y tabulares para mostrarse en forma de mapas, tablas y gráficos, también provee las herramientas necesarias para consultar y analizar los datos y presentar los resultados como mapas con calidad de

presentación. Algunos ejemplos de lo que se puede obtener es cartografía temática, creación y edición de datos, análisis espacial, geocodificación de direcciones, etc. ArcGIS se compone de tres aplicaciones que están incluidas en ArcInfo, ArcEditor y ArcView, las cuales son ArcMap, ArcCatalog y ArcToolbox (Orduña, 2007).

2.8.2 *ArcMap*

Permite realizar mapas a partir de capas o datos espaciales, elegir colores y simbología, interrogar a las bases de datos, analizar relaciones espaciales y diseñar mapas o salidas impresas. La interfaz de ArcMap se compone de una tabla de contenidos donde se listan todas las capas que forman el mapa, una ventana donde se muestra el mapa, y una serie de menús y herramientas para trabajar con las capas y mapas (Orduña, 2007).

III. HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis General

Las actividades económicas desarrolladas en el interior de la cuenca, provocarán que la calidad del agua del río Jamapa disminuya conforme se acerca a su desembocadura, específicamente al paso de las zonas ganaderas, cañeras, cafetaleras, tenerías y de grandes asentamientos humanos, derivados del cambio de uso del suelo.

3.2. Hipótesis Particulares

- La calidad del agua se verá afectada por las descargas de los asentamientos poblacionales, principalmente los parámetros de concentración de coliformes y materia orgánica provenientes de actividades domésticas.
- Los parámetros de la calidad del agua en las inmediaciones de las zonas cañeras serán afectados principalmente por contaminantes como materia orgánica y elementos como N, P, K, Mg y S, derivados de esta actividad.
- La calidad del agua en las zonas cafetaleras presentará una alteración en el pH y en la concentración de nitrógeno derivado de las descargas de los beneficios de café.
- La zona baja de la cuenca se verá afectada principalmente por concentraciones de nitrógeno, fosforo y metales pesados provenientes de la actividad ganadera.
- Los parámetros de calidad del agua en la zona alta de la cuenta, específicamente en Coscomatepec, se verá afectada principalmente por metales pesados y productos derivados de tenerías.

IV. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Caracterizar la calidad del agua en la cuenca del río Jamapa, el cual recibe efluentes provenientes de escurrimientos naturales y de actividades antropogénicas, por medio de análisis fisicoquímicos, metales pesados, multiresiduos de plaguicidas, coliformes totales, coliformes fecales y uso de SIG.

4.2 Objetivos específicos

- Obtener el porcentaje de uso de suelo y vegetación en la cuenca para determinar posibles causas de la contaminación en los ríos Cotaxtla y Jamapa en la cuenca del río Jamapa.
- Determinar la calidad del agua por normativa siguiendo la NOM-127-SSA1-1994, DOF-CE-CCA-001/89, OMS (2006), en efluentes del cauce de la cuenca del río Jamapa en zonas de descargas provenientes de asentamientos poblacionales de las principales ciudades de la cuenca como lo son Coscomatepec, Huatusco, Córdoba, Veracruz, y Boca del Río.
- Determinar calidad de agua por normativa siguiendo la NOM-127-SSA1-1994, DOF-CE-CCA-001/89, OMS (2006), en el río Jamapa en las zonas de descarga producto de las principales actividades económicas en la cuenca: ingenios azucareros, beneficios de café, tenerías, agricultura y ganadería.
- Determinar a través de la NMX-AA-008-SCFI-2016, NMX-AA-093-SCFI-2018, NMX-AA-034-SCFI-2015, NMX-AA-072-SCFI-2001, EPA-6010C-2007, NOM-021-RECNAT-2000, NMX-AA-079-SCFI-2001, NOM-2010-SSA1-2014_APENDICE_H, GC:AOAC 2007.1(MODIFICADO), AOAC Official Method 2007:01, los niveles de concentraciones de los diferentes elementos analizados y si estos se encuentran dentro de los límites permitidos siguiendo la NOM-127-SSA1-1994, DOF-CE-CCA-001/89, OMS (2006), conforme avanza el cauce del río Jamapa hasta su desembocadura.
- Generar información con base en los resultados obtenidos para emitir recomendaciones puntuales a los usuarios del recurso y habitantes de las cuencas involucradas.
- Utilizar los sistemas de información geográfica (SIG) para capturar, almacenar, consultar y analizar los resultados obtenidos ubicados espacialmente a lo largo de la cuenca.

V. MATERIALES Y METODOS

5.1 Selección de sitios de muestreo

En la cuenca de estudio (Fig. 1), se muestran los sitios de muestreo, los cuales se seleccionaron tomando en cuenta el uso de suelo y vegetación, las actividades económicas (agricultura, ganadería, turismo, acuacultura e industria), la altitud a lo largo de los dos cauces principales de la cuenca; tratando de que la distribución espacial de los sitios de muestreo a lo largo de toda la cuenca fuera representativa de ésta, también se tomó en cuenta los poblados con aportes significativos de descarga a los ríos Jamapa y Cotaxtla.

Las localidades más pobladas en la cuenca de acuerdo con el censo de población y vivienda más reciente (INEGI, 2010) 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), Potrero Nuevo y Municipio Atoyac (14,287 habitantes). Ciudades como Boca del Río y Veracruz cuentan también con una pequeña parte

de sus territorio y población (< 5%) dentro de los límites de la cuenca (INECC-FGM, 2018), que contribuyen a la contaminación del río Jamapa debido a las actividades domésticas y económicas.

El uso de suelo ha modificado la cobertura vegetal original, la cual es muy diversa a lo largo de la cuenca: bosques de pino y encino en las estribaciones del Pico de Orizaba; selva baja perennifolia en zonas de la pendiente costera; marismas, pantanos, lagunas y litorales, en la parte baja de la cuenca. Las modificaciones al uso de suelo también han alterado la topografía de las pendientes, favoreciendo inundaciones, derrumbes y deslaves con las lluvias (Arenas *et al.* 2011).

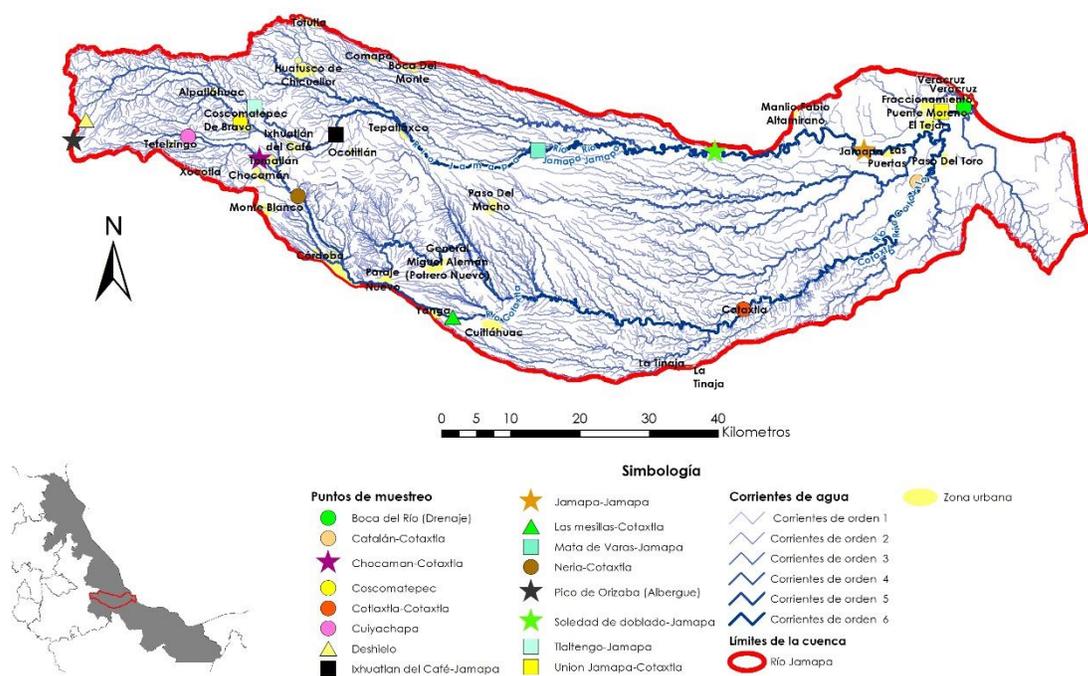


Figura 1: Ubicación de los sitios de muestreo en la cuenca del río Jamapa.

La cuenca del río Jamapa tiene una superficie total 3,925.11 km² y el área de captación al punto de muestreo Unión Jamapa-Cotaxtla es de 3,545.26 km², lo cual representa el 90.32% de la cuenca. El área de captación de la microcuenca Boca del Río, al punto de muestreo Boca del Río, es de 117.33 km², lo que representa únicamente el 2.99 % de la superficie total de la cuenca. Además, se suma la microcuenca de la laguna de Mandinga con 262.52 km², que representa el 6.69 % de la cuenca (Fig. 1); sin embargo, la corriente derivada de esta última se une a la corriente principal en un punto posterior al sitio de muestreo de Boca del Río.

5.2 Toma de muestras

Se realizó un muestreo para la época de lluvia (época húmeda) en septiembre del 2020 y otro muestreo en la época de sequía (época seca), durante abril del 2021. Se seleccionó el primer

sitio de muestreo en el Albergue del Pico de Orizaba, como punto de origen del río Jamapa a una altitud de 4211 msnm. El segundo punto se ubicó en un arroyo dentro de la zona del parque Pico de Orizaba a una altitud de 3515 msnm, ya que el caudal era más abundante por el deshielo. Como tercer punto se consideró el origen del río Cotaxtla, a una altura de 1883 m denominándolo como Cuiyachapa, el cual se une en la Ciudad de Medellín, para después desembocar en el Golfo de México. Los siguientes 12 puntos se distribuyeron espacialmente en la cuenca a partir del primer poblado con aporte de contaminantes significativos (Coscomatepec) para después monitorear otros poblados que contaminan el afluente de los ríos Jamapa y Cotaxtla (Ixhuatán, Chocamán, Córdoba, Yanga, Mata de Varas, Soledad de Doblado, Cotaxtla, Jamapa, Medellín y Boca del Río). Por último, se agregó un punto de muestreo (número 16) en el municipio de Coscomatepec para la época de seca, debido a que el origen del río Cotaxtla tomado como punto tres había disminuido considerablemente su volumen escurrido y el aporte de escorrentía del municipio de Coscomatepec era considerable al río Cotaxtla, al contar con un nacimiento de agua superficial de alto caudal.

5.3 Análisis de muestras

A continuación (Cuadro. 1) se desglosa los métodos utilizados para la determinación de las concentraciones en cada uno de los sitios de muestreo para cada elemento siguiendo las normas oficiales mexicanas.

Cuadro 1: Normas utilizadas en la toma de muestras y en los análisis de las variables consideradas para realizar el estudio.

Actividad/Parámetro	Método utilizado
Toma y manejo de las muestras	NOM-230-SSA1-2002
pH	NMX-AA-008-SCFI-2016
CE	NMX-AA-093-SCFI-2018
Sólidos Totales Disueltos	NMX-AA-034-SCFI-2015
Dureza	NMX-AA-072-SCFI-2001
Cloruros	NOM-021-RECNAT-2000
Carbonatos	NOM-021-RECNAT-2001
Bicarbonatos	NOM-021-RECNAT-2002
Nitratos	NMX-AA-079-SCFI-2001
Coliformes Totales y Coliformes Fecales	NOM-2010-SSA1-2014-APENDICE H
Metales Pesados	EPA-6010C-2007

Para la determinación de multiresiduos de plaguicidas con el método GC:AOAC 2007.1(MODIFICADO) y análisis por cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas para época de lluvia; con el método AOAC *Official Method* 2007:01 y análisis por Cromatografía de Líquidos MS/MS para época de seca. Las unidades de medida utilizadas fueron mg L⁻¹, a excepción de Residuos de Plaguicidas en la época de lluvia (mg kg⁻¹), conductividad eléctrica (dS m⁻¹) y pH. Para el análisis de los metales pesados y plaguicidas solo se tomaron muestras en los sitios denominados Unión Jamapa-Cotaxtla y Boca del Río, próximos a la desembocadura.

5.4 Procesamiento de datos

Para analizar los datos se utilizó el programa Excel y se ordenaron los resultados de cada una de las concentraciones para cada elemento para el caso de los análisis fisicoquímicos, coliformes fecales, coliformes totales, metales pesados y multiresiduos de plaguicidas.

Una vez ordenados los resultados se hizo la comparación de las concentraciones obtenidas en los análisis con los límites máximos permisibles (LMP) para agua de consumo humano según la NOM-127-SSA1-1994 y de esta manera determinar si el agua en los sitios de muestreo es apta o no para este uso en cada uno de los sitios contemplados para el presente estudio.

Posterior a esto se obtuvieron las gráficas para hacer la comparación de los resultados obtenidos con la finalidad de obtener una comparación gráfica para ambas épocas de muestreo (época seca y época húmeda), con lo anterior se determinó las diferencias en las concentraciones de cada elemento analizado para ambas épocas y así reafirmar de manera cuantitativa el impacto que están generando cada una de las actividades antropogénicas realizadas en los tramos analizados a lo largo de toda la cuenca tanto en el río Jamapa como en el río Cotaxtla.

5.5 Uso de los SIG

Hidrología

Con el uso de los SIG se determinó la cuenca del río para posteriormente obtener los escurrimientos en toda la cuenca ya que los aportes de los escurrimientos afectan directamente la concentración de los resultados obtenidos en el presente estudio.

Uso de suelo y vegetación

Con ayuda de los SIG y mediante procesamiento de información se obtuvo el área expresado en porcentaje con respecto al área total de la cuenca de cada categoría de uso de suelo y vegetación que se extrajeron del conjunto de datos vectoriales del INEGI de las series 2, 2.5, 3, 4, 5, 6 y 6.5 en escala 1: 250,000 con año base 1993, 2002, 2007, 2011, 2014 y 2016 respectivamente para cada serie (INEGI, 2022). Lo anterior para tomar en cuenta los posibles efectos e impactos en la calidad del agua a lo largo de la cuenca.

Mapeo de los resultados

Mediante el análisis de los sistemas de información se proyectaron los resultados obtenidos en laboratorio mediante mapas, utilizando la superposición de información cuantificada, de las ubicaciones de los sitios de muestreo, ubicaciones de las poblaciones dentro de la cuenca y la hidrología de la cuenca utilizando las cartas topográficas E14B46, E14B47, E14B48, E14B49, E14B56, E14B57, E14B58 y E14B59 en escala 1: 50,000. Los resultados obtenidos a través de Excel se reflejaron en cada uno de los mapas realizados con ayuda de los sistemas de información geográfica para cada elemento analizado.

Para análisis espacial de resultados se visualizó el orden de cada uno de los escurrimientos en la cuenca y aportaciones a los cauces principales (Jamapa y Cotaxtla). Además, se analizaron espacial y temporalmente las concentraciones de cada parámetro de calidad de

agua, para de esta forma visualizar el comportamiento a lo largo de los cauces durante las épocas de muestreo.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Uso del suelo y vegetación

El uso de suelo ha modificado la cobertura vegetal original (Cuadro. 2), la cual es muy diversa a lo largo de la cuenca: bosques de pino y encino en las estribaciones del Pico de Orizaba; selva baja perennifolia en zonas de la pendiente costera; marismas, pantanos, lagunas y litorales, en la parte baja de la cuenca. Las modificaciones al uso de suelo también han alterado la topografía de las pendientes, favoreciendo inundaciones, derrumbes y deslaves con las lluvias (Arenas et al. 2011).

Cuadro 2: Uso de suelo y Vegetación de la Cuenca del Rio Jamapa

Fuente: INEGI serie USV 6.5

SERIE 6.5					
CLAVE	PORCENTAJE	CLAVE	PORCENTAJE	CLAVE	PORCENTAJE
AH	0.23	RSP	0.04	VSA/BP	0.16
BA	0.55	TA	12.32	VSa/BPQ	0.65
BM	1.22	TAP	6.71	VSA/SAQ	0.47
BP	2.39	TAS	12.93	VSA/SBC	4.24
BPQ	1.05	TP	7.97	VSh/BM	0.04
BQ	0.29	TS	8.34	VSh/SBC	0.00
BQP	0.18	TSP	9.01	VSI	0.57
DV	0.18	VA	0.05	VU	0.18
H2O	0.54	VHH	0.00	VW	0.26
PC	24.44	VM	0.23	ZU	0.95
PI	1.95	VSA/BM	1.87	TOTAL	100.00

De acuerdo con datos obtenidos de la cobertura de uso de suelo y vegetación de la serie 6.5 en escala 1:250,000 y año base 2016, elaborados por el Programa Mexicano del Carbono (Paz *et al.*, 2019) en la cuenca de estudio se reporta como menor extensión a la Agricultura de Riego semipermanente y permanente, junto con la Vegetación Secundaria Herbácea de Bosque Mesófilo de Montaña (RSP, VSh/BM) con un 0.04% correspondiente a 1.71 km². Mientras que la categoría con mayor extensión corresponde al Pastizal Cultivado (PC) con un 24.44% equivalente a 959.42 km², seguida por la Agricultura de Temporal Anual y Semipermanente (TAS) con un 12.93% equivalente a 507.69 km² y en un tercer lugar con un 12.32% la Agricultura de Temporal Anual con 483.38 km² (ver Cuadro 2).

Cuadro 3: Cambio de usos del suelo y vegetación en la cuenca del Rio Jamapa

Fuente: INEGI series USV

	SERIE 2	SERIE 2.5	SERIE 3	SERIE 4	SERIE 5	SERIE 6	SERIE 6.5
CLAVE	Superficie (%)						

AH			0.03	0.25	0.25	0.25	0.23
BA	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
BM	1.26	1.26	1.20	1.25	1.22	1.22	1.22
BP	2.45	2.43	2.37	2.37	2.37	2.37	2.39
BPQ	1.09	1.04	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
BQ	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
BQP	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
DV	0.15	0.15	0.19	0.19	0.19	0.19	0.18
H2O	0.59	0.55	0.53	0.53	0.53	0.53	0.54
PC	19.37	19.51	24.18	24.42	24.42	24.42	24.44
PI	2.14	2.15	2.63	1.95	1.95	1.95	1.95
RSP	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
TA	14.39	14.39	14.09	12.21	12.32	12.32	12.32
TAP	5.67	5.73	6.31	6.78	6.71	6.71	6.71
TAS	7.54	7.53	10.54	12.93	12.93	12.93	12.93
TP	8.53	8.40	8.25	7.97	7.97	7.97	7.97
TS	8.47	8.56	8.71	8.34	8.34	8.34	8.34
TSP	8.42	8.44	8.75	9.01	9.01	9.01	9.01
VA	0.01	0.00	0.01	0.05	0.05	0.05	0.05
VHH	0.03	0.06	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00
VM	0.26	0.24	0.18	0.23	0.23	0.23	0.23
VSA/BM	2.18	2.17	1.74	1.87	1.87	1.87	1.87
VSA/BP	0.10	0.10	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
VSA/BPQ	0.64	0.64	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
VSA/SAQ	0.46	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47
VSA/SBC	12.69	12.62	4.92	4.24	4.24	4.24	4.24
VSh/BM	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
VSh/SBC	0.28	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
VSI	0.71	0.71	0.50	0.57	0.57	0.57	0.57
VU	0.22	0.22	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
VW	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.26
ZU	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
Porcentaje	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Área (km ²)	3,925	3,925	3,925	3,925	3,925	3,925	3,925

Los cambios que ha sufrido la cuenca del río Jamapa en cada una de sus categorías es variable, existen categorías que a pesar del tiempo han cambiado muy poco, como lo son Bosque de Oyamel, Bosque de Encino, Bosque de Encino –Pino, Agricultura de riego permanente y semipermanente, vegetación secundaria arbórea de Selva Alta Subperenifolia y Zona Urbana (BA, BQ, BQP, RSP, VSA/SAQ Y ZU). Por otro lado, hay categorías que

desaparecieron con el tiempo, como son los casos de la Vegetación Secundaria herbácea de Selva Baja Caducifolia (VSh/SBC) y Vegetación Halófila Hidrófila (VHH).

Existen categorías que aumentaron ligeramente, como los Asentamientos Humanos, que en comparación de la Serie 3 a la serie 6.5, aumentó de 0.03 a 0.23 %, lo que representa 7.7 km² de la superficie de la cuenca. Por último, están las categorías que sufrieron cambios significativos, como agricultura de temporal anual y semipermanente (TAS), con un incremento a lo largo del tiempo de 7.54% en la serie 2 a 12.93% en la serie 6.5, equivalente a 211.72 km². El Pastizal Cultivado (PC) mostró un incremento de 19.37% en la serie 2 a 24.44% en la serie 6.5%, equivalente a 199.28 km²; en cambio, la superficie con Vegetación Secundaria Arbórea De Selva Baja Caducifolia (VSA/SBC) tuvo un decremento notable, pasó de 12.69% en la serie 2 a 4.24% en la serie 6.5, equivalente a 331.98 km², aunque es importante resaltar que el cambio más drástico se presentó de la serie 2.5 a la serie 3 para esta categoría al igual que para pastizal cultivado (PC), lo que representa una evidencia clara del incremento de la actividad ganadera. La superficie total de la cuenca es de 3,925 km².

6.3 Industria cafetalera

Según Torres-Valenzuela *et al.* (2019) el pH de las aguas residuales de esta industria (aguas mieles del beneficiado) oscilan entre 3.995 a 4.025, esto es una causa para que el pH de la muestra del sitio en Ixhuatán disminuya 0.3 hacia el sitio de muestreo ubicado en Mata de Varas para la época Húmeda (Cuadro 6), aunque en general, en este estudio se midieron niveles de pH básicos (> 7), aunque se observaron incrementos importantes en la concentración de nitratos y fosfatos. Bisekwa *et al.* (2021) encontró que la concentración de nitratos se incrementó de un promedio de 6.28 a 10.3 mg L⁻¹, aguas arriba y aguas abajo en ríos en la zona cafetalera de Kayanza, Burundi en la época húmeda; y de un promedio de 1.45 a 4.23 mg L⁻¹, aguas arriba y aguas abajo en la época seca; en el caso de los fosfatos se incrementaron de 0.41 a 0.82 mg L⁻¹ y de 0.40 a 0.78 mg L⁻¹, durante la época húmeda y seca, respectivamente.

En este estudio, se observó un incremento en la concentración de nitratos en el tramo Ixhuatlán del Café a Mata de Varas, de 0.77 a 1.24 mg L⁻¹ (Fig. 2), sobre el afluente río Jamapa en la época seca. En el caso del afluente río Cotaxtla, la mayor concentración se encontró en el sitio de muestreo de Neria, como se observa en la (Fig. 3), en donde rebasó el límite máximo permisible, NOM-127-SSA1-1994 (Fernandez, 1994) en la época húmeda. En ambos tramos existe una gran actividad derivada de la industria cafetalera. Además, como se observa en las Figuras 4 y 5, el cambio de la concentración de nitratos de la época seca a la época húmeda se ve reflejado en los sitios de muestreo de Neria y Mesillas, pasando de un valor permisible a no permisible y permisible alto (con tendencia a no permisible).

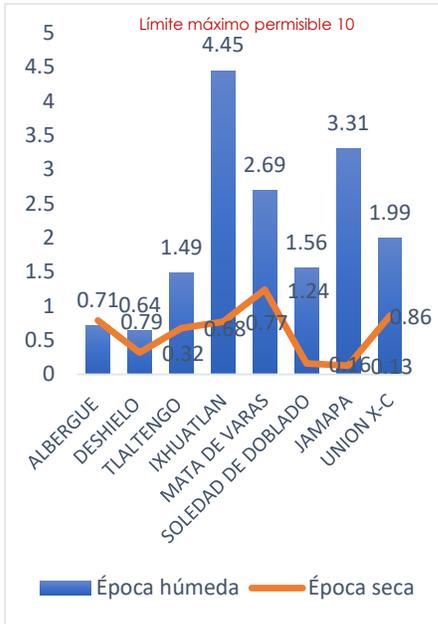


Figura 2: Concentraciones de Nitratos Rio Jamapa, época seca y húmeda. Fuente: Elaboración Propia.

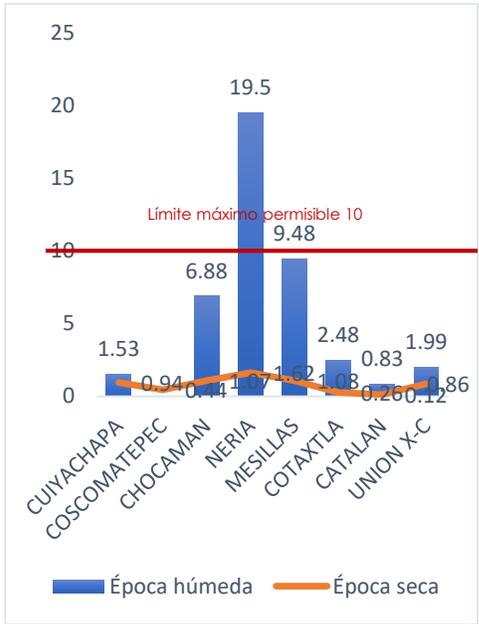


Figura 3: Concentraciones de Nitratos Rio Cotaxtla, época seca y húmeda. Fuente: Elaboración Propia.

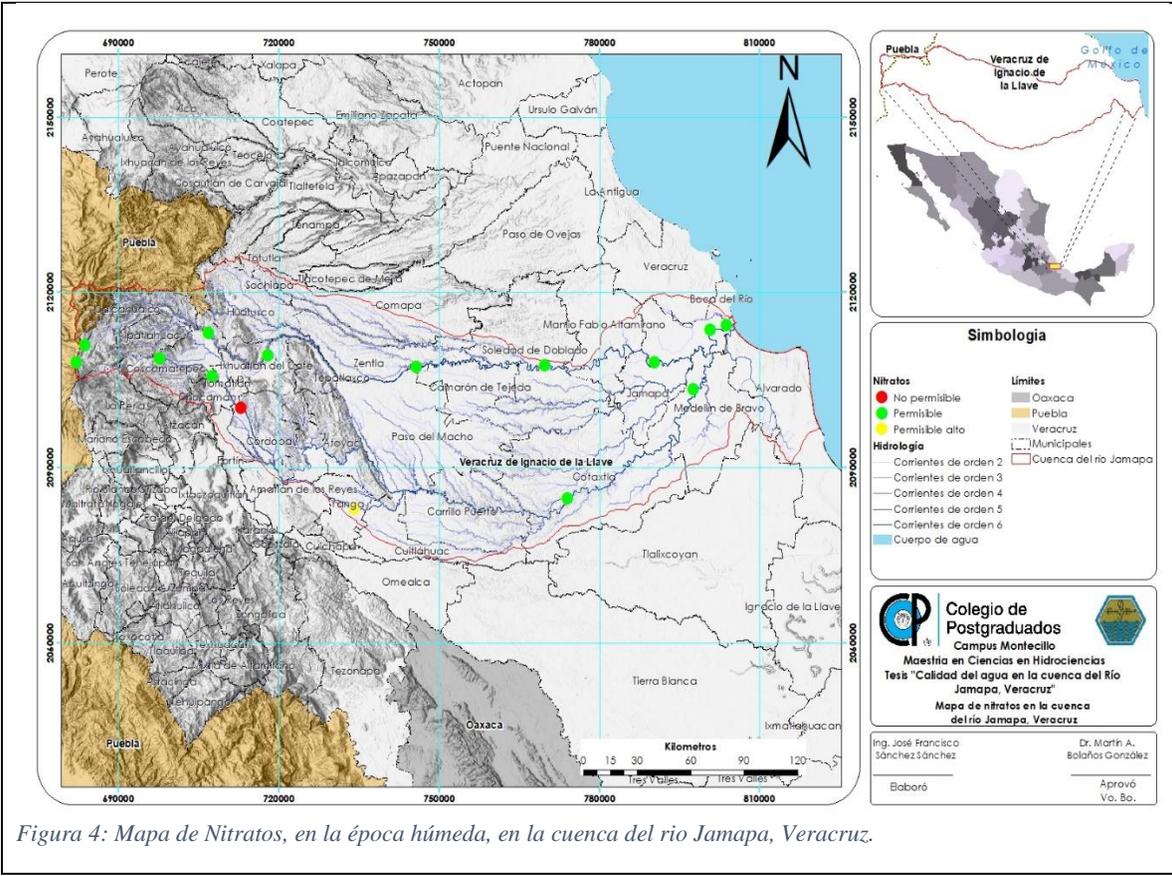


Figura 4: Mapa de Nitratos, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

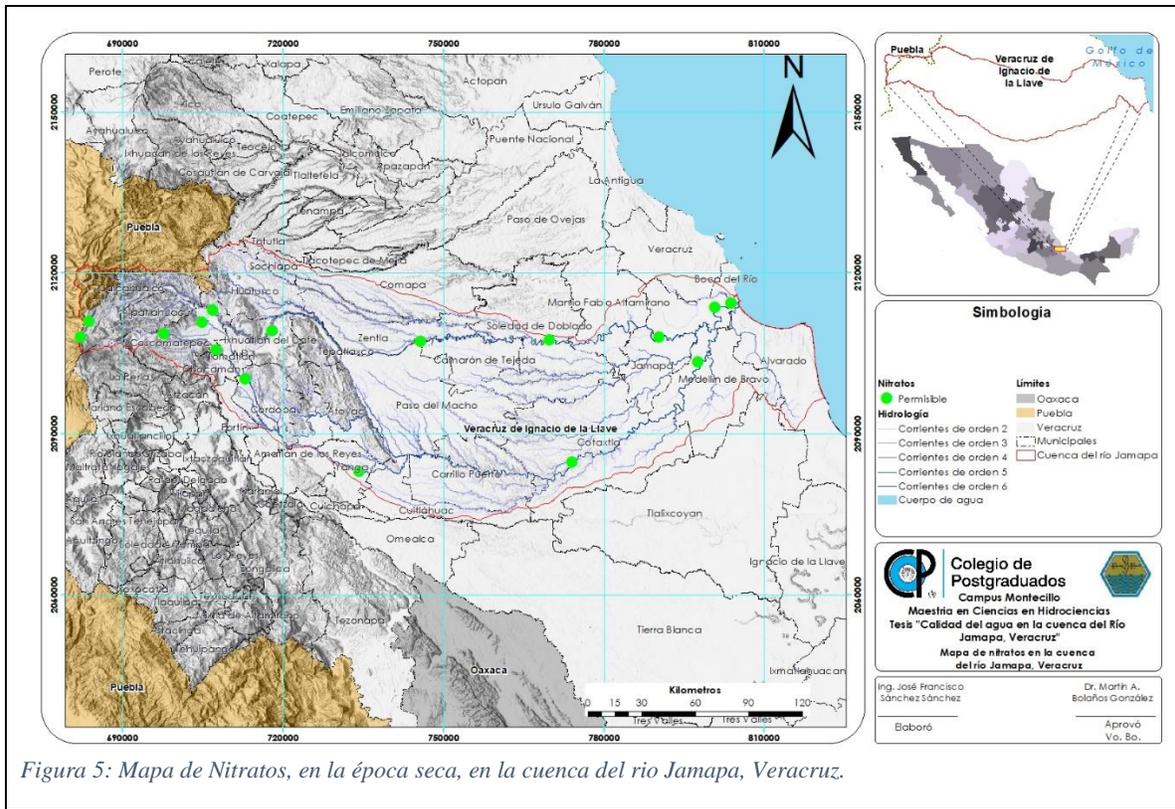


Figura 5: Mapa de Nitratos, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

En el caso de los fosfatos, se registró un cambio no cuantificado por ausencia a 0.57 mg L^{-1} para el caso de la época de seca (Fig. 6). Por el lado del río Cotaxtla se tuvo una concentración máxima de 4.04 mg L^{-1} en el sitio Neria en la época de seca (Fig. 7), pero en su mayoría las concentraciones están fuera del límite máximo permisible para esta época DOF-CE-CCA-001/89 (DOF. Diario Oficial de la Federación, 1989). El caso contrario se presentó en la época húmeda, en la que disminuyeron las concentraciones considerablemente.

En cuanto a los mapas del parámetro de calidad del agua relacionado con la concentración de fosfatos, en las Figuras 8 y 9 se muestra su caracterización espacial en ambas épocas de muestreo. El cambio de valores mostrado en cada sitio de muestreo toma en cuenta las normas oficiales en cuanto a calidad de agua para consumo humano, para determinar si son permisibles o no los valores obtenidos.

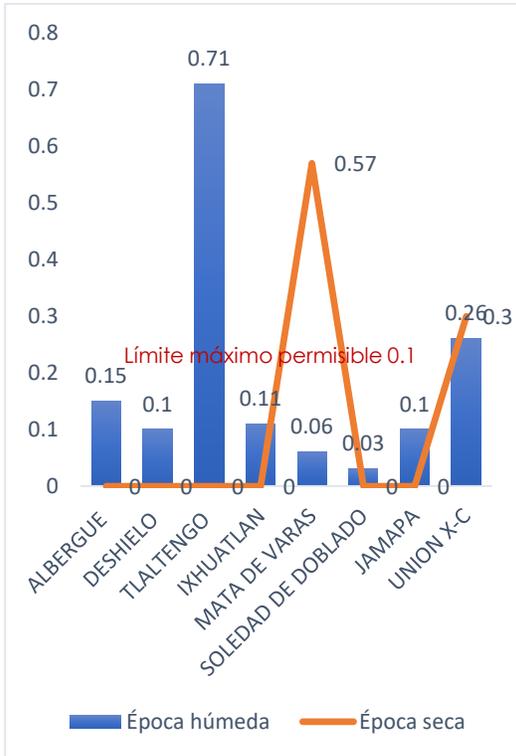


Figura 6: Concentraciones de Fosfatos Rio Cotaxtla durante la época Seca y época Húmeda.
Fuente: Elaboración propia.

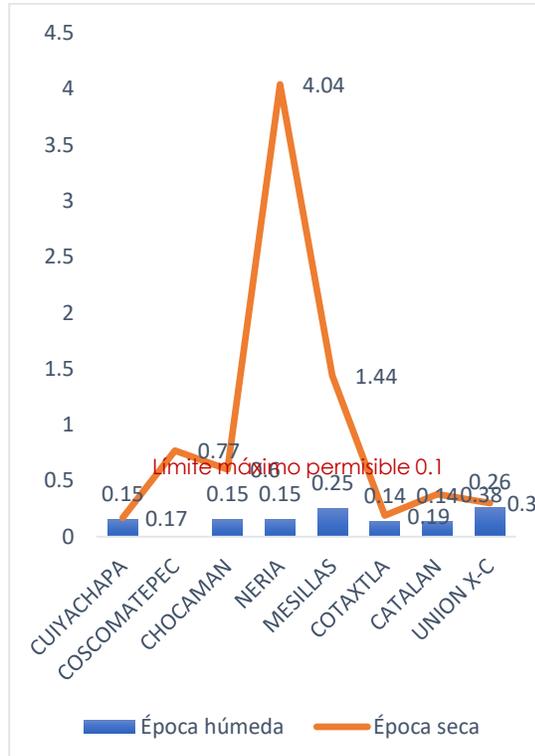


Figura 7: Concentraciones de Fosfatos Rio Cotaxtla durante la época Seca y época Húmeda.
Fuente: Elaboración propia.

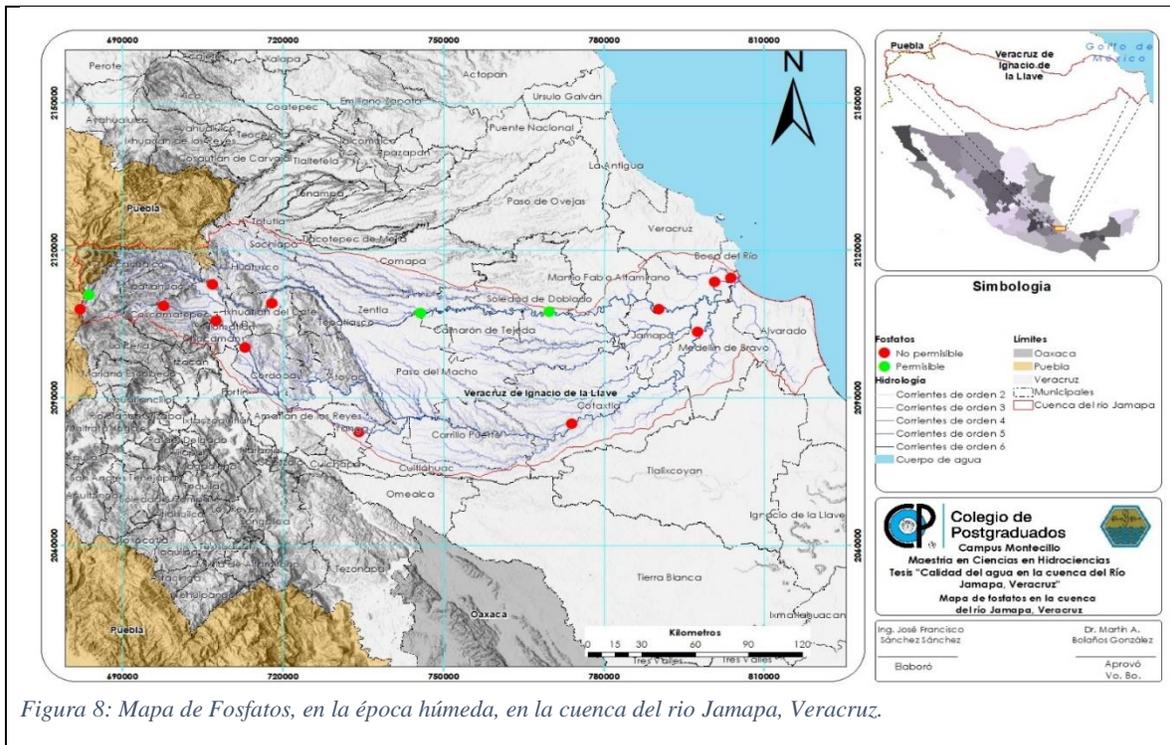


Figura 8: Mapa de Fosfatos, en la época húmeda, en la cuenca del rio Jamapa, Veracruz.

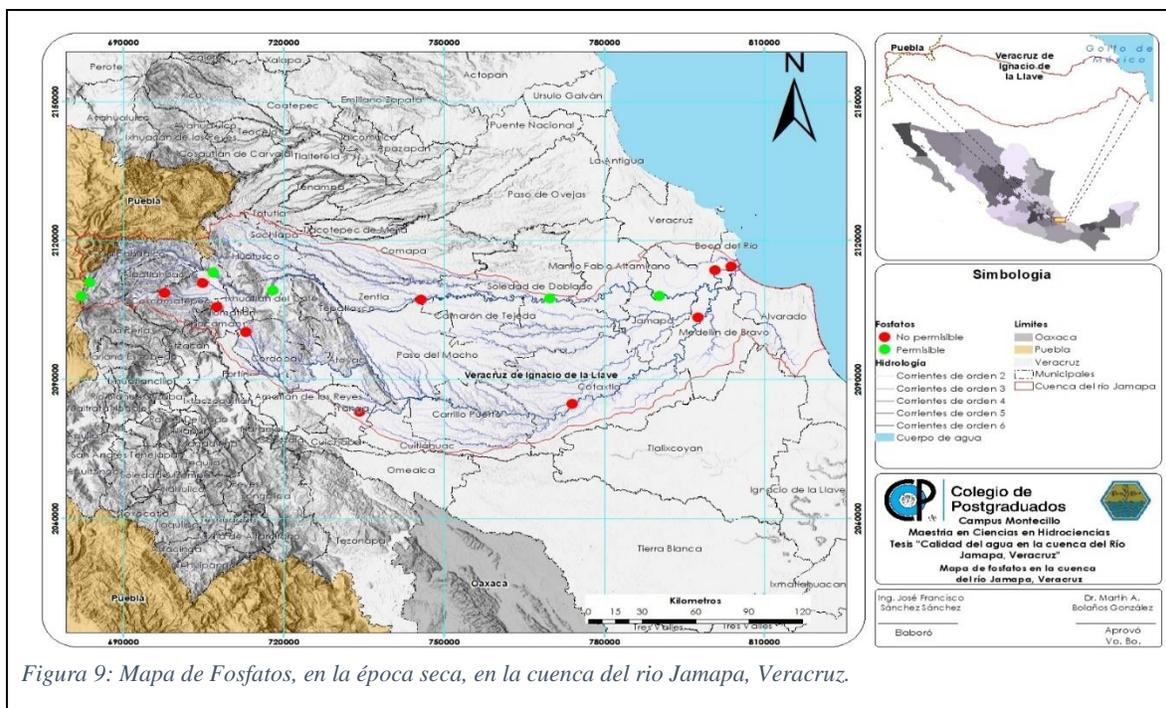


Figura 9: Mapa de Fosfatos, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

6.4 Industria azucarera

La industria azucarera es la principal productora de residuos sólidos, agua y contaminación acústica, por lo que la calidad ambiental está en riesgo cuando el agua extremadamente contaminada de la industria azucarera se descarga sin tratar (Qureshi *et al.*, 2015). Las aguas residuales provenientes de un ingenio azucarero tienen un pH promedio de 6.4 y para sólidos totales los valores varían entre 8.5 y 2.7 mg L⁻¹ (Jiménez, 2008). Aunque Díaz-de los Ríos, *et al.* (2016) dice que el pH de las aguas residuales resultantes de la producción de azúcar es de 4.28, la conductividad eléctrica es de 4.98 dS m⁻¹, grasas y aceites 163 mg L⁻¹, nitrógeno total 98 mg L⁻¹ y fósforo 130 mg L⁻¹.

Es altamente probable que la industria azucarera influya en la disminución del pH en el tramo de entre los sitios de muestreo Mesillas y Cotaxtla de 8.4 a 8.2 (Cuadro 5) del río Cotaxtla, respectivamente, zona en la que se encuentran los ingenios Central el Potrero con una superficie industrializada de 20,034 ha y producción de 122,957 t; Central Progreso, con una superficie industrializada de 13,439 ha y producción de 47870 t y San Miguelito de Córdoba, con una superficie industrializada de 6,460 ha, y producción 40,698 t (SEDARPA, 2022). En cuanto a la conductividad eléctrica pasa algo similar, ya que hay un aumento de 0.1 a 0.16 dS m⁻¹ en la época húmeda (Cuadro 5) y de 0.2 a 0.38 dS m⁻¹ en la época seca (Cuadro 7) en este tramo. Para el caso de nitratos en la época húmeda la concentración aumentó de 6.88 mg L⁻¹ a 9.48 mg L⁻¹ en el tramo Chocamán a Mesillas para la época húmeda (Cuadro 5). Para el caso de fosfatos los datos son los siguientes: 0.15 a 0.25 mg L⁻¹ en la época húmeda (Cuadro 5) y 0.6 a 1.44 mg L⁻¹ (Cuadro 7) en la época seca respectivamente. Lo que muestra en una primera aproximación que la industria azucarera influye en el incremento de las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos del agua del río Cotaxtla.

Las Figuras 10 y 11 muestran el cambio de pH registrado en los diferentes sitios de muestreo. Además, en las Figuras 12 y 13 se aprecia de manera gráfica los cambios medidos a lo largo de las vertientes Jamapa y Cotaxtla.

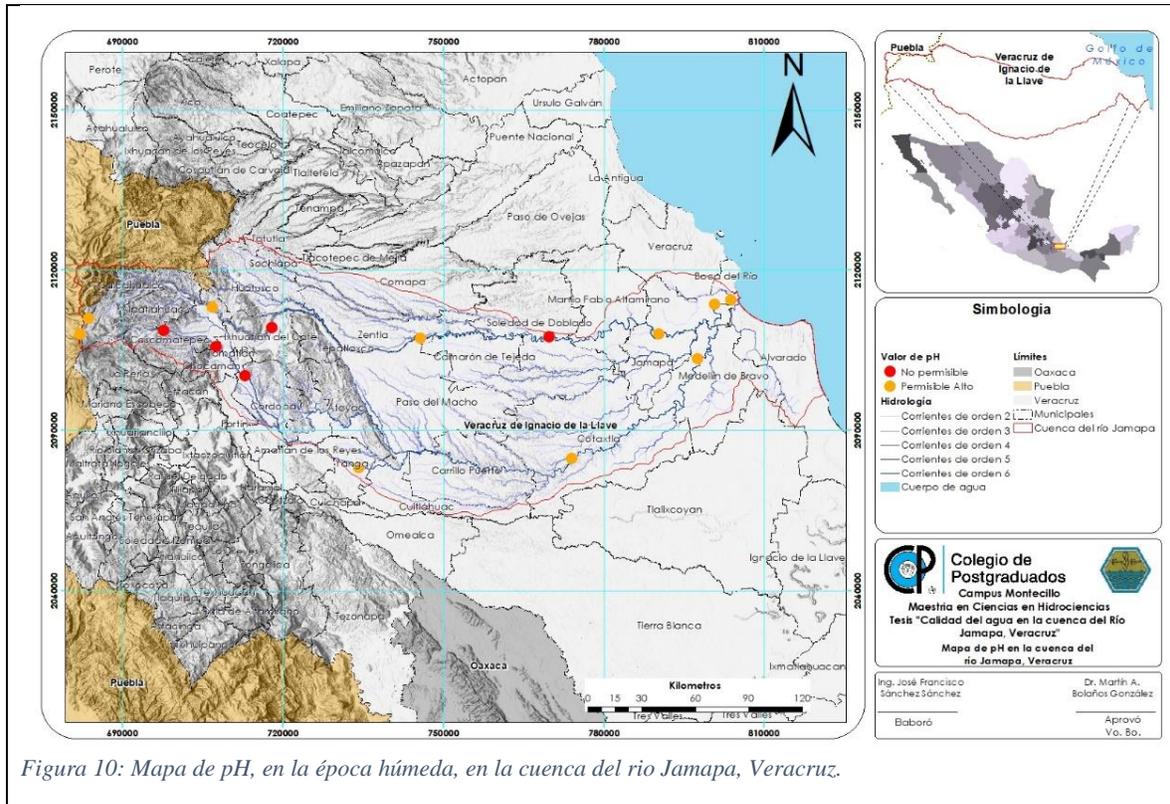


Figura 10: Mapa de pH, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

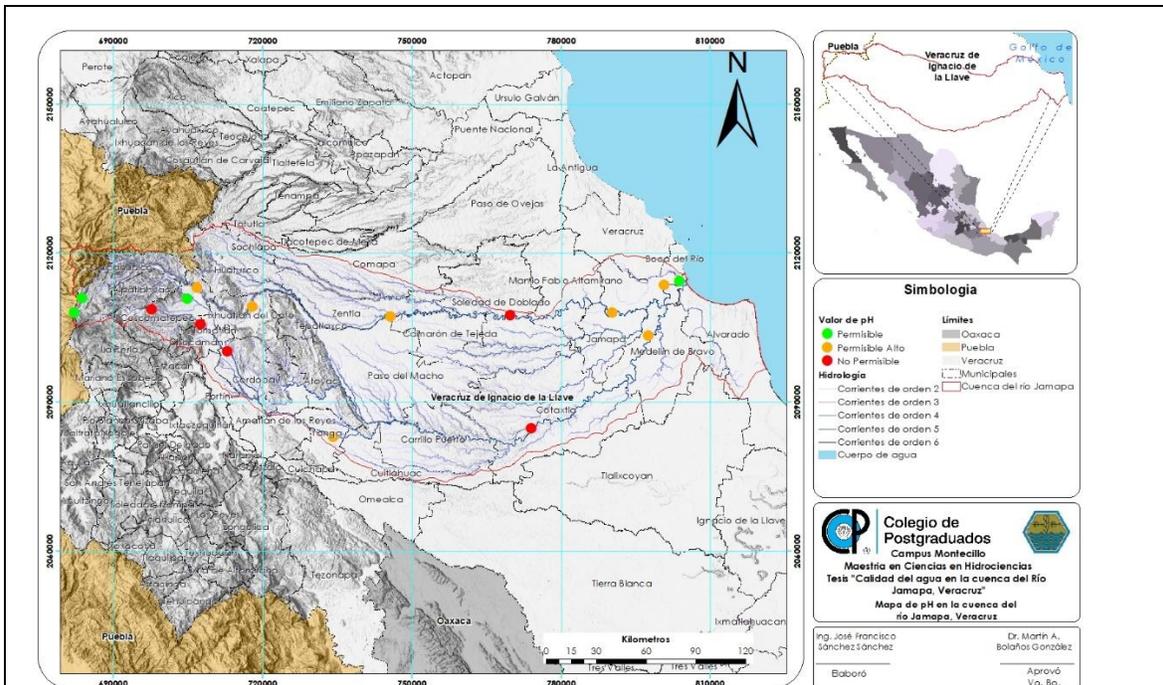


Figura 11: Mapa de pH, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

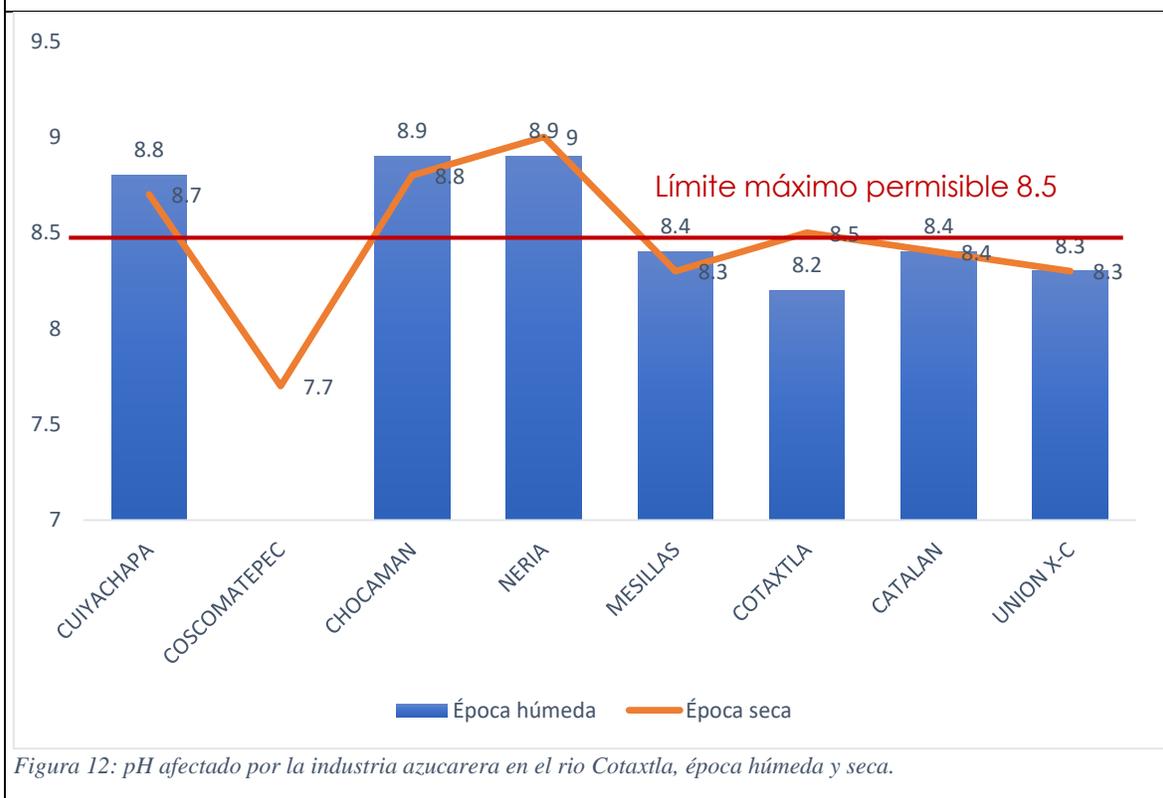
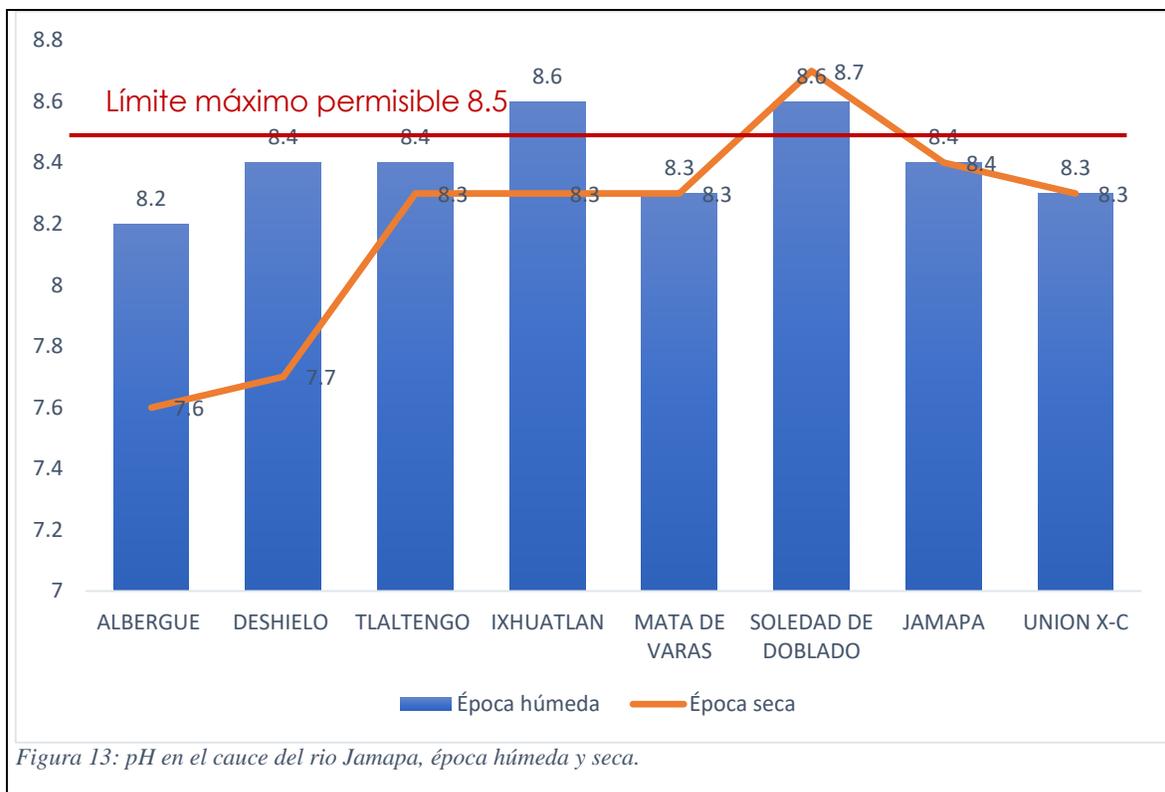


Figura 12: pH afectado por la industria azucarera en el río Cotaxtla, época húmeda y seca.

