



Fachhochschule Köln
Cologne University of Applied Sciences



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTADES DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA
PROGRAMAS MULTIDISCIPLINARIOS DE POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

AND

COLOGNE UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
INSTITUTE FOR TECHNOLOGY AND RESOURCES MANAGEMENT IN THE TROPICS AND SUBTROPICS

**PROBLEMÁTICA Y PROPUESTAS PARA EL MANEJO SOSTENIBLE DEL RÍO
TAMASOPO
SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO**

THESIS TO OBTAIN THE DEGREE OF
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES
DEGREE AWARDED BY
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
AND
MASTER OF SCIENCE
TECHNOLOGY AND RESOURCES MANAGEMENT IN THE TROPICS AND SUBTROPICS
IN THE SPECIALIZATION: RESOURCES MANAGEMENT
DEGREE AWARDED BY COLOGNE UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

PRESENTS:

ANDREA GIRALDO ARIAS

CO-DIRECTOR OF THESIS PMPCA
DR. JAVIER FORTANELLI MARTÍNEZ

CO-DIRECTOR OF THESIS ITT:
PROF. DR. LARS RIBBE

ASSESSOR:
DR. HUMBERTO REYES HERNÁNDEZ



Fachhochschule Köln
Cologne University of Applied Sciences



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTADES DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA
PROGRAMAS MULTIDISCIPLINARIOS DE POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES
AND
COLOGNE UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
INSTITUTE FOR TECHNOLOGY AND RESOURCES MANAGEMENT IN THE TROPICS AND SUBTROPICS

**PROBLEMÁTICA Y PROPUESTAS PARA EL MANEJO SOSTENIBLE DEL RÍO
TAMASOPO
SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO**

THESIS TO OBTAIN THE DEGREE OF
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES
DEGREE AWARDED BY
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
AND
MASTER OF SCIENCE
TECHNOLOGY AND RESOURCES MANAGEMENT IN THE TROPICS AND SUBTROPICS
IN THE SPECIALIZATION: RESOURCES MANAGEMENT
DEGREE AWARDED BY COLOGNE UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

PRESENTS:

ANDREA GIRALDO ARIAS

DR. JAVIER FORTANELLI MARTÍNEZ

PROF. DR. LARS RIBBE

DR. HUMBERTO REYES HERNÁNDEZ

PROYECTO FINANCIADO POR:

**H. AYUNTAMIENTO (2009-2012) DEL MUNICIPIO DE TAMASOPO, SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO
DEUTSCHER AKADEMISCHER AUSTAUSCH DIENST (DAAD)**

PROYECTO REALIZADO EN:

PMPCA

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE ZONAS DESÉRTICAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

CON EL APOYO DE:

**DEUTSCHER AKADEMISCHER AUSTAUSCH DIENST (DAAD)
CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (CONACYT)**

**LA MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES RECIBE APOYO A TRAVÉS DEL PROGRAMA NACIONAL DE
POSGRADOS (PNPC - CONACYT)**

Erklärung / Declaración

Name / *Nombre*: Andrea Giraldo Arias

Matri.-Nr. / *Nº de matricula*: 11090028 (CUAS), 0204030 (UASLP)

Ich versichere wahrheitsgemäß, dass ich die vorliegende Masterarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten und nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, sind als solche kenntlich gemacht.

Aseguro que yo redacté la presente tesis de maestría independientemente y no use referencias ni medios auxiliares aparte de los indicados. Todas las partes, que están referidas a escritos o a textos publicados o no publicados son reconocidas como tales.

Die Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form noch nicht als Prüfungsarbeit eingereicht worden.

Hasta la fecha, un trabajo como éste o similar no ha sido entregado como trabajo de tesis.

San Luis Potosí, den /el _____

Unterschrift / *Firma*: _____

Ich erkläre mich mit einer späteren Veröffentlichung meiner Masterarbeit sowohl auszugsweise, als auch Gesamtwerk in der Institutsreihe oder zu Darstellungszwecken im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit des Institutes einverstanden.

Estoy de acuerdo con una publicación posterior de mi tesis de maestría en forma completa o parcial por las instituciones con la intención de exponerlos en el contexto del trabajo investigación de las mismas.

Unterschrift / *Firma*: _____

AGRADECIMIENTOS

Al Servicio Alemán de Intercambio Académico DAAD y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT, por otorgarme esta beca y brindarme la oportunidad de ampliar mis conocimientos en México y en Alemania para el desarrollo de la presente investigación.

Al Ayuntamiento del municipio de Tamasopo, que, por su colaboración y financiamiento, me permitió lograr satisfactoriamente todas las actividades propuestas.

Al Instituto de Investigación de Zonas Desérticas por brindarme su apoyo para el desarrollo de las salidas de campo, y por contribuir con valiosos aportes para la estructuración de mi propuesta de tesis.

Al Dr. Javier Fortanelli Martínez por acompañarme incondicionalmente durante todo mi proceso académico, no solamente con su gran conocimiento y compromiso científico, sino con los consejos y lecciones que me hicieron entender, que para aportar verdaderas soluciones a los problemas actuales de la humanidad y el ambiente, solo se necesita pasión, entrega, perseverancia y dedicación. Gracias Doctor por ser ese maestro amigo que confió en mí, me incentivó a tener una visión más crítica y objetiva, y me permitió hacer parte de su bella familia, a la cual también agradezco enormemente el haberme acogido durante mi trabajo de campo.

