



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**MAESTRÍA EN GEOGRAFÍA  
CENTRO DE INVESTIGACIONES EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL  
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS  
INSTITUTO DE GEOGRAFÍA**

**ANÁLISIS ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA CALIDAD DEL AGUA Y SUS  
IMPLICACIONES EN LA SEGURIDAD HÍDRICA COMUNITARIA EN CUENCAS  
RURALES ESTACIONALES DEL BAJO BALSAS (MICHOACÁN)**

**TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRÍA EN GEOGRAFÍA**

**PRESENTA:  
MARGARITA ALVARADO BAUTISTA**

**TUTOR  
DRA. ANA LAURA BURGOS  
Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental  
Universidad Nacional Autónoma de México**

**CIUDAD.UNIVERSITARIA,.CD..MX..AGOSTO 2016**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



## **AGRADECIMIENTOS**

Al posgrado en Geografía, al Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental y a la Universidad Nacional Autónoma de México por brindarme una formación ética y profesional.

A CONACyT por el apoyo para la realización de este trabajo.

A mis sinodales por su apoyo a lograr concluir la presente tesis:

Dra. Ana Burgos (Tutora)

Dr. Manuel Maass

Dr. Manuel Mendoza Cantú

Dr. J. Jesús A. Fuentes

M.C. Rubén Hernández

A familiares, amigos y al amor de mi vida por su entero apoyo y cariño incondicional.

A la M.C. Rosaura Paez, Alvaro Camacho, Grupo Balsas A.C., a las personas de las comunidades y a todos aquellos que brindaron su apoyo para la realización de esta tesis.



## ÍNDICE GENERAL Y ANEXOS

<b>CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1 El enfoque de cuencas y la calidad del agua: los retos en el nuevo milenio..	1
1.2 Planteamiento del problema: la calidad del agua en el medio rural mexicano.....	3
1.3 Alcances de esta investigación.....	4
1.3.1 Marco epistémico.....	4
1.3.2 Objetivo general.....	5
1.3.3 Objetivos particulares.....	5
1.4 Contexto institucional de este trabajo.....	5
<b>CAPITULO 2. MARCO CONCEPTUAL</b> .....	7
2.1 Seguridad Hídrica: un componente clave para el desarrollo regional .....	7
2.2 Calidad de agua en Cuencas Rurales Estacionales.....	8
2.3 Amenaza, vulnerabilidad y riesgos vinculados a la calidad del agua.....	10
2.4.Valoración de la calidad del agua.....	12
2.5 Antecedentes: la calidad del agua en Cuencas Rurales Estacionales en México.....	14
<b>CAPITULO 3. MARCO METODOLÓGICO</b> .....	17
3.1. Área de estudio.....	17
3.1.1 Ubicación y características biofísicas del sistema hidrográfico .....	17
3.1.2. Rasgos sociales del Bajo Balsas.....	18
3.2. Metodología.....	20
3.2.1 Diseño de muestreo para determinar la calidad del agua en fuentes comunitarias.....	20
3.2.2 Muestreo de calidad de agua.....	24
3.2.3 Análisis de parámetros físico-químicos.....	24
3.2.4 Análisis de la calidad micro-biológica del agua.....	26
3.2.4.1 Índice de la Calidad del Agua.....	26
3.2.4.2 Variaciones temporales en la calidad de agua.....	28
3.2.4.3 Variaciones espaciales en la calidad del agua.....	29
3.2.5 Análisis de la calidad micro-biológica del agua.....	30
3.2.6 Identificación de riesgos a la salud humana por consumo de agua de mala calidad.....	34
<b>CAPITULO 4. RESULTADOS</b> .....	37
4.1. Características físico químicas en fuentes comunitarias de agua en el Bajo Balsas.....	37
4.1.1 Variaciones temporales en la calidad físico-química del agua.....	37
4.1.2 Variaciones espaciales de la calidad fisicoquímica del agua.....	50
4.2 Contaminación biológica en fuentes comunitarias de agua.....	59
4.2.1 Valoración microbiológica rápida (técnica de campo.....	61
4.2.2 Valoración microbiológica de laboratorio .....	67
4.2.3 Aptitud y usos potenciales del agua .....	72
4.2.4 Caracterización de la comunidad de enterobacterias en fuentes comunitarias de agua.....	72
4.3 Índice de Calidad de Agua.....	78
4.3.1 Variación temporal de la calidad del agua.....	78
4.3.2 Variación espacial de la calidad del agua. ....	78
4.4. Calidad de agua y salud familiar .....	80

4.4.1. Manejo del agua doméstica y salud familiar.....	80
4.4.2 Información de las Casas de Salud regionales.....	86
4.5 Factores causantes del deterioro de la calidad del agua.....	89
<b>CAPITULO 5. DISCUSIÓN y CONCLUSIONES.....</b>	<b>101</b>
5.1 Discusión general.....	101
5.2 Conclusiones.....	106
5.3 Recomendaciones.....	107
<b>Bibliografía</b> .....	<b>108</b>
<b>Anexos</b> .....	<b>121</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. a) Fuente superficial estacional sitio Cayaco, b) Manantial sitio El Salitre y c) fuente subt. sitio Oropeo.....	23
Fig. 2. a) Kit portátil La Motte b) Monitores comunitarios realizando la determinación d pH con el kit La Motte, c) Prueba de campo para determinar presencia de coliformes totales y E. coli, con el kit Easygel.....	24
Fig. 3. Ruta crítica de integración del SIG, con la superposición de capas para mapa base.....	29
Fig. 4. a) Medio de cultivo lactosado para determinar el número más probable de bacterias coliformes totales y fecales. b) Resiembra de las muestras en medio confirmativo.....	33
Fig. 5. Ecuación para la determinación del número NMP de coliformes.....	34
Fig. 6. Variaciones estacionales de la <i>Temperatura del agua y aire</i> en la estación seca y lluvias en las cuencas de estudio. ....	39
Fig. 7. Variaciones estacionales del <i>pH</i> del agua en la estación seca y lluvias en las cuencas de estudio.....	40
Fig. 8. Variaciones estacionales de <i>CE</i> del agua en la estación seca y lluvias en las cuencas de estudio. a.....	41
Fig. 9. Variaciones estacionales de la <i>turbidez</i> del agua en la estación seca y lluvias en las cuencas de estudio.....	42
Fig. 10. Variaciones estacionales de <i>Nitratos</i> del agua en la estación seca y lluvias en las cuencas de estudio.....	44
Fig. 11. Variaciones estacionales de <i>Cloruros</i> del agua en la estación seca y lluvias en las cuencas de estudio.....	45
Fig. 12. Variaciones estacionales de <i>Sulfatos</i> del agua en la estación seca y lluvias en las cuencas de estudio. ....	46
Fig. 13. Variaciones estacionales de <i>dureza</i> del agua en la estación seca y lluvias en las cuencas de estudio.....	47
Fig. 14. Variaciones estacionales de <i>alcalinidad</i> del agua en la estación seca y lluvias en las cuencas de estudio. ....	49
Fig. 15. Diagramas de correlación de Person de las fuentes de agua de las Cuencas de estudio.....	48
Figura 16. Frecuencia de las concentraciones de CT en las fuentes de agua en temporada Seca y Lluvias. ....	63
Fig. 17. Variaciones estacionales de <i>C. Totales</i> en la estación seca y lluvias en las cuencas de estudio.....	64

Fig. 18. Variaciones estacionales de <i>E. coli</i> en la estación seca y lluvias en las cuencas de estudio. ....	65
Figura 19. Número Más Probable de CT y CF en las fuentes de agua de las Cuencas de estudio.....	69
Fig. 20. Comparación de los análisis bacteriológicos en campo y laboratorio en época seca de las cuencas de estudio.....	71
Figura 21. Porcentaje de las fuentes de agua de acuerdo a aptitud de uso según su calidad micro-biológica (bacterias CT y F), con forme a CE-CCA-001/89 en las cuencas de estudio..	73
Figura 22. Cantidad de especies de bacterias presentes en 23 fuentes de agua en época seca y lluvias. ....	74
Fig. 23. Índice de la Calidad del Agua en los diferentes cuerpos de agua en las cuencas de estudio.....	79
Fig. 24. Procedencia del agua de consumo doméstico en las comunidades rurales....	82
Fig. 25. Procedencia del agua de uso doméstico en las comunidades rurales.	83
Fig. 26. Métodos de desinfección del agua de consumo humano de las comunidades rurales. ....	83
Fig. 27. Grupo dentro de la familia que son afectados por enfermedades relacionadas con el agua, de acuerdo a la percepción de los encuestados.....	84
Fig. 28. Enfermedades relacionadas con el agua, padecidas en las familias de acuerdo a los encuestados. ....	85
Figura 29. Incidencia de personas con síntomas de enfermedades transmitidas por el agua en las diferentes comunidades rurales. ....	85
Fig. 30. Promedio de incidencias de consultas de EDA'S y EDA'S >5 años entre los años 2005 - 2010 en las comunidades de Poturo y Oropeo. ....	87
Fig 31. Concentraciones de Dureza durante cinco años de muestreo en Oropeo.....	93
Fig 32. Promedio de las concentraciones de dureza del agua durante los cinco años de muestreo en las cuencas de estudio.....	94

## ÍNDICE DE MAPAS Y REPRESENTACIONES ESPACIALES

Mapa 1. Ubicación del sistema hidrográfico de la Ribera norte del Vaso de la Presa Adolfo López Mateos (Presa Infiernillo) .....	18
Rep. esp. 1. Procedencia del agua de las fuentes comunitarias del Bajo Balsas.....	21
Rep. esp. 2. Ubicación de las fuentes de agua muestreadas, las casas de salud y las localidades en las que se aplicaron las encuestas para la obtención de información sobre la incidencia de enfermedades transmitidas por agua en el ámbito familiar.....	36
Rep. esp. 3. Temperatura del aire en las cuencas de estudio.....	52
Rep. esp. 4. Temperatura del agua en las cuencas de estudio.....	53
Rep. esp. 5. CE del agua en las cuencas de estudio. ....	54
Rep. esp. 6. pH del agua en las cuencas de estudio. ....	55
Rep. esp. 7. Turbidez del agua en las cuencas de estudio. ....	56
Rep. esp. 8. Nitratos en las cuencas de estudio. ....	57
Rep. esp. 9. Cloruros en las cuencas de estudio. ....	59
Rep. esp. 10. Sulfatos en las cuencas de estudio. ....	60
Rep. esp. 11. Dureza en las cuencas de estudio. ....	61
Rep. esp. 12. Alcalinidad en las cuencas de estudio. ....	62

Rep. esp. 13. Concentraciones de a) Coliformes Totales y b) E. coli en las Cuencas Arroyo San Pedro Jorullo, Arroyo Poturo y Arroyo Grande Churumuco.....	67
Rep. esp. 14 Concentraciones de coliformess obtenidas en laboratorio de dos muestreos realizados en las cuencas de estudio. ....	70
Rep. esp. 15. Número de bacterias determinado en temporada a) seca b) lluvias.....	77
Rep. esp. 16. Distribucion espacial de las fuentes de agua de acuerdo al ICA en a) época seca (mayo), y b) época de lluvias (octubre) .....	81
Rep. esp. 17. Sitios con valores de turbidez mayor a 5 UNT en las cuencas San Pedro Jorullo, Poturo y Churumuco. ....	90
Rep. esp. 18. Representación espacial de los sitios con concentraciones de sulfatos por encima de lo establecido en la NOM-127. ....	91
Rep. esp. 19. Mapa geológico de la zona de estudio y representación espacial de las fuentes de agua que presentaron dureza >500 mg/l en al menos una temporada estacional.....	93
Rep. esp. 20. Mapa geológico de la zona de estudio y sitios con concentraciones de alcalinidad por encima de lo establecido en la NOM-127.....	95
Rep. esp. 21 sitios con concentraciones de alcalinidad por encima de lo establecido en la NOM-127.....	97
Rep. esp. 22. Sitios con presencia Coliformes Totales por encima de lo establecido en la NOM-127.....	98

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Datos demográficos de las localidades rurales de las cuencas del Bajo Balsas abarcadas en este estudio.....	18
Cuadro 2. Sitios de muestreo en las Cuencas Arroyo San Pedro Jorullo, Arroyo Poturo y Arroyo Grande Churumuco.....	22
Cuadro 3. Variables fisicoquímicas analizadas para determinar la calidad del agua en las fuentes comunitarias y procedimientos utilizados en campo y en laboratorio. ....	24
Cuadro 4. Procedimientos para la determinación de los parámetros en campo con el equipo de campo La Motte.....	25
Cuadro 5. Funciones y pesos ponderados para los parámetros utilizados en la integración del ICA para el Bajo Balsas.....	27
Cuadro 6. Contraste entre las preguntas de investigación y los análisis estadísticos y espaciales realizados.....	28
Cuadro 7. Resultados cartográficos generados para la espacialización de la información.....	30
Cuadro 8. Características de las comunidades y fuentes de agua para la determinación bacteriológica en laboratorio.....	31
Cuadro 9. Técnicas oficiales para la determinación de Coliformes en el agua	33
Cuadro 10. Localidades y fuentes de agua que presentaron parámetros con concentraciones fuera del límite permisible por la NOM-127-SSA1-1994 al menos en una época del año.....	50
Cuadro 11. Comparaciones múltiples entre cuencas de los parámetros en época seca y lluvias a través de la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis.....	51
Cuadro 12. Presencia de enterobacterias en las 23 fuentes de agua en temporada secas y lluvias.....	74

Cuadro 13. Perfil de la muestra de informantes sobre el manejo domestico del agua.....	80
Cuadro 14. Porcentaje de la población afectada por los parámetros que rebasaron el límite establecido en las normas mexicanas. ....	86
Cuadro 15. Géneros de bacterias patogénicas encontradas en fuentes de agua en localidades rurales, y enfermedades asociadas.....	88

## RESUMEN

Las personas de las comunidades rurales con climas tropicales secos donde las precipitaciones son fuertemente estacionales, erráticas y escasas son fuertemente afectadas por la mala calidad del agua. Por ello esta investigación se propone contribuir al conocimiento de la problemática de las variaciones espacio-temporales de la calidad del agua para uso humano proveniente de fuentes comunitarias en poblaciones rurales y sus implicaciones en la seguridad hídrica en cuencas estacionales del Bajo Balsas con el fin de mejorar las estrategias de atención para el desarrollo de esta región.

El estudio analizó 12 parámetros físico-químicos y bacteriológicos en campo con la ayuda del kit portátil desarrollado por el laboratorio La Motte y laboratorio llevadas a cabo conforme a las Normas Mexicanas de calidad de agua en 42 fuentes comunitarias elegidas de acuerdo al uso local y al interés de los monitores campesinos en 16 localidades rurales en los municipios de La Huacana y Churumuco (Michoacán). Las muestras se obtuvieron entre los años 2010 y 2014, abarcando nueve fechas de muestreo en dos momentos del año (5 al fin de la estación de secas y 4 al fin de la estación de lluvias).

Como resultados se obtuvo el 51% de las fuentes de agua mostraron anomalías en algún parámetro en algún momento específico. La cuenca Arroyo San Pedro Jorullo fue la más afectada por estas anomalías, siendo Oropeo el sitio más perjudicado por los factores naturales y antropogénicos. Mientras que la Cuenca Poturo es la menos afectada. La valoración microbiológica tanto en campo y laboratorio indicaron que el 100% de las fuentes de agua presentaron organismos coliformes totales al menos en un momento del periodo de muestreo mientras que más del 50% lo hizo para Coliformes Fecales. Se determinaron en total la presencia confirmada de 36 especies de bacterias, con 12 especies adicionales cuya presencia quedo a nivel de “probable” algunas de ellas de importancia para la salud familiar. Por su parte el Índice de la Calidad del Agua indicó agua de calidad regular en temporada seca principalmente en acuíferos aluviales debido a la concentración y fácil dilución de las sustancias y de organismos coliformes a causa de la reducción de volúmenes e incremento de las altas temperaturas en esta temporada, y buena en lluvias sin calificar como agua de excelente calidad en ninguna temporada estacional a causa de las concentraciones fuera de norma de los parámetros Sulfatos, Dureza, Alcalinidad, Turbidez, Coliformes Totales y *E. coli*.

Debido a la amplia distribución de la contaminación bacteriológica y a otros parámetros fuera de norma el 100% de los habitantes de las localidades analizadas en este estudio se ve expuesto a sufrir impactos en su salud por la mala calidad del agua, siendo niños y adultos mayores los más afectados por la deficiencia de la calidad del agua.

El derecho de acceso universal al agua de calidad apta para el consumo humano, es un derecho humano que permitirá obtener seguridad hídrica en esta región. Ello es indispensable en estas comunidades para el buen manejo de cuencas accediendo de esta manera a un desarrollo regional sustentable permitiendo así la planificación de unidades territoriales completas. Las poblaciones rurales de cuencas estacionales deben ser advertidas de los peligros asociados a la calidad del agua, y deben ser dotadas de información, mecanismos y medios de prevención para contar con un agua segura y evitar coadyuvantes del deterioro de la salud pública.

## **SUMMARY**

People in rural communities with dry tropical climates where rainfalls are highly seasonal, erratic and scarce are strongly affected by the poor quality of water. Therefore this research is to contribute to the knowledge of the problems of spatio-temporal variations of water quality for human use from community sources in rural populations and their implications for water security in seasonal basins of the Bajo Balsas in order to improve care strategies for the development of this region.

The study analyzed 12 physico-chemical and bacteriological parameters in the field with the help of a portable kit and laboratory carried out in accordance with the Mexican standards of water quality in 42 Community sources chosen according to local use and monitors peasant interest in 16 rural communities in the municipalities of La Huacana and Churumuco (Michoacán). The samples were obtained between 2010 and 2014, covering nine rounds of sampling at two times of the year (5 to end the dry season and 4 at the end of the rainy season).

As a result 51% of the water sources showed abnormalities in some parameter and at any specific time was obtained. Arroyo San Pedro Jorullo watershed was the most affected by these anomalies, being Oropeo the most affected site by natural and anthropogenic factors. While Poturo watershed is the least affected. The microbiological

evaluation both field and laboratory indicated that 100% of the water sources had total coliform organisms at least at some point of the sampling period while more than 50% did so for Fecal Coliform. 36 species of bacteria were confirmed, with 12 additional species whose presence remained at the level of "probable" some of them with importance for family health. Meanwhile Index Water Quality indicated water of regular quality in dry season mainly in alluvial aquifers due to the concentration and easy dilution of substances and coliform organisms because of reduced volumes and increased of the high temperatures in this season, and good in rain without being qualify as excellent quality water in any seasonal because of the non-standard concentrations of sulfates, hardness, alkalinity, turbidity, total coliforms and E. coli parameters.

Due to the wide distribution of bacteriological contamination and other parameters outside standard, 100% of the habitants of the localities analyzed in this study are exposed to suffer negative effects on their health caused by poor water quality, children and older adults are the most affected by deficiency of water quality.

The right of universal access to water suitable for human consumption quality which will produce water security in this region. This is essential in these communities for good watershed management thereby accessing a sustainable regional development planning allowing complete territorial units. Rural populations living in seasonal basins should be warned of the dangers associated with water quality, and should be provided with information, prevention mechanisms and means to have safe water and prevent deterioration aids public health.



# **CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN**

## **1.1 El enfoque de cuencas y la calidad del agua: los retos en el nuevo milenio**

El nuevo milenio ha planteado retos ambientales que demandan urgente atención. Entre estos, un papel central lo ocupa la necesidad de preservar los recursos hídricos para disponer de ellos en cantidad y calidad suficiente y satisfacer las necesidades humanas, en tanto el agua es un Derecho Humano (ONU, 2010), así como las actividades productivas que dan sustento a la población. En esto, las cuencas hidrográficas han mostrado ser las unidades geográficas idóneas para gestionar y manejar el espacio geográfico ayudando a alcanzar la seguridad hídrica. El enfoque de cuencas permite integrar procesos biofísicos y sociales relacionados con el agua en una misma unidad espacial, y reconocer las relaciones espaciales y las interacciones que afectan la cantidad y calidad de agua y su disponibilidad en el espacio y en tiempo específico (Cotler y Priego, 2004). El enfoque de cuencas permite aplicar criterios de optimización de sus recursos (Straskraba y Gnauck, 1985), principalmente hídricos; obteniendo los máximos resultados económicos y seguridad social de forma equitativa, sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas (UNESCO, 2012). Actualmente los recursos hídricos son blanco de diversas amenazas que causan su degradación (Umaña, 2002), lo que hace necesario el entendimiento del origen y las causas del problema así como la determinación de áreas prioritarias de atención y la comprensión de la diversidad de los actores que están involucrados en la problemática específica de cada cuenca.

Por mucho tiempo el abasto de agua ha sido el principal objetivo dejando de lado la atención a su calidad. Actualmente el deterioro de la calidad del agua se ha convertido también en motivo de preocupación a nivel mundial con el crecimiento de la población humana, la expansión de la actividad industrial y agrícola y la amenaza del cambio climático como causa de importantes alteraciones en el ciclo hidrológico (ONU-DAES, 2005). Cantidad y calidad impactan en los ecosistemas naturales y la biodiversidad; y en el bienestar humano en aspectos como, la salud comunitaria, la producción de alimentos, y las actividades económicas. El acceso a agua de calidad influye en las condiciones de pobreza humana, en las oportunidades para generar riqueza y también en la posibilidad de educación, entre otros problemas (UnWater/UNEP/FAOWATER, 2010). Así, la calidad de vida depende directamente de la calidad y cantidad del agua.

Los factores que determinan la calidad natural del agua dependen de las condiciones geológicas, climatológicas, ecológicas y actividades humanas dentro de una cuenca ( Burgos *et al.*, 2014; DEP, 2014; Raucher, 1996; citado en Welch et al., 2000; Reiff *et al.*, 1996) . La deficiencia de la calidad del agua en las fuentes para consumo humano es originada principalmente por la falta de saneamiento, causando contaminación a las fuentes de agua por excretas, aguas residuales y un ambiente sucio. En 2012, 2500 millones de personas no tenían acceso a instalaciones de saneamiento mejoradas, y 1000 millones de estas personas todavía practicaban la defecación al aire libre (OMS, 2014). Y aun siendo estas cifras preocupantes, la realidad es peor, debido a que millones de personas que viven en comunidades rurales simplemente no están contabilizadas en las estadísticas (ONU, 2010b). Así, los sectores pobres son afectados por servicios inadecuados de agua y saneamiento, debido a que la pobreza está ligada a la falta de infraestructura básica (Reyna, 2011). La falta de medios económicos lleva a las familias a hacer sus propios arreglos, muchas veces precarios, para satisfacer sus necesidades básicas de sobrevivencia (Reyna, 2011). Para balancear las oportunidades para el desarrollo regional, la atención de las necesidades en los servicios de agua y saneamiento de las zonas rurales debería ser una cuestión prioritaria de este siglo. Para dar atención a esta problemática, en el 2000, la Organización de las Naciones Unidas incluyó como un Objetivo de Desarrollo del Milenio la meta de reducir a la mitad la proporción de personas sin acceso a agua potable y saneamiento básico (ONU, s.f.).

El agua insalubre o inadecuada, y la falta de saneamiento e higiene son la causa de aproximadamente el 3,1% de todas las muertes en todo el mundo (WHO, 2002). El agua de mala calidad es un vehículo propicio para la transmisión de enfermedades como el Cólera, Hepatitis infecciosa, Fiebres tifoideas y paratifoideas, Amibiasis, Esquistosomiasis (Amar y Madariaga, 2008), las Enfermedades Diarreicas Agudas (EDA'S) entre otras. Cabe señalar que las enfermedades diarreicas agudas persisten como problema de salud relevante en los niños. Hasta el 2011 la tasa de mortalidad infantil para menores de 5 años por EDAS era de 8.9 por cada 100 mil niños menores de 5 años (UNICEF, 2014).

En México, las áreas rurales muestran franco rezago en aspectos básicos que hacen al bienestar y calidad de vida de la población. Particularmente en climas tropicales secos donde las precipitaciones son fuertemente estacionales, erráticas y escasas, las condiciones de seguridad hídrica son una pieza clave del desarrollo regional. Tal es el caso de la región de Tierra Caliente en el Estado de Michoacán, una zona con fuertes

restricciones naturales para transitar caminos hacia el desarrollo sustentable, sumadas a un franco abandono de las políticas públicas (Maldonado 2012). Siendo el agua un recurso básico para las áreas rurales más rezagadas, esta investigación se propone contribuir al conocimiento de la problemática de la calidad del agua y la seguridad hídrica en cuencas rurales del trópico seco michoacano, con el fin de mejorar las estrategias de atención para el desarrollo de esta región.

## **1.2. Planteamiento del problema: la calidad del agua en el medio rural mexicano**

México es un país de ingresos medios-altos según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (UNICEF, 2014); sin embargo, las cifras oficiales indican al menos un 60% de pobres (Rodríguez, 2016). Su medio rural muestra graves deficiencias en los servicios de agua potable o, cuando éstos existen, no se ajustan a los requisitos de calidad exigidos para el consumo humano (ASPMADP, 2007). Casi una tercera parte de las viviendas localizadas en comunidades rurales carecen de agua potable, y más de 63% no cuenta con servicios de alcantarillado o saneamiento básico (CONAGUA, 2010; Reyna, 2011). Estos problemas se deben al bajo nivel socio económico de los habitantes, la dispersión de viviendas aisladas o en pequeños núcleos, condiciones que no permiten alcanzar una economía de escala de las soluciones propuestas. Asimismo, el acceso a nuevas tecnologías para el agua y saneamiento es limitado, así como los recursos financieros para invertir en estos. Los sistemas de abasto de agua rural son operados a través de juntas conformadas por miembros de la comunidad, lo que resulta en bajo nivel técnico de los operadores, carencia de supervisión, control y apoyo técnico de instituciones públicas o empresas de agua y saneamiento de mayor tamaño (Lampoglia *et al.*, 2008).

Pese a las muchas dificultades, existen comunidades que cuentan con infraestructura para la distribución de agua, aunque en ocasiones están construidas sin las características necesarias para evitar la contaminación de las fuentes de agua (Reyna, 2011). La mayoría de las comunidades rurales carecen generalmente de un sistema de distribución por tuberías (Estructupla, s.f.); lo que hace más complicado la obtención de agua adecuada que pueda satisfacer las necesidades básicas de las comunidades en estas áreas. El agua de la que se abastecen proviene de manantiales, ríos, arroyos, pozos

subterráneos, ojos de agua u otro tipo de fuentes naturales superficiales o subterráneas (Rodríguez, *et al.*, 2010), sin una verificación regular de su calidad (Félix-Fuentes *et al.*, 2007). Frecuentemente, el agua se extrae con utensilios sucios y se acarrea desde lugares lejanos, principalmente son las mujeres quienes desempeñan un papel central en la provisión, manejo y protección del agua (Reyna, 2011).

La falta de estudios sobre la calidad del agua en poblaciones aisladas responde a dificultades técnicas y económicas (Osnaya, 2013). Esta falta de información es una traba para identificar necesidades de tratamiento del agua para mejorar su calidad. Es necesario que en las cuencas rurales se le dé importancia a la calidad del agua en las fuentes que abastecen a las poblaciones; donde, la primera línea de defensa es la evaluación de la calidad física, química y microbiológica del agua suministrada a través de prácticas de análisis, la vigilancia y el control de los procesos de tratamiento (OPS, 2007), para evaluar su capacidad de producción, utilidad potencial y planificar medidas (Ravindra *et al.*, 2003).

En Michoacán, la sección baja de la Cuenca del Río Balsas es un caso típico de ambientes rurales afectados por fuertes rezagos sociales y económicos, constituyendo un verdadero desafío para el diseño de estrategias integrales para el desarrollo regional. El reconocimiento de los factores y riesgos vinculados a la calidad del agua es un componente crítico de cualquier estrategia de desarrollo pues permite reconocer aquellos sitios donde el agua no es apta para el consumo humano, así como los peligros que pueda representar su consumo y los factores que conllevan a su deterioro. Por lo tanto, este tipo de estudios es un insumo básico para la toma de decisiones y la implementación de medidas y/o acciones para el acceso a agua segura.

### **1.3 Alcances de esta investigación**

#### **1.3.1 Marco epistémico**

Ésta tesis está guiada por las siguientes preguntas de investigación:

1) ¿Cuáles son las características de la calidad del agua proveniente de fuentes comunitarias en cuencas rurales del trópico seco específicamente en el caso del Bajo Balsas?

2) Considerando el carácter estacional en la temporalidad así como la heterogeneidad espacial dentro del sistema hidrográfico, ¿cuáles son las variaciones espaciales y temporales de la calidad del agua?

3) ¿Qué factores naturales y antropogénicos inciden en la calidad del agua y en su variación espacio-temporal?

4) ¿En qué medida la calidad del agua obtenida de las fuentes comunitarias constituye un riesgo para la población local y el ambiente?

### ***1.3.1 Objetivo general***

Analizar las variaciones espacio-temporales de la calidad del agua para uso humano proveniente de fuentes comunitarias en poblaciones rurales de cuencas estacionales del Bajo Balsas, a fin de reconocer sus implicaciones en la consecución de la seguridad hídrica regional.

### ***1.3.2 Objetivos particulares***

1. Describir las variaciones espacio-temporales de la calidad del agua en fuentes de abasto comunitario de poblaciones rurales del Bajo Balsas.

2. Reconocer los riesgos para las poblaciones locales de la calidad del agua y su variación en las fuentes para uso doméstico en el sistema hidrográfico de estudio.

3. Discutir las causas naturales y antropogénicas que inciden en la calidad del agua

## **1.4 Contexto institucional de la investigación**

Este trabajo forma parte de la línea de investigación sobre Seguridad Hídrica y Manejo de Cuencas en el trópico seco desarrollada en el Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA-UNAM). Como parte de ésta, en el año 2010 se inició un

Programa de Monitoreo Comunitario para determinar la calidad del agua de cuencas rurales del Bajo Balsas; desarrollado mediante un enfoque transdisciplinario en el que se involucraron una asociación civil (Grupo Balsas A. C.), comunidades rurales de los Municipios de La Huacana y Churumuco, y el sector académico a través de los Laboratorios de Análisis de Agua del CIGA de la UNAM y la Facultad de Biología de la UMSNH, financiado inicialmente por la Fundación Gonzalo Rio Arronte I.A.P. Con el fin de darle continuidad al proyecto, en el 2013 se formuló una siguiente etapa bajo el título "Hacia la seguridad hídrica en el Bajo Balsas: una estrategia multidimensional", proyecto que fue financiado por el Fondo Mixto CONACYT-Gob. del Estado de Michoacán (Proyecto FOMIX 196949 2013-2015) y en el cual se inserta la presente investigación. El proyecto busca crear mecanismos comunitarios e institucionales para alcanzar la seguridad hídrica en cuencas con población vulnerable, incluyendo acciones de colaboración con el sector gubernamental, a través de las dependencias vinculadas a la problemática estatales como la Secretaria de Urbanismo y Medio Ambiente (SEMARNACC) y la Comisión Estatal de Agua y Gestión de Cuencas (CEAGC).

## CAPITULO 2. MARCO CONCEPTUAL

### 2.1 Seguridad Hídrica: un componente clave para el desarrollo regional

De acuerdo a Grey & Sadoff (2007) la *Seguridad Hídrica* (SH) se define como la disponibilidad de agua en cantidad y calidad para la salud, los medios de vida, los ecosistemas y la producción aceptable, junto con un nivel aceptable de riesgos relacionados con el agua a las personas, los ambientes y las economías. Dada su importancia, el incremento de la *seguridad hídrica* se ha convertido en un imperativo para el desarrollo de un país, región, cuenca o comunidad. La falta de seguridad hídrica impacta en mayor medida a las poblaciones más pobres que habitan en regiones secas, en donde la escasez de recursos hídricos requiere grandes inversiones en la gestión e infraestructura en todos los niveles para alcanzar la satisfacción de las necesidades hídricas, desafío que no se cumple. Cuando la cantidad y la calidad de agua son inadecuadas, se incrementan los factores que son limitantes para aliviar la pobreza y para impulsar la recuperación económica, teniendo como resultado el deterioro de la salud y baja productividad, inseguridad alimentaria y restricciones en el desarrollo económico (Seckler *et al.*, 1999; UNESCO, 2012).

Es evidente que la salud humana depende no sólo de la cantidad de agua suministrada, sino principalmente de su calidad (Fernández, 2011). El deterioro de la calidad del agua ha aumentado a través de los años en todo el mundo, debido a la falta de saneamiento tanto en espacios urbanos como rurales. La calidad del agua no está asegurada, incluso en los países desarrollados. En un estudio en Francia, las pruebas de agua potable indicaron que 3 millones de personas consumen agua cuya calidad no cumple con las normas de la Organización Mundial de la Salud (OMS), y el 97% de las muestras de agua subterránea no cumplían con las normas de nitratos en el mismo estudio (UNESCO, 2009). A principios de 2000 una sexta parte (1,1 mil millones personas) de la población del mundo no tenían acceso a agua mejorada y dos quintos (2,4 mil millones de personas) no tenían acceso a saneamiento mejorado, la mayoría de estas personas viven en Asia y África (Barker, 2012; WHO/UNICEF, 2000).

Actualmente, el acceso a agua en cantidad y calidad ha sido reconocido como un derecho fundamental y subyacente a otros derechos humanos. En julio de 2010, la

Asamblea General de las Naciones Unidas estableció oficialmente el derecho al agua y al saneamiento; a partir de lo cual se asume que el agua potable pura y el saneamiento son esenciales para la realización de todos los derechos humanos. Aunque el derecho al agua no está reconocido expresamente como un derecho humano independiente en los tratados internacionales, las normas internacionales de derechos humanos comprenden obligaciones específicas en relación con el acceso a agua potable. Esas obligaciones exigen a los estados que garanticen a las personas agua suficiente, saludable, aceptable, accesible y asequible para el uso personal y doméstico. Con el fin de que las personas tengan un nivel de vida digno (ONU, 2010b).

## **2.2 Calidad de agua en Cuencas Rurales Estacionales**

Es difícil proporcionar una definición sencilla de calidad del agua dada la gran cantidad de factores y variables utilizadas para describir el estado de las masas de agua en las cuencas hidrográficas (WHO, 1996). En términos generales, la calidad del agua está dada por las características físicas, químicas y biológicas que la hacen susceptible de usar en cualquier actividad productiva del hombre (Sandoval, 2007; Wang, 2001).

El abasto de agua en cantidad y calidad adecuada es un reto aún mayor en Cuencas Rurales Estacionales (CRE), tales como las presentes en las regiones del trópico seco en México. Las pocas precipitaciones, sumado a temperaturas del ambiente altas, hace que el balance hídrico de las cuencas estacionales presente un marcado déficit hídrico y escasos escurrimientos. Ello redundando en bajos volúmenes de agua libre disponible a lo largo de todo el año para ser aprovechada para las necesidades humanas y productivas. Ante el marcado déficit hídrico particularmente durante la estación seca de varios meses continuos, las poblaciones ubicadas en cuencas rurales estacionales se ven obligadas a beber agua no apta para el consumo humano, con consecuencias en su salud, por el padecimiento de diversas enfermedades tanto de la piel como otras enfermedades transmitidas por el agua (Lal, 1999; Luijten *et al.*, 2001). La falta de recursos económicos limita la creación de infraestructura adecuada; adicionalmente el bajo nivel de educación e información de la población obstaculiza la aplicación de buenas prácticas de manejo de la poca agua disponible en el periodo de lluvias en estas cuencas.



Los problemas vinculados a la calidad y cantidad del agua, necesariamente requieren de un enfoque de cuenca hidrográfica las cuales han sido ampliamente reconocidas como unidades biofísicas o socioeconómicas e institucionales adecuadas para la gestión de los recursos hídricos y la compatibilización de usos y control de las externalidades negativas (Burgos y Bocco, 2015; Luijten *et al.*, 2001; Lal, 1999; Garrido *et al.*, s.f.). Una cuenca hidrográfica se puede definir como superficie terrestre delimitadas por el relieve en donde el agua de lluvia captada escurre hasta un punto común o desembocadura. La visión de cuenca permite establecer las relaciones espaciales que afectan a la calidad del agua en sitios específicos utilizados como fuentes de agua, como norias, manantiales y pozos. Si el agua es contaminada en la parte superior de las cuencas las personas que viven en la parte baja se verán afectadas (DEP, 2014) a causa de la contaminación puntual y no puntual o difusa. La contaminación difusa es un problema preocupante ya que es responsable de la mayoría de las deficiencias de la calidad del agua. Es esencial tener en cuenta impactos aguas abajo en el desarrollo e implementación de acciones de protección y restauración de la calidad del agua.

El estudio de patrones espaciotemporales de la concentración de sustancias en las fuentes de agua, integrando datos físico-químicos, biológicos e información hidrológica, es el primer paso que debe abordarse para afrontar el deterioro de la calidad del agua, siempre desde el enfoque de cuenca (Arauzo *et al.*, 2006). Además de que el método de la representación espaciotemporal es una herramienta efectiva para la detección de los cambios espaciales y temporales de la calidad del agua, también es un elemento clave en el control de los datos para la vigilancia de la calidad del agua (Anttila *et al.*, 2012).

El enfoque de cuenca también debe completarse con análisis a otras escalas en apoyo a la toma de decisiones y el desarrollo de estrategias (Bakker, 2012); un claro ejemplo son las políticas públicas. Cuando la disponibilidad de agua es escasa como en el caso de las cuencas con clima estacional y la población es vulnerable especialmente las comunidades rurales pobres, el enfoque de cuenca es fundamental para la preservación de la calidad del agua en las fuentes disponibles, a partir de medidas a diferentes escalas espaciales dentro de la cuenca, que además coadyuven a integrar a la población en acciones mancomunadas para la preservación de los recursos disponibles.

### **2.3 Amenaza, vulnerabilidad y riesgos vinculados a la calidad del agua**

Un aspecto relevante para la construcción de estrategias de desarrollo en cuencas rurales estacionales, es contar con información precisa sobre la cantidad y calidad de agua disponible, así como las amenazas que puedan afectar principalmente la calidad en diferentes momentos y lugares dentro de cuencas completas. Las amenazas vinculadas a la calidad del agua están relacionadas con aquellos fenómenos, sustancias, actividades humanas o condición que pueden alterar su calidad y generar un daño, lesiones u otros impactos a la salud e incluso ocasionar la muerte, pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales (ONU, 2009). Las amenazas vinculadas a la calidad del agua están determinadas por la intensidad y la frecuencia de eventos que alteren los valores permisibles en parámetros o variables sensibles a la salud humana o al ambiente (CIIFEN, 2010).

La población de cuencas rurales estacionales está frecuentemente asociada a condiciones de pobreza y marginación, debido a los fuertes rezagos económicos y sociales que se han acumulado a lo largo de su historia. Por ello la población de estas cuencas es altamente vulnerable porque carecen de medios para anticipar, sobrellevar, resistir y recuperarse de los impactos de amenazas o peligros específicos. Si las poblaciones rurales se exponen a fuertes amenazas vinculadas a la calidad de agua y no cuentan con mecanismos de manejo de los efectos de la amenaza, se incrementa el riesgo de que estas puedan contraer enfermedades y ver afectada su capacidad de trabajo y subsistencia, lo que alimenta así los círculos viciosos de exclusión y pobreza. Se entiende el riesgo como la Intersección de la ocurrencia de un evento ambiental clasificado como peligroso, en este caso el deterioro de la calidad del agua de consumo, con una vulnerabilidad preexistente (Adamo, 2012); o bien, la exposición a la probabilidad de afectación o pérdidas debidas a un proceso particular para un área dada y en un periodo específico. En este caso el riesgo específico será el grado esperado de pérdidas o daños a las comunidades rurales a causa del consumo de agua de mala calidad. Es decir la combinación de factores que determinan el grado en que la vida de alguien y su subsistencia se ponen en riesgo por un evento discreto e identificable en la naturaleza o en la sociedad (Wisner *et al.*, 2003).

Las enfermedades transmisibles por la mala calidad del agua son un problema de salud pública por las afectaciones denominadas 'enfermedades de origen hídrico' (Haro

*et al.*, 2012). Los impactos de las condiciones inadecuadas del agua, varían en función de la edad y se ha reconocido que los niños son la población más vulnerable. Mundialmente las infecciones gastrointestinales están entre las causas más importantes de morbilidad entre los lactantes y los niños. Se estima que en Asia, África y Latinoamérica la probabilidad de que un niño muera antes de los 5 años puede llegar a 50% (Hernández *et al.*, 2011).

Existen reportes de comunidades con altas incidencias de enfermedades gastrointestinales y parasitarias, donde el origen de las mismas se ha atribuido a la deficiencia en la calidad del agua de pozo que utilizan para consumo ( Félix-Fuentes *et al.*, 2007; Welch *et al.*, 2000 ). Algunas estadísticas indican que el agua contaminada o de mala calidad causa 4 billones de casos de diarrea cada año, y se traduce en 2,2 millones de muertes, en su mayoría de niños menores de cinco años. Esto significa que el 15% de las muertes infantiles cada año son atribuibles a la diarrea. Sólo en la India, la principal causa de enfermedad y muerte entre los niños es la diarrea, que mata cerca de medio millón de niños cada año (WHO y UNICEF, 2000). Aproximadamente el 40% de la población de muchos países de Latino América y el Caribe consumen agua de deficiente calidad (PAHO, 1994; citado en Gerba *et al.*, 1996). Esto debido a que algunas personas no tienen acceso a agua potable (33.6 millones) y a saneamiento mejorado (64.3 millones) (Lampoglia *et al.*, 2008). La Organización Para la Salud (OPS) en el 2002, menciona que en América Latina y el Caribe murieron 190.000 niños, siendo las Enfermedades Diarreicas (EDA's) las principales causas de muerte (Busto, 2007; Reyes, 2010).

En México se inició el Programa Nacional de Prevención y Control de Enfermedades Diarreicas en 1984 (Gutierrez *et al.*, 1994); sin embargo, los casos de incidencia de EDA's siguen siendo muy elevados, y esta problemática ocupa el segundo lugar entre las causas de morbilidad en la población general, así como la principal causa de demanda de consulta externa y hospitalaria en los niños menores de cinco años, quienes representan el grupo más vulnerable y consecuentemente con mayor riesgo de evolución grave. En Michoacán en el 2012 se identificó una prevalencia de EDA's en niños menores de cinco años de 13.8% la cual se incrementó hasta un 64.3% (INSP, 2013). Ello ha causado que el número de muertes por diarrea siga siendo injustificadamente elevado en el estado y nuestro país (Gutiérrez *et al.*, 1994; Terrés & Casas, 2002).

## 2.4. Valoración de la calidad del agua

Comúnmente la calidad del agua se juzga como el grado en el cual se ajusta a los estándares físicos, químicos y biológicos fijados por normas nacionales e internacionales (Orellana, 2005). La calidad del agua no es una característica absoluta, sino es más un atributo definido socialmente en función del uso que se le piense dar al líquido; cada uso requiere un determinado estándar de calidad. Por esta razón, para evaluar la calidad del agua es necesario considerar el contexto del uso probable que tendrá (Alcalá, 2013; De la Rosa, 2014; Rolón, 2015; Sánchez-Rodríguez y Calvario-Martínez, 2013). La calidad del agua para consumo humano requiere que se encuentre libre de elementos que la conviertan en un vehículo para la transmisión de enfermedades. La calidad del agua debe cumplir con las condiciones físico químicas y bacteriológicas establecidas por el Ministerio de Salud de cada país, de tal manera que el consumo no dañe la salud de los usuarios (OPS, 2007). En esta definición está implícito que el agua debe estar libre de organismos patógenos, sustancias químicas, impurezas y cualquier tipo de contaminación que cause problemas a la salud humana (Chandio *et al.*, 1998; Rodríguez *et al.*, 2010).

Existen diversos criterios y enfoques utilizados a nivel internacional para determinar la calidad de fuentes de agua. La Agencia de Protección del Medioambiente de Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés) utiliza dos tipos de criterios: los narrativos y los numéricos. Los primeros refieren a que las fuentes superficiales deben estar libres de depósitos putrefactos o desagradables en el fondo, petróleo, suciedad y desechos flotantes en cantidades que resulten antiestéticas, niveles molestos de olor, color y otras condiciones; vida acuática molesta o indeseable así como sustancias en cantidades tóxicas para seres humanos o para la vida acuática. Por su parte, los criterios numéricos expresan condiciones para medidas específicas, tales como oxígeno disuelto, temperatura, turbidez, nitrógeno, fósforo, metales pesados y productos químicos orgánicos sintéticos (EPA, s.f.; Schultz, 2001). La Directiva en la Unión Europea se centra en parámetros de la calidad y salubridad. El agua no debe contener ningún tipo de microorganismo, parásito o sustancia, en una cantidad o concentración que pueda suponer un riesgo para la salud humana, y cumpla con los requisitos mínimos en cuanto a parámetros microbiológicos y químicos especificados (Gob. Esp., 2003). Por su parte, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) menciona que la calidad de cualquier masa de agua, superficial o subterránea se determina comparando las características físicas y químicas de una

muestra de agua con directrices o estándares de calidad de agua, los cuales se basan en niveles de toxicidad científicamente aceptables tanto para humanos como organismos acuáticos (ONU-DAES, 2005).

La utilización de índices para valorar la calidad del agua es un medio para articular la gran cantidad de dimensiones involucradas en el concepto de calidad de agua (Schultz, 2001). Los índices son herramientas que nos permiten traducir un conjunto de parámetros a un solo valor (Miller *et al.*, 1986; Stambuk-Giljanović, 2003) y permite comunicar la calidad del agua en cuerpos y fuentes específicos (Vizcaíno, 1991), clasificándolos para su uso potencial (Miller *et al.*, 1986; Stambuk-Giljanović, 2003). Se ha considerado conveniente que la evaluación de la calidad del agua priorice la realización de un grupo de parámetros básicos relacionadas con las enfermedades transmitidas por vía hídrica y recomendados por la OMS tales como: turbidez, pH, cloro residual y coliformes termotolerantes (coliformes fecales) (OPS, 2007).

La normatividad en México en torno a la calidad del agua ha tenido diversos cambios a través del tiempo, de acuerdo con parámetros básicos y legislación establecida en otros países. Actualmente la normatividad está diseñada para atender los problemas específicos de los cuerpos de agua, en todos los casos con el fin de controlar las fuentes de contaminación puntual (Jiménez, s.f.). Según la Ley Federal de Metrología y Normalización, la finalidad de las normas es “establecer las características, especificaciones y/o métodos que deberían reunir los productos, procesos, servicios cuando estos puedan constituir un riesgo para la seguridad de las personas, dañen la salud humana, animal y vegetal, al medio ambiente, o para la preservación de los recursos naturales; así como establecer las características, especificaciones, criterios y procedimientos que permitan proteger y promover el mejoramiento del medio ambiente y los ecosistemas, preservar los recursos naturales, promover la salud de las personas, animales o vegetales”(CDHCU, 2009).

Existen diversas normas que establecen algunas especificaciones y límites permisibles sobre contaminantes del agua en nuestro país. Entre ellas, la NOM-127-SSA1-1994 establece los límites permisibles de la calidad del agua y los tratamientos que deben someterse para la potabilización. La CE-CCA-001/89 por su parte establece criterios ecológicos para la calidad del agua donde se precisan los niveles de los parámetros y de las sustancias que se encuentran en el agua.

## **2.5 Antecedentes: la calidad del agua en cuencas rurales estacionales en México**

México es un país con orígenes campesinos. Sin embargo, en las últimas décadas el medio rural no ha sido incluido dentro del modelo de desarrollo en marcha, por lo que las comunidades rurales aún enfrentan problemas básicos que restringen sus oportunidades y posibilidades a futuro. Al igual que en otros países en desarrollo, en México, la falta de agua de calidad se ha registrado como una de las principales causas de mortalidad general e infantil en este país (Reyna, 2011). El abasto de agua potable y el saneamiento en las comunidades rurales mexicanas están entre los temas pendientes. En el año 2000, México se suscribió a los Objetivos de Desarrollo del Milenio que incluyen en el Objetivo 7c la reducción a la mitad de la población rural que carece de servicios de agua y saneamiento.