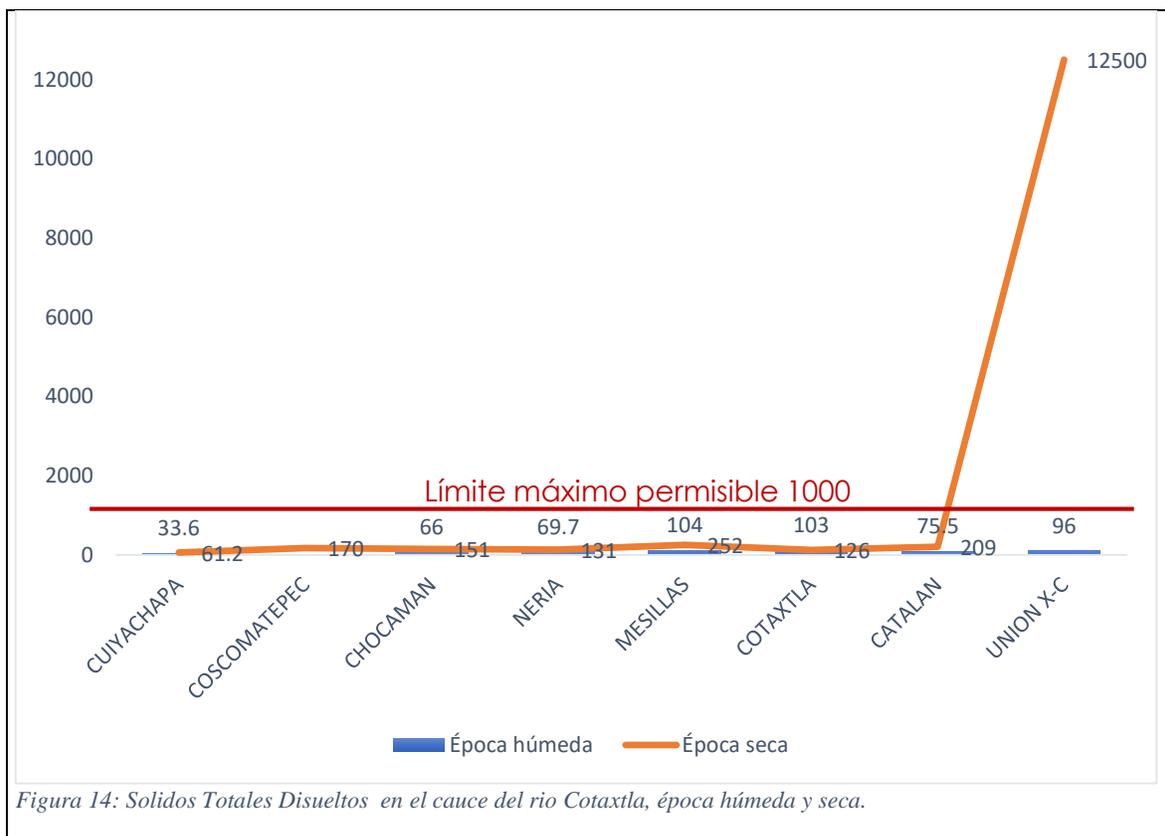


6.5 Tenerías

Existen oficialmente seis tenerías en el municipio de Coscomatepec, registradas con los números 4284717, 4420124, 4284726, 4420398, 4420265 y 4419638 (Rankeando, 2022), pero no cuentan con tratamientos de agua residual de ningún tipo. Se ha considerado que sus características de efluentes corresponden a la etapa de pelambre, las cuales suelen tener un pH de 12, DQO de $11,400 \text{ mg L}^{-1}$, DBO_5 de $2,873 \text{ mg L}^{-1}$, sulfuros 375 mg L^{-1} , nitrógeno total $1,026 \text{ mg L}^{-1}$, nitrógeno amoniacal 73 mg L^{-1} , sólidos totales disueltos $25,860 \text{ mg L}^{-1}$ y cloruros $7,142 \text{ mg L}^{-1}$ (Aguiar Roque *et al.*, 2017).

El tramo que se ve afectado por las aguas residuales de Coscomatepec es el Cuiyachapa-Coscomatepec-Chocaman-Neria, los datos obtenidos en el estudio fueron: en época húmeda el pH se mantuvo estable con un valor de 8.8 y 8.9 (Cuadro 5) en los sitios de muestreo, en estiaje hubo una variación desde 7.7 hasta 9 de pH (Cuadro 7), indicando un incremento en el sitio de muestreo de Neria. Para el caso de los nitratos hay un aumento significativo, ya que en Cuiyachapa se midió una concentración de 1.53 mg L^{-1} y en Neria se dispara a 19.5 mg L^{-1} (Cuadro 5) para la época húmeda. Aunque en la época seca el aumento para el caso de nitratos no es tan grande si hay variación, ya que la concentración cambia de 0.94 mg L^{-1} en Cuiyachapa a 1.62 mg L^{-1} en Neria (Cuadro 7). En cuanto a los sólidos totales disueltos la concentración se duplica de tener un valor de 33.6 mg L^{-1} en Cuiyachapa a 69.7 mg L^{-1} en Neria durante la época húmeda (Cuadro 5), algo similar a la época de seca ya que los valores fueron de 61.2 a 131 mg L^{-1} (Cuadro 7) respectivamente para esos sitios de muestreo. Los cloruros son otra propiedad fisicoquímica que cambia, la presencia de cloruros en el agua

puede ser de origen natural, contaminación por aguas servidas, residuos industriales, etc. (Norma Chilena 1333, 1978), en este estudio se puede apreciar en el aumento de concentración que va de No Detectable (ND) en Cuiyachapa a 1.48 mg L⁻¹ en Neria para la época húmeda (Cuadro 5), y de 2.96 a 7.41 mg L⁻¹ (Cuadro 7) para época de seca. Es posible que su origen sea natural, pero tomando en cuenta que antes del sitio de muestreo Neria se une el aporte del escurrimiento proveniente de las tenerías, es muy probable que esta actividad económica esté afectando las concentraciones de cloruros.



En cuanto a los STD se observa que hay un aumento considerable en el sitio pasando de 61.2 mg L⁻¹ a 170 mg L⁻¹ en el sitio de muestro Coscomatepec para la época seca (Figura 14), el aporte de las tenerías es considerable, puesto que hay una disminución en el sitio de muestreo de Chocaman y se mantiene para el siguiente sitio aguas abajo. Aunque las concentraciones de STD se mantienen dentro de los límites permitidos por la NOM-127-SSA1-1994, como se observa en la Figura 15 y 16, los sitios de muestreo Unión Jamapa-Cotaxtla y Boca del Río quedan fuera del LMP.

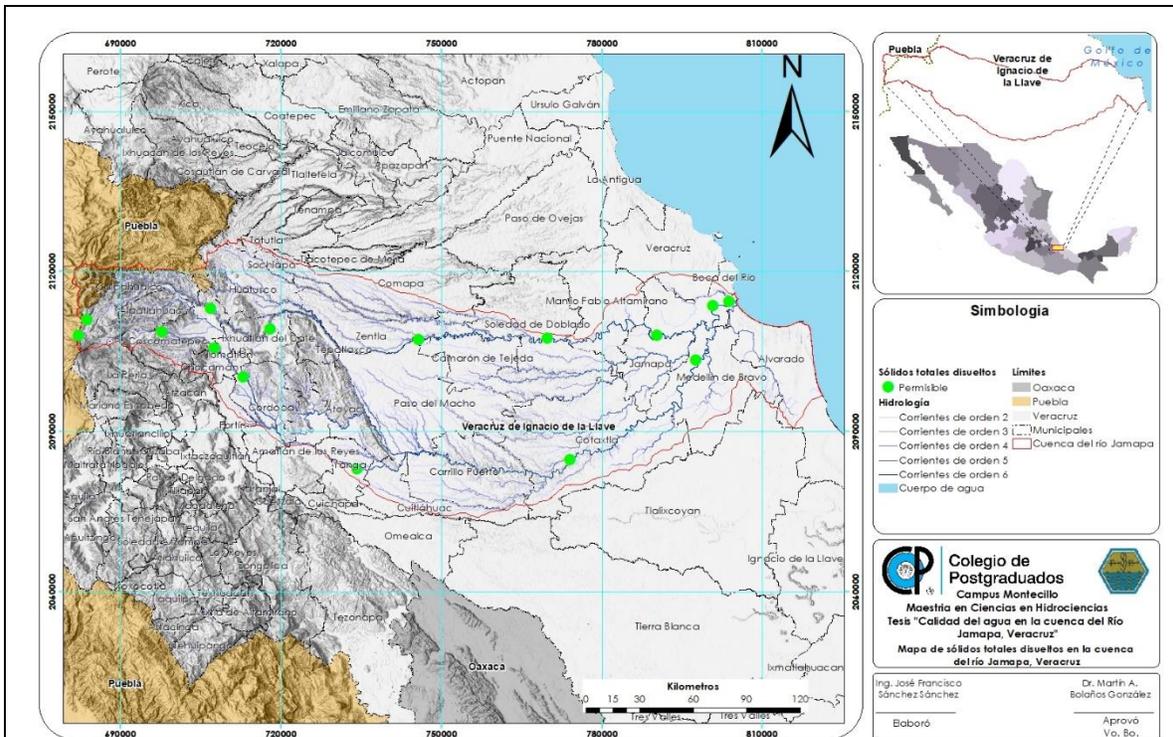


Figura 15: Mapa de Sólidos Totales Disueltos, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

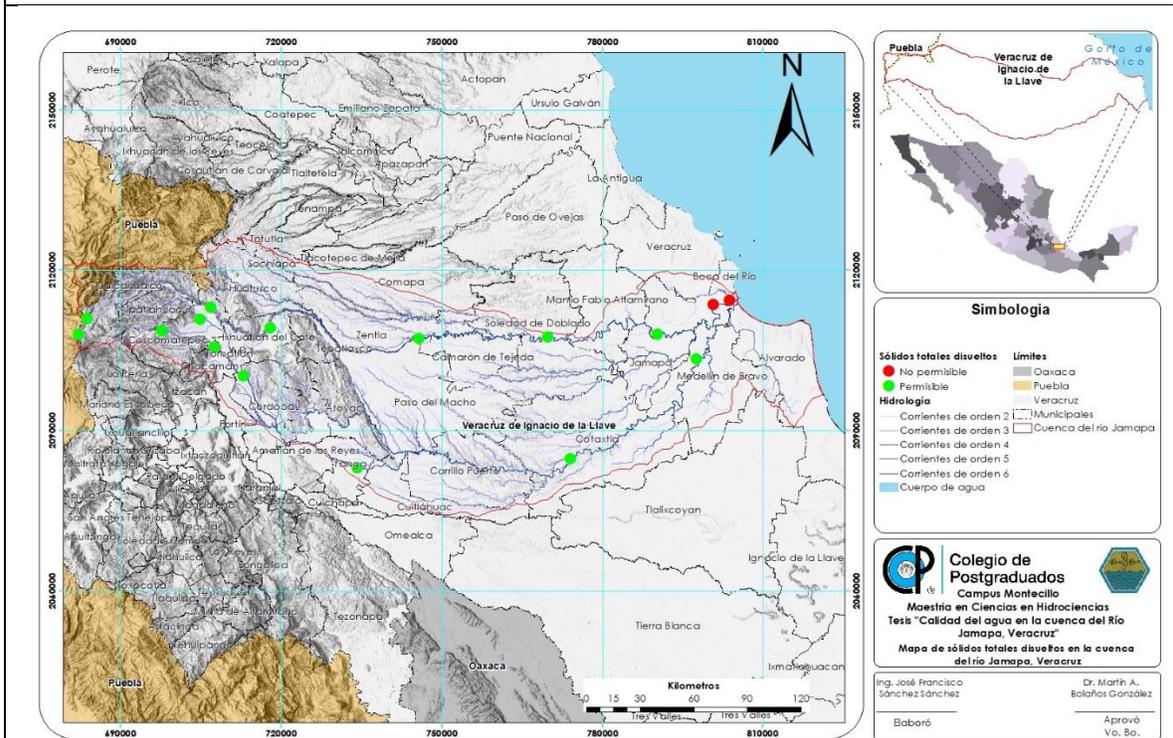


Figura 16: Mapa de Sólidos Totales Disueltos, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

6.6 Agricultura

Debido a que en los resultados de los análisis para la determinación de Multirresiduos de Plaguicidas no se detectó la presencia de plaguicidas, por lo que se puede afirmar que la actividad agrícola no genera un impacto negativo importante en cuanto a la calidad del agua del río Jamapa en este parámetro, aunque probablemente genere otro tipo de contaminantes como nitratos y fosfatos, derivados de la fertilización química, pero debido a que es una fuente difusa resulta complicado relacionarlo de manera inequívoca.

Con respecto al uso de suelo y vegetación el área en la cuenca para la agricultura ha sufrido modificaciones, lo cual se ve reflejado en las series 2 y 6 USV del INEGI, la agricultura de temporal anual (TA) ha disminuido de un 14.39 % a un 12.32%, para el caso de la agricultura de temporal y permanente (TAP) ha aumentado de un 5.67% a un 6.71%, en la agricultura anual y semipermanente (TAS) también hay un incremento de 7.54% a un 12.93% y por último la agricultura de temporal permanente (TP) disminuye de un 8.53% a un 7.53%, para la serie 2 en 1993 para la serie 6 en 2017 (ver Cuadro 3). Tomando en cuenta que el porcentaje para la agricultura ha ido en aumento, se puede considerar que a futuro puede generar un impacto negativo en la calidad del agua de la cuenca.

6.7 Ganadería

De acuerdo a FAO (2018), el escurrimiento y el percolado de nutrientes desde fuentes concentradas de residuos ganaderos son un peligro para las corrientes de agua dulce, así como para el ambiente marino y oceánico. Si no son manejadas en forma apropiada, el escurrimiento de nutrientes y la concentración excesiva de nitrógeno y fósforo pueden dañar los ecosistemas y las pesquerías costeras. Las descargas de estiércol y de lodos de pozos negros y las aguas residuales de la faena de animales y del procesamiento de alimentos también contribuyen a contaminar los recursos hídricos, a menos que se traten adecuadamente. La actividad ganadera en los municipios dentro de la cuenca representa el 47.2% del uso del suelo, con 1,675.09 km², con respecto al área total de la cuenca como se muestra en el Cuadro 2.

*Cuadro 4: Superficie dedicada a la ganadería en la cuenca del río Jamapa por municipio.
Fuente: (Instituto Nacional de Estadística y Geografía. INEGI, 2017).*

Municipio	Superficie (ha)	Municipio	Superficie (ha)	Municipio	Superficie (ha)	Municipio	Superficie (ha)
Alpatlahuac	664.00	Chocaman	28.00	Ixhuatlán del Café	98.00	Tepatlixco	493.00
Alvarado	40463.00	Comapa	18901.00	Jamapa	962.00	Tlaltetela	9291.00
Amatlán de los Reyes	220.00	Córdoba	178.00	La Perla	879.00	Tomatlán	250.00
Atoyac	17.00	Coscomatepec	6666.00	Manilo Fabio Altamirano	5397.00	Totutla	669.00
Boca del Río	686.00	Cotaxtla	18916.00	Medellín	19554.00	Veracruz	9520.00
Calchahuaco	2449.00	Cuitlahuac	2608.00	Paso del Macho	6278.00	Yanga	104.00
Camarón de Tejeda	3126.00	Fortín	17.00	Sochiapa	48.00	Zentla	3543.00
Carrillo Puerto	4289.00	Huatusco	888.00	Soledad de Doblado	10307.00	Total	167,509.00

Soledad de Doblado es uno de los municipios con mayor actividad ganadera al igual que Medellín y Jamapa en la zona baja de la cuenca por el lado del río Jamapa (ver Cuadro 4). De acuerdo a *Pinos et al.*, (2012) los constituyentes inorgánicos de importancia ambiental contenidos en las excretas del ganado son nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, sodio y manganeso están presentes en las excretas del ganado. Lo anterior se observa en los resultados del presente estudio, ya que en la zona ganadera de la cuenca específicamente en el tramo de los puntos de muestreo Soledad de Doblado a Jamapa se observó un incremento en la concentración en los nitratos de 1.56 a 3.31 mg L⁻¹, fosfatos de 0.03 a 0.1 mg L⁻¹, potasio de 0.89 a 1.58 mg L⁻¹, calcio de 9.59 a 13.6 mg L⁻¹, magnesio de 2.1 a 3.89 mg L⁻¹ y sodio de 1.25 a 3.37 mg L⁻¹ para la época húmeda (ver Cuadro 6). Para el caso de la época seca ocurrió algo similar en los nutrientes, ya que hay un aumento en el punto de muestreo Jamapa con respecto al de Soledad de Doblado (ver Cuadro 8). Para el caso del tramo Jamapa a Unión Jamapa-Cotaxtla pasó algo similar con los nutrientes, ya que Medellín se encuentra en este tramo de muestreo y su influencia ganadera se ve reflejada en los resultados del presente estudio (ver Cuadros 6 y 8).

6.7.1 Establos lecheros

Según Magdalena *et al.* (2014) el pH para los efluentes de establos lecheros es de 6.94, en cuanto a nitrógeno total se tienen un valor típico de 12.66 mg L⁻¹, para la conductividad eléctrica 2.64 dS m⁻¹, para el caso del calcio los valores van desde los 3.3 hasta 33 mg L⁻¹ en algunos ranchos, para el magnesio las concentraciones son altas, ya que su valor es de 80 mg L⁻¹ y por último tenemos los sólidos totales disueltos con un valor promedio de 85.39 mg L⁻¹.

Para el presente estudio, la conductividad eléctrica en la zona baja de la cuenca se presentó un incremento de 0.07 a 0.11 dS m⁻¹ en los sitios de muestreo Soledad de Doblado y Jamapa respectivamente para la época húmeda (ver Cuadro 6 y Fig. 18) puesto que la zona ganadera con mayor superficie en la cuenca se encuentra en Medellín (Cuadro 4) y de 0.2 a 0.31 dS m⁻¹ en los sitios de muestreo Cotaxtla y Catalán, respectivamente, para la época seca (ver Cuadro 7 y Fig. 17), ya que también Cotaxtla cuenta con una superficie considerable dedicada a la ganadería (ver Cuadro 4).

Los mapas con respecto a la Conductividad Eléctrica en la época seca y húmeda, Figuras 19 y 20, muestran los cambios principalmente del sitio de muestreo Unión Jamapa-Cotaxtla y Boca del Río, ya que pasan de un valor Permisible a No Permisible, según la NOM-127-SSA1-1994, como se puede observar. Lo anterior lo podemos atribuir a que de manera natural la conductividad eléctrica tiene a incrementar en zonas bajas de la cuenca dada la influencia del frente marino y no por actividad ganadera.

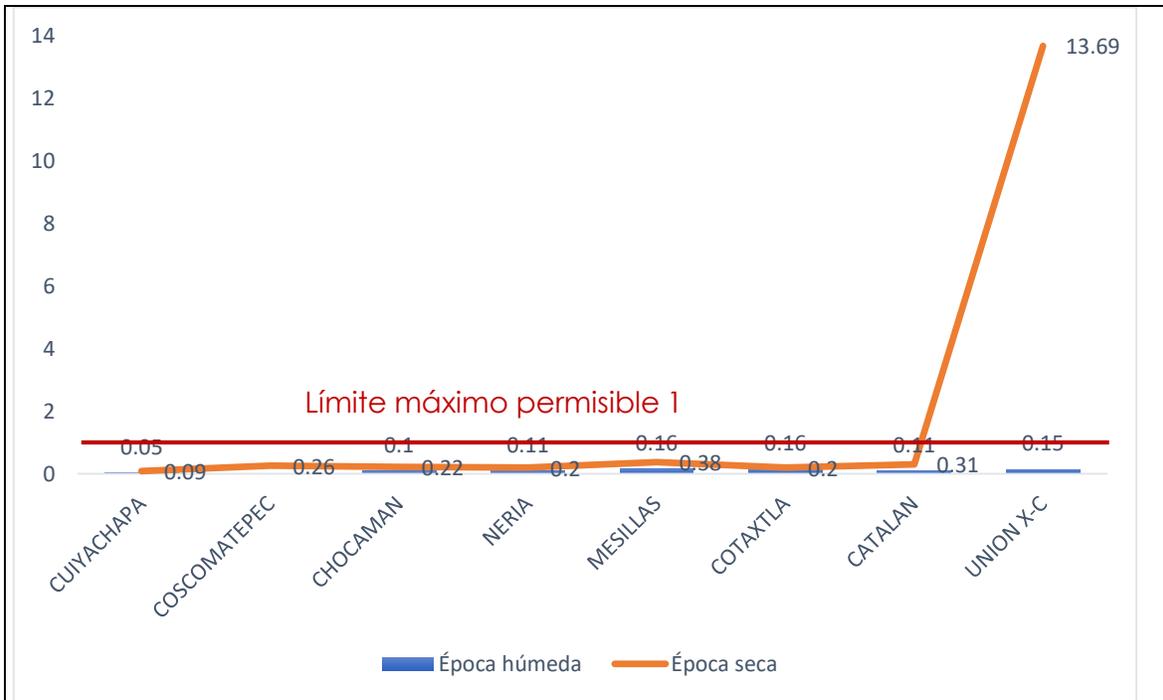


Figura 17: Conductividad Eléctrica en el cauce del río Cotaxtla, época húmeda y seca.

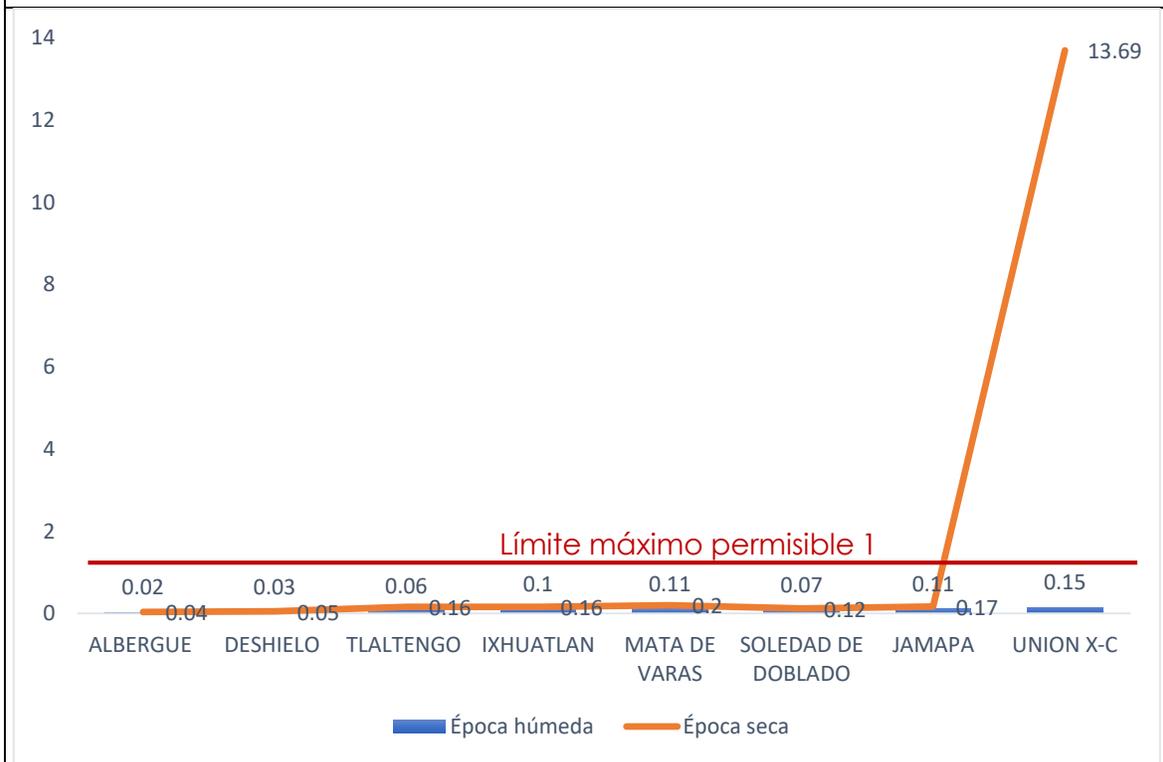


Figura 18: Conductividad Eléctrica en el cauce del río Jamapa, época húmeda y seca.

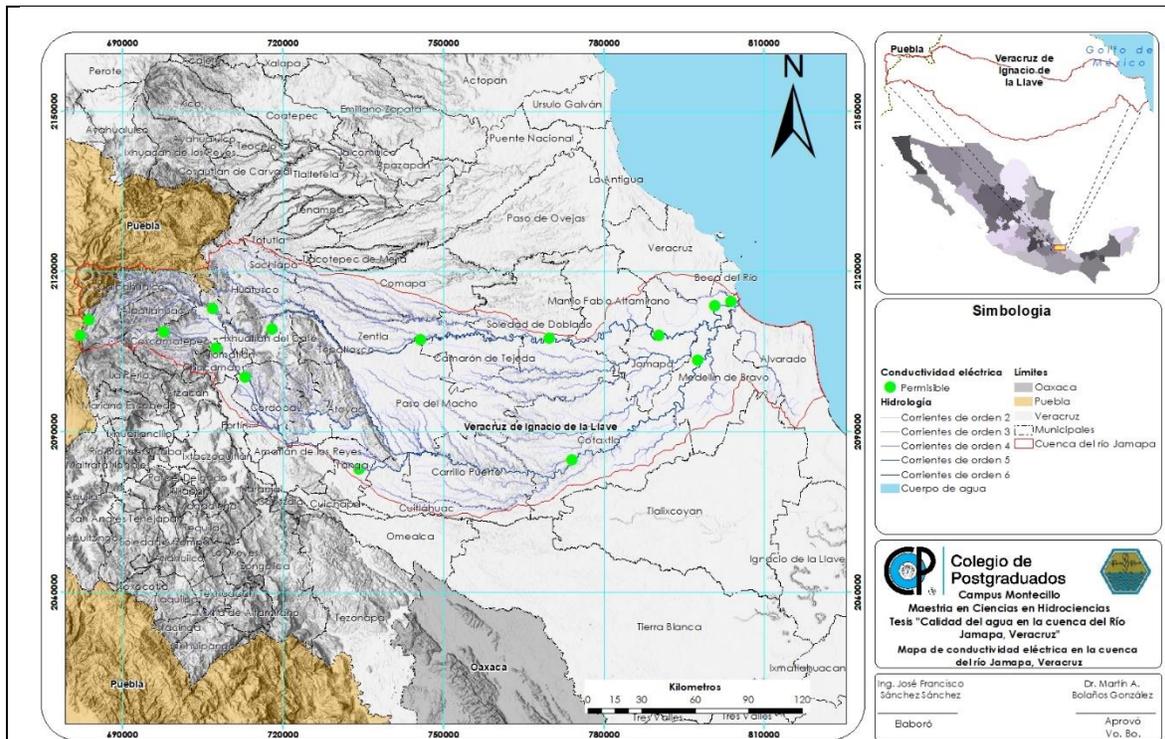


Figura 19: Mapa de Conductividad Eléctrica, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

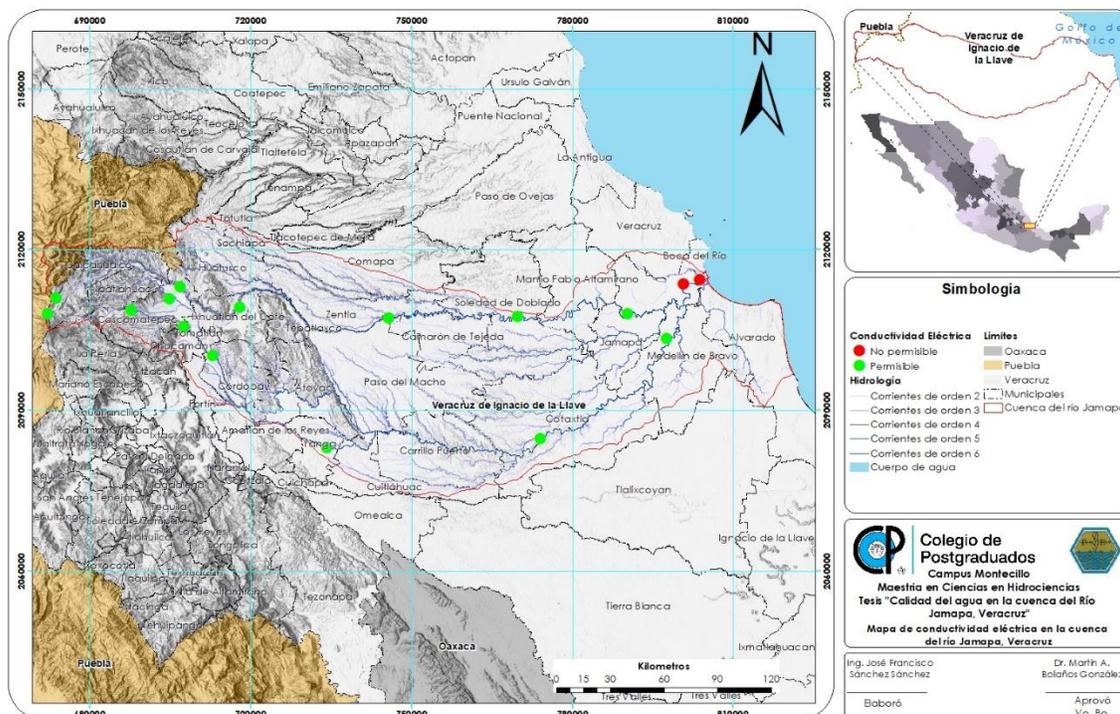


Figura 20: Mapa de Conductividad Eléctrica, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

6.7.2 Rastros municipales

En la cuenca se asienta el rastro ubicado en el municipio de Medellín, registrado con el nombre Obradores de Medellín, el cual cuenta con una capacidad instalada para 30 cabezas de ganado bovino y una capacidad promedio mensual de 747 sacrificios (SENASICA, 2022). De acuerdo a Vallejo Rodríguez *et al.* (2019) los efluentes tienen un valor del pH de 7.5, conductividad eléctrica 1.5 dS m⁻¹, grasas y aceites 2.6 mg L⁻¹ y sólidos totales disueltos 8.75 como valores promedio con referencia a las aguas residuales de los rastros municipales.

Lo anterior se refleja en los resultados obtenidos en el presente estudio, ya que los cambios de pH en los puntos de muestreo de Cotaxtla, Catalán, Soledad de Doblado y Jamapa, que es la zona con mayor actividad ganadera, probablemente se deban a los desechos producidos por esta actividad. En el caso de nitratos se ve mayormente reflejado en el punto de muestreo Unión Jamapa-Cotaxtla, pues pasa de un valor de 0.83 mg L⁻¹ en el sitio de muestreo Catalán a 1.99 mg L⁻¹ (Cuadro 5) para la época de lluvias. En el caso del calcio, los valores van desde 18.8 a 24 mg L⁻¹ (Cuadro 5) en el tramo Mesillas a Cotaxtla por el lado del río Cotaxtla para la época de lluvias y de Jamapa a Unión Jamapa-Cotaxtla los valores se incrementan de 13.6 a 20.67 mg L⁻¹ (Cuadro 6) para la época de húmeda por el lado del río Jamapa. En la época de seca el calcio tiene un incremento de concentraciones (Cuadro 7 y 8) sobre todo en el punto Unión Jamapa-Cotaxtla.

El magnesio tiene un comportamiento semejante, ya que se afectó en los mismos tramos que en el caso del calcio con un valor de 4.96 mg L⁻¹ para el punto de muestreo Mesillas, 8.18 mg L⁻¹ para el punto Mata de Varas y 383.6 mg L⁻¹ para la Unión Jamapa-Cotaxtla (Cuadro 7 y 8) para la época de seca.

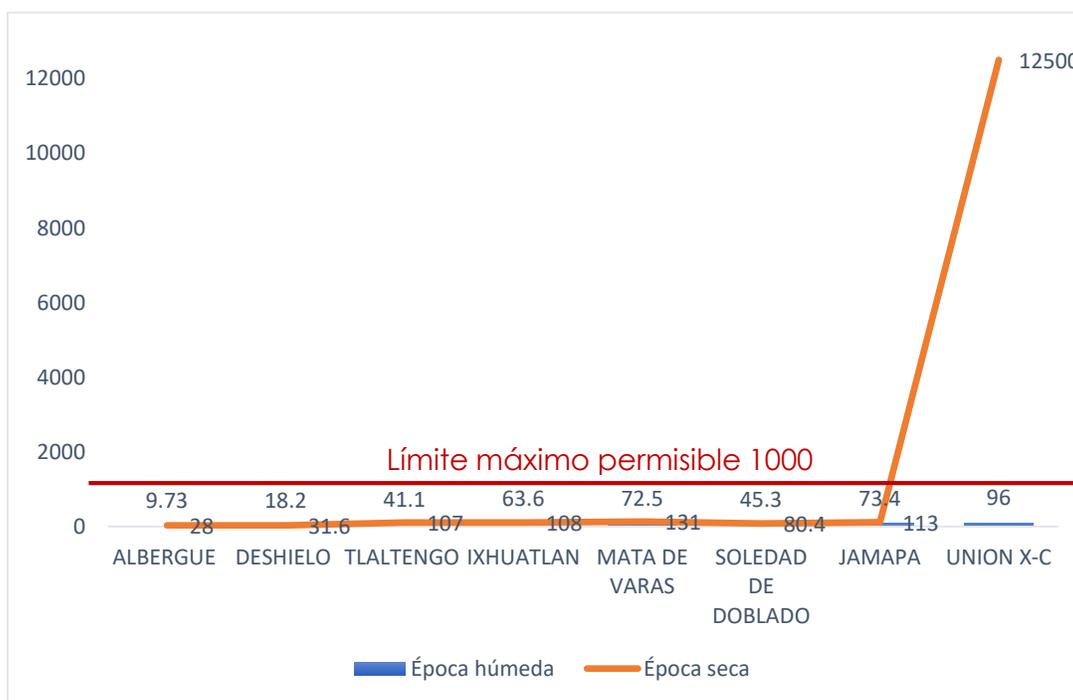


Figura 21: Sólidos Totales Disueltos en el cauce del río Jamapa, época húmeda y seca.

Los STD también son afectados por los rastros municipales, como se puede observar en la Figura 21 que en el sitio de muestreo Jamapa la concentración es de 113 mg L^{-1} y en Unión Jamapa-Cotaxtla es $12,500 \text{ mg L}^{-1}$ esto debido a que entre estos dos sitios de muestreo se encuentra el rastro de Medellín, lo que ocasiona que las concentraciones de STD se disparen fuera del Límite Máximo Permisible por las aportaciones de descarga al afluente del río Jamapa.

6.8 Drenaje Doméstico

El desarrollo de la civilización e incremento desmedido de la población ha generado un vertido desordenado de residuos a los cursos de agua, contaminando con organismos patógenos intestinales variados procedentes de heces humanas y animales (Olivas-Enriquez *et al.*, 2011).

6.8.1 Coliformes

La NOM-127-SSA1-1994 (Fernandez, 1994) especifica que el Límite Máximo Permisible para coliformes Totales es 2 NMP/100 ml y para coliformes Fecales debe ser No detectable NMP/100 ml para agua de consumo humano.

6.8.2 Aguas residuales domesticas

De acuerdo a Ontiveros-Capurata *et al.*, (2013) el pH de las aguas residuales domésticas oscila alrededor de 7.6, la conductividad eléctrica es de 1.8 dS m^{-1} , Solidos Totales 1277 mg L^{-1} , sodio 113 mg L^{-1} , potasio 39.5 mg L^{-1} , calcio 34 mg L^{-1} , magnesio 17.9 mg L^{-1}

6.8.3 Aguas grises

Las aguas provenientes del uso doméstico, tales como el lavado de utensilios y de ropa, así como el baño de las personas tienden a modificar las propiedades fisicoquímicas del agua, según (Murcia-Sarmiento *et al.*, 2014) las concentraciones típicas de estas descargas son las siguientes N-NO_3 0.09 mg L^{-1} , PO_4 1.55 mg L^{-1} , SO_4 57.23 mg L^{-1} , Na 34.99 mg L^{-1} , Ca 15.26 mg L^{-1} y Mg 3.64 mg L^{-1} .

Con relación al presente estudio se puede observar en las Figuras 22 y 23 que los niveles de las concentraciones de calcio en la época húmeda se mantienen constantes, por lo que podemos inferir que es debido a las aportaciones de las descargas de asentamientos humanos, con excepción de los sitios de muestreo donde se ven afectados por otra actividad económica, respecto a la época seca, el comportamiento es similar, pero se dispara en el sitio de muestreo Unión Jamapa-Cotaxtla. Pasa algo similar con respecto al magnesio como se puede observar en las Figuras 24 y 25.

Los mapas con respecto a la concentración de calcio (Figura 26 y 27) y a magnesio (Figuras 28 y 29) reafirman lo que anteriormente se menciona, y muestran el comportamiento de las concentraciones en el sitio de muestreo Unión Jamapa-Cotaxtla y Boca del Río con respecto a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.

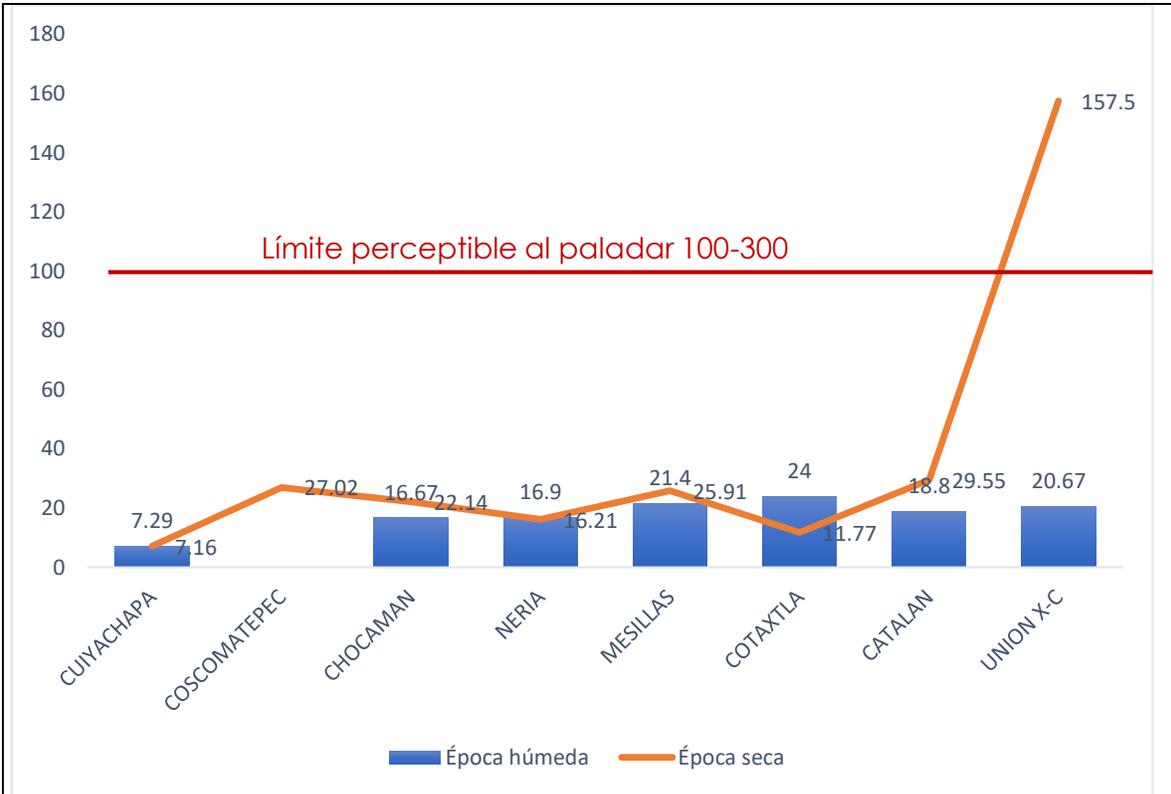


Figura 22: Calcio en el cauce del río Cotaxtla, época húmeda y seca.

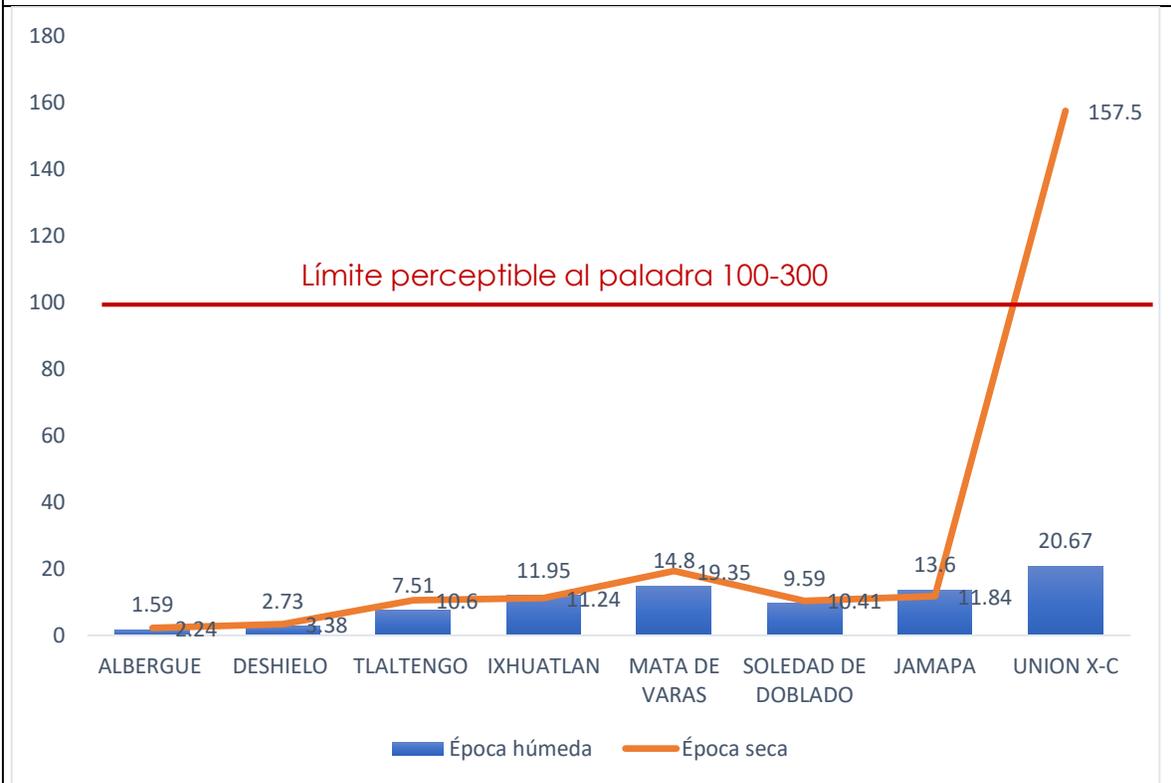


Figura 23: Calcio en el cauce del río Jamapa, época húmeda y seca.

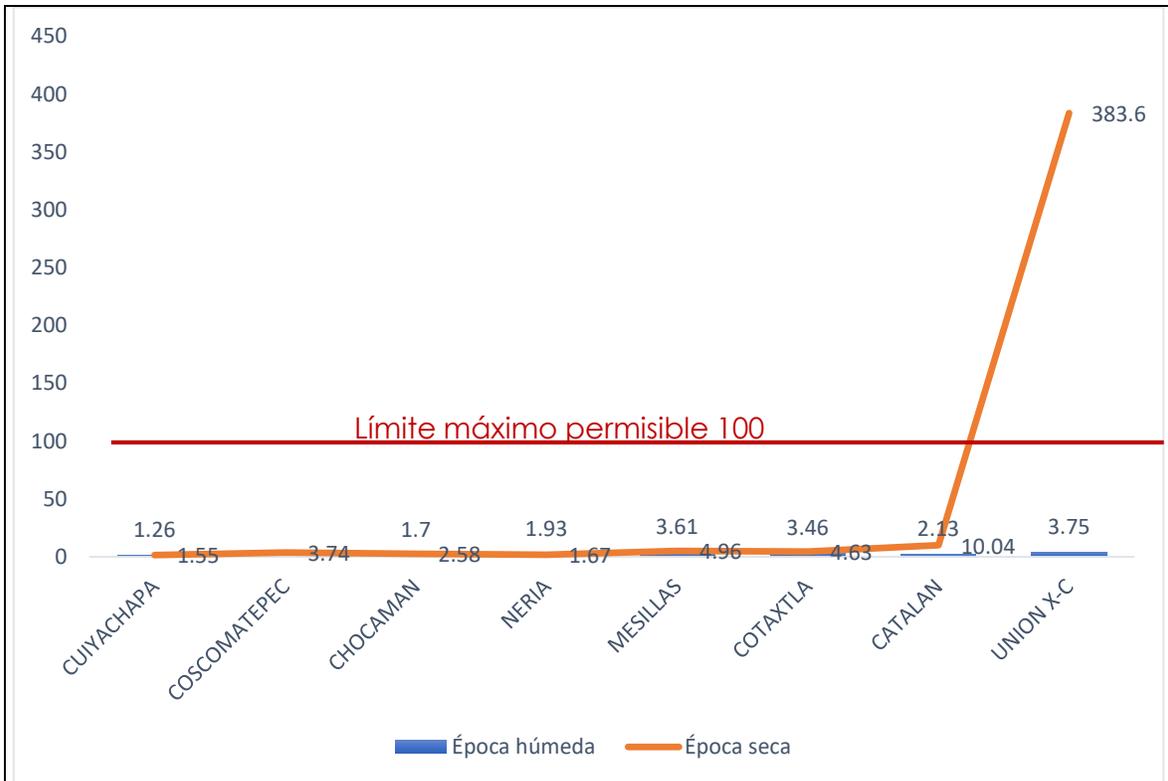


Figura 24: Magnesio en el cauce del rio Cotaxtla, época húmeda y seca.

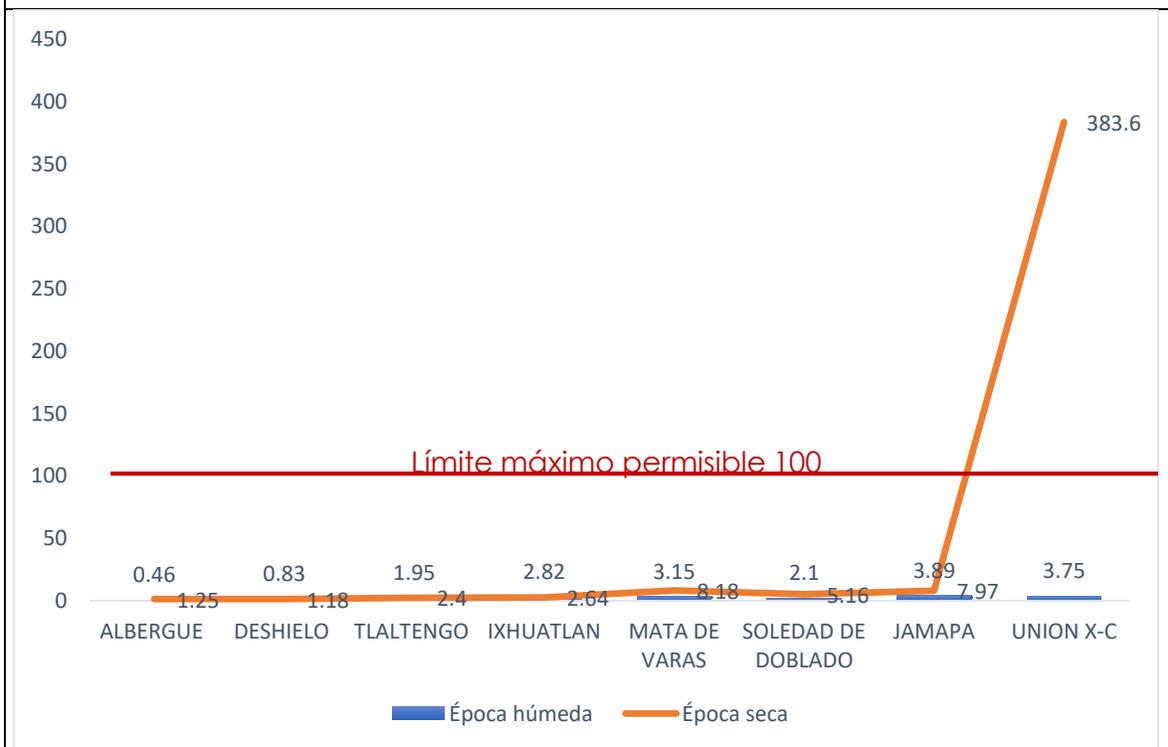


Figura 25: Magnesio en el cauce del rio Jamapa, época húmeda y seca.