Al Dr. Lars Ribbe y al Dr. Humberto Reyes Hernández por los aportes y sugerencias que contribuyeron al mejor desarrollo de mi trabajo de investigación.

Al Dr. Clemente Rodríguez Cuevas de la Facultad de Ingenierías por su asesoría y su colaboración con el préstamo del equipo para el cálculo de los flujos del río.

A María Dolores Soto, Alma de Lira y Beatriz Nieto del Laboratorio de Química Ambiental, quienes hicieron posible el análisis físicoquímico y bacteriológico de las muestras de agua.

A la Dra. María Catalina Alfaro de la Torre, por su asesoría.

Al Ing. Saúl Enrique Escoto Chávez del laboratorio de Ingeniería Ambiental por su apoyo técnico en el proyecto.

Al Dr. Carlos Alfonso Muñoz Robles, por su asesoría y apoyo.

A los funcionarios de CONAGUA, a los funcionarios de la CNC y al Ingenio Alianza Popular, que sin sus contribuciones y opiniones, no hubiera sido posible conocer en detalle la problemática asociada a los usos del río.

A la población del municipio de Tamasopo que no solamente me hizo enamorar de la inigualable belleza de sus montañas, bosques y ríos, sino que me atendió con una amabilidad y hospitalidad única. Muchas gracias por ser ese motor que me impulsó a dar lo mejor para brindar esta propuesta, la cual, espero que sea una herramienta de gran utilidad para el progreso de la región.

A mi familia, que a pesar de la distancia, siempre estuvo compartiendo conmigo mis experiencias, mis dificultades y mis logros durante esta corta estadía fuera de mi amada casa, Colombia.

A Julio y a mi precioso bebé, por ser parte de mi vida, por vivir conmigo mis sueños, mis tristezas y mis alegrías. Gracias a ustedes me he fortalecido como madre, profesional, compañera, y amante apasionada por la naturaleza y el arte.

Finalmente, muchas gracias a mis compañeros de la maestría y a todos mis amigos de Alemania y México, que me permitieron conocer otros puntos de vista, otras culturas y costumbres, y que me enriquecieron personalmente y profesionalmente. Gracias por todas esas lindas experiencias que ahora solo dibujan sonrisas cada vez que las recuerdo.

RESUMEN

La problemática del agua en el mundo, es una situación que se torna preocupante a medida que incrementa la población, se contaminan las fuentes hídricas y escasea el recurso. En respuesta a ello, nace la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH) como *“un proceso que promueve el desarrollo y manejo coordinado del agua, la tierra y otros recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar económico y social resultante de manera equitativa, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales”*. Lo anterior, en consecuencia, ha generado nuevos enfoques y experiencias a nivel internacional.

En el caso de México, la GIRH cuenta con una gran trayectoria desde su aplicación en el río Papaloapan, el río Balsas y otros, como una iniciativa a la solución de conflictos generados en torno al recurso hídrico. No obstante, estos conflictos siguen siendo evidentes en cuencas de diferentes escalas. Uno de estos casos lo representa la cuenca del río Tamasopo, una de las fuentes hídricas más importantes de la Huasteca Potosina por su importancia en el desarrollo de los sectores agrícola, turístico, industrial y doméstico.

El presente trabajo analiza la problemática relacionada con el uso y manejo del agua en el río Tamasopo y, con base en ello, propone las estrategias que deberían implementarse para el desarrollo de un futuro plan de GIRH. Para este fin, se evaluó la calidad del agua del río en seis sitios, mediante el análisis y caracterización de los parámetros físico-químicos y bacteriológicos. Estos, se agruparon en índices de calidad, y se compararon con los límites máximos permisibles de las normas oficiales mexicanas NOM-127-SSA1 y NOM-001-ECOL. Se identificaron los cambios de la escorrentía relacionados con el cambio de uso del suelo para cuatro periodos diferentes mediante la estimación de los volúmenes escurridos, y se calculó el gasto aproximado del río para conocer la disponibilidad de agua en la cuenca. Finalmente, se detectaron y caracterizaron las deficiencias en el uso del agua según cada sector.

Con base en los resultados, el río presenta contaminación por bajo oxígeno disuelto y alto contenido de DQO, nitrógeno amoniacal y coliformes. Adicionalmente, la expansión de la agricultura de temporal ha generado un aumento en la escorrentía, lo cual acelera los procesos erosivos de la cuenca y aumenta la vulnerabilidad de la población a eventos de inundación. Lo anterior, y el mal uso que se le está dando al recurso hídrico en los sectores: turístico, urbano, agrícola e industrial, hacen evidente la ausencia de un plan de GIRH.

ABSTRACT

The problem of water in the world is a situation that becomes worrisome as the population increases and the water sources are contaminated and scarce. However, as a solution, the integrated management of water resources (IWRM) was created as *"a process which promotes the coordinated development and management of water, land and related resources in order to maximize economic and social welfare in an equitable manner without compromising the sustainability of vital ecosystems and the environment"*; being a new approach that has generated new experiences at the international level.