La falta de cobertura en el servicio de agua, así como el deterioro de los sistemas de abasto de agua rural, hace que la falta de agua potable y saneamiento básico persista como un grave problema que afecta la salud y bienestar en las comunidades rurales que habitan las áreas del trópico seco en el país. En Nayarit, Mora-Bueno y colaboradores (2012) detectaron bacterias coliformes en pozos de agua que indican la presencia de microorganismos potencialmente patógenos. Ello alerta sobre deficiencias sanitarias que afectan incluso a aguas subterráneas profundas. Por ello, los autores sugirieron la necesidad de tratamientos eficientes que culminen en la desinfección total del agua, así como sistemas de monitoreo efectivo ya que el agua subterránea constituye la principal fuente de agua potable para la población de cuencas rurales en dicho estado. Cassassuce y colaboradores (2008) reportaron en Baja California Sur que las principales fuentes de contaminación del agua en cuencas rurales son letrinas y corrales cerca de los pozos/ríos, así como el pastoreo del ganado cerca de las fuentes de agua, la basura tirada en los arroyos y la erosión de los suelos con baja cobertura vegetal que azolvan los pozos durante lluvias intensas. Reyna (2007) detectó que en Tabasco la gestión sustentable de los servicios de agua potable y saneamiento en comunidades rurales marginadas es deficiente, con una marcada sobreexplotación y contaminación de los recursos hídricos. La problemática del agua rural en México es un reto a diferentes niveles institucionales, quienes deben diseñar e implementar nuevos modelos de gestión integrada de recursos hídricos en cuencas que aseguren la calidad y el abasto a sus comunidades para generaciones actuales y futuras (Barkin, 2007).

Una gran parte del territorio de Michoacán tiene un carácter rural, con un clima seco estacional (García, 2004), en el que persisten aún problemas concretos para alcanzar la seguridad hídrica de su población. En atención a los Objetivos de Desarrollo del Milenio, en 2015 se reportó que en este Estado, la proporción de la población rural con acceso sostenible a fuentes mejoradas de agua es de 83.5% (SIODM, 2015). Sin embargo, la condición de la infraestructura así como la capacidad de gestión de los recursos hídricos de la población rural es deficitaria, lo que hace que el problema sea un foco rojo con su potencial agudización en el futuro cercano.

En las cuencas tropicales con régimen estacional como las de las Regiones de Infiernillo, Tierra Caliente y Sierra-Costa, las poblaciones se encuentran dispersas y en muchos casos aisladas, y sus servicios de agua y saneamiento son deficitarios, lo que, ante condiciones de déficit hídrico, agudiza la precariedad de su condición. Para atender esta problemática en la Región de Tierra Caliente, se dio inicio en el año 2009 un proyecto de Monitoreo Comunitario de Calidad del Agua en el Bajo Balsas como parte de una estrategia de desarrollo regional en cuencas rurales estacionales (Burgos *et al.*, 2013). Dicho proyecto dio seguimiento a la calidad del agua de diferentes tipos de fuentes (Manantiales, Superficial estacional y Subterránea) el cual fue llevado a cabo por diferentes Instituciones (CIGA-UNAM, UMSNH, Grupo Balsas A.C.) así como por personas de diferentes ejidos de las comunidades rurales. Como parte de este proyecto, se integraron grupos monitores campesinos voluntarios para entender el problema y actuar desde lo local sobre la construcción de soluciones (Burgos *et al.*, 2013; Páez *et al.*, 2010). El proyecto de monitoreo de la calidad del agua en el Bajo Balsas se encuentra en proceso, si bien se han reportado algunos resultados preliminares (Alvarado *et al.*, 2014; Hacha, 2014; Rivas, 2011; Rodríguez, 2012). Uno de los problemas detectados ha sido la recurrente y frecuente presencia de bacterias coliformes totales y fecales en fuentes comunitarias de agua debido a la falta o bajo saneamiento en las zonas (Páez *et al.*, 2014; Rodríguez 2014), lo que requiere mayor profundización para comprender los alcances y causas del problema.





## CAPITULO 3. MARCO METODOLÓGICO

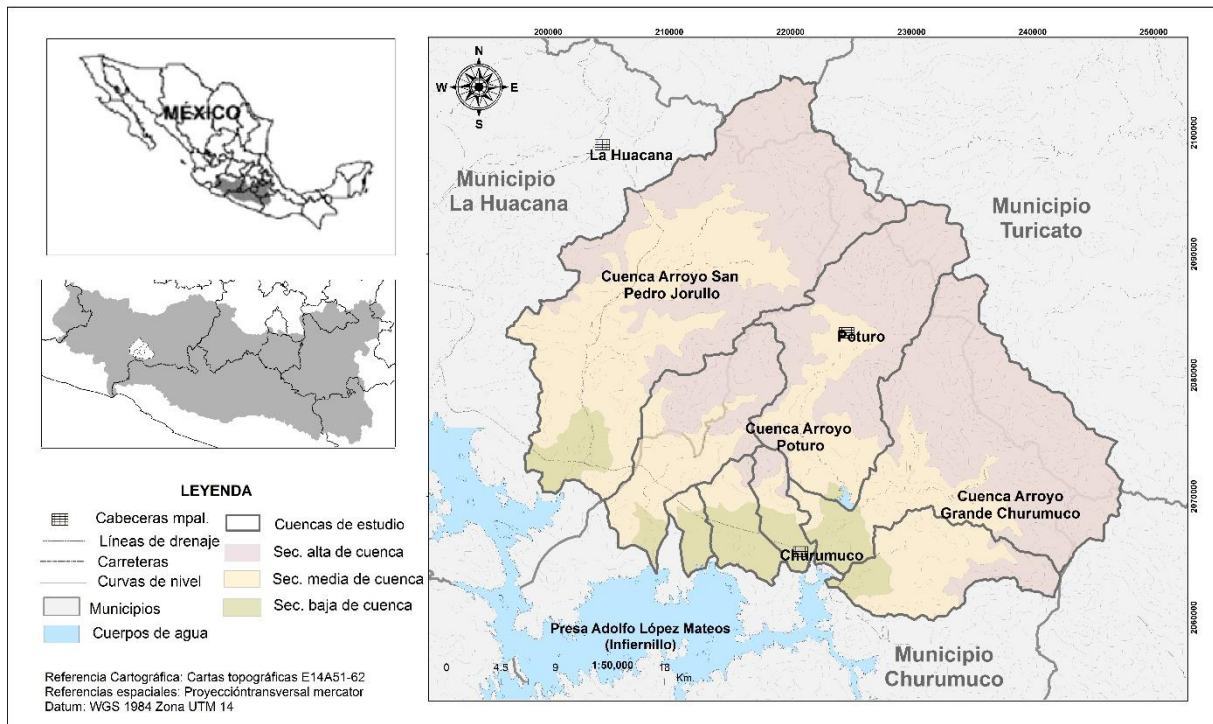
### 3.1. Área de estudio

#### 3.1.1 Ubicación y características biofísicas del sistema hidrográfico

La investigación se realizó en el sistema hidrográfico situado en la Ribera Norte del Vaso del Embalse Adolfo López Mateos ó Presa Infiernillo (RN-PI) en el Estado de Michoacán. El sistema hidrográfico RN-PI tiene una extensión de 1,316 Km<sup>2</sup>, y pertenece a la sub-cuenca Bajo Balsas de la IV Región Hidrológica-Administrativa Balsas que incluye la cuenca del Rio Balsas y pequeñas cuencas de vertiente pacífica de la sierra-costa michoacana (CONAGUA, 2012)(Mapa 1). El Bajo Balsas es parte también de la región de Tierra Caliente, nombre propicio por las fuertes condiciones de sequía y temperatura dominantes; y específicamente abarca los territorios municipales de Churumuco y La Huacana.

El clima dominante en la subcuenca del Bajo Balsas es Seco estepario, semiseco, muy cálido con lluvias en verano, invierno tibio y precipitación invernal marcha tipo Ganges [BS1(h')w(w)(i)gw"], de acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por García (2004). La temperatura media anual es de 28°C, con mínimas de hasta 14°C en la temporada invernal, mientras que en mayo puede superar los 30°C. La precipitación media anual es muy baja 639 mm, con un rango delimitado de 365 a 1105 mm concentradas entre junio y octubre; el resto del año (noviembre-mayo) corresponde a una estación seca de siete meses de duración por lo que la zona de estudio enfrenta graves problemas de disponibilidad de agua (Méndez-Toribio *et al.*, 2014; Solorio, 2010).

El sistema hidrográfico RN-PI está integrado por cuencas de mediana y pequeña extensión, de entre 3,000 y 47,000 Ha. Las topofomas dominantes son los lomeríos bajos y lomeríos altos, aunque también se pueden encontrar valles fluviales, planicies acumulativas, piedemonte y sierra (Bocco *et al.*, 1999). Los suelos son someros y poco evolucionados, con baja capacidad de retención de agua, lo que genera escurrimientos rápidos después de lluvias.



Mapa 1. Ubicación del sistema hidrográfico de la Ribera Norte del Vaso de la Presa Adolfo López Mateos (Presa Infiernillo)

La hidrología del área presenta corrientes de agua transitorias con escurrimientos solamente entre los meses de julio-diciembre así como corrientes efímeras en las líneas de drenaje de mono orden; el patrón de drenaje es de tipo dendrítico y presentan corrientes de hasta 5° orden (Burgos *et al.*, 2008; Salvatore *et al.*, 2013).

### 3.1.2. Rasgos sociales del Bajo Balsas

Las subcuencas de estudio están habitadas por población rural, con fuerte dedicación a actividades primarias, principalmente a la ganadería, pesca y agricultura. Las actividades agrícolas en esta región se realizan únicamente en época de lluvias debido a las condiciones hidrológicas estacionales (CONANP, 2007; Kieffer y Burgos, 2015).

Los asentamientos humanos se ubican de manera dispersa en el paisaje, con tamaños poblacionales desde 15 hasta 4725 habitantes (Cuadro 1); los asentamientos están fuertemente aislados debido a la mala conectividad dada por carencia de medios de comunicación telefónica e internet, además de contar con vías terrestres en malas condiciones. Las poblaciones rurales están organizadas en ejidos, que es la principal forma de tenencia de la tierra. Los ejidos muestran una organización comunitaria activa,

que conlleva a la existencia de territorios bien definidos, administrados por un grupo de agricultores y sus familias (INEGI, 2009; Kieffer y Burgos, 2015).

Cuadro 1. Datos demográficos de las localidades rurales de las cuencas del Bajo Balsas abarcadas en este estudio.			
CUENCA	LOCALIDAD	POBLACIÓN TOTAL	# DE VIVIENDAS
C. Arroyo San Pedro Jorullo	Los Copales	242	61
	El Naranjo de Jorullo	216	56
	San José Cayaco	230	54
	David C. Manjarrez	57	12
	La Coruca	91	20
	Capire de Oropeo	175	43
	San Pedro	80	38
	El Naranjito	116	24
	Las Higueras	70	40
	La Peña	44	9
	Oropeo	224	66
	Las Cruces (crucitas)	93	19
	Guadalupe de Oropeo	113	27
	Hacienda Vieja	195	94
	Rancho nuevo (Sinahua)	220	42
C. Arroyo Poturo	El Olvido	75	40
	Poturo	1203	275
	Santa Rosa	115	27
	Juntas de Poturo	200	48
C. Arroyo Grande Churumuco	Ramírez del Varal	169	78
	Los Lavaderos	84	48
	El Salitre	257	55
	Paso de Palmillas	221	115
	EL Platanar	219	105
	Churumuco de Morelos	4725	1023
	Canipio	15	5
El Granjenal	-	-	

Todas las localidades están formadas por viviendas unifamiliares, cuyas características constructivas pueden variar en función del poder adquisitivo de la familia. De forma general, casi todas se construyen con materiales comerciales y cuentan con una superficie de traspatio, donde se crían algunos animales domésticos (cerdos y gallinas).

El abasto de agua a las comunidades es logrado a partir de fuentes provenientes de manantiales y acuíferos aluviales. Reciben el agua en sus viviendas por medio de conexiones domiciliarias precarias, conectadas a una red pública. En temporada seca las personas de las comunidades acostumbran a realizar pozos en los arroyos para abasto doméstico, mientras que a los animales los llevan a tomar agua directamente de los manantiales.

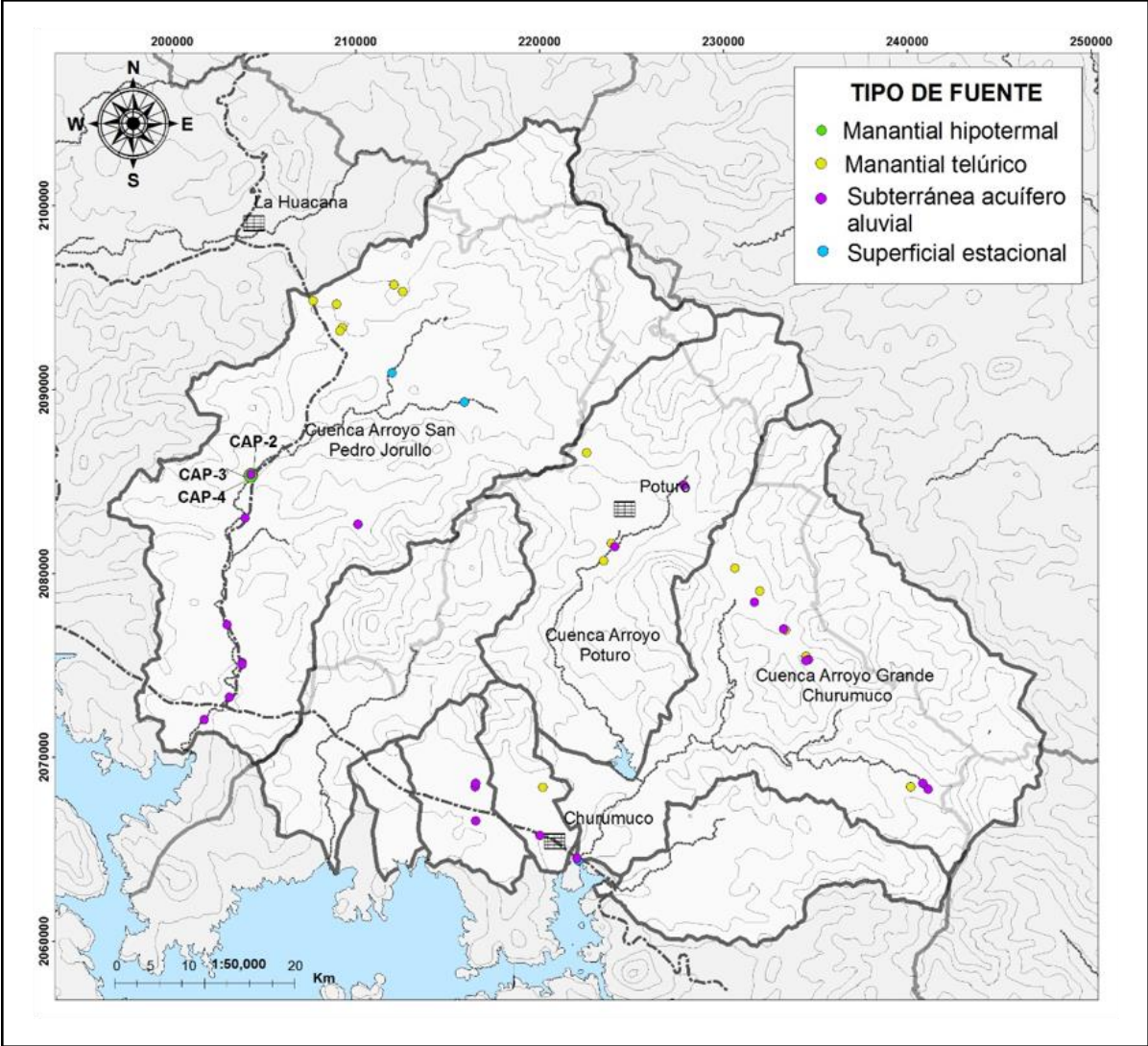
La población del Bajo Balsas está dominada por niños y ancianos; así como un elevado porcentaje de mujeres siendo mayor que el de hombres debido a que en estas localidades existe un alto índice de emigración; ya que gran parte de los hombres, jóvenes y adultos, emigran principalmente a los Estados Unidos en busca de mejores oportunidades (Burgos *et al.*, 2013; INEGI, 2009; Kieffer y Burgos, 2015). Al igual que en otras áreas rurales de países en desarrollo, las mujeres ocupan un papel central en la provisión y administración de agua para el hogar y la familia, y el cuidado de la salud. En el área, las familias son de bajos recursos y no pueden pagar servicios privados de salud, además de que no en todas las comunidades cuentan con casas de salud para atenderse de las enfermedades que puedan presentar.

## **3.2 Metodología**

### ***3.2.1 Diseño de muestreo para determinar la calidad del agua en fuentes comunitarias***

Las variaciones espacio-temporales de la calidad del agua en fuentes comunitarias fueron registradas mediante un Programa de Monitoreo Comunitario de la Calidad del Agua en el Bajo Balsas (MCCA-BB) implementado en el año 2010 y sostenido hasta el año 2015, realizado como parte de una estrategia de desarrollo regional en el área de estudio. El Programa MCCA-BB es realizado por el CIGA-UNAM; la Organización Civil Grupo Balsas y monitores voluntarios campesinos de 16 ejidos del sistema hidrográfico de estudio. Para la realización de esta tesis, se tomó en cuenta cinco años de muestreo y únicamente se colaboró en dos años para la generación de datos (2014 y 2015), período durante el cual se realizó el análisis bacteriológico que se explica abajo, así como con el análisis de toda la serie de datos disponibles para la región.

El Programa MCCA-BB dio seguimiento a la calidad del agua de 42 fuentes comunitarias distribuidas en 27 localidades, 19 ubicadas en localidades del municipio La Huacana, y las restantes 23 en Churumuco (Cuadro 2). Las fuentes fueron elegidas de acuerdo al uso local y al interés de los monitores campesinos, quienes priorizaron aquellas fuentes que proveen agua para uso doméstico en los poblados. Cada fuente fue geoposicionada y caracterizada de acuerdo a su procedencia en acuíferos aluviales, manantiales y aguas superficiales (escurrimientos) (Rep. esp. 1; Fig. 1).



Rep. esp. 1. Procedencia del agua de las fuentes comunitarias del Bajo Balsas

**Cuadro 2. Sitios de muestreo en las Cuenclas Arroyo San Pedro Jorullo, Arroyo Poturo y Arroyo Grande Churumuco**

Acuífero aluvial: acuíferos detríticos estrechamente relacionados con un curso de agua, con el que forman generalmente un único sistema hidráulico (López *et al.*, 1996)

Manantial telúrico: aguas de infiltración, caudal variable según regímenes de lluvia y estaciones del año (Balderrama, 2010)

Manantial hipotermal: aguas con temperatura entre 20 y 35°C y son las más frías de las termales (Armijo Valenzuela y San Martín, 1994)

Superficial estacional: corrientes de agua superficial que aparecen cuando las lluvias son muy intensas y las aguas de arroyada se van agrupando (González *et al.*, 2010)

Cuenca	Localidad	Sitio de muestreo	Clave	Altitud (msnm)	Latitud(UTM, Zona 14)	Longitud(UTM, Zona 14)	Procedencia del agua
Arroyo San Pedro Jorullo	Los Copales	Los Copales	COP-1	867	2095331	212538	Manantial telúrico
	Naranjo de Jorullo	El Naranjo	NAR-1	800	2095702	212059	Manantial telúrico
	San José Cayaco	Copales Arriba	COP-2	575	2093365	209261	Manantial telúrico
	San José Cayaco	Copales Abajo	COP-3	561	2093196	209118	Manantial telúrico
	David C. Manjarrez	David C.M. – DC	DCM-1	637	2094645	208935	Manantial telúrico
	La Coruca	La Coruca	DCM-2	626	2094824	207657	Manantial telúrico
	Capire de Oropeo	La Redonda	CAP-3	335	2085361	204281	Manantial hipotermal
	Capire de Oropeo	La Targea	CAP-4	329	2085341	204247	Manantial hipotermal
	San Pedro	San Pedro	CAY-1	489	2090924	211960	Superficial estacional
	El Naranjito	Pueblo Viejo	CAY-2	520	2089338	215895	Superficial estacional
	Las Higueras	Las Higueras	CAY-3	416	2082692	210093	Subterránea acuífero aluvial
	La Peña	La Peña	CAY-4	400	209746	2083139	Subterránea acuífero aluvial
	Capire de Oropeo	Capire de Oropeo	CAP-2	340	2085381	204286	Subterránea acuífero aluvial
	Oropeo	Oropeo	ORO-1	292	2083037	203975	Subterránea acuífero aluvial
	Las Cruces	Las Cruces	GPE-1	232	2077222	202982	Subterránea acuífero aluvial
	Guadalupe de Oropeo	Gpe - Noria del Chago	GPE-2	213	2075165	203813	Subterránea acuífero aluvial
	Guadalupe de Oropeo	Gpe - El gobierno	GPE-3	217	2075073	203811	Subterránea acuífero aluvial
	Arroyo Poturo	Hacienda vieja	Hacienda Vieja	GPE-6	192	2073285	203106
Rancho Nuevo		Sinahua	S-1	213	2072068	201750	Subterránea acuífero aluvial
El Olvido		El Olvido	POT-4	700	2084795	227835	Subterránea acuífero aluvial
Poturo		Poturo	POT-8	569	2086564	222549	Manantial telúrico
Santa Rosa		Santa Rosa - DC	SROSA-1	440	2080706	223461	Manantial telúrico
Juntas de Poturo		Juntas de Poturo	JUNT-4	480	2081652	223900	Manantial telúrico
Juntas de Poturo		Cárcamo de las Juntas	JUNT-3	465	2081476	224067	Subterránea acuífero aluvial
Ramírez del Varal		La Patacuera	BAR-1	797	2075524	234472	Manantial telúrico
Ramírez del Varal		T. de las Canoas	BAR-2	778	2075338	234613	Subterránea acuífero aluvial



Arroyo Grande-Churumuco	Los Lavaderos	Los Lavaderos – DC	SAL-7	813	2076939	233359	Manantial telúrico
	El Salitre	El Salitre	SAL-9	729	2079052	231964	Manantial telúrico
	Paso de Palmillas	Paso de Palmillas	SAL-11	730	2080295	230597	Manantial telúrico
	El Platanar	El Platanar	PLA-1	738	2068420	240169	Manantial telúrico
	El Platanar	El Platanar Cuadrilla A	PLA-2	687	2068290	241123	Subterránea acuífero aluvial
	Churumuco	Ojo de agua	LLANO-1	245	2068395	220146	Manantial telúrico
	Churumuco	El Ranchito	LLANO-3	168	2064398	222077	Superficial estacional
	El Salitre	Las Crucitas	SAL-10	705	2078445	231656	Subterránea acuífero aluvial
	Los Lavaderos	Los Lavaderos – NF	SAL-8	759	2076989	233247	Subterránea acuífero aluvial
	Ramírez del Varal	El Baral	BAR-3	754	2075267	234466	Subterránea acuífero aluvial
	El Platanar	Parcela El Plan	PLA-3	678	2068615	240822	Subterránea acuífero aluvial
	Canipio	El Salto – A	CUM-1	245	2068429	216483	Subterránea acuífero aluvial
	Canipio	El Salto – B	CUM-2	250	2068610	216504	Subterránea acuífero aluvial
	El Granjenal	El Granjenal	CUM-3	243	2066578	216496	Subterránea acuífero aluvial
	Churumuco	Ojo de Agua – NF	LLANO-2	208	2065790	219997	Subterránea acuífero aluvial
Churumuco	Cárcamo de Churumuco	LLANO-4	168	2064539	222014	Subterránea acuífero aluvial	



Fig. 1 a) Fuente superficial estacional sitio Cayaco



b) Manantial sitio El Salitre



c) Fuente subt. sitio Oropeo

### **3.2.2 Muestreo de calidad de agua**

El muestreo de la calidad del agua en las fuentes seleccionadas se realizó en dos momentos del año, correspondientes al fin de la estación de lluvias en el mes de octubre, y al fin de la estación seca, en el mes de mayo, entre los años 2010 y 2014. La determinación de siete parámetros físico-químicos se realizó directamente al momento del muestreo, y además se colectaron muestras de agua para conducir análisis de laboratorio. La colecta de muestras para análisis de parámetros físico-químicos se llevó a cabo conforme a la Norma Mexicana 230-SSA1-2002, con la obtención de 1750 ml de muestra en tres frascos de plástico limpios en laboratorio con enjuague de ácido clorhídrico al 10%, con volúmenes de 1000, 500 y 250 ml. las muestras de agua para los análisis bacteriológicos fueron colectadas directamente de la fuente de agua con bolsas de plástico bacteriológicas estériles con 100 ml de volumen, por duplicado y cuidadosamente etiquetadas. Las muestras fueron preservadas en hielo hasta su llegada a laboratorio en la Ciudad de Morelia (Michoacán) y colocadas en refrigeración hasta su análisis de variables fisicoquímicas y bacteriológicas.

### **3.2.3 Análisis de parámetros físico-químicos**

El estudio analizó 12 parámetros físico-químicos de calidad de agua para 42 fuentes de agua en 16 localidades rurales (Cuadro 2) en los municipios de La Huacana y Churumuco (Michoacán), de muestras obtenidas entre los años 2010 y 2014, abarcando nueve fechas de muestreo (5 en época seca y 4 en época de lluvias, con los datos por variable y sitio mostrados en los Anexos 1, 2. La calidad físico-química del agua fue determinada mediante el análisis de 8 parámetros realizados en el Laboratorio de Análisis de Suelo y Agua (LASA) del CIGA-UNAM con equipo y técnicas de laboratorio establecidas en las normas mexicanas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Variables fisicoquímicas analizadas para determinar la calidad del agua en las fuentes comunitarias y procedimientos utilizados en campo y en laboratorio.

<b>Parámetro</b>	<b>Método</b>	<b>Equipo</b>	<b>Técnica oficial</b>
pH	Electroquímico	Potenciómetro marca HANNA	NMX-AA-008-SCFI-2011



Turbidez	Electroquímico	Turbidímetro marca HACH 2100N	NMX-AA-038-SCFI-2001
Conductividad eléctrica	Electroquímico	Conductímetro marca OAKTON	NMX-AA-093-SCFI-2000
Dureza	Volumétrico	Soporte universal y bureta	NMX-AA-072-SCFI-2001
Alcalinidad	Volumétrico	Titulador automático marca METROHM modelo 848 Titrino Plus	NMX-AA-036-SCFI-2001
Cloruros, Sulfatos y Nitratos	Cromatográfico	Cromatógrafo de iones modelo 883 Basic IC plus Metrohm	Protocolo de calidad de Eaton <i>et al.</i> (2005).

Algunos parámetros fueron también determinados en campo con participación de los monitores campesinos. Esto se realizó con la ayuda del kit portátil desarrollado por el laboratorio La Motte (Fig. 2), con los procedimientos específicos indicados en el Cuadro 4. Las determinaciones de campo fueron realizadas por los técnicos comunitarios de los diferentes ejidos, así como por personas de las comunidades que participaron durante cada muestreo con supervisión de personal capacitado. Hacha (2014) realizó una comparación entre los datos obtenidos por los monitores voluntarios en campo con el kit La Motte y aquellos obtenidos mediante técnicas de laboratorio, y reconoció confiabilidad en los resultados obtenidos por los monitores campesino con el equipo La Motte, obteniéndose datos confiables tanto por el muestreo como por el desempeño del equipo bajo las condiciones de las aguas naturales en el área de estudio.

Cuadro 4. Procedimientos para la determinación de los parámetros en campo con el equipo La Motte. Fuente: Paez *et al.*, (2013)

Variable	Procedimiento
Temperatura del aire	Colocar del termómetro a la sombra, hasta que la lectura se estabilice.
Temperatura del agua	Mantener el termómetro en agua hasta que la lectura se estabilice (2-3 min)
pH	Llenado del tubo hasta la marca, con agua de la muestra, agregar 10 gotas del reactivo de pH sosteniendo verticalmente el frasco, tapar el tubo y mezclar el contenido invirtiendo el tubo varias veces, colocar el tubo dentro del comparador de color y contrastar el color obtenido en la muestra con los colores estándar del soporte de plástico.

Dureza	Llenado del tubo hasta la marca de 10 ml, con agua de la muestra, agregar cinco gotas del reactivo #5 para dureza y agitar para mezclar, agregar una tableta del reactivo #6, tapan el tubo y agitar hasta que la tableta se disuelva, sostener verticalmente la botella del reactivo #7 para dureza y agregar una gota a la muestra, agitar el tubo después de cada gota para mezclar el contenido, continuar agregando gotas, contar el número que utilice hasta que la muestra cambie de color, multiplicar por 10 el número de gotas usadas para calcular el valor de la dureza total en mg/L.
Alcalinidad	Llenado del tubo con agua de la muestra, hasta la línea de 10 ml., agregar una tableta para alcalinidad BCGMR, tapan el tubo y agitar hasta que la tableta se disuelva, agregar una gota a la vez del reactivo B para alcalinidad colocando el tubo verticalmente, agitar el tubo después de cada gota para mezclar, contar el número de gotas utilizadas hasta que el color cambie.
Coliformes totales y fecales	En el frasco con Easy Gel® colocar 1ml de agua de la muestra con ayuda de una pipeta, tapan el frasco y agitar suavemente para mezclar, agregar la todo el contenido de la botella en una caja Petri, tapan la caja y asegurar con cinta adhesiva, distribuir el contenido de manera uniforme moviendo la caja suavemente y de manera circular, colocar la caja en una superficie plana y a la sombra hasta endurecerse el medio de cultivo, invertir la placa para incubar entre 29 a 37°C. durante 30 a 48 hrs., pasado este tiempo se realiza el conteo de colonias color azul ( <i>E. coli</i> ) y rosas (coliformes).

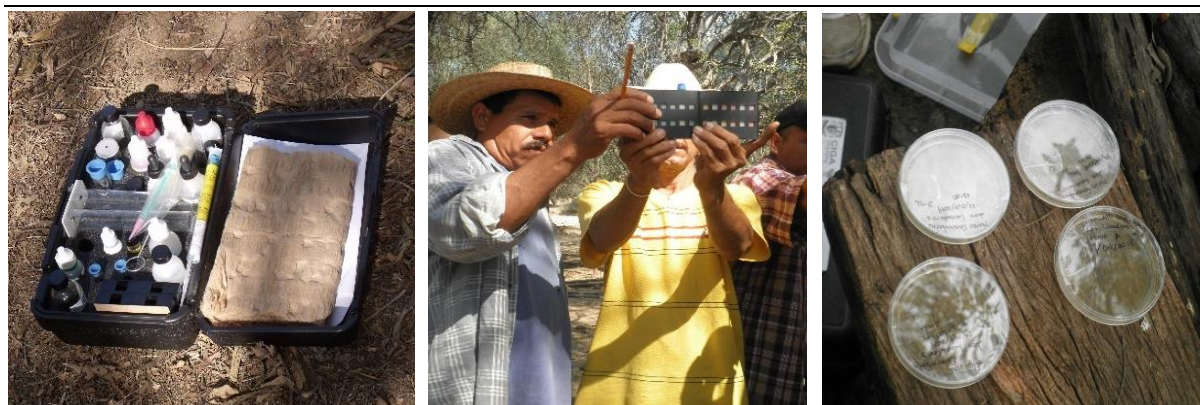


Fig. 2. a) Kit portátil La Motte

b) Monitores comunitarios realizando la determinación de pH con el kit La Motte

c) Prueba de campo para determinar presencia de coliformes totales y *E. coli*, con Easy Gel®.

### 3.2.4 Análisis de la calidad micro-biológica del agua

#### 3.2.4.1 Índice de la Calidad del Agua

Para la determinación de la aptitud del agua, los datos de las variables analizadas se compararon con la norma mexicana NOM-127-SSA, la cual es la principal guía en México sobre los límites permisibles que aplican en este país. Adicionalmente, para lograr un indicador más simplificado e integrador, se construyó un Índice de la Calidad del Agua

(ICA) (Alvarado *et al.*, 2014; Sedeño-Díaz & López-López, 2007; Pesce & Wunderli, 2000; León, 1991).

El ICA fue generado 11 parámetros cada uno con diferentes unidades de medición. Para la integración del ICA, los parámetros fueron normalizados mediante funciones y valores de ponderación de acuerdo a la representatividad e importancia en la calidad del agua. Para su cálculo se utilizó la forma multiplicativa propuesta por Dinius (1971,1987).

$$ICA = \prod_{i=1}^n I_i^{W_i}$$

Donde:

I<sub>i</sub>: subíndice de calidad para el parámetro i

W<sub>i</sub>: peso asignado de ponderación del parámetro

Cuadro 5. Funciones y pesos ponderados para los parámetros utilizados en la integración del ICA para el Bajo Balsas.				
Parámetro	Unidades	Subíndice I <sub>i</sub>		Peso W <sub>i</sub>
Diferencia de temperatura	Grados centígrados (°C)	$I_{\Delta T} = 10^{2.004 - 0.0382  T_a - T_w }$		0.083
pH	Sin unidades	$pH < 6.7$ $I_{pH} = 100$	$0.2335 * pH + 0.440$ $pH > 7.3$ $I_{pH} = 10^{3.65 - 0.2216 * pH}$	0.083
Turbidez	Unidades nefelométricas de turbidez (UNT)	$Tbz \leq 2$ $Tbz > 2$	$I_{Tbz} = 100$ $I_{Tbz} = 108 * Tbz^{-0.178}$	0.085
Conductividad eléctrica	MicroSiemens por centímetro (µS/cm)	$CE \leq 135$	$I_{CE} = 100$ $I_{CE} = 506 * CE^{-0.3315}$	0.085
Nitrógeno de Nitrato	Miligramos por litro (mg/L)	$N-NO_3 \leq 0.25$ $0.25$	$I_{N-NO_3} = 100$ $I_{N-NO_3} = 62.2 * N-NO_3^{-0.343}$	0.097
Cloruro	Miligramos por litro (mg/L)	$Cl \leq 21$	$I_{Cl} = 100$ $I_{Cl} = 391 * Cl^{-0.4488}$	0.081
Sulfato	Miligramos por litro (mg/L)	$SO_4 \leq 25$	$I_{SO_4} = 100$ $I_{SO_4} = 112 * 10^{-0.002 * SO_4}$	0.081
Dureza	Miligramos por litro (mg/L)	$Dza \leq 45$	$I_{Dza} = 100$ $I_{Dza} = 552 * Dza^{-0.448}$	0.089
Alcalinidad	Miligramos por litro (mg/L)	$Alc \leq 25$	$I_{Alc} = 100$ $I_{Alc} = 154 * Alc^{-0.1342}$	0.091
Coliformes totales	Unidades formadoras de colonias por 100 mL (UFC/100mL)	$I_{ColTot} = 100 * ColTot^{-0.1311}$		0.103
<i>Escherichia coli</i>	Unidades formadoras de colonias por 100 mL (UFC/100mL)	$I_{E.coli} = 100 * E.coli^{-0.1286}$		0.122
<b>Total</b>				<b>1</b>

El Índice de Calidad del agua (ICA) expresa mediante un porcentaje, la calidad del agua en relación con aquella que es completamente apta para consumo humano de acuerdo a la normatividad en México; así, agua altamente contaminada tendrá un ICA cercano a cero, en tanto que agua en excelentes condiciones nos dará un ICA cercano a 100%.

### 3.2.4.2 Variaciones temporales en la calidad de agua

El análisis de las variaciones temporales de la calidad del agua se llevó a cabo mediante la comparación estacional; es decir, se comparó el promedio de los resultados obtenidos de cada temporada (finales secas y lluvias) durante los cinco años muestreados; además de la comparación de los parámetros entre los diferentes tipos de fuentes (Manantial, Agua superficial, Acuífero Aluvial) representado mediante gráficos de dispersión.

Asimismo se contrastaron entre estaciones del año (contraste temporal) de cada uno de los parámetros, los cuales fueron representados a través de gráficos de puntos. El cuadro 6 muestra los análisis realizados para obtener las respuestas a las preguntas realizadas en este estudio.

Cuadro 6. Contraste entre preguntas de investigación y análisis estadísticos y espaciales realizados	
Preguntas de investigación	Análisis realizados
¿Cuáles son las características de la calidad del agua proveniente de fuentes comunitarias en cuencas rurales del trópico seco tales como aquellas presentes en el Sistema Hidrográfico Presa Infiernillo – Bajo Balsas?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descripción estadística general de los datos por variable, por fecha de muestreo</li> <li>• Correlación entre parámetros</li> </ul>
Considerando el carácter estacional en la temporalidad así como la heterogeneidad espacial dentro del sistema hidrográfico, ¿cuáles son las variaciones espaciales y temporales de la calidad del agua? ¿Las cuencas muestran similitudes entre los parámetros físico-químicos y microbiológicos? ¿Qué fuentes de agua presentaron parámetros con concentraciones fuera del límite permisible? ¿Cuál es la aptitud de las fuentes de agua de acuerdo a la calidad microbiológica?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descripción general de los datos por variable entre sitios y cuencas</li> <li>• Prueba Kruskal-Wallis</li> <li>• Comparación de los resultados de las variables con la NOM-127</li> <li>• Análisis porcentual de la aptitud de las fuentes de agua conforme a CE-CCA-001/89</li> </ul>
¿Qué factores naturales y antropogénicos inciden en la calidad del agua y en su variación espacio-temporal?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Índice de calidad del agua</li> <li>• Número más probable de bacterias</li> <li>• Contraste entre sitios con concentraciones de sustancias fuera de lo</li> </ul>

	establecido en las normas oficiales y el sustrato geológico
¿En qué medida la calidad del agua obtenida de las fuentes comunitarias constituye un riesgo para la población local y el ambiente?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dominancia de especies de bacterias</li> <li>• Análisis porcentual del manejo de agua doméstica</li> </ul>

### 3.2.4.3 Variaciones espaciales en la calidad del agua

Para reconocer la variación espacial en la calidad del agua en las fuentes del sistema hidrográfico de estudio se contrastaron los datos entre cuencas y se generó un mapa base utilizando el programa ARCGIS 10.2, a partir de capas de datos vectoriales a escala 1:50,000; así como 23 productos cartográficos más (Cuadro 7). Además se llevó a cabo el método estadístico no paramétrico Kruskal-Wallis para la comparación entre grupos.

La representación espacial de las variaciones de la calidad del agua de las fuentes comunitarias de las cuencas rurales se realizó mediante una capa de puntos la cual fue creada a partir un archivo excel con coordenadas geográficas (Fig 3).

De la misma manera se agregó una capa de información del sustrato geológico para valorar su potencial influencia en la calidad del agua en las fuentes aprovechadas.

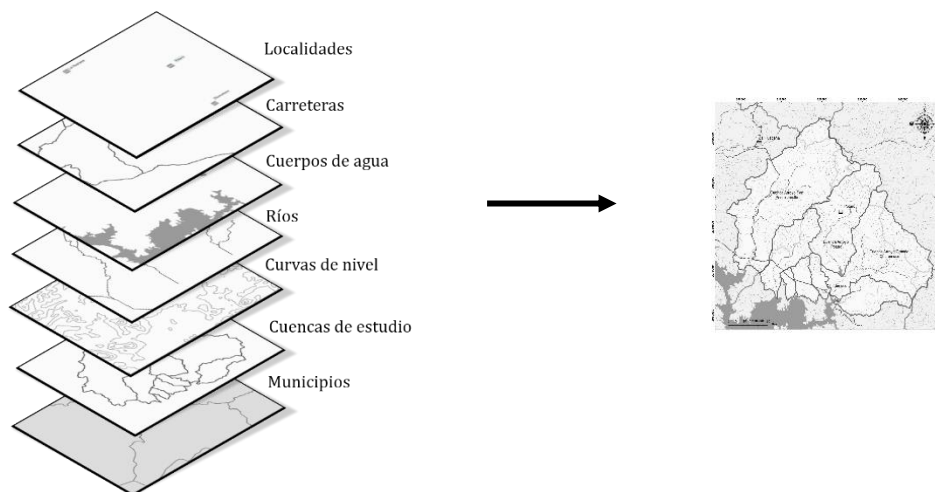


Fig. 3. Ruta crítica de integración del SIG, con la superposición de capas para mapa base.

Cuadro 7. Resultados cartográficos generados para la espacialización de la información.

Tema	Productos cartográficos
Metodología	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mapa base de las cuencas de estudio</li> <li>• Mapa de sitios de muestreo y aplicación de encuestas sobre salud comunitaria</li> </ul>
Variación espacial de los parámetros físico-químicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Representación espacial de cada uno de los parámetros físico-químicos</li> <li>• Representación espacial de los parámetros microbiológicos en campo</li> </ul>
Valoración microbiológica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Representación espacial de los parámetros microbiológicos del laboratorio de dos temporadas estacionales.</li> <li>• Representación espacial con relieve de sombras del número de bacterias</li> </ul>
Variación espacial del Índice de Calidad del Agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distribución espacial del ICA en época seca y lluvias</li> </ul>
Factores causantes del deterioro de la calidad del agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distribución espacial de los sitios con valores fuera de los límites permisibles de las variables físico-químicas y microbiológicas.</li> </ul>

### ***3.2.5 Análisis de la calidad micro-biológica del agua***

En los años 2014 y 2015 se realizaron análisis detallados de la calidad microbiológica de 23 fuentes de las 42 que se monitorean regularmente en el Programa MCCA-BB. Las 23 fuentes fueron seleccionadas de modo de abarcar diferentes orígenes de agua (manantial, acuífero aluvial, aguas superficiales), en tres cuencas a diferentes altitudes (Cuadro 8).

Los análisis microbiológicos se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Aguas del Laboratorio de Investigación en Biología Acuática de la Facultad de Biología de la UMSNH en donde se realizaron pruebas presuntivas y confirmativas para determinar el número más probable de bacterias coliformes totales y fecales, siguiendo los pasos establecidos en la NMX-AA-042-SCFI-2005. Una vez obtenidos los resultados de las pruebas para la identificación de coliformes fecales se efectuaron aislamientos en medios selectivos utilizando Agar MCconckey y Eosina Azul de Metileno (EMB) para el aislamiento selectivo de especies de la familia Enterobacteriaceae; prosiguiendo a realizar las pruebas bioquímicas para la identificación metabólica de los géneros de enterobacterias presentes en el agua de los diferentes sitios, utilizando diferentes agares selectivos (Cuadro 9; Fig. 4).

Cuadro 8. Características de las comunidades y fuentes de agua para la determinación bacteriológica en laboratorio.

clave de sitio	Ejido	Localidad	Latitud utm	Logitud utm (e 14)	# de viviendas	población (nro)	altitud (m.s.n.m.)	nombre del sitio	origen del agua	tipo de fuente	uso	infraestructura en la fuente
CAY-3	Cayaco	Las Higueras	2082692	210093	10	70	416	Las Higueras - Noria comunitaria	Subterránea acuífero aluvial	Noria	doméstico/agua potable	noria abierta
CAY-4	Cayaco	La Peña	2083139	209746	9	44	400	La Peña - noria comunitaria	Subterránea acuífero aluvial	Noria	doméstico/ganadero	noria abierta
CAP-2	Capirito	Capire de Oropeo	2085381	204286	43	175	340	Capire de Oropeo - Noria comunitaria	Subterránea acuífero aluvial	Noria	doméstico	noria cerrada
CAP-3	Capirito	Capire de Oropeo	2085361	204281	43	175	335	Manantial La Redonda	Manantial hipotermal	Manantial	doméstico	caja de captación cerrada y circulada
GPE-1	Oropeo	Las Cruces	2077222	202982	19	93	232	Las Cruces - Noria del burladero	Subterránea acuífero aluvial	Noria	doméstico	noria cerrada
GPE-3	Oropeo	Guadalupe Oropeo	2075073	203811	27	113	217	Guadalupe - Noria del gobierno	Subterránea acuífero aluvial	Noria	doméstico	noria abierta
ORO-1	Algodon de Oropeo	Oropeo	2083037	203975	66	224	292	Oropeo - Noria comunitaria	Subterránea acuífero aluvial	Noria	doméstico	noria cerrada
ORO-3	Algodon de Oropeo	Reparo de Luna	-	-	36	156	271	Reparo de Luna - Noria comunitaria	Subterránea acuífero aluvial	Noria	doméstico	noria cerrada
DCM-1	David C. Manjarrez	David C. Manjarrez	2094645	208935	12	57	637	David C. Manjarrez - Red de agua potable	Manantial telúrico	Manantial	doméstico/agua potable	caja de captación cerrada y circulada
DCM-2	David C. Manjarrez	La Coruca	2094824	207657	20	91	626	La Coruca - Red de agua potable (depósito)	Manantial telúrico	Deposito	doméstico/agua potable	caja de captación cerrada y circulada
S-1	Sinahua	Sinahua	2072068	201750	42	220	180	Sinahua - noria comunitaria	Subterránea acuífero aluvial	Noria	doméstico/agua potable	noria cerrada y circulada
POT-4	Poturo	El Olvido	2084795	227835	17	75	700	El Olvido - Red de agua potable (depósito comunitario)	Subterránea acuífero aluvial	Deposito	doméstico	caja de captación cerrada sin circular
POT-5	Poturo	Poturo	2084033	225185	275	0	548	El Caracol - Noria del Potrero La Salud	Subterránea acuífero aluvial	Noria	ganadero	noria cerrada

POT-8	Poturo	Poturo	2086564	222549	275	1203	569	Poturo - Red de agua potable (depósito comunitario)	Manantial telúrico	Deposito	doméstico/agua potable	caja de captación cerrada sin circular
SROSA-2	Santa Rosa	Santa Rosa	2080793	223342	27	5	440	Noria comunitaria de Santa Rosa	Subterránea acuífero aluvial	Noria	riego	noria abierta
BAR-1	El Varal	Ramires del Varal	2075524	234472	35	169	797	Manantial La Patacuera (entrada a depósito comunitario)	Manantial telúrico	Deposito	doméstico/agua potable	noria abierta
BAR-3	El Varal	Ramires del Varal	2075267	234466	35	169	754	Barranca del Arroyo del Varal - Noria comunitaria	Subterránea acuífero aluvial	Noria	doméstico	noria cerrada
CUM-3	Cumuato	El Granjenal	2066578	216496		112	243	El Granjenal - Noria Comunitaria	Subterránea acuífero aluvial	Noria	doméstico/agua potable	noria abierta
LLANO-1	Llano Ojo de Agua	Churumuco	2068395	220146	1023	200	245	Manantial del Ojo de agua	Manantial telúrico	Mananatial	doméstico/agua potable	caja de captacion cerrada y circulada
LLANO-4	Llano Ojo de Agua	Churumuco	2064539	222014	1023	4725	4725	Cárcamo de Churumuco	Subterránea acuífero aluvial	Deposito	doméstico	cárcamo
SAL-1	El Salitre	El Sauz	2082107	236418		135	1237	El Sauz- Noria Comunitaria (El Cheneque)	Subterránea acuífero aluvial	Noria	doméstico	noria cerrada
SAL-9	El Salitre	El Salitre	2079052	231964	55	257	729	El Salitre - Red de agua potable (depósito comunitario)	Manantial telúrico	Deposito	doméstico/agua potable	caja de captacion abierta
SAL-10	El Salitre	El Salitre	2078445	231656	55	10	705	Las Crucitas - Noria familiar	Subterránea acuífero aluvial	Noria	doméstico	noria abierta



La identificación de los géneros y especies se llevó a cabo una vez conocida la reacción de la aplicación de las diferentes pruebas bioquímicas, las cuales ayudan a determinar la vía metabólica de los organismos a partir de un sustrato; estas se combinaron y se compararon con literatura especializada para la identificación de cada colonia bacteriana. Por razones de tiempo límite para la conclusión de esta tesis, en este trabajo se analizaron solamente los datos del año 2014, si bien los muestreos del año 2015 quedaron disponibles para su incorporación posterior con base en el análisis aquí realizado.