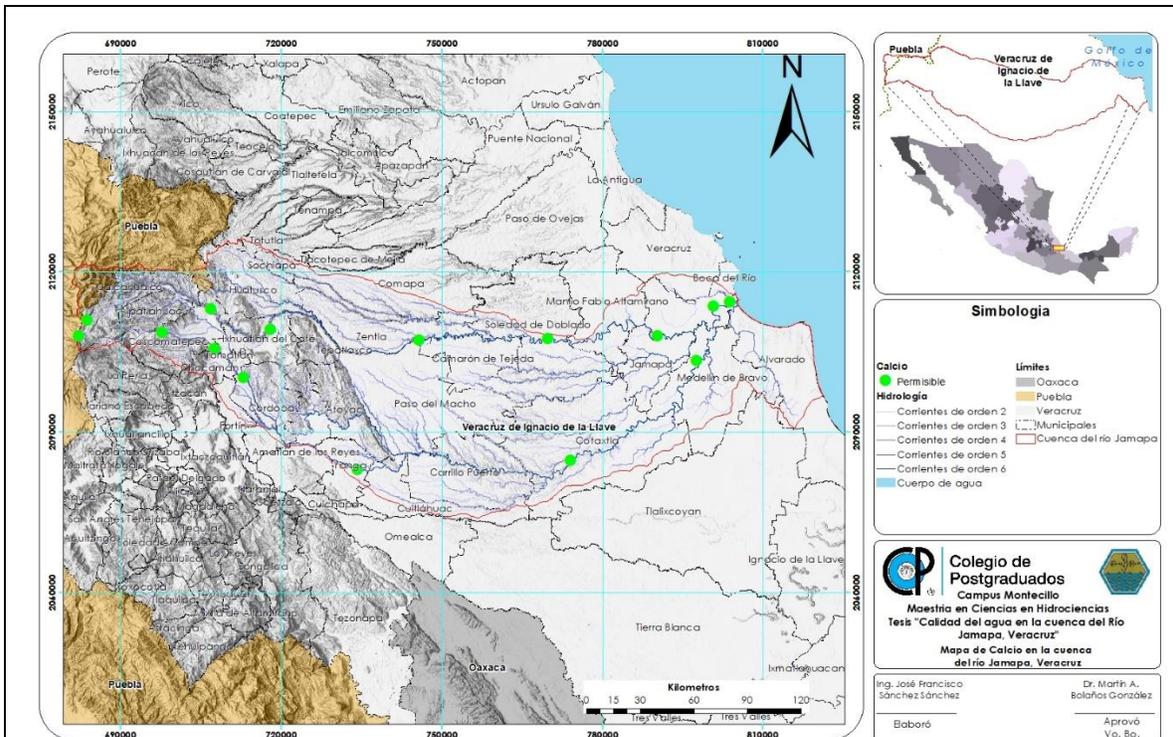


Figura 26: Mapa de Calcio, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

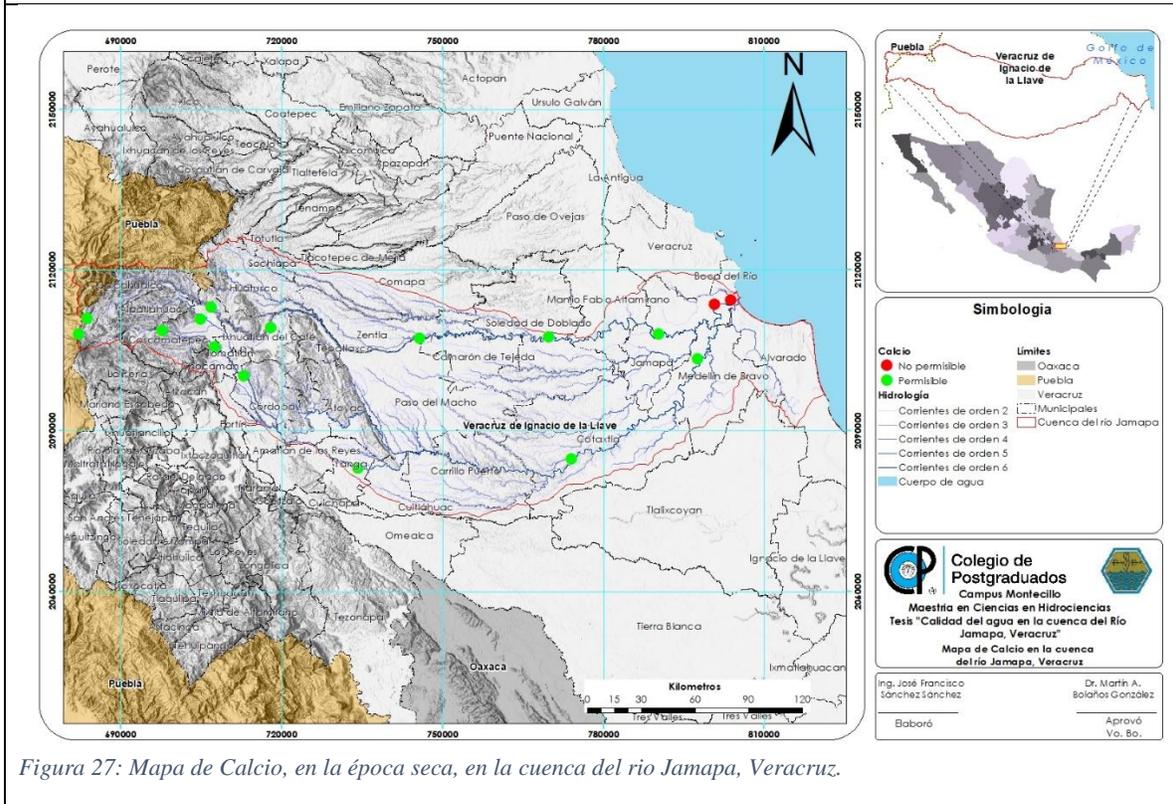
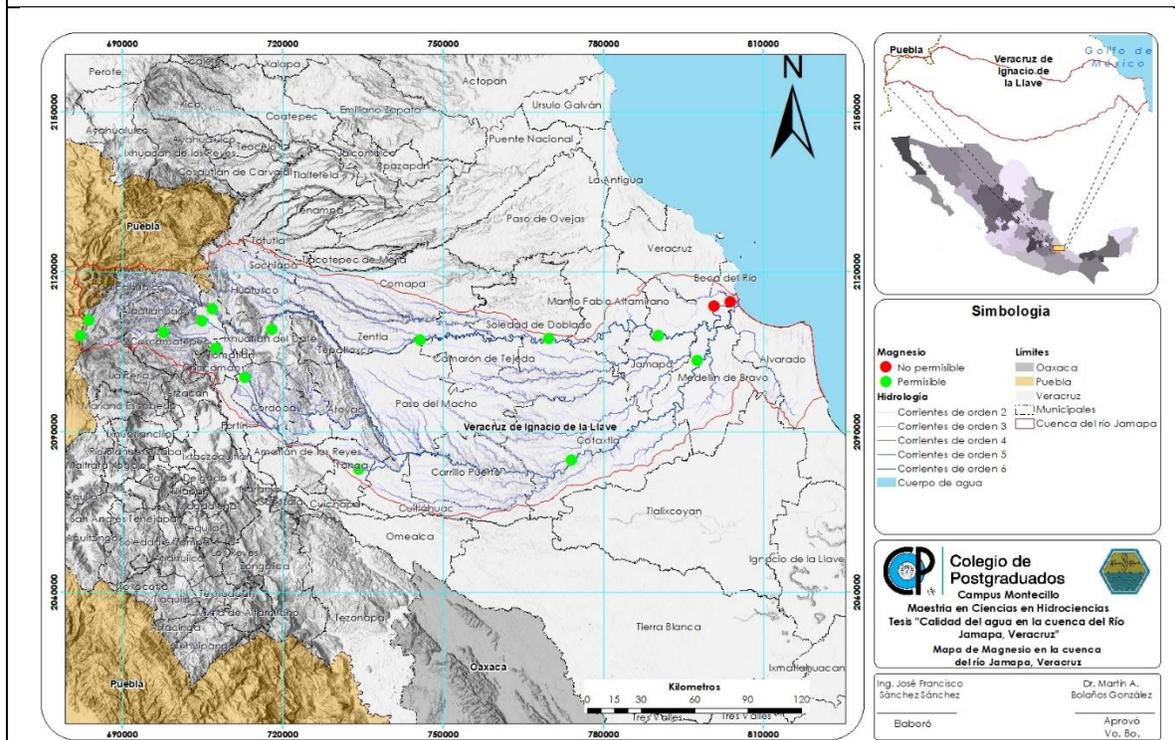
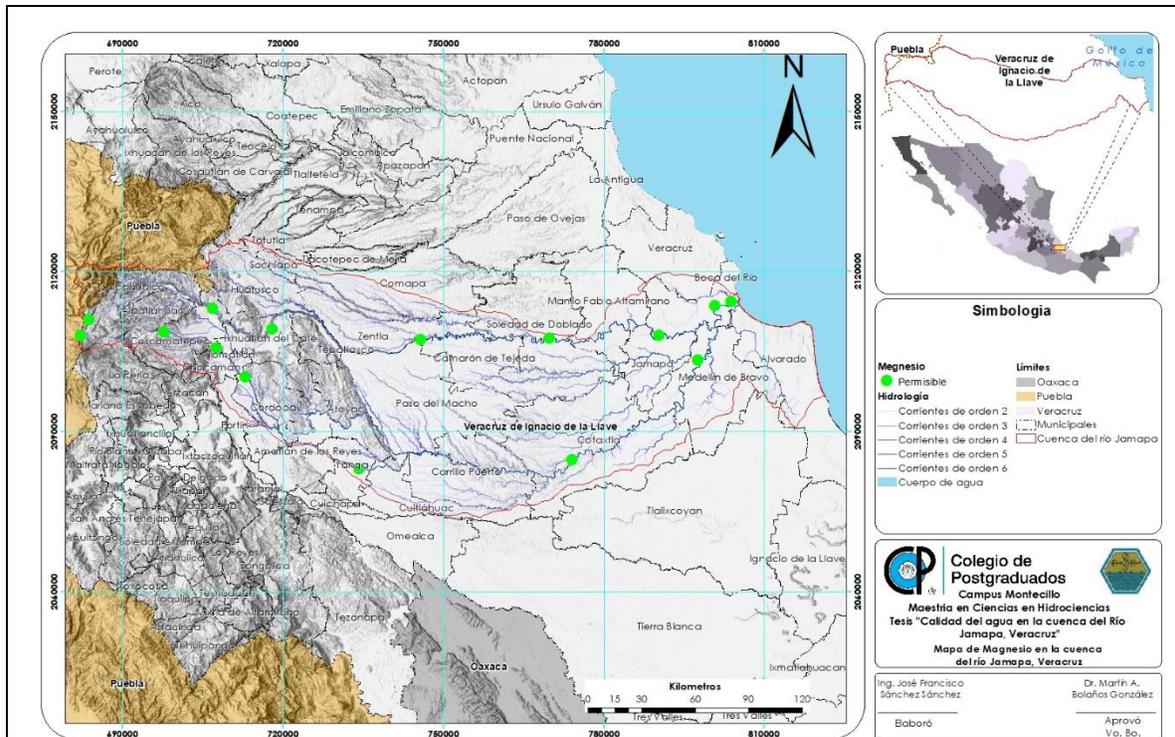
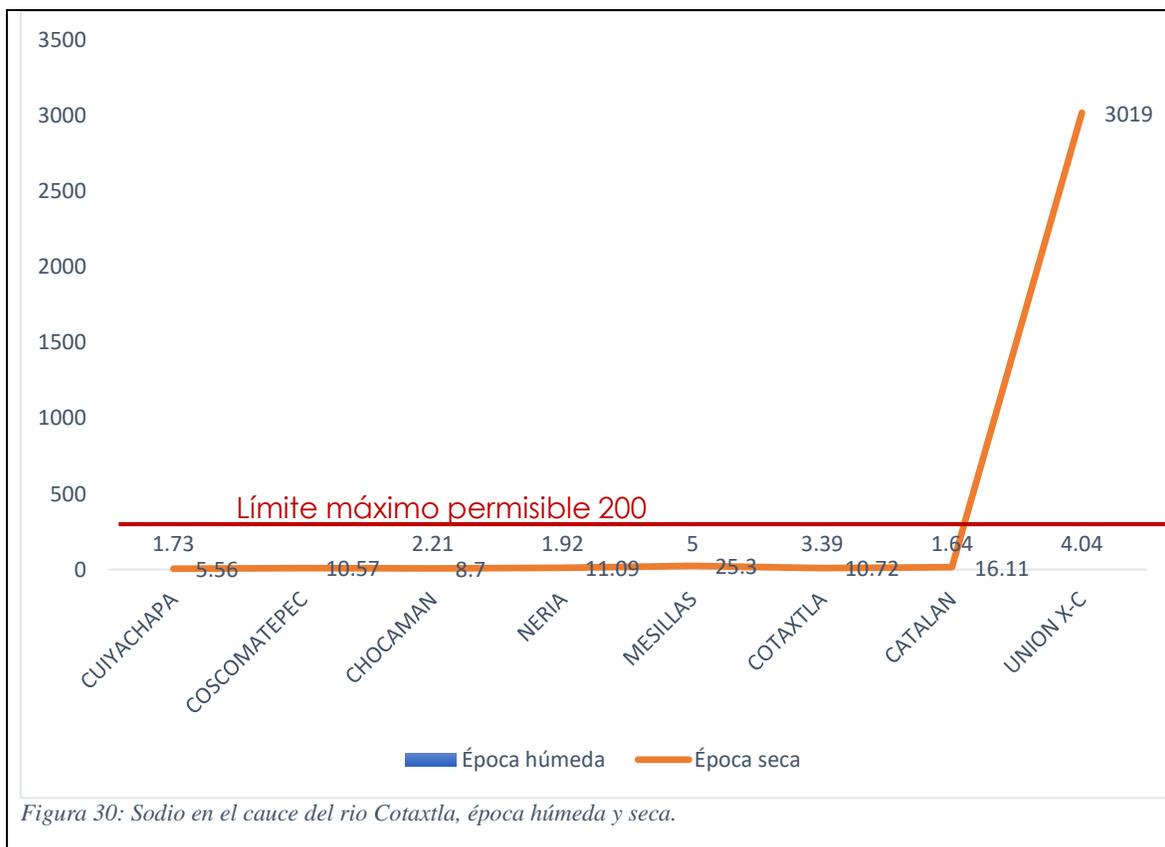


Figura 27: Mapa de Calcio, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.



Con base a lo anterior, y como se observa en los resultados obtenidos, las descargas de aguas residuales domésticas afectan la calidad del agua en la cuenca del río Jamapa en sus dos afluentes principales: río Jamapa y río Cotaxtla.

La concentración de sodio (Na) se incrementa notablemente en el punto de muestreo Unión Jamapa-Cotaxtla, ya que en la época de seca se tiene una concentración de 2,658 mg L⁻¹, lo que lo deja fuera de rango del límite permisible según la NOM-127-SSA1-1994 (Fernandez, 1994).



Las concentraciones de Sodio (Na) a lo largo del cauce, son muy pequeñas y, al igual que el calcio y el magnesio, se mantienen constantes como se observa en las Figuras 30 y 31; sin embargo, en los sitios de muestreo próximos a la desembocadura, Unión Jamapa-Cotaxtla y Boca del Río se incrementa notablemente su concentración en la época seca, encontrándose fuera del LMP según la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.

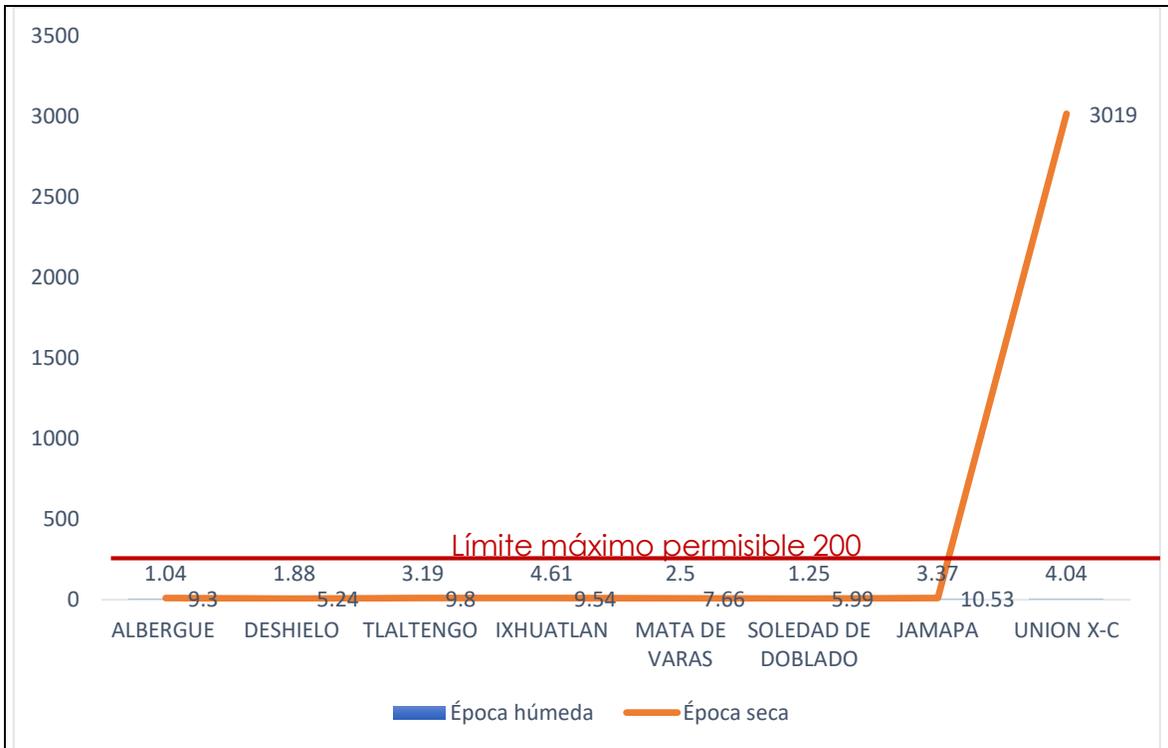


Figura 31: Sodio en el cauce del río Jamapa, época húmeda y seca.

De acuerdo a los resultados obtenidos en los análisis, se observa que para la época de lluvias en los sitios de muestreo de Albergue y Deshielo no hay presencia de Coliformes Fecales y Totales, pero en la época seca hay presencia de ambos en todos los sitios de muestreo (Cuadro 9), lo que demuestra que las descargas de drenaje de los asentamientos humanos a lo largo de toda la cuenca están impactando directamente al río Jamapa.

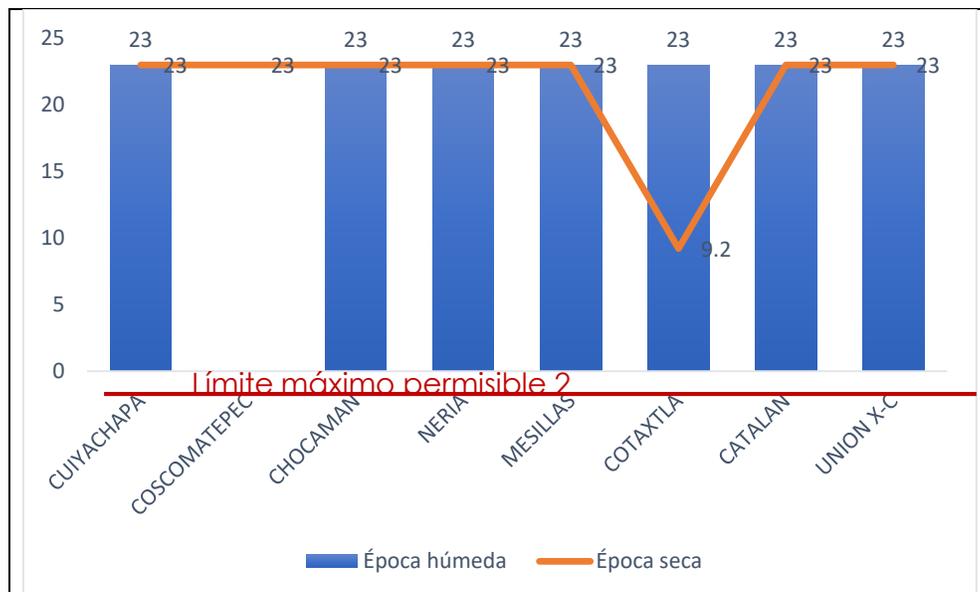


Figura 32: Coliformes Totales en el cauce del río Cotaxtla, época húmeda y seca.

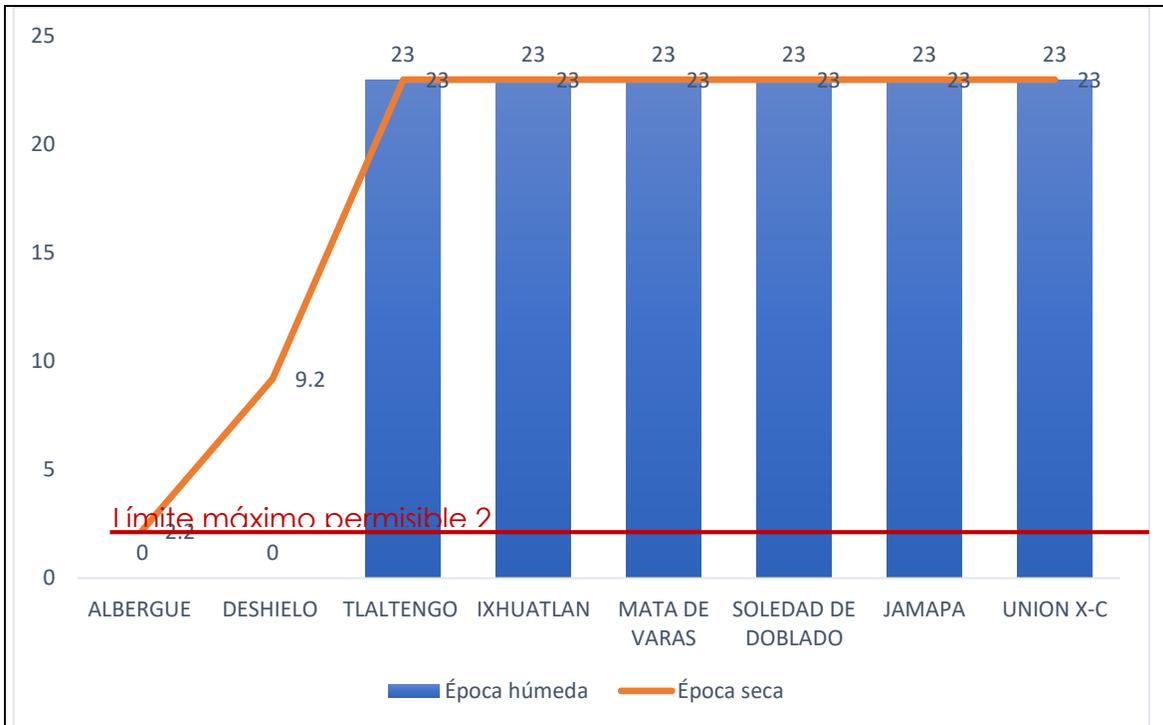


Figura 33: Coliformes Totales en el cauce del rio Jamapa, época húmeda y seca.

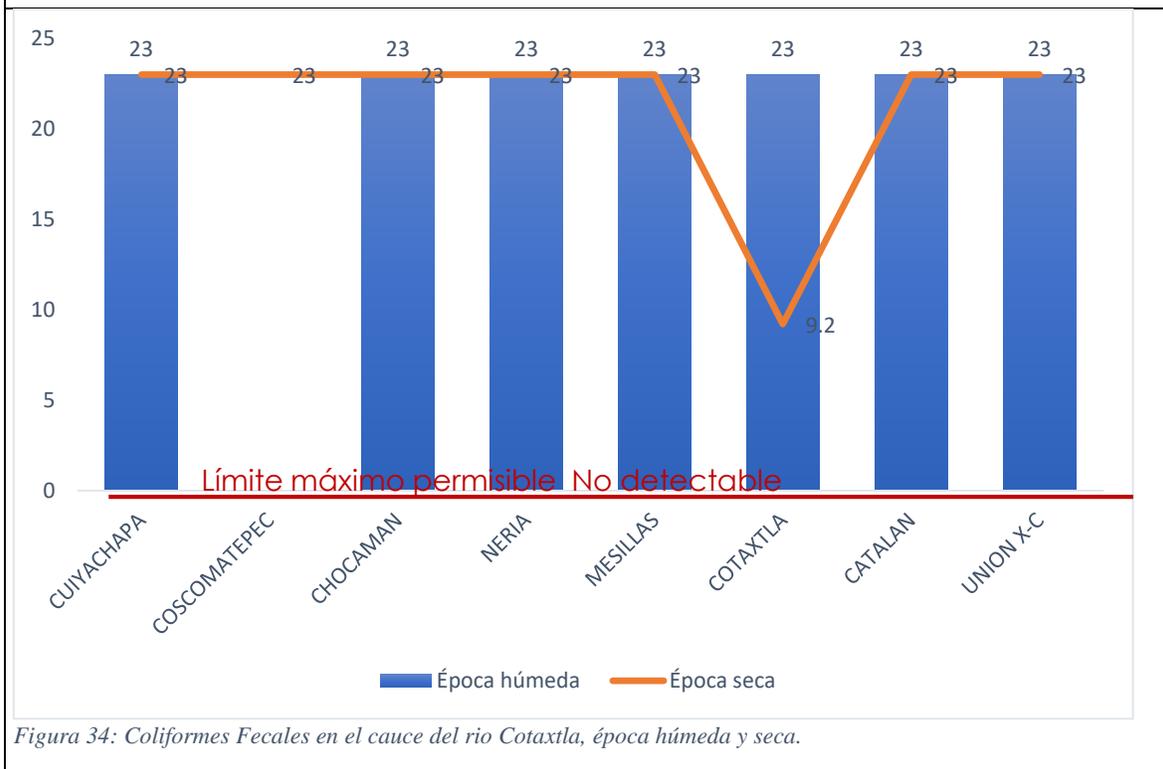
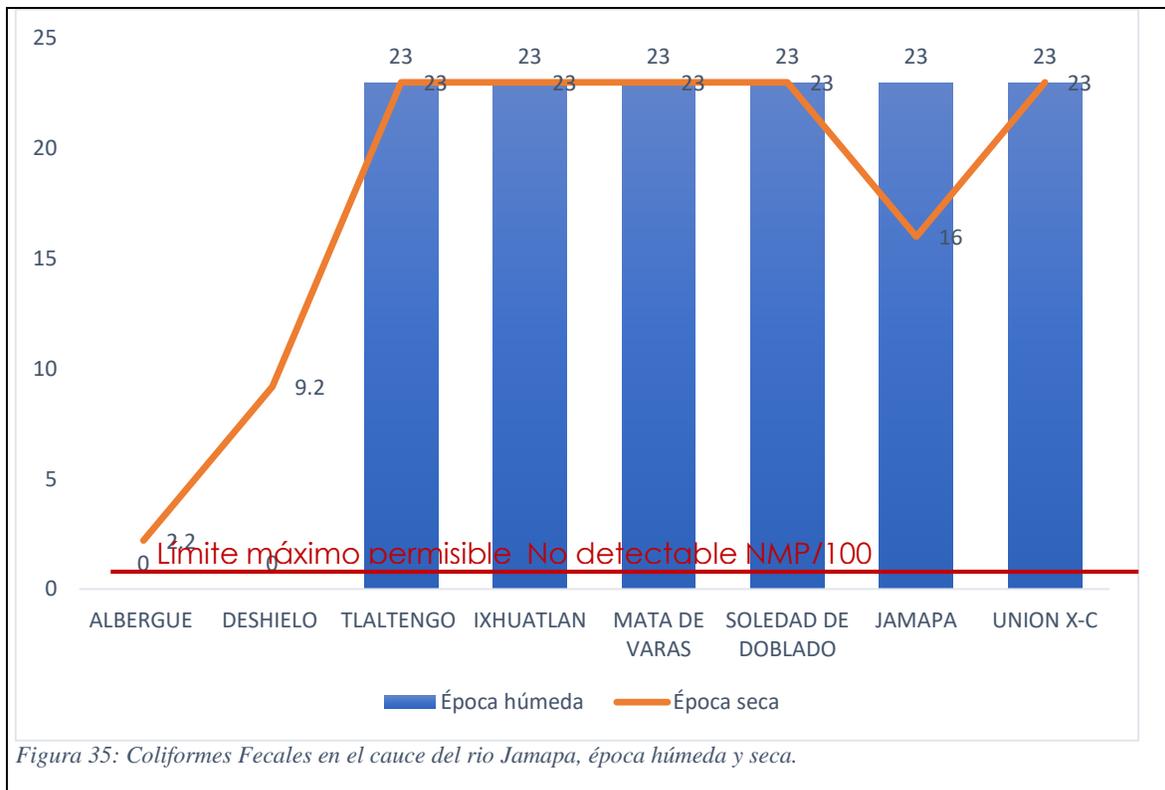


Figura 34: Coliformes Fecales en el cauce del rio Cotaxtla, época húmeda y seca.



Como se observa en las Figuras 32, 33, 34 y 35 los valores en cuanto a Coliformes Fecales y Totales se mantuvieron a casi constantes en el cauce Jamapa y en el cauce Cotaxtla a partir del primer sitio de muestreo cercano a las poblaciones, Tlaltengo para el río Jamapa y Cuiyachapa para el río Cotaxtla, lo que indica la influencia de las descargas domésticas y aguas grises en la concentración de Coliformes.

Además, las Figuras 36, 37, 38 y 39 muestran de manera espacial que los únicos sitios de muestreo sin presencia de Coliformes son Albergue y Deshielo en la época húmeda.

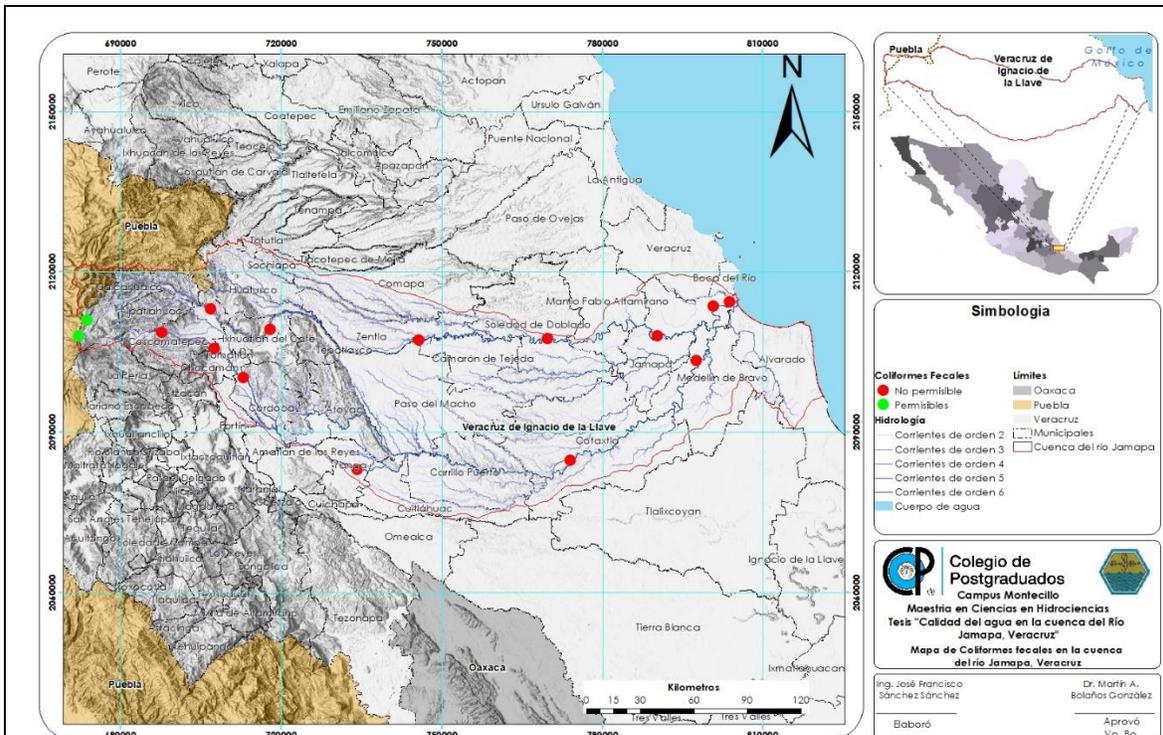


Figura 36: Mapa de Coliformes Fecales, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

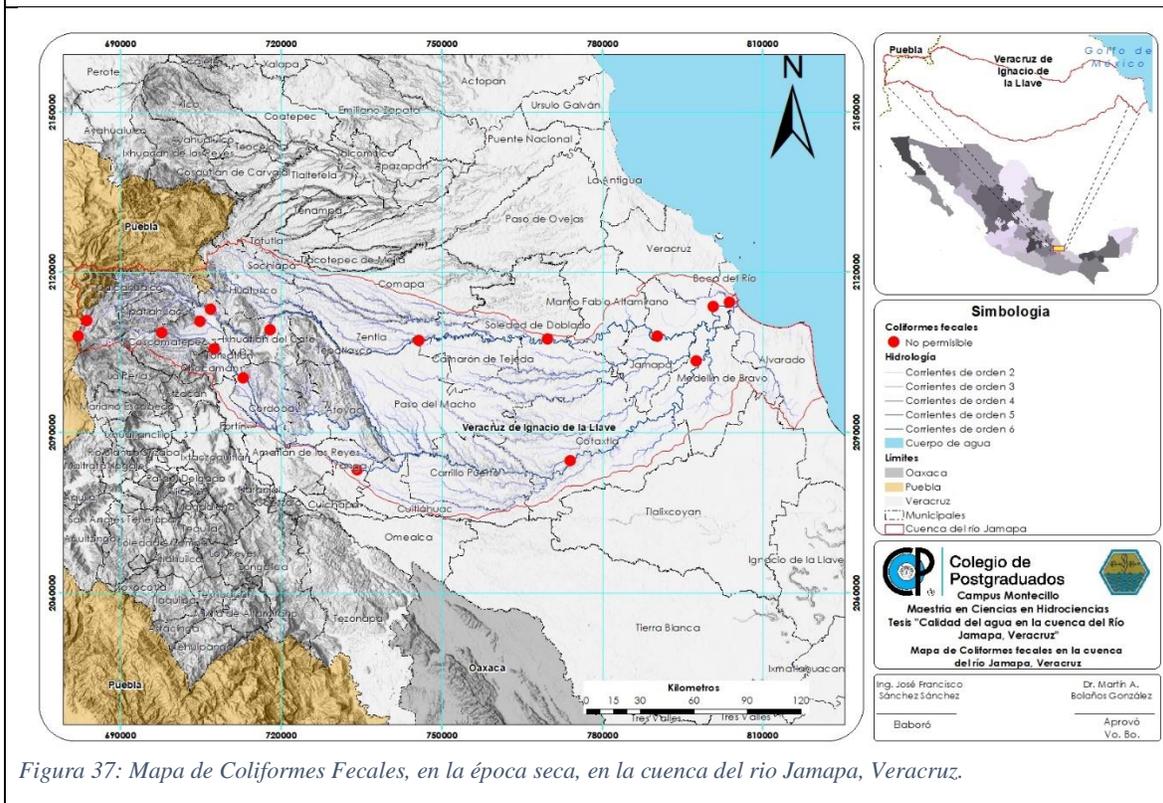


Figura 37: Mapa de Coliformes Fecales, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

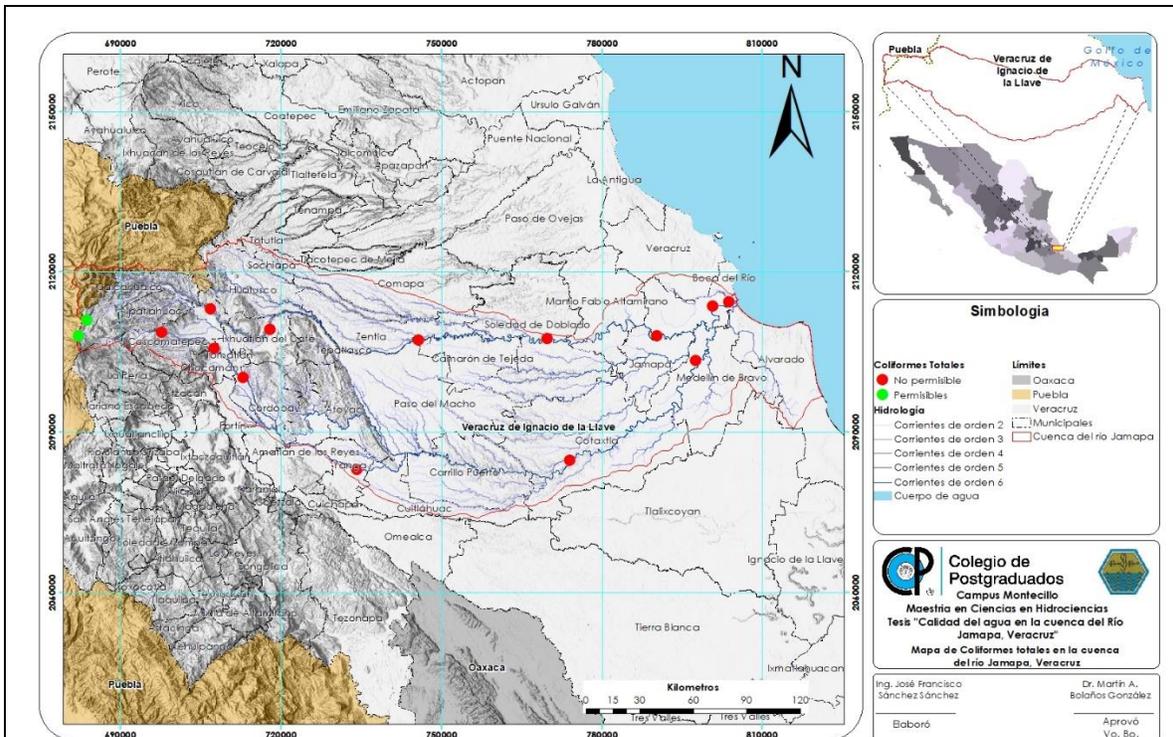


Figura 38: Mapa de Coliformes Totales, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

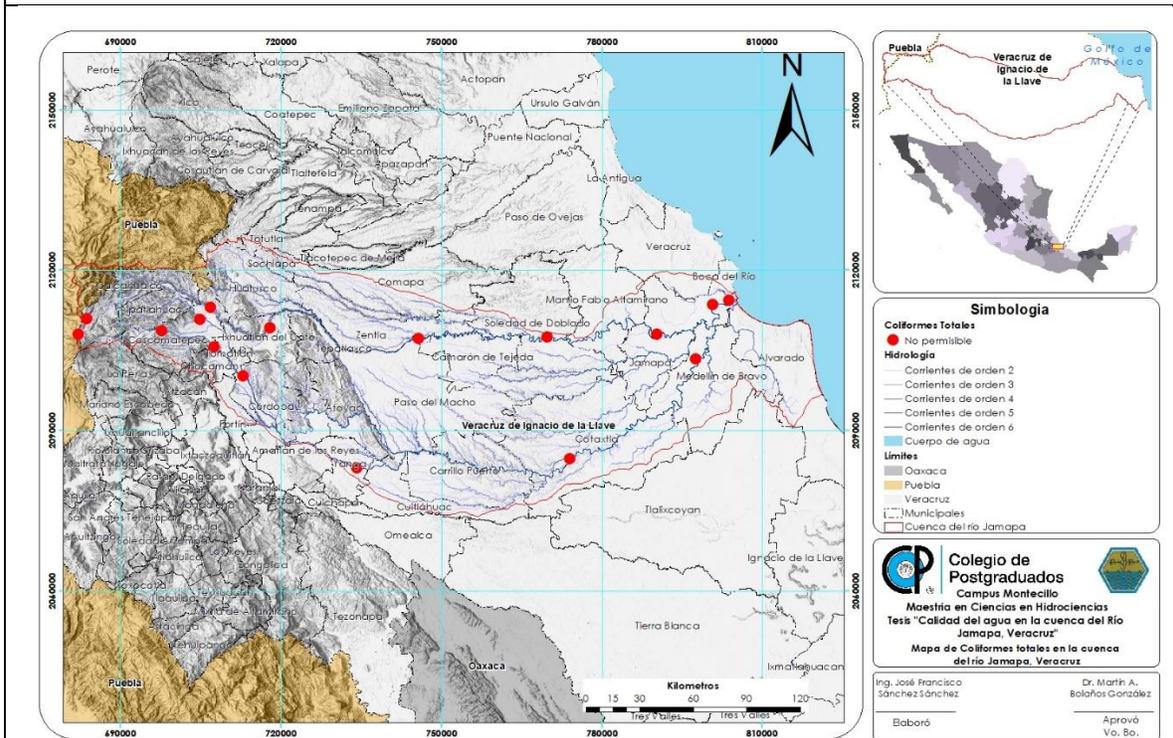
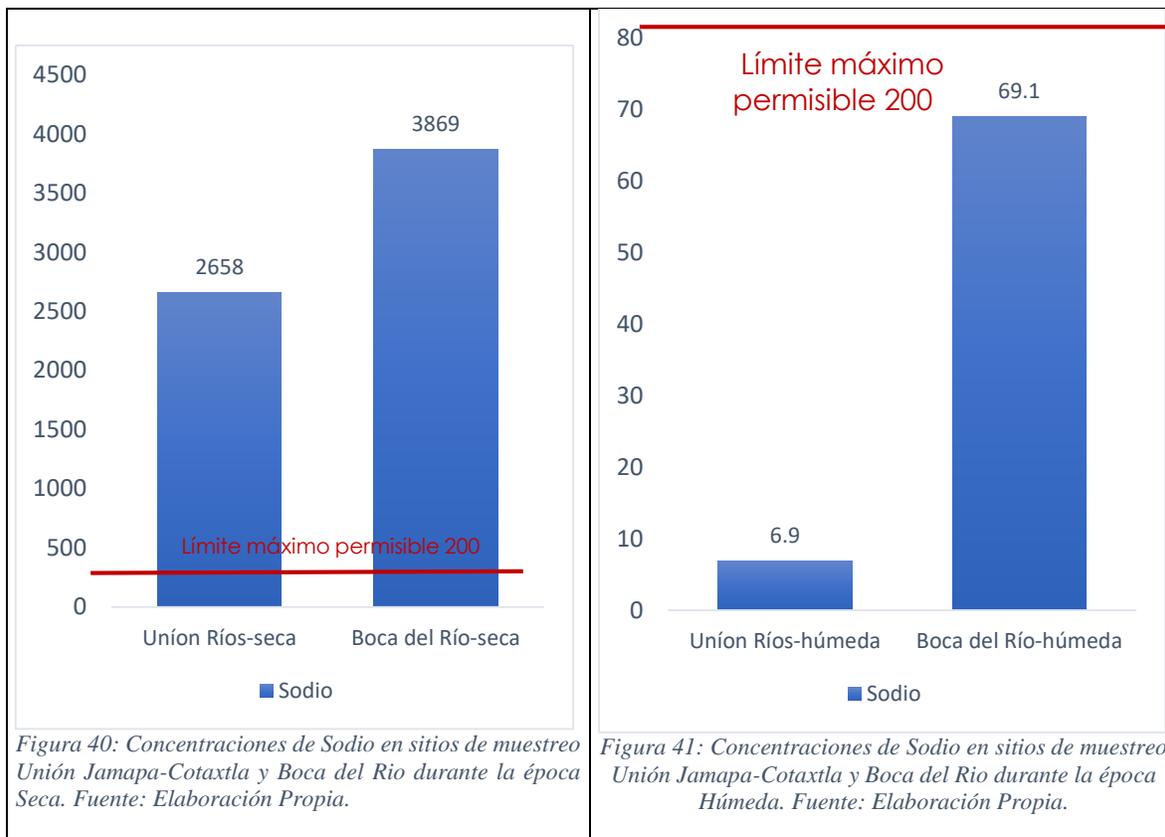


Figura 39: Mapa de Coliformes Totales, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

6.9 Industria hotelera

Las aguas residuales de este sector económico están impactando directamente en la calidad del agua en la desembocadura del río Jamapa y podemos afirmarlo ya que en los resultados de metales pesados el Na presentó concentraciones de $3,869 \text{ mg L}^{-1}$ que están muy por encima de los límites permisibles (Cuadro 10).



Las Figuras 40 y 41 muestran de forma gráfica las concentraciones de Sodio (Na) en los sitios de muestreo descritos. Además, en las Figuras 42 y 43 se puede apreciar el cambio de valor con referencia al LMP de la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, en el sitio de muestreo Unión Jamapa-Cotaxtla, pero sobre todo en el sitio Boca del Río donde la industria hotelera se hace más presente.

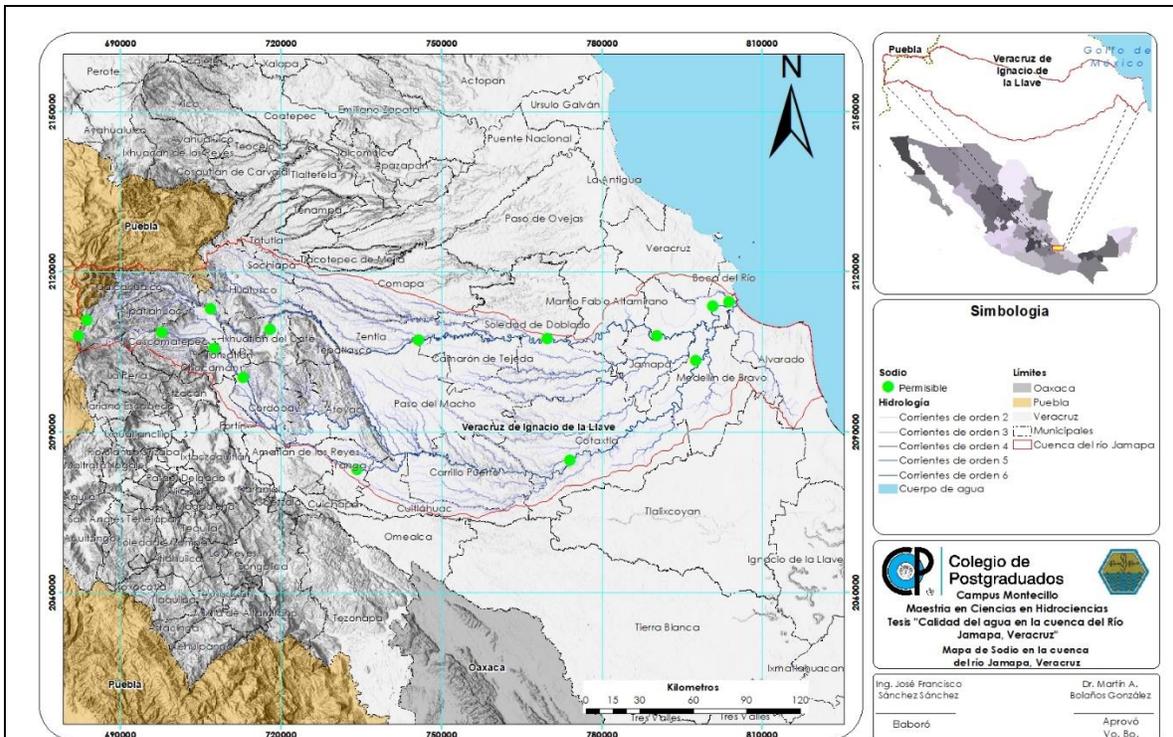


Figura 42: Mapa de Sodio, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

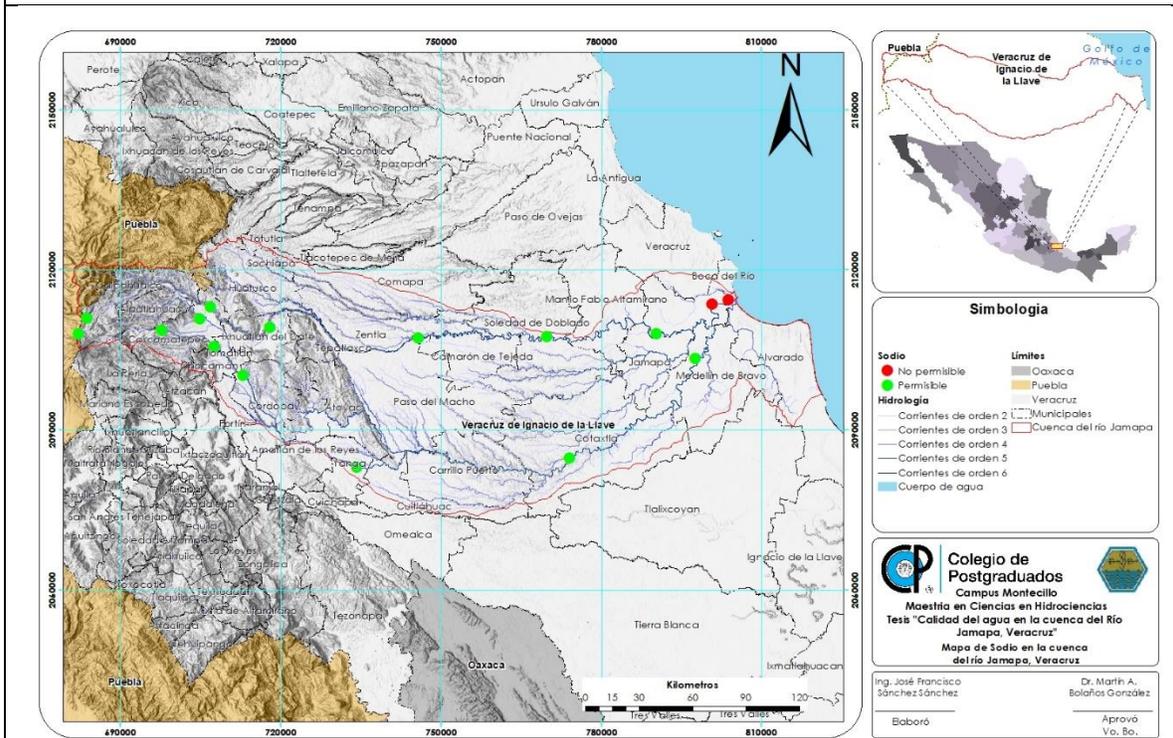


Figura 43: Mapa de Sodio, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

6.10 Hidrología

Partiendo de la precipitación normal en las estaciones meteorológicas cercanas a los puntos de muestreo según CONAGUA (2022) la precipitación normal en el mes de abril en la estación meteorológica de Coscomatepec es de 99.4 mm y de 362 mm para el mes de septiembre, a una altitud de 1,530 msnm. En el caso de la estación meteorológica ubicada en Ixhuatlán del Café la precipitación registrada en el mes de abril es de 99.4 mm y para el mes de septiembre es de 315.6 mm a una altitud de 1350 msnm, para estación camarón de Camarón de Tejada la precipitación normal en el mes de abril es de 16.3 mm y para el mes de septiembre es de 156.2 mm a una altitud de 348 msnm, para la estación meteorológica de Soledad de Doblado la precipitación normal en el mes de abril fue de 17.8 mm y para el mes de septiembre fue de 157.9 mm a una altitud de 94 msnm, para la estación Manilo Fabio Altamirano la precipitación en el mes de abril fue de 28.6 mm y en el mes de setiembre fue de 192.2 mm a una altitud de 44 msnm, para Medellín (El Tejar)la precipitación en el mes de abril fue de 22.8 mm y en el mes de setiembre fue de 322.9 mm a una altitud de 10 msnm, para Medellín (El Copital) la precipitación en el mes de abril fue de 16.8 mm y en el mes de setiembre fue de 263.8 mm a una altitud de 14 msnm, para Cotaxtla la precipitación en el mes de abril fue de 25.5 mm y en el mes de setiembre fue de 211.4 mm a una altitud de 50 msnm, para Cuitláhuac la precipitación en el mes de abril fue de 54.3 mm y en el mes de setiembre fue de 462.6 mm a una altitud de 368 msnm, para Córdoba (San Miguelito) la precipitación en el mes de abril fue de 55.6 mm y en el mes de setiembre fue de 423.9 mm a una altitud de 781 msnm, para Fortín de las Flores (Naranjal) la precipitación en el mes de abril fue de 70.7 mm y en el mes de setiembre fue de 455.5 mm a una altitud de 697 msnm, para La Perla la precipitación en el mes de abril fue de 64.1 mm y en el mes de setiembre fue de 455.5 mm a una altitud de 2,123 msnm y Coscomatepec (Tetelcingo) en el mes de abril fue de 126.9 mm y en el mes de setiembre fue de 269 mm a una altitud de 2,216 msnm.