In the case of Mexico, IWRM has been developed since its application in rivers such as Papaloapan, Balsas and others, as an initiative to solve water conflicts. Nonetheless, these conflicts are still evident in basins of different scales. One of these cases is the Basin of Tamasopo River, one of the most important water resources of the Huasteca Potosina by its exuberant natural beauty and its importance in the development of the agricultural, touristic, industrial and urban sectors.

This paper analyzes the problems related to the use and management of water in Tamasopo River, and proposes strategies that should be implemented for the development of a future IWRM plan. The water quality of the River was evaluated in six sites through the analysis and characterization of physicochemical and bacteriological parameters. These parameters were grouped into quality indexes, and were compared with the maximum permissible limits of the official Mexican norms NOM-127-SSA1 and NOM-001-ECOL. Moreover, the runoff changes of the basin, related to the land use changes, were identified for four different periods by the estimation of the drained volume, and the flow rate of the River was calculated to find the water availability of the basin. Finally, deficiencies related to the water use by the different sectors, were perceived and characterized.

Based on the results, the river presents contamination by a low dissolved oxygen concentration and a high content of COD, ammoniacal nitrogen and coliforms. Additionally, the expansion of agriculture has led to an increase in runoff, which accelerates the erosion processes of the basin and increases the vulnerability of the population to flood events. These problems and the misuse of water resources in the touristic, urban, agricultural and industrial sectors show an absence of an IWRM plan.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	4
1.2 Justificación.....	5
1.3 Objetivo.....	6
2. MARCO CONCEPTUAL	6
2.1 La gestión integrada de los recursos hídricos.....	6
2.2 Los principios de Dublín.....	8
2.3 La cuenca como unidad de manejo.....	10
2.4 La calidad y la cantidad de agua en la GIRH.....	10
2.5 El índice de calidad de agua (ICA)	12
2.6 Los usos del agua y los sectores involucrados en la GIRH.....	16
2.7 La escasez del agua y el estrés hídrico.....	17
3. ANTECEDENTES.....	18
3.1 La situación del agua en el mundo.....	19
3.2 Los recursos hídricos en México.....	23
4. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	26
5. METODOLOGÍA	31
5.1 Delimitación de la zona de estudio.....	31
5.2 Identificación de la problemática.....	32
5.3 Calidad del agua.....	32
5.4 Cantidad de agua.....	39
5.5 Manejo y uso del agua del río.....	42
6. RESULTADOS.....	44
6.1 La calidad del agua del río Tamasopo.....	44
6.2 Cantidad de agua.....	52
6.3 Usos del río Tamasopo.....	60
7. DISCUSIÓN	79
8. CONCLUSIONES	86

9. PROPUESTA.....	87
LITERATURA CITADA.....	92
ANEXO 1	101
ANEXO 2	105
ANEXO 3	107
ANEXO 4	110
Lista de figuras	III
Lista de cuadros	V
Lista de fotos	VI

Lista de figuras

Figura 1. Disponibilidad mundial de agua.....	2
Figura 2. Etapas en la planeación e implementación de la GIRH	8
Figura 3. Tipología de los usos del agua.....	17
Figura 4. Tendencias del uso global del agua por sector	22
Figura 5. Regiones hidrológico - administrativas de México.....	25
Figura 6. Localización del municipio de Tamasopo.....	27
Figura 7. Localización de la zona de estudio.....	28
Figura 8. Puntos importantes del río Tamasopo (tramo Agua Buena – Tamasopo)..	29
Figura 9. Puntos importantes del río Tamasopo (tramo Tambaca)	30
Figura 10. Ubicación de los puntos de muestreo	36
Figura 11. Localización de los puntos de muestreo	37
Figura 12. Sólidos suspendidos totales por punto de muestreo	48
Figura 13. Nitrógeno total por punto de muestreo	48
Figura 14. Calidad del agua en cada punto.....	51
Figura 15. IPE histórico de la estación climatológica Agua Buena.....	53
Figura 16. Volumen total escurrido de los periodos 1973-1974 y 2000-2001.....	55
Figura 17. Cambios en la cubierta vegetal años 1973 y 2000.....	56
Figura 18. Volumen total escurrido de los periodos 1982-1983 y 2008-2009.....	57
Figura 19. Cambios en la cubierta vegetal años 1989 y 2005.....	58
Figura 20. Duración en las interrupciones del servicio de acueducto.....	60
Figura 21. Problemas de abastecimiento de agua en época de secas	61
Figura 22. Percepción de la población sobre la calidad del agua para abastecimiento	63
Figura 23. Usos del agua en el sector doméstico.....	65
Figura 24. Opinión de la población sobre el desperdicio del agua	66
Figura 25. Descarga de aceites de cocina al drenaje.....	67
Figura 26. Porcentaje de la población conectada al drenaje municipal.....	68
Figura 27. Percepción de la población respecto al servicio de drenaje municipal.....	68
Figura 28. Inundaciones en el municipio en los últimos 10 años.....	69

Figura 29. Percepción de la población sobre la contaminación del río.....	70
Figura 30. Temporadas que prefiere la poblacion para ir al río	72
Figura 31. Lugares de preferencia para uso recreativo del río	72
Figura 32. Porcentaje de personas que pescan	73
Figura 33. Percepción de la población respecto a la disminución de peces en el río	73
Figura 34. Histórico del consumo de agua ingenio Alianza Popular.....	78
Figura 35. <i>E.coli</i> presente en parajes naturales	80
Figura 36. Enterococos fecales en parajes naturales.....	80