Cuadro 9. Técnicas oficiales para la determinación de Coliformes en el agua

Prueba	Método	Equipo	Técnica oficial
Presuntiva NMP Coliformes Totales	Cultivo en medio líquido	Tubos de ensayo	NMX-AA-042-SCFI-2005
Confirmativa NMP Coliformes Fecales			
TSI	Bioquímico	Tubos de ensayo	Identificación de enterobacterias de Murcian (s/a)
LIA			
CITRATO			
UREA			
SIM			
MR			
VP			
FENILALANINA			



Fig. 4. a) Medio de cultivo lactosado para determinar el número más probable de bacterias coliformes totales y fecales.

b) Resiembra de las muestras en medio confirmativo

c) Prueba Urea para la determinación de la vía metabólica de los organismos.

El cálculo del Número Más Probable (NMP) de Coliformes Totales y Fecales; se realizó mediante la ecuación recomendada en NMX-AA-042-1987 (Fig. 5) a partir del número de

tubos que fueron positivos en las pruebas presuntivas y confirmativas para organismos coliformes y organismos coliformes termoestables y E. coli.

$$Nmp/100cm^3 = \frac{\text{No. de tubos positivos} \times 100}{\sqrt{\frac{\text{Cm}^3 \text{ de muestra}}{\text{En tubos negativos}} \times \frac{\text{cm}^3 \text{ de muestra}}{\text{en todos los tubos.}}}}$$

Figura 5. Ecuación para la determinación del número NMP de coliformes

### ***3.2.6 Identificación de riesgos a la salud humana por consumo de agua de mala calidad***

Para reconocer la situación existente en relación a la salud familiar y la calidad de agua en el ámbito de la vivienda rural del Bajo Balsas, se utilizaron dos fuentes de información:

- a) Encuestas directas a jefes de familia
- b) Datos de las casas de salud del área de estudio

#### ***a) Encuestas a jefas de familia***

Se elaboró una encuesta estructurada para recabar de manera ágil, información sobre el uso del agua en el ámbito familiar, las técnicas de potabilización utilizadas por las jefas de familia, y la incidencia de problemas de salud que pueden estar relacionados con el consumo de agua de mala calidad. La encuesta quedó integrada por 16 reactivos organizados en dos bloques de 6 y 10 preguntas respectivamente. Estas encuestas fueron diseñadas principalmente para las mujeres encargadas del hogar; es decir, para ser aplicada a las madres de familia ya que son ellas quienes cumplen con la ardua tarea de proteger la salud de los hogares y en muchas ocasiones a sanar las enfermedades que sufren a causa del consumo de agua contaminada. (Anexo 3).

Las encuestas fueron aplicadas en 16 localidades de las partes altas, medias y bajas, pertenecientes a 8 ejidos diferentes, cubriendo las tres cuencas de estudio, con una cobertura mínima del 20% de viviendas de cada localidad (Rep. esp. 2).

En cada localidad la aplicación de las encuestas fue de forma aleatoria, aunque diseñado para mujeres encargadas del hogar se tomó en cuenta también hombres. Por lo tanto las encuestas consideradas para análisis de este trabajo fueron aquellas aplicadas a hombres y mujeres mayores de 20 años, desechando aquellas encuestas que carecían de datos y/o aquellas personas que no cumplían con el límite de edad y que carecían de conocimiento del tema en sus hogares (Fig. ...). Finalmente los resultados obtenidos fueron capturados en una base de datos en Excel 2010 donde se contabilizaron y se analizaron por pregunta graficando para una mejor representación.

*b) Datos de las casas de salud del área de estudio*

Por otra parte, se solicitó información a las Casas de Salud pertenecientes al Sistema de Salud del Estado de Michoacán, ubicadas en las localidades de Oropeo en el Municipio La Huacana, y aquellas de las localidades de Churumuco de Morelos y Poturo en el municipio de Churumuco. En las Casas de Salud se platicó de manera informal con las enfermeras y médicos a cargo, quienes proveyeron información acerca de las enfermedades más comunes causadas por el consumo de agua de mala calidad, temporada estacional más frecuente en la que se presentan, los más afectados, etc. Asimismo proporcionaron bases de datos con registros de la población total atendida por Enfermedades Diarreicas Agudas (EDA's) durante cinco años (2010 - 2014); así como la relación entre la cantidad y la frecuencia de estas enfermedades en la población.



Rep. esp. 2. Ubicación de las fuentes de agua muestreadas, las casas de salud y las localidades en las que se aplicaron las encuestas para la obtención de información sobre la incidencia de enfermedades transmitidas por agua en el ámbito familiar.

## CAPITULO 4. RESULTADOS

### 4.1 Características físico químicas en fuentes comunitarias de agua en el Bajo Balsas

En términos generales, el 51% de las fuentes de agua (manantiales y acuíferos) presentaron concentraciones mayores a lo establecido en la NOM-127-SSA1-1994 y CE-CCA-001/89, en al menos uno de los parámetros en alguna temporada del año; mientras que el 49% no presentaron concentraciones fuera de los límites permisibles en ninguna ocasión. Ello indica que la calidad físico-química del agua en las fuentes de la región es aceptable, o que requiere algún tratamiento menor.

A continuación se describe los resultados del objetivo número 1, variaciones espacio-temporales de la calidad del agua.

#### ***4.1.1 Variaciones temporales en la calidad físico-química del agua***

##### *Temperatura del aire y agua*

La *temperatura* del agua en las fuentes regionales ubicó en un rango de 25 a 34°C, independientemente del tipo de fuente (subterránea y superficial), del momento del año (lluvias y secas), y la hora del día. La temperatura tanto del aire como del agua en los diferentes tipos de fuentes fue mayor en la temporada seca, ello reflejó la gran cantidad de radiación solar y las altas temperaturas del aire a las que está sometida la región, además de la alta estabilidad del parámetro en las aguas subterráneas y superficiales (manantiales). Esto conlleva un alto impacto en la calidad del agua ya que las altas temperaturas aceleran los procesos químicos y biológicos. Estas altas temperaturas ayudan a la solubilidad de las sales; es decir, a mayor temperatura mayor solubilidad de iones. Asimismo beneficia al crecimiento de microorganismos particularmente el grupo de las bacterias, ya que estas demuestran una capacidad extraordinaria para vivir y reproducirse a lo largo de un amplio rango de temperaturas, siendo su temperatura óptima de crecimiento entre los 22 y 37°C lo que nos indica que las fuentes de agua de las cuencas rurales de estudio son un medio de cultivo adecuado para el desarrollo de bacterias (Fig. 6).

### pH

En relación con el *pH*, en todos los sitios se observaron valores entre 6.5 a 8 que se mantuvieron a lo largo del periodo evaluado. Ello manifiesta la presencia de aguas en el rango aceptado por la norma tanto para uso humano como para la vida acuática, así como una fuerte estabilidad entre estaciones, fuentes y años (Fig 7).

### Conductividad Eléctrica

El patrón del pH no se repitió para la *Conductividad Eléctrica* (CE) la cual mostró un rango de valores de 174 a 2400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , mostrando mayor variabilidad en aguas subterráneas de acuíferos aluviales que en manantiales. El 98% de los sitios presentó valores por debajo de los 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a excepción de una fuente de agua (Sitio Oropeo, Fig. 8a); lo que indica que esta fuente de agua puede estar afectada por factores antrópicos que se realizan sobre la superficie de los acuíferos. Los altos valores registrados muestran una fuerte actividad de las sales disueltas en el agua debido a las altas temperaturas del agua que se presentan en la región (Fig 8.).

### Turbidez

Por su parte, la *turbidez* presentó valores que varían de 0.10 a 275 UNT, siendo más altos en temporada de lluvias debido a partículas de tierra suspendidas en el agua arrastradas por la lluvia y depositadas en los cuerpos de agua; así como por los sedimentos que presentan las fuentes de agua revueltos por la actividad de la misma. El 30% de los sitios presentaron valores fuera de lo establecido en la Norma oficial (5 UNT) al menos en una temporada del año. La presencia de partículas suspendidas en el agua absorbe calor adicional ocasionando que el agua aumente su temperatura, beneficiando los procesos químicos y biológicos. Por otro lado la presencia de partículas en el agua transporta contaminantes que afectan y disminuyen la calidad del agua (Fig 9).

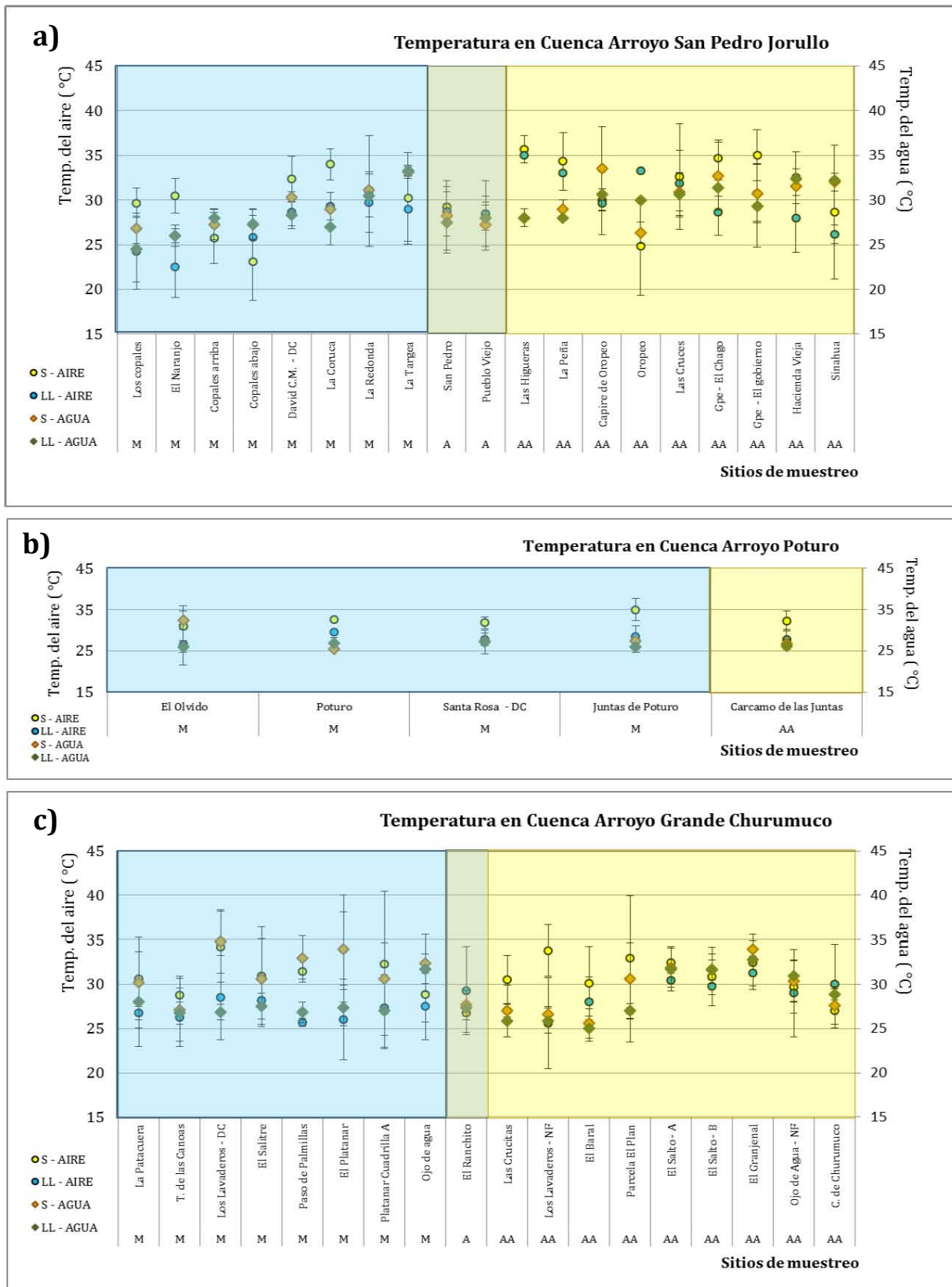


Fig. 6. Variaciones estacionales de la *Temperatura del agua y aire* en la estación seca y lluvias en las cuencas de estudio. a) Sitios de la Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo, b) Sitios en la Cuenca Arroyo Poturo, c) Sitios en la Cuenca Arroyo Grande de Churumuco. M – Manantial, A – Agua superficial, AA – Acuífero Aluvial. S: datos en época seca (mes de mayo); LL: datos en época de lluvias (octubre).  $N_{seca} = 5$ ,  $N_{lluvias} = 4$ . Las barras indican  $\pm$  desvío estándar

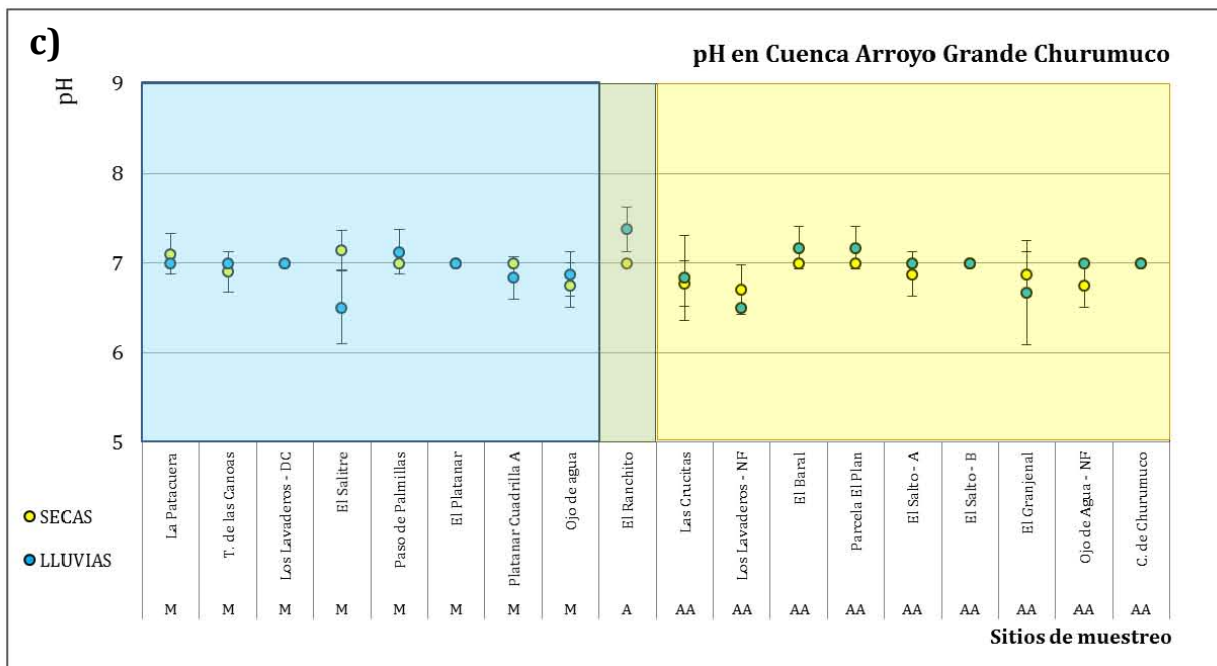
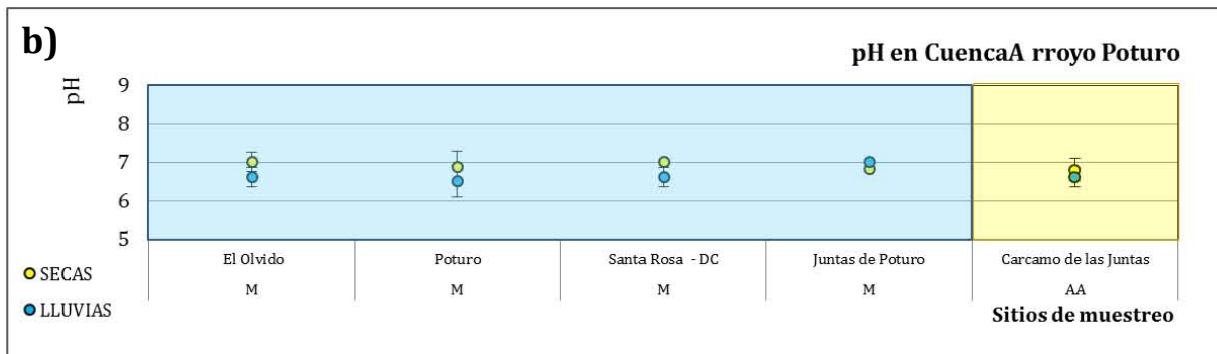
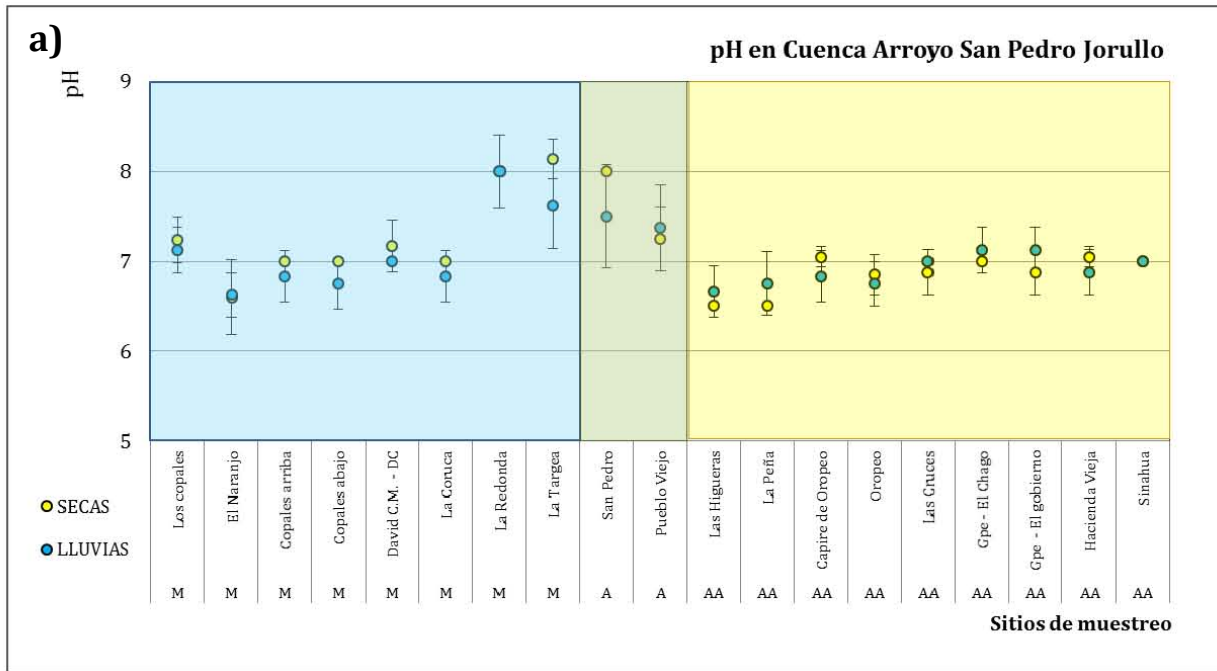


Fig. 7. Variaciones estacionales del pH del agua en la estación seca y lluvias en las cuencas de estudio. a) Sitios de la Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo, b) Sitios en la Cuenca Arroyo Poturo, c) Sitios en la Cuenca Arroyo Grande de Churumuco.



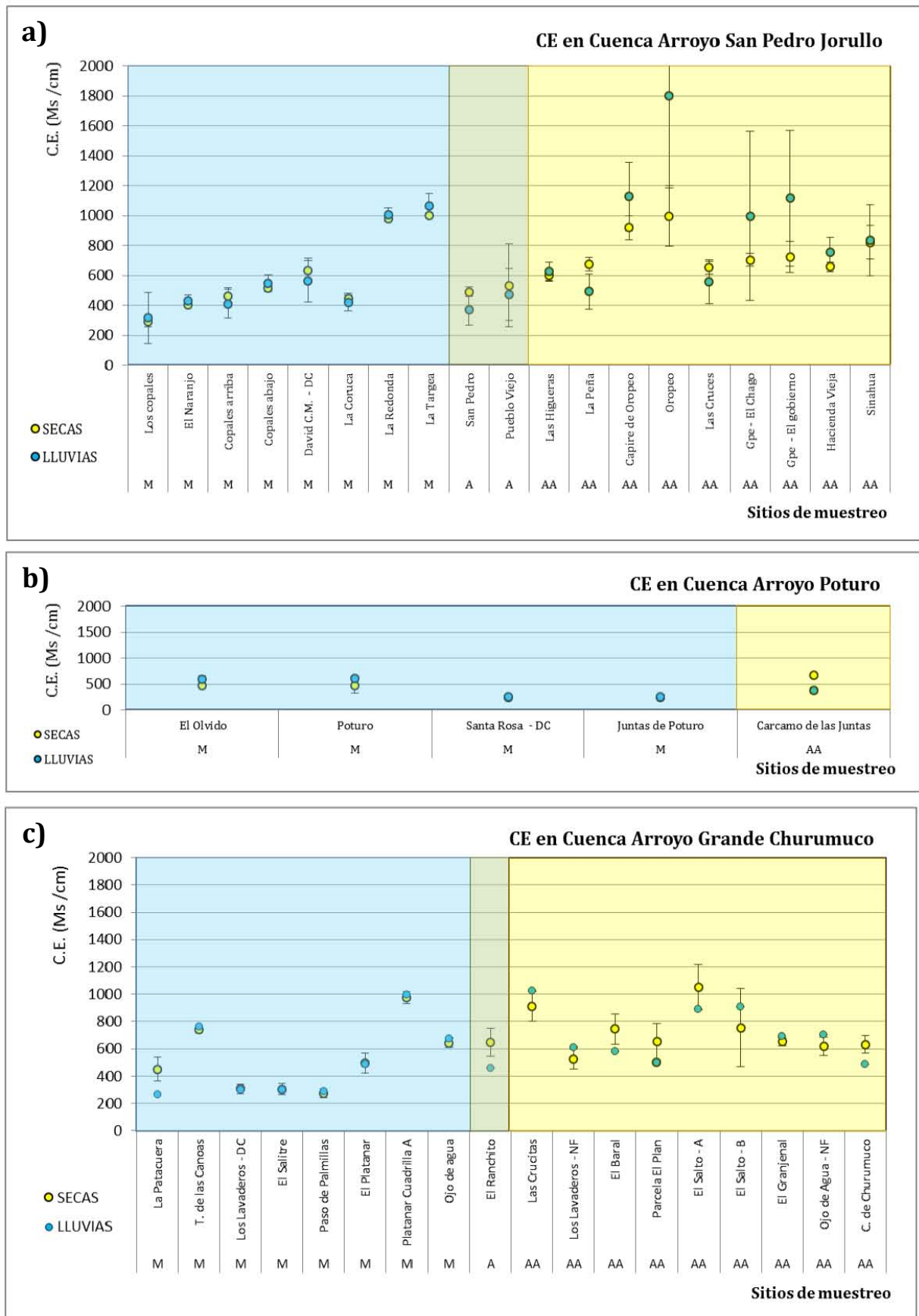


Fig. 8. Variaciones estacionales de *CE* del agua en la estación seca y lluvias en las cuencas de estudio. a) Sitios de la Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo, b) Sitios en la Cuenca Arroyo Poturo, c) Sitios en la Cuenca Arroyo Grande de Churumuco.

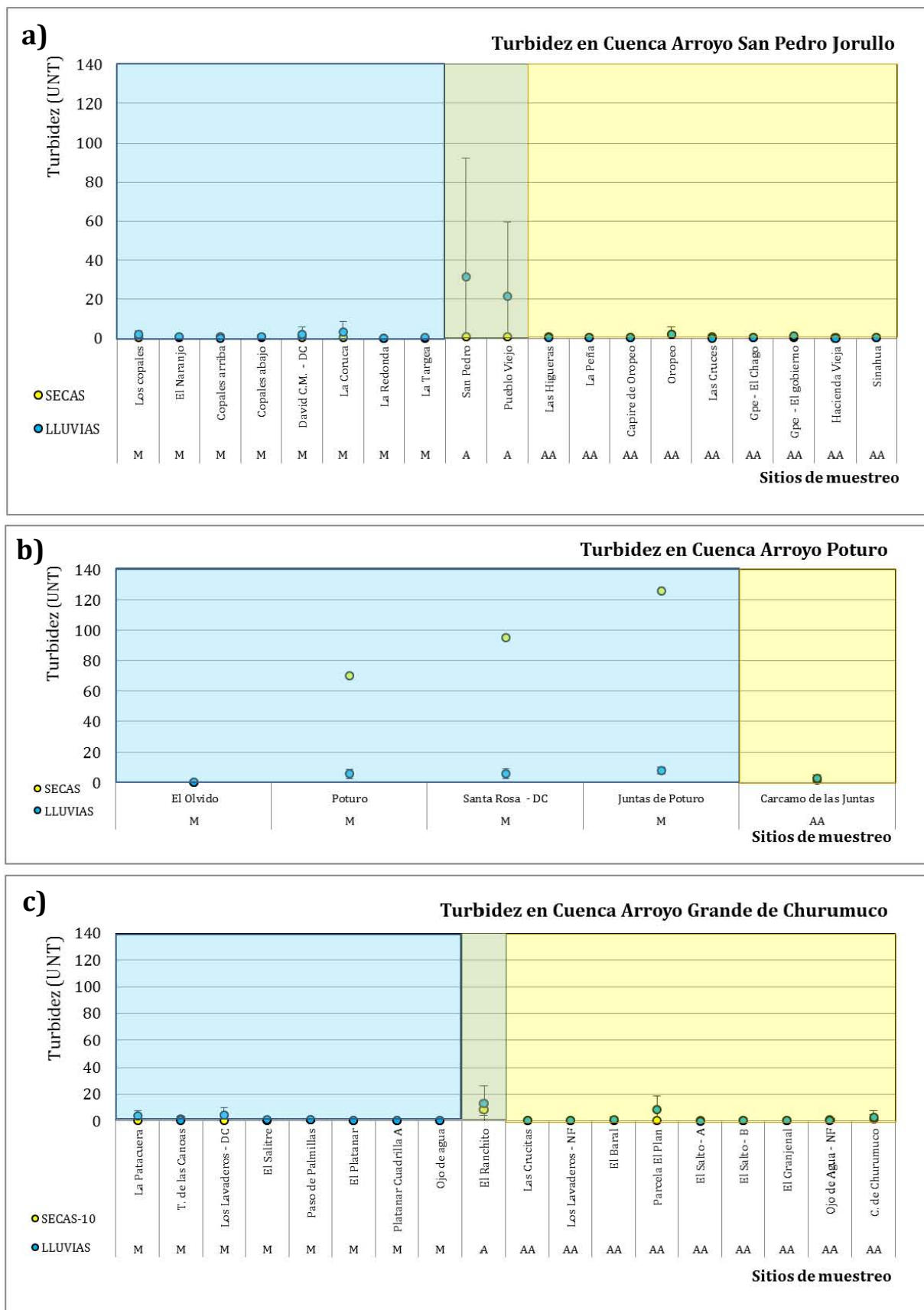


Fig. 9. Variaciones estacionales de la turbidez del agua en la estación seca y lluvias en las cuencas de estudio. a) Sitios de la Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo, b) Sitios en la Cuenca Arroyo Poturo, c) Sitios en la Cuenca Arroyo Grande de Churumuco.

### Sales

En relación con los parámetros químicos *nitratos*, *cloruros* y *sulfatos*, las concentraciones mostraron un comportamiento similar entre ellos a lo largo del periodo de muestreo. Los *nitratos* mostraron concentraciones más altas en época de lluvias, mientras que el 15% de las fuentes de agua presentaron valores por encima de lo establecido en la norma oficial (10 mg/L) (Fig. 10). El origen de las altas concentraciones de *nitratos* pudo ser principalmente de fertilizantes utilizados en la agricultura; así como de materia fecal, ya que son algunos de los principales causantes de la presencia de *nitratos* en el agua, al no ser absorbido por las plantas o volatilizados estos son arrastrados por la escorrentía siendo depositados en aguas subterráneas.

Por su parte, las concentraciones de los *cloruros* variaron de 0.4 a 168 mg/L. todas las fuentes de agua subterráneas y superficiales y en ambas temporadas estacionales durante los cinco años de muestreo presentaron concentraciones dentro de lo establecido en la Norma (250 mg/L); este parámetro no influye en el deterioro de la calidad del agua de las comunidades de la región (Fig. 11).

Los *sulfatos* presentaron concentraciones de 0.0 a 600 mg/L. La concentración de *sulfatos* en las fuentes de agua depende de la combinación de sales disueltas en el agua. El 92% de los sitios presentaron concentraciones por debajo de los 400 mg/L, límite establecido en la norma oficial para agua de uso y consumo. Solamente un 8% de fuentes presentaron valores altos; las cuales pueden ser explicadas debido a que se encuentran influenciadas por el volcán Jorullo (Fig 12).

### Dureza

Por su parte la *dureza* en las fuentes de agua se ubicó en valores entre 60 y 2300 mg/L. El 90% presentaron valores menores a 500 mg/L, indicado como máximo permisible en la Norma. No se presentaron valores relevantes salvo el 10% de las fuentes de agua que mostraron altas concentraciones en algún muestreo. Los sitios Oropeo y Noria del Gobierno presentaron las mayores concentraciones en temporada de lluvias (Figura 13a).

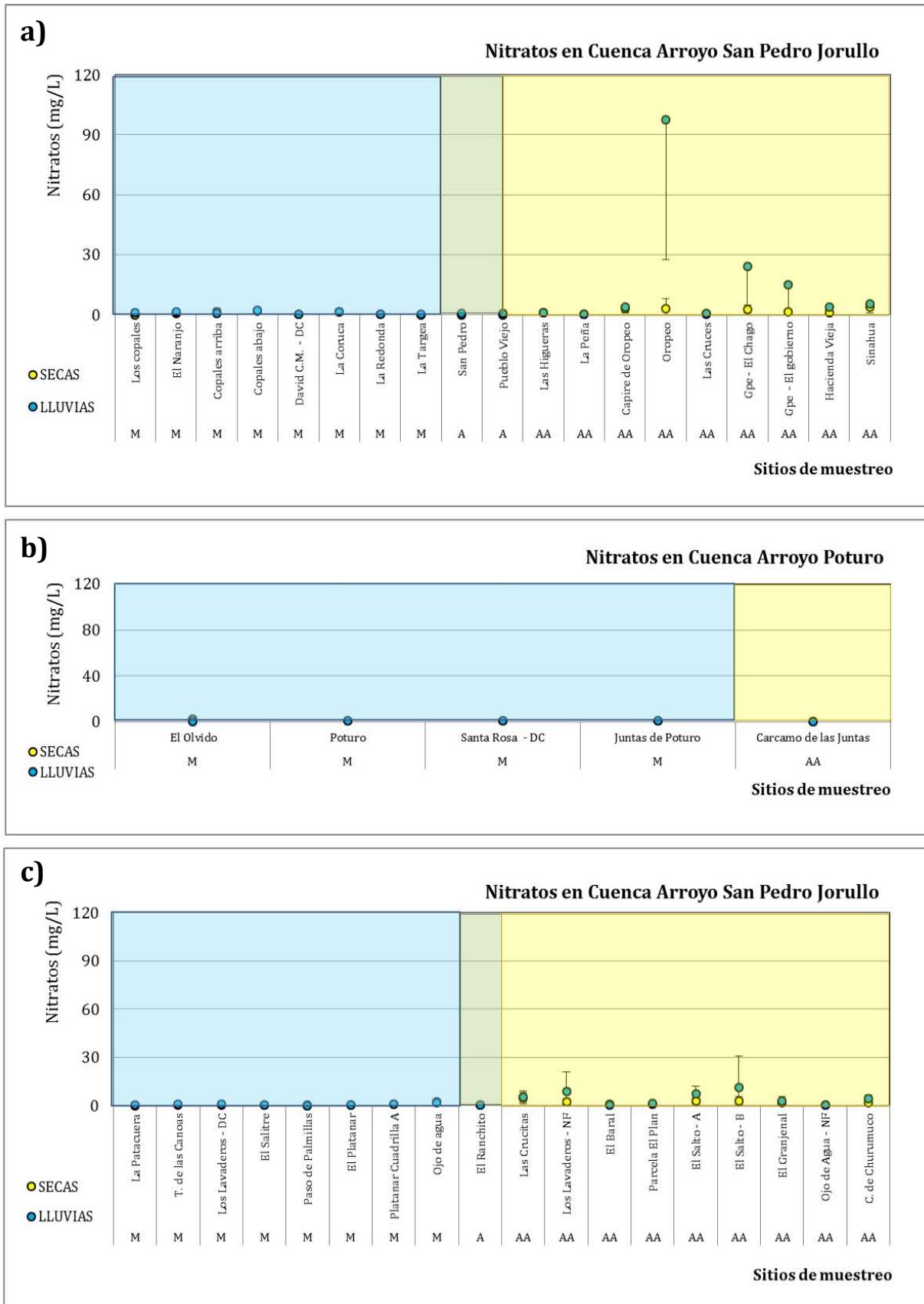


Fig. 10. Variaciones estacionales de *Nitratos* del agua en la estación seca y lluvias en las cuencas de estudio. a) Sitios de la Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo, b) Sitios en la Cuenca Arroyo Poturo, c) Sitios en la Cuenca Arroyo Grande de Churumuco.

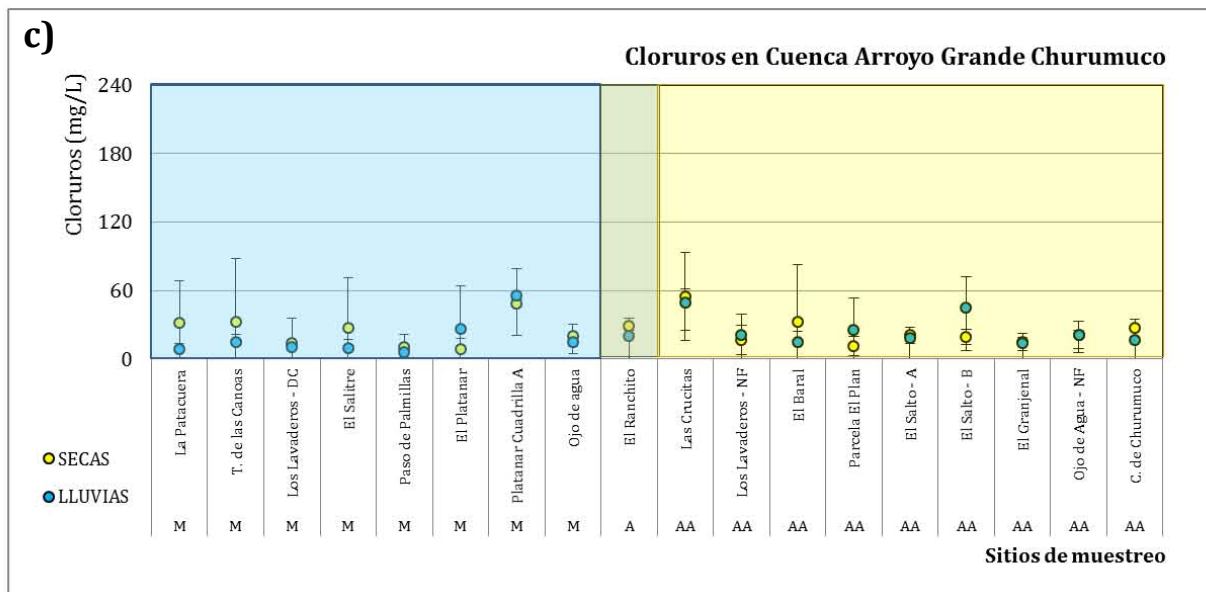
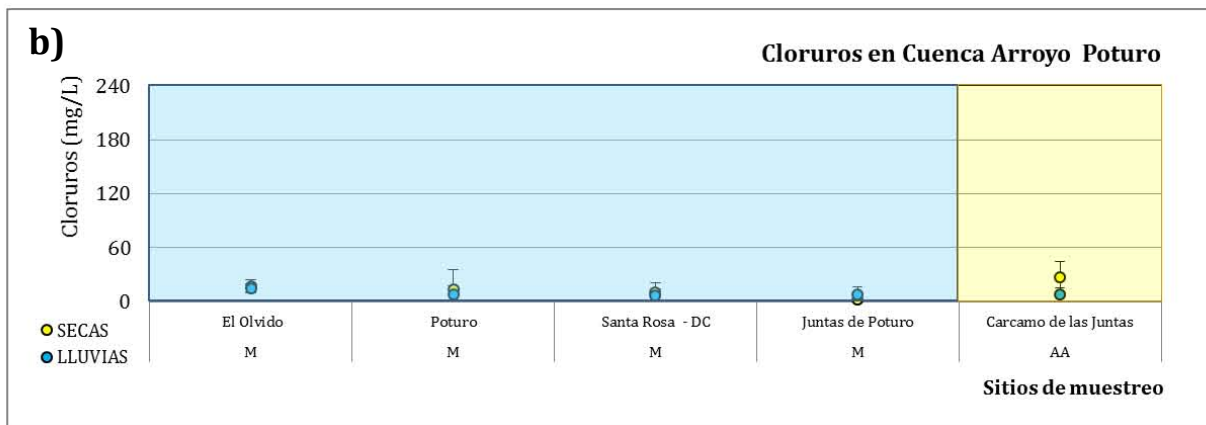
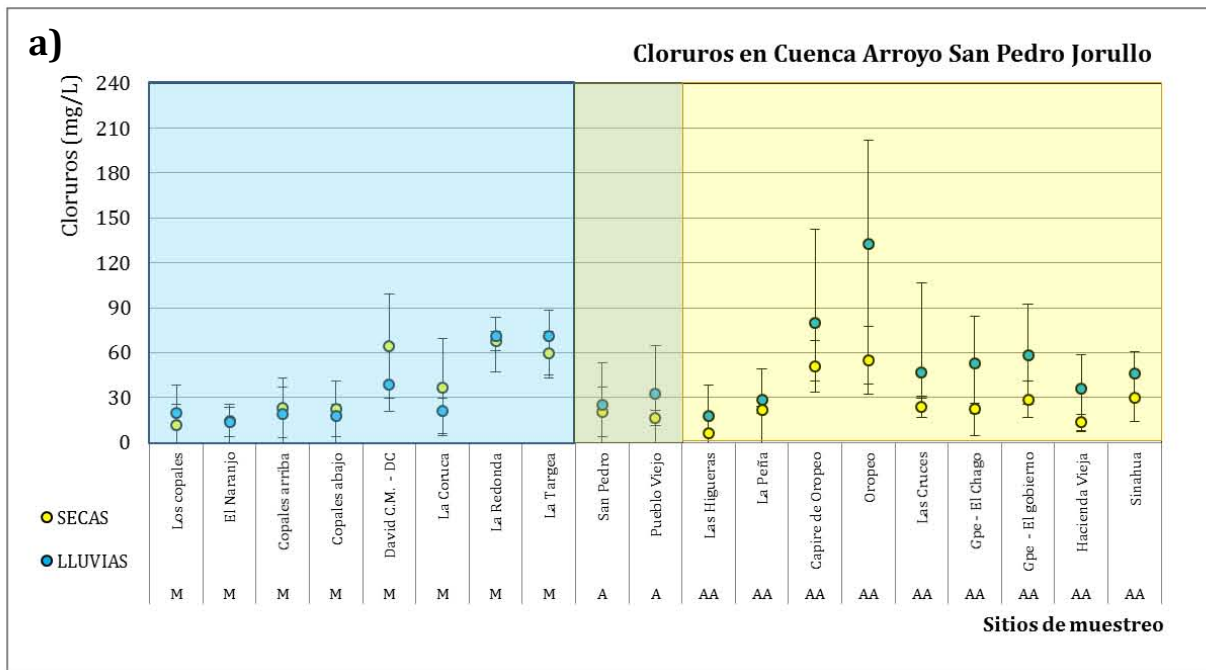


Fig. 11. Variaciones estacionales de *Cloruros* del agua en la estación seca y lluvias en las cuencas de estudio. a) Sitios de la Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo, b) Sitios en la Cuenca Arroyo Poturo, c) Sitios en la Cuenca Arroyo Grande de Churumuco.

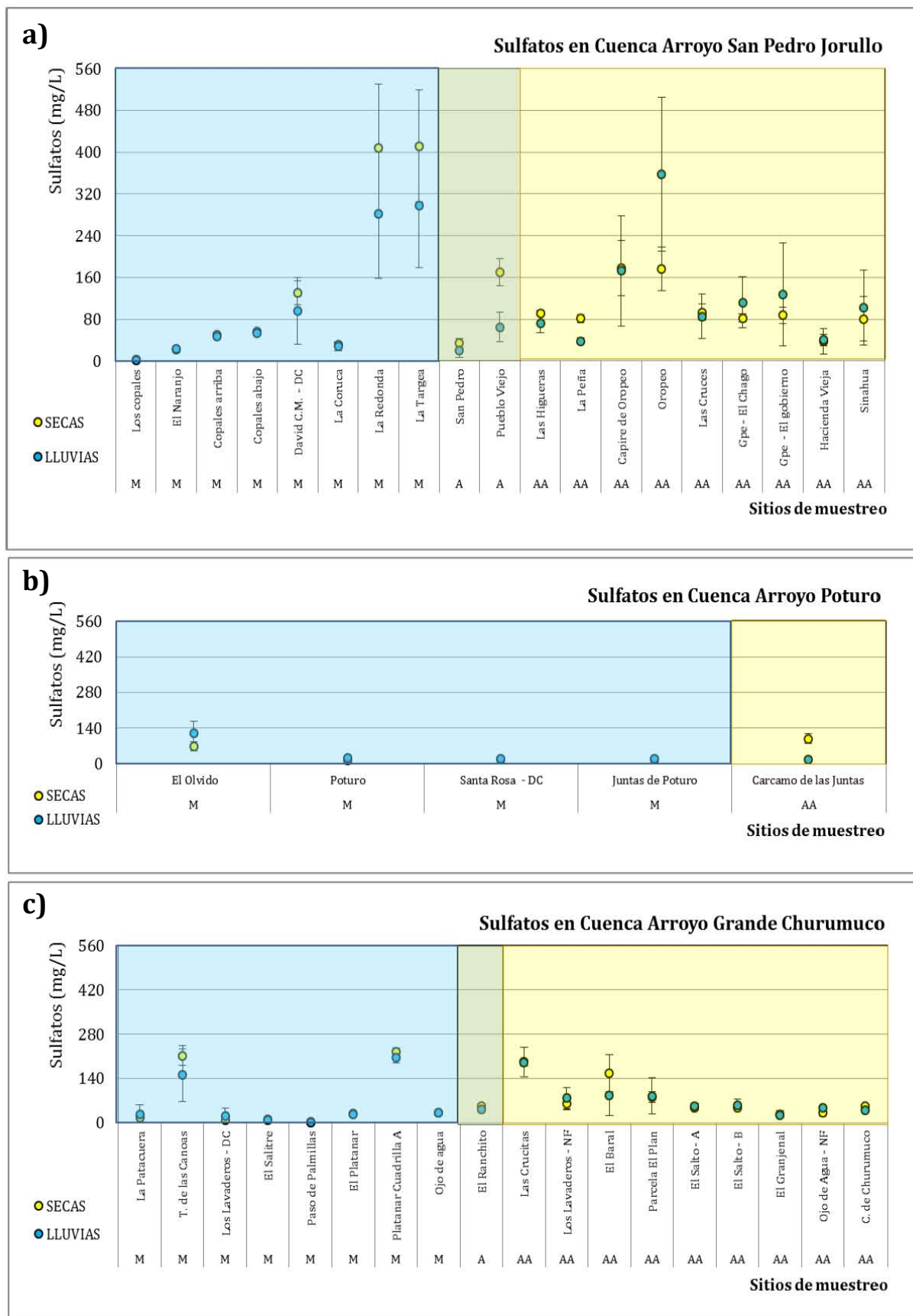


Fig. 12. Variaciones estacionales de *sulfatos* del agua en la estación seca y lluvias en las cuencas de estudio. a) Sitios de la Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo, b) Sitios en la Cuenca Arroyo Poturo, c) Sitios en la Cuenca Arroyo Grande de Churumuco.