Tomando en cuenta lo anterior, es evidente que la precipitación al interior de la cuenca se relaciona positivamente con la altitud, ya que la precipitación es mayor en la zona alta de la cuenca, lo cual disminuye las concentraciones en las propiedades fisicoquímicas y se puede apreciar en los resultados obtenidos en el presente estudio, a excepción del pH que como se observa que disminuye en la época seca con respecto a la época húmeda, para los sitios de muestreo Cuiyachapa disminuye de 8.8 a 8.7, Coscomatepec tiene un valor de 7.7 en la época seca y Chocaman pasa de 8.9 a 8.8, para el caso del río Cotaxtla (ver Cuadro 5 y 7). Pasa algo similar con los sitios de muestreo Albergue pasa de 8.2 a 7.6, Deshielo de 8.4 a 7.7 y Tlaltengo de 8.4 a 8.3, para el caso del río Jamapa (ver Cuadro 6 y 8), estos sitios pertenecen a la zona alta de la cuenca en el rango de los 1,300 a 2,400 msnm. En el caso de la conductividad eléctrica se incrementa en la época de seca con respecto a la húmeda, debido a que la precipitación disminuye, por lo tanto, la concentración de las sales es mayor. En cuanto al calcio, magnesio y sodio hay un aumento en la concentración en la época seca con respecto a la húmeda. Para el caso del potasio aumenta en la época seca en los sitios de muestreo Albergue, Tlaltengo, Cuiyachapa, Coscomatepec y Chocaman, pero disminuye ligeramente en el sitio de muestreo Deshielo. Los carbonatos se mantienen con valores similares en el río Jamapa en la época de seca y húmeda, pero para el caso del río Cotaxtla aumentan los valores para la época seca. En cuanto a los bicarbonatos se observa que

incrementan los valores considerablemente. En cuanto a los sulfatos y cloruros se observa un aumento en la época seca.

Para el caso del resto de los sitios de muestreo en ambas épocas se observa un comportamiento que no se puede asociar directamente a la precipitación o la hidrología ya que las propiedades fisicoquímicas del agua se ven afectadas por las actividades antropogénicas anteriormente descritas. La hidrología de la cuenca impacta directamente en las concentraciones de cada uno de los análisis realizados en los sitios de muestreo. En la época húmeda, entre los puntos de Cotaxtla y Catalán se puede observar la disminución de concentraciones en el caso de las propiedades fisicoquímicas (conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, sodio, potasio, magnesio, cloruros, bicarbonatos y sulfatos), con respecto a la época seca el cual es provocado por el aporte de dos Corrientes de Orden 4 y 3 del escurrimiento originado a un par de km. del poblado de Mata Espino, en el trayecto de estos dos puntos. También se observó que del lado del río Jamapa, en los puntos Mata de Varas y Soledad de Doblado, hay aporte de dos corrientes de orden 4 y 3. En el trayecto del punto de muestreo de Ixhuatán del Café y Mata de Varas también hay aportes de corrientes 4 y 2 por parte del río Paso de Los Gasparines, pero aquí no se observa la disminución de las concentraciones en todas las propiedades fisicoquímicas, debido a que el escurrimiento de orden 4 proviene de la ciudad de Huatusco y ha sido modificado por las actividades antropogénicas de dicha ciudad. Todo lo anterior para la época húmeda. De manera similar, pero de mayor escala, en cuanto a la disminución de concentraciones en el tramo del sitio de muestreo Jamapa a Unión Jamapa-Cotaxtla, ya que se suma una corriente de orden 4 por parte del arroyo Ixcualco, de la microcuenca más grande de la cuenca del Río Jamapa, es decir, existe un efecto de dilución.

Para la época de seca se observa algo semejante a la época húmeda, pero es importante resaltar que el nacimiento de Coscomatepec hace disminuir considerablemente la concentración de elementos, y se observa en el trayecto de los sitios de muestreo Coscomatepec y Chocamán, con el aporte de una corriente de orden 3. El trayecto Mesillas y Cotaxtla también muestra una disminución de concentraciones por el aporte de varias corrientes, la principal de orden 4 y otras más de orden 3 y 2 por parte del río Atoyac, arroyo Paso del Macho y arroyo Cuatro Caminos (Fuentes Mariles *et al.*, 2014).

De acuerdo a (CONAGUA, 2014) el caudal promedio en diez días estimados para la cuenca del río Jamapa es de 6,497 m³/s con un periodo de retorno de 2 años, 11,473 m³/s con un periodo de retorno de 5 años, 13,376 m³/s con un periodo de retorno de 10 años, 14,675 m³/s con un periodo de retorno de 20 años, 16,200 m³/s con un periodo de retorno de 50 años, 17,304 m³/s con un periodo de retorno de 100 años, lo anterior tomando en cuenta la estación hidrométrica El tejero por la parte del río Jamapa y la estación hidrométrica Paso del toro por la parte del río Cotaxtla, de esta manera dimensionamos los altos volúmenes que disminuyen las concentraciones de los elementos analizados en la época húmeda, reafirmando nuevamente que la disminución de las concentraciones en las propiedades fisicoquímicas en época de lluvia se ven afectadas por las altas precipitaciones en la cuenca.

6.11 Metales pesados

Con respecto a metales pesados solo se observó la presencia de arsénico (0.015 mg L^{-1}) durante la época seca (Figura 44) en el sitio de muestreo Unión Jamapa-Cotaxtla (menor al límite máximo permisibles de 0.025 mg L^{-1}), manganeso 0.056 mg L^{-1} (Figura 45) y bario y (Figura 46). En el caso del bario se observó el mismo comportamiento de dilución durante la época húmeda del año. En ambos sitios de muestreo se determinó una mayor cantidad de bario en la época seca con respecto a la época húmeda (Figura 46), lo que indica un efecto de dilución debido al mayor volumen de agua que sale de la cuenca. Sin embargo, pese a que la cantidad de bario determinada es menor durante la época de lluvias, se debe considerar que las altas precipitaciones ocasionan el lavado y posterior arrastre de los metales pesados (Ávila *et al.*, 2014), lo cual puede repercutir en un mayor ingreso de metales pesados al contemplar el volumen total que aporta la cuenca. Por otro lado, Ruiz-Fernández *et al.* (2019) mencionan que la concentración preindustrial de bario, cromo, cobre y níquel son altas en el Golfo de México debido a condiciones naturales. Lo cual, en el caso el bario, concuerda con los resultados obtenidos.

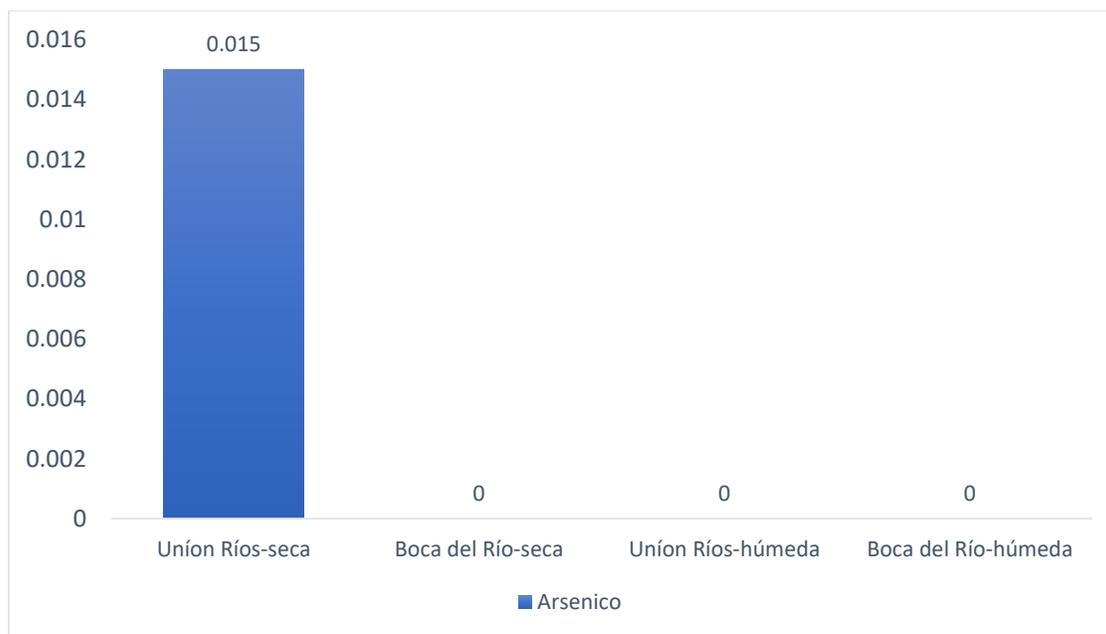


Figura 44: Arsénico detectado en la unión Jamapa-Cotaxtla en la época seca.

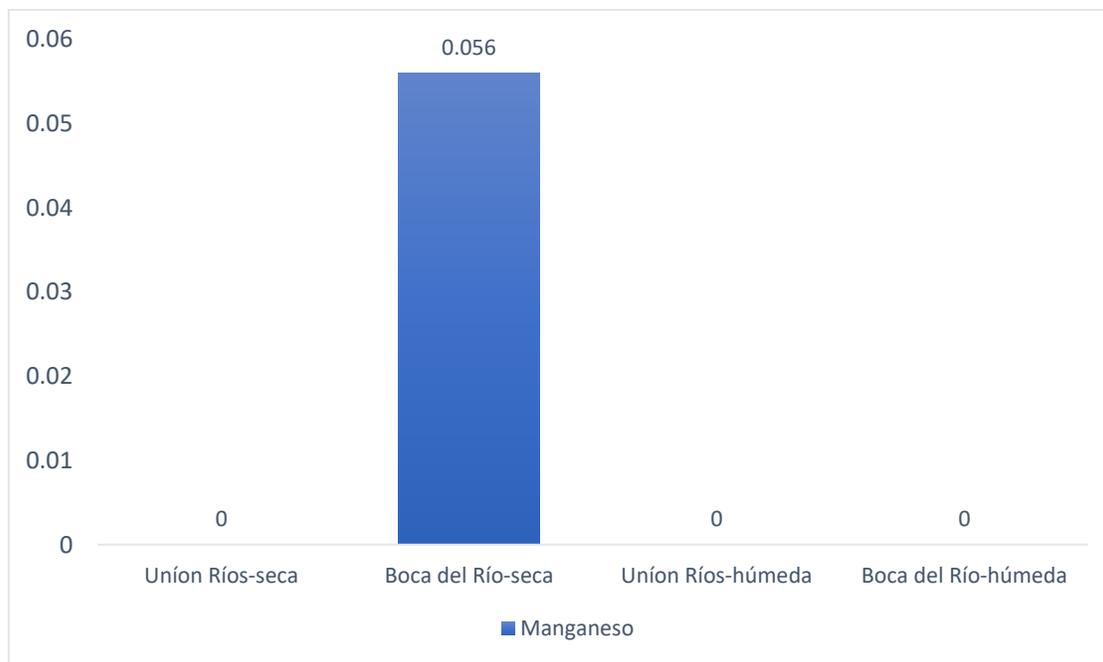


Figura 45: Manganeso detectado en Boca del Río en la época seca.

Pese a que no se detectaron metales pesados, más que los mencionados en el párrafo anterior, Pérez-Vázquez *et al.* (2021) encontraron niveles superiores ($p < 0.05$) de cadmio (*Cd*), cromo (*Cr*), cobre (*Cu*), plomo (*Pb*) y zinc (*Zn*) en muestras de sedimentos que, en muestras de agua tomadas en dos lagunas costeras del estado de Tabasco, México. Del mismo modo Laino-Guanes (2015) encontraron una mayor cantidad de metales pesado en la época lluviosa que en la época húmeda en el río Grijalva, ubicado en la frontera entre México y Guatemala. Estos autores observaron presencia de mercurio en zonas retiradas de asentamientos humanos, en este caso la Ciudad de Motozintla de Mendoza, lo cual atribuyeron a los volcanes de la Región. Además, observaron que después del paso del río por la ciudad de Motozintla la cantidad de mercurio se incrementaba; situación que atribuyeron a la incorporación de aguas residuales y la remoción y acarreo de sedimentos hacia el cauce principal. Por lo cual, aunque en los análisis realizados no se hayan detectado metales es posible que en los sedimentos del río si estén presentes.

Zamudio-Alemán *et al.* (2014) encontraron que los niveles de *Cd*, *Cu* y *Zn* de los sedimentos marinos del PNSAV sobrepasan el límite establecido para sedimentos no contaminados. Situación que, de acuerdo con los autores, puede afectar la fotosíntesis y desarrollo de algas, así como las etapas de huevo o larvas de los organismos marinos. Asimismo, atribuyeron el elevado nivel de metales pesados a la incorporación de aguas residuales, aportes industriales, tenerías, galvanoplastias y de fertilizantes.

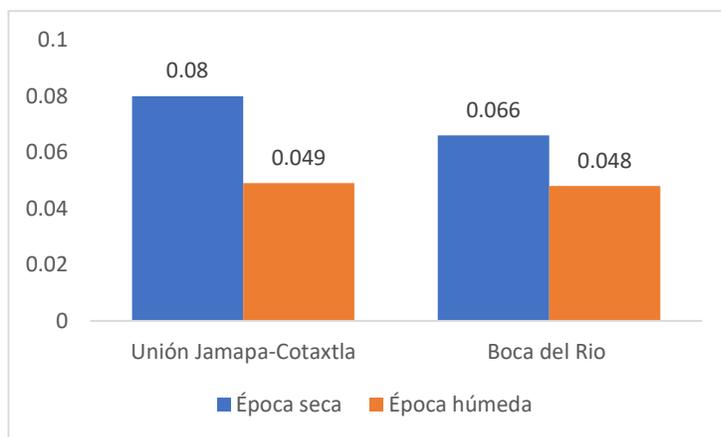


Figura 46: Concentración de bario en la unión Jamapa-Cotaxtla y Boca del Río.

6.12 Comparación con otros estudios de calidad de agua en ríos

Un estudio realizado en el río Seco (Beristáin *et al.*, 2013) perteneciente a la corriente del río Cotaxtla, indica que en el punto de muestreo Sabana Larga el pH fue de 8.2, la CE fue de 0.2 dS m⁻¹, la concentración de coliformes fecales fue de 6.4 x10⁺⁰⁴ UFC/mL en el mes de mayo y 8.2x10⁺⁰² UFC/mL en el mes de septiembre. Su similar en el presente estudio en cuanto a ubicación es Neria, en cuyas muestras se midió un pH de 8.9 (Cuadro 5) para época húmeda y de 9 (Cuadro 7) para la época seca, CE de 0.11 dS m⁻¹ (Cuadro 5) para la época de lluvias y 0.2 dS m⁻¹ (Cuadro 7) para la época de secas, en cuanto a coliformes fecales fue de 23 NMP/100 ml para la época húmeda y 23 NMP/100 ml para la época (Cuadro 9). Para el punto de muestreo Yanga en el estudio de Beristáin el pH fue de 8.2, la CE fue de 0.24 dS m⁻¹, y para coliformes fecales 6.2 x10^{+0.4} UFC/mL para el mes de mayo y 7.4x10⁺⁰² UFC/mL para el mes de septiembre. Su semejante en cuanto a ubicación en el presente estudio es Mesillas, cuyas muestras tuvieron un pH fue de 8.4 (Cuadro 5) para la época húmeda y 8.3 (Cuadro 7) para la época seca, la CE fue de 0.16 dS m⁻¹ (Cuadro 5) para la época húmeda y 0.38 dS m⁻¹ (Cuadro 7) para la época seca y, en cuanto a coliformes fecales, fue de 23 NMP/100 ml para la época húmeda y 23 NMP/100 ml para la época (Cuadro 9).

Según la (CONAGUA, 2020) uno de los ríos más contaminados en México es el Atoyac, en el estado de Puebla, en el que se midieron las siguientes concentraciones máximas: SDT 1408 mg L⁻¹, sulfatos 620 mg L⁻¹, arsénico no se encontró. En este estudio, específicamente en los sitios de muestreo próximos a la desembocadura, Unión Jamapa-Cotaxtla y Boca del Río los resultados obtenidos fueron: STD 96 mg L⁻¹ y 256 mg L⁻¹, para la época húmeda (Cuadro 5) y STD 12,500 mg L⁻¹ y 21,900 mg L⁻¹ para la época seca (Cuadro 7), respectivamente; Arsénico 0.015 mg L⁻¹ en el sitio de muestreo Unión Jamapa-Cotaxtla únicamente.

Tomando en cuenta a Wetzel (2001), las concentraciones de fósforo obtenidas en el presente estudio indican que los estados tróficos del agua en todos los sitios de muestreo se encuentran en la clasificación de hipereutrófico puesto que las concentraciones de fósforo son mayores a 30 µg L⁻¹ y las concentraciones de nitrógeno son mayores a 500 µg L⁻¹.

6.13 Comportamiento de la calidad del agua a nivel de cuenca.

En el anexo B se puede observar el comportamiento de los indicadores fisicoquímicos y metales pesados a través de los mapas generados para la época seca y húmeda, adicionales a la información que se maneja anteriormente. Y en el anexo C se puede observar gráficamente el comportamiento de la calidad del agua en las dos épocas de muestreo a lo largo de cauce del río Jamapa y del río Cotaxtla y como es la variación de las características fisicoquímicas y metales pesados por influencia de las actividades antropogénicas dentro de la cuenca. Además, se puede observar el análisis en los sitios de muestreo Unión Jamapa-Cotaxtla y Boca del Río con mayor detalle.

VII. CONCLUSIONES

La calidad del agua en los sitios de muestreo no es apta para el consumo humano de acuerdo a las normas oficiales mexicanas, por lo que es necesario aplicar un tratamiento que asegure la calidad para este uso antes de ser utilizada para el mismo.

De acuerdo a los porcentajes de uso de suelo obtenidos la categoría de mayor impacto en el uso de suelo de la cuenca es el pastizal cultivado (PC) que se asocia directamente a la actividad ganadera por lo que esta actividad es la de mayor impacto en cuanto a superficie.

Los límites máximos permisibles de las normas oficiales mexicanas son rebasados en la mayoría de las propiedades fisicoquímicas analizadas para la época de seca, por lo que la calidad del agua disminuye considerablemente descartando la posibilidad del uso de la misma para consumo humano en esta época.

Las aguas residuales de las diferentes actividades antropogénicas vertidas a las corrientes a lo largo del río Jamapa impactan directamente a la flora y fauna del PNSAV, ya que los resultados muestran que las concentraciones de los contaminantes son notablemente mayores en los dos sitios más próximos a la desembocadura respecto a los sitios de la parte alta de la cuenca, en donde muchos parámetros de calidad del agua exceden los límites máximos permisibles por las Normas Oficiales Mexicanas.

El área de captación al punto de muestreo Boca del Río es treinta veces menor que el área de captación al punto de muestreo Unión Jamapa-Cotaxtla, pero las concentraciones de contaminantes son mayores para el caso del sitio Boca del Río, lo cual permite dimensionar la proporción de contaminantes y la magnitud del daño ecológico, ocasionado por esta última, derivado de actividades antropogénicas de una mayor densidad poblacional.

En el caso de coliformes fecales y totales los valores en las concentraciones se mantuvieron prácticamente constantes en los dos principales afluentes, desde los sitios de muestreo en las proximidades del Pico de Orizaba hasta los sitios próximos a la desembocadura lo que demuestra la presencia de contaminantes derivados de asentamientos humanos en toda la cuenca. Los únicos sitios de muestreo en los que no se detectaron presencia de coliformes fecales y totales fueron Albergue y Deshielo en la época húmeda, en la que el volumen de agua escurrido aumenta de manera considerable respecto a la época seca.

En las zonas donde se desarrolla la industria azucarera (ingenios y zonas cañeras), se modificó principalmente el pH, pero también se impactaron la Conductividad Eléctrica, y las concentraciones de nitratos y fosfatos de forma significativa.

Como se planteó en las hipótesis particulares, la industria cafetalera altera los niveles de pH en los cauces cercanos a las zonas cafetaleras. Al mismo tiempo, las concentraciones de nitratos y fosfatos se ven modificadas con el aumento de las concentraciones en las proximidades a las áreas dedicadas a esta actividad económica.

La agricultura y la ganadería son actividades que impactan en la cuenca del río Jamapa de manera significativa, principalmente han provocado cambios en el uso del suelo y la vegetación; sin embargo, debido a que ambas son fuentes difusas de contaminación y distribuidas en áreas muy extensas, resulta muy complicado atribuir de manera directa el impacto de éstas en los parámetros de calidad del agua.

Es probable que las tenerías existentes en el municipio de Coscomatepec, tengan incidencia en la concentración de los STD, cloruros y el pH, ya que estos parámetros de calidad del agua se incrementaron notablemente los sitios de muestreo próximos a este asentamiento humano que, además, no cuentan con un tratamiento preliminar a la descarga de las aguas residuales de esta actividad.

VIII. RECOMENDACIONES

Algunas de las recomendaciones derivadas de este estudio para mejorar la calidad de agua en la cuenca del río Jamapa son la construcción de plantas de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en las poblaciones que no cuentan con alguna y que estas sean eficientes en cuanto a operación y tratado de residuos, para garantizar descargas a los cuerpos de agua superficial con límites por debajo de los permisibles en las Normas Oficiales Mexicanas o que se realice como mínimo un tratamiento primario ya que hay altas recargas por fósforo y nitrógeno. Por lo anterior y de acuerdo a los resultados obtenidos se recomienda que dicha construcción sea en los siguientes puntos:

- Coscomatepec, se trataría el agua proveniente de la población y la de las tenerías que se encuentran dentro del mismo municipio.
- Ixhuatlán del Café, ya que la industria cafetalera dentro de la cuenca se ha desarrollado fuertemente en este municipio.
- Córdoba, se trataría las aguas residuales provenientes de la industria cafetalera, pero principalmente de la industria azucarera.
- Medellín, para hacer un tratamiento a las aguas residuales del rastro municipal ubicado en este municipio, al igual que las aguas negras y grises de esta población.
- Boca del Río, para el tratamiento de las aguas provenientes de la industria hotelera y turística, ya que es el punto de muestreo con mayor concentración en los elementos analizados y fuera de los límites máximos permitidos por norma, además que es la microcuenca con menor tamaño.

IX. LITERATURA CITADA

- Abu-Jawdeh, G., Laria, S., Bourahla, A., 2000. LIBAN: enjeux et politiques d'environnement et de développement durable. Éditions du Programme des Nations-Unies pour l'Environnement/Plan Bleu/Centre d'Activités Régionales, Beyrouth, pp. 54.
- Aguiar Roque, Y., Fernández Santana, E., & Cabrera Galdo, E. (2017). Tratamiento de residuales líquidos de tenerías utilizando membranas. *Ingeniería Hidráulica Ambiental*, 38(1), 113-127.
- Albert, Lilia A; López-Moreno, S.; Flores, J. 2001. Diccionario de la Contaminación, Centro de Ecología y Desarrollo. CECODES. En el sitio web: <http://www.laneta.apc.org/emis/docs/dic.htm>. 2001.
- Alfaro, Marta, & Salazar, Francisco. (2005). Ganadería y Contaminación Difusa, Implicancias para el Sur de Chile. *Agricultura Técnica*, 65(3), 330-340. <https://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072005000300012>
- Almacenadora Mercader ALMER (10 de febrero de 2022). Zafra: El periodo de cosecha de azúcar en México. <https://www.almer.com.mx/articulo/57-zafra-el-periodo-de-cosecha-de-azucar-en-mexico>
- Álvarez, J., Hugh, S., Cuba, N. & Loza-Murguía, M. (2011). Evaluación de un sistema de tratamiento de aguas residuales del prebeneficiado de café (*Coffea arabica*) implementado en la comunidad Carmen Pampa provincia Nor Yungas del Departamento de La Paz. *Journal of The Selva Andina Research Society*, 2, 34–42.
- Alvarez, S.G., Maldonado, M, Gerth, A, & Kusch, P. (2004). Caracterización de Agua Residual de Curtiduría y Estudio del Lirio Acuático en la Recuperación de Cromo. *Información tecnológica*, 15(3), 75-80. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642004000300012>
- AOAC Official Method 2007.01. Pesticide Residues in Foods by Acetonitrile Extraction and Partitioning with Magnesium Sulfate. https://nucleus.iaea.org/sites/fcris/Shared%20Documents/SOP/AOAC_2007_01.pdf
- Arenas Fuentes, Virgilio, Miguel A. Lozano Aburto y David Salas Monreal, 2011. Efectos del huracán Karl en los arrecifes coralinos del sistema arrecifal veracruzano, en Adalberto Tejeda (ed.), *Inundaciones 2010 en el estado de Veracruz*, Veracruz, Consejo Veracruzano de Ciencia y Tecnología, pp. 264-284.
- Assaf, H., Saadeh, M., 2008. Assessing water quality management options in the Upper Litani Basin, Lebanon, using an integrated GIS-based decision support system. *Environ. Modell. Software* 23 (10–11), 1327–1337.

- Ávila, H., Quintero, E., Angulo, N., Cárdenas, C., Araujo, M., Morales, N., & Prieto, M. (2014). Determinación de metales pesados en sedimentos superficiales costeros del Sistema Lago de Maracaibo, Venezuela. *Multiciencias*, 14(1), 16-21.
- Beita-Sandí, Wilson , & Barahona-Palomo, Marco (2011). Fisico-química de las aguas superficiales de la Cuenca del río Rincón, Península de Osa, Costa Rica. *UNED Research Journal / Cuadernos de Investigación UNED*, 2(2),157-179.[fecha de Consulta 21 de Junio de 2022]. ISSN: 1659-4266. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=515651982004>
- Beristáin, B. T., López, G. G., & Portilla, E. R. (2013). Enfoque de cuenca para la identificación de fuentes de contaminación y evaluación de la calidad de un río, Veracruz, México. 12.
- Bisekwa, E., Njogu, P. and Kufa-Obso, T. (2021) Wet Coffee Processing Discharges Affecting Quality of River Water at Kayanza Ecological Zone, Burundi. *Open Journal of Applied Sciences*, 11, 707-721. doi: 10.4236/ojapps.2021.116052.
- Candi Ashanti, D.-M., Humberto, B.-Á., & Rodolfo, S.-E. (2014). Prevención, minimización y control de la contaminación ambiental en un ingenio azucarero de México. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 15(4), 549-560. [https://doi.org/10.1016/S1405-7743\(14\)70653-5](https://doi.org/10.1016/S1405-7743(14)70653-5)
- CONAGUA. (2014). Caracterización fluvial e hidráulica de las inundaciones en México. Instituto de ingeniería, UNAM.
- CONAGUA. (2020). Diagnóstico de la calidad del agua del río Atoyac y sus afluentes, 2012-2020.
- CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. (10 de abril de 2022). Normales climatológicas.
- Cotler, H., Garrido, A., Bunge, V., & Cuevas, M. L. (2010). Las cuencas hidrográficas de México: priorización y toma de decisiones. *Las cuencas hidrográficas de México: diagnóstico y priorización*, 1, 210-215.
- Díaz-Cuenca, E., Alvarado-Granados, A.R., Camacho-Calzada, K.E. (2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. *Quivera. Revista de Estudios Territoriales*, 14(1),78-97.[fecha de Consulta 17 de Diciembre de 2020]. ISSN: 1405-8626. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=401/40123894005>
- Díaz-de los Ríos, Manuel, Eng-Sanchez, Felipe, Herrera-Díaz, Yarelys, & Lorenzo-Acosta, Yaniris. (2016). El manejo de los residuales líquidos de la industria de azúcar y sus derivados en Cuba, en el contexto de las legislaciones ambientales actuales. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar Cuba. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223152661010>
- Dierksmeier G., Hernández R., Ricardo C., Llanes M.N., Linares A.C. y Cárdenas Z. (2002). Movimiento de algunos plaguicidas en el suelo. *Fitosanidad* 6, 43-49.

- DOF. Diario Oficial de la Federación *CE-CCA-001/89*. Acuerdo por el que se establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del Aguas. 13 de diciembre de 1989 (México).
- Duffner A., Ingwersen J., Hugenschmidt C. y Streck T. (2012). Pesticide transport pathways from slope litchi orchard to an adjacent tropical stream as identified by hydrograph separation. *J. Environ. Qual.* 41, 1315-1323.
- EPA. (2007). Method 6010C (SW-846): Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry, Revision 3. <https://archive.epa.gov/epawaste/hazard/testmethods/web/pdf/method%206010c%20C%20revision%203%20-%202007.pdf>.
- Escobar, J. 2002. La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar. División de Recursos Naturales e Infraestructura-CEPAL. Santiago de Chile. PP 68. ISBN: 92-1-322090-1
- Espejel García, A., Romero Rodríguez, J. A. & Barrera Rodríguez, A. (2015). Determinación del uso potencial agrícola mediante modelación geoespacial y análisis multicriterio para la cuenca balsas mezcala. Ra Ximhai. *Revista Científica de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sostenible* 11(5) 77-95. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7917465>
- Eti (12 de febrero de 2022). Etimología de ZAFRA. <http://etimologias.dechile.net/?zafra>
- Evans, A., J. Mateo-Sagasta, M. Qadir, E. Boelee, A. Ippolito. 2019. Agricultural water pollution: key knowledge gaps and research needs. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, Vol 36, 20-27. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.10.003>.
- Fan, X., Cui, B., Zhao, H., Zhang, Z., Zhang, H., 2010. Assessment of river water quality in Pearl River Delta using multivariate statistical techniques. *Procedia Environ. Sci.* 2, 1220–1234.
- FAO. (2018). *World Livestock: Transforming the livestock sector through the Sustainable Development Goals*. Rome. 222 pp.
- FAO. (26 de marzo de 2022). Los contaminantes agrícolas: una grave amenaza para el agua del planeta. FAO. <https://www.fao.org/in-action/agronoticias/detail/es/c/1141955/>
- Fernandez, G. O. (1994). Norma Oficial Mexicana *NOM-127-SSA1-1994*, «salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización». 21.
- Ferrell, J. & Cockerill, K. (2012). Closing coffee production loops with waste to ethanol in Matagalpa, Nicaragua. *Energy for Sustainable Development*, 16, 44–50.
- Fuentes Mariles, Ó. A., Franco, V., de Luna Cruz, F., Vélez Morales, L., & Morales Rodríguez, H. L. (2014). Caracterización fluvial e hidráulica de las inundaciones en México. Instituto de Ingeniería UNAM.
- Gamarra Torres, O. A. (2018). Fuentes de contaminación estacionales en la cuenca del río Utcubamba, región Amazonas, Perú. *Arnaldoa*, 25(1), 179-194. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.251.25111>

- García Marín M.J. (2002). Implementación de un reactor con *Phragmites australis*, (Cav.) Trin (Carrisos) para el tratamiento de aguas residuales del ingenio azucarero Santa Rosalía de Cardenas, Tabasco. Tesis de Maestría. Maestría en Ingeniería Ambiental. Universidad Veracruzana. Instituto de Ingeniería. Boca del Rio, Veracruz.
- Genanaw, W., Kanno, G. G., Derese, D., & Aregu, M. B. (2021). Effect of Wastewater Discharge From Coffee Processing Plant on River Water Quality, Sidama Region, South Ethiopia. *Environmental Health Insights*. <https://doi.org/10.1177/11786302211061047>
- Gómez-Anaya, J. A., Novelo-Gutiérrez, R., & Astudillo-Aldana, M. R. (2017). Efecto de las descargas domésticas y de beneficio de café sobre la calidad del agua y la diversidad de larvas de Odonata (Insecta) en un arroyo de bosque mesófilo de montaña en Veracruz, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88(2), 372–380. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.03.004>
- Hammerly, Rosario del Carmen & et al. (2006). Modelación hidrológica con SIG: Contribuciones en su Difusión y Aplicación. 1ª Edición. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe, Argentina.
- Hernández Solorzano S. (2018). Análisis De La Percepción En La Contaminación De Arroyos Urbanos En La Microcuenca El Riíto En Tonalá Chiapas, México. Tesis de Maestría. Maestría en Gestión Integral del agua. Colegio de la Frontera. Monterrey, Nuevo León, México.
- Hernández Vargas, O., Mancilla Villa, O. R., Palomera García, C., Olguín López, J. L., Flores Magdaleno, H., Can Chulim, Á., Ortega Escobar, H. M., & Sánchez Bernal, E. I. (2020). Evaluación de la calidad del agua y de la ribera en dos cuencas tributarias del río Tuxcacuesco, Jalisco, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. <https://doi.org/10.20937/RICA.53595>
- Hernández-Antonio A. & Hansen A. (2011). Uso de plaguicidas en dos zonas agrícolas de Mexico y evaluación de la contaminación de agua y sedimentos. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 27, 115-127.
- Ibarra, A. A., & Espejo, R. H. P. (2008). La contaminación agrícola del agua en México: Retos y perspectivas. 39, 11.
- Ilbay Caguana J. I. (2021). Análisis De Sistemas De Tratamiento De Aguas Residuales En La Industria Del Curtido De Pieles. Proyecto de Investigación de Ingeniería. Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional de Chimborazo. Riobamba Ecuador.
- INECC-FGM, 2018. Plan de Acción para el Manejo Integral de Cuencas Hídricas: Cuenca del río Jamapa. Proyecto: Conservación de Cuencas Costeras en el Contexto del Cambio Climático. 151.
- INEGI, 2010. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Censo de población y vivienda 2010. www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/
- INEGI. (04 de abril de 2022). Uso de Suelo y Vegetación. Series. <https://www.inegi.org.mx/temas/usuarios/>

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. INEGI. (2017). *Anuario estadístico y geográfico de Veracruz de Ignacio de la Llave 2017*. 1225.
- Jiménez, A. M. M. (2008). Evaluación de la carga contaminante en los procesos de producción de azúcar molino Fulton II, molino Farrel, refinería y elaboración en el ingenio del Cauca. 103.
- Kroeze, C., S. Gabbert, N. Hofstra, A. Koelmans, A. Li, A. Löhr, F. Ludwig, M. Strokal, Ch. Verburg, L. Vermeulen, M. van Vliet, W. de Vries, M. Wang, J. van Wijnen. (2016). Global modelling of surface water quality: a multi-pollutant approach, *Current Opinion in Environmental Sustainability*, Vol. 23, 35-45. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.11.014>.
- Laino-Guanes, R. M., Bello-Mendoza, R., González-Espinosa, M., Ramírez-Marcial, N., Jiménez-Otárola, F., & Musálem-Castillejos, K. (2015). Concentración de metales en agua y sedimentos de la cuenca alta del río Grijalva, frontera México-Guatemala. *Tecnología y ciencias del agua*, 6(4), 61-74.
- Leistra M. y Boesten J. (2012). Pesticide leaching from agricultural fields with ridges and furrows. *Water Air Soil Poll.* 213, 341-352.
- López Castillo, Diana (2012) *Efecto del vertido directo de las aguas mieles en la calidad físico-química del agua de la Subcuenca del Río Jigüina, Jinotega*. Revista Científica de FAREM- Esteli, 1 (1). pp. 5-16. ISSN 2305-5790. <https://repositorio.unan.edu.ni/5773/>
- Magdalena, V.-R., Manuel, M.-O., Esperanza, H.-T., & Evaristo, Á.-M. (2014). Calidad de las aguas residuales y de pozo para uso agropecuario en establos lecheros. 12.
- Mara (1976). Anexo IX. Aguas Residuales y Tratamiento de Efluentes Cloacales Tratamiento de efluentes, caracterización, generalidades, definición y origen. http://www.academia.edu/5104248/Anexo_IX._Aguas_Residuaes_y_Tratamiento_d_e_Efluentes_Cloacales
- Mendoza M., Bocco G., Bravo M., Siebe C., Ortiz M.A. (2002). Modelamiento hidrológico espacialmente distribuido: una revisión de sus componentes, niveles de integración e implicaciones en la estimación de procesos hidrológicos en cuencas no instrumentadas. Num. 49, 36-58. *Investigaciones Geograficas*. Instituto de Geografía, UNAM.
- Molina-Morales Y., Flores-García M., Balza-Quintero A., Benítez-Díaz P. y Miranda-Contreras L. (2012). Niveles de plaguicidas en aguas superficiales de una región agrícola del estado Mérida, Venezuela, entre 2008 y 2010. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 28, 289-301.
- Mora, D., C.F. Portuquez, y G. Brenes. (2002). Evaluación de la contaminación fecal de la cuenca del río Tempisque 1997 - 2000. *Revista Costarricense de Salud Pública* 11(20): 5-17.

- Morales Trujillo J. (2011). Impacto Ambiental De La Actividad Azucarera Y Estrategias De Mitigación. Monografía de Ingeniería. Ingeniería Química. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Veracruzana. Orizaba, Veracruz, México.
- Murcia-Sarmiento, M. L., Calderón-Montoya, O. G., & Díaz-Ortiz, J. E. (2014). Impacto de aguas grises en propiedades físicas del suelo. *TecnoLógicas*, 17(32), 57. <https://doi.org/10.22430/22565337.204>
- Murgueitio E. (2003). Impacto ambiental de la ganadería de leche en Colombia y alternativas de solución. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 15, Article #78. Retrieved March 30, 2022, from <http://www.lrrd.org/lrrd15/10/murg1510.htm>
- Navarro-Garza, H. & Pérez-Olvera, Ma. Antonia (2005). Caracterización inorgánica del agua del río Texcoco, entre épocas del año y años. *Revista Terra Lationamericana*, Vol. 23, núm. 2, pp.183-190
- NCh, Norma Chilena Oficial N° 1.333. of87, Requisitos de calidad de agua para diferentes usos. Inscripción N° 49.092 por Instituto Nacional de Normalización, INN. Santiago de Chile, 20 pp. (1978). http://www7.uc.cl/sw_educ/hidrologia/Capitulo_1/modulo1/nch1333.html.
- Norma Mexicana NMX-AA-008-SCFI-2016. Análisis de agua. - medición del pH EN aguas naturales, residuales y residuales tratadas. - método de prueba- (cancela a la NMX-AA-008-SCFI-2011). 05 de julio de 2016.
- Norma Mexicana NMX-AA-034-SCFI-2015. Análisis de agua - medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – método de prueba (cancela a la nmx-aa-034-scfi-2001). 16 de octubre de 2015.
- Norma Mexicana NMX-AA-072-SCFI-2001. Análisis de agua - determinación de dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba (cancela a la NMX-AA-072-1981). 17 de abril de 2001.
- Norma Mexicana NMX-AA-079-SCFI-2001. Análisis de aguas - determinación de nitratos en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - método de prueba (cancela a la NMX-AA-079-1986). 04 de septiembre de 2001.
- Norma Mexicana NMX-AA-093-SCFI-2018. Análisis de agua –medición de la conductividad eléctrica en aguas naturales, residuales y residuales tratadas –método de prueba (cancela la NMX-AA-093-SCFI-2000). 18 de octubre de 2017.
- Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. 31 de diciembre de 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-210-SSA1-2014, Productos y servicios. Métodos de prueba microbiológicos. Determinación de microorganismos indicadores. Determinación de microorganismos patógenos. 26 de junio de 2015.
- Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud Ambiental, Agua Para Uso y Consumo Humano, Límites Permisibles de Calidad y Tratamiento a Que Debe Someterse El Agua Para Su Potabilización. 22 de noviembre del 2000.

- Oki T & Kanae S. (2006) Global hydrological cycles and world water resources. *Science* 313(5790):1068–1072. doi:10.1126/science.1128845
- Olivas-Enriquez, E., Flores-Margez, J. P., Serrano-Alamillo, M., Soto-Mejía, E., Iglesias-Olivas, J., & Salazar-Sosa, E. (2011). *Indicadores fecales y patógenos en agua descargada al Río Bravo*. 9.
- OMS Organización Mundial De La Salud (2006). Guías para la calidad del agua potable. <https://www.who.int/es/publications/i/item/9789241549950>.
- Ontiveros-Capurata, R. E., Diakite-Diakite, L., Álvarez-Sánchez, M. E., & Coras-Merino, P. M. (2013). *Evaluación de aguas residuales de la ciudad de México utilizadas para riego*. 14.
- ORDUÑA, F. 2007. Aplicaciones de software SIG: ArcGIS 9.2. Lección 1: Introducción a ArcGIS Desktop. UNIGIS Girona. 9ª ed. España. Universitat de Girona.
- Paz-Pellat, F., J. M. Hernández-Ayón, R. Sosa-Ávalos y A. S. Velázquez-Rodríguez. (Editores). 2019. Estado del Ciclo del Carbono en México: Agenda Azul y Verde. Programa Mexicano del Carbono. Texcoco, Estado de México, México. ISBN: 978-607-96490-7-4. 716 p.
- Pérez Espejo R. (2012). La contaminación agrícola del agua: aspectos generales y teoría. En: *Agricultura y Contaminación del Agua*. Mexico (R. Pérez Espejo y A. Aguilar Ibarra, Eds.) UNAM, Instituto de Investigaciones Económicas, pp. 16-22.
- Pérez-Vázquez, R. G., & Martín-Lago, R. (2021). Evaluación de metales preciosos (Au y Ag) en zonas de oxidación al noroeste de Artemisa (Cuba). *Boletín de Geología*, 43(1), 127-146.
- Pinos-Rodríguez, Juan M., García-López, Juan C., Peña-Avelino, Luz Y., Rendón-Huerta, Juan A., González-González, Cecilia, & Tristán-Patiño, Flor. (2012). Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. *Agrociencia*, 46(4), 359-370. Recuperado en 30 de marzo de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000400004&lng=es&tlng=es.
- Puerta Tuesta, R., Refugio Trigoso, J. & Bravo Morales, N. (2011). ArcGIS Basico 10. Facultad de Recursos Naturales Renovables. Universidad Nacional agraria de la Selva. Tingo María, Perú.
- Qureshi, M. A., & Mastoi, G. M. (2015). The physiochemistry of sugar mill effluent pollution of coastlines in Pakistan. *Ecological Engineering*, 75, 137–144. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.09.015>
- Rankeando. (2022). Industrias Manufactureras, Curtido de Cuero y Piel, Coscomatepec, Veracruz. <https://rankeando.com/4419638-teneria>
- Reyes Luz M.I. (2015). Análisis De Fortalezas Y Debilidades En La Gestión De La Regulación De Las Descargas De Aguas Residuales, En La Conagua. Tesis de Maestría. Maestría en Ciencias del Agua. Instituto Mexicano de Tecnologías del Agua. Jiutepec, Morelos. México.

- Reyes Luz, M. I. (2006). Remoción de fósforo en un sistema de humedales artificiales a escala de laboratorio. Tesis de licenciatura no publicada. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Rivas, Z., Sánchez, J. Troncone, F., Márquez, R., Ledo de Medina, H., Colina, M. y Gutiérrez, E. (2009). Nitrógeno y fósforo totales de los ríos tributarios al sistema lago de Maracaibo, Venezuela. *Interciencia*, 34, 308-314.
- Rodas Quiroz, Ñ. T. (2016). Estudio de adsorción de cromo hexavalente en columna de lecho fijo con biomasa de tamarindo. 5.
- Rodríguez Aguilar, B. A., Martínez Rivera, L. M., Peregrina Lucano, A. A., Ortiz Arrona, C. I., & Cárdenas Hernández, O. G. (2019). Análisis de residuos de plaguicidas en el agua superficial de la cuenca del río Ayuquila-Armería, México. *Terra Latinoamericana*, 37(2), 151. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i2.462>
- Rojas Rodriguez I. S. , Coronado García M. A., Rossetti López S. R. & Beltrán Morales F. A. (2020). Contaminación por nitratos y fosfatos provenientes de la actividad agrícola en la cuenca baja del río Mayo en el estado de Sonora, México. *Terra Latinoamericana*, 38(2), pp. 247-256. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.642>
- Román Madrigal J. G. (2004). El beneficio del café ¿Fue un factor de contaminación en la segunda mitad del siglo XIX ?. Maestría de Geografía. *Dialogos*, 4(2), 37. <http://historia.fcs.ucr.ac.cr/dialogos.htm>
- Roque, I.Y.A., 2017. Tratamiento de residuales líquidos de tenerías utilizando membranas 15.
- Rugama Espinoza, M. I., & Save Monserrat, R. (2016). Efecto vertido aguas mieles en calidad físico-química del agua microcuenca Rio Cuspire Yalí, Nicaragua. *Revista Científica De FAREM-Estelí*, (7), 43–53. <https://doi.org/10.5377/farem.v0i7.2631>
- Ruiz-Fernández F. V. , Pino C. J. , Gonzalez-Gay M. A. , Gómez, R. ... & Gualillo, O. (2019). Adipokines: linking metabolic syndrome, the immune system, and arthritic diseases. *Biochemical pharmacology*, 165, 196-206.
- SEDARPA. (2022). Reporte final por ingenio de producción de caña de azúcar y zafra 2019-2020. <http://www.sigver-agroalimentario.sedarpa.gob.mx/ligmpa/principal/agricola>
- SEMARNAT. (2008). Programa nacional hídrico 2007-2012 (CONAGUA). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- SENASICA. (2022). Listado de Rastros y Centro de Matanzas. <https://www.gob.mx/senasica/documentos/directorio-de-padron-de-rastros>
- SIAP. (2014). Anuario Estadístico Café 2014-2015. Recuperado de base de datos SIAP y AMECAFE
- Singh, K.P., Malik, A., Mohan, D., Sinha, S., 2004. Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India)- a case study. *Water Res.* 38 (18), 3980–3992.
- Spellman, F. R. 2009. Hadbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations, Second Edition. CRC Press. 503-518 p.

- Tarango Pasillas, S. (2019). Modelación Hidrológica de la Cuenca del Rio Jamapa, Estado de Veracruz. Tesis de Maestría. Hidrociencias, Colegio de Postgraduados. Montecillos, Texcoco, Estado de México. México.
- Teixeira Correia, G., Sánchez Ortiz, I. A., Gebara, D., Dall'Aglio Sobrinho, M., & Matsumoto, T.. (2013). Remoción de fósforo de diferentes aguas residuales en reactores aeróbios de lecho fluidizado trifásico con circulación interna. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (67), 172-182. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-62302013000200015&lng=en&tlng=es.
- Titin Rea V. A. (2018). Aplicación de microorganismos benéficos (MOBs) para la depuración de aguas residuales del hato ganadero de la granja experimental Paute-Universidad Politécnica Salesiana. Tesis de Ingeniería. Ingeniería Ambiental. Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca, Ecuador.
- Torres-Valenzuela, L. S., Sanín-Villarrea, A., Arango-Ramírez, A., & Serna-Jiménez, J. A. (2019). Caracterización fisicoquímica y microbiológica de aguas mieles del beneficio del café. *Revista ION*, 32(2), 59-66. <https://doi.org/10.18273/revion.v32n2-2019006>
- Vallejo Rodríguez, R., López López, A., & Gallardo Váldez, J. (2019). Manejo integral de efluentes residuales generados en los rastros municipales. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C
- Wahl, C. M., Neils, A. y Hooper, D. (2013). Impacts of land use at the catchment scale constrain the habitat benefits of stream riparian buffers. *Freshwater Biology*, 58, 2310-2324.
- Wang, X.C., Zhang, C., Ma, X., Luo, L. (2015). Concepts of Water Cycle Management for Water Reuse System Design. In: *Water Cycle Management*. SpringerBriefs in Water Science and Technology. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-45821-1_2
- Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: lake and river ecosystems*. gulf professional publishing. https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=no2hk5uPUcMC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Limnology:+lake+and+river+ecosystems&ots=iGRGs3KVFP&sig=JaOEto_TbsQuxzDI5mFuRyzBb5U#v=onepage&q=Limnology%3A%20lake%20and%20river%20ecosystems&f=false
- Woldesenbet, A.G., Woldeyes, B., Singh, B.D., & Chandravanshi (2014). Characteristics of Wet Coffee Processing Waste and Its Environmental Impact in Ethiopia. *International Journal of Research in Engineering and Science (IJRES)*. Vol 2 Issue 4, pp.01-05.
- WWC.2009. Global Water Framework. World Water Council, 5th World Water Forum, Bridging Divides for wáter, T.C. Disisleri Bakanligi. Istanbul. 30 p.
- Zamudio-Alemán, R. E., Castañeda-Chávez, M. D. R., Lango-Reynoso, F., Galaviz-Villa, I., Amaro-Espejo, I. A., & Romero-González, L. (2014). Metales pesados en sedimento marino del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. *Rev. Iberoam. Cienc*, 1(4), 159-168.

ANEXOS

ANEXO A RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE CALIDAD DEL AGUA

Cuadro 5: Resultados Fisicoquímicos del río Cotaxtla (Época Húmeda)

Resultados fisicoquímicos en los sitios del río Cotaxtla en la época húmeda											
Elementos	Unidad	LMP	Cuiyacha pa	Coscomatepec	Chocamán	Neria	Mesillas	Cotaxtla	Catalán	Unión X-C	B. Del Río
Ph	-	Rango de 6.5 a 8.5	8.8		8.9	8.9	8.4	8.2	8.4	8.3	8.4
Conductividad Eléctrica	dS m ⁻¹	1	0.05		0.1	0.11	0.16	0.16	0.11	0.15	0.38
Sólidos Totales Disueltos	mg L ⁻¹	1000	33.6		66	69.7	104	103	75.5	96	256
Dureza	mg L ⁻¹	500	9.2		18.4	18.9	25	27.5	21	24.4	39
Sodio	mg L ⁻¹	200	1.73		2.21	1.92	5	3.39	1.64	4.04	34.87
Potasio	mg L ⁻¹	-	0.93		1.21	1.28	2.56	1.82	1	2.05	3.96
Calcio	mg L ⁻¹	100-300	7.29		16.67	16.9	21.4	24	18.8	20.67	30.8
Magnesio	mg L ⁻¹	100	1.26		1.7	1.93	3.61	3.46	2.13	3.75	8.16
Boro	mg L ⁻¹	0.5	ND		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Manganeso	mg L ⁻¹	0.15	ND		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cloruros	mg L ⁻¹	250	ND		0.7	1.48	0.7	0.7	0.74	0.7	47.4
Carbonatos	mg L ⁻¹	-	9.3		15.5	12.4	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3
Bicarbonatos	mg L ⁻¹	-	12.6		18.9	22	56.6	66	50.3	62.9	119.4
Sulfatos	mg L ⁻¹	400	2.42		9.66	6.67	12.5	8.9	5.4	7.3	14.9
Fosfatos	mg L ⁻¹	0.1	0.15		0.15	0.15	0.25	0.14	0.14	0.26	1.6
Nitratos	mg L ⁻¹	10	1.53		6.88	19.5	9.48	2.48	0.83	1.99	0.38

Cuadro 6: Resultados Fisicoquímicos del Río Jamapa (Época Húmeda).