Lista de cuadros

Cuadro 1. Pesos específicos para los parámetros del ICA	13
Cuadro 2. Clasificación del índice de calidad de agua	14
Cuadro 3. Clasificación de la calidad del agua	15
Cuadro 4. Grados de disponibilidad de agua	18
Cuadro 5. Países con estrés hídrico.....	20
Cuadro 6. Población en millones.....	20
Cuadro 7. Ecuaciones para el cálculo de índices individuales de calidad	38
Cuadro 8. Clasificación del índice de precipitación estandarizado.....	40
Cuadro 9. Coeficientes de escorrentía de Prevert.....	41
Cuadro 10. Parametros punto 1 vs norma.....	45
Cuadro 11. Coliformes fecales por punto y muestreo	47
Cuadro 12. Clasificación de la calidad del agua por punto y parámetro.....	49
Cuadro 13. Índice general de calidad de agua por parámetro.....	50
Cuadro 14. Índice de calidad de agua.....	51
Cuadro 15. Clasificación del IPE por periodo	52
Cuadro 16. Estimación del caudal en Paso Ancho y las Adjuntas durante el estiaje y la temporada lluviosa.....	59
Cuadro 17. Calidad del agua en parajes certificados del municipio de Tamasopo ...	84

Lista de fotos

Foto 1. Puente de Dios.....	33
Foto 2. Paso Ancho.....	34
Foto 3. Descargas de agua residual de Tamasopo (Los Sabinos).....	34
Foto 4. Descargas de la localidad de Agua Buena.....	35
Foto 5. Las Adjuntas	35
Foto 6. Aguas abajo de Tambaca	36
Foto 7. Planta de tratamiento de agua residual de Tamasopo	71

1. INTRODUCCIÓN

El agua, un recurso esencial para la vida en el planeta, ha sido afectada en su disponibilidad y calidad por diferentes factores, tales como el cambio climático, la pobreza, los cambios en el uso del suelo y el crecimiento poblacional. El mal manejo de éste recurso debido a su sobreexplotación para fines domésticos, agrícolas e industriales, así como su contaminación, contribuyen a su escasez.

La crisis hídrica ha sido un tema de debate político desde hace más de un siglo, pero es a partir del año de 1992, en la Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente en Dublín, que se consolida la Gestión Integral de los Recursos Hídricos como un proceso para promover el uso y aprovechamiento sostenible del agua y sus recursos relacionados, mediante la integración de los aspectos: político, ambiental, social y económico.

Sin embargo, pese a que éste nuevo enfoque ha sido una iniciativa implementada en diferentes países, sigue siendo débil o ausente en muchos otros que aún presentan grandes problemas hídricos. Según el informe sobre desarrollo humano del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2006:2): *“1.100 millones de habitantes de países en desarrollo carecen de un acceso adecuado al agua y 2.600 millones no disponen de servicios básicos de saneamiento”*. Actualmente, como se muestra en la Figura 1, muchos países del norte y del este de África, así como gran parte de Asia, presentan problemas por escasez y estrés hídrico. Estos escenarios, cada vez más preocupantes en años venideros, se proyectan para el año 2025 con un incremento de la población mundial del 30% (Vaux Jr, 2012:136), el cual, a diferencia del año 2000 cuando se registró una disponibilidad de agua per cápita de 6600 m³, sólo contará con un promedio anual de 4800 m³ (Cosgrove y Rijsberman, 2000:xxi). Según Toledo (2002:11) *“para esa época, una tercera parte de la población vivirá en situaciones consideradas como altamente catastróficas por falta de agua”*.