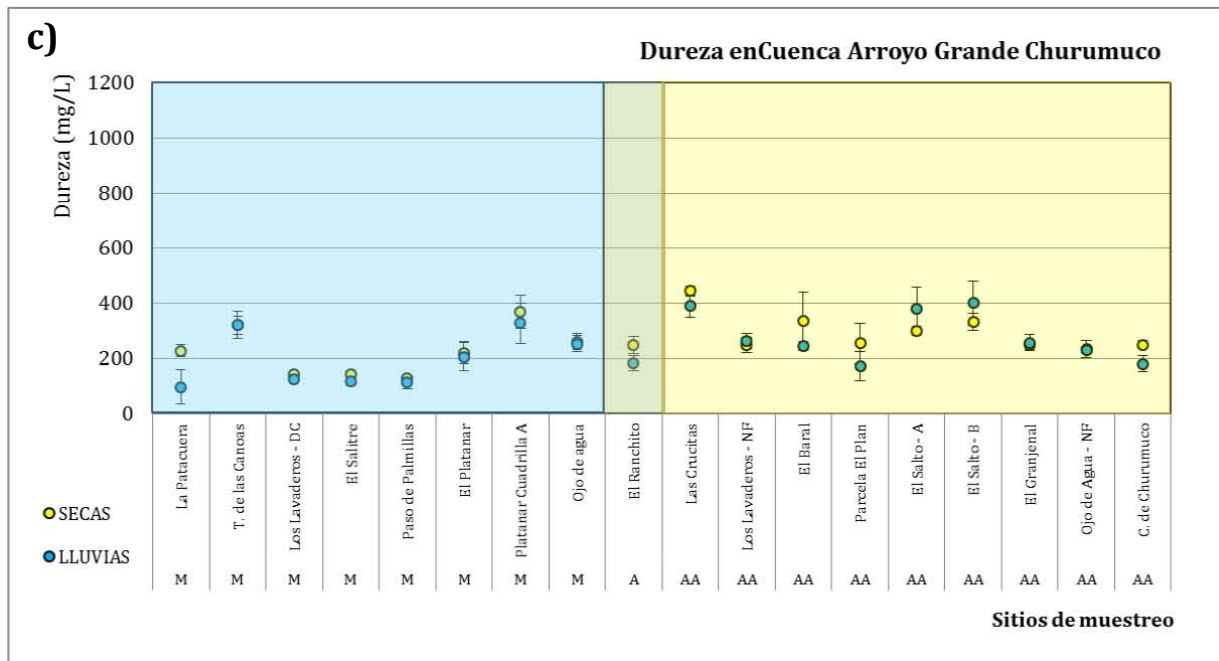
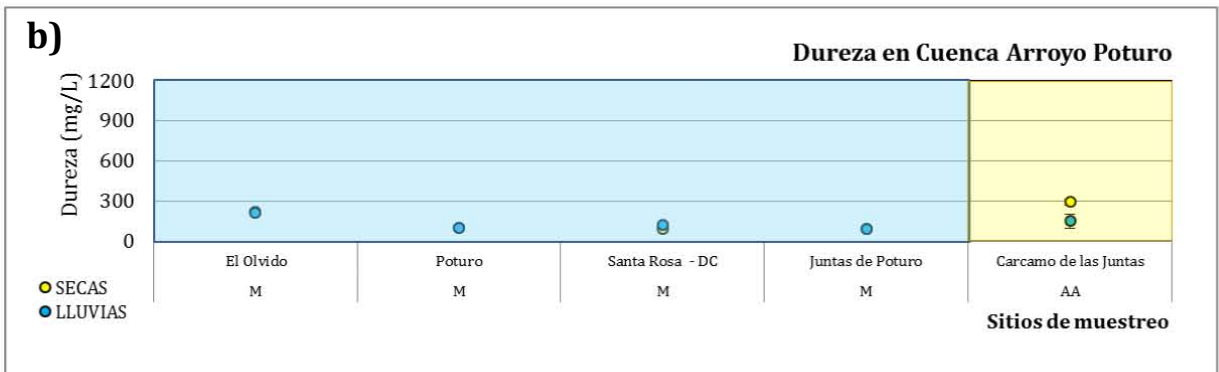
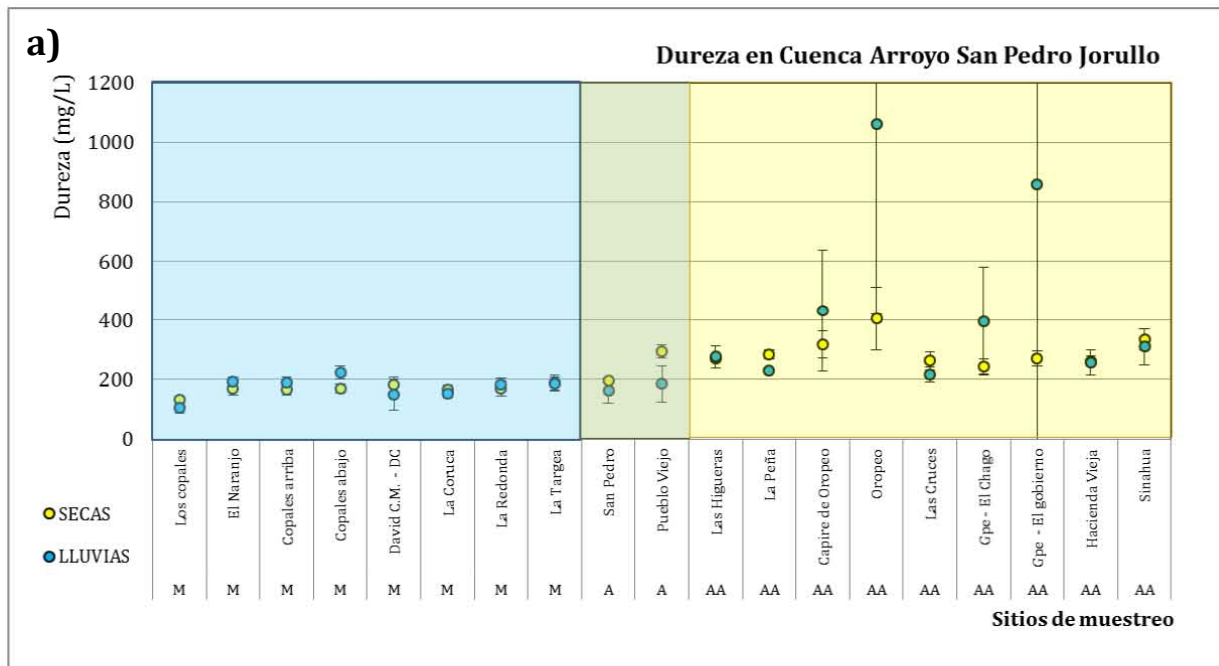


Fig. 13. Variaciones estacionales de *dureza* del agua en la estación seca y lluvias en las cuencas de estudio. a) Sitios de la Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo, b) Sitios en la Cuenca Arroyo Poturo, c) Sitios en la Cuenca Arroyo Grande de Churumuco.

### Alcalinidad

La *alcalinidad* presentó concentraciones que van de los 30 a los 440 mg/L con concentraciones más altas en la época seca en más del 50% de las fuentes de agua y únicamente el 8% de los sitios sobre pasaron el límite permisible (400 mg/L) (Fig. 16). Las altas concentraciones se deben a la presencia natural de sales. Pese a que la alcalinidad está determinada principalmente por el contenido de carbonatos y bicarbonatos de sodio y en menor medida de magnesio el comportamiento de este parámetro no es similar con la dureza.

El análisis de la correlación entre Dureza y Alcalinidad mediante diagramas de dispersión de Pearson para las fuentes de las tres cuencas de estudio mostró una ligera correlación en dos cuencas (Fig. 17a y c), reportando valores positivos de  $R^2$  mayores a 0.56; mientras que la Cuenca Arroyo Poturo mostró valores negativos cercanos a cero lo que nos indica que no existe una correlación de estos parámetros en esta cuenca (Fig 17b).

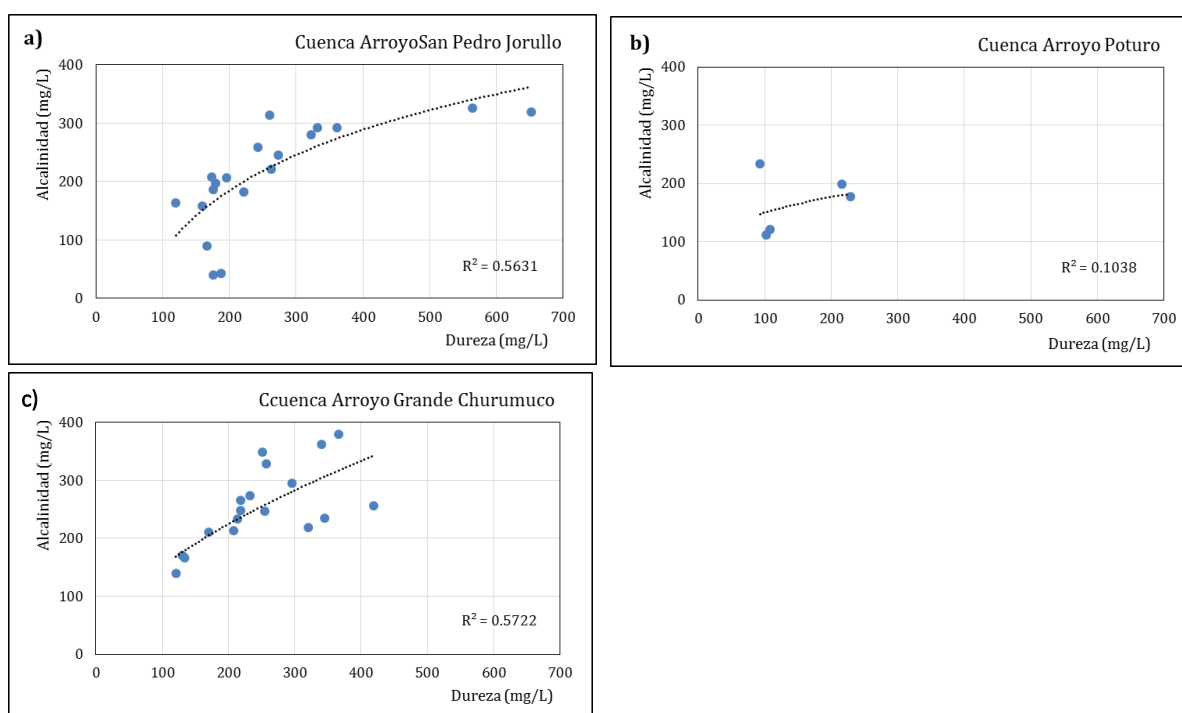


Fig. 15. Diagramas de correlación de Person de las fuentes de agua de las Cuencas a) Arroyo San Pedro Jorullo, b) Arroyo Poturo y c) Arroyo Grande Churumuco.



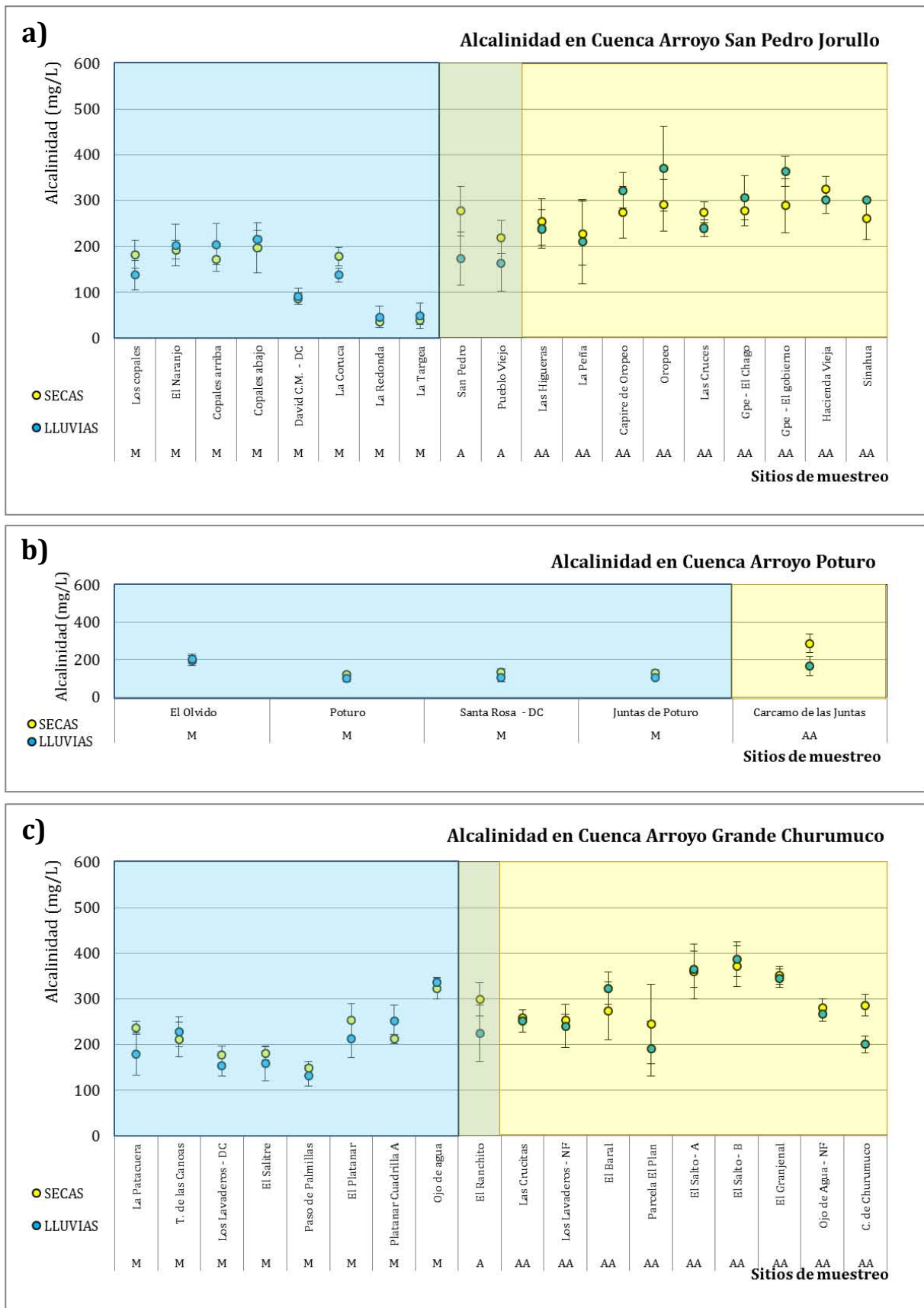


Fig. 14. Variaciones estacionales de *alcalinidad* del agua en la estación seca y lluvias en las cuencas de estudio. a) Sitios de la Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo, b) Sitios en la Cuenca Arroyo Poturo, c) Sitios en la Cuenca Arroyo Grande de Churumuco.

#### 4.1.2 Variaciones espaciales de la calidad fisicoquímica del agua

Los valores de los diferentes parámetros se compararon entre cuencas. Dentro del sistema hidrográfico Ribera Norte-Presa Infiernillo Bajo Balsas, la Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo presentó las mayores concentraciones en la mayoría de los parámetros, siendo Oropeo el sitio más afectado por los factores naturales y antropogénicos. La Cuenca Arroyo Poturo es la menos afectada por altas concentraciones de los diferentes parámetros analizados (Cuadro 10).

La prueba no paramétrica Kruskal-Wallis arrojó diferencias significativas en siete de los parámetros, si bien las diferencias se mostraron principalmente en la época de lluvias (Cuadro 11). Durante secas, solamente se detectaron diferencias en la turbidez y en cloruros. En la estación de lluvias, en cambio, otros parámetros como la temperatura del agua y la alcalinidad también mostraron diferencias.

Cuadro 10. Localidades y fuentes de agua que presentaron parámetros con concentraciones fuera del límite permisible por la NOM-127-SSA1-1994 al menos en una época del año.					
FUENTE DE AGUA	TURBIDEZ	SULFATOS	DUREZA	ALCALINIDAD	NITRATOS
<b>Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo</b>					
Los Copales					
El Naranja					
Copales arriba					
Copales abajo					
David C.M. - DC	X				
La Coruca	X				
La Redonda					
La Targea		X			
San Pedro	X				
Pueblo Viejo	X				
Las Higueras					
La Peña					
Capire de Oropeo					
Oropeo	X	X	X	X	X
Las Cruces					
Gpe - El Chago			X		X
Gpe - El gobierno			X		
Hacienda Vieja					
Sinahua					
<b>Cuenca Arroyo Poturo</b>					
El Olvido					
Poturo	X				
Santa Rosa - DC	X				
Juntas de Poturo	X				
Cárcamo de las Juntas	X				
<b>Cuenca Arroyo Grande Churumuco</b>					
La Patacuera	X				
T. de las Canoas	X				
Los Lavaderos - DC	X				

El Salitre					
Paso de Palmillas					
El Platanar					
Platanar Cuadrilla A					
Ojo de Agua					
El Ranchito	X				
Las Crucitas					
Los Lavaderos - NF					X
El Baral					
Parcela El Plan	X				X
El Salto - A				X	X
El Salto - B			X	X	
El Granjenal					
Ojo de Agua - NF					
C. de Churumuco	X				

Cuadro 11. Comparaciones múltiples entre cuencas de los parámetros en época seca y lluvias a través de la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis. * Diferencia significativa (P<0.05)		
Parámetros	Secas	Lluvias
Temperatura del aire	0.739	0.435
Temperatura del agua	0.210	0.023*
Alcalinidad	0.066	0.037*
Conductividad Electrica	0.369	0.226
Turbidez	0.047*	0.127
Nitratos	0.759	0.463
Cloruros	0.017*	0.037*
Sulfatos	0.435	0.050*
Dureza	0.089	0.039*
pH	0.226	0.044*
Coliformes Totales	0.855	0.956
<i>E. coli</i>	0.196	0.130

La distribución espacial de la temperatura del aire mostró un patrón similar entre cuencas, con variaciones altitudinales consistentes entre estas. La Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo alcanzó las temperaturas más altas de 38°C, lo que favorece además una mayor temperatura del agua (Fig. 18).



Rep. esp. 3. Temperatura del aire en las cuencas de estudio. Se muestran en esta representación espacial la parte alta de la cuenca en color morado, parte media en amarillo y baja en verde.

Por su parte, la temperatura del agua no vario entre cuencas en época seca ( $p = 0.210$ ) pero si lo hizo en la época de lluvias ( $p = 0.23$ ; cuadro 11). La Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo presentó las temperaturas de agua más altas alcanzando hasta los 41°C, debido a que existen fuentes con características hipotermal. Mientras que la Cuenca Arroyo Grande



Churumuco registró las temperaturas de agua más bajas donde desendió hasta los 22°C.  
 (Rep. esp. 4).



Rep. esp. 4. Temperatura del agua en las cuencas de estudio.

La diferencia en CE no fue significativa entre cuencas en ningun momento del año, si bien la Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo presentó la mayor variación entre sitios. Los Copales fue el sitio con menor CE mientras que Oropeo fue el sitio con valor más alto; esto se debe



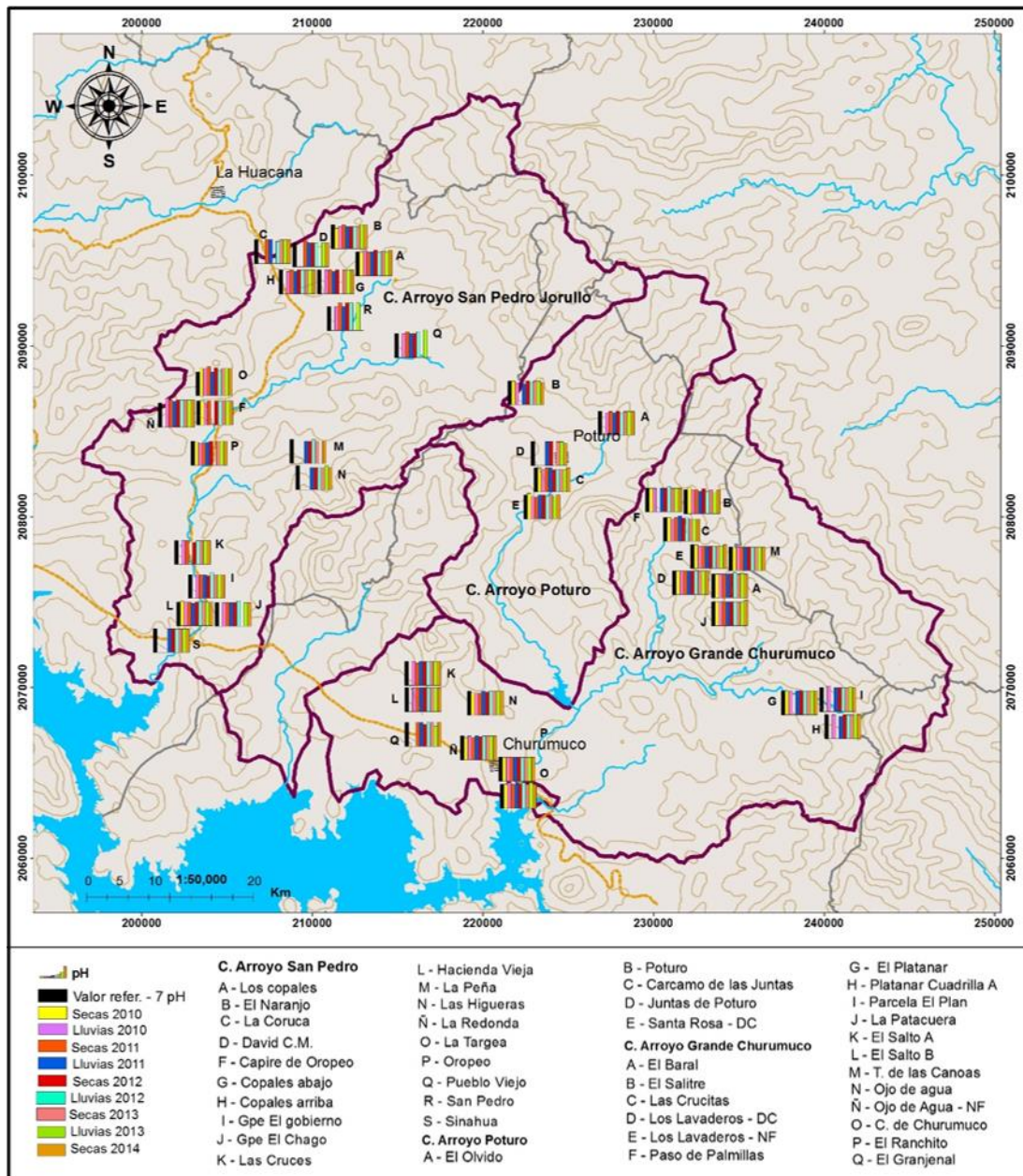
a las altas concentraciones de sales que se registraron en esta fuente de agua (Rep. esp. 5).



Rep. esp. 5. CE del agua en las cuencas de estudio.

El pH en las diferentes cuencas es similar presentando concentraciones dentro del mismo rango (6.5 – 8), ninguna fuente de agua presentó problemas con respecto a este parámetro, pero la Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo es la más propensa a sufrir cambios

alcalinos ya que es la única cuenca donde las fuentes de agua presentan valores de 8, esto causado por la presencia de bicarbonatos en esta cuenca los cuales son los principales compuestos causantes de la basicidad del agua; por lo que a futuro estas fuentes de agua pueden presentar pH básicos (Rep. esp. 6.).



Rep. esp. 6. pH del agua en las cuencas de estudio.

La turbidez presentó diferencias significativas en época seca ( $p = 0.047$ ), mientras que en temporada de lluvias no se presentaron diferencias significativas. Más del 50% de las fuentes de agua presentaron valores que no afectan a la calidad del agua; aunque el



29% de los sitios presentaron agua turbia debido principalmente al arrastre de partículas del suelo. Algunos sitios en la Cuenca Arroyo Poturo (como Santa Rosa y Poturo; Rep. esp. 7) presentaron valores de hasta 94 y 55 veces más respectivamente con respecto a lo establecido en la norma para uso y consumo humano; la elevada concentración de partículas en suspensión en estas fuentes de agua fue causada por actividad sísmica presente en una fecha de muestreo, la vibración y/u ondulado del suelo originó la



Rep. esp. 7. Turbidez del agua en las cuencas de estudio.



remoción del sustrato o lodo presente en los manantiales causando las altas concentraciones de partículas suspendidas en el agua.

Las cuencas no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre ellas en las concentraciones de nitratos (Cuadro 12). Sin embargo, se observaron mayores valores en la Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo y Arroyo Grande. En ambas se detectaron sitios con concentraciones fuera de lo establecido en la norma oficial, de los cuales el sitio más afectado fue Oropeo (Rep. esp. 8). El uso de fertilizantes y la falta de saneamiento



Rep. esp. 8. Nitratos en las cuencas de estudio.

básico en estas comunidades pueden ser fuentes de nitratos que expliquen los mayores valores en época de lluvias, al ser arrastrados hasta las fuentes de agua.

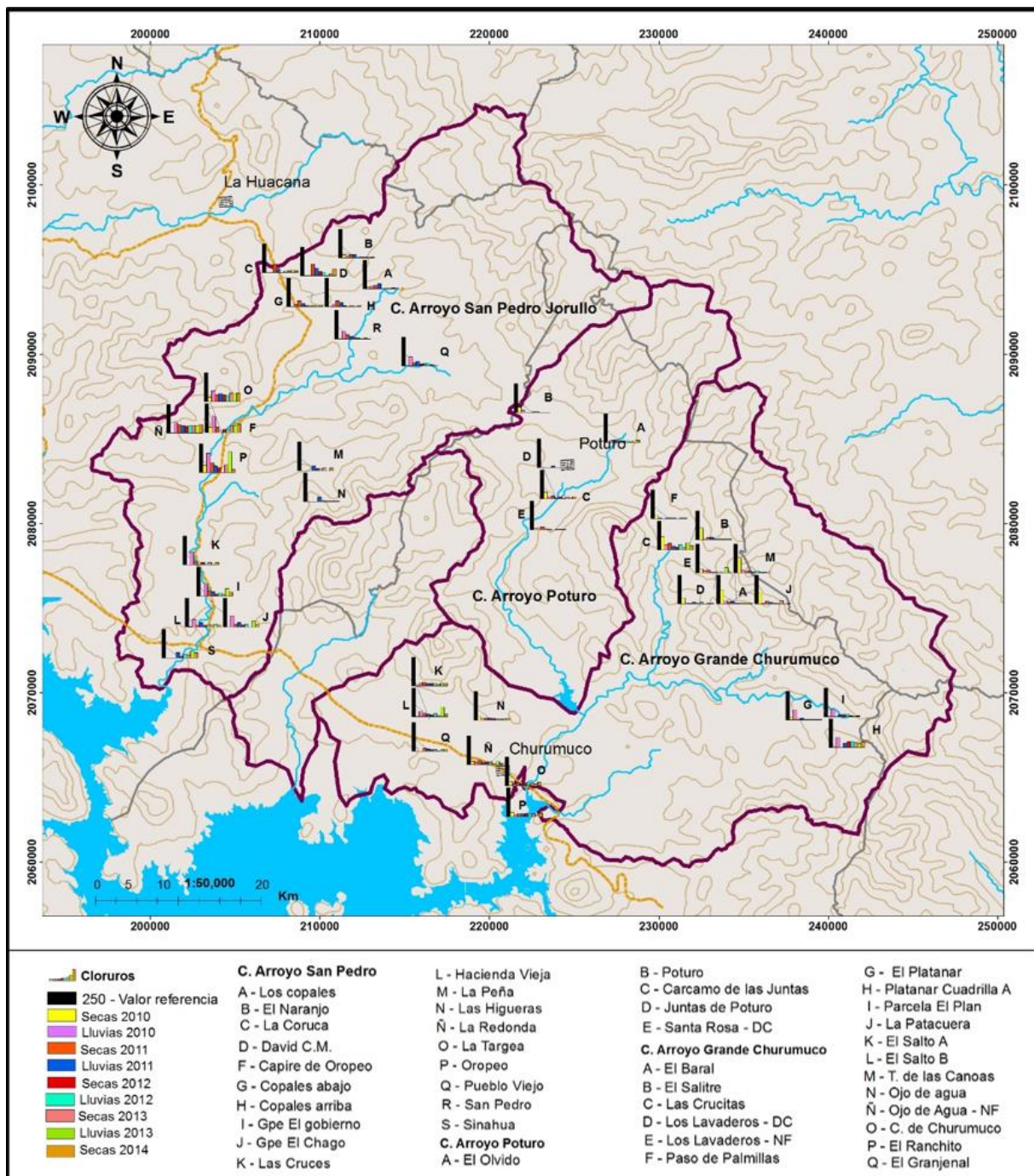
Del grupo de las sales, el cloruro fue el parámetro que no presentó concentraciones fuera de lo establecido en la norma oficial mexicana. Las mayores concentraciones de cloruros se encuentran en la Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo, alcanzando 177 mg/L en el sitio con mayor concentración (Oropeo). Las concentraciones de cloruros pueden originarse de manera natural, ya que esta sal está presente en el suelo y con las lluvias es arrastrada a las fuentes de agua, pero sin causar problemas de potabilidad al agua de consumo humano (Rep. esp. 9). Este parámetro presentó diferencias significativas en ambas temporadas estacionales ( $p = 0.017$ -Lluvias;  $p = 0.037$ -Secas; Cuadro 11).

El sulfato presentó diferencias significativas únicamente en temporada de lluvias (Cuadro 11). Aunque el sulfato no presentó altas concentraciones en la mayoría de las fuentes de agua, en la Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo los sitios La Redonda, La Tarjea y Oropeo fueron los únicos con concentraciones mayores a 400 mg/L. Estos valores altos en esta cuenca pueden tener origen natural dado que en la parte alta de la Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo se ubica el Volcan Jorullo en donde los suelos retienen constituyentes inorgánicos como es el sulfato incorporado por las erupciones emitidas por el volcán (Rep. esp. 10).

Al igual que en la mayoría de los parámetros la dureza presentó las mayores concentraciones en la Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo registrando concentraciones que se elevan hasta cuatro veces más por lo establecido en la norma oficial mexicana. La Cuenca Grande Churumuco presentó en algunas fuentes concentraciones altas con valores cercanos a los límites permisibles para consumo humano (Rep. esp. 11). Para este parámetro se presentaron diferencias significativas en época de lluvias (Cuadro 11).

La alcalinidad presentó diferencias significativas entre cuencas en temporada de lluvias ( $p = 0.037$ ). Al igual que la dureza, las más altas concentraciones de alcalinidad en las Cuencas Arroyo San Pedro Jorullo y Arroyo Grande Churumuco (Rep. esp. 12), ello pudo ser causado por materia orgánica en las fuentes de agua ya que esta puede contribuir al aumento de cationes alcalinotérricos.





Rep. esp. 9. Cloruros en las cuencas de estudio.

#### 4.2. Contaminación biológica en fuentes comunitarias de agua

La valoración de la calidad microbiológica del agua se logró mediante dos tipos de muestreo, uno realizado por los propios monitores comunitarios en campo y técnicas sencillas (valoración rápida), y otro realizado en la época seca y de lluvias del año 2014 con técnicas de laboratorio de acuerdo a las normas mexicanas existentes para la

caracterización detallada de la comunidad bacteriológica presente en estas fuentes. En términos generales, ambos muestreos indicaron una importante presencia de bacterias en las fuentes de agua comunitarias, algunas de ellas de importancia para la salud familiar, lo cual se analiza en detalle a continuación.



Rep. esp. 10. Sulfatos en las cuencas de estudio.



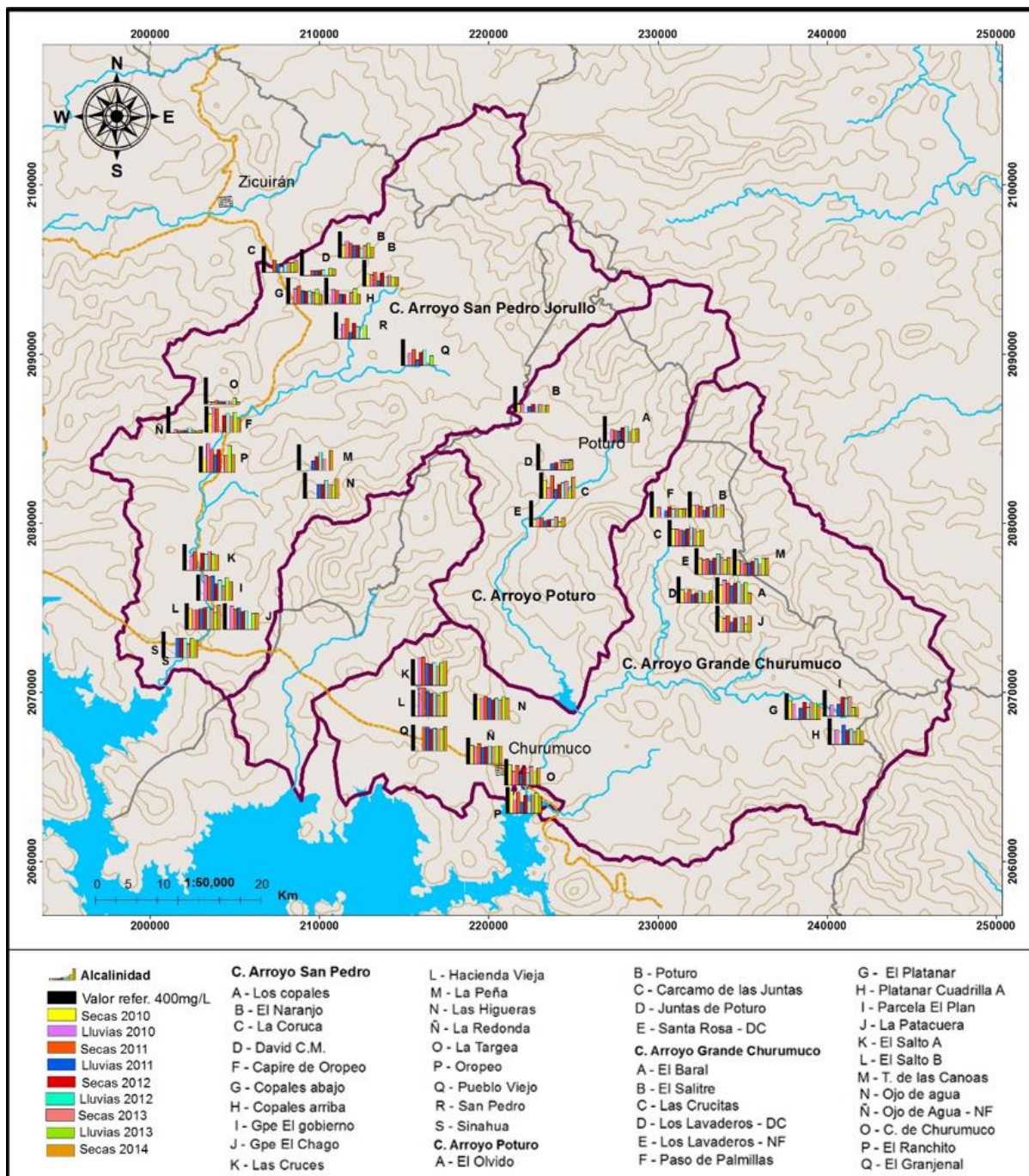


Rep. esp. 11. Dureza en las cuencas de estudio.

#### 4.2.1. Valoración microbiológica rápida (técnica de campo)

Del total de 40 fuentes de agua analizadas en cinco años (2010 -2015) mediante la técnica de campo, el 100% presentó organismos Coliformes Totales (CT) al menos en un





Rep. esp. 12. Alcalinidad en las cuencas de estudio.

momento del período de muestreo mientras que el 57% lo hizo para Coliformes Fecales (CF) específicamente para *Escherichia coli* (ver datos brutos en Anexo 2).

La presencia de CT mostró una variación amplia. En 26 de las 40 fuentes, su concentración se ubicó entre 50 y 5000 UFC/100 ml, y en nueve fuentes, las concentraciones fueron sumamente elevadas, con valores mayores a 10000 UFC/100 ml (Fig 16). Los datos obtenidos con los kits de campo mostraron mayores concentraciones de CT en época seca. Ello puede explicarse por la menor cantidad de agua en esa

temporada generando una mayor concentración de bacterias, principalmente en acuíferos Aluviales. El grupo de las CT es muy heterogéneo por lo que incluye especies tanto fecales como ambientales, debido a esto la NOM-127 menciona que el agua de uso y consumo humano no debe presentar organismos CT o al menos estos no deben ser detectables. La presencia de CT puede ser originada de manera natural ya que muchas especies de CT se encuentran en el suelo naturalmente, así como por la incidencia de actividades humanas (Fig. 17).

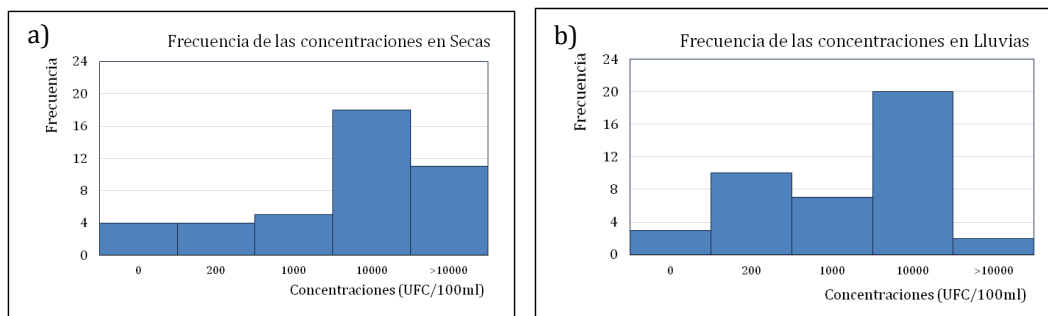


Figura 16. Frecuencia de las concentraciones de CT en las fuentes de agua en temporada a) Seca y b) Lluvias (N=42).

Por su parte, la valoración rápida de campo, detectó que la presencia de *E. coli* alcanzó concentraciones de 1900 UFC/100ml en algunas fuentes y momentos del período estudiadas. Las mayores concentraciones se presentaron en mayo (finales de época seca), mientras que las menores en Octubre, a finales de la temporada de lluvias. El 71% de los manantiales registraron ausencia de *E. coli* y se evidenció una mayor presencia de estas bacterias en las fuentes en acuíferos aluviales. Estos resultados alertan para profundizar el estudio con técnicas más confiables (de laboratorio). Grave y relacionado con el manejo y con implicaciones sobre el riesgo, la presencia de *E. coli* en los cuerpos de agua indica que fueron contaminados por materia fecal (Fig. 18).

En relación con la distribución espacial los datos mostraron que las fuentes de la Cuenca del Arroyo San Pedro Jorullo son más afectadas por microorganismos que las cuencas del Arroyo Poturo y Arroyo Grande Churumuco. Las aguas superficiales del Arroyo San Pedro mostraron presencia de CT y CF en los momentos en que existe caudal (entre julio y enero), lo cual indica una completa dispersión de los contaminantes y transferencia al acuífero aluvial desde los cuales las poblaciones obtienen su agua de sustento. Por su parte, las fuentes de agua de la Cuenca Poturo mostraron una mejor

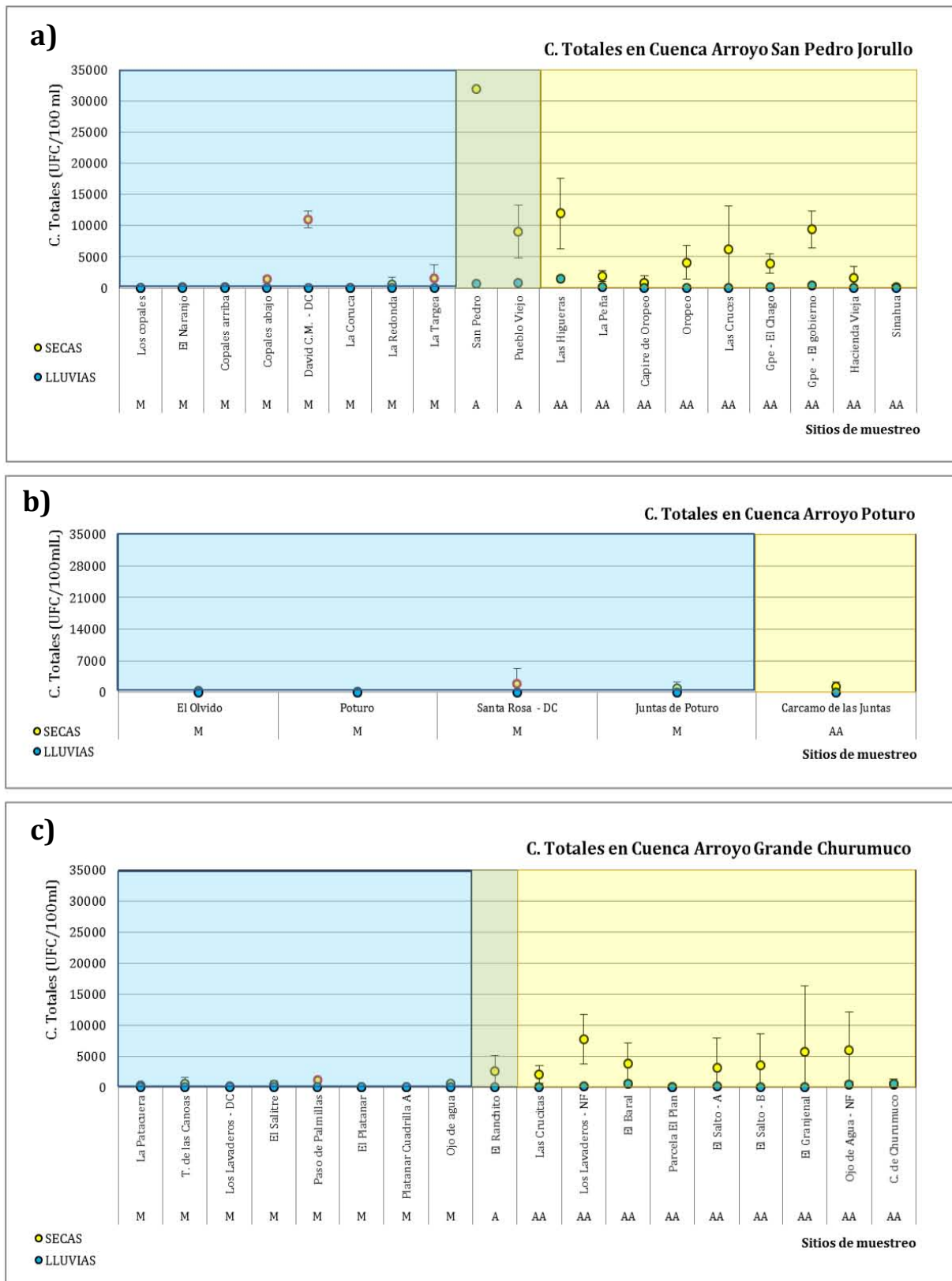


Fig. 17. Variaciones estacionales de *C. Totales* en la estación seca y lluvias en las cuencas de estudio. a) Sitios de la Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo, b) Sitios en la Cuenca Arroyo Poturo, c) Sitios en la Cuenca Arroyo Grande de Churumuco. M – Manantial, A – Agua superficial, AA – Acuífero Aluvial.  $N_{secas} = 5$ ,  $N_{lluvias} = 4$ . Las barras indican  $\pm$  desvío estándar



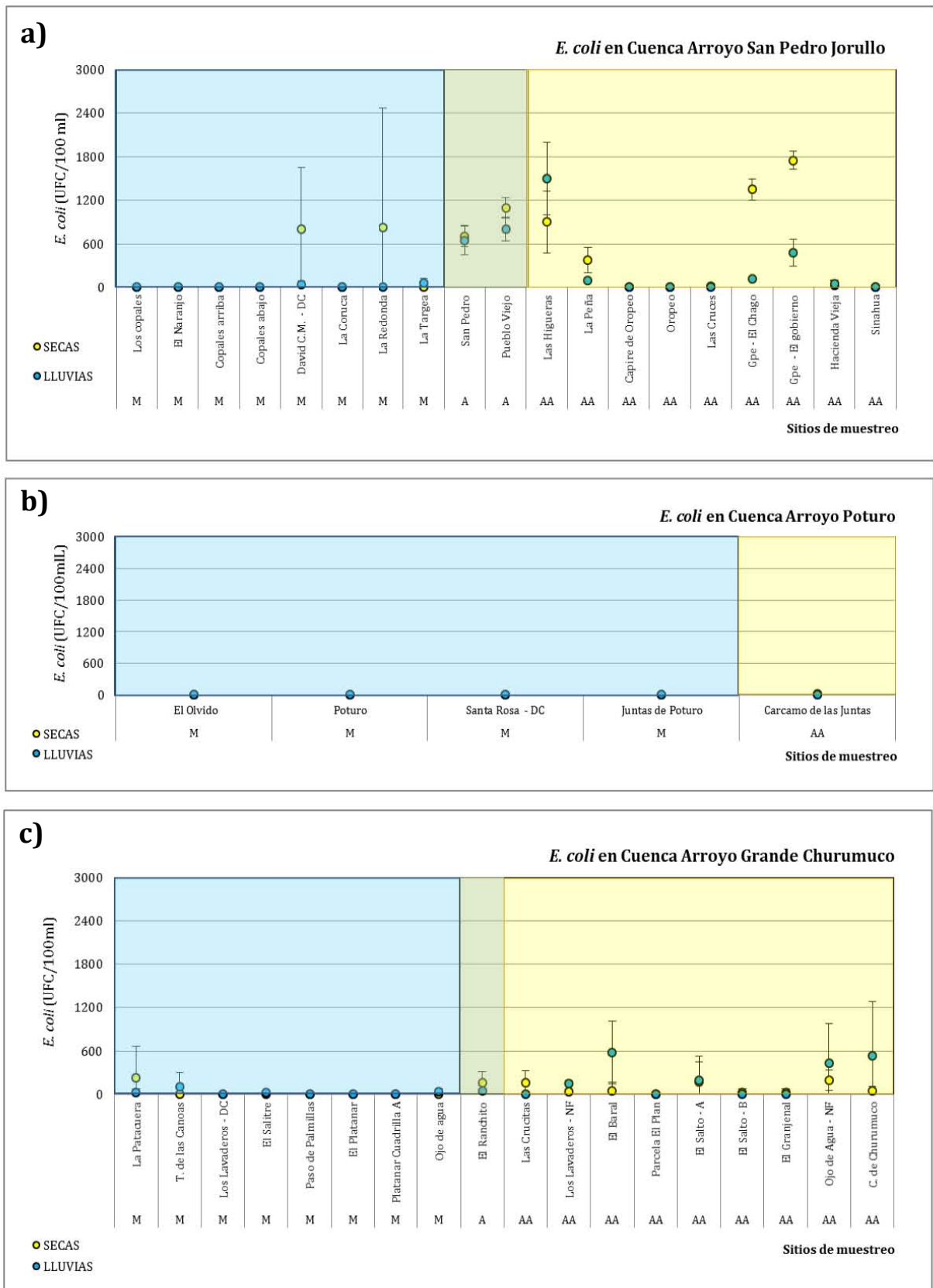
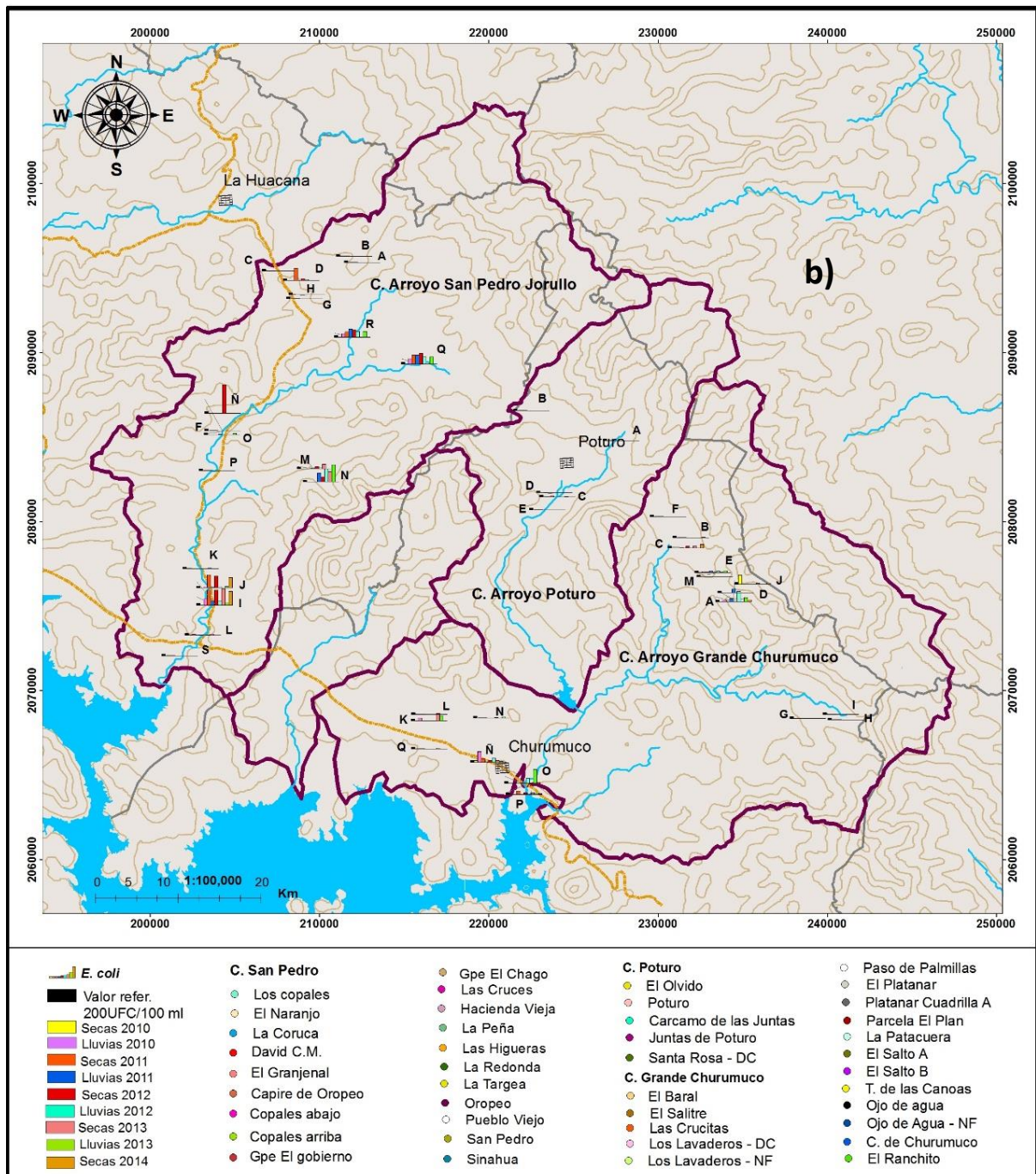


Fig. 18. Variaciones estacionales de *E. coli* en la estación seca y lluvias en las cuencas de estudio. a) Sitios de la Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo, b) Sitios en la Cuenca Arroyo Poturo, c) Sitios en la Cuenca Arroyo Grande de Churumuco.

calidad bacteriológica, tanto en aquellas provenientes de manantiales como del acuífero aluvial (Rep. ep. 13). La presencia de *E. coli* en los cuerpos de agua se debe a la contaminación por el ser humano o animales de sangre caliente con certeza mayor al 90% por lo que su presencia indica principalmente la carencia o déficit de saneamiento en estos sitios.