Resultados fisicoquímicos en los sitios del río Jamapa en la época húmeda											
Elementos	Unidad	LMP	Albergue	Deshielo	Tlaltingo	Ixhuatlán	Mata De Varas	Soledad De Doblado	Jamapa	Unión X-C	B. Del Río
pH	-	Rango de 6.5 a 8.5	8.2	8.4	8.4	8.6	8.3	8.6	8.4	8.3	8.4
Conductividad Eléctrica	dS m ⁻¹	1	0.02	0.03	0.06	0.1	0.11	0.07	0.11	0.15	0.38
Sólidos Totales Disueltos	mg L ⁻¹	1000	9.73	18.2	41.1	63.6	72.5	45.3	73.4	96	256
Dureza	mg L ⁻¹	500	2	3.6	9.5	14.8	17.9	11.7	17.5	24.4	39
Sodio	mg L ⁻¹	200	1.04	1.88	3.19	4.61	2.5	1.25	3.37	4.04	34.87
Potasio	mg L ⁻¹	-	0.99	1.5	1.29	1.79	1.62	0.89	1.58	2.05	3.96
Calcio	mg L ⁻¹	100-300	1.59	2.73	7.51	11.95	14.8	9.59	13.6	20.67	30.8
Magnesio	mg L ⁻¹	100	0.46	0.83	1.95	2.82	3.15	2.1	3.89	3.75	8.16
Boro	mg L ⁻¹	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Manganeso	mg L ⁻¹	0.15	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cloruros	mg L ⁻¹	250	ND	ND	0.7	0.7	0.74	ND	0.7	0.7	47.4
Carbonatos	mg L ⁻¹	-	0	0	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3
Bicarbonatos	mg L ⁻¹	-	9.4	18.9	15.7	31.4	47.1	18.9	37.7	62.9	119.4
Sulfatos	mg L ⁻¹	400	1.2	1.31	4.22	4.9	4.63	2.11	4.44	7.3	14.9
Fosfatos	mg L ⁻¹	0.1	0.15	0.1	0.71	0.11	0.06	0.03	0.1	0.26	1.6
Nitratos	mg L ⁻¹	10	0.71	0.64	1.49	4.45	2.69	1.56	3.31	1.99	0.38

Cuadro 7: Resultados Físicoquímicos del Río Cotaxtla (Época Seca)

Resultados físicoquímicos en los sitios del río Cotaxtla en la época seca											
Elementos	Unidad	LMP	Cuipa	Coscomatepec	Chocamán	Neria	Mesillas	Cotaxtla	Catalán	Unión X-C	B. Del Río
pH	-	Rango de 6.5 a 8.5	8.7	7.7	8.8	9	8.3	8.5	8.4	8.3	7.6
Conductividad Eléctrica	dS m ⁻¹	1	0.09	0.26	0.22	0.2	0.38	0.2	0.31	13.69	23.5
Sólidos Totales Disueltos	mg L ⁻¹	1000	61.2	170	151	131	252	126	209	12500	21900
Dureza	mg L ⁻¹	500	8.7	30.8	24.7	17.9	30.9	16.4	39.6	541.1	1354.3
Sodio	mg L ⁻¹	200	5.56	10.57	8.7	11.09	25.3	10.72	16.11	3019	7673
Potasio	mg L ⁻¹	-	1.09	3.64	1.82	2.71	4.28	2.72	4.28	119	305.7
Calcio	mg L ⁻¹	100-300	7.16	27.02	22.14	16.21	25.91	11.77	29.55	157.5	344.3
Magnesio	mg L ⁻¹	100	1.55	3.74	2.58	1.67	4.96	4.63	10.04	383.6	1010
Boro	mg L ⁻¹	0.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.84	1.59
Manganeso	mg L ⁻¹	0.15	ND	NC	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NC
Carbonatos	mg L ⁻¹	-	9.3	18.5	18.5	18.5	18.5	9.3	18.5	27.8	27.8
Bicarbonatos	mg L ⁻¹	-	28.28	75.42	65.9	37.71	113.13	75.42	120.5	94.27	122.55
Cloruros	mg L ⁻¹	250	2.96	2.96	2.96	7.41	16.3	5.19	9.63	4849.22	11621.1
Sulfatos	mg L ⁻¹	400	2.06	6.79	15.2	8.5	16.02 Cos	9.31	15.31	778.91	1840.03
Fosfatos	mg L ⁻¹	0.1	0.17	0.77	0.6	4.04	1.44	0.19	0.38	0.3	0.94
Nitratos	mg L ⁻¹	10	0.94	0.44	1.07	1.62	1.08	0.26	0.12	0.86	2.34

Cuadro 8: Resultados Fisicoquímicos del Río Jamapa (Época Seca)

Resultados fisicoquímicos en los sitios del río Jamapa en la época seca											
Elementos	Unidad	L MP	Albergue	Deshielo	Tlaltenango	Ixmiquilpan	Mata de Varas	Soledad de Doblado	Jamapa	Unión X-C	B. Del Río
pH	-	Rango de 6.5 a 8.5	7.6	7.7	8.3	8.3	8.3	8.7	8.4	8.3	7.6
Conductividad Eléctrica	dS m ⁻¹	1	0.04	0.05	0.16	0.16	0.2	0.12	0.17	13.69	23.5
Sólidos Totales Disueltos	mg L ⁻¹	1000	28	31.6	107	108	131	80.4	113	12500	21900
Dureza	mg L ⁻¹	500	3.5	4.6	13	13.9	27.5	15.6	19.8	541.1	1354.3
Sodio	mg L ⁻¹	200	9.3	5.24	9.8	9.54	7.66	5.99	10.53	3019	7673
Potasio	mg L ⁻¹	-	1.01	1.43	1.45	1.45	1.94	1.57	2.6	119	305.7
Calcio	mg L ⁻¹	100 - 300	2.24	3.38	10.6	11.24	19.35	10.41	11.84	157.5	344.3
Magnesio	mg L ⁻¹	100	1.25	1.18	2.4	2.64	8.18	5.16	7.97	383.6	1010
Boro	mg L ⁻¹	0.5	ND	ND	NC	NC	ND	ND	ND	0.84	1.59
Manganeso	mg L ⁻¹	0.15	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NC
Carbonatos	mg L ⁻¹	-	0	0	9.3	6.2	9.3	9.3	9.3	27.8	27.8
Bicarbonatos	mg L ⁻¹	-	18.85	28.28	65.99	84.84	84.84	56.56	65.99	94.27	122.55
Cloruros	mg L ⁻¹	250	0.74	0.74	5.19	5.19	2.96	0.74	2.96	4849.22	11621.1
Sulfatos	mg L ⁻¹	400	4.58	2.27	5.82	5.5	5.73	3.18	4.16	778.91	1840.03
Fosfatos	mg L ⁻¹	0.1	NC	NC	NC	NC	0.57	ND	NC	0.3	0.94
Nitratos	mg L ⁻¹	10	0.79	0.32	0.68	0.77	1.24	0.16	0.13	0.86	2.34

Cuadro 9: Resultados Coliformes Fecales y Totales, época seca y húmeda.

	Época Húmeda	Época Húmeda	Época Seca	Época Seca
Sitio de Muestreo	NMP Coliformes Totales (NMP/100 ml)	NMP Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	NMP Coliformes Totales (NMP/100 ml)	NMP Coliformes Fecales (NMP/100 ml)
Albergue	ND	ND	2.2	2.2
Deshielo	ND	ND	9.2	9.2
Cuiyachapa	23	23	23	23
Tlaltengo	23	23	23	23
Ixhuatlán	23	23	23	23
Chocamán	23	23	23	23
Neria	23	23	23	23
Mesillas	23	23	23	23
Mata De Varas	23	23	23	23
Soledad De Doblado	23	23	23	23
Jamapa	23	23	23	16
Unión Xamapa-Cotaxtla	23	23	23	23
Boca Del Rio	23	23	23	23
Catalán	23	23	23	23
Cotaxtla	23	23	9.2	9.2
Coscomatepec			23	23

Cuadro 10: Resultados Metales pesados, época seca y húmeda.

Parámetro	Unidad	LMP	Resultados Época Seca		Resultados Época Húmeda	
			Unión Jamapa-Cotaxtla	Boca del Río	Unión Jamapa-Cotaxtla	Boca del Río
Arsénico	mg/l	0.025	0.015	N.D.	N.D.	N.D.
Cadmio	mg/l	0.005	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Bario	mg/l	0.7	0.08	0.066	0.049	0.048
Aluminio	mg/l	0.2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Cobre	mg/l	2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Mercurio	mg/l	0.001	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Plomo	mg/l	0.01	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Cromo	mg/l	0.05	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Fierro	mg/l	0.3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Manganeso	mg/l	0.15	N.D.	0.056	N.D.	N.D.
Sodio	mg/l	200	2658	3869	6.9	69.1
Zinc	mg/l	5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

ANEXO B MAPAS DE RESULTADOS DE VALORES DE LOS ANALISIS DE CALIDAD DE AGUA REALIZADOS

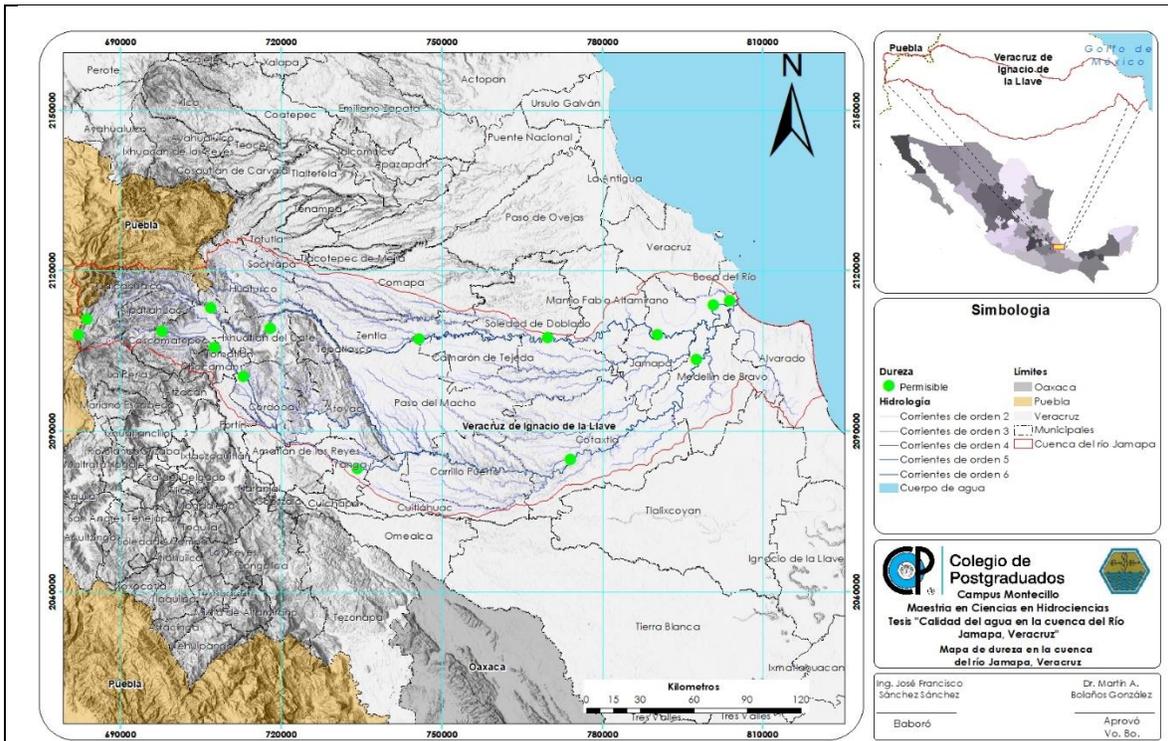


Figura 47: Mapa de Dureza, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

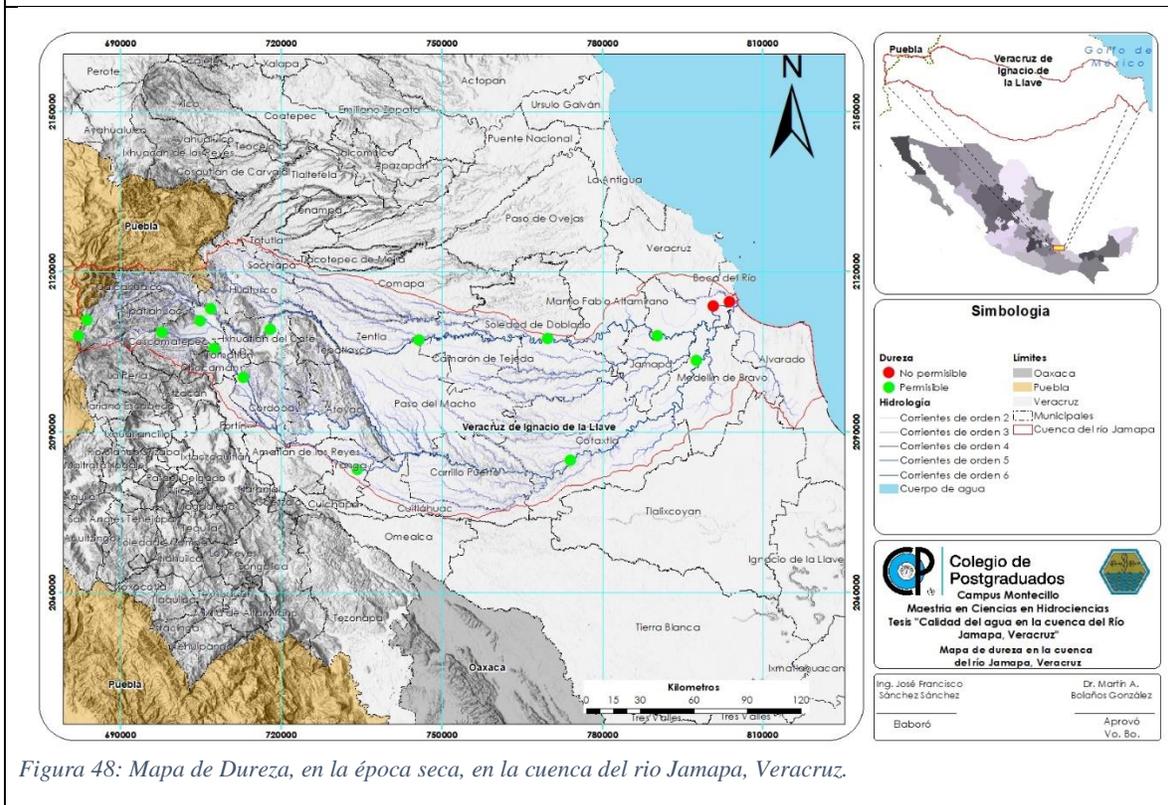


Figura 48: Mapa de Dureza, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

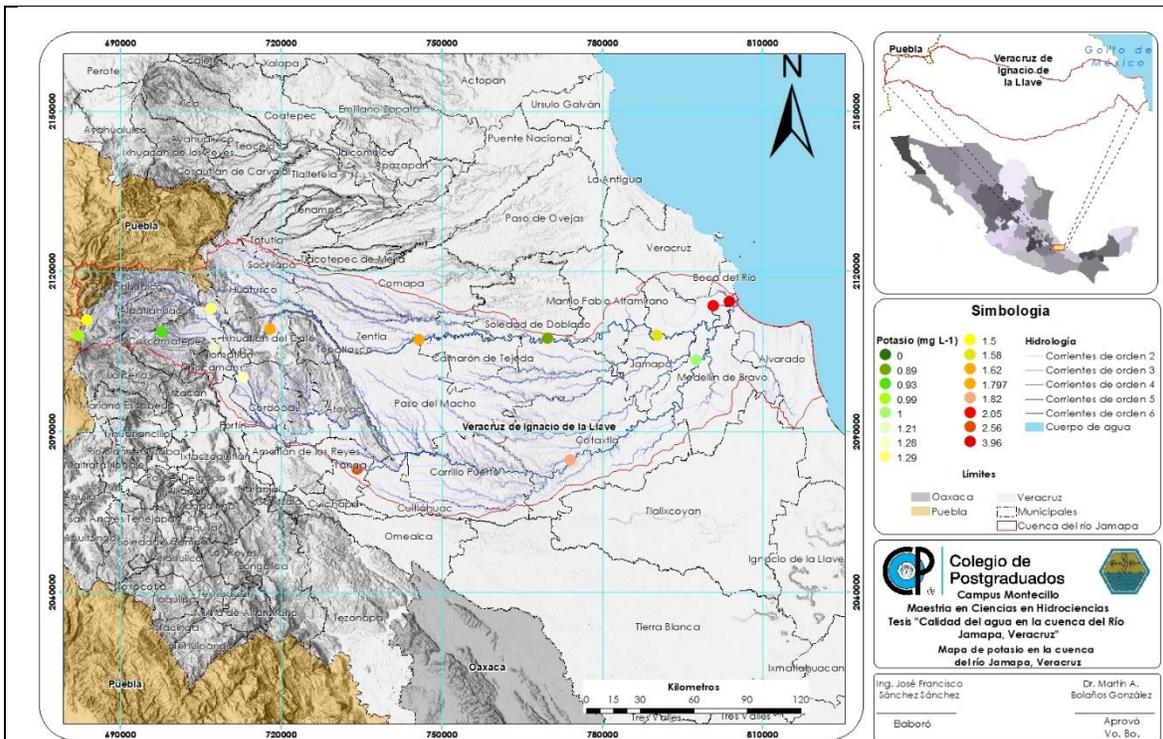


Figura 49: Mapa de Potasio, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

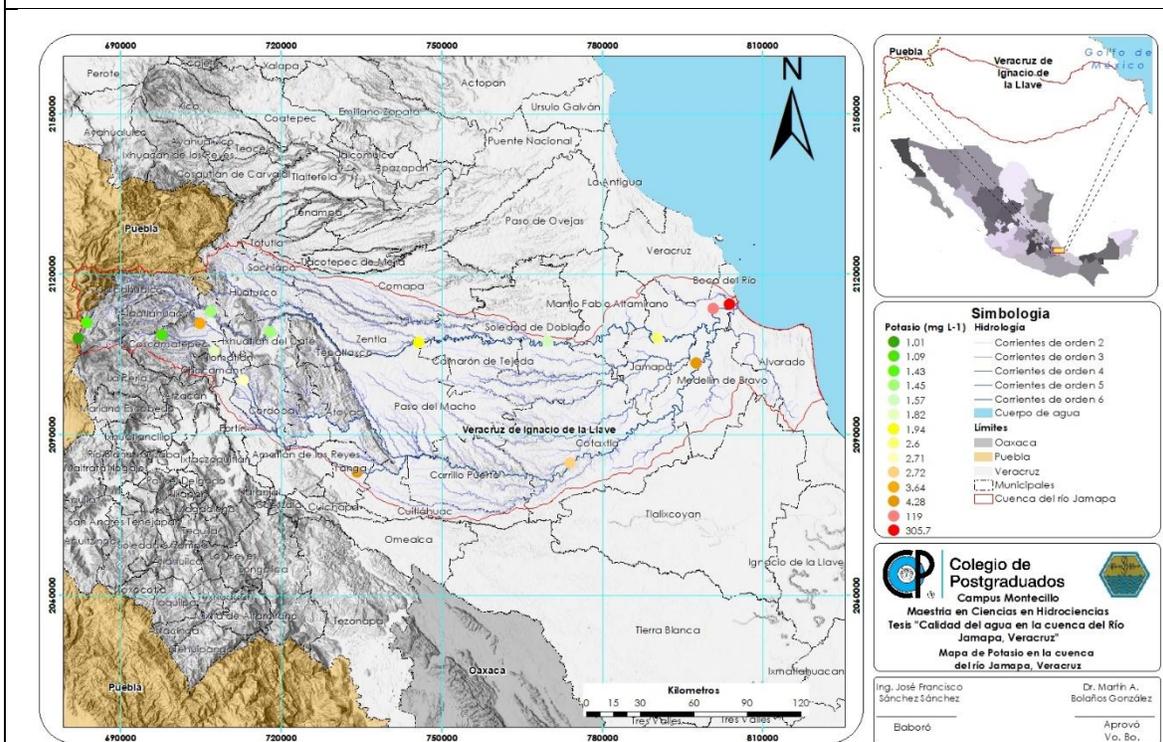


Figura 50: Mapa de Potasio, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

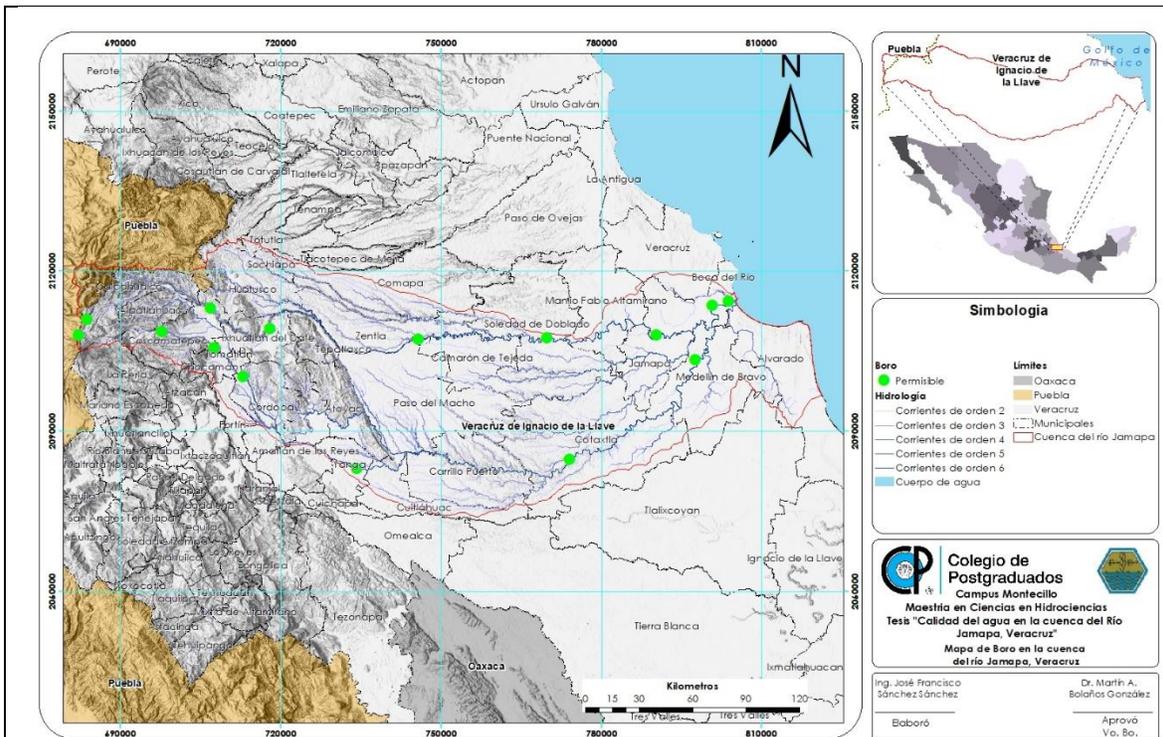


Figura 51: Mapa de Boro, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

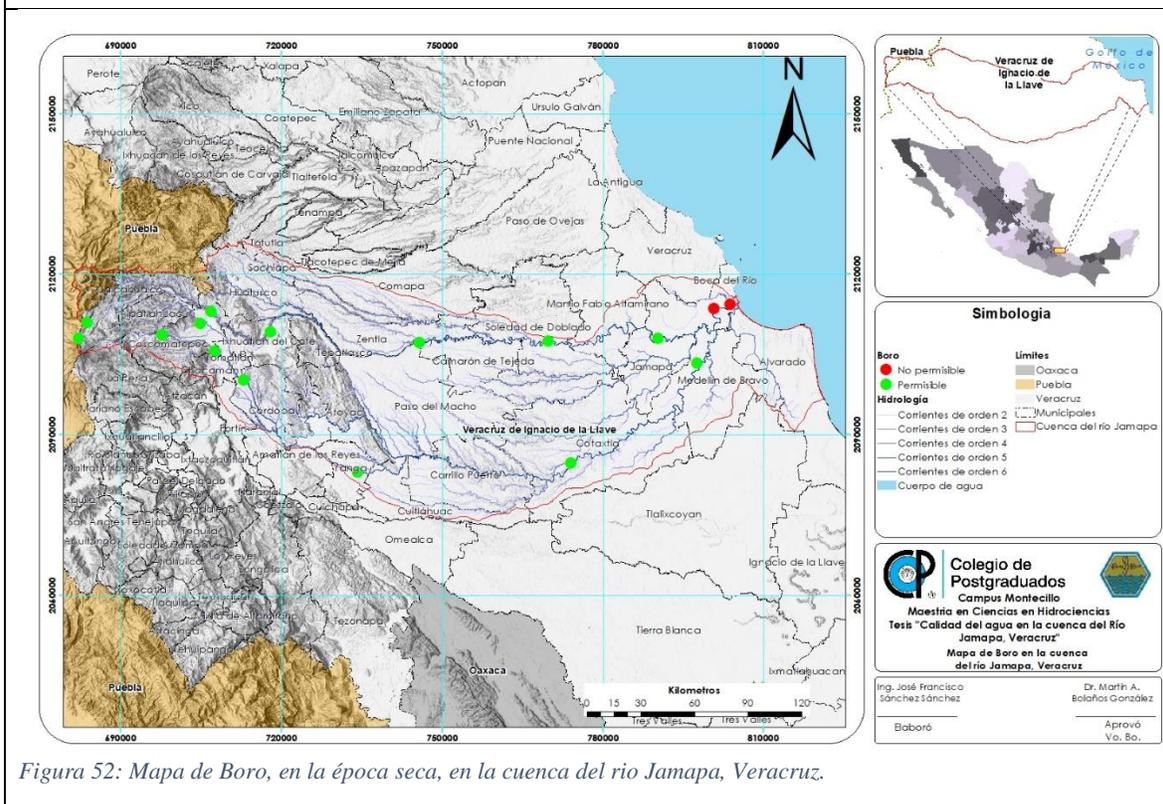
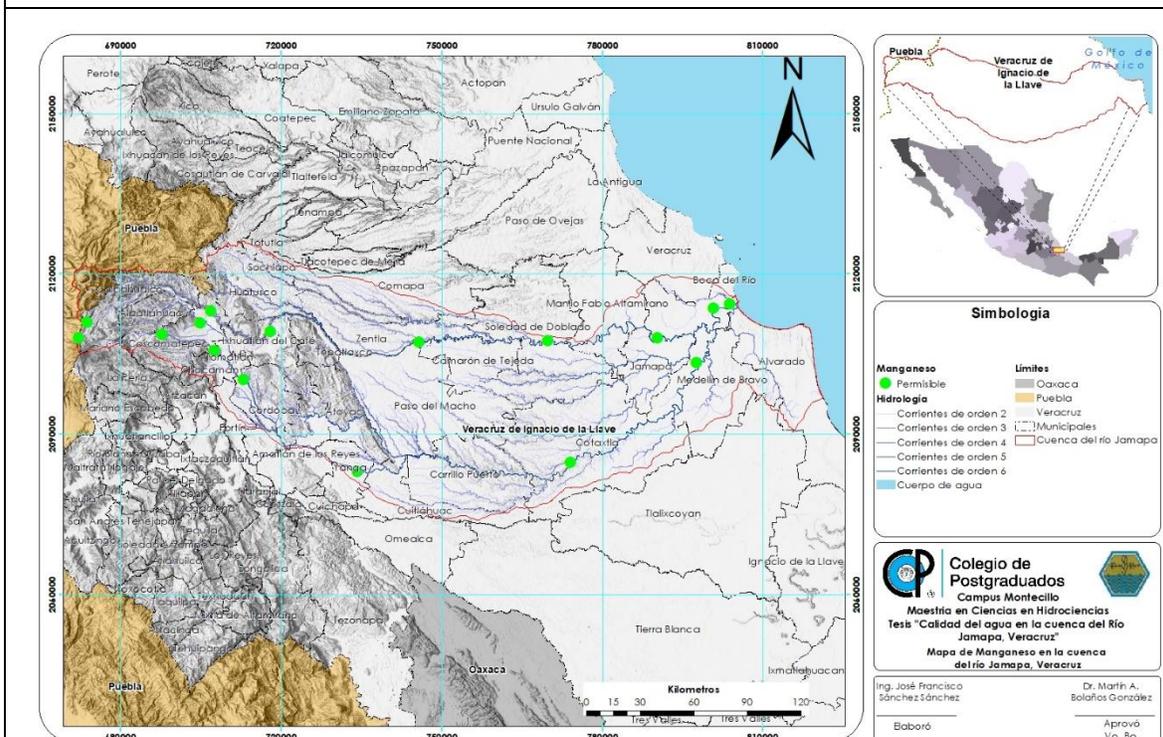
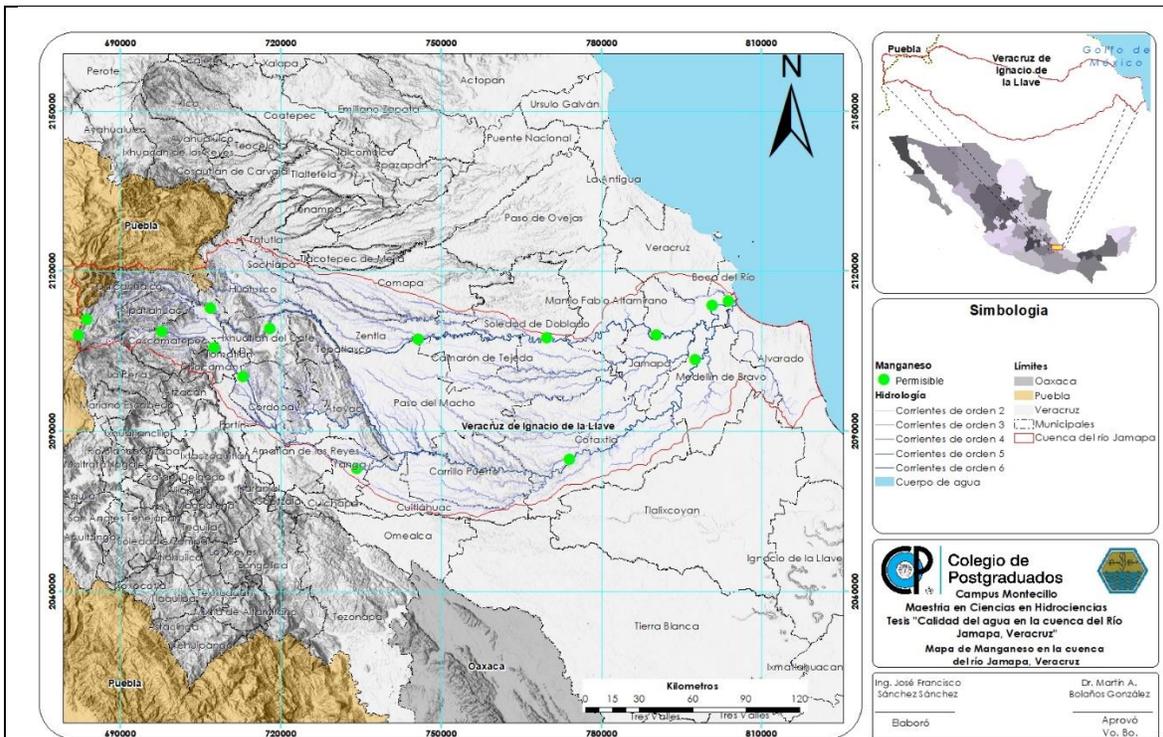


Figura 52: Mapa de Boro, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.



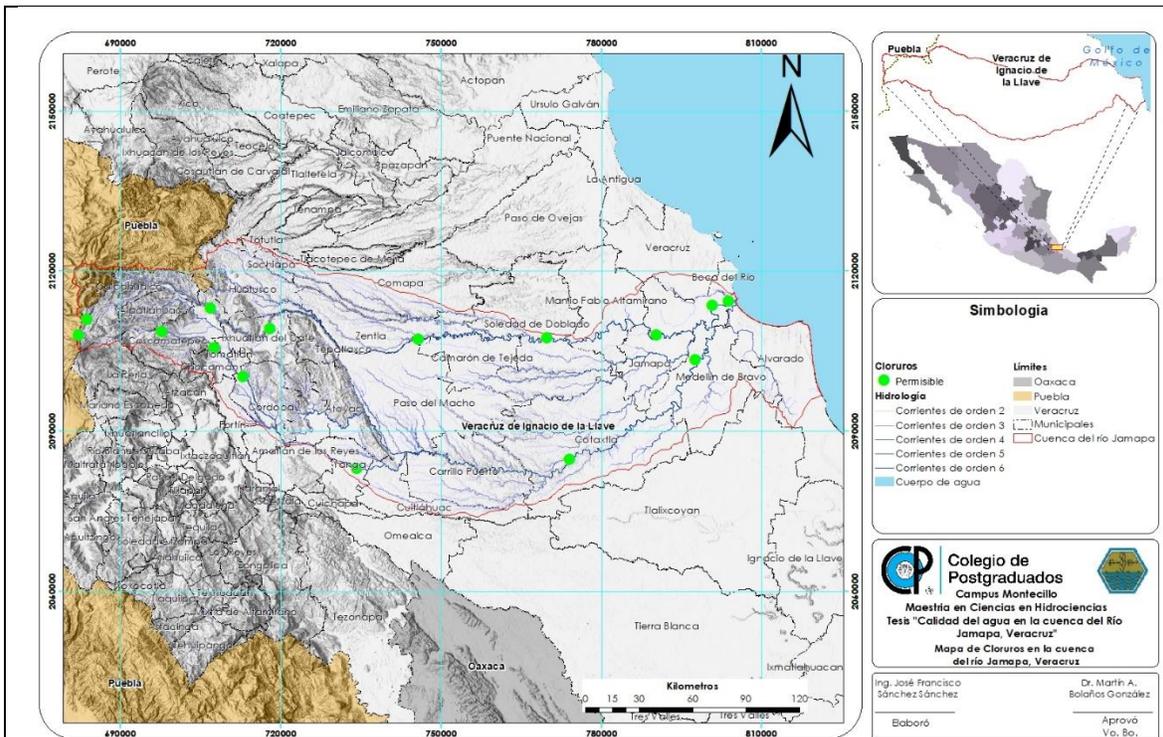


Figura 55: Mapa de Cloruros, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

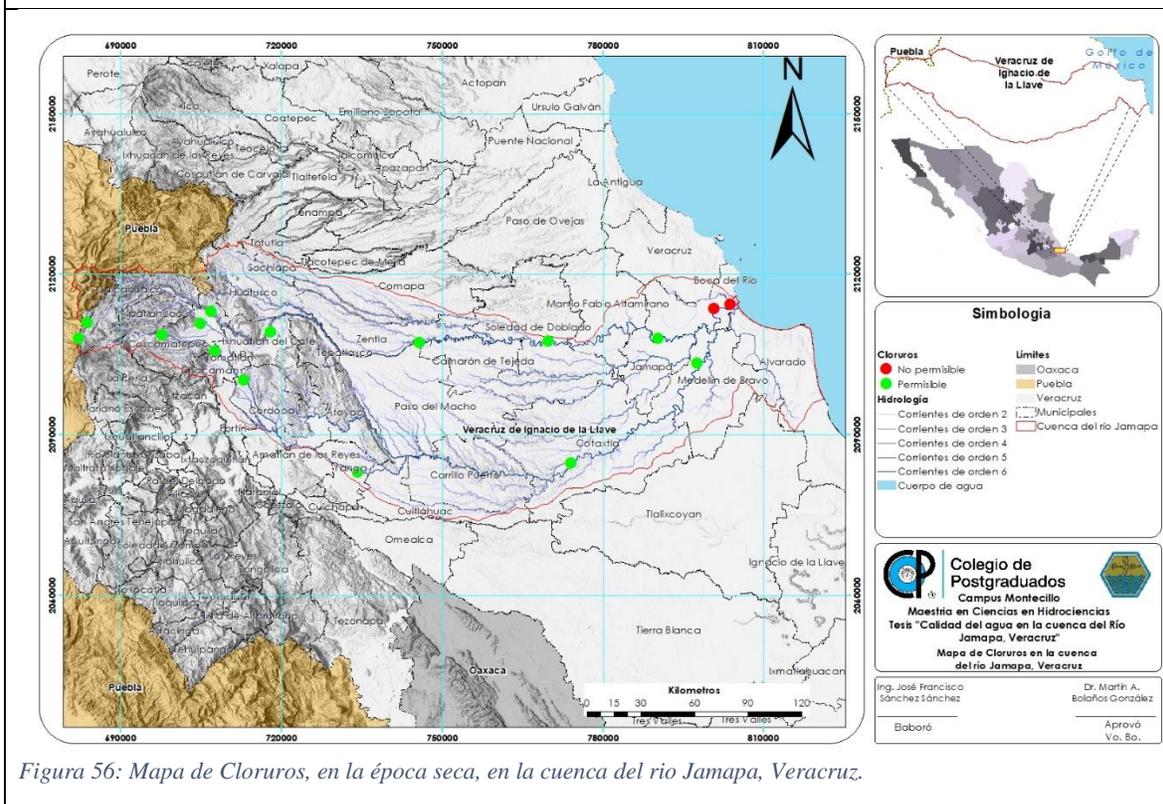


Figura 56: Mapa de Cloruros, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

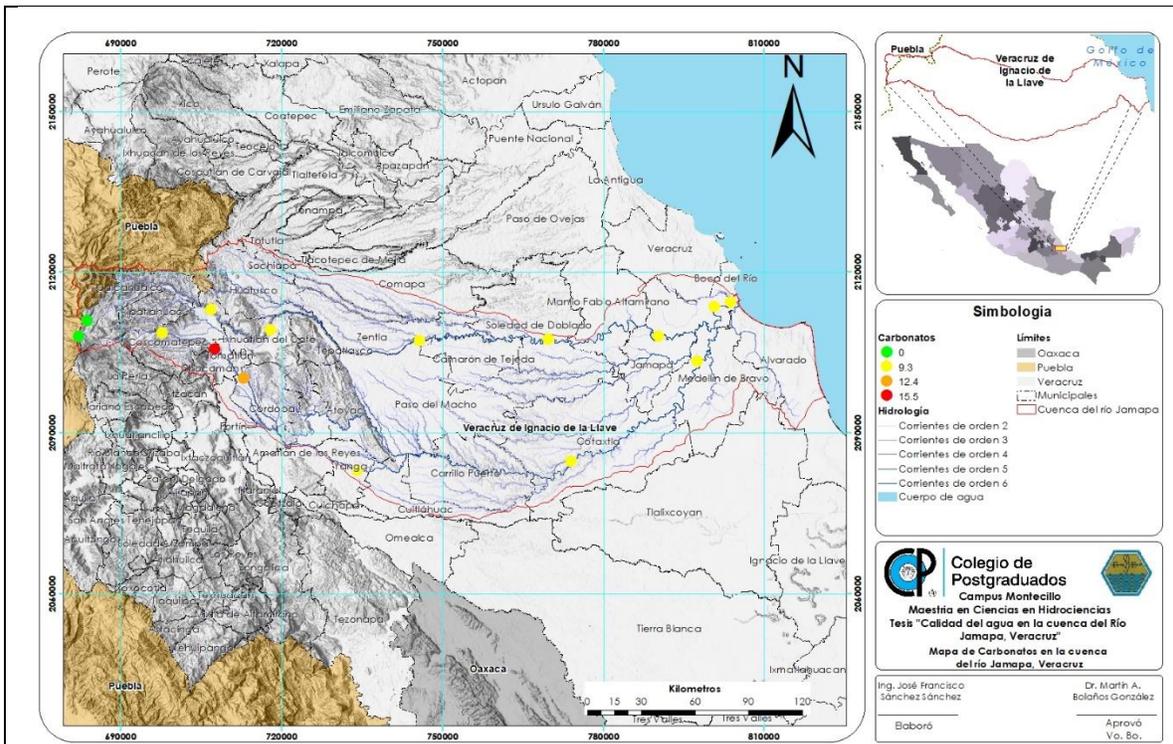


Figura 57: Mapa de Carbonatos, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

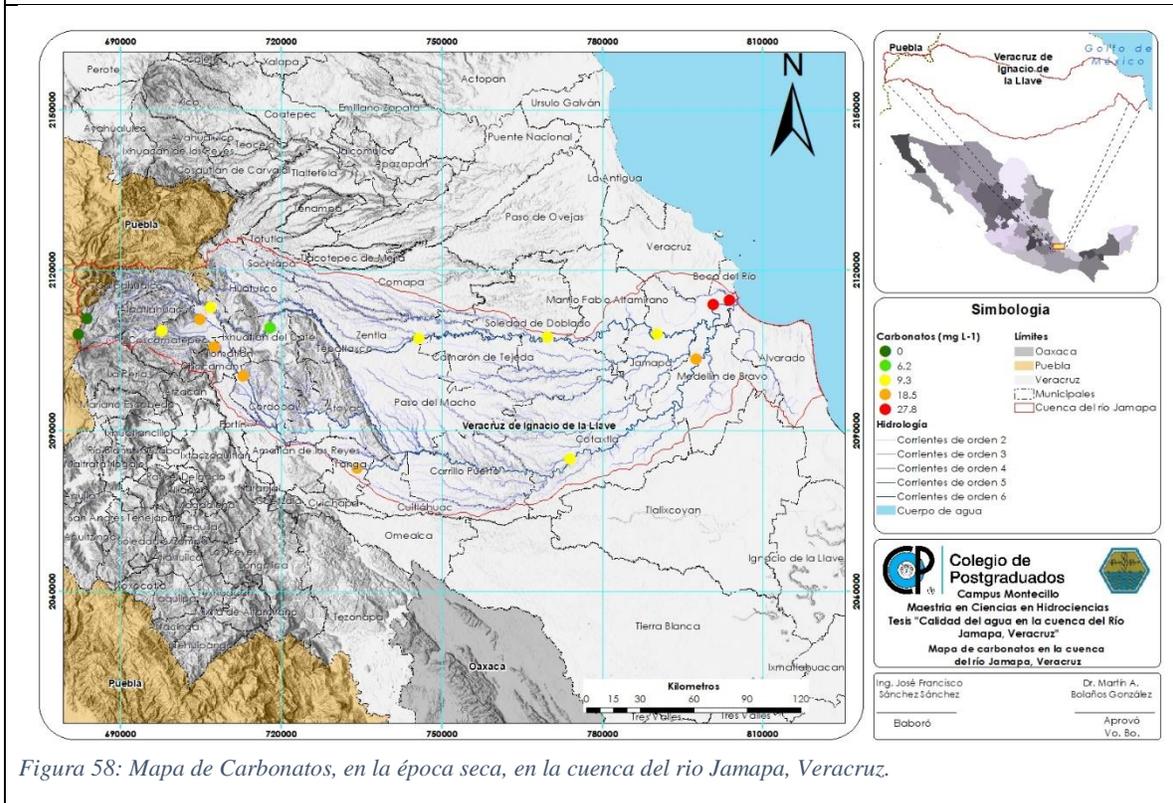


Figura 58: Mapa de Carbonatos, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

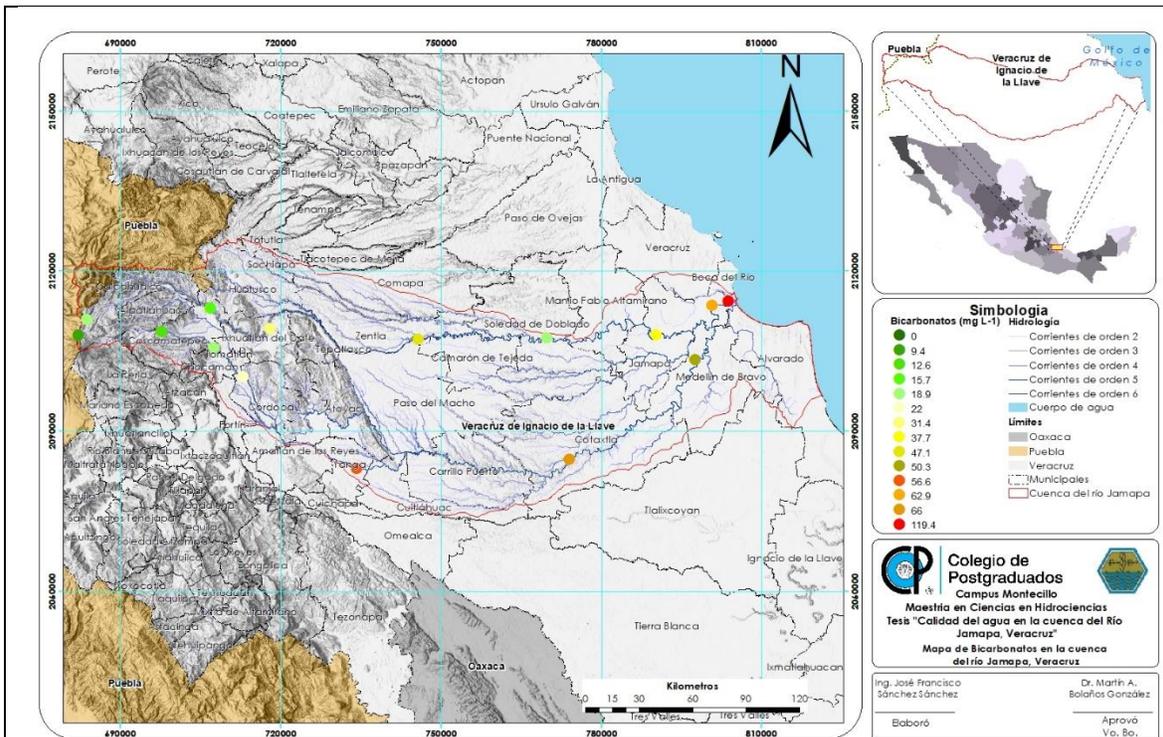


Figura 59: Mapa de Bicarbonatos, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

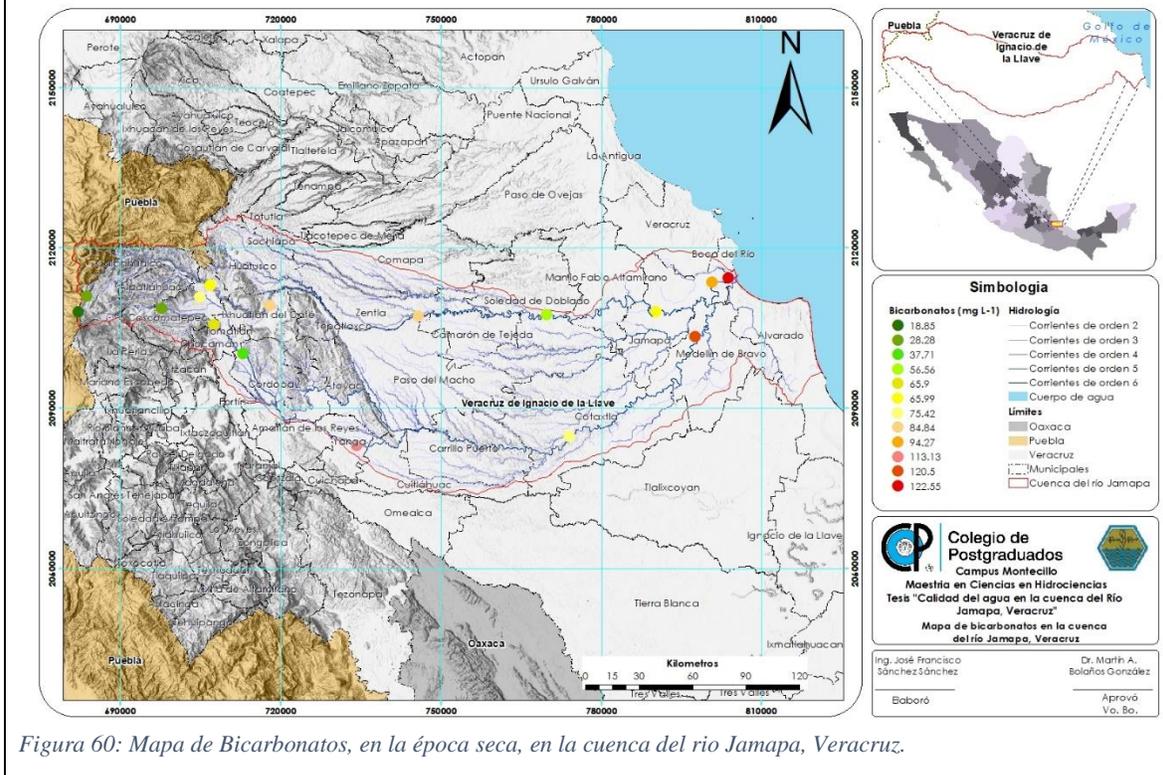


Figura 60: Mapa de Bicarbonatos, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

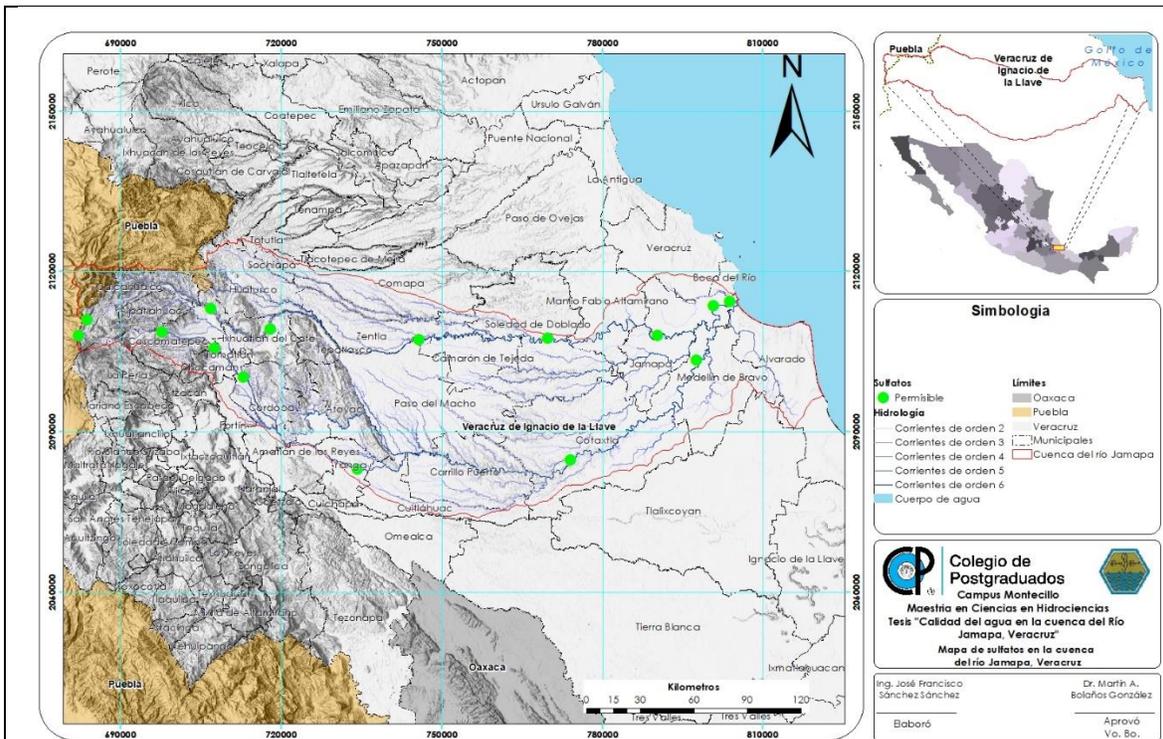


Figura 61: Mapa de Sulfatos, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

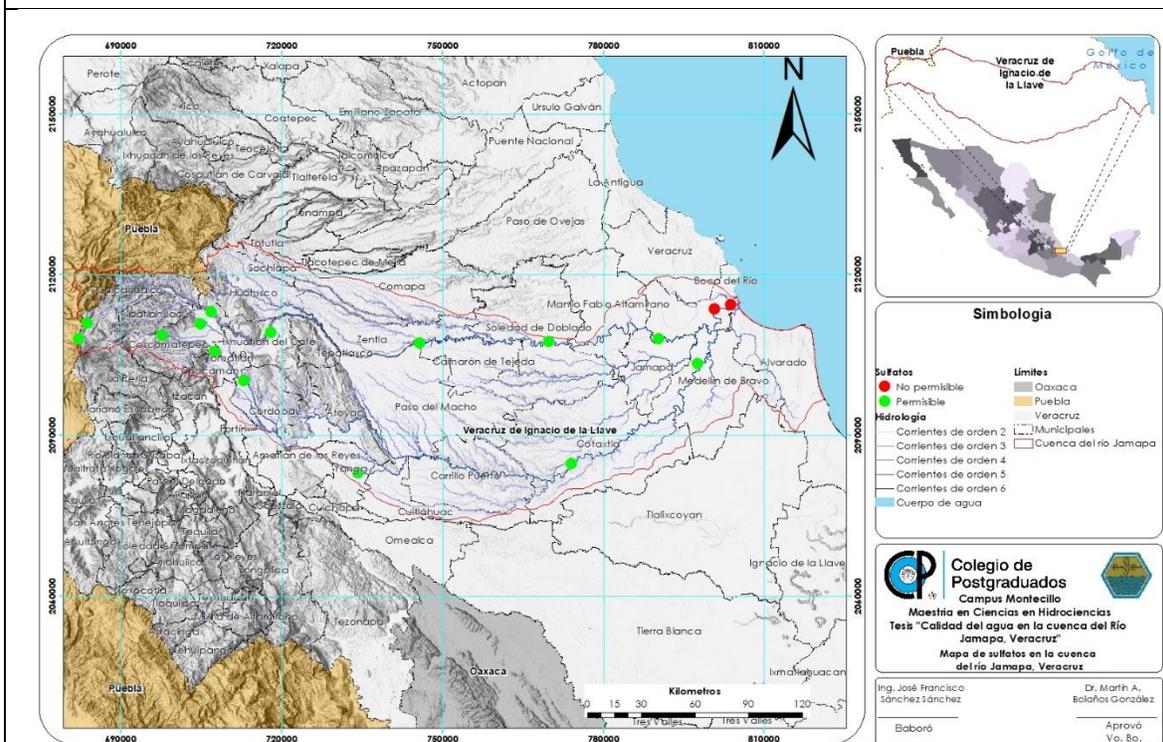


Figura 62: Mapa de Sulfatos, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