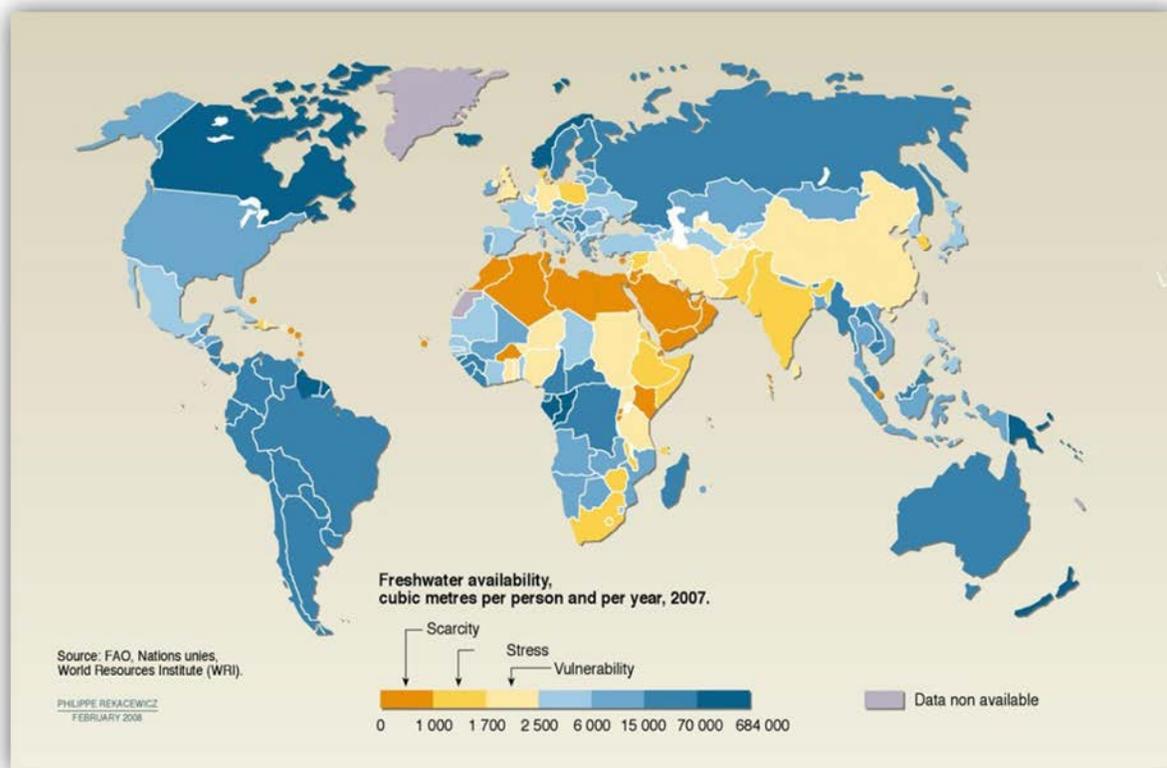


FIGURA 1. DISPONIBILIDAD MUNDIAL DE AGUA

FUENTE: FAO, ONU, WRI, 2007

En el caso de México, la disponibilidad de agua per cápita ha reducido considerablemente. Según CONAGUA (2012 citado por SEMARNAT, 2013) el volumen de agua disponible por persona al año redujo de 17742 m³ en el año de 1960, a 4090 m³ en 2010. Actualmente, aunque algunas zonas del país aún cuentan con abundantes fuentes de agua, otras presentan grandes deficiencias en su distribución debido a problemas por estrés hídrico (Amaury, 2009:233). El Fondo para la Comunicación y Educación Ambiental, el Centro Mexicano de Derecho Ambiental y la Presencia Ciudadana Mexicana (2006:9) indican que alrededor de 12 millones de habitantes no tienen acceso a agua potable y que 24 millones no cuentan con alcantarillado. No obstante, éste contexto no solo puede ser atribuido a la insuficiente eficacia de las políticas públicas concernientes al agua, sino también a su desperdicio y a la débil inversión nacional en infraestructura para el abastecimiento doméstico y el tratamiento de las aguas residuales.

Aunado a esta situación, la alteración y degradación de las cuencas hidrológicas en el país son cada vez más severas. Según CONAFOR¹, alrededor del 58% de los bosques de México se ha perdido a causa de la expansión agropecuaria, lo que ha generado grandes impactos en los suelos y en el ciclo hidrológico; una de las consecuencias importantes ha sido el incremento en la escorrentía de las cuencas. Además de ello, los mayores contaminantes que se descargan a las corrientes de agua provienen principalmente de la industria y la agricultura, y sólo un 25% de éstas aguas residuales recibe un tratamiento adecuado (FEA, CEMDA, Presencia Ciudadana Mexicana, 2006:16).

La GIRH en México, es sin duda una herramienta indispensable pero insuficientemente aplicada en el territorio nacional; por ello, debe expandirse también a las zonas con menor disponibilidad de agua, como son los estados del norte y del centro, y a aquellas zonas donde el recurso es suficiente y merece ser conservado para el bienestar de las poblaciones y los ecosistemas, como es el caso de la Huasteca Potosina.

La Huasteca Potosina se ubica en el corazón de la Sierra Madre Oriental y gracias a sus condiciones medioambientales se caracteriza por una exuberante selva húmeda tropical con gran diversidad de fauna y flora. Del mismo modo, la riqueza hídrica de la zona y el clima, favorecen las actividades agrícolas y pecuarias así como el turismo, ejes económicos importantes de los centros de desarrollo de la región. Uno de estos centros es el municipio de Tamasopo, ubicado en el oriente del estado de San Luis Potosí. Su diversa topografía y geomorfología le brindan a éste lugar una belleza paisajística y ecosistémica alimentada de diferentes fuentes de agua. Sin embargo, la presión que ejerce actualmente la población, la agroindustria y el turismo, generan impactos relevantes en su corriente principal, denominada río Tamasopo.

¹ Comisión Nacional Forestal

El presente trabajo busca establecer las bases para el manejo sostenible del río Tamasopo mediante estrategias que, a partir de la identificación de los problemas relacionados con el agua, se constituyan los cimientos para la futura gestión integrada de éste recurso hídrico. En la identificación de esta problemática, se incluyó la percepción del uso y manejo actual del agua que tienen los actores públicos y privados de tres localidades contiguas al río: Tamasopo (4326 Hab.), Agua Buena (3753 Hab.) y Tambaca (3550 Hab.); asimismo, el proyecto involucra seis puntos de muestreo a lo largo del río en los que se realizó un análisis de calidad del agua y se comparó el volumen medio escurrido a partir de registros históricos de precipitación.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Aunque Tamasopo es un municipio reconocido por su riqueza hídrica, su población aún presenta problemas de abastecimiento de agua potable. Según el censo del año 2011 (INEGI, 2011), el 62% de las viviendas particulares habitadas se suplen de la red pública, pero el agua no recibe ningún tratamiento previo a su distribución, y los sistemas de bombeo y las tuberías aún presentan deficiencias.