Rep. esp. 13. Concentraciones de a) Coliformes Totales y b) *E. coli* en las Cuencas Arroyo San Pedro Jorullo, Arroyo Poturo y Arroyo Grande Churumuco.

#### 4.2.2. Valoración microbiológica de laboratorio

Por su parte, los análisis de laboratorio realizados se llevaron a cabo en 23 fuentes de agua, obtenidas de igual número de localidades del área de estudio, cuyas características generales y clave de sitio se muestra en el Cuadro 8.

La totalidad de las fuentes mostraron la presencia de CT al menos en uno de los dos muestreos realizados, a fin de la época seca (mayo) y de la época de lluvias (octubre ) del año 2014. En cada temporada, el 90% de fuentes de agua muestreadas mostró presencia de CT y el 74% de los sitios lo hizo en ambos momentos del año. La concentración de bacterias CT fue mayor en la época seca hasta 39 veces más que en la temporada de lluvias (Figuras 19a,b,c). En relación a la contaminación por CF el 91% de las fuentes mostraron contaminación al menos en uno de los dos muestreos, y el 65% mostró presencia en ambas épocas del año. En el 71% de las fuentes la concentración de CF fue mayor en época de lluvias hasta 185 veces más.

Los análisis de laboratorio confirmaron la contaminación por bacterias coliformes en fuentes de agua de estas cuencas rurales. Similarmente a la valoración con técnicas rápidas, la concentración de CT, fue mayor al final de la temporada seca debido a la disminución de la cantidad de agua en las fuentes propia de este momento del año.

En relación con las bacterias coliformes fecale, se detectó su presencia en el 96% de la 23 fuentes estudiadas, al menos en uno de los muestreos realizados (secas o lluvias 2014). Ello alerta sobre el uso del agua de las fuentes comunitarias debido a que, de acuerdo a la norma sanitaria NOM-230-SSA-2002, estas aguas no pueden ser de consumo humano, y están limitadas a actividades donde no exista contacto primario con las personas.

De las tres cuencas muestreadas para el análisis bacteriológico en laboratorio en el año 2014, la Cuenca Arroyo Poturo mostró la mayor ditribución en la contaminación, dado ue el 100% de los sitio (4 fuentes) mostraron signos de contaminación bacteriológica en ambas temporadas estacionales. La cuenca con mayor número de sitios con ausencia de coliformes fue Arroyo San Pedro Jorullo la cual presentó el 27%, mientras que las Cuencas Arroyo Grande presentó 12% de los sitios con ausencia de organismos coliformes respectivamente en al menos uno de los dos muestreos realizados.

La comparación de concentracione de CF con los límites recomendados para uso recreativo y contacto primario (CE-CCA-001/89) la cuenca San Pedro Jorullo es la más apta ya que la mayoría de sus fuentes (81%) presentan concentraciones recomendadas por el CE-CCA-001/89 para este uso. Por lo que es necesario que estas fuentes de agua tengan tratamiento previo para que puedan ser de uso y consumo humano (Rep. esp. 14).

Cabe mencionar que lo anterior contradice los resultados obtenidos en el muestreo

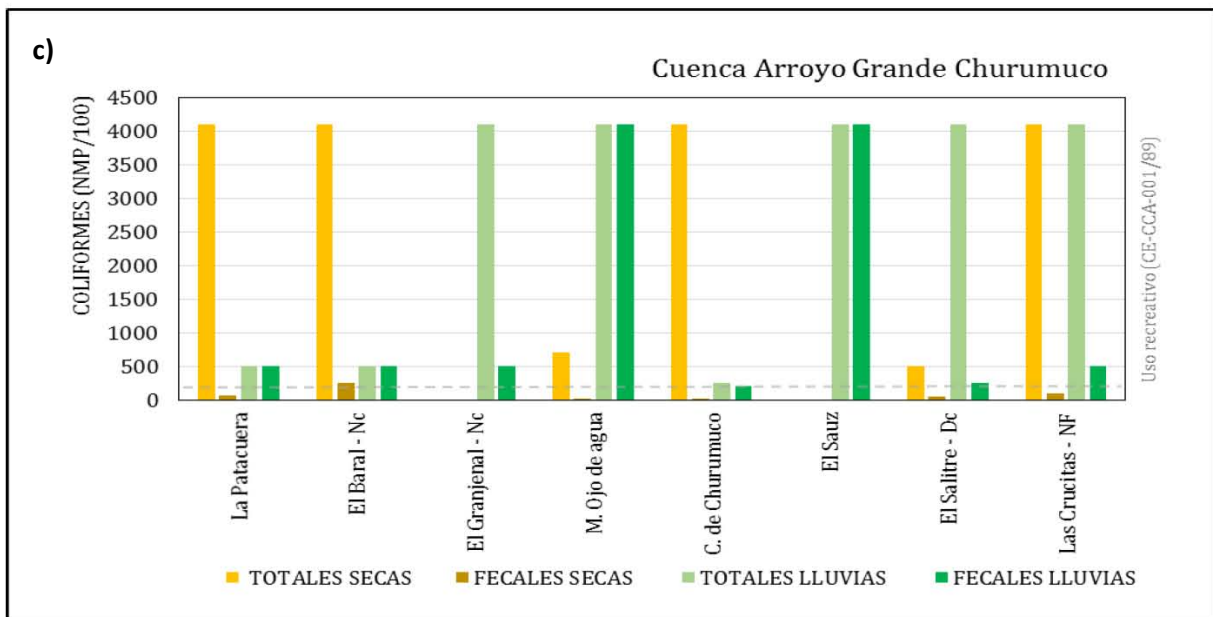
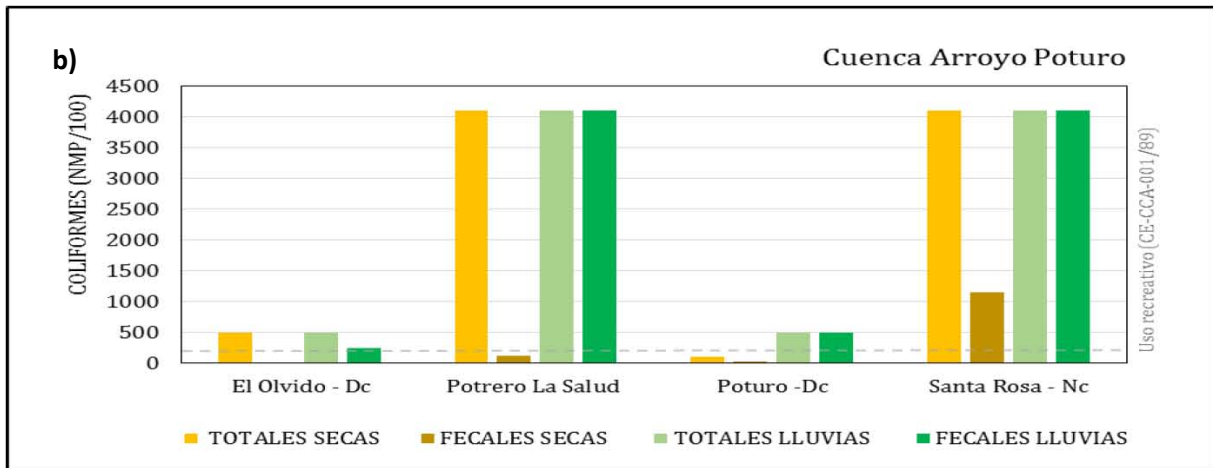
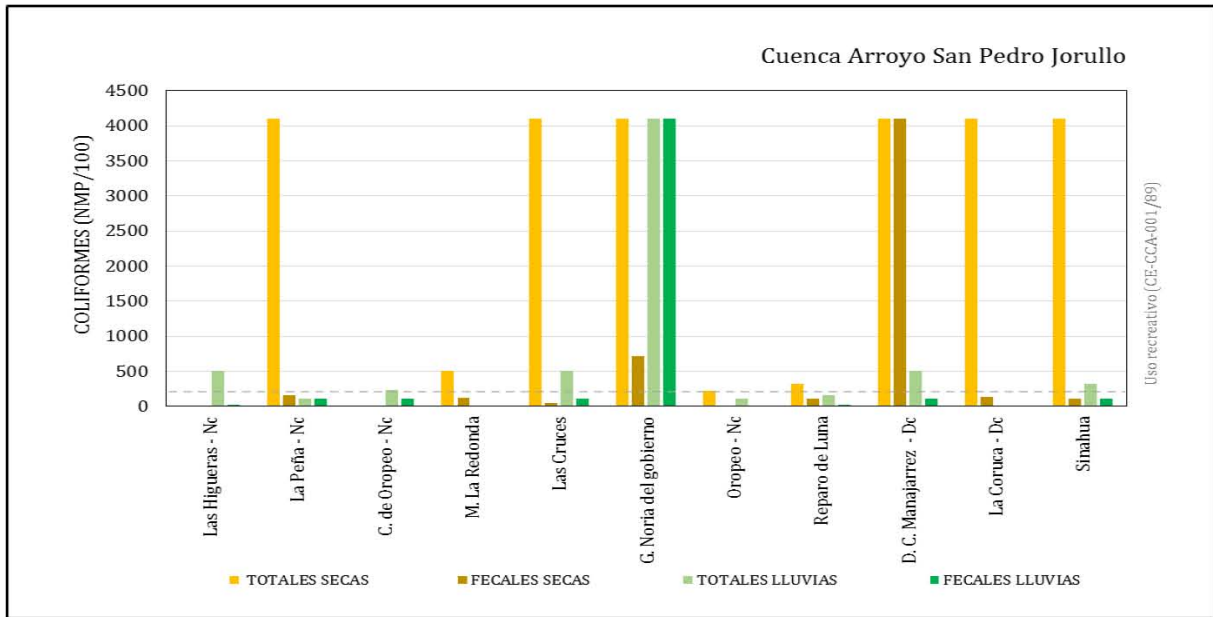


Figura 19. Número Más Probable de CT y CF en las fuentes de agua de las Cuencas a) Arroyo San Pedro Jorullo Arroyo b) Poturo c) Grande Churumuco. Línea punteada indica el límite permisible para el uso recreativo





Rep. esp. 14 Concentraciones de coliformess obtenidas en laboratorio de dos muestreos realizados en las cuencas de estudio.

rápido de campo; sin embargo, es importante señalar que los muestreos realizados en época seca del 2014 se hicieron con un mes de diferencia, por lo que la comparación entre ambos resultados presentó diferencias en ocho de las fuentes (Fig. 20); mientras que los resultados de campo de época de lluvias no se obtuvieron por ello no es posible realizar una comparación de ambos análisis (laboratorio – campo) en esta temporada. Por ello se

requiere un análisis más detallado para identificar si se presentan diferencias entre los análisis realizados en campo y laboratorio.

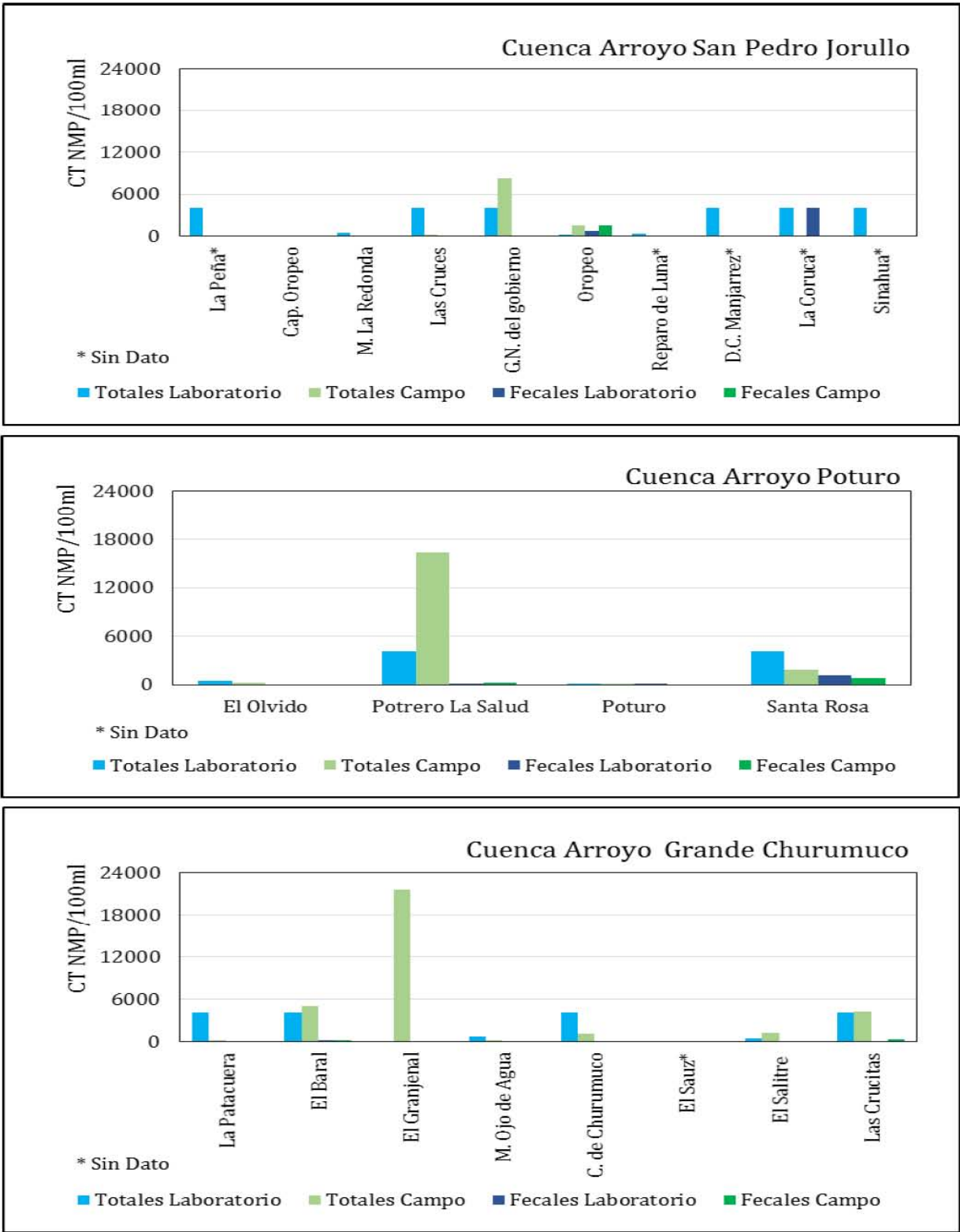


Fig. 20. Comparación de los análisis bacteriológicos en campo y laboratorio en época seca de las cuencas a) Arroyo San Pedro Jorullo, b) Arroyo Poturo, C) Arroyo Grande Churumuco.

### ***4.2.3 Aptitud y usos potenciales del agua***

En cuanto a la concentración bacteriológica, las normas oficiales mexicanas NOM-127-SSA1-1994 (uso y consumo de agua) establecen la usencia de CT o no detectables. De acuerdo a ello, los datos reportaron que únicamente el 17% de los sitios muestreados (4 fuentes) fueron completamente aptos para uso y consumo de agua humano al menos en una temporada estacional. Otros usos también se vieron restringidos de acuerdo al CE-CCA-001/89 debido a las altas concentraciones en algunas fuentes (Fig. 21).

En la Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo el 27% presentó agua apta para uso y consumo humano en alguna temporada del estacional siendo el 82% de las fuentes solamente aptas para recreativo y protección de la vida acuática (Fig. 21a). Por su parte la Cuenca Arroyo Poturo varia de uso acuícola a no apto para ninguna actividad sin presentar agua idónea para consumo humano en ninguna época del año (Fig. 21b) y en la Cuenca Arroyo Grande Churumuco las fuentes de agua el 14% presentó agua para uso y consumo humano variando de uso recreativo y protección de la vida acuática a riego agrícola (Fig. 21c).

### ***4.3.4 Caracterización de la comunidad de enterobacterias en fuentes comunitarias de agua***

En los sitios de muestreo correspondientes a norias y manantiales de uso y consumo humano, se determinaron en total la presencia confirmada de 36 especies de bacterias, con 12 especies adicionales cuya presencia quedo a nivel de “probable”. En el muestro de final de época seca (Mayo), se identificaron 8 géneros y 13 especies. A final de la temporada de lluvias (octubre) se confirmó la presencia de 13 géneros; así mismo, la presencia confirmada de 27 especies” (Cuadro 12).

Los diferentes tipos de fuentes (Depósitos, Manantiales y Norias) presentaron bacterias patógenas principalmente en época de lluvias aumentando dos o más veces el número de especies en el 75% de las fuentes. Únicamente cuatro fuentes de agua presentaron ausencia de bacterias en alguna temporada estacional. Esto nos indica una



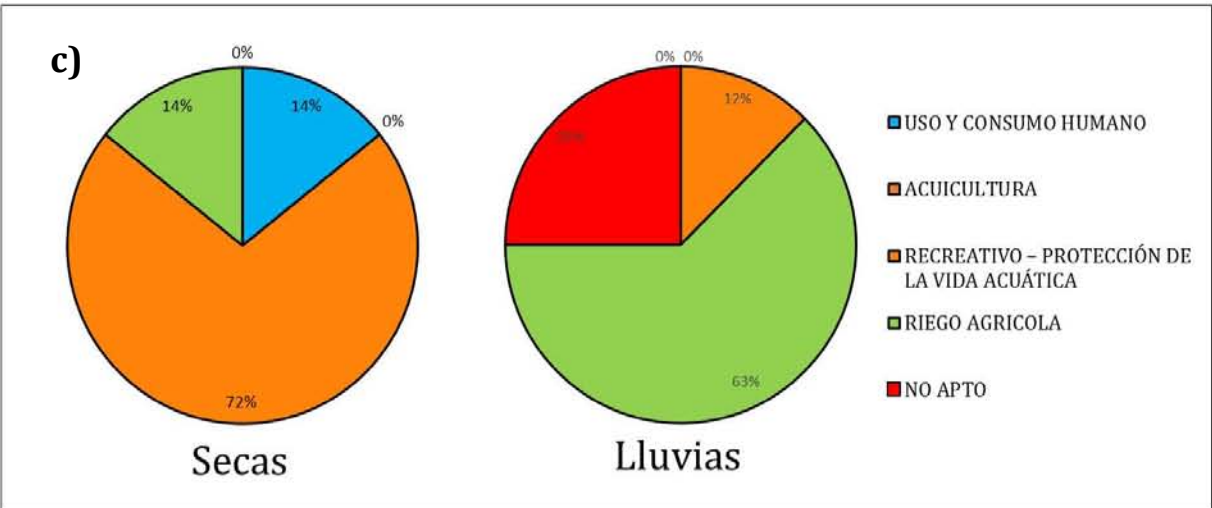
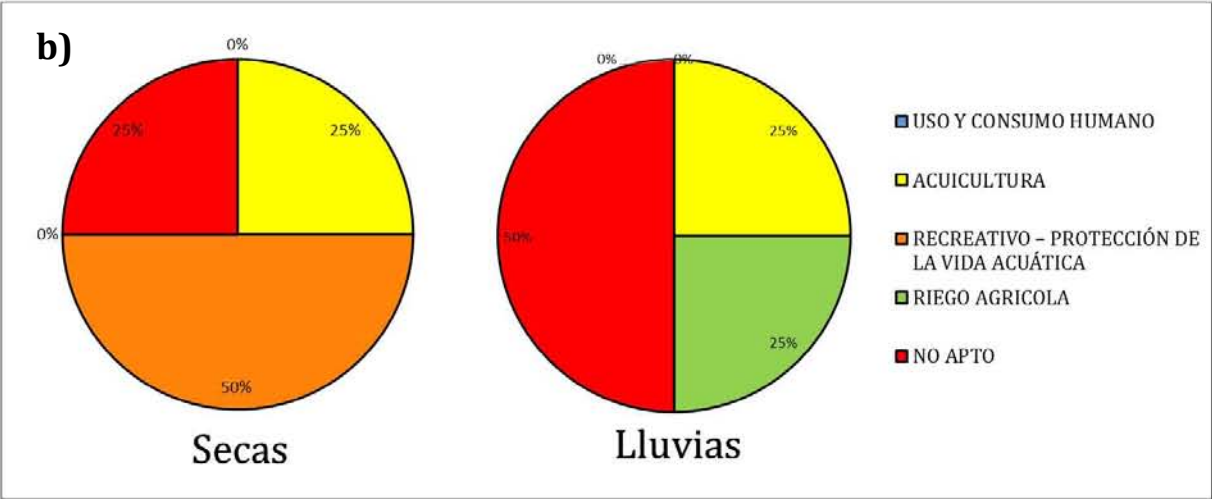
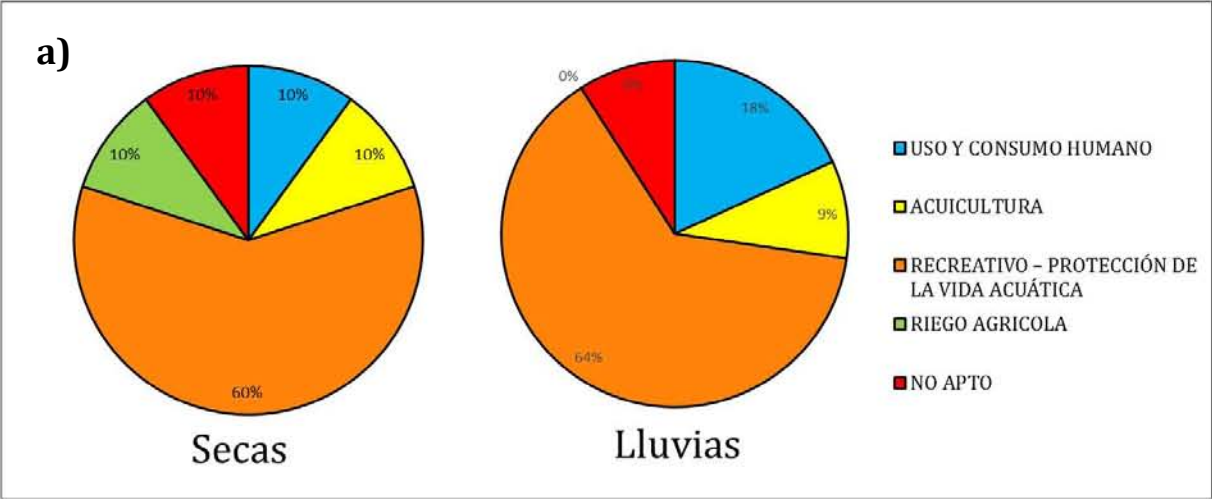


Figura 21. Porcentaje de las fuentes de agua de acuerdo a aptitud de uso según su calidad micro-biológica (bacterias CT y F), con forme a CE-CCA-001/89 en las cuencas a) Arroyo San Pedro Jorullo, b) Arroyo Poturo y c) Arroyo Grande Churumuco

alta contaminación por materia fecal por escorrentía y/o infiltración de las bacterias; además de una falta de saneamiento en los sitios donde se encuentran ubicadas las fuentes de agua para uso y consumo humano (Fig. 22)

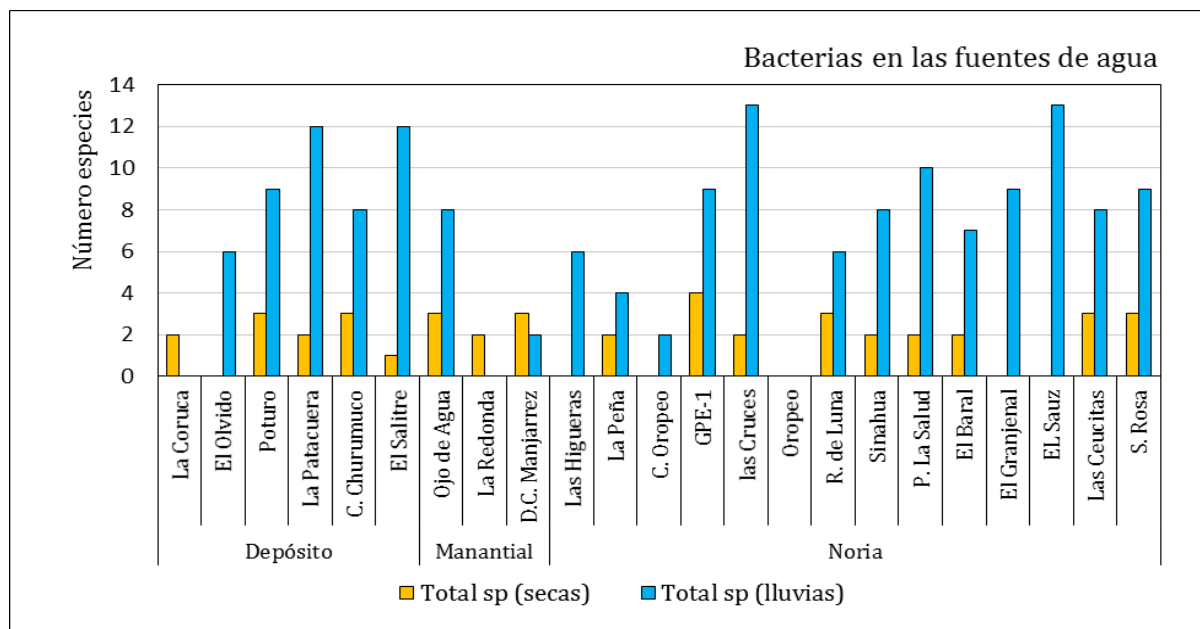


Fig. 22. Cantidad de especies de bacterias presentes en 23 fuentes de agua en época seca y lluvias.

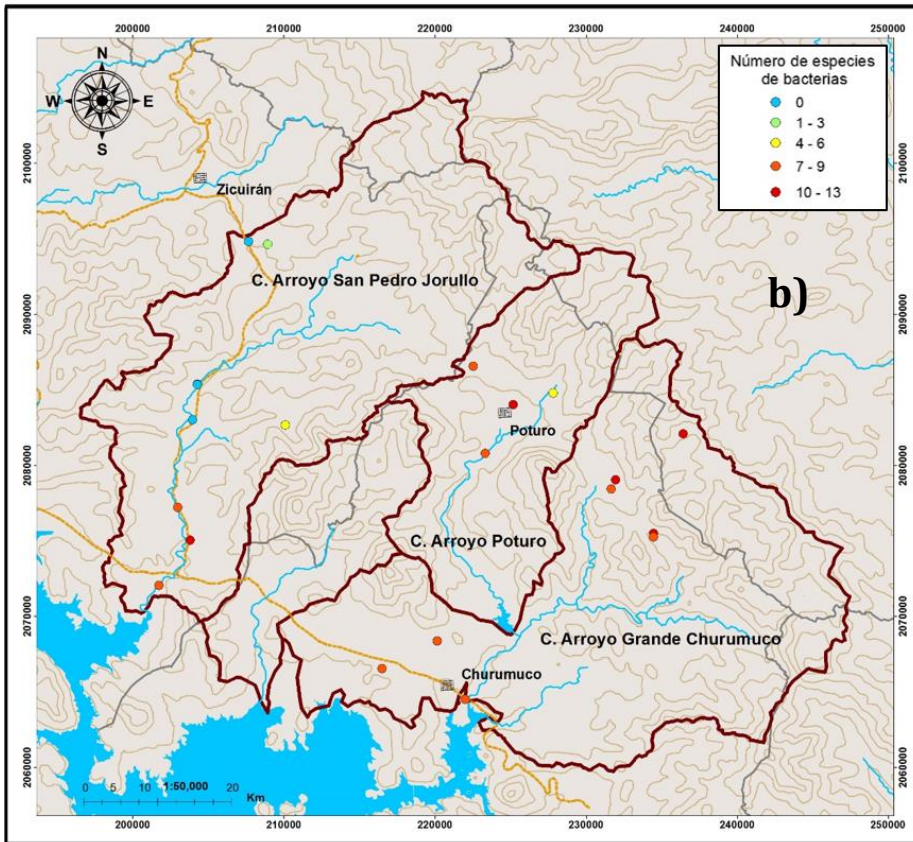
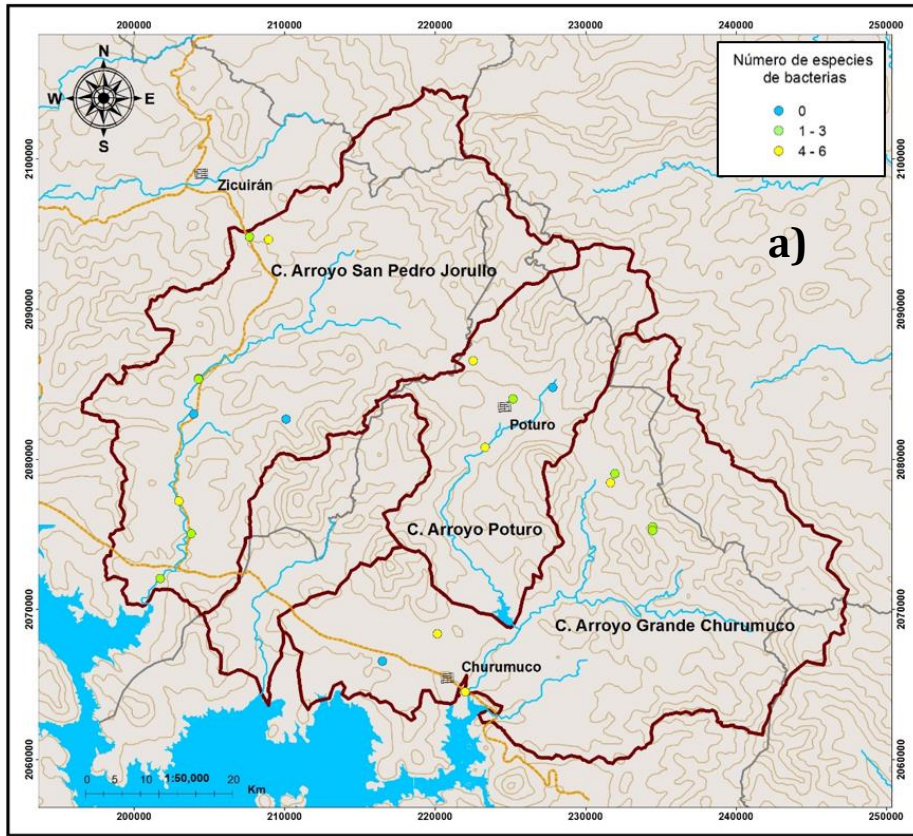
Los géneros con mayor número de especies fueron *Escherichia* y *Klebsiella* con cuatro especies cada una. La comunidad de bacterias coliformes de estas fuentes de agua estuvo dominada por *E. coli*, la cual se determinó en ambas temporadas del año. Las especies más frecuentes encontradas proliferan en los intestinos de los mamíferos y son responsables de diferentes infecciones gastrointestinales aunque algunas son patógenos oportunistas poco comunes (Cuadro 12).

ESPECIE	PRESENTE EN SECAS	PRESENTE EN LLUVIAS	% de fuentes en época seca (sobre 23)	% de fuentes en época de lluvias (sobre 23)
<b>Presencia confirmada</b>				
<i>Bauttiauxella agrestis</i>	X	X	4	0
<i>Budvicia aquatica</i>	X	X	4	0
<i>Citrobacter freundii</i>	X	X	4	48

<i>Citrobacter amalonaticus</i> (BG)		X	0	43
<i>Citrobacter diversus</i>		X	0	13
<i>Escherichia coli</i>	X	X	70	17
<i>Escherichia vulneris</i>	X	X	4	30
<i>Escherichia blattae</i>		X	0	17
<i>Escherichia hermannii</i>		X	0	9
<i>Edwardsiella tarda</i>		X	0	57
<i>Edwardsiella ictaluri</i>		X	0	13
<i>Edwardsiella hoshinae</i>		X	0	9
<i>Enterobacter amnigenus</i>		X	0	26
<i>Enterobacter aerogenes</i>		X	0	13
<i>Erwinia rubrifaciens</i>	X		17	0
<i>Erwinia tracheiphila</i>	X		13	0
<i>Hafnia alvei</i>		X	0	65
<i>Klebsiella planticola</i>		X	0	13
<i>Klebsiella oxytoca</i>		X	0	9
<i>Klebsiella pneumoniae</i> subsp. <i>Rhinoscleromatis</i>		X	0	4
<i>Klebsiella pneumoniae</i> subsp. <i>pneumoniae</i>		X	0	9
<i>Leminorella grimontii</i>		X	0	4
<i>Leclercia adecarboxylata</i>		X	0	4
<i>Morganella morganii</i>		X	0	4
<i>Pantoea</i> sp	X	X	4	0
<i>Pragia fontium</i>		X	0	30
<i>Pantoea agglomerans</i>	X	X	13	0
<i>Providencia stuartii</i>		X	0	13
<i>Providencia alcalifaciens</i>		X	0	13
<i>Providencia heimbachae</i>		X	0	4
<i>Salmonella</i> sp.	X	X	4	4
<i>Salmonella choleraesuis</i> subsp. <i>Indica</i>	X	X	4	0
<i>Salmonella choleraesuis</i> subsp. <i>choleraesuis</i> paratyphi A		X	0	4
<i>Yersinia pestis</i>		X	0	9
<i>Yersinia rodheii</i>	X	X	4	0
<i>Yersinia intermedia</i>	X	X	4	0
<b>Presencia probable</b>				
<i>Cedecea neteri</i> ó <i>Citrobacter</i> sp. ó <i>Enterobacter agglomerans</i>	X		4	0
<i>Citrobacter freudi</i> ó <i>Budvicia</i> sp.		X	0	4
<i>Citrobacter amalonaticus</i> ó <i>Citrobacter diversus</i>		X	0	39

<i>Enterobacter cloacae</i> ó <i>E. dissolvens</i> ó <i>E. imipressuralis</i> ó <i>E. sakazakii</i> ó <i>E. taylorae</i>		X	0	17
<i>Erwinia tracheiphila</i> ó <i>Erwinia rubrifaciens</i> ó <i>E. salicis</i>	X		17	0
<i>Erwinia cacticida</i> ó <i>E. mallotivora</i> ó <i>E. nigrifluens</i> ó <i>E. persicinus</i> ó <i>E. psidii</i> ó <i>E. quercina</i> ó <i>E. rhapontici</i> ó <i>E. rubrifaciens</i> ó <i>E. salicis</i> ó <i>E. stewartii</i> ó <i>E. tracheiphila</i>		X	0	4
<i>Escherichia Coli</i> , <i>Escherichia fergusonii</i>		X	0	39
<i>Escherichia hermannii</i> ó <i>Leclercia adecarboxylata</i>		X	0	57
<i>Klebsiella pneumoniae</i> subsp. <i>Rhinoscleromatis</i> ó <i>Yersinia mollaretii</i> ó <i>Y. pestis</i> ó <i>Y. rohdei</i>	X		4	0
<i>Salmonella bongori</i> ó <i>S. ch. subsp arizonae</i> ó <i>S. ch. subsp choleraesuis</i> ó <i>S. ch. subsp diarizonae</i> ó <i>S. ch. subsp houtenae</i> ó <i>S. ch. subsp indica</i> ó <i>S. ch. subsp salamae</i>		x	0	13
<i>Yersinia aldovae</i> ó <i>Y. bercovieri</i> ó <i>Y. mollaretii</i> ó <i>Y. pseudotuberculosis</i> ó <i>Y. rohdei</i>	X	X	4	4
<i>Yersinia frederiksenii</i> ó <i>Y. intermedia</i> ó <i>Y. kristensenii</i>		X	0	30

En cuanto a la variación espacial en la contaminación bacteriológica, en temporada seca el número de especies vario de cero a cuatro; mientras que en época de lluvias el 13% de los sitios presentaron ausencia de bacterias fecales, para el resto de los cuerpos de agua se identificaron de 2 a 13 especies diferentes, dos o más veces que en el muestreo realizado en la época de secas. Las diferentes cuencas presentaron ausencia y presencia con un alto número de especies de bacterias termoestables; donde los sitios Las Cruces y El Sauz fueron los sitios con mayor número de especies. Esto nos indica que las fuentes de agua en las cuencas no son aptas para consumo humano a excepción de la fuente de agua Oropeo la cual fue la única sin presencia de especies de bacterias en ambos muestreos realizados (Rep esp. 15).



Rep. esp. 15. Número de bacterias determinado en temporada a) seca b) lluvias.

#### **4.4 Índice de Calidad de Agua**

El Índice de Calidad del Agua (ICA) reunió en un solo indicador, la condición del agua en fuentes comunitarias con base en los parámetros fisicoquímicos y biológicos antes analizados en detalle. Un ICA con valores de 90 y más calificó como agua Excelente, aunque ninguna de las fuentes analizadas en este estudio alcanzó dicha categoría. Valores de ICA entre 70 y 89 inclusive, correspondieron con agua de calidad Buena, y entre 50 y 69 de calidad Regular. En este apartado se presenta primero el comportamiento del ICA entre estaciones seca y de lluvias, y luego su análisis espacial en el área de estudio completa.

##### ***4.3.1 Variación temporal de la calidad del agua***

El análisis temporal refiere a un contraste estacional de resultados (lluvias – secas) debido a que los muestreos realizados se llevaron a cabo a finales de las temporadas estacionales más representativas de la región.

Los resultados mostraron diferencias ligeras entre las temporadas de lluvias y secas sin que ocurrieran cambios relevantes en la categoría de calidad de agua en una misma fuente entre ambas estaciones.

En temporada seca la calidad del agua disminuyó en algunas fuentes de agua pasando de buena a regular, causada por los parámetros Sulfatos, Dureza, Alcalinidad, Turbiedad, CT y *E. coli*; ello se debe a que durante el estiaje se produce un incremento en la concentración de sustancias por la disminución del volumen de los cuerpos de agua. El ICA mostró una mejor calidad de agua de los manantiales en ambas temporadas en las diferentes cuencas (fig. 23 a, b y c).

##### ***4.3.2 Variación espacial del Índice Calidad del Agua.***

La variación espacial en esta sección al igual que en la anterior hace referencia a la comparación entre cuencas. En ellas predominó agua de Regular calidad en época seca, mientras que en temporada de lluvias el aumento de la calidad del agua fue mayor en las fuentes en las tres cuencas dominando agua de Buena calidad,



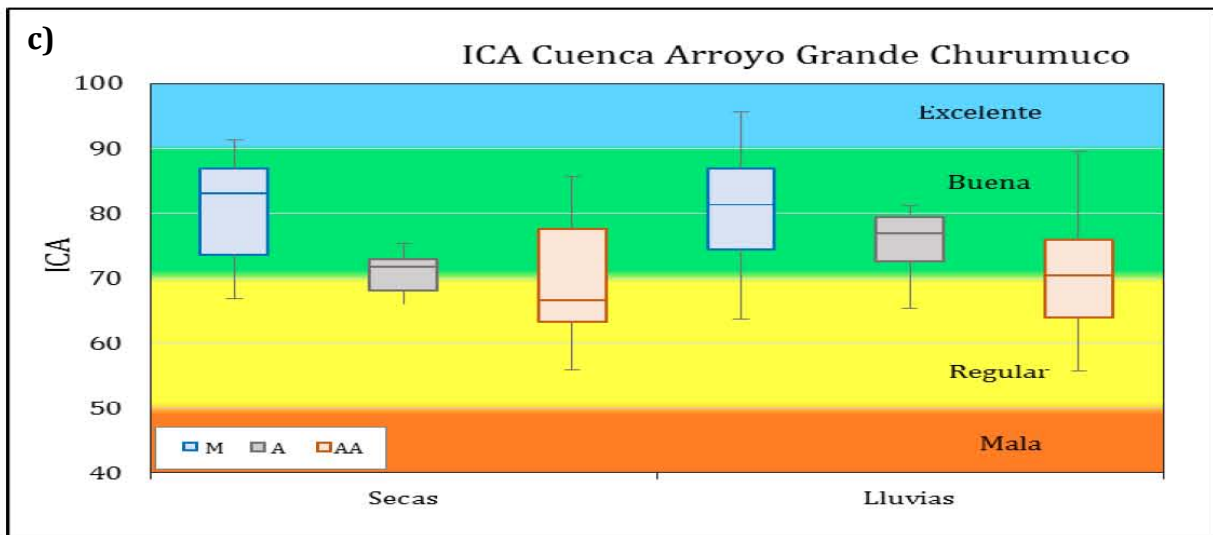
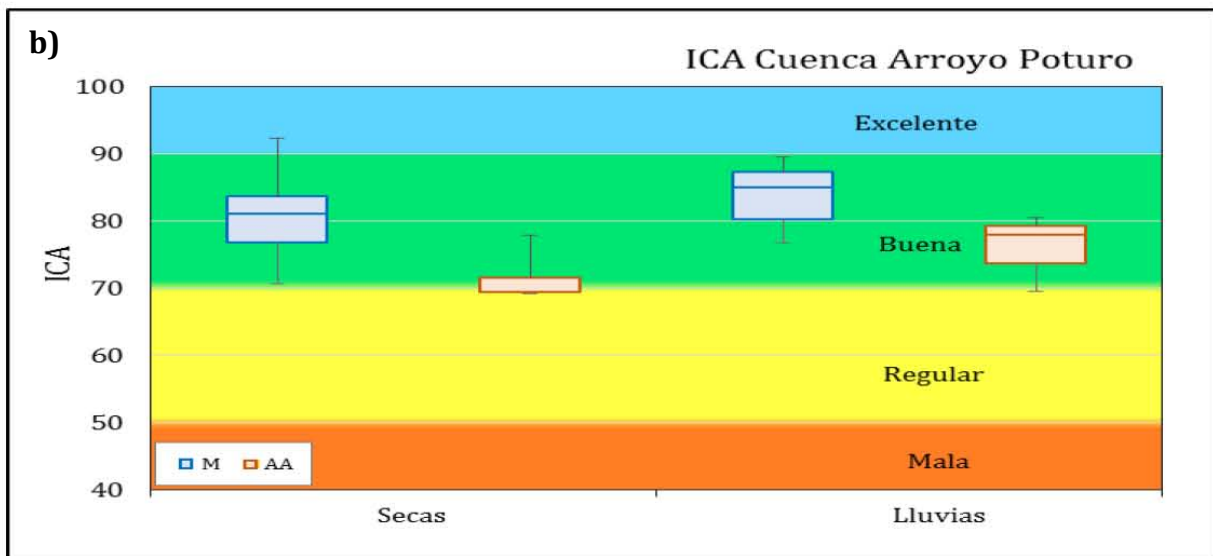
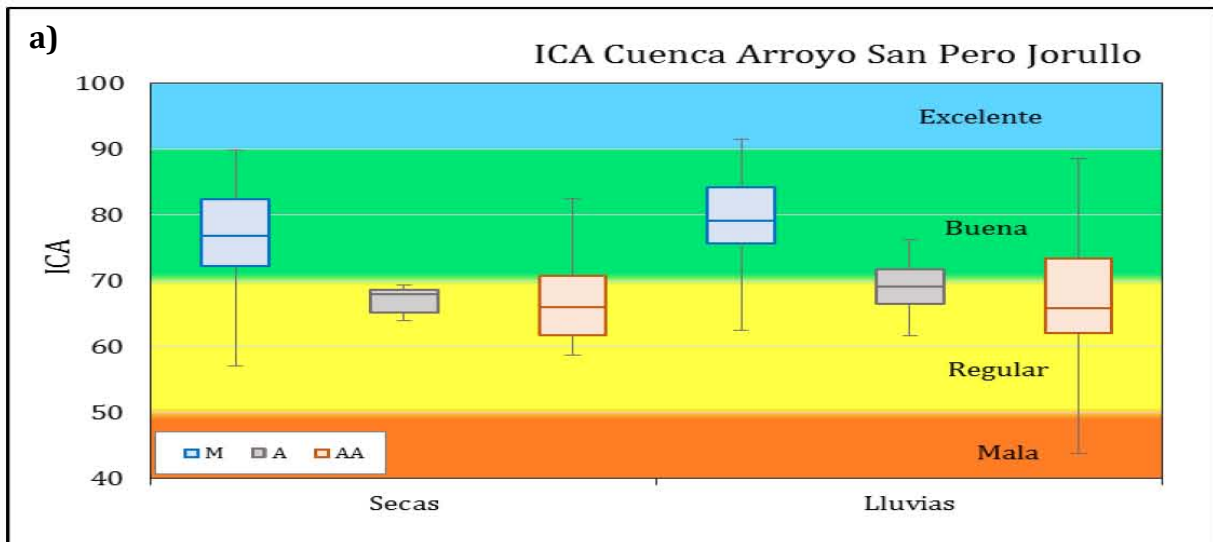


Fig. 23. Índice de la Calidad del Agua en los diferentes cuerpos de agua en las cuencas a) San Arroyo Pedro Jorullo, b) Arroyo Poturo y c) Arroyo Grande Churumuco. M - Manantial, A - Agua superficial, AA - Acuífero Aluvial. Promedio, máximo y mínimo y desviación estándar.

principalmente en la Cuenca Arroyo Poturo donde todas sus fuentes presentaron agua de buena calidad en esta temporada estacional. Esto nos indica que las fuentes de agua requieren de purificación menor a mayor; debido a que se presentaron concentraciones fuera de lo establecido en la NOM-SSA-127 en más de la mitad de los parámetros utilizados para la construcción del ICA (Rep. esp. 16).