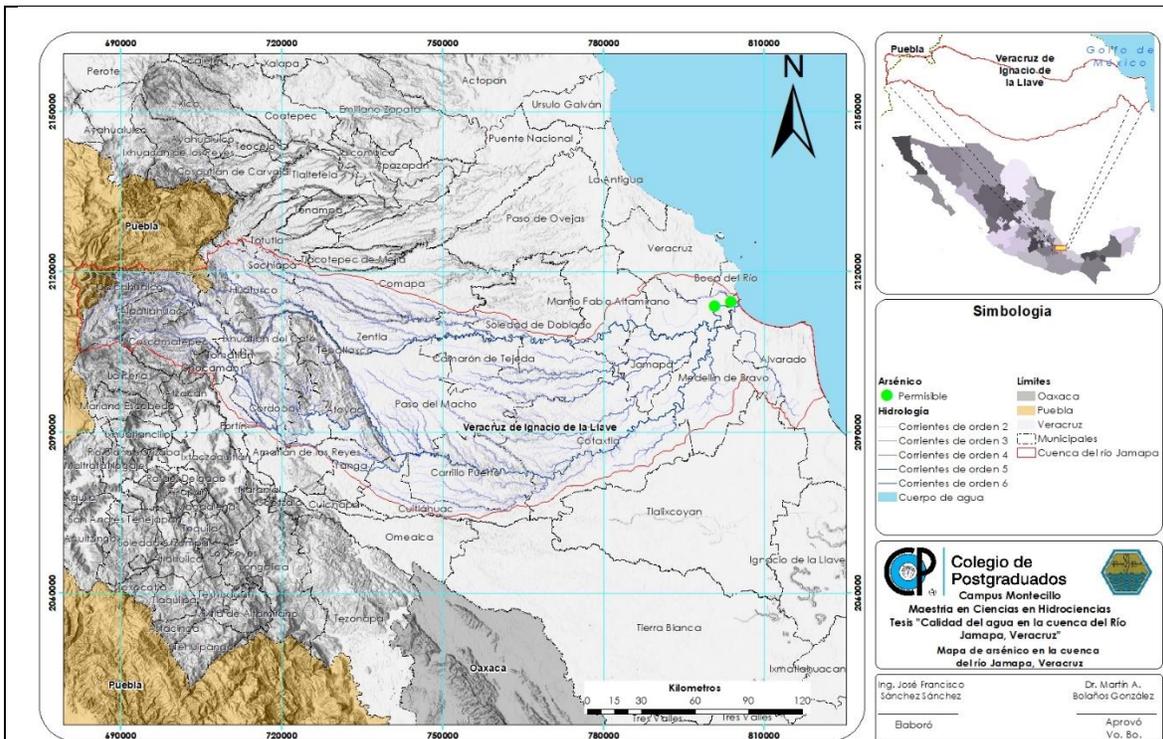


Figura 63: Mapa de Metales Pesados-Arsénico, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

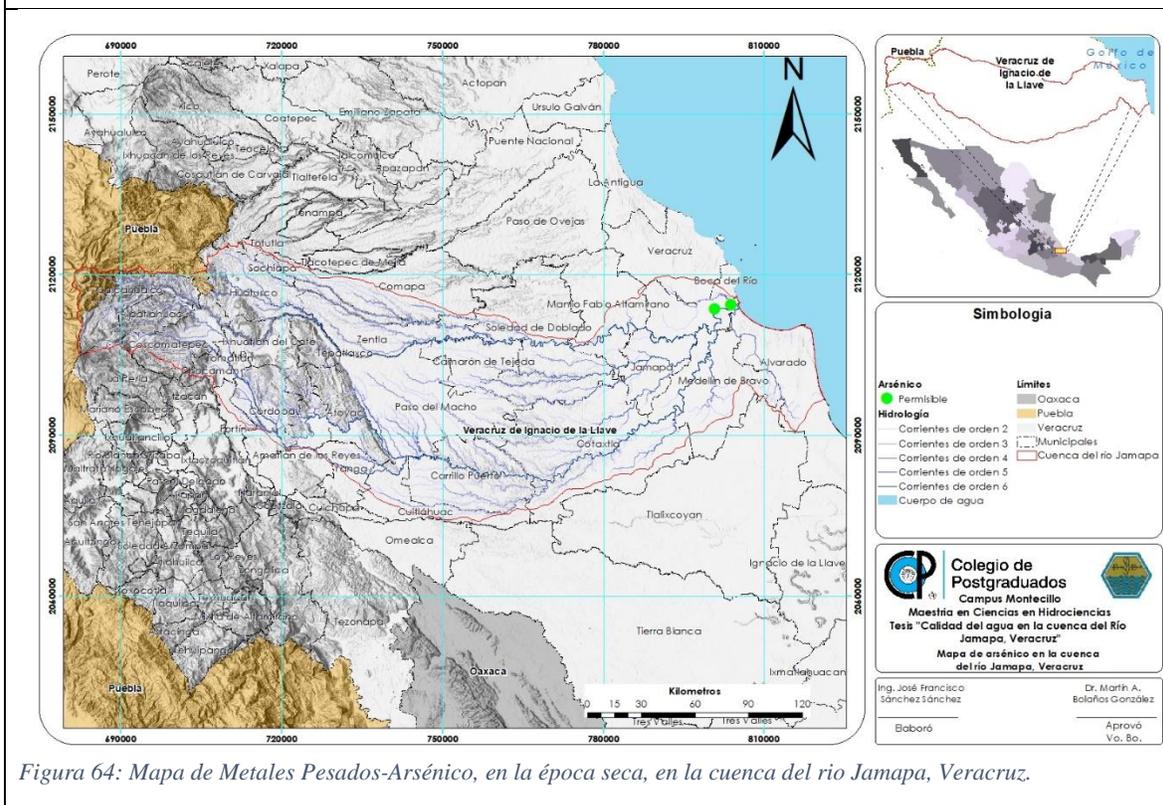


Figura 64: Mapa de Metales Pesados-Arsénico, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

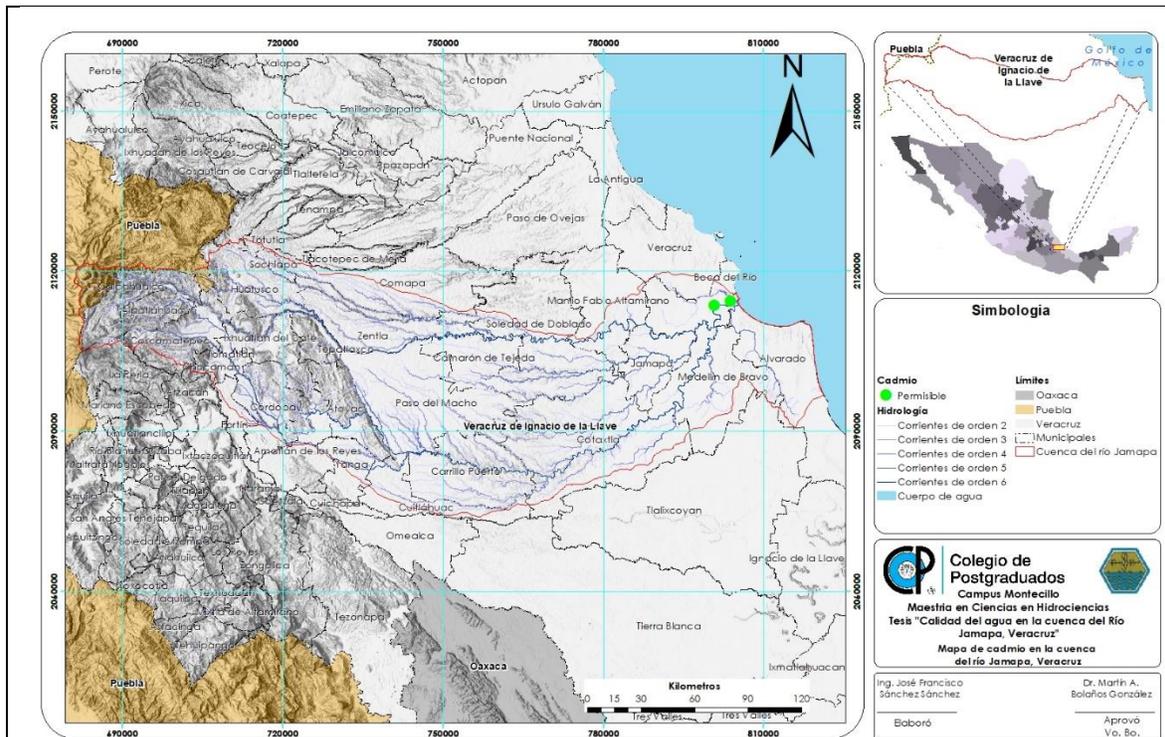


Figura 65: Mapa de Metales Pesados-Cadmio, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

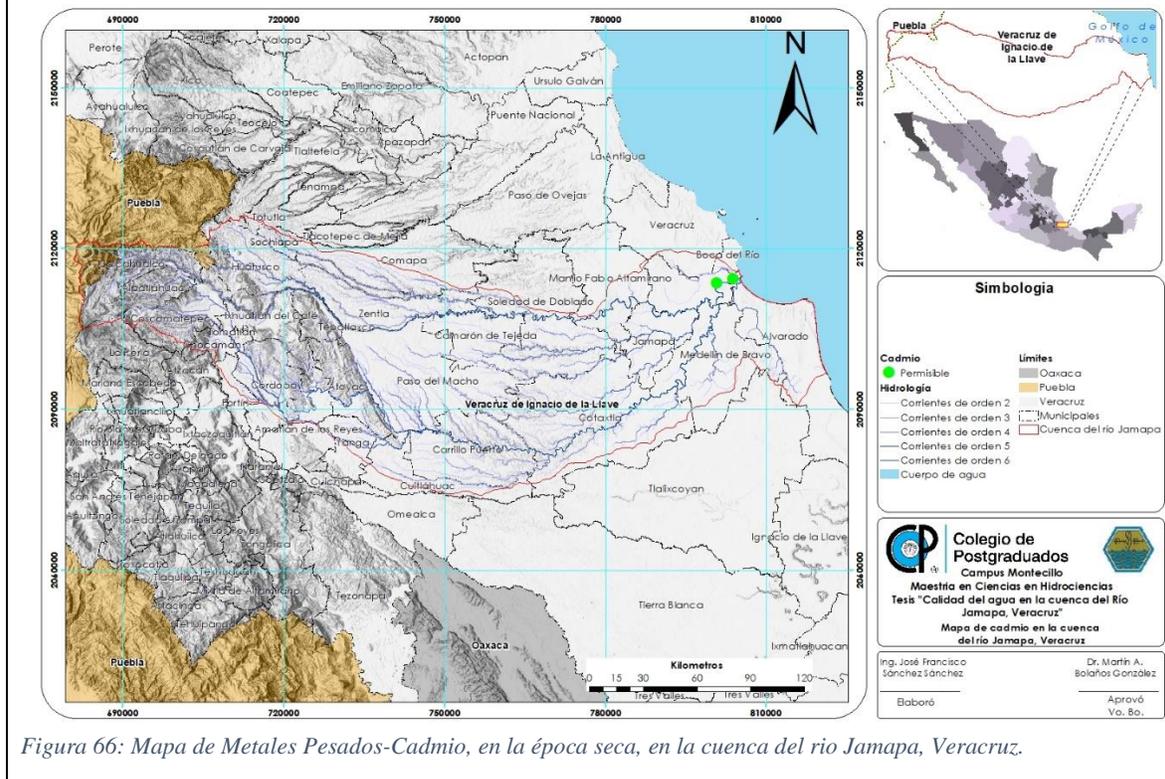


Figura 66: Mapa de Metales Pesados-Cadmio, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

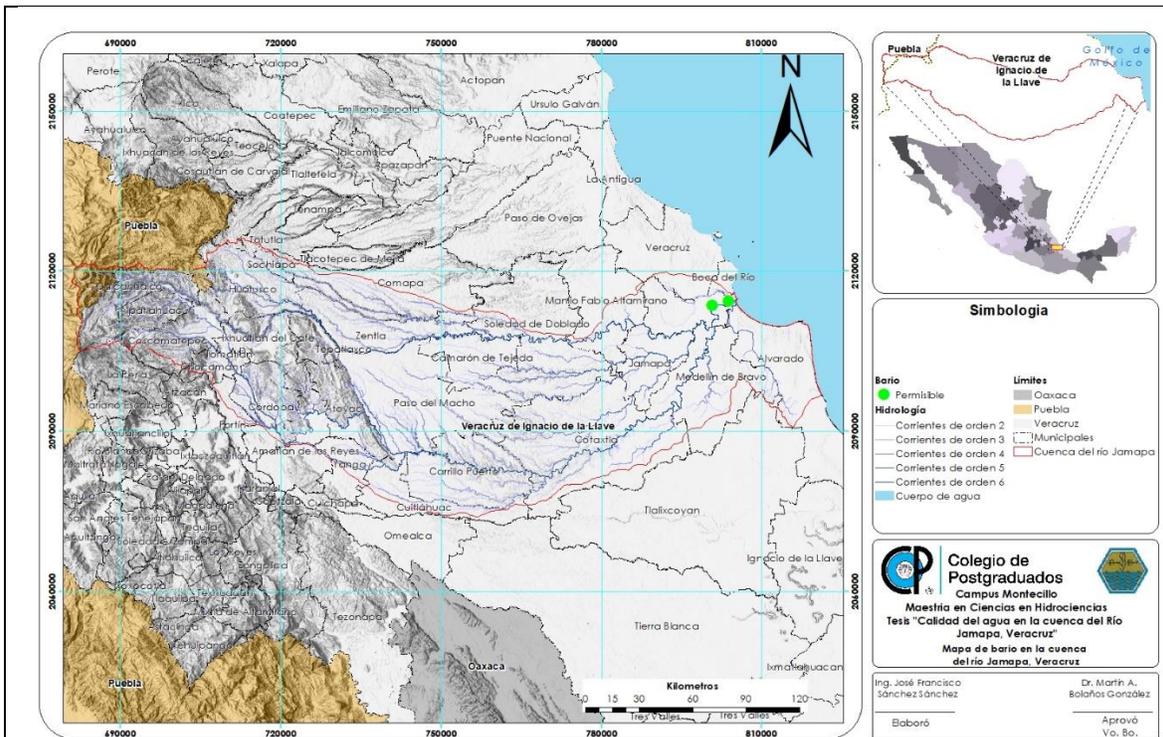


Figura 67: Mapa de Metales Pesados-Bario, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

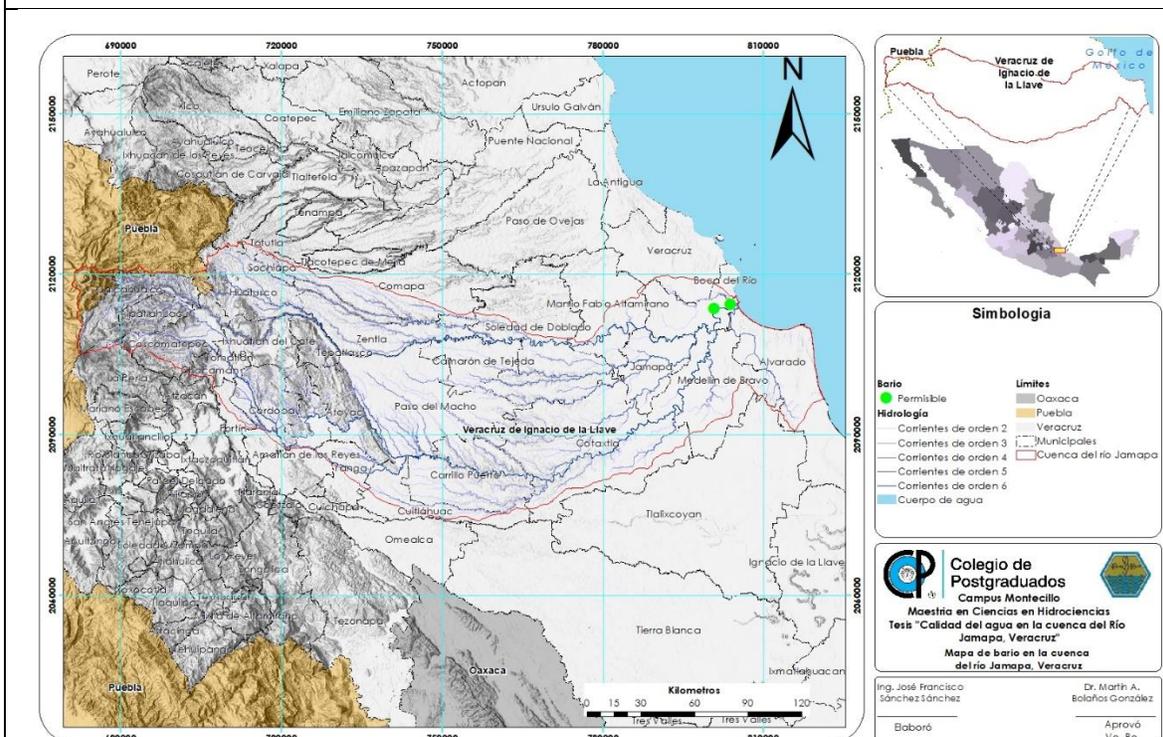


Figura 68: Mapa de Metales Pesados-Bario, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

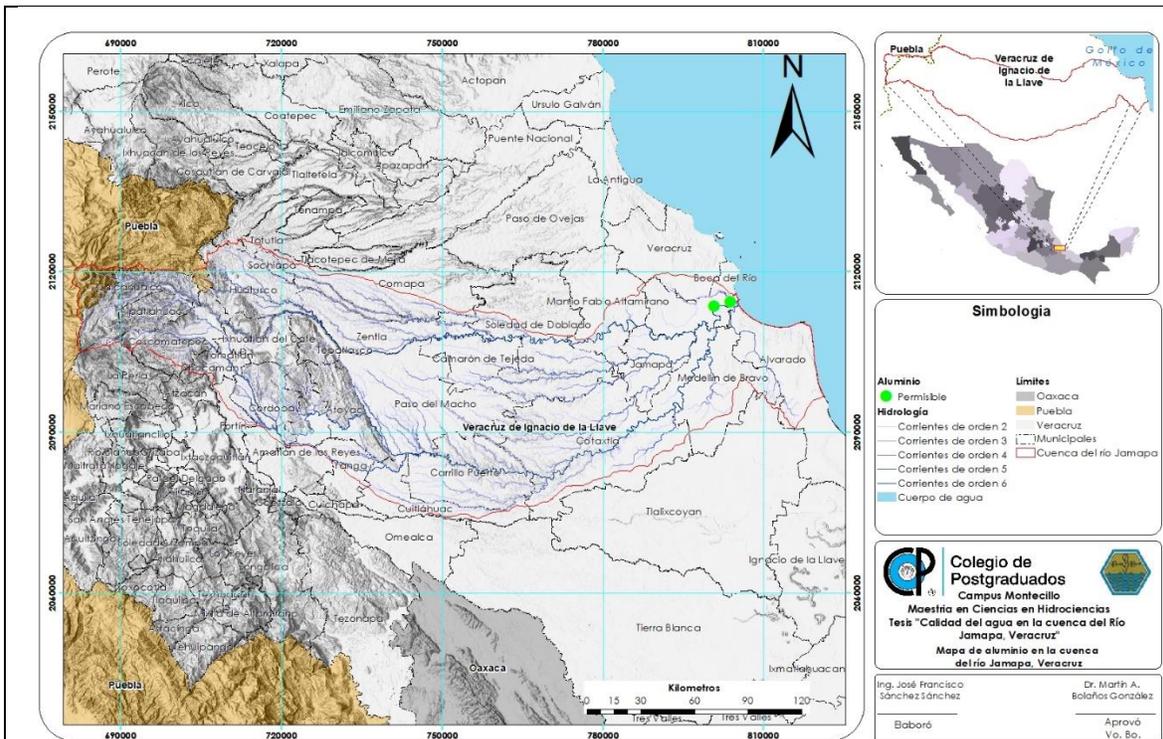


Figura 69: Mapa de Metales Pesados-Aluminio, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

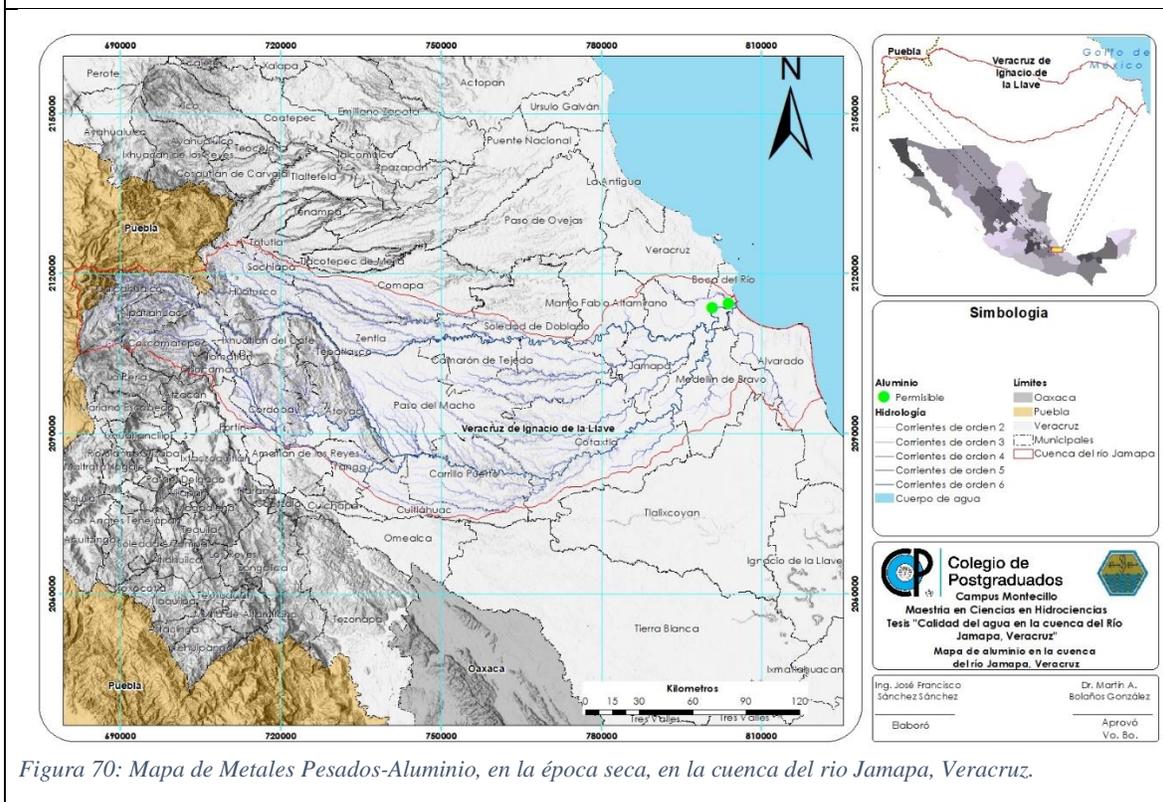


Figura 70: Mapa de Metales Pesados-Aluminio, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

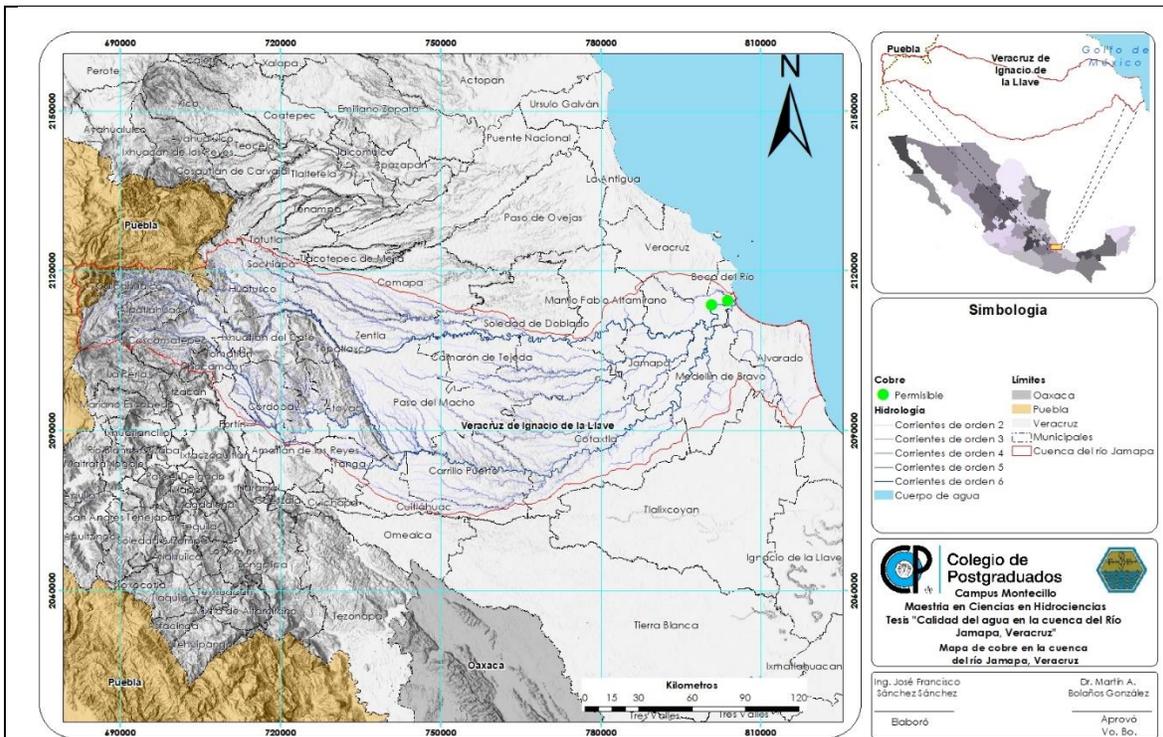


Figura 71: Mapa de Metales Pesados-Cobre, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

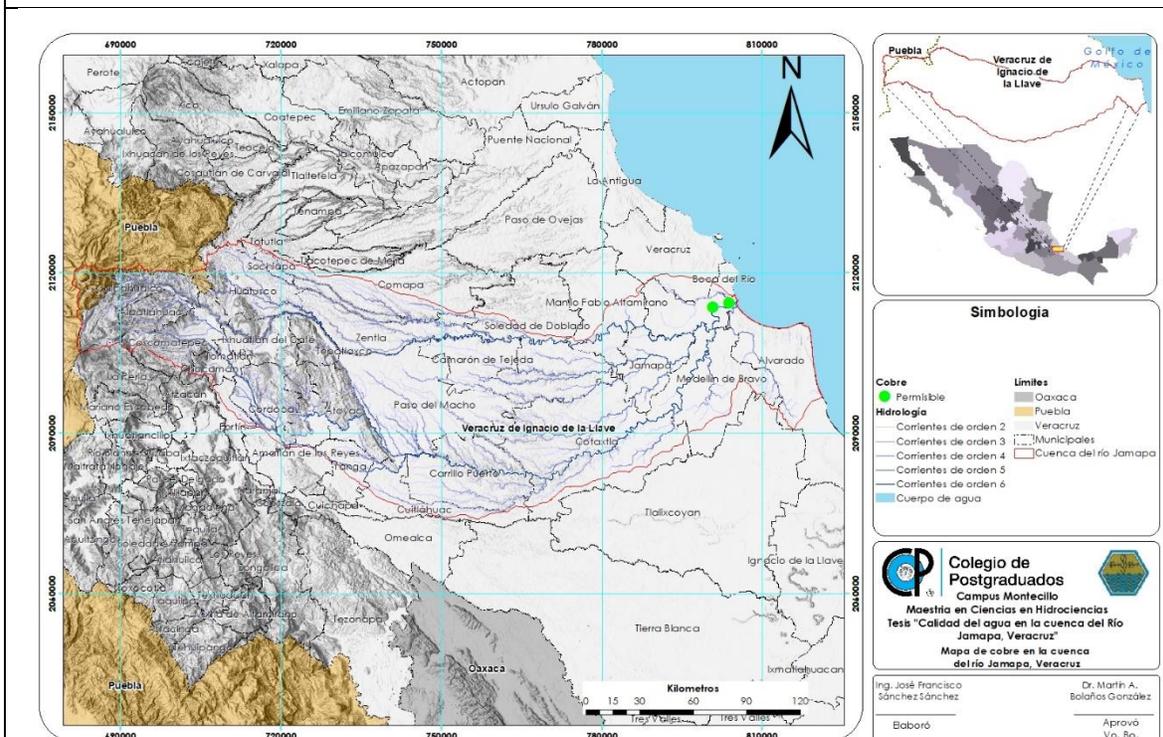


Figura 72: Mapa de Metales Pesados-Cobre, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

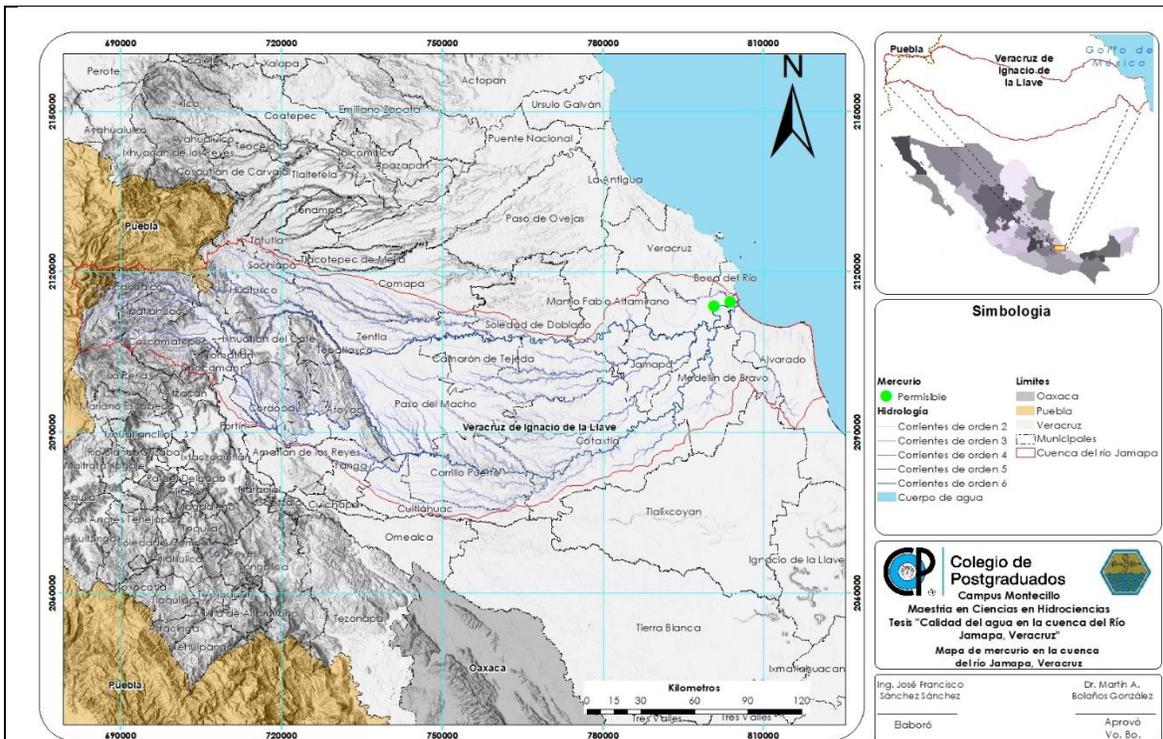


Figura 73: Mapa de Metales Pesados-Mercurio, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

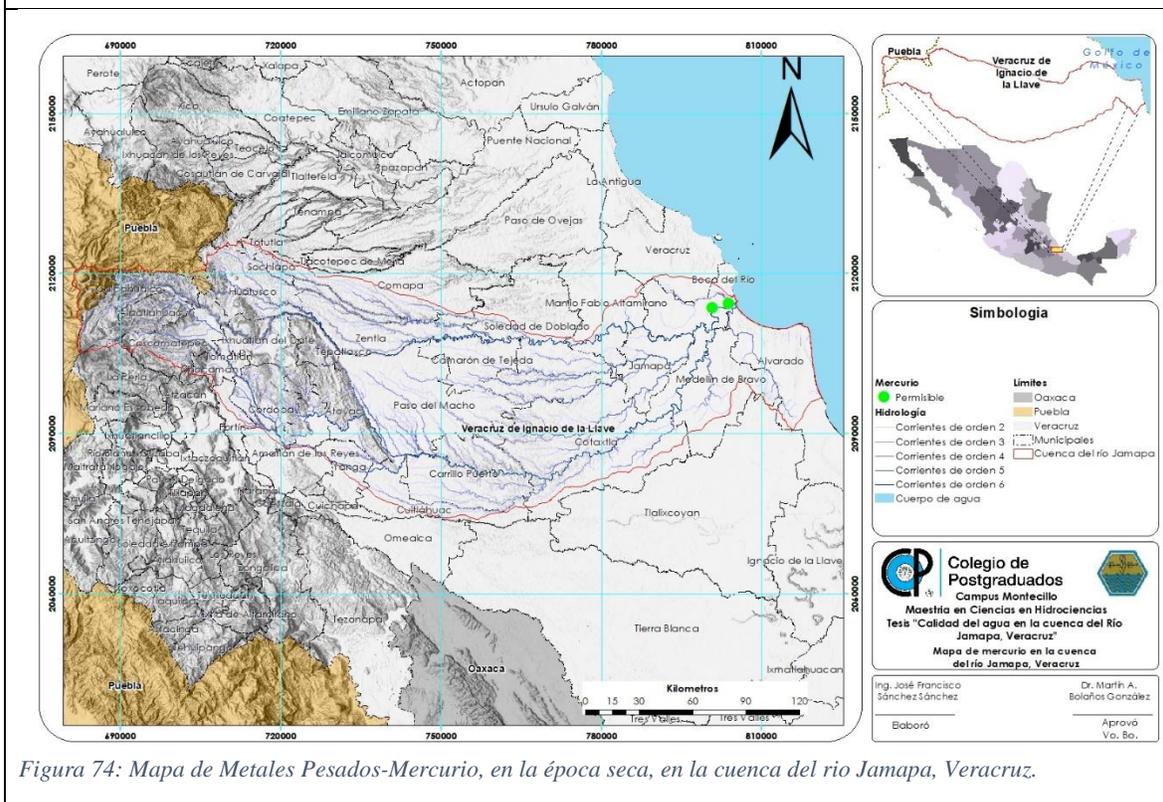


Figura 74: Mapa de Metales Pesados-Mercurio, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

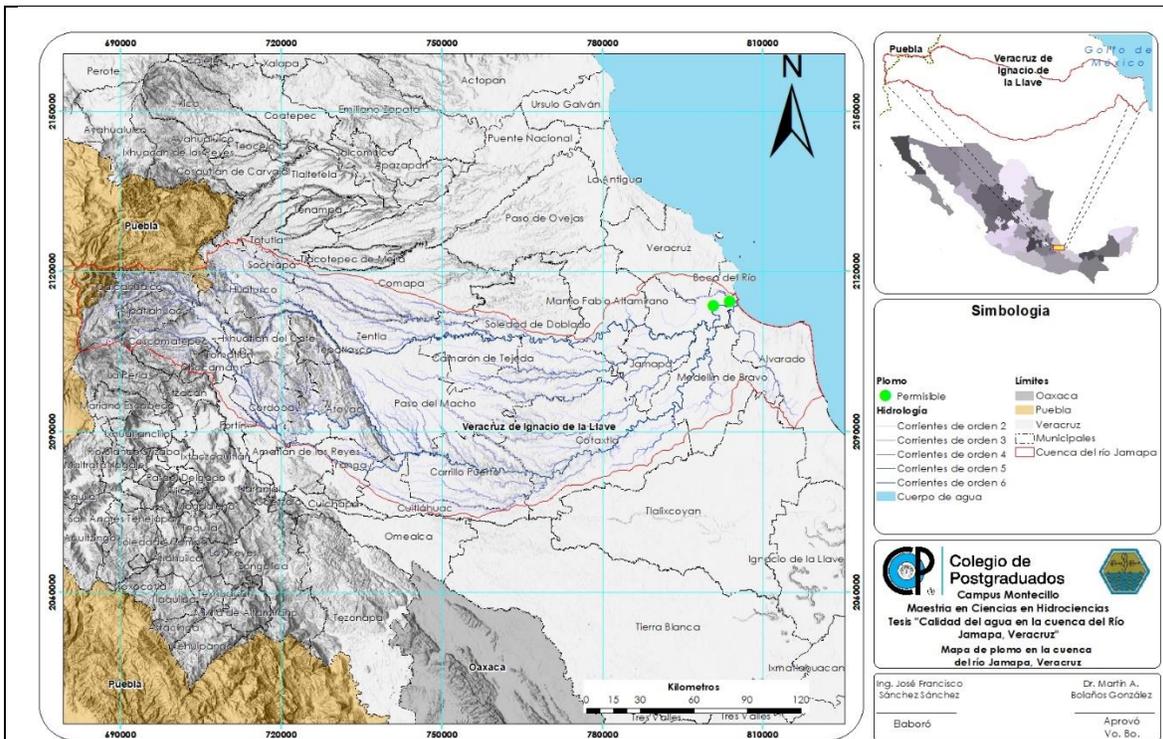


Figura 75: Mapa de Metales Pesados-Plomo, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

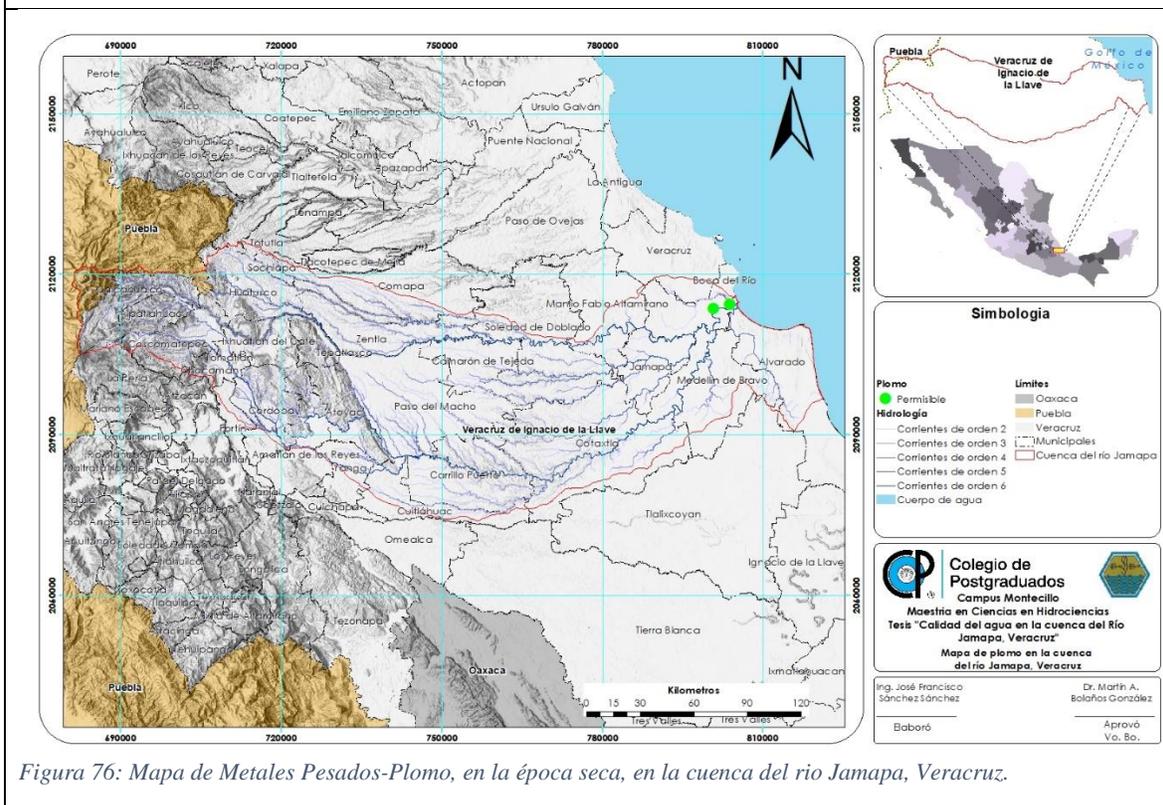


Figura 76: Mapa de Metales Pesados-Plomo, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

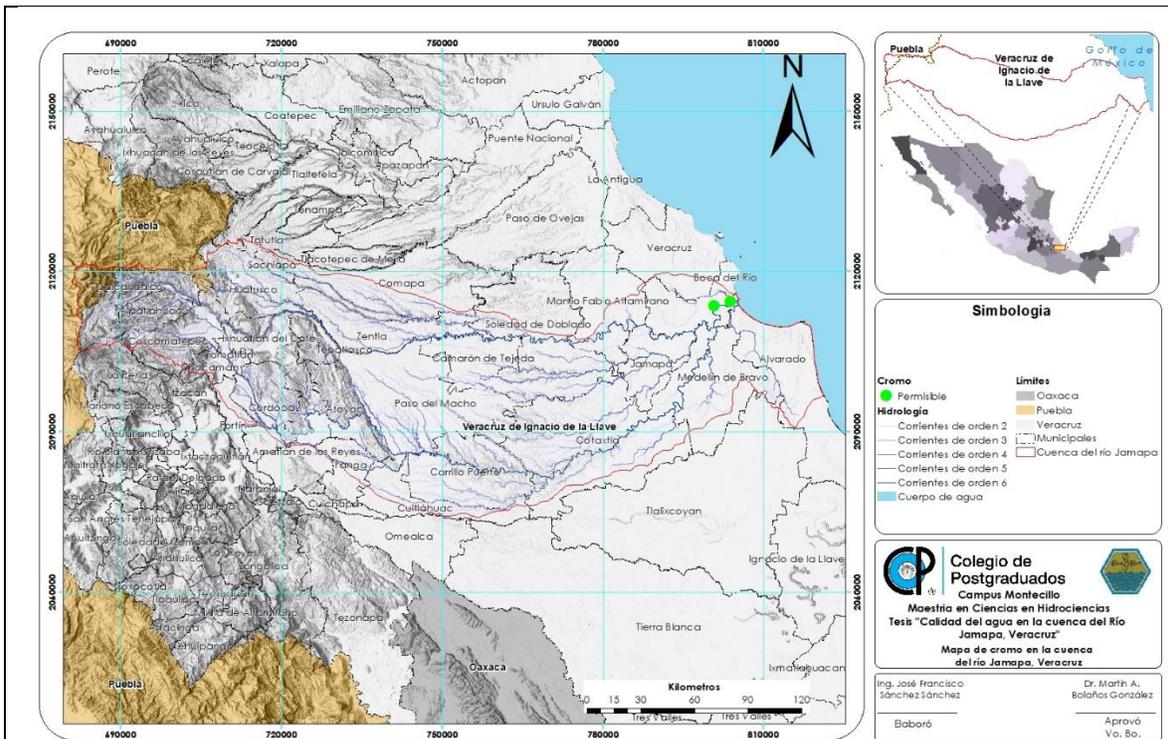


Figura 77: Mapa de Metales Pesados-Cromo, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

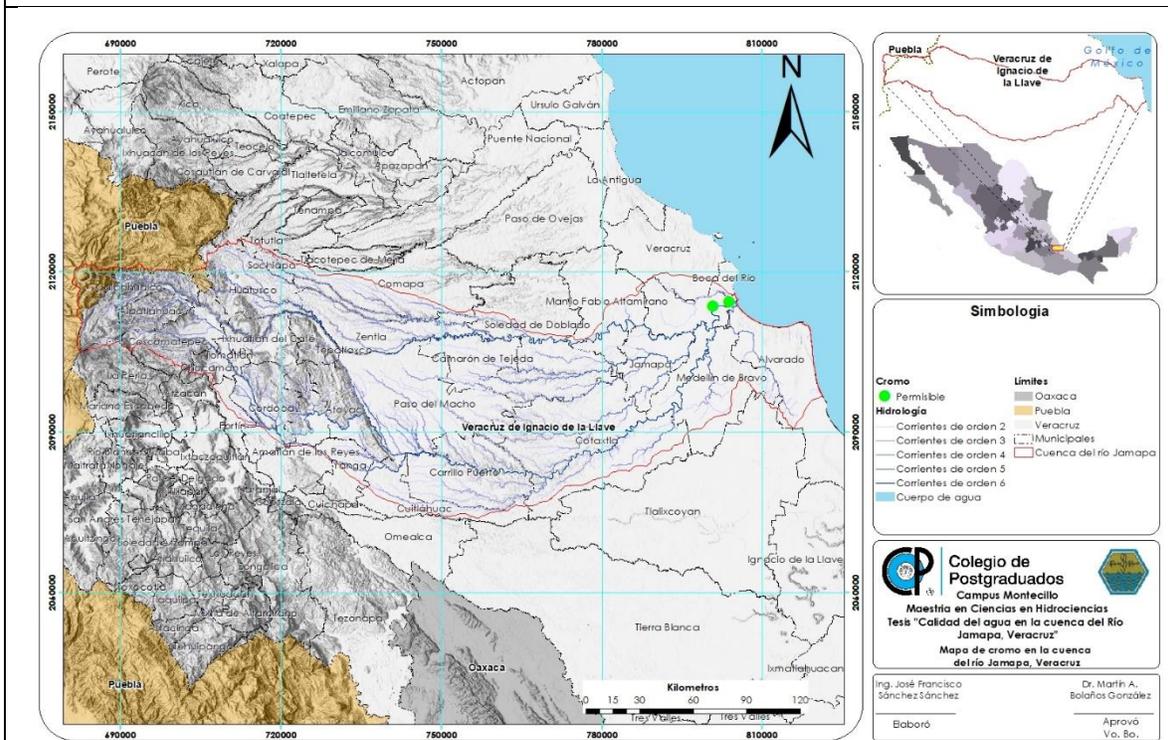
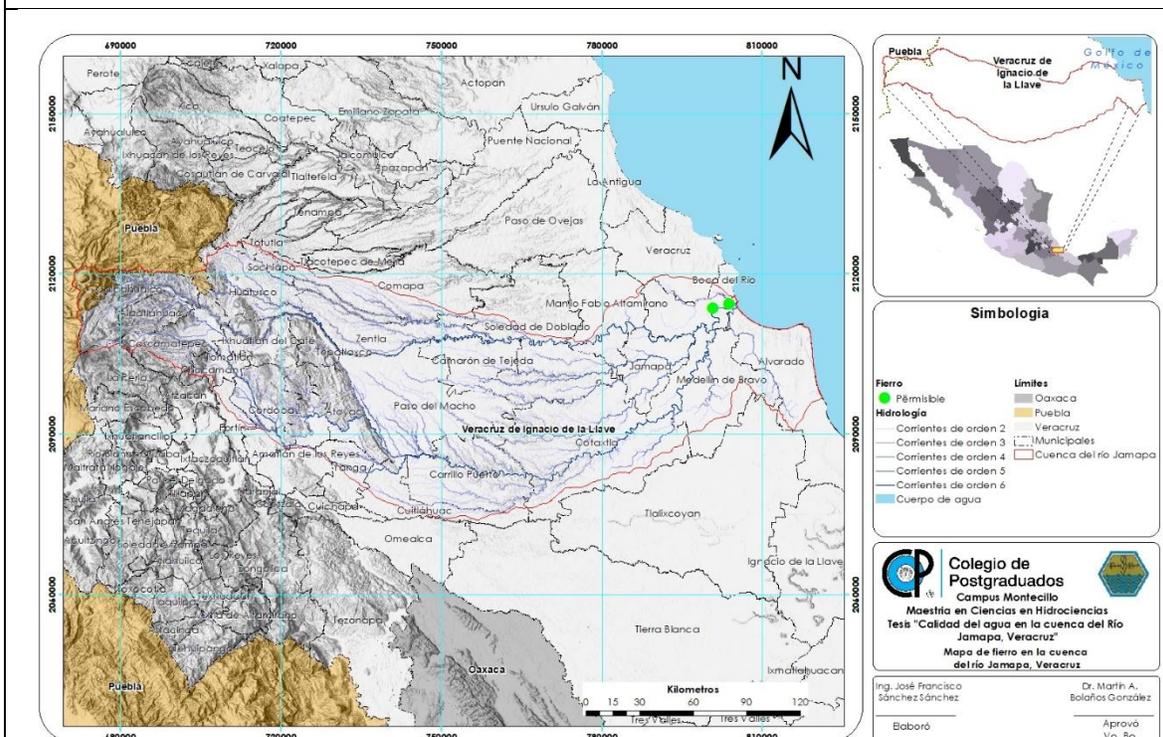
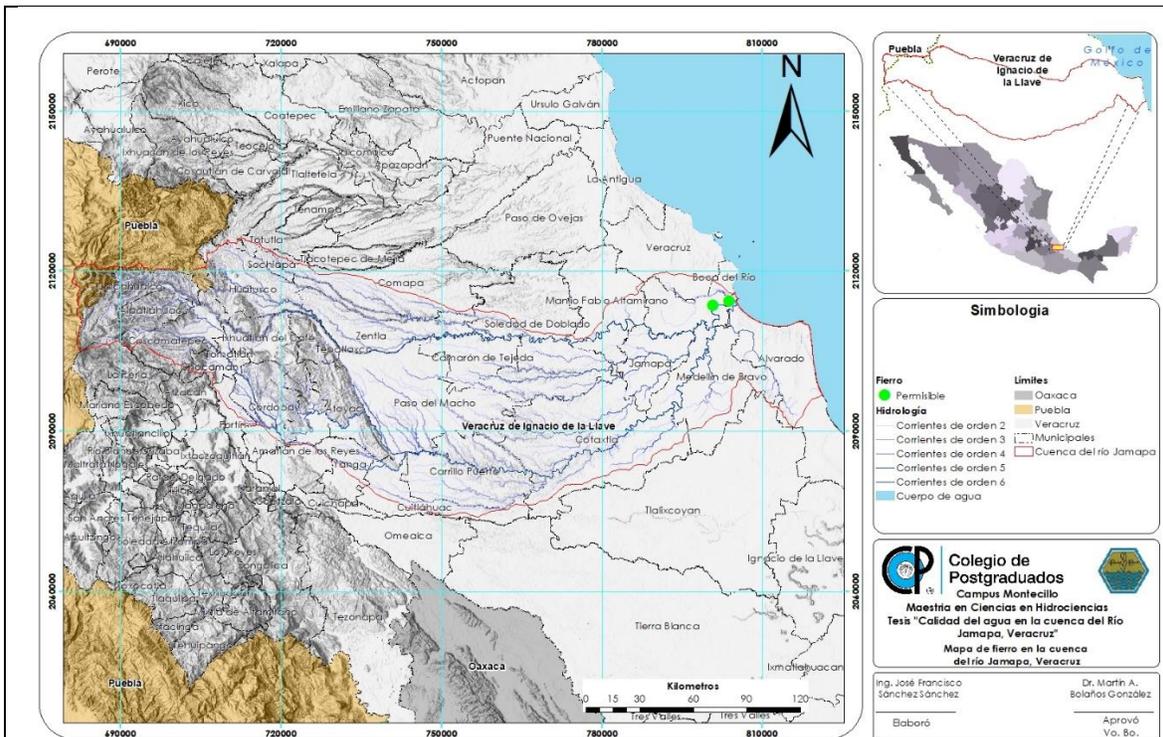


Figura 78: Mapa de Metales Pesados-Cromo, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.