Asimismo, la agroindustria y el turismo son factores que generan un gran impacto en la disponibilidad del agua del municipio, debido a que la demanda para la irrigación de los campos agrícolas y el abastecimiento de los visitantes en las temporadas vacacionales es muy alta. No obstante, esta condición sumada a la deforestación, la degradación de los suelos y a la contaminación de las fuentes hídricas ocasionada por éstos sectores productivos, son factores que provocan grandes afectaciones en los aspectos socio-ambientales de la cuenca .

Alrededor del 33% de las viviendas no dispone de drenaje, y muchos residuos caen directamente a receptores naturales. Igualmente, a pesar de que el sistema de drenaje municipal se ha renovado en los últimos años, ha sido desprovisto de

mantenimiento, lo cual genera colmatación en las tuberías y dificultades en el desagüe (Gobierno Municipal de Tamasopo, 2009).

La problemática del agua en Tamasopo se origina por lo tanto, desde diversos aspectos. Según el Gobierno Municipal de Tamasopo (2009:42) *“la ausencia de un Plan de Ordenamiento Territorial en los centros de población como de todo el territorio municipal, dificultan la proveeduría de servicios básicos de calidad y permanencia, por lo que cada vez se acentúan los problemas de vialidad, servicios de dotación básicamente de agua, drenaje, alumbrado y recolección de basura, así como las descargas de aguas pluviales y domésticas”*.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Debido a la importancia del río Tamasopo en el municipio y en el estado de San Luis Potosí por sus abundantes recursos, y a la preocupación que su deterioro representa, es necesario realizar investigación científica que conduzca a la identificación de los impactos relacionados con la calidad del agua, así como a la variabilidad ambiental de los últimos años que ha generado repercusiones importantes en la escorrentía de la cuenca.

El flujo regular y la buena calidad del agua son elementos indispensables para el bienestar de la población y el funcionamiento óptimo de los ecosistemas. Por consiguiente, es imprescindible la propuesta de estrategias de gestión que abran paso a la toma de decisiones y futuros planes de acción, los cuales permitan el aprovechamiento sostenible del río, teniendo en cuenta tanto su conservación biológica y ecosistémica, como el desarrollo agroindustrial, turístico y urbano de la región.

1.3 OBJETIVO

Evaluar la problemática asociada al manejo y uso del agua del río Tamasopo, mediante su identificación, caracterización y análisis, a partir de lo cual se propondrán estrategias de gestión dentro de un marco de sostenibilidad.

2. MARCO CONCEPTUAL

La sostenibilidad o desarrollo sostenible, es un concepto clave en el manejo del agua. El reporte de la Comisión Mundial sobre Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas, “Nuestro Futuro Común” (ONU, 1987) lo define como *“aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades”*. Sin embargo, para alcanzar la sostenibilidad en el sector agua, se hace necesario también entender el concepto de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos.

2.1 LA GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

A raíz de la crisis mundial del agua, de la débil implementación de políticas públicas relacionadas con éste tema y del inadecuado aprovechamiento del recurso en sus diferentes usos, se desarrolla, en el año de 1992, en la Conferencia Internacional del Agua y del Medio Ambiente en Dublín, el enfoque de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH).

Pese a que éste enfoque se incluyó en la agenda política desde entonces, fue oficialmente definido ocho años más tarde por la Asociación Mundial para el Agua (Global Water Partnership, GWP) y el Comité de Asesoramiento Técnico de GWP (GWP Technical Advisory Committee) *“como un proceso que promueve el desarrollo y manejo coordinado del agua, la tierra y otros recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar económico y social resultante”*

de manera equitativa, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales” (Global Water Partnership, 2008:4).

La GIRH es una propuesta que se fundamenta en el recurso hídrico no sólo como un líquido vital para el sostenimiento ecológico, sino como un derecho y bien público que debe ser distribuido imparcialmente entre todos los actores que hagan uso de él; que debe abastecer eficientemente las necesidades sociales y vincular a las comunidades locales, el sector público y el privado en la toma de decisiones y con los procesos políticos que permitan desarrollar planes de manejo dentro de los contextos nacionales e internacionales (Tarquino, 2004). En efecto, la implementación de la GIRH consiste en una unidad formada por el ciclo hidrológico, la cuenca hidrográfica, todos los tipos de fuentes hídricas y los usuarios involucrados en el aprovechamiento y uso del agua. Asimismo, éste proceso requiere de una visión multisectorial en la cual participen e interactúen el desarrollo científico, el sector financiero y las diferentes esferas administrativas y técnicas para promover e incentivar el desarrollo socio-económico del país (Figura 2), así como el bienestar ambiental y eco-sistémico del agua y sus recursos relacionados (Castillo, 2010).