#### 4.4 Calidad de agua y salud familiar

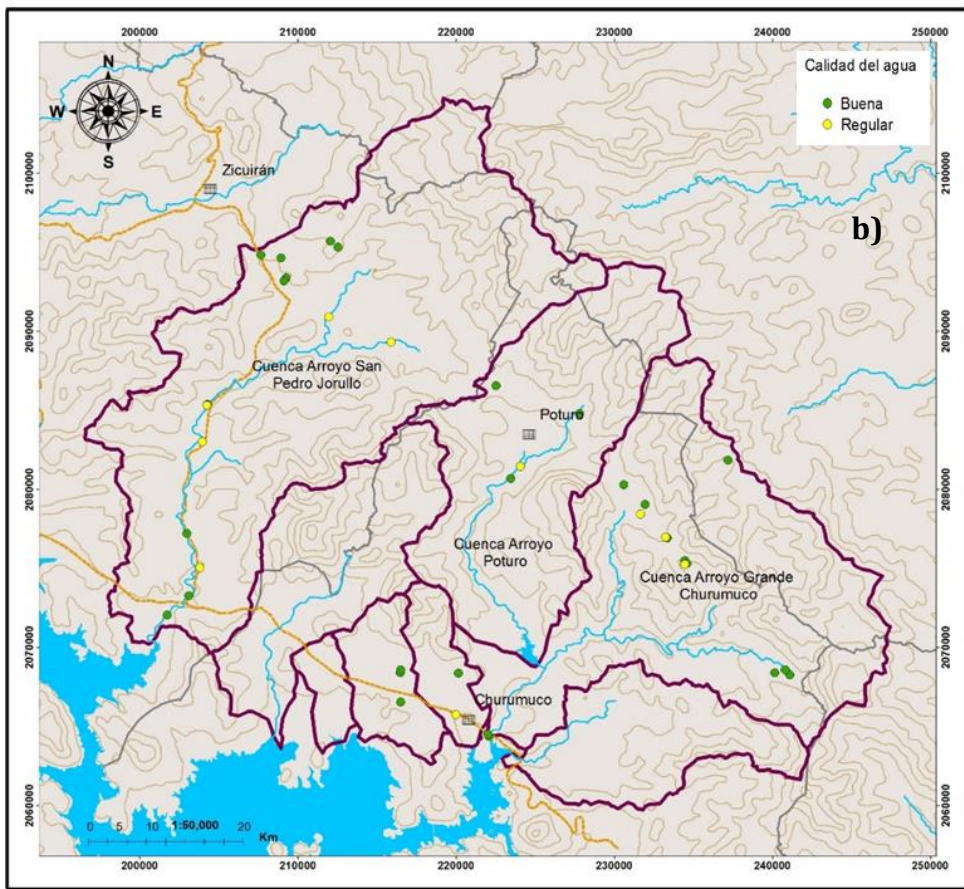
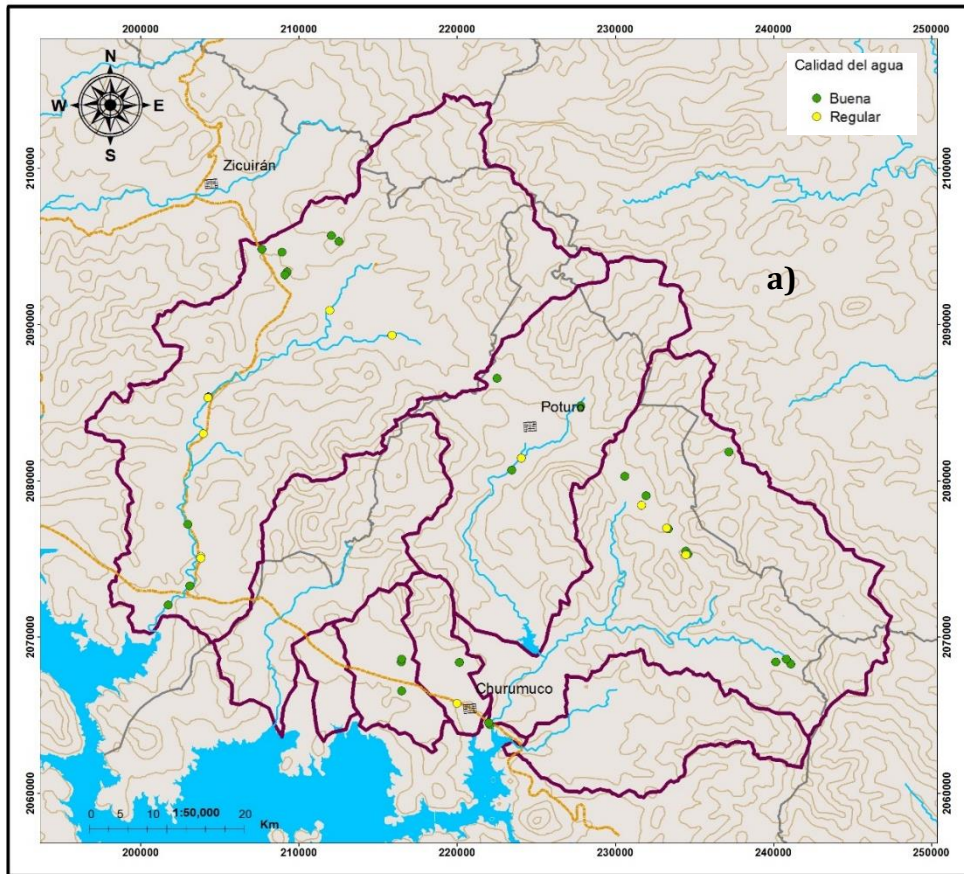
A continuación se describe el resultado del segundo objetivo riesgos para las poblaciones locales de la calidad del agua. A través de encuestas e información recopilada de las casas de salud de las cuencas de estudio.

##### 4.4.1. Manejo del agua doméstica y salud familiar

La encuesta para reconocer el manejo intra-domiciliario del agua y la incidencia de enfermedades transmitidas por el agua en las familias del Bajo Balsas fue aplicada en 203 viviendas. De estas 47 fueron descartadas debido a datos incompletos o a informantes que tenían menos de 20 años o que carecían de conocimiento suficiente del tema en sus hogares. El análisis final se realizó con 156 encuestas con una cobertura de 16 localidades. De estas, el 85 % fueron contestadas por mujeres a cargo de la familia con las restantes por hombres (Cuadro 13).

Cuadro 13. Perfil de la muestra de informantes sobre el manejo domestico del agua		
Cobertura espacial	19 localidades	
# total de encuestas aplicadas	203	
# de encuestas analizadas	156	
Localidades	16	
Perfil de los encuestados	Hombres : 15%	Mujeres: 85%
	Edad: 22-90	Edad: 20-93
	Campeños: 56%	Adultas: 100%
	Escolaridad: Analfabetas (41%)	Encargadas del hogar : 89%
		Escolaridad: Primaria (31%)
Han recibido información	50%	





Rep. esp. 16. Distribución espacial de las fuentes de agua de acuerdo al ICA en a) época seca (mayo), y b) época de lluvias (octubre)

Los resultados mostraron que el agua para consumo doméstico en los hogares rurales de esta región es obtenida desde la red de agua de sus poblados en un 48% de los casos, o adquirida en pequeñas purificadoras locales (43%). Algunas familias la obtienen directamente de las aguas superficiales (arroyos) (8%) y norias familiares (1%). La cual es almacenada en garrafones, botes, entre otros (Fig. 24).

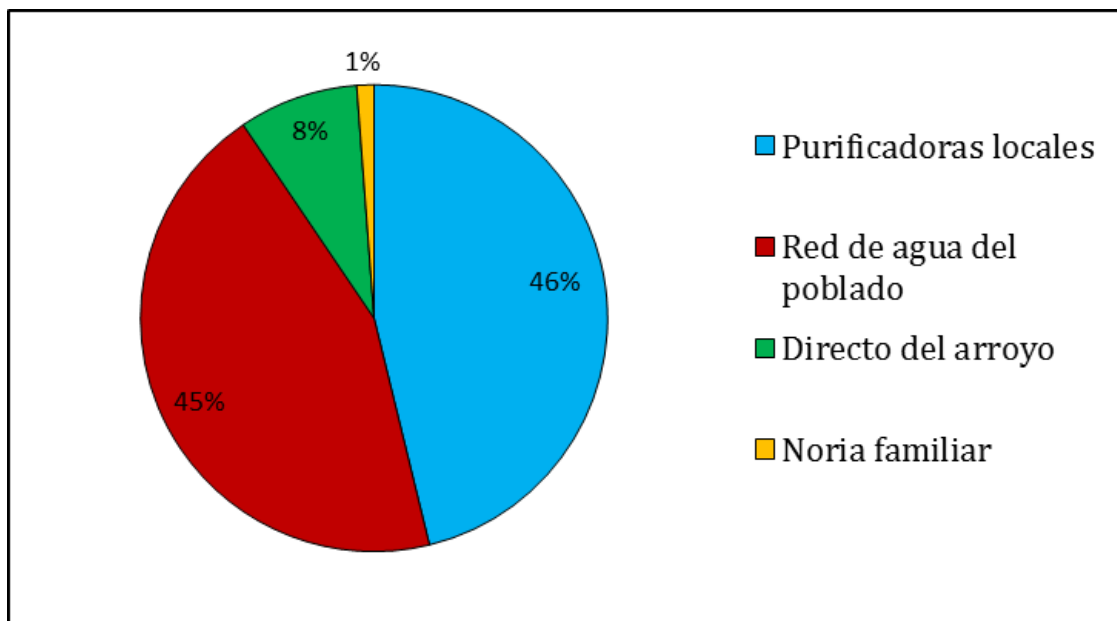


Fig. 24. Procedencia del agua de consumo doméstico en las comunidades rurales.

El agua para uso en las actividades del hogar (bañarse, lavar, ect.) es obtenida también de la red de agua del poblado principalmente (80%), seguida por directamente del arroyo ( 11%), así como de norias familiares (9%) (Fig, 25). Los tipos de almacenamiento mencionados para el agua utilizada para las actividades del hogar son botes y tinacos de plástico comerciales (tipo marca Rotoplas).

Para evitar enfermedades gastrointestinales causadas por el consumo de agua contaminada por enterobacterias el 49% de los hogares de las comunidades rurales mencionaron desinfectar el agua de consumo con los desinfectantes que les proporcionan en las casas de salud o bien con aquellos que estén al alcance de su economía y que han demostrado eficiencia en la desinfección del agua (Fig 26).

En relación con la incidencia de enfermedades en la familia que puedan estar relacionadas con el agua, el 48% de los hogares encuestados mencionaron que han sufrido de algún síntoma de las enfermedades transmitidas por el agua. Los signos y síntomas más mencionados son diarrea, dolor abdominal y vomito; los cuales en su mayoría duran

menos de tres días; aunque en algunos casos mencionaron que estos síntomas se presentan de tres días a una semana. Los encuestados refirieron que los más afectados son los niños, mientras que los jóvenes son los menos afectados por las enfermedades transmitidas por el agua (Fig 27).

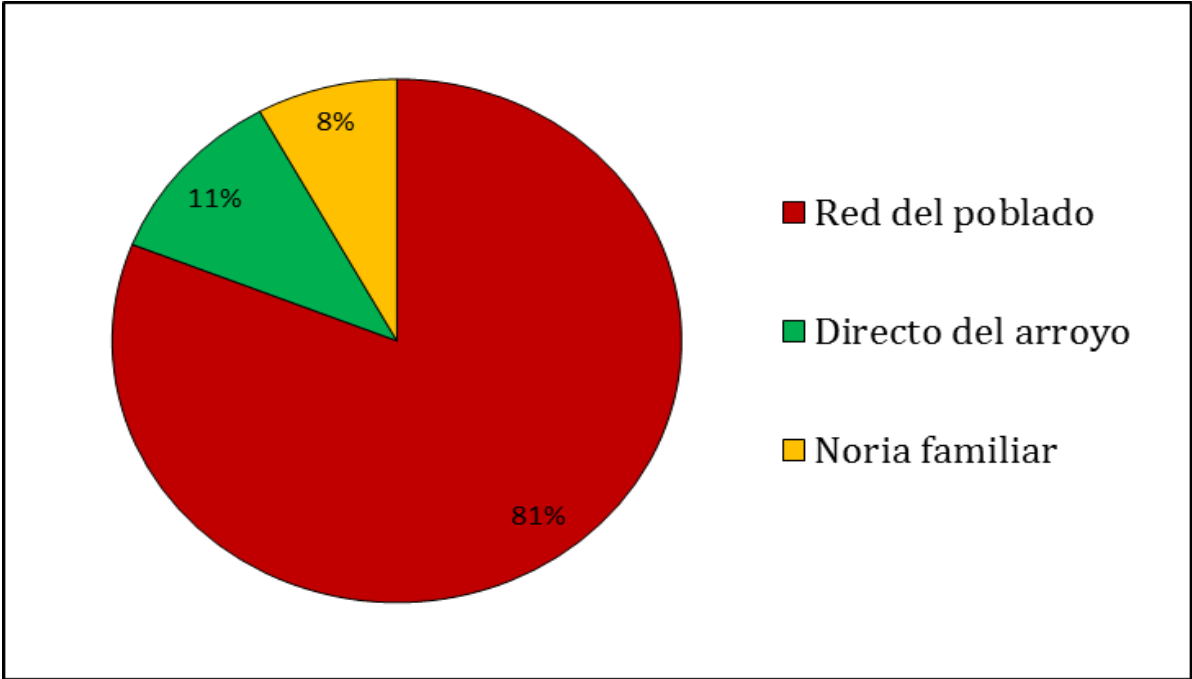


Fig. 25. Procedencia del agua de uso doméstico en las comunidades rurales.

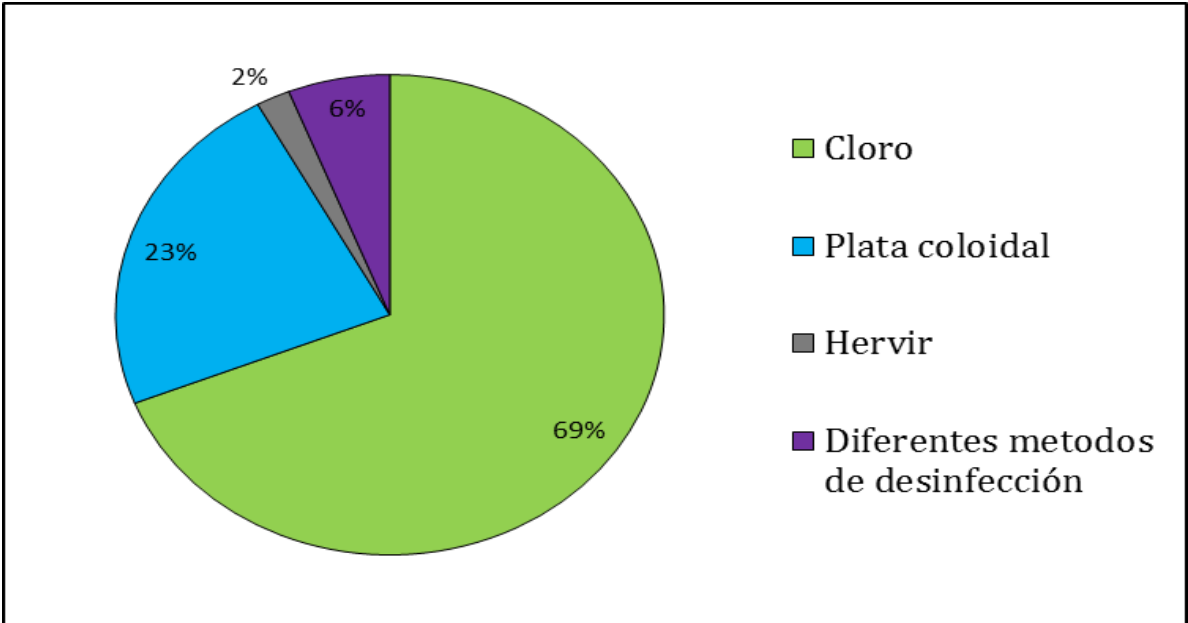


Fig. 26. Métodos de desinfección del agua de consumo humano de las comunidades rurales.

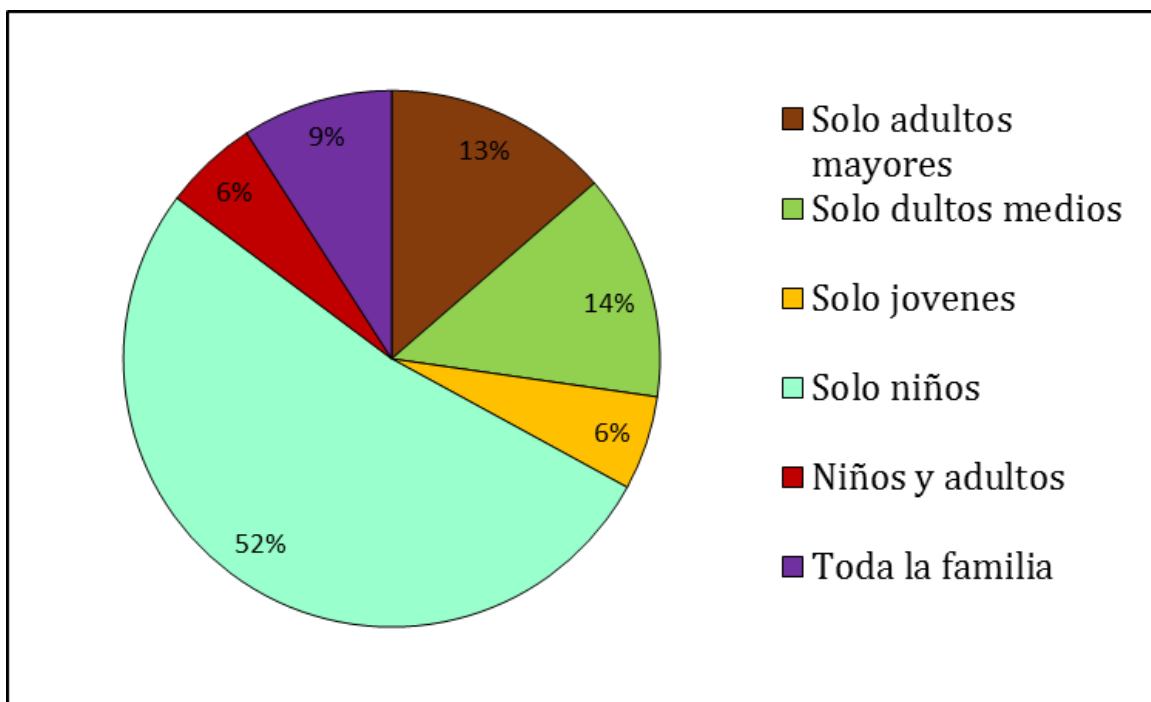


Fig. 27. Grupo dentro de la familia que son afectados por enfermedades relacionadas con el agua, de acuerdo a la percepción de los encuestados (n=181).

De acuerdo con la totalidad de la muestra de encuestas aplicadas, la presencia de enfermedades de este tipo fue ubicada principalmente a inicio de la época de lluvias (60%), mientras que el 72% de las familias indicaron que estos síntomas se presentan solo una vez al año con una recurrencia anual (44%). Así mismo el 70% mencionó que se atienden en las casas de salud o médicos particulares, así como en casa (33%). Aun cuando reciben asistencia médica el 70% de las familias encuestadas mencionó no saber el diagnóstico médico, únicamente reciben indicaciones para aliviar y prevenir estas enfermedades (Fig. 28). En ninguna comunidad encuestada se presentó casos de muerte a causa de alguna enfermedad transmitida por el agua.

Las poblaciones donde el 50% o más de las familias presentan síntomas de enfermedades transmitidas por el agua fueron **en su mayoría** comunidades pequeñas, a excepción de Churumuco; en el caso de las comunidades más grandes estas suelen presentar un menor número de familias que en algún momento han padecido síntomas de las enfermedades transmitidas por el agua (Fig. 29).

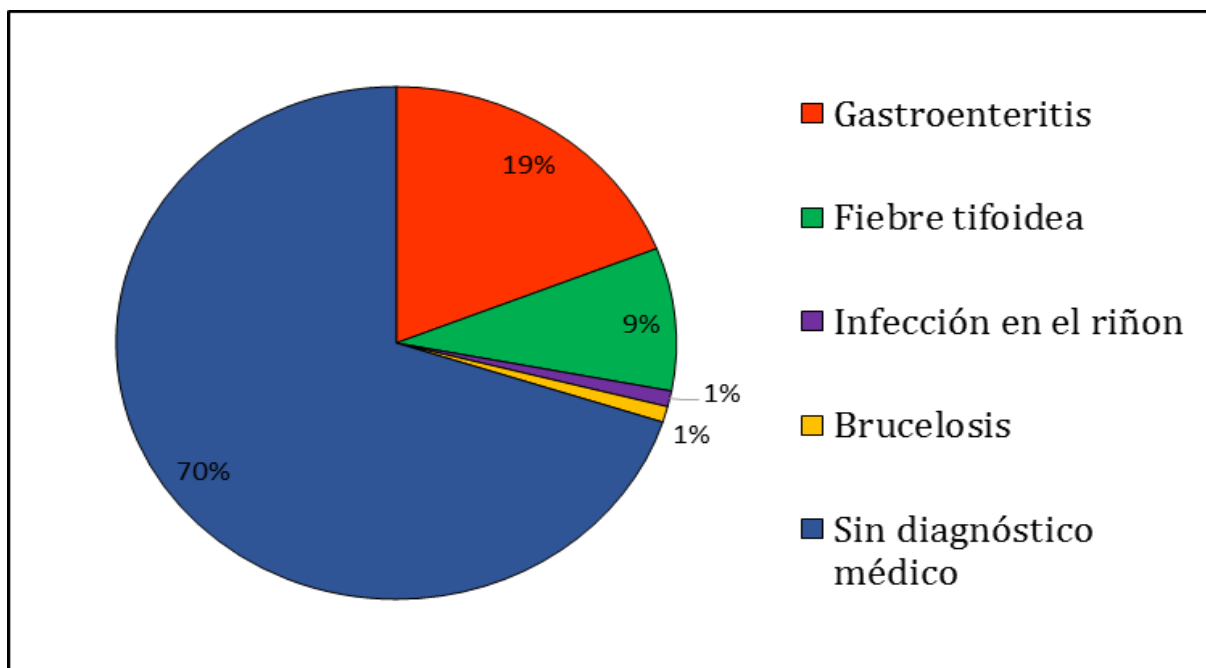


Fig. 28. Enfermedades relacionadas con el agua, padecidas en las familias de acuerdo a los encuestados (n=181).

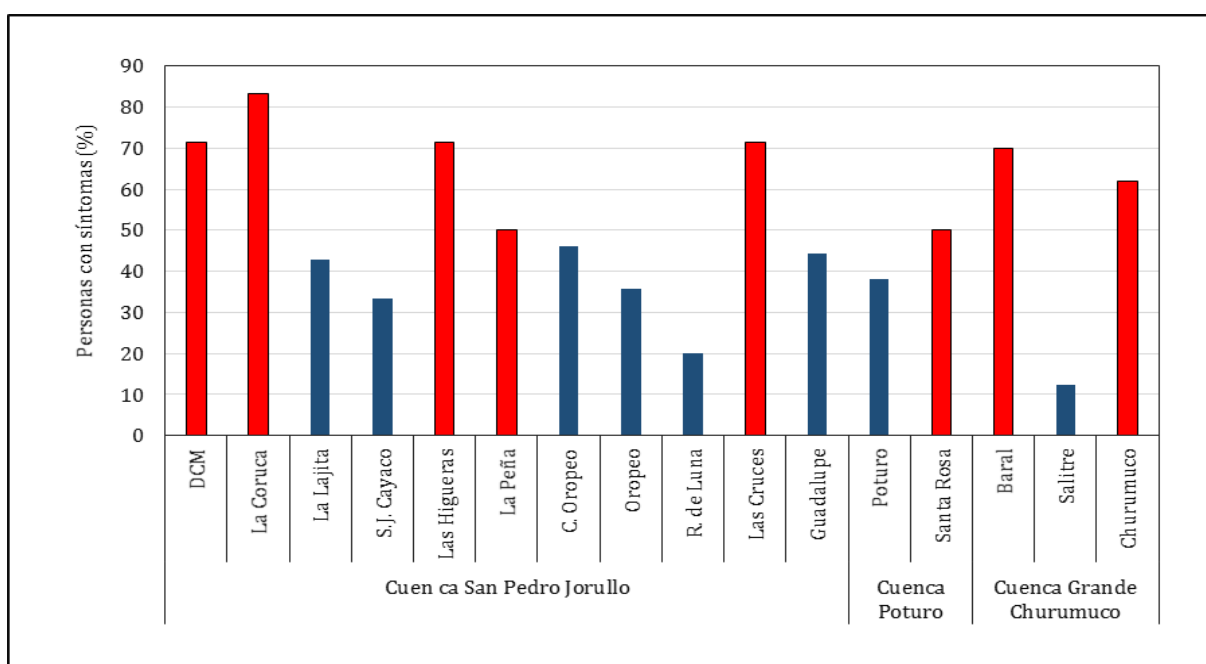


Figura 29. Incidencia de personas con síntomas de enfermedades transmitidas por el agua en las diferentes comunidades rurales.

Debido a la amplia distribución de la contaminación bacteriológica y a otros parámetros fuera de norma, el 100% de los habitantes de las localidades analizadas en este estudio se ve expuesto a sufrir impactos en su salud por la mala calidad del agua. La amplia presencia de bacterias CT en las fuentes de agua es la principal amenaza a toda la

población rural del parrea de estudio (Cuadro 14). Esto es solo una estimación dado que no en todos los casos, todas las viviendas se abastecen de la misma fuente, aunque en la mayoría de localidades, la fuente comunitaria es utilizada por casi la totalidad de familias.

Cuadro 14. Porcentaje de la población afectada por los parámetros que rebasaron el límite establecido en las normas mexicanas.	
Parámetro	% población afectada
Turbidez	80
Sulfatos	5
Nitratos	3
Dureza	7
Alcalinidad	3
Coliformes T.	100
<i>E. coli</i>	69

#### 4.4.2 Información de las Casas de Salud regionales

La bases de datos proporcionadas por las Casas de Salud de Poturo (Municipio de Churumuco) y Oropeo (Municipio La Huacana), abarcan seis años de registro (2005 – 2010) de pacientes atendidos con diferentes padecimientos como es alacranismo, cáncer de mama, cólera, Enfermedades Diarreicas Agudas (EDA's), tuberculosis, entre otras; en ellos reportan los casos de incidencia por semana de los diferentes padecimientos de los seis años, el total por año, la población, así como la tasa.

En estas bases de datos, se reportan únicamente las EDA'S sin indicar otras enfermedades transmitidas por el agua. De acuerdo a estos registros, estas Casas de Salud anteriormente atendieron entre de 240 a 450 casos por año en cada unidad sanitaria, aumentando los casos en los meses de noviembre y diciembre; mientras que, EDA'S >5 años los casos registrados fue de 88 a 185 por año, aumentando las consultas en temporada de lluvias (Julio, agosto y septiembre, (Fig. 30). En la casa de salud de Churumuco las gastroenteritis son las enfermedades más frecuentes seguida por fiebre entérica sin registro de otras enfermedades ni muertes a causa de las enfermedades por bacterias presentes en el agua en ninguna de las casas de salud. En este centro de salud los casos de gastroenteritis suelen aumentar en temporada seca registrando marzo, abril y mayo como los meses con mayores registros.



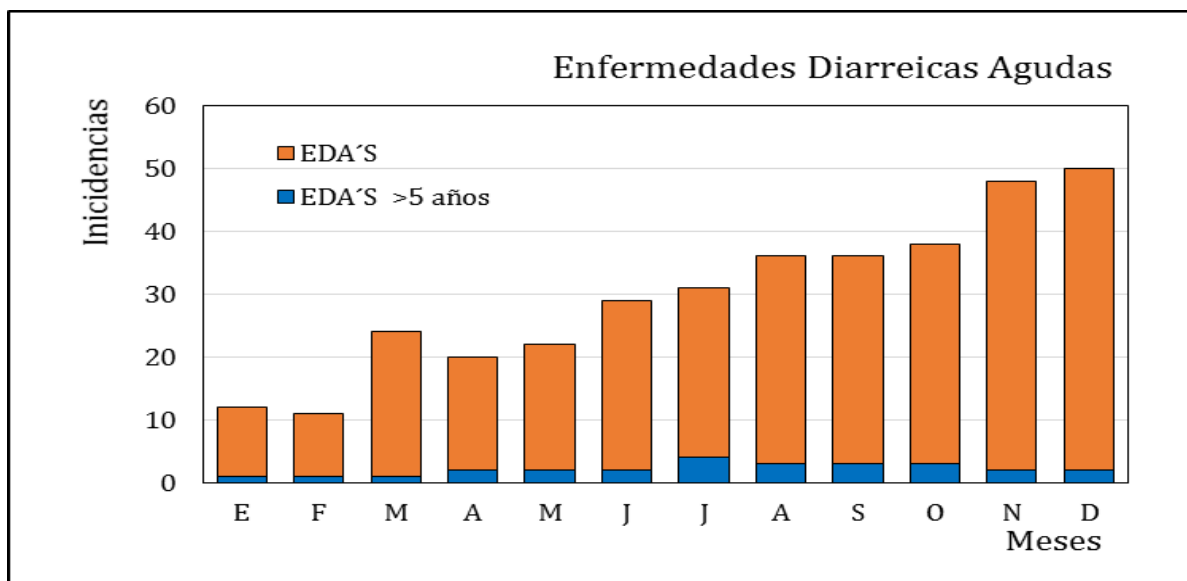


Fig. 30. Promedio de incidencias de consultas de EDA'S y EDA'S >5 años entre los años 2005 - 2010 en las comunidades de Poturo y Oropeo.

De acuerdo a la médica responsable de la Casa de Salud de Churumuco (Dra. Laura Camacho Núñez), los niños y adultos mayores se ven más afectados por estas enfermedades y en menor cantidad la población económicamente activa (20 a 50 años).

Los géneros más frecuentes registrados como los causantes de las enfermedades gastrointestinales son *Escherichia sp.* y *Salmonella sp.*, si bien debe señalarse que en estas casas de salud no se realizan análisis más completos para la determinación de otras bacterias debido a que estos requieren un pago adicional por parte del paciente, lo cual queda fuera del alcance económico en estas comunidades. Por ello, los datos disponibles mostraron un insuficiente diagnóstico sobre las bacterias patógenas y la definición de las enfermedades que puedan estar incidiendo en la salud de la población regional.

Para ampliar el análisis del cuadro sanitario potencial en el área de estudio y considerando los resultados del Cuadro 12 se asociaron los géneros patógenos identificados en las fuentes de agua con las enfermedades (Cuadro 15).

Los resultados obtenidos de las encuestas aplicadas en las diferentes comunidades y los datos obtenidos de las Casas de Salud presentaron semejanza en las enfermedades más frecuentes, ubicando a las EDA's como las enfermedades más comunes causadas por el deterioro de la calidad del agua.

La información obtenida en las casas de salud fue escasa debido a que sus registros se limitan a enfermedades más frecuentes no llevando una relación de aquellas enfermedades menos comunes; además de la falta de recursos económicos para poder

Cuadro 15. Géneros de bacterias patogénicas encontradas en fuentes de agua en localidades rurales, y enfermedades asociadas. Fuentes: Vizcaya et al (1999), Scherer & Miller (2001), Correa et al., (2012) Winn et al. (2012).

GÉNEROS CONFIRMADOS	
GÉNERO	ENFERMEDADES
<i>Escherichia</i>	Síndrome urémico hemolítico, colitis hemorrágica, meningitis neonatal, infecciones de las vías urinarias, gastroenteritis.
<i>Hafnia</i>	Gastroenteritis, bacteriemia, neumonía, meningitis, infección de herida operatoria, endoftalmitis y abscesos
<i>Edwarsiella</i>	Sepsis, artritis séptica, meningitis e infección urinara, gastroenteritis
<i>Citrobacter</i>	Infecciones urinarias, respiratorias, intraabdominales , tejidos blandos, osteomielitis, meningitis neonatal, gastroenteritis, abscesos cerebrales, ventriculitis
<i>Yersinia</i>	Infecciones gastrointestinales, linfadenitis mesentérica, septicemia, peste neumónica, la peste bubónica y peste septicémica
<i>Enterobacter</i>	Infecciones urinarias, meningitis neonatal, enteritis, sepsis, cerebritis, enterocolitis necrosante
<i>Erwinia</i>	Infecciones urinarias
<i>Klebsiella</i>	Infecciones del tracto urinario, neumonías, sepsis, rinoescleroma, rinitis atrófica, endocarditis infecciosa
<i>Pantoea</i>	Meningitis neonatal, infecciones urinarias, sepsis
<i>Providencia</i>	Infecciones urinarias y gastrointestinales
<i>Salmonella</i>	Fiebre tifoidea, gastroenteritis, septicemia
<i>Budvicia</i>	Sepsis
<i>Leminorella</i>	Abscesos
<i>Morganella</i>	Infecciones urinarias
GÉNEROS POTENCIALMENTE PRESENTES	
<i>Cedecea</i>	Bacteriemia
<i>Leclercia</i>	Bacteriemia

determinar otro tipo de enfermedades y el patógeno causante. Ello indica una incapacidad en los servicios de salud pública para atener los riesgos a la salud causados por el deterioro de la calidad del agua. Las personas de las rurales se ven obligadas a atender sus problemas de salud en casa, con médicos particulares o en otros poblados. La



necesidad de un mejor servicio de la salud en esas comunidades para controlar y prevenir enfermedades causadas por el consumo de agua contaminada por bacterias se refleja en los resultados obtenidos en los análisis realizados en el laboratorio, ya que los géneros de bacterias identificados en las casas de salud son pocos comparados con los determinados en el laboratorio donde fueron 14 especies más que las determinadas en las casas de salud. Tales especies causan no solo enfermedades gastrointestinales como lo registrado en las casas de salud si no también llegan a causar síndromes y hasta enfermedades infectocontagiosas; para las cuales las casas de salud no se encuentran preparadas.

Pese a lo mencionado y tomando en cuenta que en las fuentes de agua se identificaron hasta seis especies diferentes por estación, el consumo de agua de estos cuerpos es un riesgo para la salud de las poblaciones de las cuencas de estudio aun cuando no parece ser un problema grave a percepción de las personas de estas localidades por lo que es necesario tomar medidas para controlar y evitar la contaminación por bacterias en estas comunidades previniendo caída de las defensas y el deterioro generalizado de la salud de las personas.

#### **4.5 Factores causantes del deterioro de la calidad del agua**

A continuación se describe los resultados del tercer objetivo: causas naturales o que inciden en la calidad del agua.

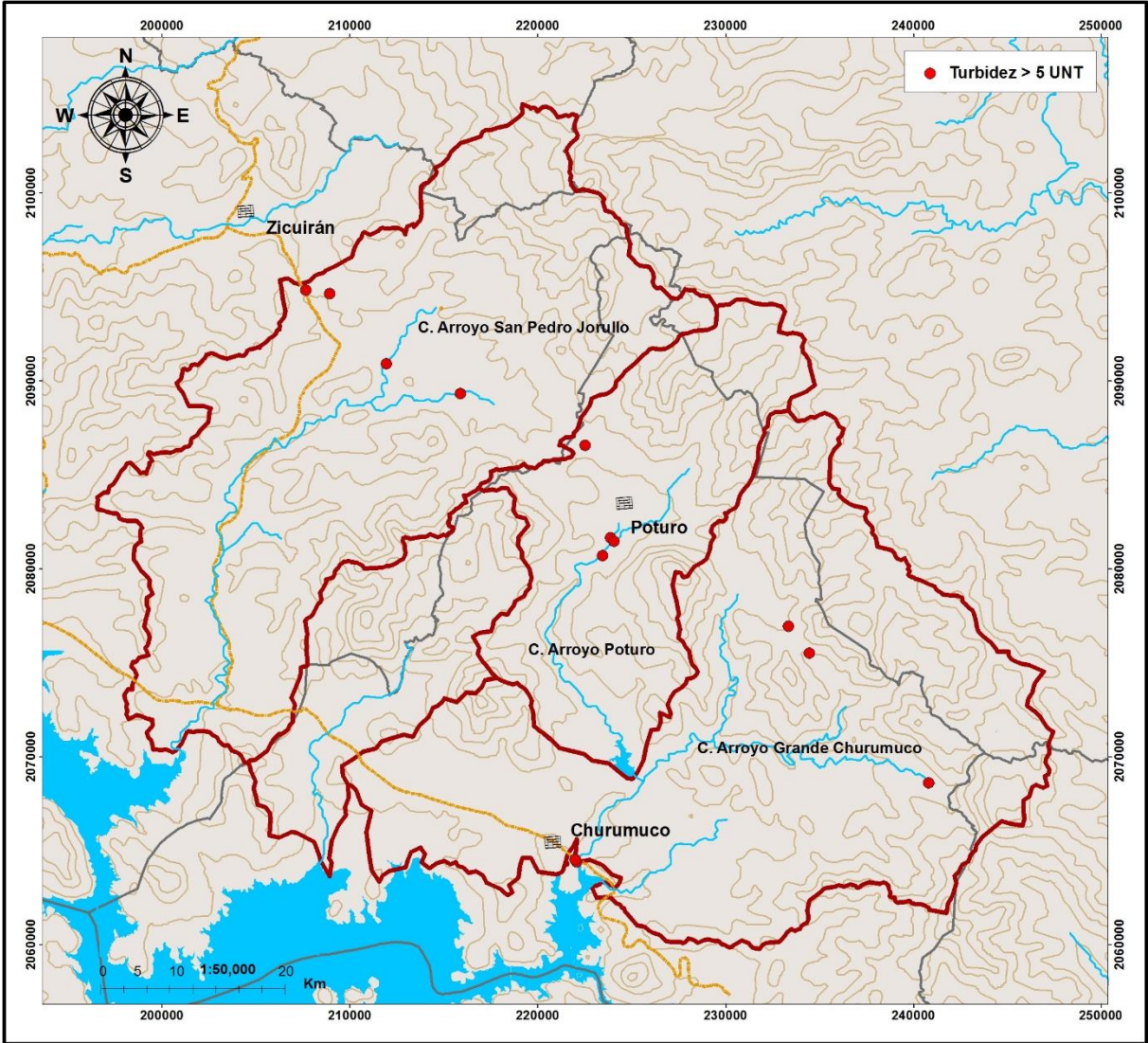
Los 11 parámetros físico-químicos y microbiológicos que determinan la calidad del agua analizados en este estudio mostraron una predominancia de valores dentro de lo establecido en las normas oficiales mexicanas. Sin embargo, se detectaron algunos valores fuera de norma en los parámetros y sitios indicados en el Cuadro 10, generando una reducción del valor del ICA, cuyas causas posibles son analizadas a continuación.

##### *Turbidez*

Una turbidez mayor se presentó en 13 de 41 fuentes de agua al menos en una temporada del año principalmente en época de lluvias. Ello indica que en estos casos este incremento fue originado por causas naturales. La cuenca Poturo fue la más afectada en este parámetro, siendo el sitio Poturo (POT-8), el que presentó el mayor valor fuera de lo establecido en la NOM-127 elevándose hasta 54 veces (Rep. esp. 17). Estos altos valores

de turbidez estimulan la proliferación de bacterias, debido a que las partículas en suspensión son un sustrato para el desarrollo de los patógenos y bacterias fecales, protegiendo a los microorganismos de los efectos de la desinfección.

Aunque los altos valores de turbidez pueden ser de origen natural, las actividades humanas aportan cargas orgánicas que pueden incrementar la turbidez, y que son dañinas para la salud de las personas como son bacterias patógenas causantes de enfermedades gastrointestinales. Por lo que el incremento de la turbiedad en agua para beber puede incrementar la incidencia de enfermedades debido al contenido de coliformes que pueden estar siendo aportadas por las actividades humanas.



Rep. esp. 17. Sitios con concentraciones de turbidez por encima de lo establecido en la NOM-127.

Sulfatos

Las concentraciones de sulfatos se ubicaron por debajo del límite establecido en la norma oficial de agua para uso y consumo humano (400 mg /l) en la mayoría de las fuentes de agua a excepción de tres sitios que rebasaron este límite ubicados en la Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo (CAP-3; CAP-4 Y ORO-1). Esto se debe a que las fuentes de agua son manantiales hipotermales permanentes ricos en esta sal, procedentes de las capas subterráneas de la tierra. Estas fuentes de agua se encuentran en área de influencia del Volcán Jorullo, por lo que las altas concentraciones registradas del sulfato en el agua pudieron ser de origen natural (Fig. 18).



Rep. esp. 18. Sitios con concentraciones de sulfatos por encima de lo establecido en la NOM-127.



### Dureza

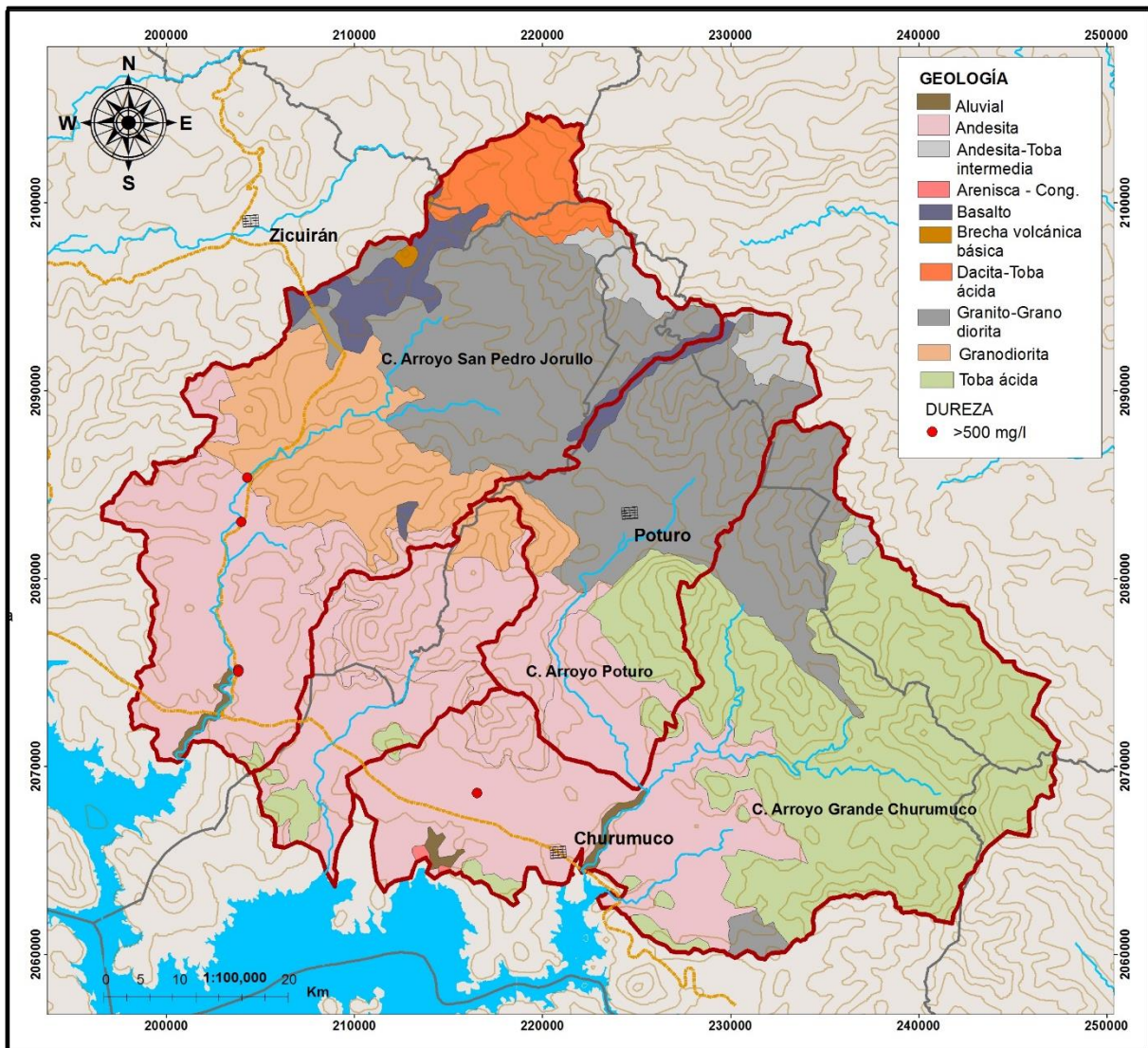
De la totalidad de las fuentes de agua analizadas la mayoría (85%) presentó concentraciones dentro de lo establecido por la NOM-127-SSA1-1994 ubicándose por debajo de los 500 mg/L en ambas temporadas del año. Cinco de las fuentes de agua (ORO-1, GPE-2, GPE-3, CUM-2 y CAP-2) presentaron concentraciones mayores en al menos un muestreo de los cuatro años realizados; es decir, los cuerpos de agua presentaron agua muy dura (Rep. esp. 19). Estas altas concentraciones de sales de magnesio y calcio son suministradas por rocas y el suelo. Estos cuerpos de agua son abastecidos por agua que se mueve entre rocas Andesitas; aunque este tipo de rocas está compuesta en bajas concentraciones de Magnesio y Calcio, ello no explica la presencia de las altas concentraciones de estos elementos por lo que se requiere de análisis más especializados para determinar el origen de las altas concentraciones de Mg y Ca en las fuentes de agua.

La cuenca Arroyo San Pedro Jorullo presentó un mayor número de sitios con altas concentraciones de Carbonatos de Calcio y Magnesio, con el sitio Oropeo como el más afectado por alto valor en este parámetro (Fig. 31). En relación con las otras cuencas, la Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo mostró promedios más altos a lo largo de los cinco años analizados (Fig. 32)

A diferencia de la Norma Mexicana que regula los límites permisibles de calidad del agua, la organización Mundial de la Salud considera el agua con concentraciones de dureza mayor a 180 mg/L como agua muy dura (WHO, 2011), por lo que si se considera este valor más de la mitad de las fuentes de estudio presentaron agua excesivamente muy duras. La ingesta de agua dura puede llegar a causar diversos problemas a la salud de las personas, jugando un papel en el incremento de riesgos de cálculos renales en las personas.

### *Alcalinidad*

La alcalinidad fue otro de los parámetros que presentó concentraciones altas en 3 fuentes de agua de las 41 muestreadas (ORO-1, CUM-1 y CUM-2), los que presentaron concentraciones elevadas. Estas fuentes se ubicaron en las cuencas Arroyo San Pedro Jorullo y Arroyo Grande Churumuco en áreas con sustrato de rocas andesitas (Rep. esp. 20).



Rep. esp. 19. Mapa geológico de la zona de estudio y sitios con concentraciones de dureza por encima de lo establecido en la NOM-127.

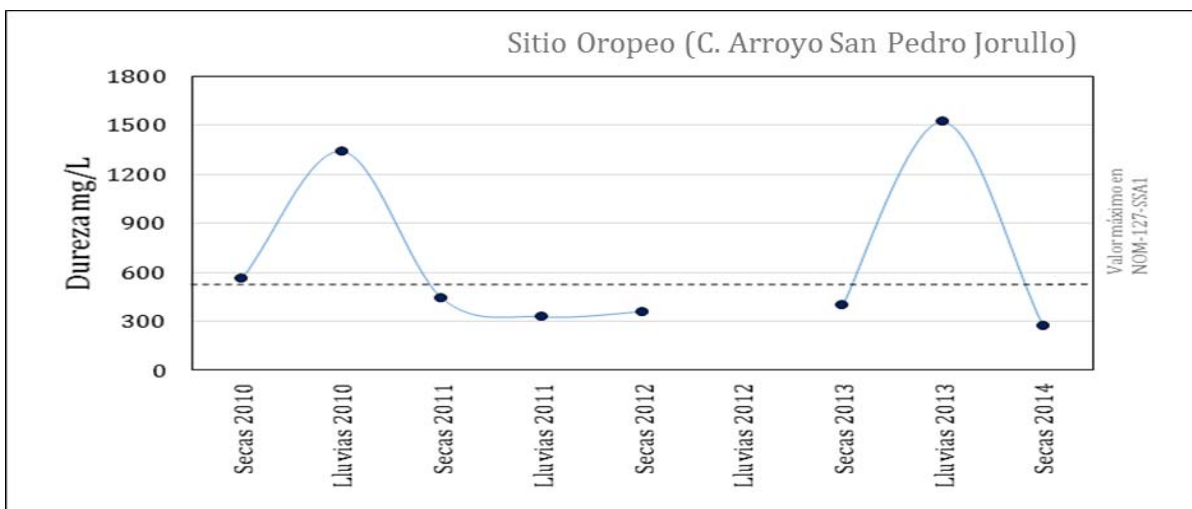


Fig 31. Concentraciones de Dureza durante cinco años de muestreo en Oropeo.