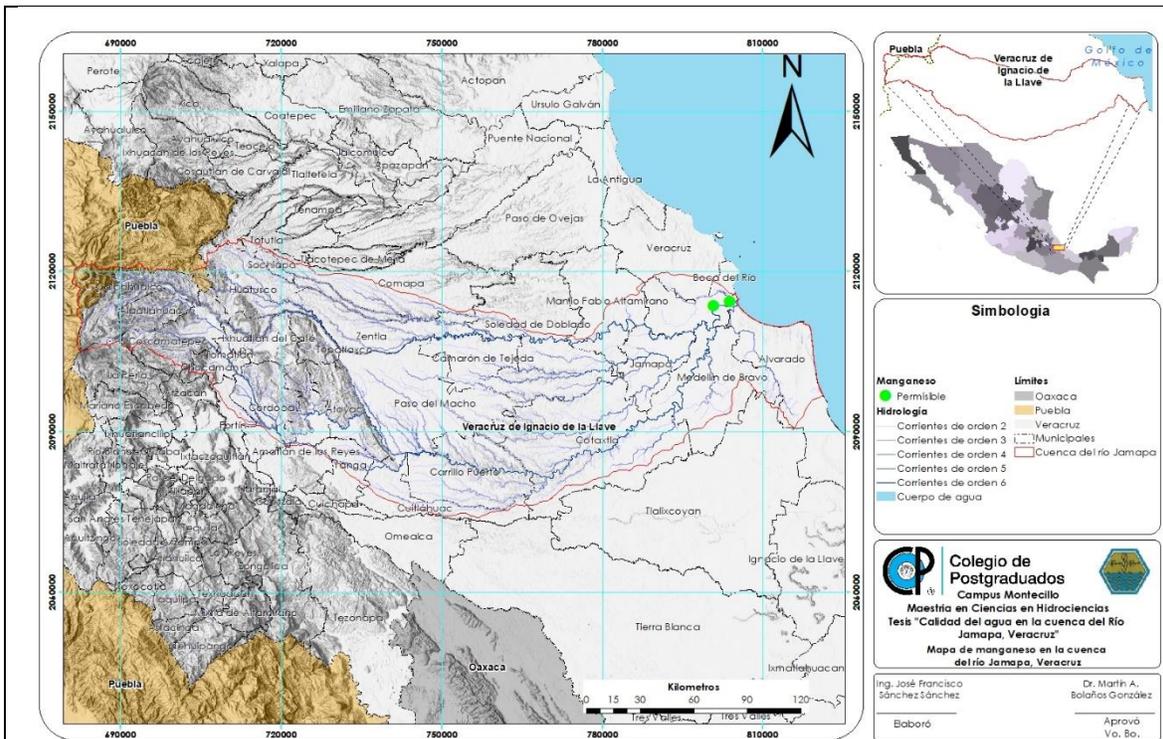


Figura 81: Mapa de Metales Pesados- Manganeso, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

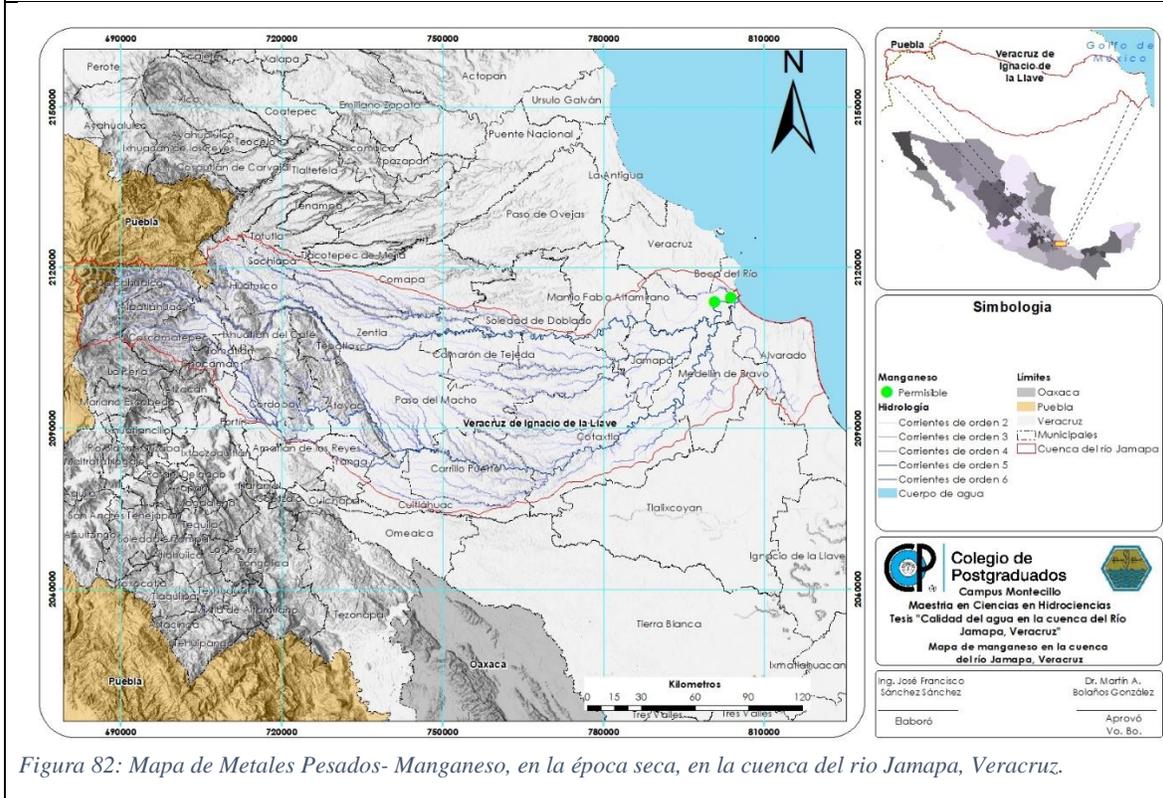


Figura 82: Mapa de Metales Pesados- Manganeso, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

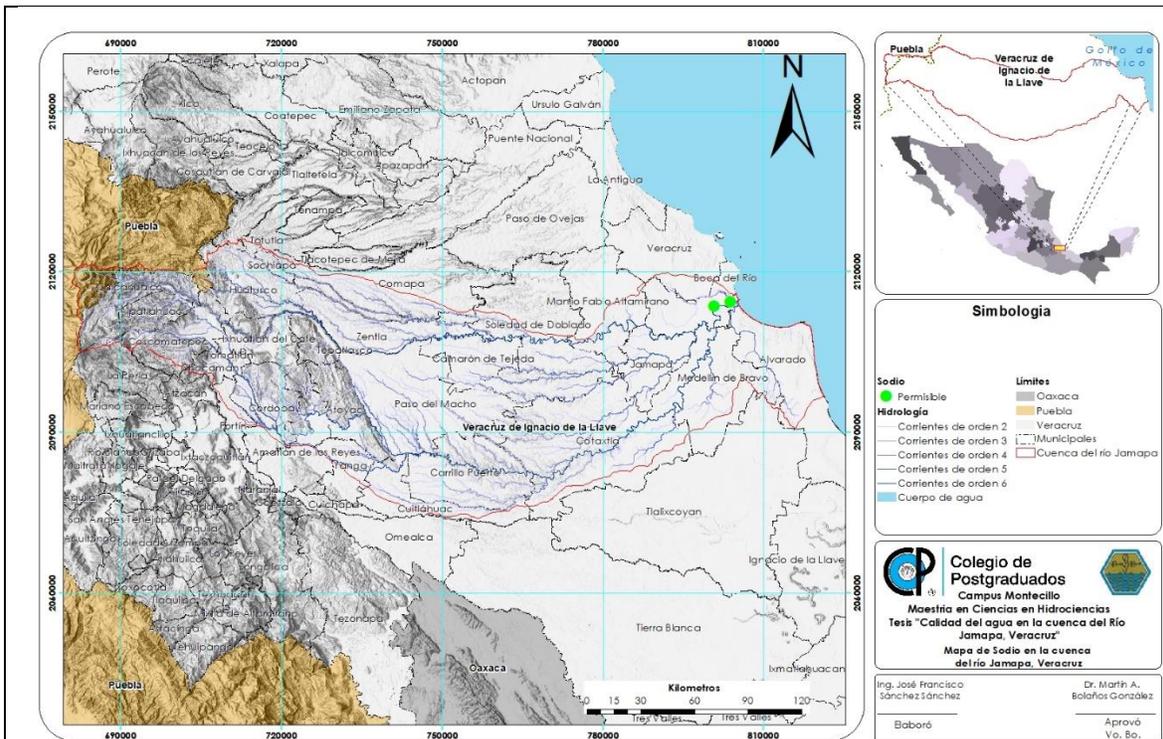


Figura 83: Mapa de Metales Pesados- Sodio, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

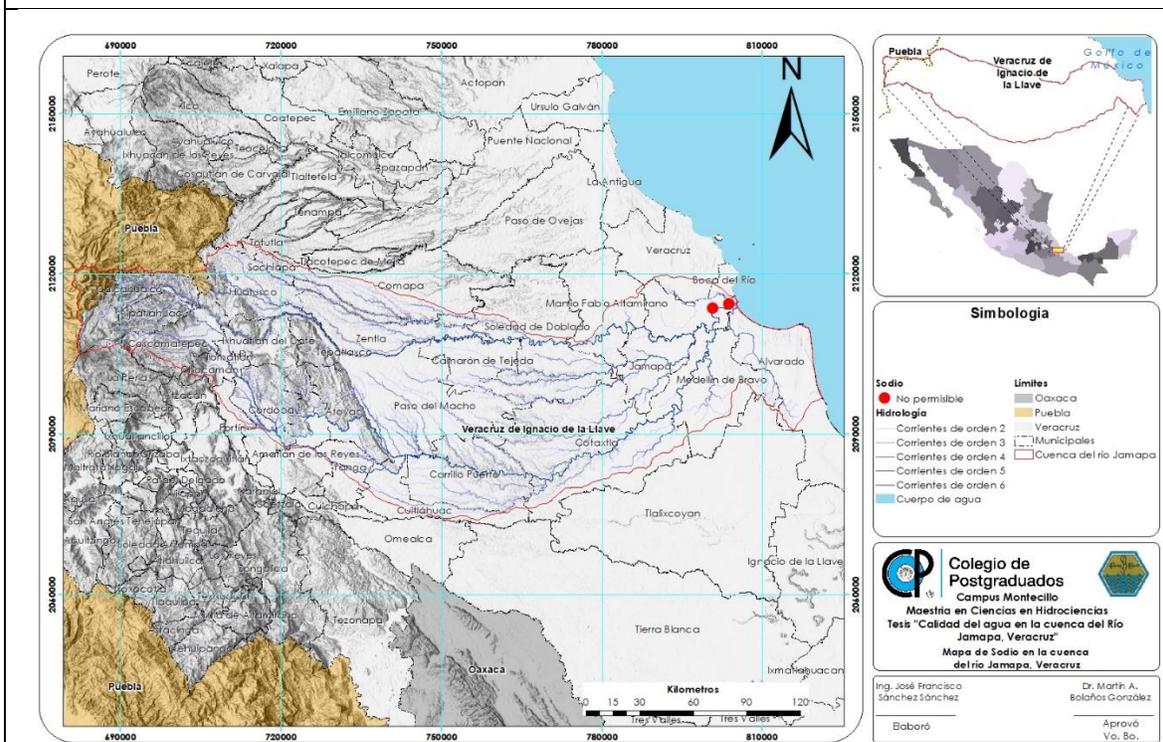


Figura 84: Mapa de Metales Pesados- Sodio, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

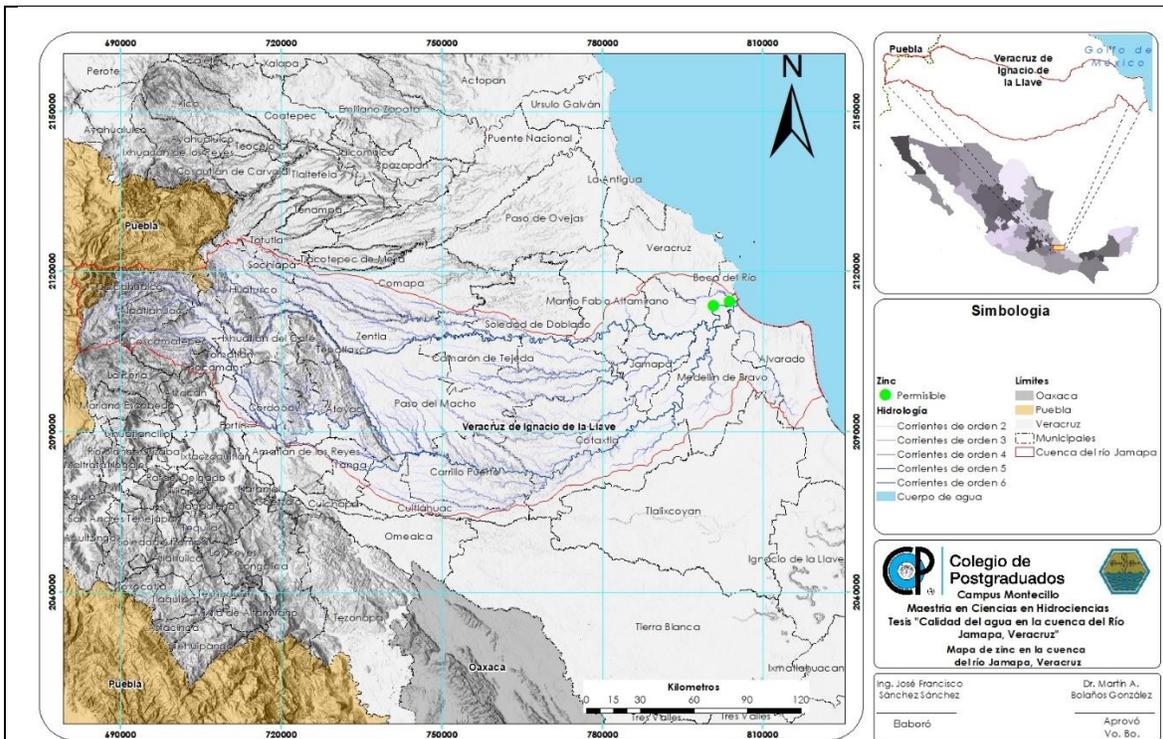


Figura 85: Mapa de Metales Pesados- Zinc, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

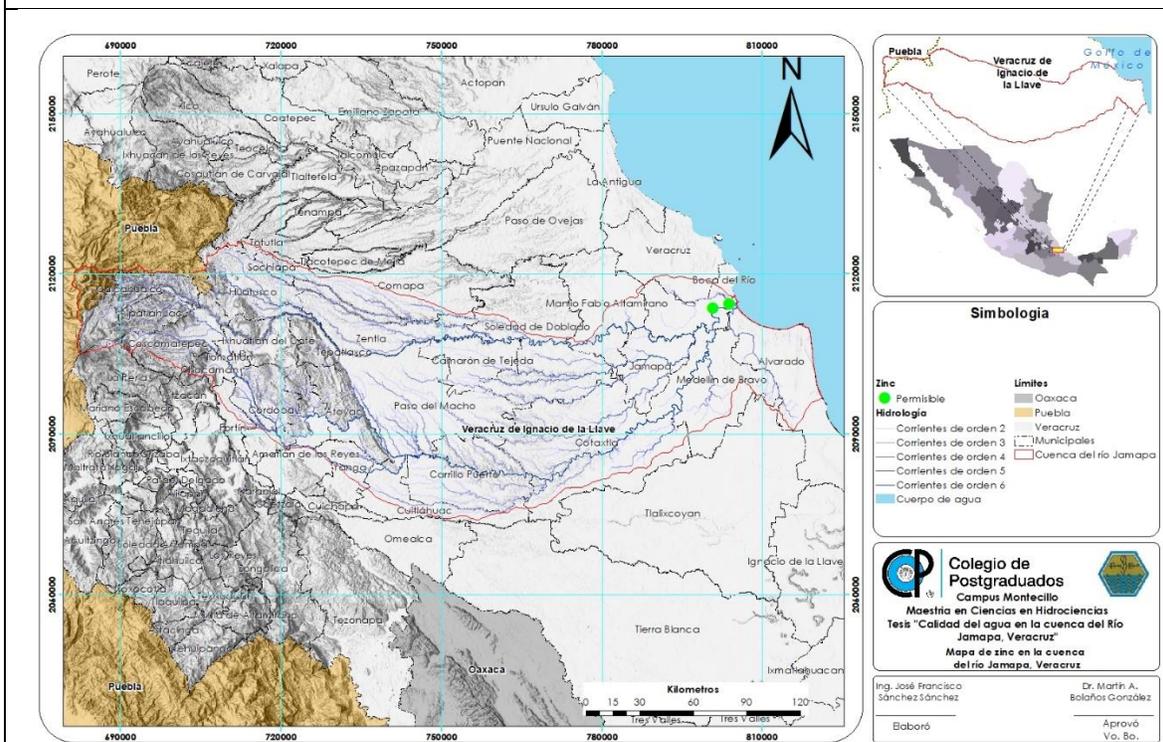


Figura 86: Mapa de Metales Pesados- Zinc, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

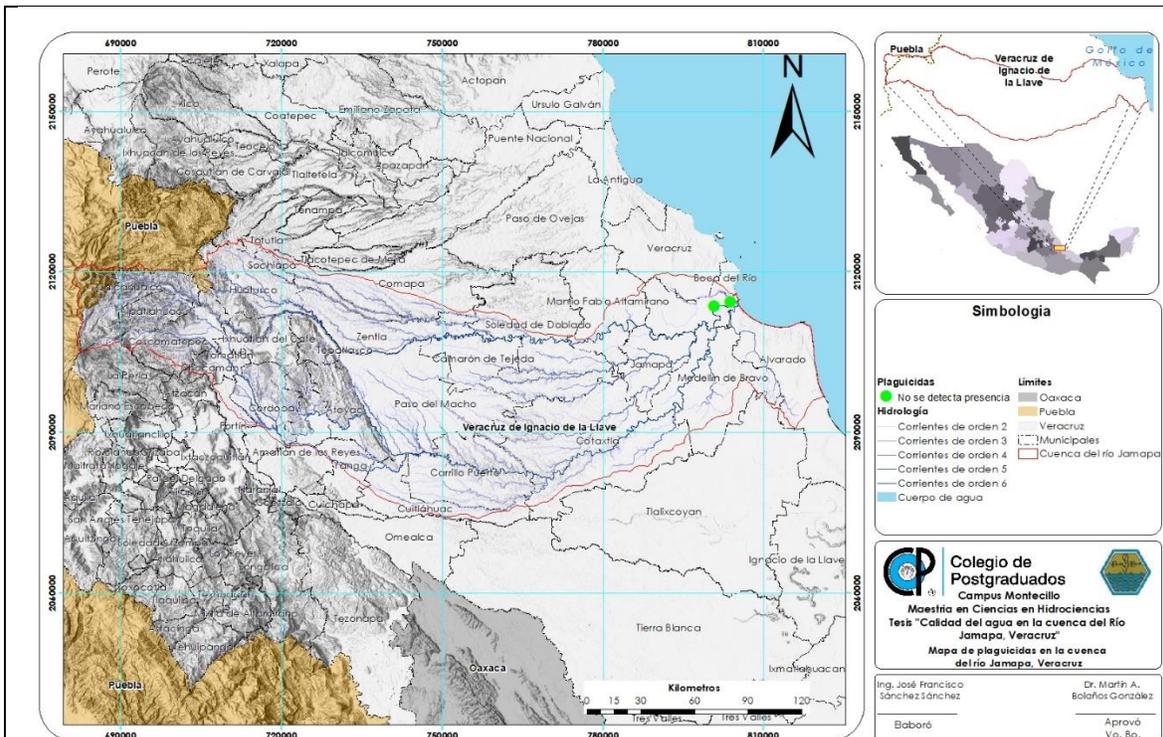


Figura 87: Mapa de Residuos de Plaguicidas, en la época húmeda, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

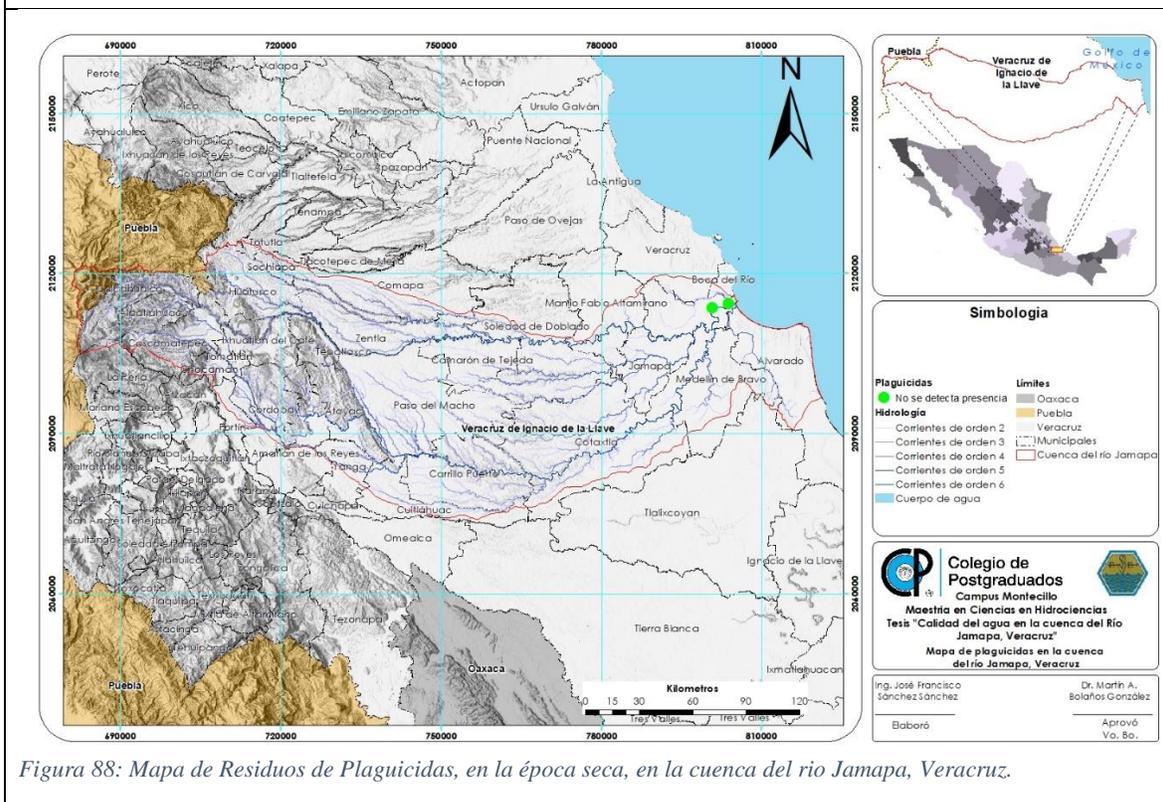


Figura 88: Mapa de Residuos de Plaguicidas, en la época seca, en la cuenca del río Jamapa, Veracruz.

ANEXO C GRAFICOS DE LOS ELEMENTOS ANALIZADOS

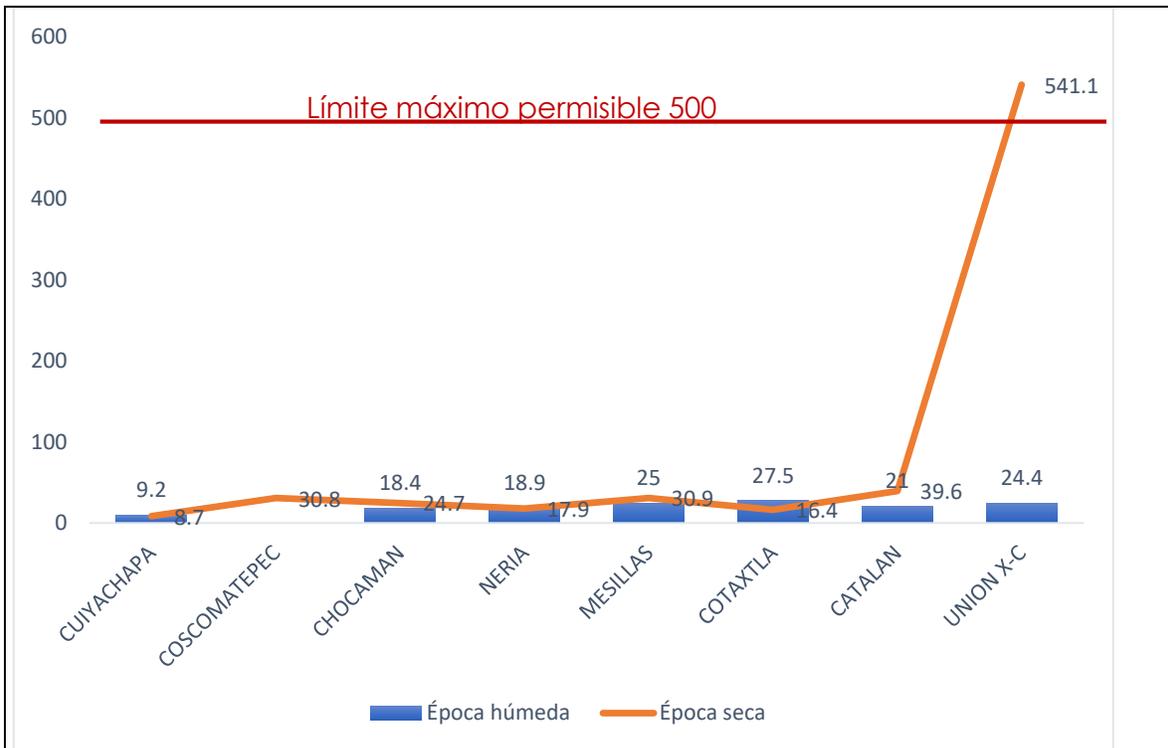


Figura 89: Dureza en el cauce del río Cotaxtla, época húmeda y seca.

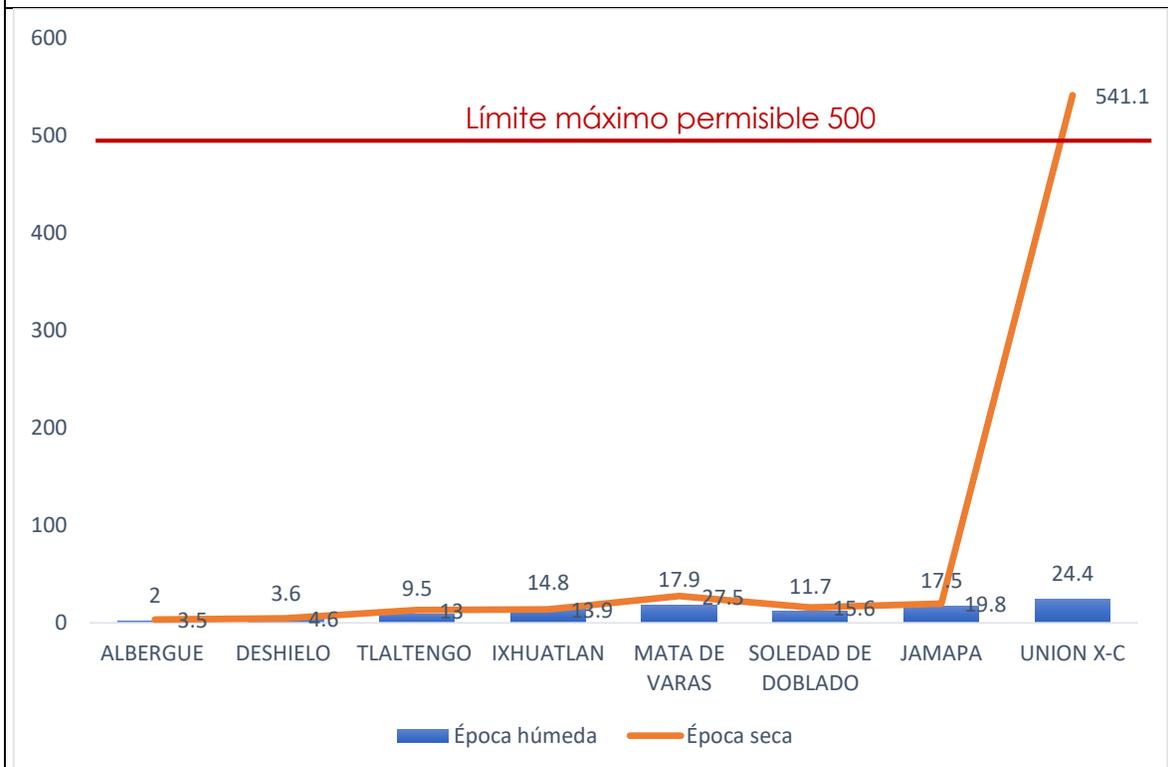


Figura 90: Dureza en el cauce del río Jamapa, época húmeda y seca.

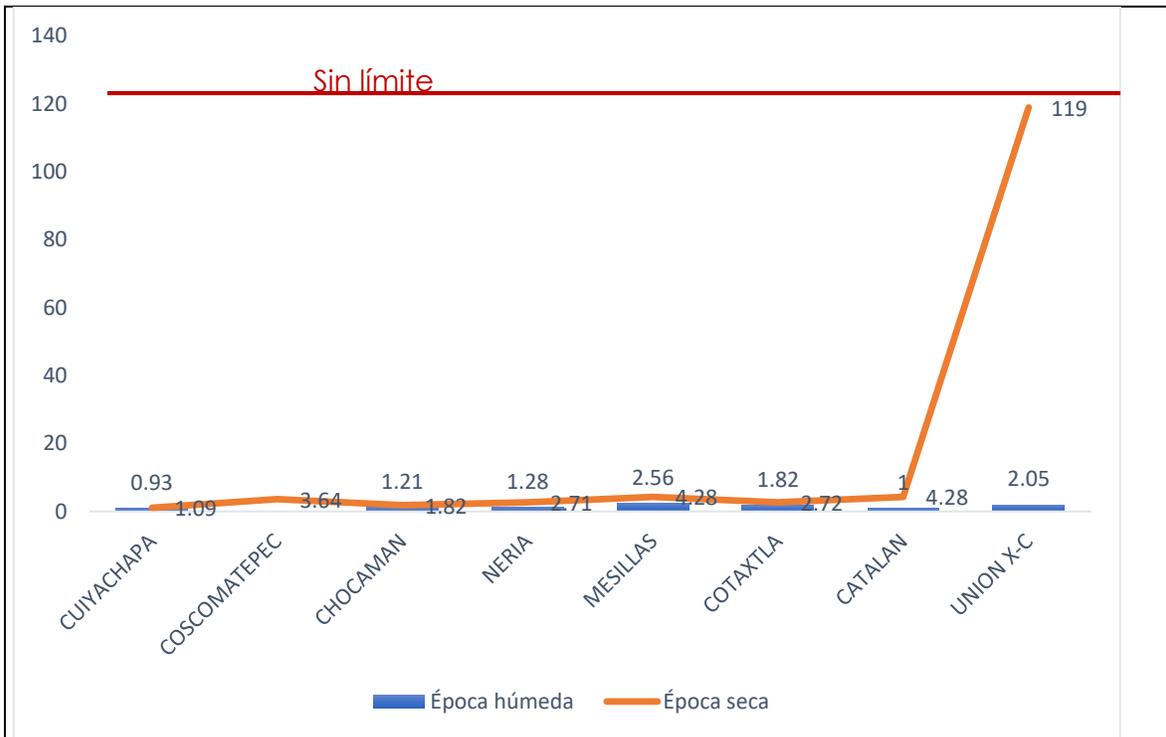


Figura 91: Potasio en el cauce del río Cotaxtla, época húmeda y seca.

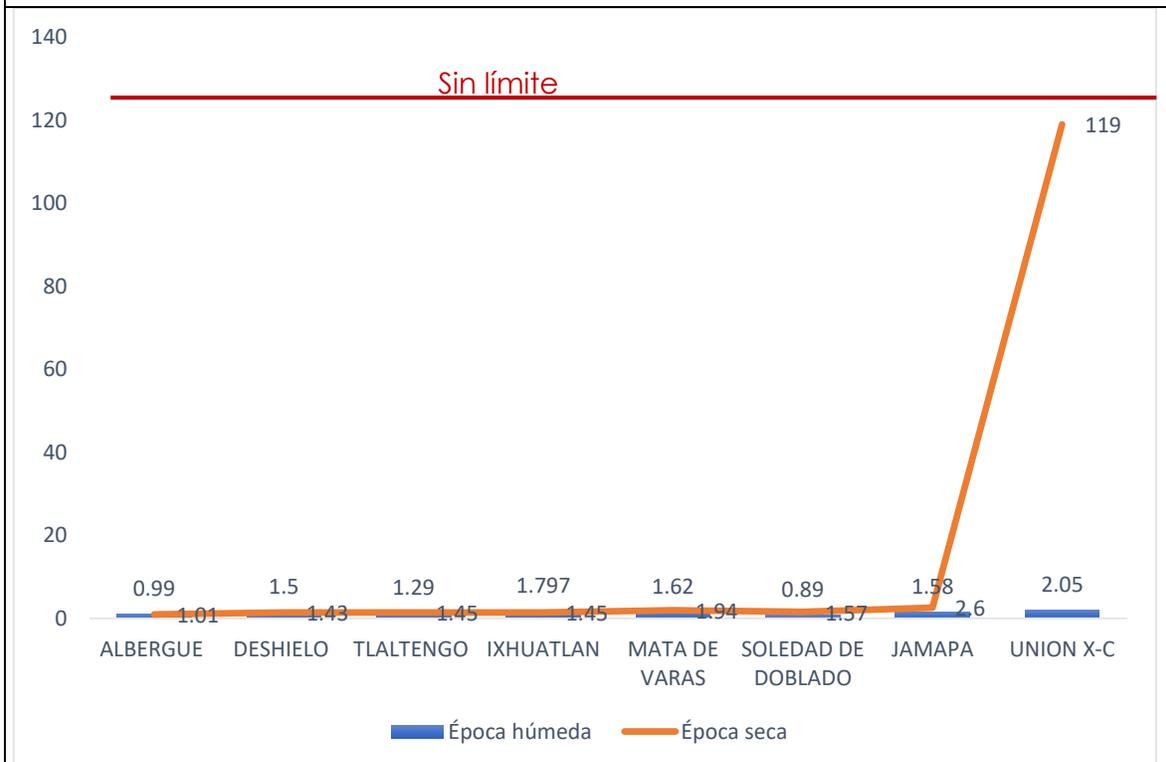


Figura 92: Potasio en el cauce del río Jamapa, época húmeda y seca.

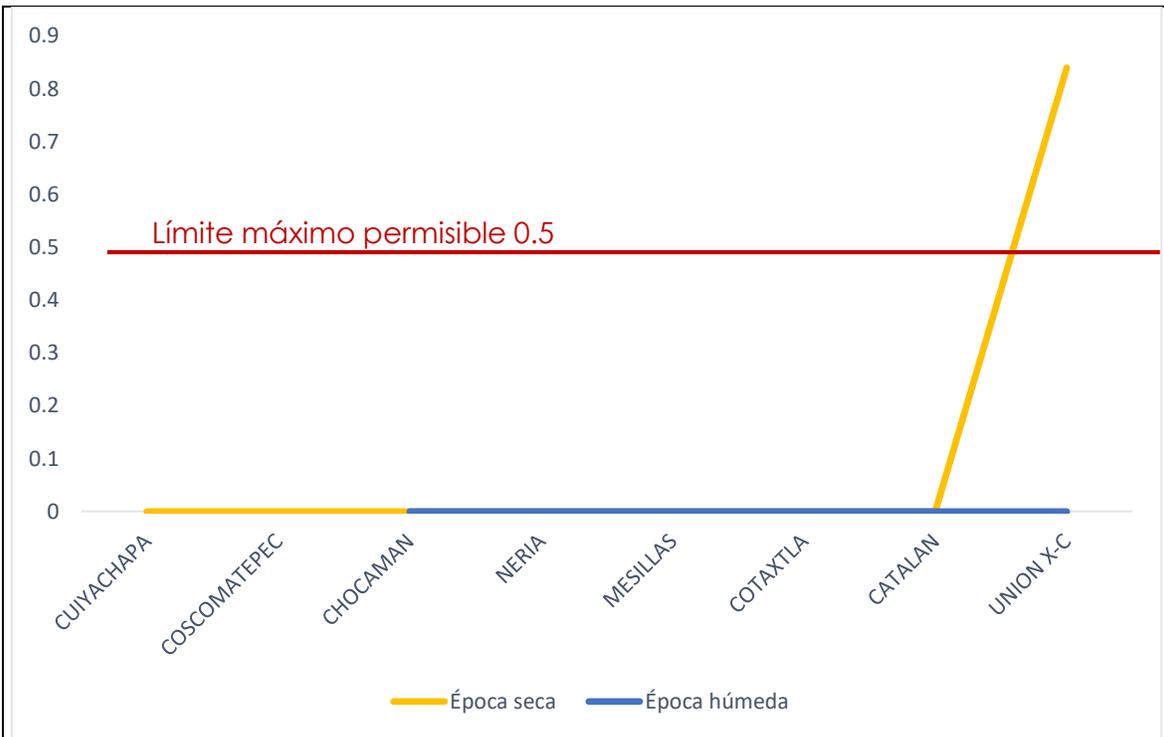


Figura 93: Boro en el cauce del rio Cotaxtla, época húmeda y seca.

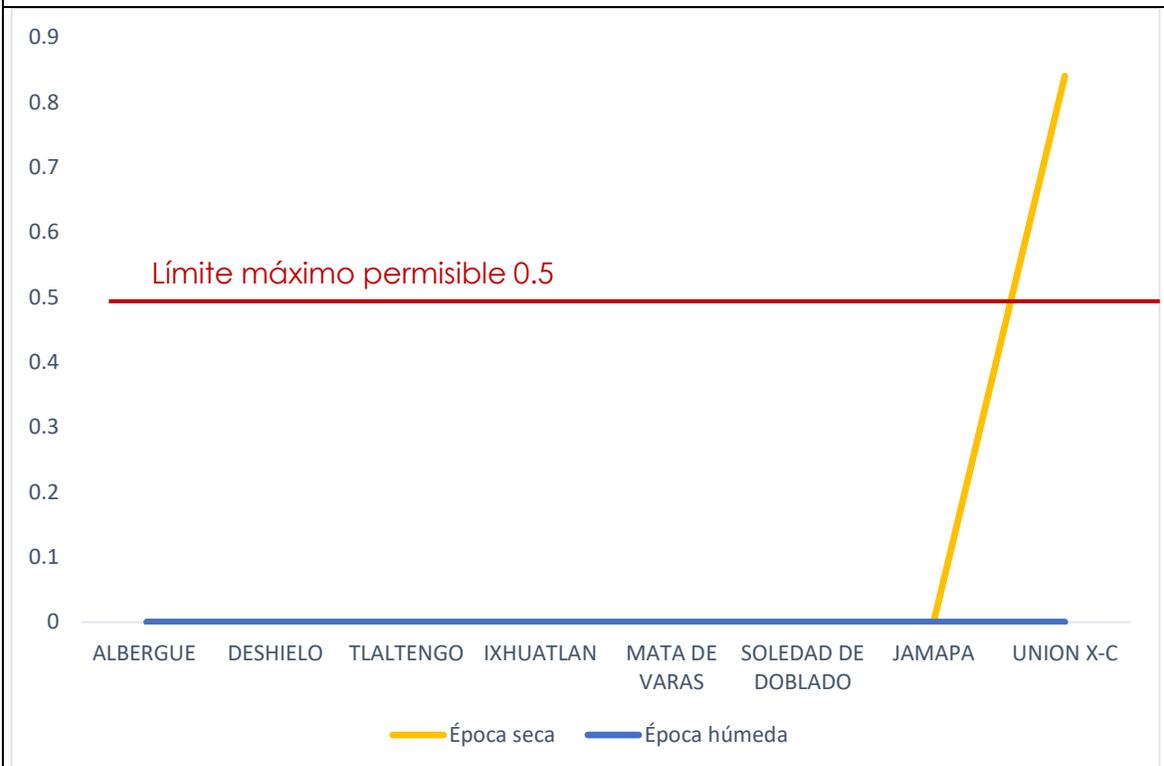


Figura 94: Boro en el cauce del rio Jamapa, época húmeda y seca.

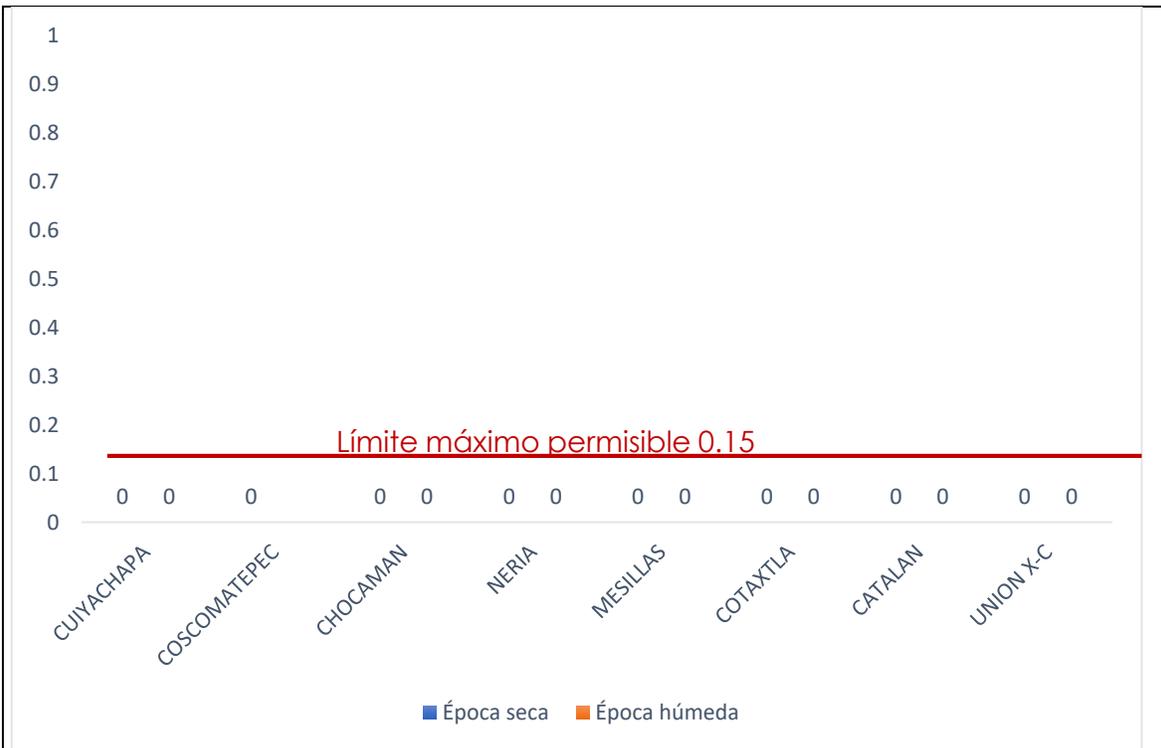


Figura 95: Manganeso en el cauce del rio Cotaxtla, época húmeda y seca.

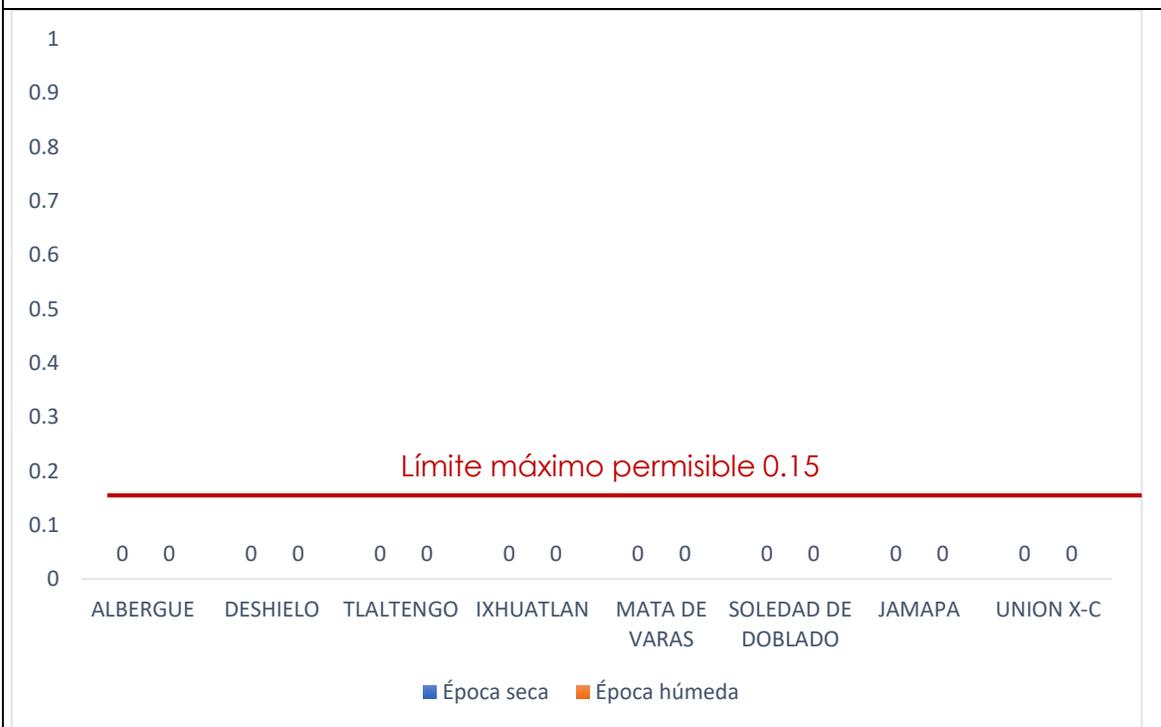


Figura 96: Manganeso en el cauce del rio Jamapa, época húmeda y seca.

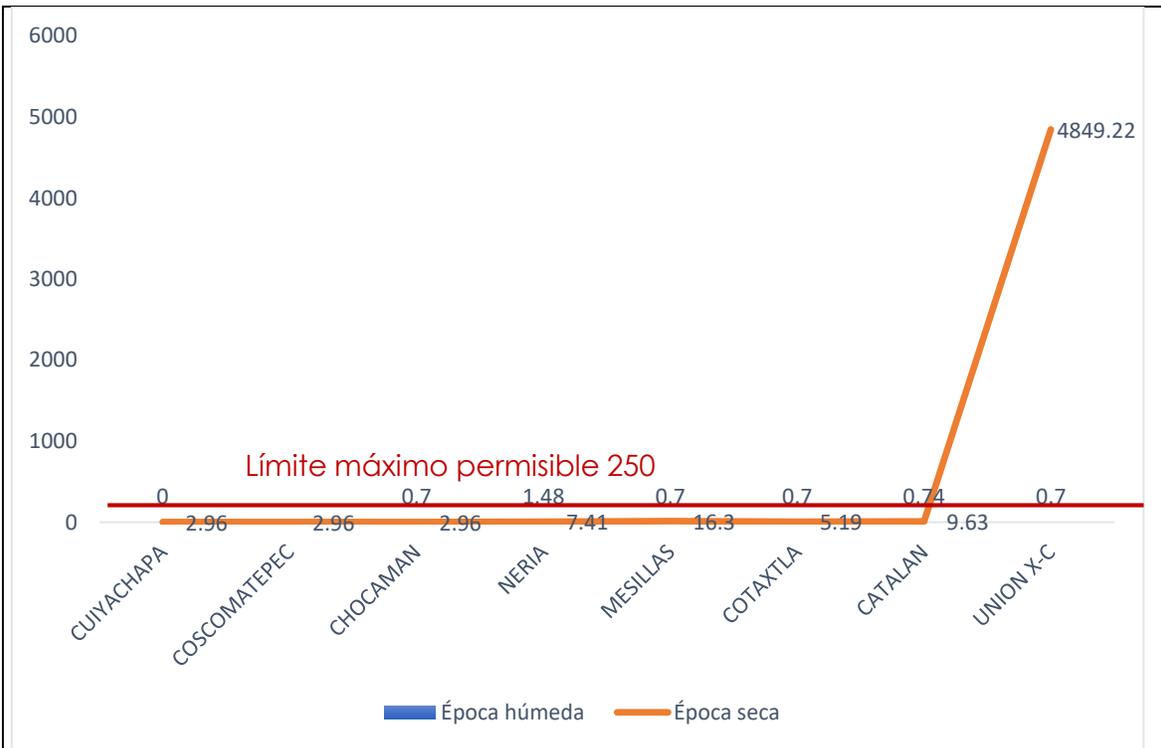


Figura 97: Cloruros en el cauce del rio Cotaxtla, época húmeda y seca.

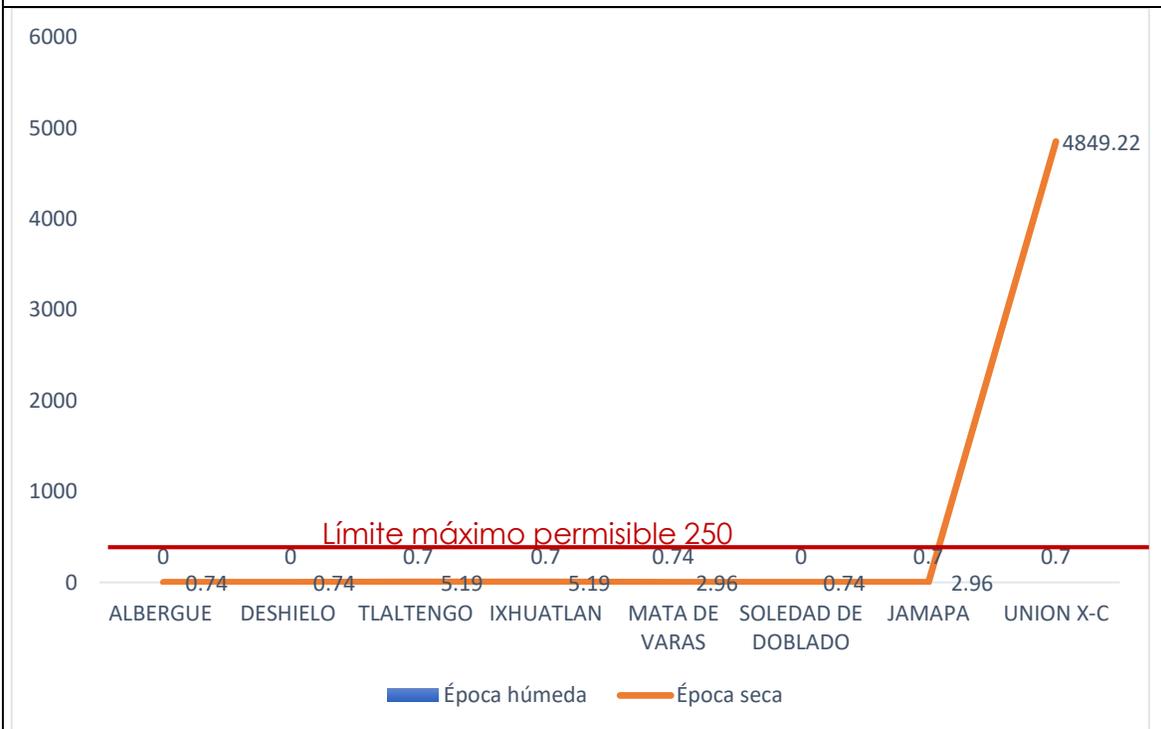


Figura 98: Cloruros en el cauce del rio Jamapa, época húmeda y seca.

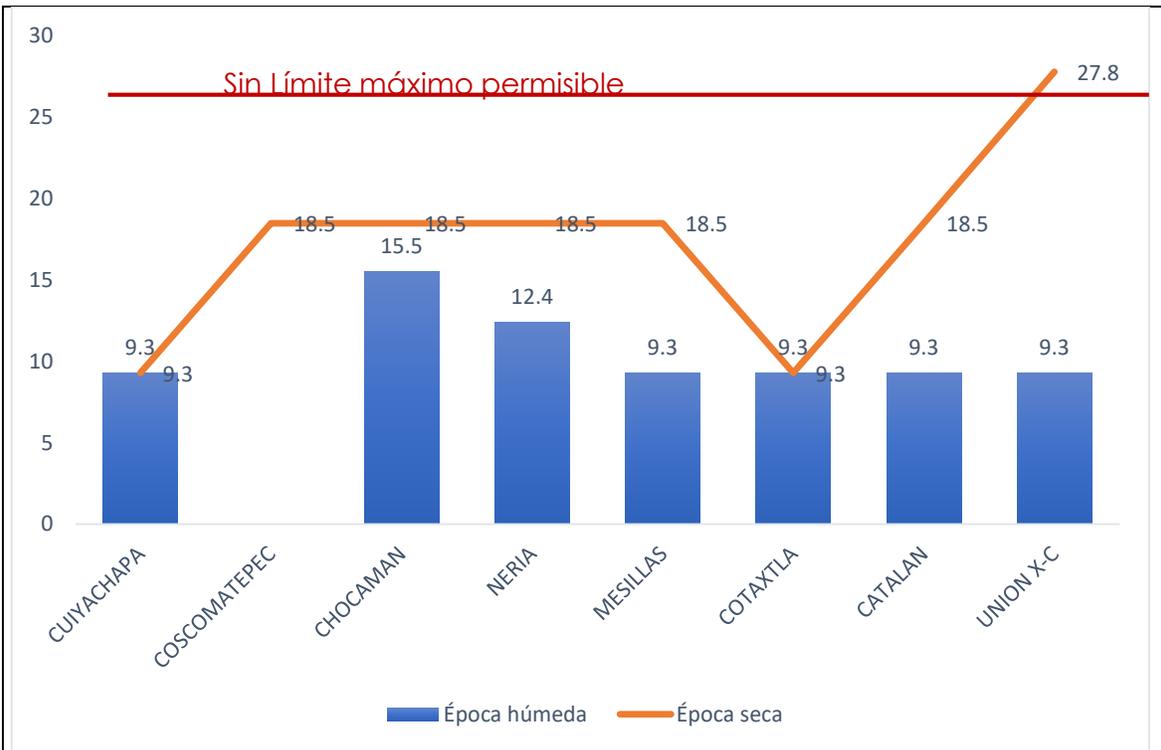


Figura 99: Carbonatos en el cauce del rio Cotaxtla, época húmeda y seca.