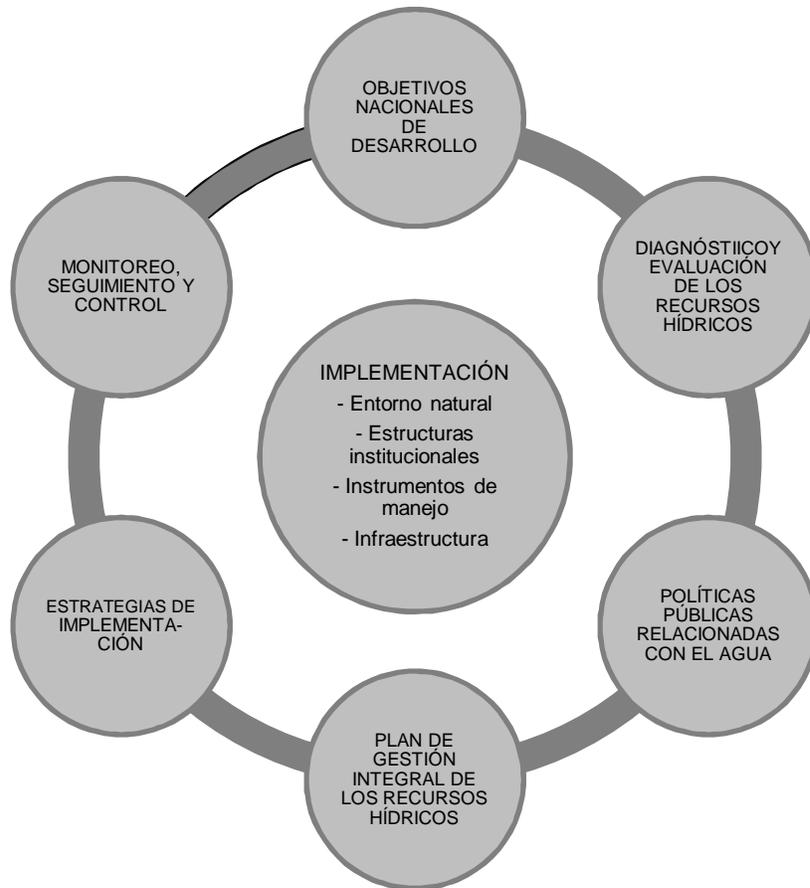


FIGURA 2. ETAPAS EN LA PLANEACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LA GIRH

FUENTE: ONU-Agua, GWP, 2007

2.2 LOS PRINCIPIOS DE DUBLÍN

La Global Water Partnership y Technical Advisory Committee (TAC) (2000:13), describen los cuatro principios de Dublín, formulados en la Conferencia Internacional del Agua y del Ambiente (1992), como guía para la Gestión Integral de los Recursos Hídricos. Estos son:

1. *El agua dulce es un recurso vulnerable y finito, esencial para mantener la vida, el desarrollo y el ambiente.* El agua dulce es utilizada para diferentes propósitos, pero su calidad y cantidad deben permanecer en buen estado, por lo cual el aprovechamiento de éste recurso debe ser congruente entre las

políticas a implementar, los beneficios socio-económicos que puede brindar y los servicios eco-sistémicos que presta.

- II. *El desarrollo y manejo del agua debe estar basado en un enfoque participativo, involucrando a usuarios, planificadores y realizadores de política a todo nivel.* Cada actor involucrado en el aprovechamiento y uso del agua debe ser partícipe de los procesos de toma de decisiones, desde el ámbito local al nacional donde se llegue a acuerdos y consensos.
- III. *La mujer juega un papel central en la provisión, el manejo y la protección del agua.* Pese a que las mujeres representan un rol importante en el uso del agua, principalmente en el doméstico, muchas de ellas aún se restringen de participar en planes de manejo del agua por razones culturales o religiosas. No obstante, su inclusión es fundamental para la formulación de estrategias.
- IV. *El agua posee un valor económico en todos sus usos competitivos y debiera ser reconocido como un bien económico.* Aunque el agua es un bien público y todas las personas tienen el derecho a ella, los costos del agua y los subsidios económicos son una herramienta importante para el uso y manejo racional del recurso.

Estos principios se han involucrado en la comunidad internacional de una forma trascendental, fueron un gran soporte para las recomendaciones del sector hídrico de la Agenda 21 y según Tarquino (2004) son una base para alcanzar los Objetivos 1 y 7 del Milenio de las Naciones Unidas (PNUD, 2012), los cuales hacen énfasis en “*erradicar la pobreza extrema y el hambre*” y “*garantizar la sostenibilidad del medio ambiente*”; éste último, con una de sus metas en “*reducir a la mitad, para el año 2015, el porcentaje de personas que carezcan de acceso sostenible a agua potable y saneamiento*”.

2.3 LA CUENCA COMO UNIDAD DE MANEJO

La cuenca hidrográfica, hace referencia al espacio donde se colecta el agua que proviene de las lluvias, el deshielo y los acuíferos, para luego canalizarse en un receptor superficial (Aguirre Núñez, 2011). La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2009:1), define las cuencas como *“áreas de desagüe o cuencas fluviales, que constituyen las zonas desde las cuales la lluvia o la nieve al derretirse bajan hacia un río, lago o embalse, estuario, humedal, el mar o el océano”*.