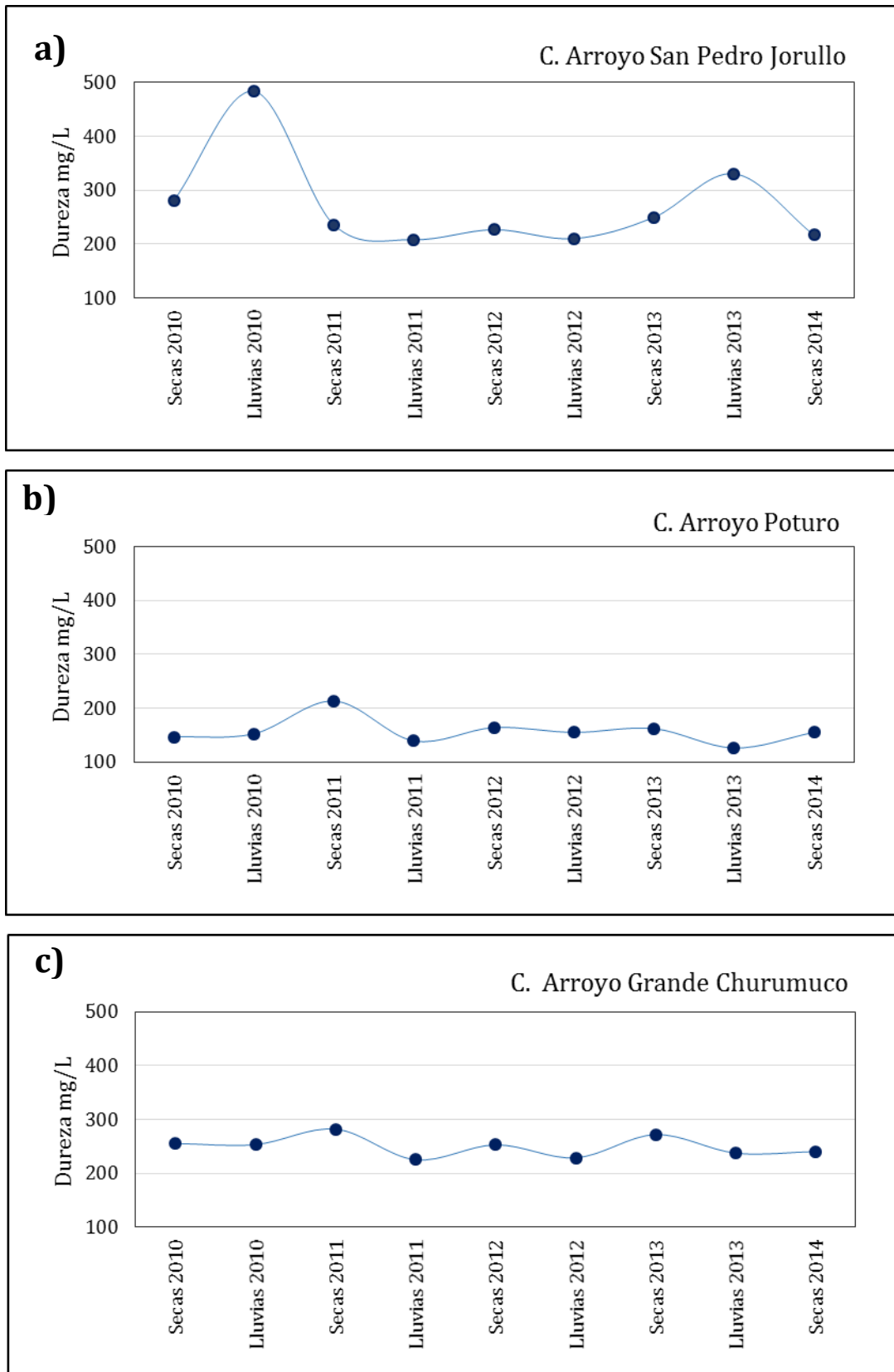
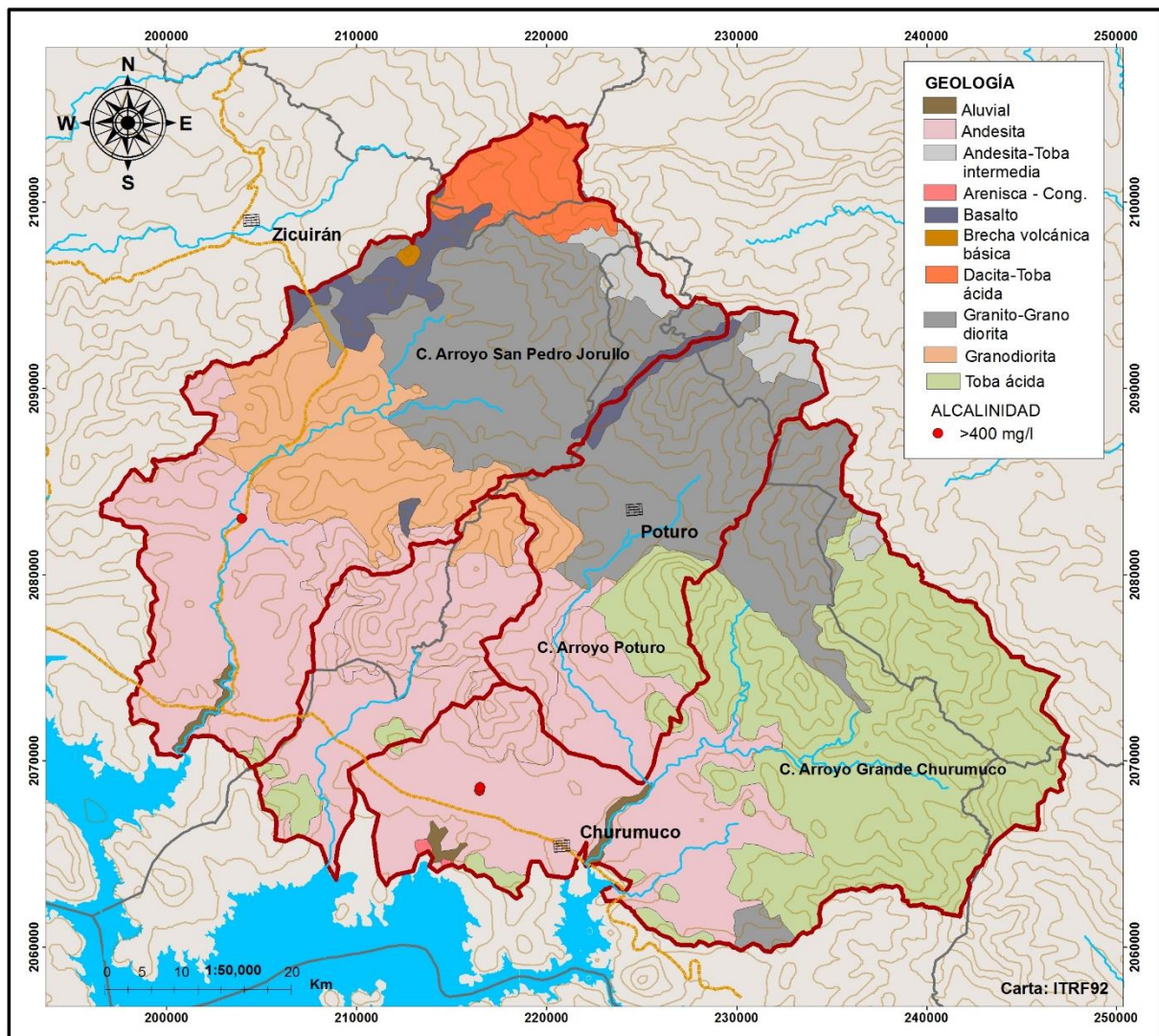


Fig 32. Promedio de las concentraciones de dureza del agua durante los cinco años de muestreo en las cuencas a) San Pedro Jorullo b) Poturo y c) Grande Churumuco.



La alcalinidad de aguas superficiales está determinada generalmente por el contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos. No obstante, algunas sales de ácidos débiles como boratos, silicatos, nitratos y fosfatos pueden también contribuir a la alcalinidad cuando están presentes. Sin embargo, el bicarbonato constituye la forma química de mayor contribución a la alcalinidad.

La alcalinidad y dureza total suelen estar relacionadas, debido a que son afectadas por los mismos minerales. Una de las causas de la alta alcalinidad del agua son las rocas ya que estas pueden contener grandes cantidades de  $\text{CaCO}_3$  causando que el agua sea más alcalina. Aunque la alcalinidad elevada no es necesariamente perjudicial en el consumo humano, si ejerce un efecto negativo en la nutrición de las plantas



Rep. esp. 20. Mapa geológico de la zona de estudio y sitios con concentraciones de alcalinidad por encima de lo establecido en la NOM-127.

### Nitratos

El Nitrato fue otro de los parámetros que mostró altas concentraciones en 6 sitios (15%) ubicados en las Cuencas Arroyo San Pedro Jorullo y Arroyo Grande Churumuco, los cuales presentan concentraciones por encima de lo establecido en las normas oficiales hasta 17 veces más, tal es el caso de Oropeo. En general los nitratos se encuentran presentes de forma natural en el ambiente por lo que cualquier alteración antropogénica modificará las concentraciones de nitratos en el ambiente. Por ejemplo, el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados, así como la contaminación causada por la acumulación de excretas humanas y animales pueden contribuir a elevar la concentración de nitratos en el agua. (Rep. esp. 21). Los nitratos no se adsorben a los componentes del suelo y suelen ser muy solubles en agua por lo que son movilizados con facilidad por las aguas subterráneas y no son adsorbidos por los materiales del acuífero ni precipitan como mineral originando las altas concentraciones en el agua subterránea. El riesgo de consumo de agua con concentraciones altas de nitratos es sobre todo para las poblaciones rurales ya que en estos sitios no vigilan las concentraciones de nitratos periódicamente. Según reportes (Spalding & Exner, 1993; Pacheco & Cabrera, 2003; Perdomo *et al.*, 2001), la ingesta de nitratos mediante el consumo de agua puede llegar a causar methemoglobinemia en infantes menores de seis meses. Por lo que es necesario iniciar con el control del uso del suelo en esta región para evitar la contaminación por nitratos.



Rep. esp. 21. Sitios con concentraciones de alcalinidad por encima de lo establecido en la NOM-

127

### *Coliformes Totales*

Así mismo la norma menciona que el agua no debe presentar organismos coliformes o al menos no deben ser detectables, parámetro que no se cumple ya que el 100% de las fuentes de agua presentan organismos coliformes. Las CT se encuentran presentes tanto en aguas residuales como naturales; algunas son excretadas por heces de personas o animales, pero muchas otras son capaces de multiplicarse en el suelo y medios acuáticos de forma natural (Rep. esp. 22).

Si bien no son útiles como índice de agentes patógenos fecales, pero son indicadoras de presencia de microbios potencialmente patógenos, y por lo tanto son



un índice de deficiencias sanitarias en la fuente de agua. La ingesta de agua contaminada por coliformes incrementa el riesgo de contraer enfermedades en humanos. Por lo que este grupo puede ser útil como indicador fiable para la adecuación de un tratamiento.



Rep. esp. 22. Sitios con presencia Coliformes Totales por encima de lo establecido en la NOM-127

### *E. coli*

Mientras que la presencia de *E. coli* se presentó en el 65% de las fuentes de agua en algún muestreo realizado; es decir, de acuerdo con las normas oficiales estas fuentes de agua no son aptos para uso y consumo humano (Rep. esp. 23).

La especie *E. coli* es un indicador de contaminación fecal superior a cualquier otra especie, debido a que se encuentran casi exclusivamente en las heces de animales de

sangre caliente, incluyendo humanos reflejando así la contaminación fecal en los cuerpos de agua, indicando una amenaza para la salud pública. Ya que esta especie causa una gran variedad de enfermedades intestinales y gastrointestinales.

Clermont et al., (2000) mencionan que una sobrevivencia moderada de *E. coli* puede presentarse a temperaturas de entre 15 – 18°C. Tomando en cuenta la temperatura que presenta esta región que puede alcanzar hasta los 37° C que es la temperatura óptima para esta especie; las concentraciones de *E. coli* son altas en los cuerpos de agua de las cuencas de estudio alcanzando concentraciones de hasta 3300 UFC (La redonda).



Rep. esp. 22. Sitios con presencia *E. coli* por encima de lo establecido en la NOM-127

La calidad de las fuentes de agua es modificada por factores naturales así como antropogénicos provocando en muchas ocasiones que el agua no sea apta para uso y consumo humano y de animales. Los principales factores que limitaron una buena calidad del agua en las fuentes de agua fueron la presencia de coliformes, nitratos, turbidez, sulfatos, dureza y alcalinidad.

Las altas concentraciones encontradas en diferentes parámetros en las cuencas rurales de estudio fue causada por contaminación difusa, esto debido a la exposición que sufren los cuerpos de agua a actividades humanas como es la ganadería y la agricultura. Un número menor de sitios presentó alteraciones en la calidad del agua contaminados de forma natural afectados por la geología local, la Arroyo Cuenca San Pedro Jorullo es la más afectada por estos parámetros.

Por ello estas fuentes de agua no presentan las condiciones apropiadas para ser de uso y consumo para las personas de las comunidades, por lo que es recomendado dar un tratamiento previo al agua de las fuentes que presentan altas concentraciones de contaminantes naturales y antropogénicos; o bien, no ser consumidas y tener otros usos de acuerdo a su calidad.



## CAPITULO 5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 5.1 Discusión general

La mitad (49%) de las fuentes comunitarias de agua en el en el Bajo Balsas mostró valores de los parámetros físico-químicos dentro de los límites permisibles de acuerdo a las normas vigentes en México durante todo el período de muestreo (5 años), mientras que las restantes (51%) mostraron anomalías en algún parámetro y momento específico. Los valores fuera de límites aparecieron principalmente en la dureza, nitratos y turbidez. Las concentraciones de sales de calcio y magnesio que determinan la dureza del agua calificaron como muy altas en las fuentes del Bajo Balsas, con valores mayores a 180 mg/L. La elevada dureza del agua produce obstrucciones y corrosión en los conductos de distribución de agua, propiciando daños en la infraestructura hídrica (Bolaños *et al.*, 2010; Mora & Alfaro, 1999; WHO, 1996). En la salud humana, la exposición de largo plazo a elevadas concentraciones de sales de magnesio en aguas de hasta 300 mg/L mostró efectos positivos contra la incidencia de mortalidad cerebrovascular, una relación directa ampliamente documentada (Anderson *et al.*, 1975; Neri y Johansen 1978, Yang, 1998; Yang *et al.*, 1996,). Por otra parte, la relación entre la dureza del agua y la incidencia de cálculos renales, técnicamente denominada urolitiasis, se ha debatido ampliamente en la literatura médica, con resultados aún controversiales. Mientras algunos estudios han encontrado relaciones positivas entre la dureza en el agua de uso diario y la incidencia de litiasis renal (Bellizi *et al.*, 1999), otros estudios no han encontrado resultados consistentes (Donaldson *et al.* 1979; Schwartz *et al.*, 2000; Sierakowski *et al.*, 1978). Aunque no se conocen datos duros entre la población del Bajo Balsas, el padecimiento de dolores y cálculos renales es una condición recurrente entre la población. Las elevadas temperaturas del aire promueven una pérdida de agua del cuerpo humano por transpiración, reduciendo a mínimos la eliminación de agua corporal vía renal. Estas condiciones de Tierra Caliente, el alto consumo de refrescos y el uso a largo plazo de aguas duras deberán revisarse a profundidad para descartar relaciones coadyuvantes entre estos factores, y tomar medidas precautorias para mejorar este aspecto de la salud pública en la región. La dureza puede también exacerbar la toxicidad de otros metales presentes en el agua como el cobre (Winner, 1985), aunque dichas sustancias no se han detectado en análisis exploratorios de metales en las fuentes de esta región. La dureza puede ser

reducida con tratamientos sencillos mediante el uso de zeolita, una piedra mineral con efectos probados en la reducción de metales disueltos en agua (Badalians *et al.*, 2010).

En cuanto a los parámetros de nitratos y turbidez que alcanzaron valores no permisibles en algún momento del periodo estudiado, estos representan impactos negativos controlables a la salud. Los nitratos no causan grandes problemas a las personas adultas, aunque en niños menores de seis meses pueden causar el síndrome del bebe azul (Arumi *et al.*, 2006). La turbidez excesiva apareció en algunos momentos de la época de lluvias en las fuentes provenientes de acuíferos aluviales. Aunque no se conocen los efectos directos de la turbidez sobre la salud, a largo plazo podría generar azolvamiento en los cuerpos de agua afectando la calidad estética, además de que el proceso de eliminación de los organismos patógenos a través de la aplicación del cloro reducen su eficiencia y protegen a los microorganismos del contacto directo con el desinfectante (OPS, 2005). La acumulación de sedimentos en depósitos y tinacos también propicia un sustrato para la captura de solutos metálicos y la proliferación de bacterias (Marcó *et al.*, 2004), por lo que debe evitarse con técnicas de filtración a la entrada de los dispositivos de almacenamiento (González, *et al.*, s.f.; Sobsey *et al.*, 2008; Witt y Reiff, 1993).

En relación con la calidad microbiológica, las fuentes comunitarias de agua del Bajo Balsas mostraron una condición preocupante debido a la diversidad, concentración y amplia distribución espacial y temporal de bacterias coliformes fecales i.e. termotolerantes. El análisis temporal nos arrojó presencia de bacterias en ambas temporadas estacionales presentándose mayores concentraciones a finales de la época seca y una mayor diversidad a finales de la época de lluvias. Autores como An *et al.* (2002) y Flint (1987), mencionan que los casos de mortandad de coliformes fecales aumentan con el aumento de la temperatura. Ello no coincide con las altas concentraciones que se obtuvieron en este estudio; sin embargo, puede explicar la baja diversidad en esta temporada ya que para algunas especies las altas temperaturas puede aumentar su reproducción como es el caso de *E. coli*, localizada en 16 fuentes de agua; para otras puede causar su muerte. Además de que la gran diversidad de bacterias en las fuentes de agua también es causado por el escurrimiento y arrastre de coliformes provocado por las lluvias (Padilla *et al.*, 2010). Ello coincide con los resultados obtenidos por Emiliani y González (1996) quienes realizaron un estudio en el río Santa Fe en el Salado, Argentina encontrando un aumento en el número de coliformes termoestables debido a las precipitaciones pluviales. Sin embargo, las frecuencias de muestreo de calidad

microbiológica rara vez se ajustan a la variación real, siendo insuficiente para su propósito (Anttila *et al.*, 2011), por ello es recomendable dar un seguimiento mayor a los análisis microbiológicos para una mejor determinación de la calidad microbiológica en la zona ya que la información presente puede no ser lo suficientemente precisa.

En cuencas estacionales, un interrogante se ubica en las variaciones que la calidad del agua pueda presentar en respuesta a los períodos contrastantes de lluvias y secas, que imprimen condiciones totalmente diferentes al sistema hídrico (Ravindra *et al.*, 2003; Wibers *et al.*, 2009). En este estudio, las variaciones estacionales en la calidad del agua fueron evidentes en seis de los doce parámetros evaluados (turbidez, nitratos, dureza, alcalinidad, coliformes totales y *E. coli*). Las fuentes provenientes de acuíferos aluviales mostraron una mayor variación estacional, con una tendencia a reducir la calidad físico-química (con un descenso del ICA de bueno a regular), a finales de la época seca (mayo). Las variaciones estacionales dependen en gran medida del efecto que las lluvias o las sequías tienen sobre la concentración o dilución de sustancias (Machado y Roldán, 1981; Posada *et al.*, 2000; Seisdedo, 2006). En cuencas estacionales de Argentina y Tailandia se ha reportado la disminución en la calidad de agua a finales de la época seca (Bordalo *et al.*, 2001, Pesce y Wunderlin, 2000). Por su parte el ICA mostró patrones espaciales similares entre cuencas sin diferencias importantes; indicando así, que los contaminantes están asociados a diferentes tipos y usos de suelos (Mei *et al.*, 2011), así como a la falta de saneamientos en las tres cuencas. Sin embargo, el ICA indicó una mejor calidad de agua de las fuentes provenientes de manantiales en las tres cuencas, mientras que calidad del agua de las norias varió de buena a regular. Ello coincide con lo reportado por Paéz y colaboradores (2014) quienes determinaron que el ICA fue mayor en manantiales que en norias en el Bajo Balsas alcanzando valores que indicaban agua de excelente calidad en algunos muestreos.

Las variaciones espaciales y temporales en la calidad del agua, así como los valores fuera de los límites permisibles encontrados en el área de estudio, pueden explicarse por la presencia de factores naturales o antrópicos. Las altas concentraciones de la dureza y alcalinidad son causadas principalmente por sales de magnesio y calcio, Harris (2003) menciona que esta condición está dada por la geología en zonas con formaciones de roca caliza; no es el caso en esta región ya que el agua se mueve entre rocas andesíticas, restando aun reconocer el origen geológico de esta característica. La excesiva presencia de nitratos en el agua puede ser resultado del uso de fertilizantes, estiércol u otros

residuos orgánicos. Muñoz y colaboradores (2004) determinaron altas concentraciones de nitratos en el Valle de Huamantla específicamente en lugares con intensa actividad agrícola mientras que Arumi y colaboradores (2006) determinaron que la contaminación por nitratos en algunas áreas en Chile está asociada principalmente a factores como la cercanía de animales en las fuentes de agua. Por su parte, las altas concentraciones de sulfatos detectadas puntualmente en dos fuentes de la Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo (municipio La Huacana), fueron reportados en otros estudios en la misma cuenca (Hacha, 2014; Rodríguez, 2012). Las altas concentraciones de sulfatos son típicas de fuente de agua termales, debido a la mineralización de estas por simple disolución de sustancias solubles en el agua y/o reacciones químicas entre cuerpos ya existentes en el agua sobre los minerales de los terrenos atravesados (Fagundo *et al.*, 2005; San Miguel, 1956), y están explicadas por la presencia del Volcán Jorullo en la parte alta de esta cuenca. El incremento de la turbidez en las fuentes de agua fue generado en época de lluvias, asociada a la ocurrencia de tormentas y lluvias fuertes (Montoya *et al.*, 2011), y el consecuente lavado de los suelos y la re-suspensión del sustrato en las fuentes de agua (Tseng *et al.*, 2000).

La presencia de bacterias entero patógenas es principalmente causada por contaminación fecal. Guevara y colaboradores (2008) determinaron que existe un grado de asociación entre la contaminación microbiana y la presencia de animales domésticos cerca de la fuente o por inmersión de cuerdas que son arrastradas por el suelo contaminadas por la carga fecal cerca de las fuentes de agua.

La contaminación microbiana puede estar relacionada también con las condiciones de las tuberías de entrega del agua (en mal estado, con fugas), la deposición de excretas al aire libre (personas y animales) cerca de la fuente, su utilización como balneario o sitio para labores domésticas como lavado de ropa, animales o vehículos. La disminución en la calidad del agua en las fuentes comunitarias también se origina en el uso inadecuado del suelo y malas prácticas de manejo en áreas circundantes a fuentes de agua que dan lugar al movimiento de lixiviados por escorrentía, así como a la carencia o precariedad de los sistemas sanitarios en las comunidades rurales (Rodríguez *et al.*, 2010). La contaminación de acuíferos aluviales es un problema ya reportado para ambientes rurales, donde el principal agente contaminante es la bacteria *E. coli* (Arcos *et al.*, 2005; Ashbolt *et al.*, 2001; Baccaro *et al.*, 2006; Ramírez, 200; Rodríguez, 2012). Pero los géneros *Budvicia*, *Pantoea*, *Leminorella*, *Marganella*, *Cedecea* y *Leclercia* encontrados en

el Bajo Balsas no son reportados como presentes en otras fuentes rurales de México (Rodríguez, 2012; Ramírez, 2009).

La baja calidad microbiológica del agua hace que el uso de las fuentes comunitarias constituya una amenaza preocupante para la salud de la población local. Los resultados mostraron que las enfermedades diarreicas (EDA's) tienen una incidencia del 71% en niños y adultos mayores de esta región. Aunado a ello, en el 51% de viviendas no se tienen prácticas de desinfección de agua, y en casi la totalidad de poblados los equipos de desinfección comunitarios no funcionan por problemas logísticos, falta de fondos y niveles inadecuados de operación y mantenimiento. Por su parte, las autoridades municipales y de salud no se encargan de la vigilancia de la calidad del agua. Dada la alta marginación de las poblaciones del Bajo Balsas y la fuerte vulnerabilidad social asociada (Mena, en preparación), existe un riesgo importante para la salud de la población rural de esta área.

Las condiciones del Bajo Balsas resultaron similares a aquellas reportadas para los contextos rurales en otros países de América Latina (AL) y otros países periféricos. Los impactos de condiciones inadecuadas del agua varían en función de la edad y el nivel de ingresos, afectando a niños pequeños (1 a 5 años) y a la población pobre principalmente (Merino, 2007). En la India, un país con graves problemas de contaminación y pobreza, 1.5 millones de niños mueren de diarrea, y se pierden 73 millones de días de trabajo debido a enfermedades transmitidas por el agua cada año con una pérdida económica estimada en \$600 millones de dólares al año (OPS, 1995 citado en Aguilar *et al.*, 2000). La desinfección por cloro es la principal práctica intradomiliar en las comunidades rurales en todo el mundo, a pesar de la inquietud respecto a su seguridad. Muchos factores culturales y económicos influyen en la decisión de desinfectar el agua en la casa tales como la disponibilidad, el costo, la logística, y la seguridad (Reid, 1991). La falta de operación de los equipos de cloración en el Bajo Balsas reproduce las condiciones del 75% de los sistemas de abasto comunitarios en AL y el Caribe, los cuales carecen de medidas de desinfección regulares (OPS, 1984 citado por Aguilar 2000, Reif, 1996). La falta de vigilancia sanitaria es otro factor común en América Latina. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (2011) y los Objetivos del Desarrollo del Milenio se estima que ocho países no cumplirán con la meta de saneamiento en el área urbana, mientras que 16 no lo harán en el área rural.

El derecho de acceso universal al agua de calidad apta para el consumo humano, en cantidad suficiente y de fácil acceso para los usos personal y doméstico de las familias es un derecho humano que permitirá obtener seguridad hídrica en esta región. La seguridad hídrica es indispensable en estas comunidades para el buen manejo de cuencas accediendo de esta manera a un desarrollo regional sustentable permitiendo así la planificación de unidades territoriales completas. Las poblaciones rurales de cuencas estacionales deben ser advertidas de los peligros asociados a la calidad del agua, y deben ser dotadas de información, mecanismos y medios de prevención para contar con un agua segura y evitar coadyuvantes del deterioro de la salud pública.

## 5.2 Conclusiones

Las fuentes de abasto de agua en comunidades rurales del sistema hidrográfico Presa Infiernillo-Bajo Balsas ofrecen agua de calidad aceptable o regular en sus parámetros físico-químicos, considerando los límites permisibles para uso humano en las normatividad de México y otras partes del mundo. Las concentraciones altas en algunos parámetros que pueden ocasionar peligros menores a la salud pueden ser subsanadas con la aplicación de técnicas sencillas de tratamiento para el uso doméstico de esta agua.

En estas cuencas estacionales, la calidad fisicoquímica del agua disminuye a finales de la época seca, principalmente en acuíferos aluviales debido a la concentración y fácil dilución de las sustancias y de organismos coliformes debido a la reducción de volúmenes e incremento de las altas temperaturas en esta temporada. El agua de los manantiales es de mejor calidad que la de las norias y en estas se requiere un menor tratamiento para el uso y consumo humano.

El principal problema detectado es la baja calidad microbiológica del agua de las fuentes de abasto comunitario, debido a la presencia extendida espacial y temporalmente de bacterias termoestables, especialmente *E. coli*. Otras 34 especies fueron identificadas, con impactos variables en la salud de la población. Las temperaturas del agua elevadas en esta región pueden favorecer la persistencia de estos agentes contaminantes, por lo que es necesaria la aplicación de medidas de saneamiento básico en áreas circundantes a las fuentes de agua principalmente en norias las cuales son las más afectadas.



El manejo intradomiciliario del agua, así como el registro y atención a enfermedades transmitidas por el agua es muy deficiente en la región de estudio, aun cuando la totalidad (100%) de la población se ve afectada al menos por un parámetro fuera de norma. Ello crea una mayor vulnerabilidad ante la mala calidad microbiológica del agua de las fuentes locales. La diseminación de medios tecnológicos, técnicos e información para el tratamiento del agua de uso doméstico a nivel comunitario y domiciliario son fundamental en este sistema hidrográfico.

Finalmente, la disminución de las fuentes contaminantes de carácter patogénico requiere del ordenamiento de áreas ribereñas y líneas de drenaje donde la población rural está establecida. Ello se logra a través del manejo integrado de cuencas, desde una perspectiva de seguridad hídrica como requisito para propiciar el desarrollo regional.

### **5.3 Recomendaciones**

Es importante tomar medidas de precaución en el manejo de las muestras de agua y su conservación en frío considerando el tiempo de subsistencia de la viabilidad de las muestras, ya que si se conservan para los análisis más tiempo del recomendado podrían alterarse y obtener resultados erróneos o falsos.

Es recomendable que las Casas de Salud de las comunidades rurales difundan información oportuna para la adopción de técnicas domésticas de desinfección, principalmente para familias que no acceden a la compra de agua para consumo; así como, para aquellos que si lo hacen pero pueden estar incurriendo en contaminación intradomiciliaria.

El difícil control de la contaminación difusa resalta la importancia de un cambio conductual que tome conciencia acerca de la responsabilidad de este tipo de contaminación con el fin de lograr un mejor manejo del territorio.

Es importante el incremento de la información y seguimiento a la población campesina vulnerable en este territorio; así como, la aplicación de esta y nuevas tácticas en otros

territorios del país como parte de estrategias de seguridad hídrica en cuencas rurales estacionales.

### **Bibliografía citada**

Adamo B.S. (2012). Vulnerabilidad social. Taller Nacional sobre Desastres, Gestión de Riesgo y Vulnerabilidad: Fortalecimiento de la integración de las Ciencias Naturales y Sociales con los Gestores de riesgo. Buenos Aires. 36 pp.

Aguilar P.P., J.A. Cepero M. y G. Coutin M. (2000). La calidad del agua de consumo y las enfermedades diarreicas en Cuba, 1996-1997. Rev. Panam. Salud Pública. Vol. 7. No. 5. 313-318 pp.

Alcalá J.C. (2013). Evaluación sanitario-ambiental de la presa Villa Victoria, perteneciente al sistema Cutzamala. Tesis de ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. 76 pp.

Alvarado B.M., R. Hernández M., R. Páez B. y A. Burgos (2014). Enterobacterias del agua de consumo rural y los riesgos a la salud pública en el Bajo Balsas, Michoacán. 9° Congreso Estatal de ciencia, Tecnología e Innovación. 1-6 pp.

Amar A. J. y C. Madariaga O. (2008). Proyectos sociales y cuidados a la infancia. Ediciones Uninorte. Barranquilla, Colombia. 240 pp.

An YJ., D.H. Kampbell, G. Peter Breidenbach (2002). Escherichia coli and coliforms in water and sediments at lake marinas. Environmental Pollution. Vol. 120. 771-778 pp.

Anderson T.W., L.C. Neri, G.B. Schreiber, F.D.F. Talbot and A. Zdrojewski (1975). Ischemic heart disease, water hardness and myocardial magnesium. CMA Journal. Vol 113. 199-203 pp.

Anttila S., M. Ketola, K. Vakkilainen and T. Kairesalo (2011). Assessing temporal representativeness of water quality monitoring data. Journal of Environmental Monitoring: JEM. 14. No. 2. 589-595 pp.

Arauzo M., M. Valladolid, J.J. Martínez-Bastida y C. Gutiérrez (2006). Aguas superficiales y subterráneas de la cuenca del río Rioja (La Rioja, España): Vulnerabilidad del acuífero aluvial. Limnetica. Vol. 25. No. 3. 753-762 pp.

Arcos P.M.P., S.L. Ávila D., S.M. Estupiñán T. y A.C. Gómez P. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. UNICOLMAYOR. Vol. 3. No. 4. 69-79 pp.

Armiejo-Valenzuela M. y San Martín J. (1994) "Clasificación de las aguas mineromedicinales". En: Curas Balnearias y Climáticas. Talasoterapia y Helioterapia, Ed. Complutense, Madrid, 219-223 pp.

Arumi J.L., J. Núñez, L. Salgado y M Claret (2006). Evaluación del riesgo de contaminación con nitrato de pozos de suministro de agua potable rural en Chile. *Rev. Panam Salud Pública*. Vol 20. 385-392 pp.

Ashbolt N.J., W.O.K. Grabow and M. Snozzi (2001). Indicators of microbial water quality. *Water Quality: Guidelines, Standards and Health*. WHO. 289-316 pp.

ASPMADP (2007). Acceso a los servicios de agua y desagüe en las zonas rurales: una mirada a la región andina e impactos en la salud a nivel nacional. El derecho al agua en zonas rurales: El caso de las municipalidades distritales. Adjuntía para los Servicios Públicos y el Medio Ambiente de la Defensoría del Pueblo. Informe Defensorial No, 124. Lima, Perú. 21-29 pp.

Baccaro K., Degorgue M., Lucca M., Picone L., Zamuner E. y Andreoli Y. (2006). Calidad del agua para consumo humano y riesgo en muestras del cinturón hortícola de Mar de Plata. *RIA*. Vol. 35. No.3. 95-110 pp.

Badalians G.G., M. Mehdi B. E. Dehghanifard, S. Salehi and A. Reza Y. (2010). Natural zeolites application as sustainable adsorbent for heavy metals removal from drinking water. *Ianian Journal of Toxicology*. Vol 3. 302-310 pp.

Bakker K. (2012). Water security: Research challenges and opportunities. *Science*. Vol 337. 914-915 pp.

Balderrama F. F. A. (2010) Patrimonio hidrológico de las aguas termales en el departamento de Oruro. *Sociedad Española para la defensa del patrimonio geológico y minero*. España. 131-138 pp.

Barkin D. (2007). La gestión del agua urbana en México. Retos, debates y bienestar, México, Universidad de Guadalajara. 336 pp.

Bellizzi V., De Nicola L., Minutolo R., Russo D., Cianciaruso B., Andreucci M., Conde G. & Andreucci VE. (1999). Effects of water hardness on urinary risk factors for kidney stones in patients with idiopathic nephrolithiasis. *Nephron*, 81(Suppl. 1), 66-70 pp.

Bocco G., M.E. Mendoza, A. Velázquez y A. Torres (1999). La regionalización geomorfológica como una alternativa de regionalización ecológica en México. El caso de Michoacán de Ocampo. *Investigaciones Geográficas, Boletín* 40. 1-16 pp.

Bolaños R. E., L.D. López L., M.A. Veloz R., V.E. Reyes C. y G.Y. Vega C. (2010). Evaluación del comportamiento de un acero el carbono utilizado en tuberías para agua potable mediante espectroscopia de impedancia electroquímica y microscopia electrónica de barrido. *XXV Congreso Sociedad Mexicana de Electroquímica*. 593-599 pp.

Bordalo A., W. Nilsumranchi & K. Chalermwat (2001). Water quality and uses of the Bangpakong river (Eastern Thailand). *Water Research*. Vol. 35. No. 15. 3635-3642 pp.

Burgos A. y G. Bocco (2015) La cuenca hidrográfica como espacio geográfico. Dimensiones sociales en el manejo de cuencas. UNAM. 11-29 pp.

Burgos, A., R. Hernández, M. Alvarado, H. Rivas y R. Paez (2014). Amenazas asociadas a la calidad del agua para uso doméstico en comunidades rurales del Bajo Balsas (Michoacán). Reporte Público de Investigación - Proyecto FOMIX 196949. CIGA/UNAM, Morelia (México), 17 pp.

Burgos A., R. Páez, E. Carmona and H. Rivas (2013). A systems approach to modeling Community-Based Environmental Monitoring: a case of participatory water quality monitoring in rural Mexico. Environmental monitoring and assessment. Vol. 185. No. 12. 297-316 pp.

Burgos A., H. Rendón, G. Solorio y A. Tinoco (2008). Proyecto ejecutivo para el manejo comunitario del agua en cuencas rurales del Trópico Seco en Michoacán. Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente- Michoacán. 92 pp.

Busto A. R. 2007. Morbilidad por enfermedad diarreica aguda en lactantes vs. lactancia materna. Rev méd electrón [Seriada en línea]. 29(6). Disponible en: <http://www.cpimtz.sld.cu/revista%20medica/ano%202007/vol6%202007/tema5.htm> [Acceso Febrero 2016].

Cassausse F., I. Bareño, J.J. Flores C., E. Hamilton y Niparajpa AC. (2008). 100% Agua limpia para las comunidades rurales de México. Consejo Nacional de Fomento Educativo. Baja California Sur. 1-9 pp.

Chandio B.A., M. Abdullah and M. A. Tahir. 1998. Drinking water quality and standardization in Pakistan. National Workshop on Quality of Drinking Water. Pakistan, 14-18 pp.

CDHCU (2009). Ley federal sobre metrología y normalización. México. 1-48 pp.

CIIFEN (2010). Definición del Riesgo. Disponible en: [http://www.ciifen.org/index.php?option=com\\_content&view=category&id=84&layout=blog&Itemid=111&lang=es](http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content&view=category&id=84&layout=blog&Itemid=111&lang=es) [Acceso Febrero 2015].

Clermont O., S. Bonacorsi and E. Bingen (2000). Rapid and simple determination of the *Escherichia coli* phylogenetic group. Applied and Environmental Microbiology. Vol. 66 No. 10. 4555-4558 pp.

CONAGUA (2010). Estadísticas del agua en México. Edición 2010. México D. F., SEMARNAT.

CONAGUA. (2012). Estaciones hidrométricas. Disponible en: [http://www.conagua.gob.mx/atlas/mapa/11/index\\_svg.html](http://www.conagua.gob.mx/atlas/mapa/11/index_svg.html)

CONANP (2007). Memoria técnica de la consultoría pública para el establecimiento del área natural protegida Reserva de la Biosfera "Zicuirán-Infiernillo". Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México, D.F. 39 pp.

Correa A.L., L.M. Mazo, M.P. Valderrama, A. Restrepo y F. Jaimes (2012). Descripción de un brote de bacteriemia por *Leclercia edecarboxylata* probablemente asociado al uso de viales contaminantes de heparina. *Rev. Infetio*. Vol. 16. No. 2. 117-121 pp.

Cotler H. y Priego A. (2004). El análisis del paisaje como base para el manejo integrado de cuencas : caso de la cuenca Lerma-Chapala. México. 17 pp

Cuevas E., J. Pacheco, A. Cabrera, V. Coronado, J. Vázquez y M. Comas (s.f.). Calidad química y bacteriológica del agua subterránea en el principal campo de pozos para el abastecimiento del Mérida, Yucatán, México. Yucatán. 1-10 pp.

De la Rosa P. L.E. (2014). Calidad de agua del río grande de Santiago, y sus implicaciones a la salud ambiental. Tesis de licenciatura. Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. 190 pp.

DEP. (2014). Promoting a Healthy Environment. Disponible en: [http://www.dep.wv.gov/WWE/watershed/Pages/watershed\\_management.aspx](http://www.dep.wv.gov/WWE/watershed/Pages/watershed_management.aspx) [Acceso noviembre 2014].

Donaldson D., J.D. Pryce, G.A. Rose and J.E. Tovey (1979). Tap water calcium and its relationship to renal calculi and 24 urinary calcium output in Great Britain. *Jour. Urological Research*. Vol 7. 273-276 pp.

Eaton A. D., S. Clesceri L., W. Rice E. and E. Greenberg A. (2005). Standard methods for the examination of water & wastewater. 9th Edition. APHA. Washington D.C.

Emiliani F. & González D. S. M. (1996). Concentraciones de coliformes termotolerantes en un balneario fluvial. *Rev. Asoc. Nat. Litoral*. Vol. 27. No. 1. 23-33 pp.

EPA (s.f.). Introducción a la ley de Agua Limpia. Environmental Protection Agency. 101 pp.

Estrucplan (s.f.) Impactos Ambientales y Actividades Productivas. Estrucplan consultora. <http://www.estrucplan.com.ar/>. [Acceso septiembre 2015].

Fagundo C.J.R., P. González H., M. Suárez M. y C. Melián R. (2005). Relaciones entre potenciales redox y concentraciones de sulfuros en aguas termales de Cuba. *Contribución a la Educación y la Protección Ambiental*. Vol. 6. 31-44 pp.

Félix-Fuentes, A., Campas-Baypoli, O. N., Aguilar- Apodaca, M. G., y Mendoza-Montenegro, M. M. (2007). Calidad microbiológica del agua de consumo humano de tres comunidades rurales del sur de Sonora (México). *Salud Pública Y Nutrición*. Vol. 8. No. 3. Disponible en: [http://www.respyn.uanl.mx/viii/3/articulos/calidad\\_de\\_agua.htm](http://www.respyn.uanl.mx/viii/3/articulos/calidad_de_agua.htm)

Fernández C. A. (2011). Calidad del agua. Una visión multidisciplinaria de la Gestión del Agua en el Mercosur. EMGIA. Argentina. 35-64 pp.

Flint K.P. 1987 The long-term survival of *Escherichia coli* in river water. *Journal of Applied Bacteriology*. 63. 261-270 pp.

García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. México D.F. Instituto de Geografía, UNAM. 90 pp.

Garrido A., E.I. Sotelo, H. Cotler, M.L. Cuevas, F. Flores, C. Enríquez, K. Ruíz y N. Luna (s.f.). Hacia el diagnóstico socioambiental de las cuencas de México: una propuesta conceptual y metodológica. Disponible en: [http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/cong\\_nal\\_06/tema\\_03/03\\_arturo\\_garrido.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/cong_nal_06/tema_03/03_arturo_garrido.pdf). Acceso: [Acceso Abril 2016].

Gerba, P., Roseb, J. B., & Haas, C. N. (1996). Sensitive populations : who is at the greatest risk ?. *International Journal of Food Microbiology*. Vol. 1605. No. 96.

Grey D. and C. Sadoff (2007). Sink or swim? Water security for growth and development. *J. Water Policy*. Vol. 9. 545-571 pp.

Gob. Esp. (2003). Ministerio de la presidencia. España. BOE No. 45. 7228-7245

González L. D. G. F., M. Sánchez R. y R. Solís F. (2010). Acción geológica de las aguas superficiales. PCPI Ámbito Científico Tecnológico. Editorial Editex, S.A. Madrid, España. 234 pp.

González H.A., A. Martín D. y R. Figueroa (s.f.). Tecnologías de tratamiento y desinfección de agua para uso y consumo humano. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 1-17 pp.

Guevara V.O., Orozco A.L., González O., Aguirre J., Álvarez G., De la Cruz S.G., Arias F.M.E., Pérez L.M.I. (2008). Calidad del agua de consumo en las comunidades rurales del occidente de Nicaragua. *Expozaragoza*. 1-29 pp.

Gutiérrez G., H. Guiscafre, H. Reyes, R. Pérez, R. Vega y P. Tome (1994). Reducción de la mortalidad por enfermedades Diarreicas Agudas. Experiencias de un programa de investigación-acción. Secretaría de Salud del Estado de Tlaxcala, México. Disponible en: <http://saludpublica.mx/insp/index.php/spm/article/view/5746/6352> [Acceso Febrero 2016].

Haro J. A., G. Nubes y J R. Calderón O. (2012). Riesgos sanitarios en la calidad bacteriológica del agua. Una evaluación en diez estados de la república mexicana. *Rev. Región y sociedad*. Vol 3. 257-288 pp.

Harris D. C. (2003) Valoraciones con EDTA. Análisis químico cuantitativo. 6a edición. Edit. Reverté S.A. Barcelona, España. 275-282 pp.

Hernández C. C., M.G. Aguilera A. y G. Castro E. (2011). Situación de las enfermedades gastrointestinales en México. *Rev. Enfermedades Infecciosas y Microbiología*. Vol. 4. 137-151 pp.



Hacha C.D. (2014). Calidad del agua en la Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo, municipio La Huacana, Michoacán México. Tesis de Licenciatura. UMSNH. Fac. de Biología. 93 pp.

San Miguel DLC. M. (1956). Composición química de las aguas termales. Geoquímica de las aguas termales. Real Academia Nacional de Medicina. Madrid, España. 26 – 32 pp.

INEGI. Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía (2009). Disponible en: [www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx). [Acceso Junio 2011].

INSP (2013) Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012. Resultados por entidad federativa. Michoacán. Primera edición. Instituto Nacional de Salud Pública. Cuernavaca, México. 112 pp.

Jiménez, B. E. (s.f.). Calidad, normatividad y reúso de agua. Disponible en: <http://www.agua.org.mx/biblioteca-tematica/gestion-del-agua/1322-agua-y-justicia-social/1720-calidad-normatividad-y-reuso-de-agua>. [Acceso Enero 2015].

Kieffer M. and A. Burgos (2015). Productive identities and community conditions for rural tourism in Mexican tropical drylands. *Jour. Tourism Geographies*. Vol. 17, 4. 561-585 pp.

Lal, R. (1999). Integrated Watershed Management in the Global Ecosystem. Special Issue of Soil and Water Conservation. CRC Press, Boca Raton, FL. Washington, D.C. 391 pp.

Lampoglia T.C., R. Agüero P. y C. Barrios N. (2008). Orientaciones sobre agua y saneamiento para zonas rurales. Organización Panamericana de la Salud. 55 pp.

León V.L.F. (1991). Índices de Calidad del Agua (ICA), forma de estimarlos y aplicación en la cuenca Lerma-Chapala. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Morelos. 1-7 pp.

López G. J. A., P. Navarrete M., L. Moreno M., A. A. González D.A. y E. Garrido S. (1996). Características generales. Calidad química y contaminación de las aguas subterráneas en España, período 1982-1993. Cuenca del Ebro. Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid, España. 15-22 pp.

Luijten J., E. B. Knapp and J. W. Jones. (2001). A tool for community-based assessment of the implications of development on water security in hillside watersheds. *Agricultural Systems* 70. 603-622 pp

Machado T. y G. Roldán P. (1981). Estudio de las características fisicoquímicas y biológicas del Río Anori y sus principales afluentes. *Rev. Actualidades Biológicas*. Vol. 10. No. 35. 1-17 pp.

Maldonado A. S. (2012). Drogas, violencia y militarización en el México rural. El caso de Michoacán. *Rev. Mex. De Sociología*. Vol. 74, No. 1. 5-39 pp.

Marcó L. R. Azario, C. Metzler & M. C. García (2004) La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. *Propuestas a propósito*

del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina). *Rev Higiene y Sanidad Ambiental*. Vol 4. 72-82 pp.

Mei K., Y. Zhu, L. Liao, R. Dahlgren, X. Shang & M. Zhang (2011) Optimizing water quality monitoring networks using continuous longitudinal monitoring data: a case study of Wen-Rui Tang River, Wenzhou, China. *Journal of Environmental Monitoring*. Vol. 13. 2755-2762 pp.

Mena, A. (En preparación). Vulnerabilidad social ante el estado de los recursos hídricos en el trópico seco michoacano. Tesis de Maestría en Geografía, Posgrado en Geografía UNAM.

Méndez-Toribio, M., Martínez-cruz, J., Cortés-flores, J., Rendón-sandoval, F. J., & Ibarra-manríquez, G. (2014). Composición , estructura y diversidad de la comunidad arbórea del bosque tropical caducifolio en Tziritzícuaró , Depresión del Balsas , Michoacán , México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 1117–1128 pp.

Merino L.B. (2007). El derecho al agua en zonas rurales: El caso de las municipalidades distritales. Informe Defensorial No. 124. Perú. 1-232 pp.

Miller W.W., Joung H.M., Mahannah C.N. and Garret J.R. (1986). Identification of water quality differences in Nevada through index application. *Journal Environ Qual*. Vol. 15. 256-272 pp.

Montoya C., D. Loaiza, P. Torres, C.H. Cruz y J.C. Escobar (2011). Efecto del incremento en la turbiedad del agua cruda sobre la eficiencia de procesos convencionales de potabilización. *Rev. EIA*. Vol. 22. No. 6. 137-148 pp.