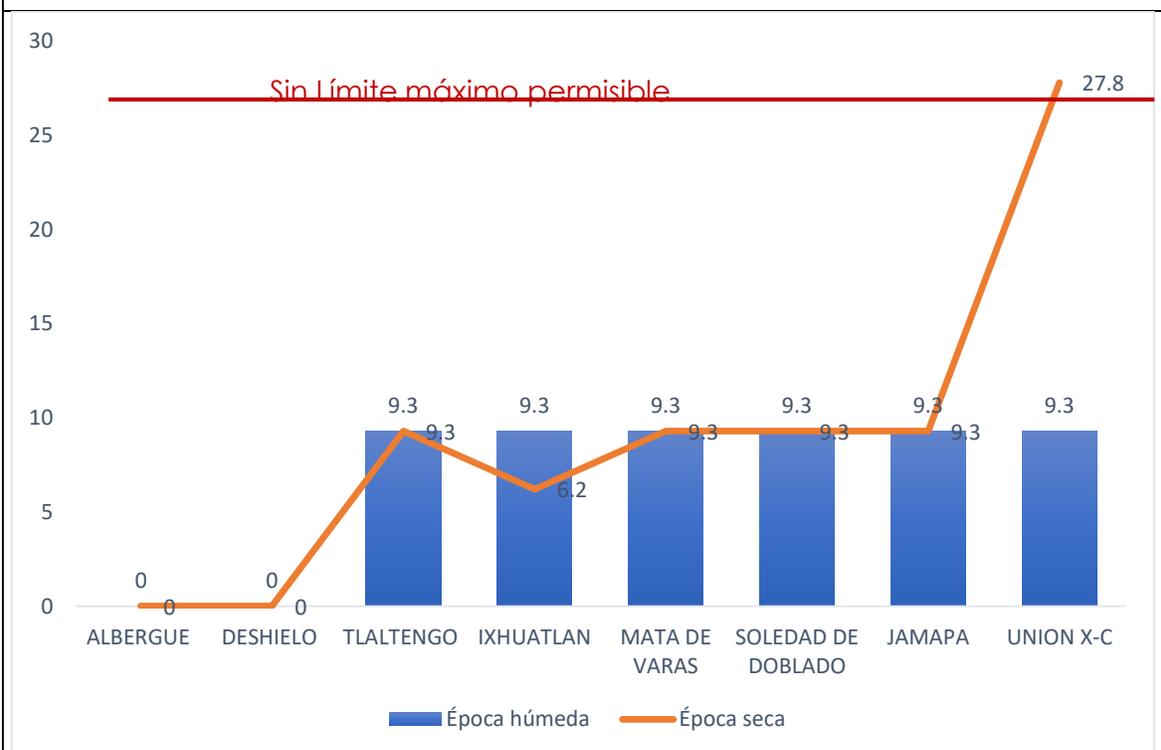


Figura 100: Carbonatos en el cauce del rio Jamapa, época húmeda y seca.

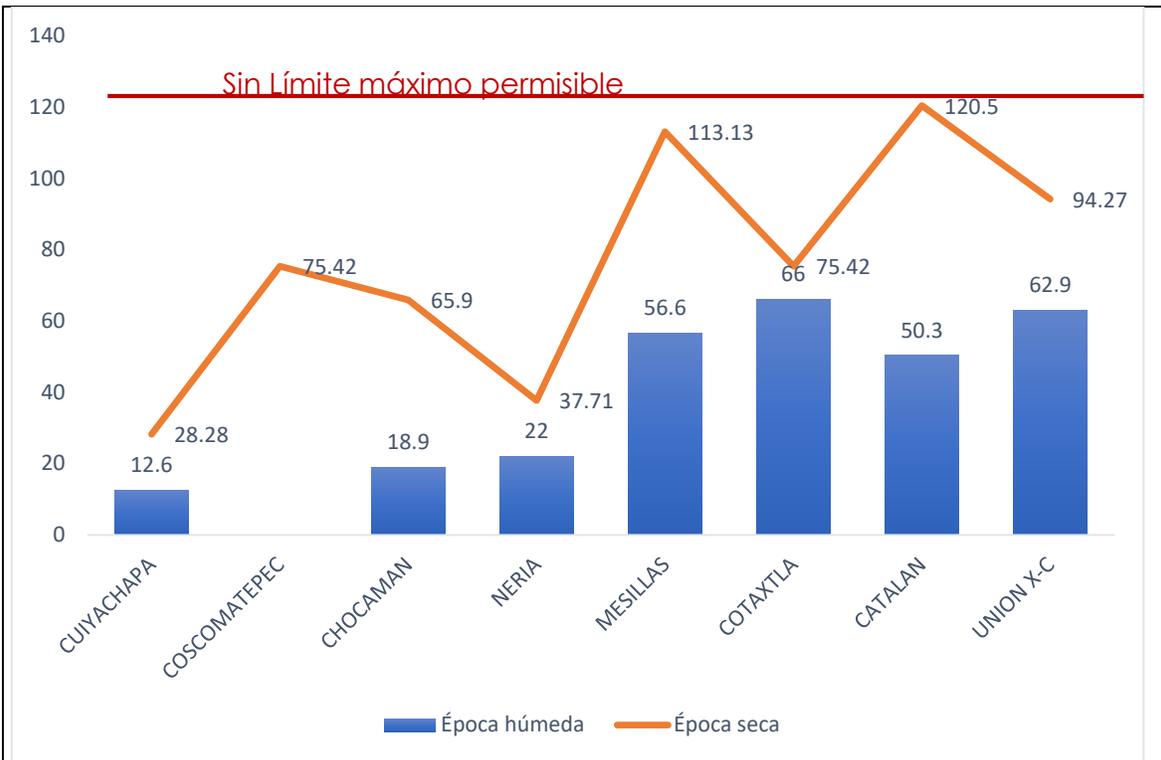


Figura 101: Bicarbonatos en el cauce del río Cotaxtla, época húmeda y seca.

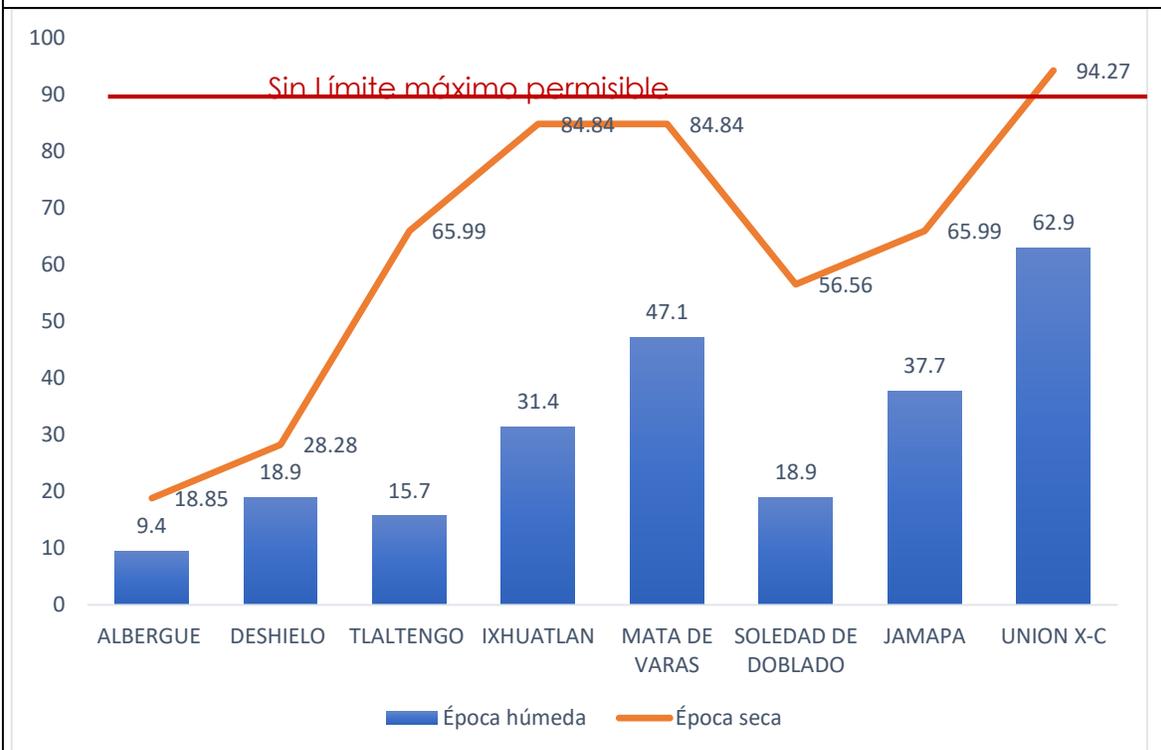


Figura 102: Bicarbonatos en el cauce del río Jamapa, época húmeda y seca.

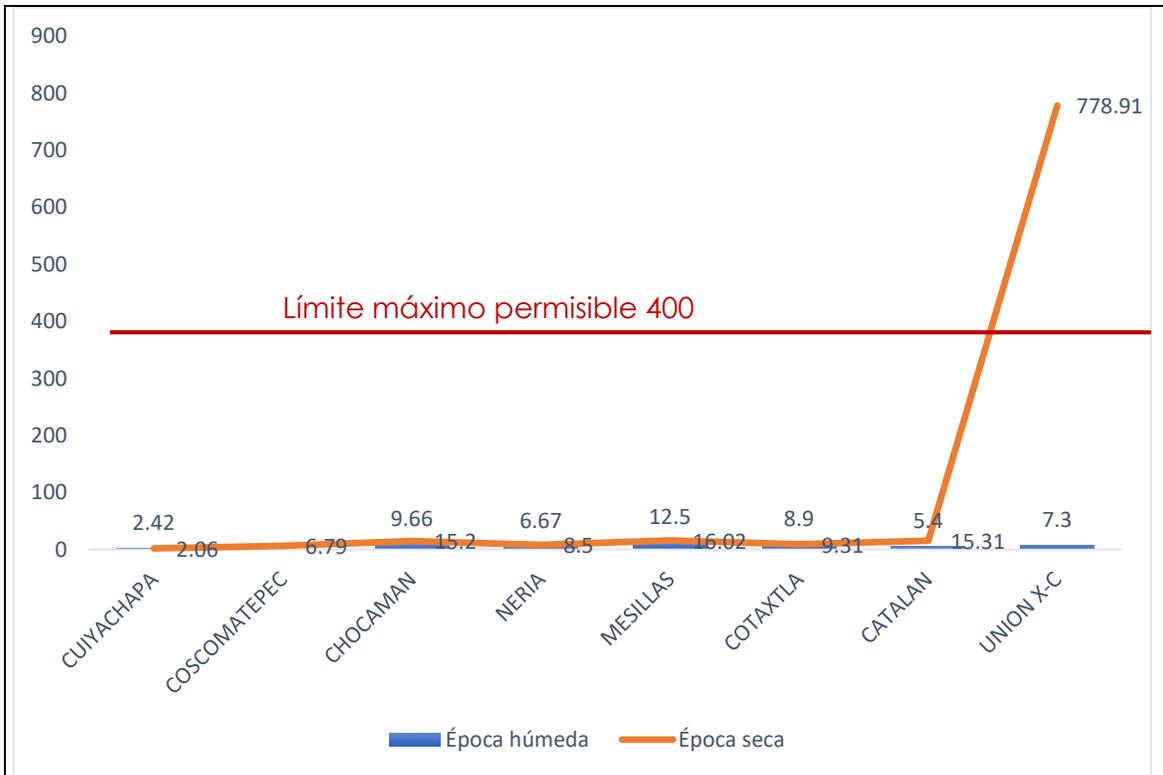


Figura 103: Sulfatos en el cauce del río Cotaxtla, época húmeda y seca.

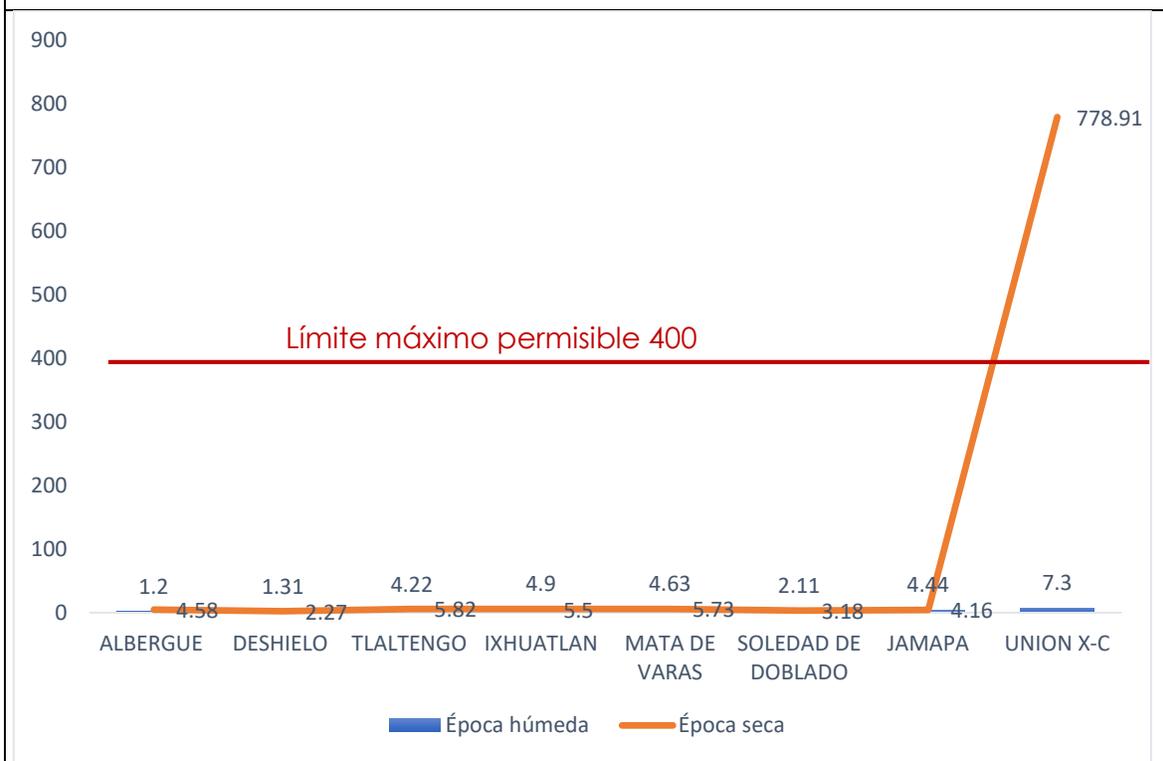


Figura 104: Sulfatos en el cauce del río Jamapa, época húmeda y seca.

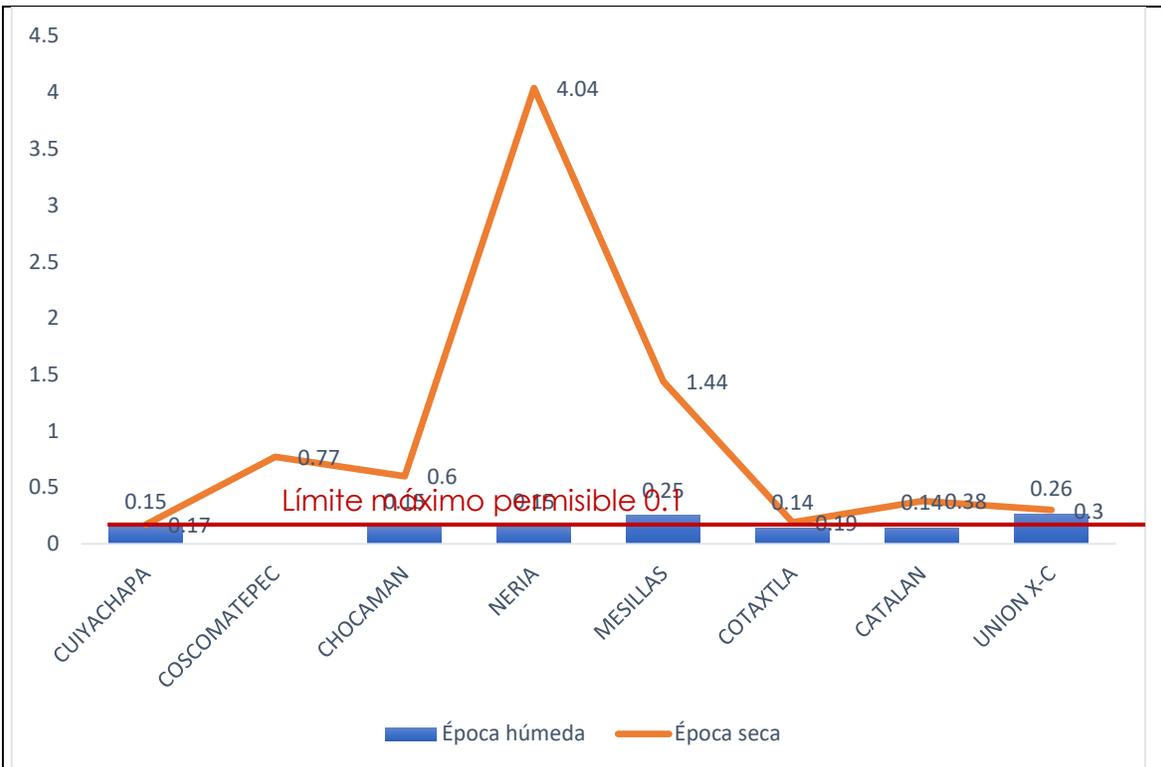


Figura 105: Fosfatos en el cauce del río Cotaxtla, época húmeda y seca.

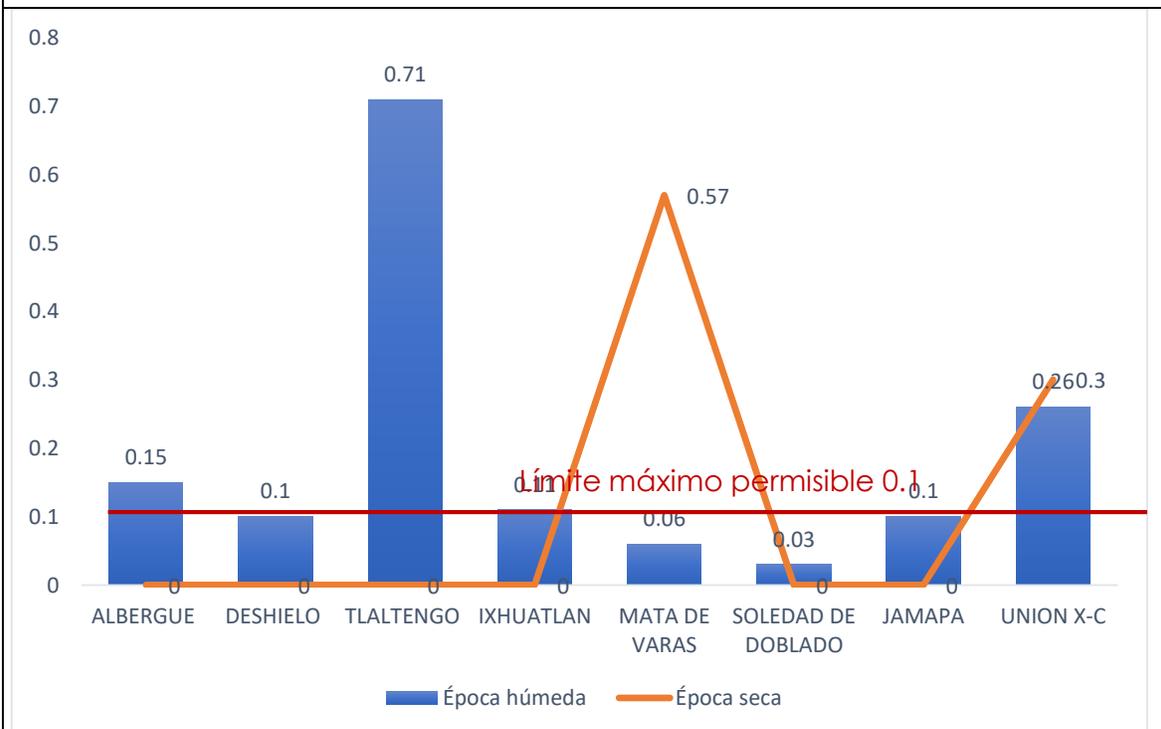


Figura 106: Fosfatos en el cauce del río Jamapa, época húmeda y seca.

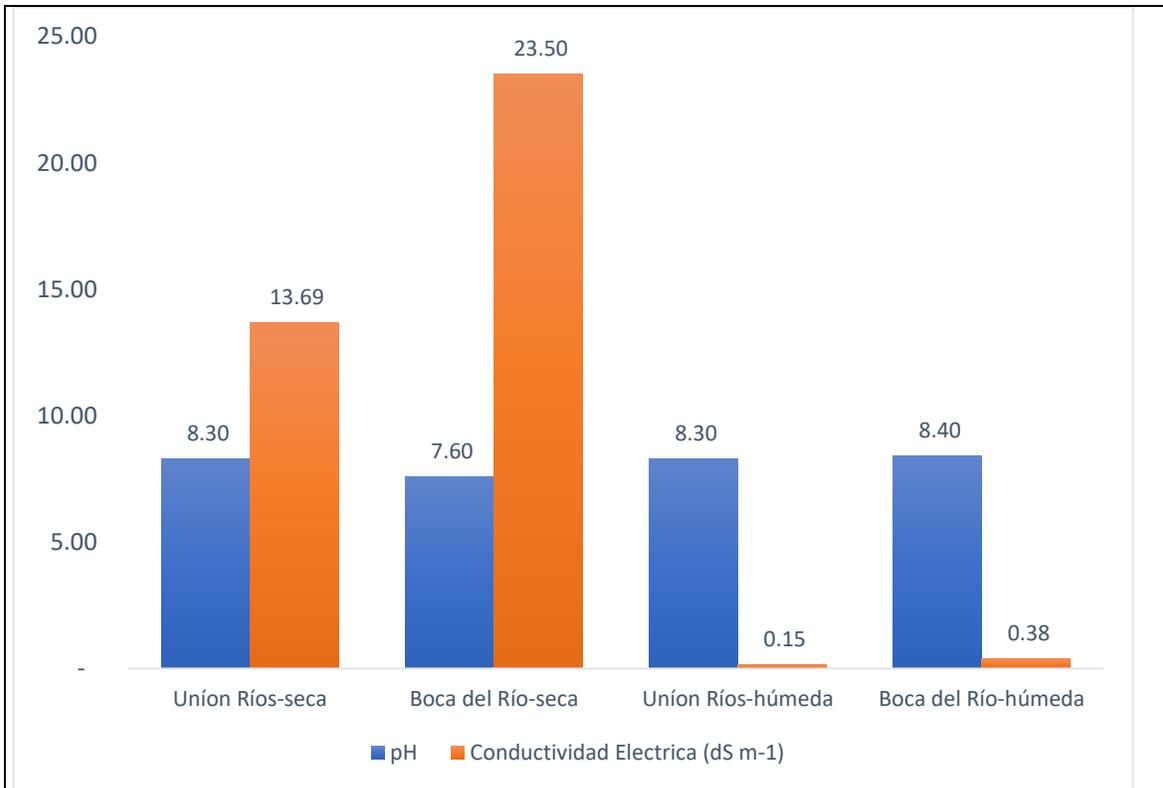


Figura 107: pH y CE en la unión Jamapa-Cotaxtla y Boca del Río en la época seca.

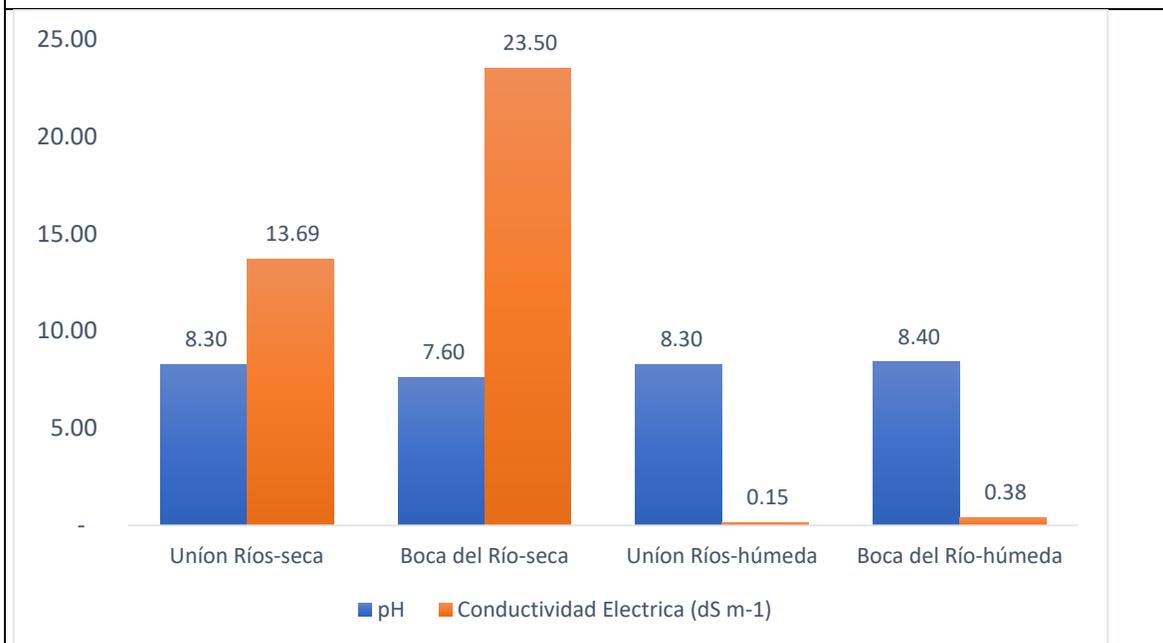


Figura 108: pH y CE en la unión Jamapa-Cotaxtla y Boca del Río en la época húmeda.

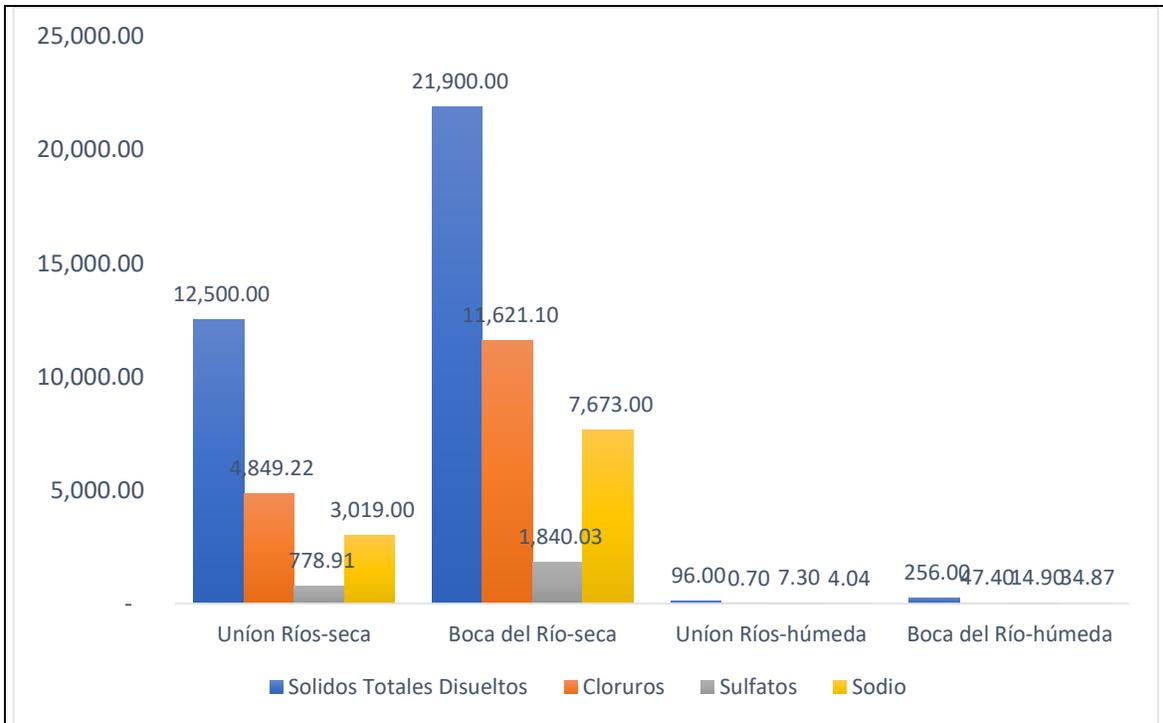


Figura 109: STD, Cloruros, Sulfatos y Sodio en la unión Jamapa-Cotaxtla y Boca del Río en la época seca.

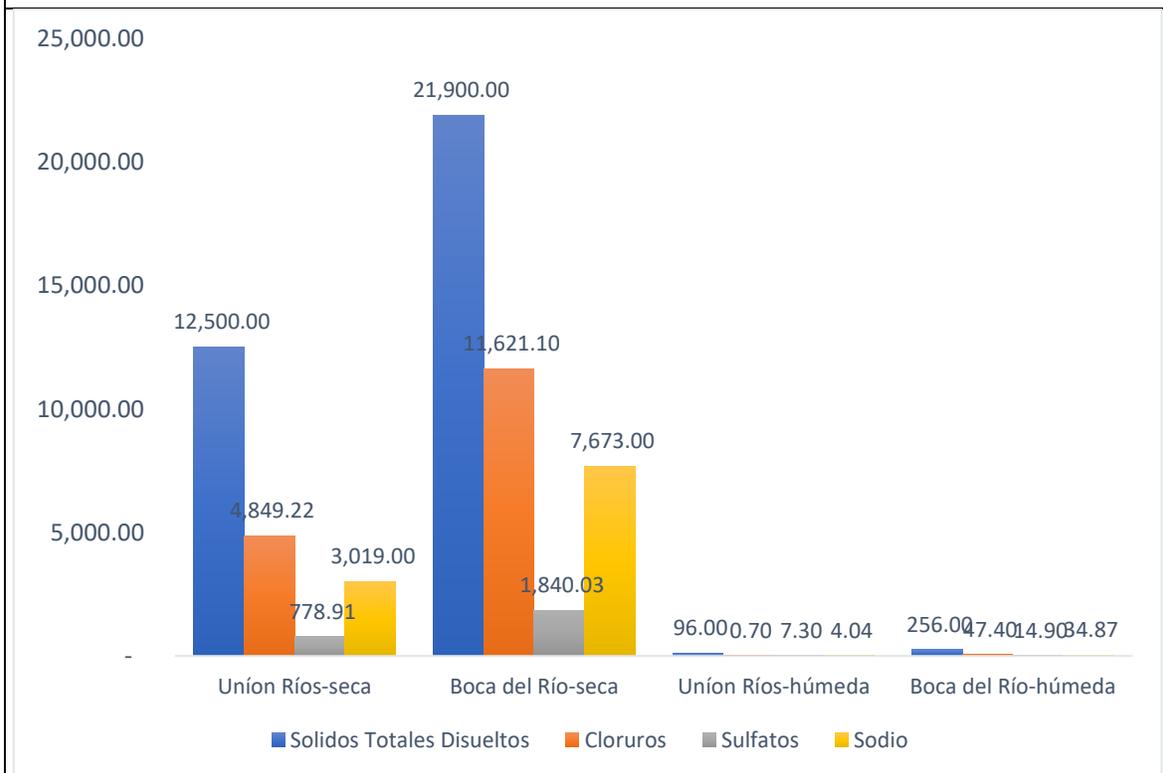


Figura 110: STD, Cloruros, Sulfatos y Sodio en la unión Jamapa-Cotaxtla y Boca del Río en la época húmeda.

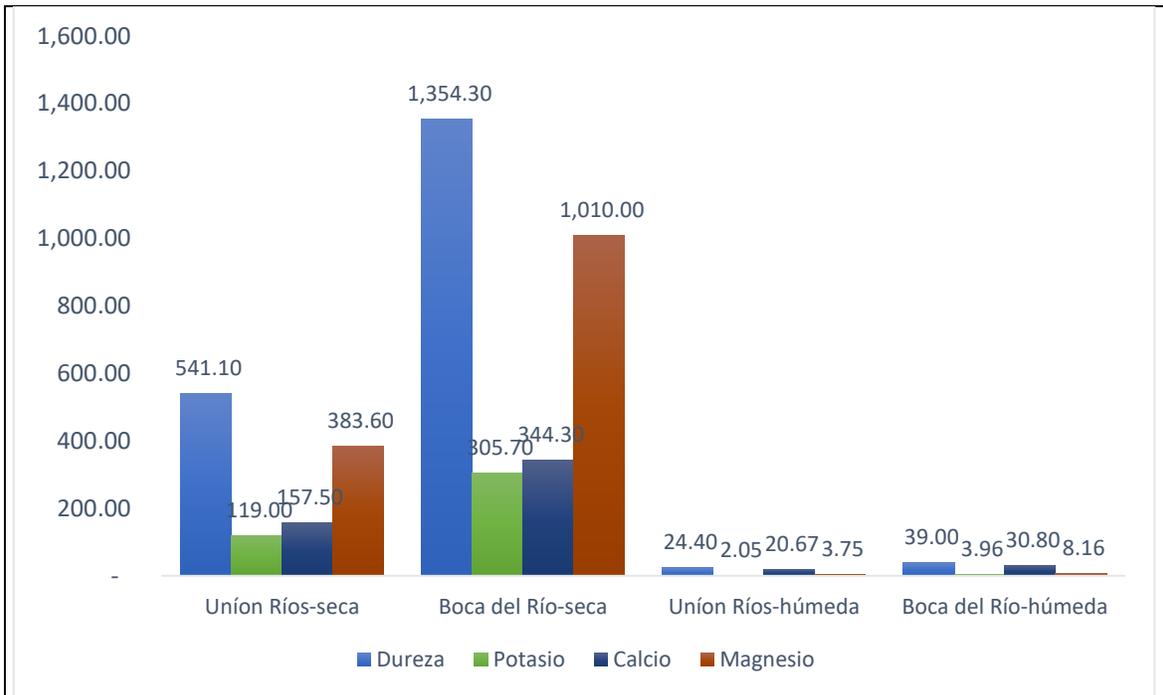


Figura 111: Dureza, Potasio, Calcio y Magnesio en la unión Jamapa-Cotaxtla y Boca del Río en la época seca.

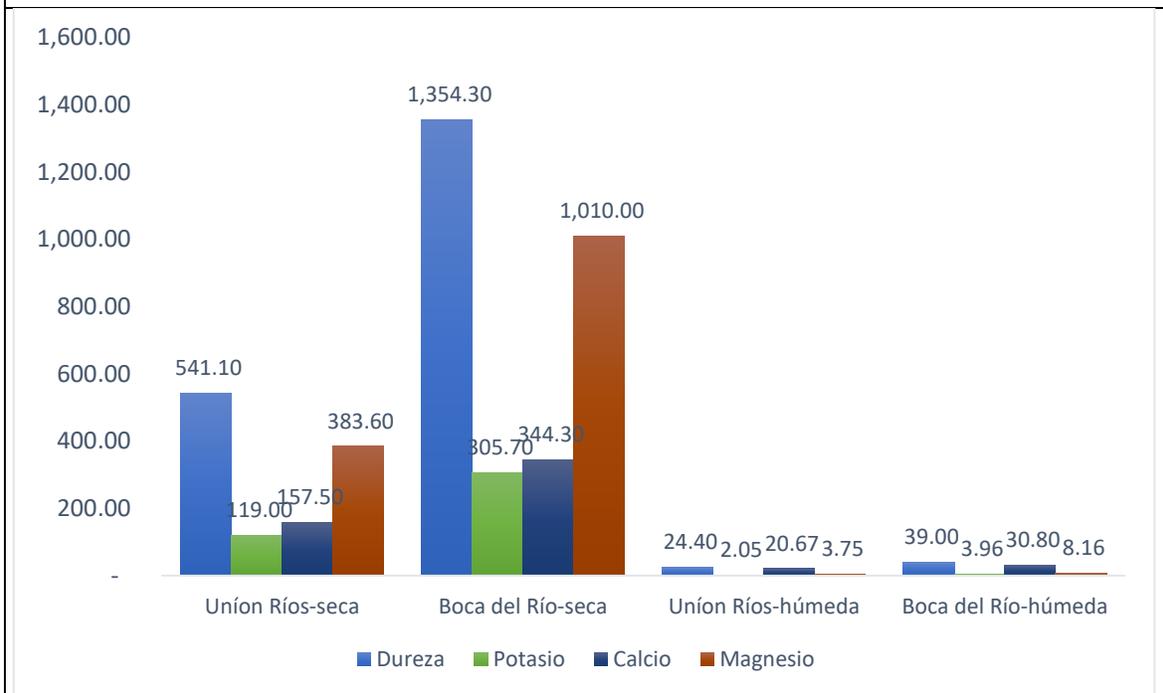


Figura 112: Dureza, Potasio, Calcio y Magnesio en la unión Jamapa-Cotaxtla y Boca del Río en la época húmeda..

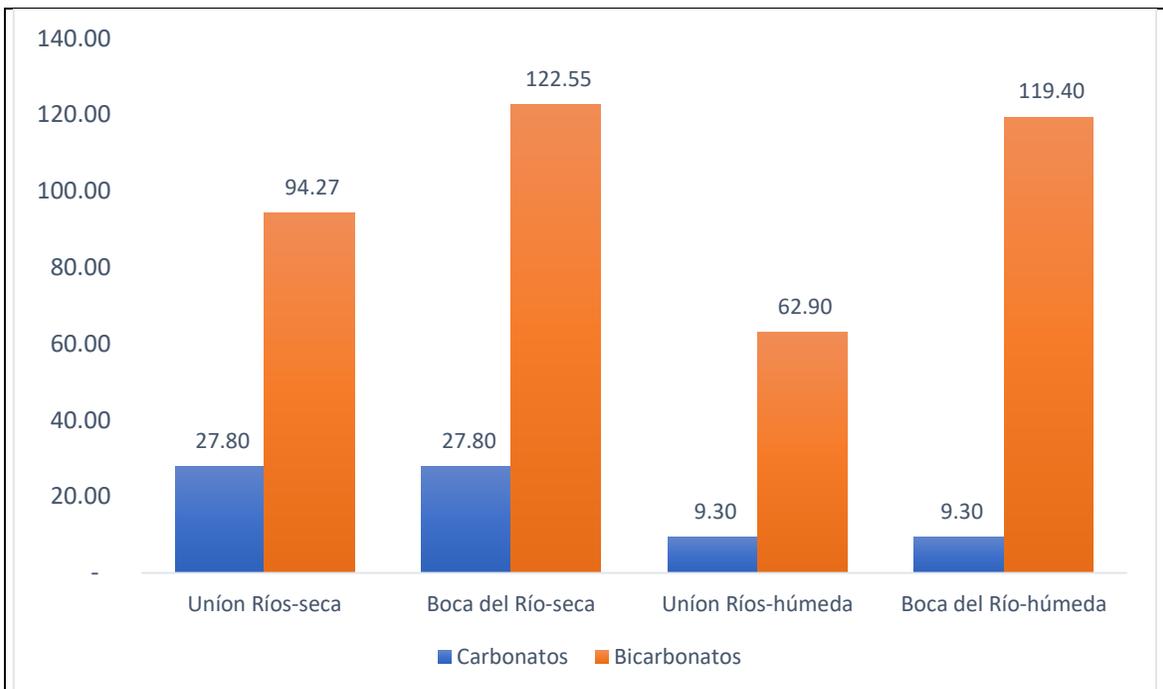


Figura 113: Carbonatos y Bicarbonatos en la unión Jamapa-Cotaxtla y Boca del Río en la época seca y húmeda.

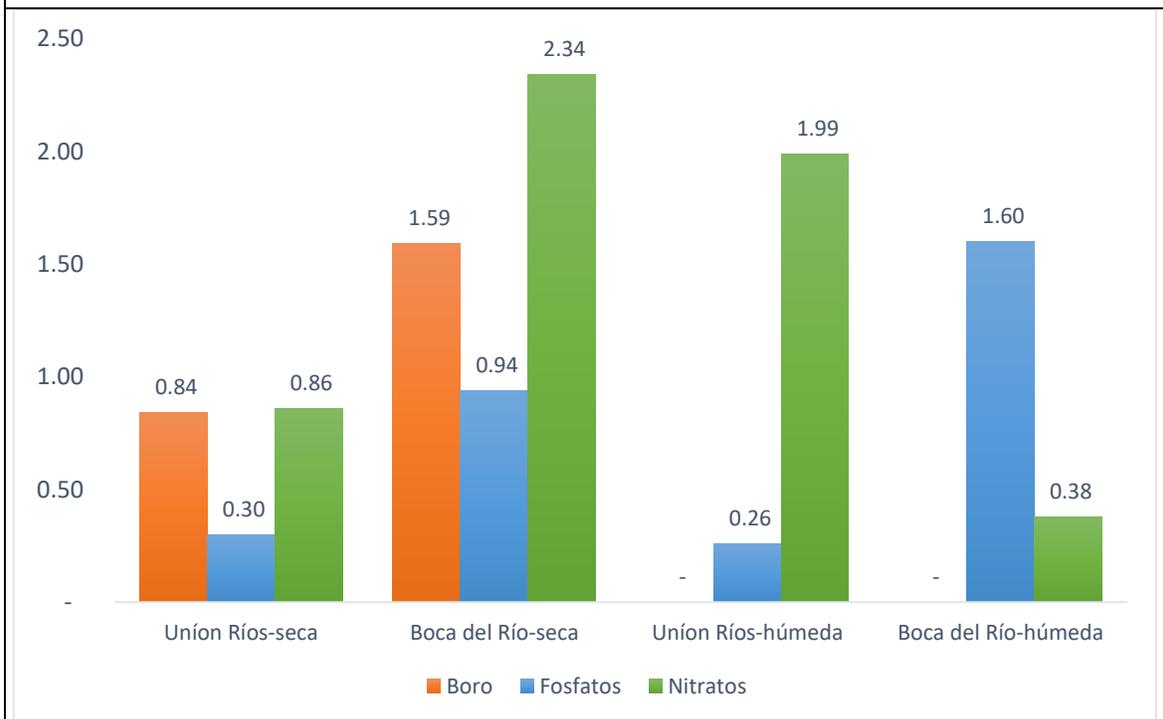


Figura 114: Boro, Fosfatos y Nitratos en la unión Jamapa-Cotaxtla y Boca del Río en la época seca y húmeda.

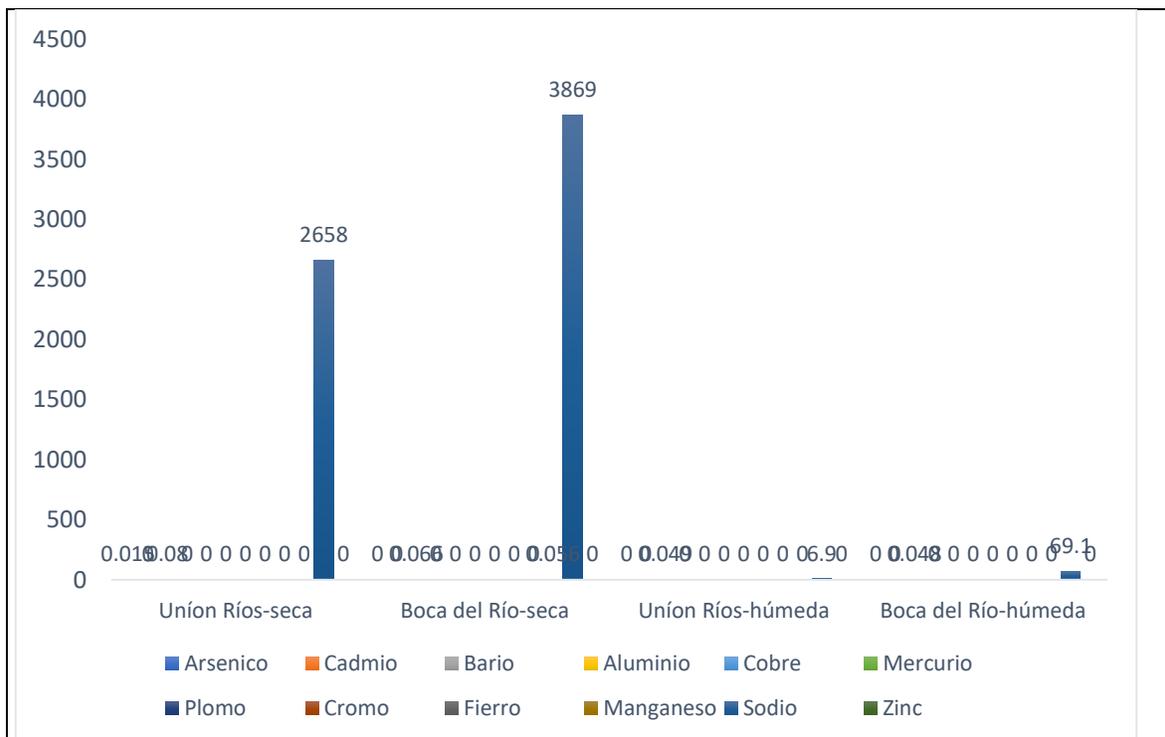


Figura 115: Metales pesados en la unión Jamapa-Cotaxtla y Boca del río en la época seca y húmeda.

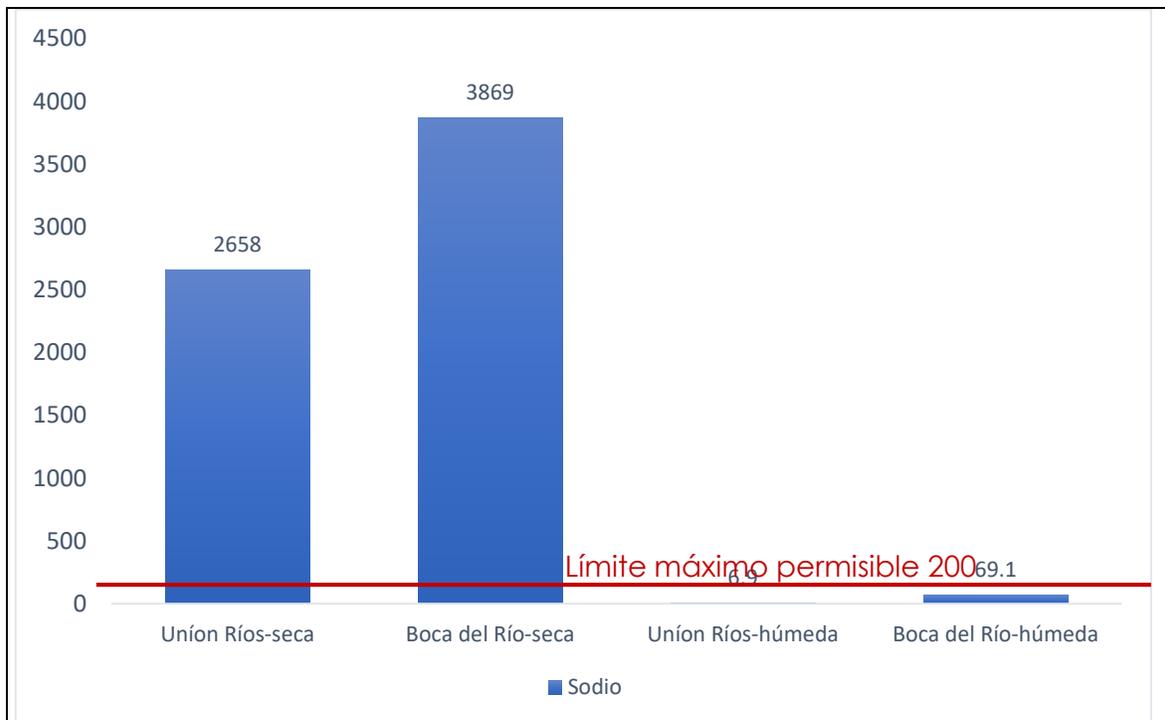


Figura 116: Sodio detectado en la unión Jamapa-Cotaxtla y Boca del rio en la época seca.

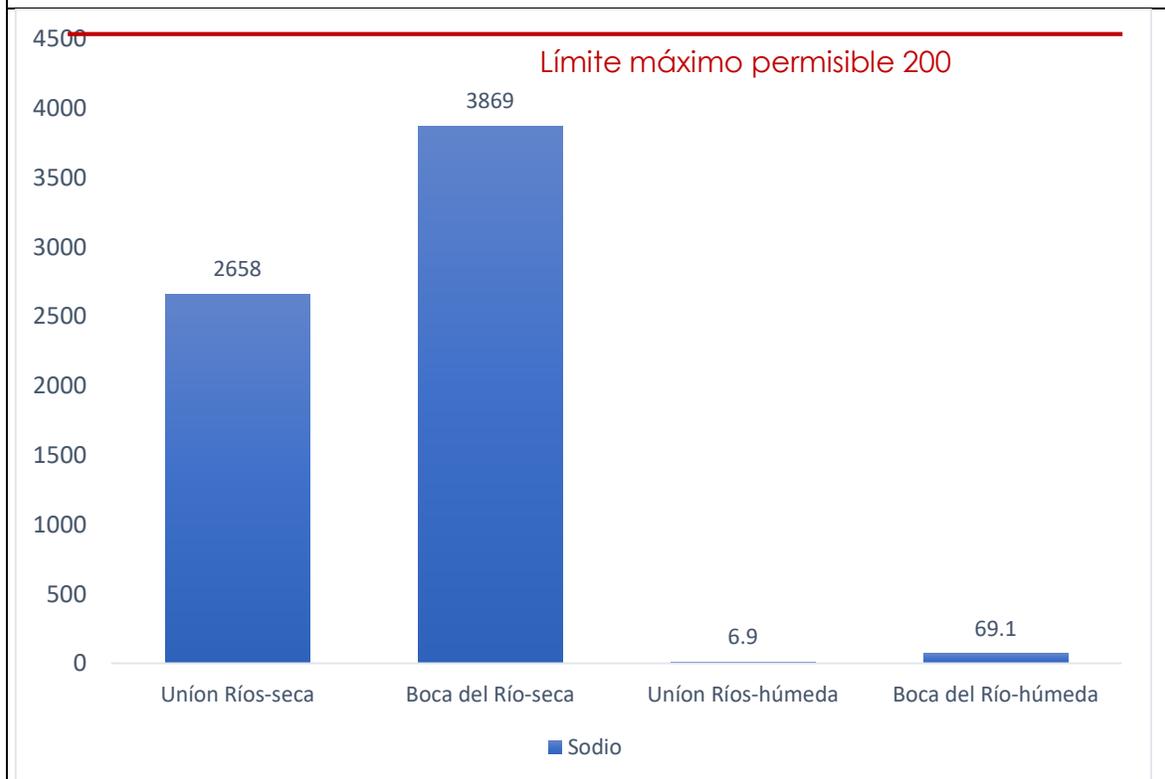


Figura 117: Sodio detectado en la unión Jamapa-Cotaxtla y Boca del rio en la época húmeda.