Mora A. D. & N. Alfaro H. (1999) Caracterización por cantones de la dureza de agua en las fuentes utilizadas para consumo humano en Costa Rica. *R. Costarric. de Salud Pública*. Vol. 8. No. 15. Disponible en: [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S1409-14291999000200002&script=sci\\_arttext&tlng=e](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S1409-14291999000200002&script=sci_arttext&tlng=e) [Acceso Febrero 2016].

Mora-Bueno D., L.C. Sánchez-Peña, L.M. Del Roazo, C.A., Gozález-Arias, I.M. Medina-Díaz, M.L. Robledo-Moreno y A.E.Rojas-García (2012). Presencia de Arsénico y Coliformes en agua potable del municipio de Tecuala, Nayarit, México. *Rev. Int. Contam. Ambie*. Vol. 28. No. 2. 127-135 pp.

Muñoz H., M.A. Armienta, A. Vera y N. Cenicerós (2004) Nitrato en el agua subterránea del valle de Huamantla, Tlaxcala, México. *Rev. Int. Contam. Ambient*. Vol. 20. No. 3. 9197 pp.

Navas E., M. García, R. Llamas y J. Vrba. (1998). La vulnerabilidad de las aguas subterráneas en el Plan Regional de la Comunidad Autónoma de Madrid. En: *Jornadas sobre la contaminación de las aguas subterráneas: un problema pendiente*. AIH-GE. Valencia. 429-436 pp.

Neri L.C. and H.L. Johansen (1978). Water hardness and cardiovascular mortality. *J. New York Academy of Sciences*. Vol. 203. 203-219 pp.

OMS (2014). Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM). Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs290/es/>. [Acceso Noviembre 2014].

ONU (2000). Objetivos de Desarrollo del Milenio. Obtenido de <http://www.onu.org.mx/objetivo7.html>. [Acceso Diciembre 2014].

ONU (2009). Terminología sobre reducción del riesgo de desastres. Organización de las Naciones Unidas. 43 pp.

ONU (2010<sup>a</sup>). El derecho humano al agua y al saneamiento. Organización de las Naciones Unidas. [http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human\\_right\\_to\\_water.shtml](http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml). [Acceso Agosto 2013].

ONU (2010<sup>b</sup>). Derecho al agua. Folleto Informativo N° 35. Organización de las Naciones Unidas - Organización de la Salud. Suiza. 60 pp.

ONU-DAES (2005). <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml> [Acceso Diciembre 2013].

OPS (2005). Guía para el mejoramiento de la calidad del agua nivel casero. Organización Mundial de la Salud. Lima, Perú. 59 pp.

OPS (2007). Guía para mejorar la calidad del agua. Ámbito rural y pequeñas ciudades. Organización Panamericana de la Salud. Lima. 53 pp.

OPS/OMS (2011). Agua y saneamiento: Evidencias para políticas públicas con enfoque en derechos humanos y resultados en salud pública. Washington, D.C. 72 pp.

Orellana J. A. (2005). Características del agua potable. Ingeniería Sanitaria UTN-FRRO. 1-7 pp.

Osnaya, P. (2013). Evaluación de la calidad del agua en seis delegaciones del Distrito Federal en un contexto de cambio climático y propuesta de adaptación. UNAM.

Padilla C. T.A., N. García A. & W. Pérez D. (2010). Caracterización físico-química y bacteriológica, en dos épocas del año, de la subcuenca del río Quiscab, Guatemala. Rev. Ciencias Técnicas Agropecuarias. Vol. 19. No. 3. 43-46 pp.

Páez B.R., A.L. Burgos, H. Rivas S. (2014). Variaciones estacionales en la calidad del agua de fuentes domésticas comunitarias de diferente origen en cuencas rurales del Bajo Balsas (Michoacán). CIGA-UNAM. 2 pp.

Páez B.R., A.L. Burgos, H. Rivas S. (2013). Manual para la determinación de análisis físico-químicos en campo. Programa de monitoreo comunitario de calidad de agua en cuencas rurales del Bajo Balsas. 50 pp.

Páez B.R., A. Burgos T., E. Carmona J. y H. Rivas S. (2010). Monitoreo Comunitario de la calidad del agua en cuencas rurales del Bajo Balsas. 1-6 pp.

Perdomo C.H., Casanova O.N., Ciganda V.S. (2001). Contaminación de aguas subterráneas con nitratos y coliformes en el litoral sudoeste del Uruguay. *Agrociencia* Vol. 5. No. 1. 10-22 pp.

Pesce S. F. and D.A. Wunderlin (2000). Use of water quality indices to verify the impact of Córdoba city (Argentina) on Suquía river. *Water Res.* Vol. 34. No. 11. 2926-2000 pp.

Posada G.J.A., G. Roldán P. y J.J. Ramírez R. (2000). Caracterización fisicoquímica y biológica de la calidad de aguas de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. *Rev. Biol. Trop.* Vol 48. No. 1. 59-70 pp.

Pretus J.L. (1989). Limnología de la albufera de Menorca (Menorca, España). Asociación Española de Limnología, Madrid, España. 69 – 81 pp.

Ramírez E., E. Robles, M.G. Sainz, R. Ayala y E. Campoy (2009). Calidad microbiológica del acuífero de Zacatepec, Morelos, México. *Rev. Int. Contam. Ambient.* Vol. 25. No. 4. 247-255 pp.

Ravindra K., Ameena, Meenakshi, Monika, Rani and A. Kaushik (2003). Seasonal variations in physico-chemical characteristics of River Yamuna in Haryana and its ecological best-designated use. *J. Environ. Monit.* Vol 5. 419-426 pp.

Reid R. (1991). Situación de la desinfección del agua en América Latina y el Caribe. OPS/OMS. Washington D.C. 1-14 pp.

Reif FM. (1996). La calidad del agua potable en América Latina: ponderación de los riesgos microbiológicos contra los riesgos de los subproductos de la desinfección química. El estado de la desinfección del agua potable en América Latina y el Caribe. ILSI Press. Washington D. C. 101-114 pp.

Reyes R.E. (2010). Enfermedad Diarreica Aguda en niños menores de cinco años. Tesis de Licenciatura. Facultad de Enfermería. Unidad Docente Multidisciplinaria de Ciencias de la Salud y Trabajo Social. 18 pp.

Reyna N. (2011). Retos de la gestión sustentable de los servicios de agua y saneamiento en comunidades rurales. Caso de estudio de Tacotalpa, Tabasco. Naciones Unidas. México, D.F. 1-66 pp.

Rigola L. M. (1990). Fundamentos de la química del agua. Tratamiento de aguas industriales: Aguas de proceso y residuales. MARCOMBO S.A. Brcelona, España. 11 – 27 PP.

Rivas S. H., E. Carmona J., A. Burgos, R. Páez B. (2011). Estado actual de la calidad del agua en la cuenca del Arroyo San Pedro Jorullo, en el estado de Michiacán. 1-6 pp.

Rodríguez R. (2016). En pobreza, 21.4 millones de niños en México:UNICEF. El Universal.<http://www.eluniversal.com.mx/articulo/nacion/sociedad/2016/04/27/en-pobreza-214-millones-de-ninos-en-mexico-unicef>. [Acceso Julio 2016].

Rodríguez L. Y. (2012). Evaluación de la calidad del agua de la cuenca del Arroyo San Pedro Jorullo, con base en el análisis microbiológico y aniones predominantes. Tesis de licenciatura. UMSNH. Fac de Biología. 95 pp.

Rodriguez K., A. Mendoza, I. Herrera (2010). Calidad del agua utilizada para consumo humano en la zona rural del municipio de Rihacha. Instituto de Estudios Ambientales y Aprovechamiento del agua. 6 pp.

Rolón R. I. (2015). Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales Quetzalapan-Sedeño del municipio de Banderilla, Veracruz. Tesis experiencia recepcional. Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias uimicas zona Xalapa. 115 pp.

Sánchez-Rodríguez M.A. y Calvario-Martínez O. (2013). Estimación de la calidad del agua mediante el IC en la parte sur de la P: H. El Infiernillo, Michoacán. XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología del Mar. 1-8 pp.

Sandoval J. A. (2007). Fundamentos de piscicultura continental y calidad de aguas naturales. Fundación Eco-Ambiental de Colombia. Popoyán. 35 pp.

Salvatore O., A. Burgos T., G. Bocco V. y J. Sosa R. (2013). Seguridad Hídrica: paradigma para el manejo y la planeación del territorio. Valoración de la seguridad hídrica a nivel de cuenca hidrográfica. 1-38 pp.

Schultz M.T. (2001). A critique of EPA's index of waterched indicators. Journal of Environmental Management. Vol 62. 429-442 pp.

Schwartz J., R. Levin and R. Goldstein (2000). Drinking water turbidity and gastrointestinal illness in the elderly of Philadelphia. Jour. Epidemiol Community Health. Vol. 54. 45-51 pp.

Sedeño-Díaz J. and E. López-López (2007). Water quality in the río Lerma, Mexico: An Overview of the last quarter of the twentieth century. Jour. Water Resour Manage. Vol. 21, 10. 1987-1812

Seckler D., Barker, D., Amarasinghe, U., (1999). Water scarcity in the twenty-first century. International Journal of Water Resources Development. Vol. 15 No. 1, 29-42 pp.

Seckler D., D. Molden and R. Barker. Water Scarcity in the Twenty-First Century. Internacional Water Management Institute. 16 pp.

Scherer, C. A., & Miller, S. I. (2001). Molecular pathogenesis of Salmonellae. In E. A. Groisman (Ed.), Principles of bacterial pathogenesis (pp. 265-333). San Diego California: Academic Press. Retrieved from <https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=9wPz2ZdU430C&oi=fnd&pg=PA265&dq=Molecular+pathogenesis+of+salmonellae,&ots=JXG8cFjQtY&sig=Z0fYgdih4NeMie6so0PXZ3CaOkM#v=onepage&q=Molecular+pathogenesis+of+salmonellae,&f=false>

Seisdedo L.M. (2006). Variaciones espaciales y temporales en indicadores de la calidad ambiental de las aguas de la Bahía de cienfuegos, Cuba. Rev. Invest. Mar. Vol. 27. No. 2. 159-164 pp.

SIODM (2015). Objetivos del Desarrollo del Milenio. Garantizar la Sostenibilidad del medio Ambiente. Sistem de Información de los Objetivos del Milenio. Disponible en:: <http://www.objetivosdedesarrollodelmilenio.org.mx/cgiwin/odmsql.exe/INMODM007000300010,54,016,0,E>. [Acceso Septiembre 2013].

Sierakowski R., B. Finayson and R. Landes (1979). Stone incidence as related to water hardness in different geographical regions of the Unite States. J Urological Research. Vol. 7. 157-160 pp.

Solorio R.G. (2010). Diagnóstico de una pequeña cuenca y de sus dos principales cauces así como su planificación de uso, en el municipio de Churumuco, Michocán, México. Tesis de Licenciatura. UMSNH. Fac. De Biología. 137 pp.

Sobsey M.D., C.E. Stauber, L.M. Casanova, J.M. Brow and M.A. Elliot (2008). Point of use household drinking water filtration: A practical, effective solution for providing sustained access to safe drinking water in the developing world. Enviromental Science & Tecnology. Vol. 42. No. 12. 4261-4267 pp.

Spalding R.F. & M.E. Exner (1993). Occurrence of Nitrate in Groundwater-A review. Jour, Environ. Qual. Vol. 22. 392-402 pp.

Straskraba M. y Gnauck A. (1985). Freshwater Ecosystems. Modelling and Simulation. Elsevier Science Publisher. New York. 373 pp.

Stambuk-Giljanović N. (2003). The water quality of the Vrgorska Matica River. Journal Environ Monit Assess. Vol. 83. 229-253

Terrés S. M. y L. T. Casas T. 2002. Enfermedad diarreica e intolerancia a la lactosa en México. Rev Med IMSS. 40(4) 329-341 pp. SIODM. 2015 Objetivos de Desarrollo del Milenio. Michoacán Ocampo. Mexico. <http://www.objetivosdedesarrollodelmilenio.org.mx/cgi-win/odmsql.exe/LEF016,E> [Acceso Febrero 2016]

Tseng T., B.D. Segal and M. Edwars (2000). Increasing alkalinity to reduce turbidity. American Water Works Association. Vol. 92. No. 6. 44-54 pp.

Umaña G. E., (2002). Educación ambiental con enfoque en manejo de cuencas y prevención de desastres. Universidad Nacional Agraria. Fac. De Recursos Naturales y del Ambiente. Taller de capacitación. 17 pp.

UNESCO (2009). Water in a changing world. The United Nations World Water Development. Report 3. 349 pp.



- UNESCO (2012). Seguridad hídrica: respuestas a los desafíos locales, regionales y mundiales. Plan estategico 1–56 pp.
- UNICEF. (2014). Alcanzar los Objetivos de Desarrollo del Milenio con equidad. México. 101 pp.
- UnWater/UNEP/FAOWATER (2010). Preguntas más frecuentes sobre calidad de agua. Día mundial del agua 2010 agua limpia para un mundo sano. 3 pp.
- Vizcaíno L.L.F. (1991). Indicadores de la calidad del agua (ICA), forma de estimarlos y aplicacaión en la Cuenca Lerma-Chapala. Instituto Mexicano de Tecnología del agua. 1-7 pp.
- Vizcaya, L. E., Flores, A., Hernández, J. G., Nieves, B., & P+erez-Schael, I. (1999). Origen bacteriano de la enfermedad diarreica aguda. Vol. 51. No. 1, 14–19.
- Wang X. (2001). Integrating water-uality management and land-use planning a watershed context. *Journal of Environmental Management* Vol. 61. 25-36 pp.
- Welch P., J. David, W. Clarke, A. Trinidad, D. Penner, S. Bernstein, L. McDougalland A. A. Adesiyun (2000). Microbial quality of water in rural communities of Trinidad, Vol. 8. No. 3. 172-180 pp.
- Winner W. R. (1985). Bioaccumulation and toxicity of copper as affected by interactions between humic acid and wáter hardness. *Water Research* Vol. 19. No. 4. 449-455 pp.
- WHO (1996). Hardness in drinking-water. 2<sup>nd</sup> ed. Vol. 2. World Health Organization. Geneva. 9 pp.
- WHO/UNICEF (2000). Evaluación del abastecimiento de agua y el saneamiento en el mundo. Informe. Organización Mundial de la Salud. 6 pp.
- WHO (2002). World Health Report: Reducing Risks, Promoting Healthy Life. World Health Organization France. [http://www.who.int/whr/2002/en/whr02\\_en.pdf](http://www.who.int/whr/2002/en/whr02_en.pdf). [Acceso Julio 2013].
- Koneman E.W., Winn, Allen, Janda, Procop, Schreckenber, Woods (2006). Diagnóstico microbiológico. Estados Unidos. 216-226 pp.
- Wilbers GJ., G. Zwolsman, G. Klaver and A.J. Hendrinks (2009). Effects of a drought period on physico-chemical surface water quality in a regional catchment area. *Journal of Environmental Monitoring*. Vol 11. No. 6. 1298-1302 pp.
- Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T., & Davis, I. (2003). At Risk : natural hazards , people ' s vulnerability and disasters Second edition The attached three chapters constitute Part I of the book , and have been made available in the public domain by the authors and Routledge as part of the UNDP. Second edi. 134 pp.

Witt V.M. y F.M. Reiff (1993). La desinfección del agua a nivel casero en zonas urbanas marginales y rurales. CEPIS. 33 pp.

Yang CY. (1998). Calcium and Magnesium in drinking water and risk of death from cerebrovascular disease. American Stroke Association. Vol 29. 411-414 pp.

Yang CY., Chiu JF., Chiu HF., Wang TN., Lee CH and KO EC. (1996) Relationship between water hardness and coronary mortality in Taiwan. J. Toxicol Environ Health. Vol 49. 1-9 pp.

**ANEXO 1. Valores promedio (N = 5) desvío estándar de los parámetros físicos del agua en fuentes de agua comunitarias**

Sitio	TEM.AIRE (°C)		TEM.AGUA (°C)		pH		Turbidez (JTU)		Conductividad eléctrica (μS/cm)	
<b>Cuenca del Arroyo San Pedro Jorullo (La Huacana)</b>										
SITIOS	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias
Los Copales - Dc	28(2.7)	24(4.27)	26(2.1)	24(3.7)	7(0.3)	7(0.3)	0.3(0.1)	2(2.1)	292(36.9)	316(171.3)
Manantial El Naranjo	31.3(0.4)	23(3.3)	26.0(1.1)	26(0.8)	6.6(0.4)	6.6(0.3)	0.3(0.1)	0.7(0.6)	404 (20.8)	432(37.2)
Manantial de Copales Arriba	25(2.4)	27.3(1.7)	28(0.8)	28(0)	7.0(0.0)	6.8(0.3)	0.6(0.6)	0.2(0.1)	465(53.5)	411(96.1)
Manantial La Redonda	23.1(4.3)	25.8(2.5)	27.3(1.7)	27.3(1.7)	7.0(0.0)	6.8(0.3)	0.4(0.3)	0.9(1.2)	518(13.7)	547(56.1)
David C. Manajarez - Dc	32.3(2.5)	28.7(1.5)	30.3(0.6)	28.3(1.5)	7.2(0.3)	7(0)	0.6(0.3)	2.8(4.1)	635(81.4)	562(138.8)
La Coruca - Dc	34(1.4)	29.3(1.5)	29(0)	27(2)	7.0(0.0)	6.8(0.3)	0.4(0.3)	4(6.3)	445(23.7)	421(59.8)
San Pedro	23.9(0.4)	28.8(2.8)	28.3(3.9)	27.5(3.4)	8(0)	7.5(0.6)	0.6(0.2)	3.7(4.9)	492(30.4)	369(103.3)
Pueblo Viejo	28.3(3.9)	28.5(1.9)	27.3(2.5)	28(1.4)	7.3(0.4)	7.4(0.5)	0.7(0)	24.3(43.3)	533(277.2)	472 (173.6)
Las Higueras - c	35.7(1.5)	35(0.0)	28(1)	28(0)	6.5(0.0)	6.67(0.3)	0.9(1.2)	0.3(0.1)	602(33.8)	626(64.3)
La Peña - NC	34.3(3.2)	33.0(0.0)	29(1)	28(0)	6.5(0.0)	6.8(0.4)	0.4(0.2)	0.4(0.1)	676(45.1)	492(119.26)
Capire de Oropeo - Nc	30.0(1.2)	29.7(3.5)	33.5(4.6)	30.7(0.6)	7.1(0.1)	6.8(0.3)	0.4(0.1)	0.2(0.1)	920(79.3)	1127(227.4)
Manantial La Redonda	31.0(6.2)	29.8(3.4)	31(0)	30.5(2.4)	8.0(0.0)	8(0.4)	0.2(0.1)	0.2(0.1)	981(18.0)	1008(44.8)
Manantial La Targea	30.2(5.1)	29.0(3.7)	33.1(0.7)	33.3(0.5)	8.1(0.2)	7.6(0.5)	0.2(0)	0.3(0.2)	1003(16.0)	1065(84.6)
Oropeo - NC	24.8(5.5)	33.3(0.3)	26.3(1.2)	30(0)	6.9(0.2)	6.8(0.3)	2.4(2.2)	2.8(4.4)	998(205.2)	1802(614.2)
Las Cruces	33.3(0.3)	32.6(5.9)	30(0)	30.9(2.1)	6.9(0.3)	7.0(0.4)	2.8(4.4)	0.7(0.6)	653(41.33)	558(148.01)
Guadalupe - Noria del Chago	34.7(2.1)	28.7(2.6)	32.7(3.8)	31.3(0.9)	7.0(0.0)	7.1(0.3)	0.4(0.2)	0.3(0.2)	704(43.1)	998(564.2)
Guadalupe - Noria del gobierno	35.0(2.8)	29.3(4.6)	30.8(3.3)	29.3(1.7)	6.9(0.3)	7.1(0.3)	0.6(0.2)	1.2(1.0)	724(103.7)	1117(423.0)
Hacienda Vieja - Nc	32.5(2.9)	28.0(3.9)	31.5(1.0)	32.4(1.1)	7.1(0.1)	6.9(0.3)	0.3(0.2)	0.2(0.1)	657(31.0)	757(97.0)

<b>Sinagua</b>	28.1(7.5)	26.2(1.0)	32(1.0)	32.2(0.3)	7.0(0.0)	7.0(0.0)	0.3(0.2)	0.2(0.2)	822(113.7)	835(238.2)
<b>Cuenca Arroyo Potura (Churumuco)</b>										
<b>El Olvido - Dc</b>	31.0(5)	26.5(3.9)	32.5(2.3)	26.0(1.4)	7.0(0.0)	6.6(0.3)	0.4(0.2)	0.4(0.3)	477(24.8)	558(70.34)
<b>Poturo -Dc</b>	29.5(2.1)	31.1(2.0)	25.5(0.5)	26.9(1.3)	6.9(0.3)	6.5(0.4)	70.2(136.5)	4.9(2.3)	464(143.1)	606(58.3)
<b>Carcamo de las Juntas</b>	32.2(2.4)	27.8(0.5)	26.7(1.1)	26.1(0.9)	6.8(0.3)	6.6(0.3)	2.0(2.0)	2.8(2.7)	670(38.5)	375(54.1)
<b>Deposito Juntas de Poturo</b>	35.0(2.6)	28.5(2.1)	27.3(0.6)	26.0(1.4)	6.8(0.3)	7.0(0.0)	1.7(0.1)	6.7(0.7)	238(30.4)	251(34.5)
<b>Santa Rosa - Dc</b>	31.8(1.4)	27.8(3.0)	27.2(0.8)	27.1(3.0)	7.0(0.4)	6.6(0.3)	2.2(1.4)	4.7(2.1)	242(28.5)	249(87.9)
<b>Cuenca Arroyo Grande Churumuco (Churumuco)</b>										
<b>La Patacuera</b>	30.6(3.1)	26.8(3.8)	30.2(5.1)	28.0(2.0)	7.1(0.2)	7.0(0.0)	0.5(0.3)	3.8(4.8)	451(30.0)	264(87.9)
<b>Manantial La Targea de las Canoas</b>	28.8(2.1)	26.3(3.3)	27.1(3.6)	26.8(1.3)	6.9(0.2)	7.0(0.0)	1.6(2.5)	0.7(0.6)	743.2(42.3)	761(30.4)
<b>El Baral - NC</b>	30.1(4.1)	28.0(2.8)	25.0(1.4)	25.3(1.2)	7.0(0.0)	7.2(0.2)	0.4(0.3)	0.6(0.3)	745.0(38.2)	583(110.1)
<b>Los Lavaderos - DC</b>	34.2(4.0)	28.5(4.8)	34.8(3.6)	26.9(0.9)	7.0(0.0)	7.0(0.0)	0.5(0.4)	5.1(6.3)	307(22.8)	300(34.1)
<b>Los Lavaderos - Nf</b>	33.8(2.9)	25.6(5.1)	26.6(0.9)	25.9(1.4)	6.7(0.3)	6.5(0.0)	0.6(0.4)	0.4(0.2)	525(40.7)	612(71.6)
<b>El Salitre - Dc</b>	30.9(5.5)	28.2(2.9)	30.8(4.2)	27.5(1.5)	7.1(0.2)	6.5(0.4)	0.6(0.3)	0.8(0.7)	306.0(29.4)	301(40.03)
<b>Las Crucitas - Nf</b>	30.5(2.8)	27.0(2.9)	27.1(0.7)	25.8(0.2)	6.8(0.3)	6.8(0.5)	0.5(0.1)	0.3(0.1)	911.4(43.9)	1026(106.91)
<b>Paso de Palmillas - Dc</b>	31.5(1.2)	25.7(0.5)	33.0(2.4)	26.8(1.2)	7.0(0.0)	7.1(0.3)	1.2(1.0)	1.3(1.5)	273(56.2)	291(32.6)
<b>El Platanar - Dc</b>	34.0(6.0)	26.0(4.5)	34.0(4.1)	27.3(2.1)	7.0(0.0)	7.0(0.0)	0.6(0.3)	0.3(0.3)	497(25.8)	486(75.0)
<b>El Platanar Cuadrilla Alta - Dc</b>	32.3(6.6)	27.3(4.6)	30.7(3.4)	27.(4.0)	7.0(0.0)	6.8(0.2)	0.3(0.1)	0.2(0.1)	975(23.5)	997(45.7)
<b>Parcela El Plan - Nf</b>	33.0(6.9)	27.0(3.6)	30.7(4.0)	27.0(0.8)	7.0(0.0)	7.2(0.2)	0.5(0.2)	7.7(11.7)	651(45.4)	498(133.1)
<b>El Salto - Nc1</b>	32.5(1.7)	30.5(1.3)	31.9(2.3)	31.8(0.5)	3.9(0.3)	7.0(0.0)	0.4(0.2)	0.1(0.0)	1054(498.2)	888(162.0)
<b>El Salto - Nc2</b>	30.9(3.3)	29.8(1.0)	31.8(1.7)	31.6(1.1)	7.0(0.0)	7.0(0.0)	0.5(0.5)	0.9(0.8)	755(50.7)	908(284.9)
<b>El Granjenal - Nc</b>	32.5(3.1)	31.3(1.5)	34.0(0.8)	32.8(0.3)	6.9(0.3)	6.7(0.6)	0.3(0.2)	0.4(0.2)	652(47.2)	690(31.4)
<b>Ojo de Agua</b>	28.9(3.1)	27.5(3.8)	32.4(3.2)	31.8(1.7)	6.8(0.3)	6.9(0.3)	0.3(0.1)	0.6(0.7)	644(26.3)	676(34.05)
<b>Ojo de Agua - Nf</b>	29.7(3.0)	29.0(5.0)	30.3(2.4)	31.0(2.9)	6.7(0.3)	7.0(0.0)	1.0(0.4)	0.5(0.6)	619 (55.4)	705(66.27)

<b>El Ranchito</b>	26.8(2.3)	29.3(5.0)	27.7(1.7)	27.3(0.5)	7.0(0.0)	7.4(0.3)	8.8(5.2)	7.8(7.1)	650(29.4)	460(102.7)
<b>Cárcamo de Churumuco</b>	27.1(2.0)	30.0(4.5)	27.5(2.2)	28.9(0.6)	7.0(0.0)	7.0(0.0)	1.8 (3.3)	3.2(5.7)	633(24.7)	485(66.40)

Sitio	NITRATOS (mg/L)		CLORUROS (mg/L)		SULFATOS (mg/L)		DUREZA (mg/L)		ALCALINIDAD (mg/L)	
	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias
<b>Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo</b>										
<b>Los Copales - Dc</b>	0.1(0.1)	1.2(2.3)	12(13.7)	20.1(18.1)	1.7(1.6)	1.0(1.2)	135(8.7)	105(17.3)	188(22.9)	138(32.4)
<b>Manantial El Naranjo</b>	0.6(0.5)	1.5(0.8)	14.6(10.7)	13.7(9.7)	21.2(1.7)	23.3(2.4)	168.2(21.9)	192.5(17.1)	193.2(13.6)	202.5(45.2)
<b>Manantial de Copales Arriba</b>	16.6(31)	0.7(1)	23.2(20.1)	19.3(17.7)	50.4(4.3)	46.7(4.7)	165.5(19.7)	190(17.3)	172.5(27.2)	205(43.6)
<b>Manantial La Redonda</b>	13.4(23.5)	2.2(2.1)	22.5(18.7)	17.6(7.8)	55.8(2.4)	53(3.4)	169.5(13.7)	222.5(22.2)	197.3(54.4)	216.3(19.7)
<b>David C. Manajarrez - Dc</b>	0.1(0.1)	0.1(0.1)	64.6(34.7)	38(26)	130.8(22.5)	96.2(63.5)	183.3(25.2)	150(52)	86.7(12.6)	91.7(17.6)
<b>La Coruca - Dc</b>	1.5(1.0)	1.3(1.2)	37(26.6)	21.2(8.5)	31.4(2.4)	28.2(8.3)	165.3(12.3)	153.3(15.3)	178.3(16.5)	138.3(15.3)
<b>San Pedro</b>	0.0(0)	0.6(0.7)	20.5(16.5)	25.1(28.5)	34.6(9)	20.7(14.2)	195.0(7.1)	162.5(41.9)	277.5(53)	173.8(58.8)
<b>Pueblo Viejo</b>	0.0(0)	0.8(0.8)	16.4(5.3)	32.7(32)	169(25.6)	64.9(28.7)	295.0(21.2)	185(59.7)	220(35.4)	163.8(61.8)
<b>Las Higueras - c</b>	1.0(0.8)	1.1(1.6)	6.0(0.1)	17.9(20.4)	91.8(4.8)	73(18.2)	270.0(10.0)	276.7(37.9)	253.3(49.1)	238.3(41.6)
<b>La Peña - NC</b>	0.4(0.3)	0.1(0.2)	21.1(2.6)	28.4(20.9)	81.0(7.7)	38.3(6.0)	285.0(15.0)	230.0(0.0)	228.3(69.3)	210.5(91.2)
<b>Capire de Oropeo - Nc</b>	24.1(48.2)	4.0(2.4)	51.1(17.2)	79.8(62.9)	178.2(52.4)	172.0(106.4)	318(44.4)	433.3(205.0)	274.0(56.1)	321.7(38.8)
<b>Manantial La Redonda</b>	0.4(0.7)	0.1(0)	67.9(6.4)	71(12.6)	359.0(122)	282.0(123)	170.0(25.8)	182.5(22.2)	35.0(4.1)	46.3(23.9)
<b>Manantial La Targea</b>	0.0(0)	0.2(0.2)	59.8(14.7)	71.1(17.1)	361.8(107.4)	297.9(119.3)	190.0(26.5)	185.0(23.8)	38.0(8.4)	48.8(27.8)
<b>Oropeo - NC</b>	3.8(5.3)	97.6(70.3)	62.6(17.4)	132.6(9.7)	199.3(23.4)	192.5(25.5)	406(106.7)	1062.7(642.6)	289.8(55.4)	369.7(93.2)
<b>Las Cruces</b>	97.6(70.3)	2.2(4.0)	132.4(69.7)	24.0(6.9)	358.0(147.3)	85.4(43.0)	262.5(29.9)	272.0(20.7)	369.7(93.2)	273.3(24.1)
<b>Guadalupe - Noria del Chago</b>	2.7(2)	24.2(35.4)	22.7(3.3)	53.0(31.5)	82.2(8.0)	112.0(48.9)	243.3 (25.2)	397.5 (182.6)	288.8 (58.4)	305.0(48.1)
<b>Guadalupe - Noria del gobierno</b>	1.3(1.1)	15.1(19.1)	28.7(12.2)	58.4(34.2)	87.6(15.4)	127.4(99.1)	270(25.8)	857.5(973.6)	277.0(60.0)	362.5(32.8)
<b>Hacienda Vieja - Nc</b>	1.2(1.1)	3.7(3.4)	13.5(5.6)	36.2(22.6)	37.8(24.7)	40.3(11.0)	262.0(16.4)	257.5(42.7)	324.0(28.2)	300.0(28.6)
<b>Sinagua</b>	3.7(2.8)	5.3(2.5)	30.1(16.1)	46.1(14.6)	80.5(42.9)	102.0(71.6)	335.0(35.0)	310.0(60.8)	260.3(44.6)	300.0(0.0)
<b>Cuenca Arroyo Poturo (Churmuco)</b>										

<b>El Olvido - Dc</b>	2.6(1.6)	0.6(1.0)	16.8(7.5)	15.2(4.5)	67.6(18.6)	121.1(44.9)	217.5(41.1)	215.0(33.2)	195.3(25.0)	202.5(27.2)
<b>Poturo -Dc</b>	0.8(0.5)	1.2(0.2)	14.0(22.0)	7.7(10.0)	14.73.1 ()	21.9 (1.7)	101.5 (8.7)	102.5 (9.6)	120.8 (5.7)	101.3 (18.0)
<b>Carcamo de las Juntas</b>	0.1(0.1)	0.0(0.0)	27.2(17.5)	8.2(7.3)	97.9(19.5)	16.8(8.9)	292.0(32.7)	150.0(49.7)	288.0(51.1)	166.3(51.2)
<b>Deposito Juntas de Poturo</b>	0.8(0.6)	1.0(0.3)	2.6(0.4)	8.4(8.6)	16.6(3.4)	20.3(1.1)	93.3(5.8)	93.0(18.4)	128.3(20.2)	104.5(7.8)
<b>Santa Rosa - Dc</b>	0.7(0.5)	0.9(0.7)	9.7(11.3)	7.2(7.4)	15.4(2.1)	15.7(9.1)	94.0(19.5)	125.0(50.0)	134.0(18.5)	103.8(20.2)
<b>Cuenca Arroyo Grande Churumuco (Churumuco)</b>										
<b>La Patacuera</b>	0.1(0.1)	0.3(0.3)	31.4(37.1)	8.3(5.4)	17.1(2.6)	28.0(29.8)	228.0(20.5)	97.5 (62.4)	236.4(14.7)	178.8(46.4)
<b>Manantial La Targea de las Canoas</b>	0.3(0.3)	0.8(0.7)	32.6(55.1)	14.9(6.9)	212.3(31.6)	151.2(83.2)	320.0(48.5)	320.0(32.7)	211.0(38.6)	227.5(32.8)
<b>El Baral - NC</b>	1.0(1.0)	0.3(0.3)	32.1(50.6)	14.9(8.9)	156.8 (58.1)	87.6(65.5)	336.0(101.6)	245.0(17.3)	273.0(63.2)	323.3(35.7)
<b>Los Lavaderos - DC</b>	0.3(0.2)	0.8(1.6)	14.1(21.6)	10.2(4.8)	8.0(2.2)	20.7(26.4)	142.0(8.4)	125.0(10.0)	177.0(20.5)	153.8(23.2)
<b>Los Lavaderos - Nf</b>	2.3(1.7)	8.8(12.1)	16.4(13.2)	20.7(18.4)	59.8(18.2)	78.4(33.9)	248.0(25.9)	262.5(27.5)	253.0(12.5)	240.0(47.4)
<b>El Salitre - Dc</b>	0.2(0.3)	0.4(0.3)	27.6(43.3)	9.7(7.0)	10.5(5.6)	7.9(0.7)	142.0(4.7)	116.0(14.5)	180.4(14.9)	158.8(38.4)
<b>Las Crucitas - Nf</b>	0.4(0.1)	5.5(3.6)	54.3(38.6)	49.4(11.7)	192.947.0 ()	189.5(11.0)	444.4(18.2)	389.0(38.9)	259.0(4.2)	251.8(24.7)
<b>Paso de Palmillas - Dc</b>	0.6(1.2)	0.1(0.1)	10.4(10.8)	6.1(2.5)	3.2(3.7)	1.4(1.0)	129.0(6.6)	112.5(22.2)	149.0(14.4)	131.3(22.5)
<b>El Platanar - Dc</b>	0.2(0.2)	0.3(0.2)	8.9(9.4)	26.7(37.1)	30.8 (5.1)	25.8(6.2)	220.5(41.2)	206.5(51.1)	253.5(35.4)	212.3(41.0)
<b>El Platanar Cuadrilla Alta - Dc</b>	1.44(0.7)	0.7(0.8)	58.7(20.9)	55.3(24.1)	222.6(9.8)	205.8(17.3)	368.7(60.1)	326.8(71.5)	212.3(9.7)	251.0 (34.7)
<b>Parcela El Plan - Nf</b>	1.0(0.5)	1.1(0.9)	11.2(8.1)	25.3(27.7)	81.8(16.5)	84.5(57.3)	254.7(73.7)	172.0(53.7)	245.0(86.7)	190.5(59.8)
<b>El Salto - Nc1</b>	3.0(1.7)	7.1(4.9)	20.8(7.3)	18.2(1.3)	48.9(7.5)	52.5(10.2)	300.0(16.3)	380.0(77.9)	360.0(60.1)	365.3(40.0)
<b>El Salto - Nc2</b>	2.9(2.4)	11.1(19.7)	19.5(6.7)	45.1(27.2)	47.3(5.5)	56.9(17.0)	332.5(29.9)	400.0(80.4)	371.3(45.2)	387.2(38.0)
<b>El Granjenal - Nc</b>	2.0(1.2)	2.7(2.8)	14.6(7.6)	13.8(5.0)	28.4(9.5)	25.3(0.7)	247.5(17.1)	256.7(28.9)	351.3(18.9)	345.0(20.0)
<b>Ojo de Agua - Nf</b>	1.8(1.0)	1.9(1.2)	20.4(9.7)	14.9(3.7)	31.5(3.5)	31.5(1.2)	260.0(29.2)	252.5(28.7)	323.0(24.0)	335.8(9.9)
<b>Ojo de Agua - Nf</b>	1.9(1.0)	4.5(2.1)	20.9(12.2)	21.3(3.9)	31.3(11.5)	48.4(6.2)	234.8(31.7)	230.0(8.2)	280.8(18.7)	266.3 (16.0)
<b>El Ranchito</b>	0.2(0.3)	0.6(0.5)	29.0(6.9)	20.0(4.6)	51.9(6.3)	42.3(7.4)	248.4(32.0)	182.5(26.3)	299.6(36.2)	224.5(61.6)
<b>Cárcamo de Churumuco</b>	0.3(0.2)	0.3(0.3)	27.3(7.8)	16.9(0.7)	52.6(5.6)	41.2(6.1)	250.0(15.8)	180.0(29.4)	285.6(23.8)	200.318.1 ()



**ANEXO 2. Valores promedio para cinco años (N = 5) y Desvio estándar de Coliformes Totales y Escherichia coli con técnicas de campo (EasyGel) en fuentes comunitarias del Bajo Balsas**

SITIOS	COL. TOTALES (UFC/100 ml)		<i>E. coli</i> (UFC/100 ml)	
	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias
<b>Cuenca Arroyo San Pedro Jorullo</b>				
<b>Los Copales - Dc</b>	50.5(70)	50.0(57.7)	0.0(0.0)	0.0(0.0)
<b>Manantial El Naranjo</b>	150(40.8)	200 (173.2)	0.0(0.0)	0.0(0.0)
<b>Manantial de Copales Arriba</b>	100 (0.0)	100 (0.0)	0.0(0.0)	0.0(0.0)
<b>Manantial La Redonda</b>	1400(458.3)	150(70.7)	0.0(0.0)	0.0(0.0)
<b>David C. Manajarrez - Dc</b>	11000(1414.2)	1600(400)	11000.0(1414.2)	33.3(57.7)
<b>La Coruca - Dc</b>	0.0(0.0)	33.3(28.9)	0.0(0.0)	0.0(0.0)
<b>San Pedro</b>	32000(0.0)	10300(4654.0)	700(141.4)	650(204.1)
<b>Pueblo Viejo</b>	9000(4242.6)	3000(816.5)	1100.0(141.4)	800(163.3)
<b>Las Higueras - c</b>	12000(5656.9)	16000(6923.2)	900.0(424.3)	1500.0(500.0)
<b>La Peña - NC</b>	1875(883.9)	500(0.0)	375.0(176.8)	100.0(0.0)
<b>Capire de Oropeo - Nc</b>	750(1262.9)	2000(388.9)	0.0(0.0)	0.0(0.0)
<b>Manantial La Redonda</b>	600(1070.8)	600(1070.8)	825.0(1650.0)	0.0(0.0)
<b>Manantial La Targea</b>	1500.0(2236.1)	75(95.7)	0.0(0.0)	150(56.3)
<b>Oropeo - NC</b>	4100(2719.1)	1100.0(0.0)	0.0(0.0)	0.0(0.0)
<b>Las Cruces</b>	50.0(50.0)	50.0(50.0)	18.8(23.9)	0.0(0.0)
<b>Guadalupe - Noria del Chago</b>	3925.0(1575.0)	5750.0(1837.117)	1350.0(150.0)	118.8(23.9)
<b>Guadalupe - Noria del gobierno</b>	9400(2922.3)	3425(673.6)	1750.0(122.5)	475.0(183.7)
<b>Hacienda Vieja - Nc</b>	1637.6(1863.3)	1200(489.9)	30.0(67.1)	50.0(40.8)
<b>Sinagua</b>	200.0(282.8)	0.0(0.0)	0.0(0.0)	0.0(0.0)
<b>Cuenca Arroyo Poturo</b>				
<b>El Olvido - Dc</b>	250.0(40.8)	100.0(0.0)	0.0(0.0)	0.0(0.0)

<b>Poturo -Dc</b>	16300.0(3434.4)	100.0(0.0)	0.0(0.0)	0.0(0.0)
<b>Carcamo de las Juntas</b>	1340.0(1035.9)	1250.0(732.6)	25.0(43.3)	0.0(0.0)
<b>Deposito Juntas de Poturo</b>	933.3(1365.0)	450.0(636.4)	0.0(0.0)	0.0(0.0)
<b>Santa Rosa - Dc</b>	2000(3237.3)	2500.0(3508.1)	0.0(0.0)	0.0(0.0)
<b>Cuenca Arroyo Grande Churumuco</b>				
<b>La Patacuera</b>	290.0(300.8)	500(707.1)	230.0(435.3)	25.0(50.0)
<b>Manantial La Targea de las Canoas</b>	2250.0(630.0)	550.0(685.6)	0.0(0.0)	100.0(200.0)
<b>El Baral - NC</b>	3800(3291.7)	1500.0(2164.9)	50.0(111.8)	575.0(434.9)
<b>Los Lavaderos - DC</b>	183.2(89.0)	25.5(20.4)	0.0(0.0)	0.0(0.0)
<b>Los Lavaderos - Nf</b>	7766.8(3943.6)	5100.0(4000.8)	40.0(41.8)	150.0(40.8)
<b>El Salitre - Dc</b>	450.0(551.1)	250.0(204.1)	0.0(0.0)	25.0(20.4)
<b>Las Crucitas - Nf</b>	2065.0(1419.9)	700.0(163.3)	160.0(167.3)	0.0(0.0)
<b>Paso de Palmillas - Dc</b>	1200(326.6)	700.0(163.3)	0.0(0.0)	0.0(0.0)
<b>El Platanar - Dc</b>	0.0(0.0)	50.0(40.8)	0.0(0.0)	0.0(0.0)
<b>El Platanar Cuadrilla Alta - Dc</b>	0.0(0.0)	50.0(40.8)	0.0(0.0)	0.0(0.0)
<b>Parcela El Plan - Nf</b>	0.0(0.0)	3000.0(2449.5)	0.0(0.0)	0.0(0.0)
<b>El Salto - Nc1</b>	3150.0(48334.3)	950.0(1320.4)	175.0(350)	200.0(244.9)
<b>El Salto - Nc2</b>	3625.0(4956.1)	1000(375.0)	25.0(50.0)	0.0(0.0)
<b>El Granjenal - Nc</b>	5800.0(10560.3)	1600.0 (2771.3)	25.0(50.0)	0.0(0.0)
<b>Ojo de Agua - Nf</b>	550.0(280.6)	1566.8 (1744.2)	0.0(0.0)	33.3(47.1)
<b>Ojo de Agua - Nf</b>	6033.3(6104.2)	2283.3(1715.8)	200.0(141.4)	433.3(543.7)
<b>El Ranchito</b>	2566.8(2490.3)	1700.0(2333.8)	166.8(147.2)	50.0(70.7)
<b>Cárcamo de Churumuco</b>	400.0(489.9)	2400.0 (3253.7)	50.0(61.2)	533.3(754.2)

### ANEXO 3. Encuesta sobre manejo intradomiciliario del agua y salud familiar.

ENCUESTA: "AGUA DOMESTICA Y SALUD FAMILIAR"	
FECHA:	NOMBRE DE QUIEN APLICO:
LOCALIDAD:	EJIDO:
NOMBRE:	SEXO:
EDAD:	¿QUE INTEGRANTE DE LA FAM. ES?
¿CUANTAS PERSONAS VIVEN EN SU HOGAR?	
¿A QUE SE DEDICA?:	
¿SABE LEER?	GRADO DE ESCOLARIDAD:
¿HA RECIBIDO ALGÚN TIPO DE CURSO O INFORMACIÓN ACERCA DE ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR EL AGUA?	

A - ORIGEN DEL AGUA, PRESERVACION Y TRATAMIENTO DOMESTICO (marcar con X su respuesta)		
1	¿De dónde proviene el agua que su familia consume diariamente para beber y cocinar?	a) Red de agua del poblado
		b) Noria familiar
		c) Manantial familiar
		d) Directamente del arroyo
		e) La compramos
		f) otra
2	¿De dónde proviene el agua que utiliza diariamente para otras actividades del hogar como higiene personal, lavado de ropa y trastes, etc.?	a) Red de agua del poblado
		b) Noria familiar
		c) Manantial familiar
		d) Directamente del arroyo
		f) otra
3	¿Dónde almacenan el agua para beber y cocinar?	a) En garrafones
		b) En botes
		c) En la pila
		d) otro
4	¿Dónde almacenan el agua para otras actividades?	a) En garrafones
		b) En botes
		c) En la pila
		d) Rotoplas
		e) otro
5	¿Realiza algún método de desinfección al agua que consumen y utilizan diariamente?	a) Si
		b) No
		c) Consumo si, uso no
		d) Uso si, consumo no
6	¿Qué método de desinfección utiliza?	a) Le echo cloro
		b) La pongo al sol
		c) La hiervo
		e) Le agrego microdyn u otro desinfectante comercial
		d) otra
<b>B - SALUD FAMILIAR RESPECTO A ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR EL AGUA</b>		
7	¿Algún miembro de su familia ha padecido enfermedades que usted crea son provocadas por el agua?	a) Si
		b) No
		c) No lo sé
8	Si (7) es afirmativa ¿Qué síntomas se le han presentado a los miembros de su familia que han enfermado?	a) Infecciones urinarias
		b) Diarreas
		c) Vómitos
		d) Inflamación
		e) Sangrados
		f) Colitis

		<i>g) Fiebre</i>
		<i>h) Dolor abdominal</i>
		<i>i) Todas</i>
		<i>j) Otras</i>
9	¿Cuánto tiempo seguido han durado esos síntomas?	<i>a) Menos de tres días</i>
		<i>b) De tres días a una semana</i>
		<i>c) Más de una semana</i>
		<i>d) Otro</i>
10	En caso de haber acudido a un servicio médico ¿Qué enfermedad le diagnosticaron?	<i>a) Gastroenteritis bacteriana</i>
		<i>b) Neumonía bacteriana</i>
		<i>c) Disentería bacilar</i>
		<i>d) Fiebre tifoidea</i>
		<i>e) No le dieron diagnóstico</i>
		<i>f) Otra</i>
11	¿Cuántas veces al año se ha presentado alguna estas enfermedades en su familia?	<i>a) 1 vez al año</i>
		<i>b) 2 veces</i>
		<i>c) 3 o más veces al año</i>
12	¿En qué temporada del año es más común que algún miembro de su familia contraiga estas enfermedades?	<i>a) Secas</i>
		<i>b) Lluvias</i>
		<i>c) Ambas</i>
		<i>c) No se</i>
13	¿Con qué frecuencia se han presentado estas enfermedades?	<i>a) Cada año</i>
		<i>b) Un año si, uno no</i>
		<i>C) Raras veces</i>
		<i>d) Otro</i>
14	¿Qué miembros de la familia son los más afectados por estas enfermedades?	<i>a) Niños</i>
		<i>b) Jóvenes</i>
		<i>c) Adultos</i>
		<i>d) Adultos mayores</i>
		<i>e) Otro</i>
15	¿Cómo son atendidos los miembros de su familia afectados por las enfermedades causadas por el contacto con agua de mala calidad?	<i>a) Remedios caseros</i>
		<i>b) Lo llevamos a la casa de salud</i>
		<i>c) Otro</i>
16	¿Conoce algún caso de muerte ocasionado por estas enfermedades de origen hídrico?	<i>a) Si</i>
		<i>b) No</i>
OBSERVACIONES:		