Estas zonas, pueden consistir de áreas muy extensas o considerablemente pequeñas que sobrepasan normalmente los límites políticos. Allí se desarrollan diferentes interacciones socio-económicas y ecológicas que le permiten a la cuenca ser una unidad de manejo, y posibilitan la integración del uso del agua, del uso del suelo, y de la cantidad y calidad del agua bajo un marco de sostenibilidad que involucra no solamente los asuntos que ocurren aguas arriba, sino también los que se presentan aguas abajo (UNESCO, 2009).

2.4 LA CALIDAD Y LA CANTIDAD DE AGUA EN LA GIRH

La Agenda 21, desarrollada en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo en Río de Janeiro en 1992, declara en su objetivo 18.8 que:

“La ordenación integrada de los recursos hídricos se basa en la percepción de que el agua es parte integrante del ecosistema, un recurso natural y un bien social y bien económico cuya cantidad y calidad determinan la naturaleza de su utilización”.

Se entiende por calidad del agua al conjunto de aspectos físicos, químicos biológicos y organolépticos que le dan las características aceptables al agua para

un uso específico (Betancur et al., 2011). Esto, complementado con una disponibilidad suficiente del recurso, asegura el abastecimiento óptimo de las necesidades e intereses de todos los usuarios. Sin embargo, la contaminación de las fuentes hídricas y la escasez del agua son factores limitantes para su consumo, por lo cual deben preverse y mitigarse de la forma más eficiente (Global Water Partnership, 2000:25).

La contaminación del agua, es la alteración de su estado original por la acumulación de líquidos o sólidos generados a partir de una causa natural o una artificial. Las fuentes de contaminación natural, tiene su relación con las sustancias que transporta el agua después de tener contacto con la atmósfera o el suelo, mientras que las fuentes de contaminación artificial se refieren a procesos humanos que añaden sustancias al agua, ya sea como resultado de una actividad agrícola, una industrial o una doméstica.

Pese a que los contaminantes del agua no tienen una definición certera, Jiménez (2005) define a un contaminante del agua como la materia o energía remanente que genera afectaciones en las poblaciones humanas o los ecosistemas, y perturba de forma negativa a las actividades que se desarrollan dentro o cerca del agua. Según Echarri (1998), estos contaminantes se clasifican en:

- a. *Microorganismos patógenos*. Se refiere a los organismos transmisores de enfermedades como protozoos, virus y bacterias que son transportados mediante las heces fecales o los restos orgánicos de personas infectadas. Este grupo de contaminantes puede medirse mediante la cantidad de coliformes presentes en el agua.

- b. *Desechos orgánicos*. Son los productos orgánicos que generan los humanos, los animales, o la descomposición de las plantas. Cuando existe un exceso de materia orgánica en el agua, su descomposición puede consumir el oxígeno que alimenta los ecosistemas acuáticos, generando procesos de

eutrofización. Para detectar la cantidad de oxígeno en el agua, se usan parámetros como el oxígeno disuelto o la demanda biológica de oxígeno.

- c. *Sustancias químicas inorgánicas.* Son los metales, ácidos o sales que perjudican la salud de los ecosistemas. La presencia de estas sustancias en el agua pueden ocasionar perjuicios en los rendimientos agrícolas.
- d. *Nutrientes vegetales inorgánicos.* Se refieren a los nitratos y fosfatos que se encuentran en forma abundante en el agua. Aunque estas sustancias son importantes en el crecimiento de las plantas, su exceso puede permitir la propagación de algas, que al consumir el oxígeno del agua del pueden causar eutrofización.
- e. *Compuestos orgánicos.* Productos derivados del petróleo como la gasolina, los plásticos, los plaguicidas o los detergentes, son difíciles de descomponer por su compleja estructura molecular y permanecen más tiempo en el agua.
- f. *Sedimentos y sólidos suspendidos.* Son las partículas de suelo y otros materiales que transporta una fuente de agua, lo cual genera turbidez.
- g. *Sustancias radiactivas.* Son los isótopos que pueden estar disueltos en el agua y que son acumulables en las cadenas tróficas.
- h. *Contaminación térmica.* Esto se refiere al agua con temperaturas elevadas generadas por las centrales de energía o por procesos industriales, lo cual reduce la retención de oxígeno en las fuentes hídricas y, en consecuencia, afecta a los ecosistemas acuáticos.

2.5 EL INDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA)

El uso del agua y los parámetros físico-químicos y microbiológicos son aspectos determinantes en el entendimiento de su calidad, de la naturaleza de los

contaminantes y de la dinámica de los ecosistemas acuáticos bajo diferentes condiciones de contaminación (Orozco et al., 2005 citados por Samboni et al., 2007). Sin embargo, pese a que la valoración del agua es un tema extenso, su interpretación puede simplificarse mediante el índice de calidad del agua (ICA) (Torres et al., 2009), el cual según SEMARNAT (2008) “se define como el grado de contaminación existente en el agua a la fecha de un muestreo, expresado como un porcentaje de agua pura. Así, agua altamente contaminada tendrá un ICA cercano o igual a 0% y de 100% para el agua en excelentes condiciones”.

El carácter cualitativo de este sistema, define los grados de contaminación del agua en relación a 18 parámetros, para cada uno de los cuales se determina un peso específico (Wi) en dependencia de su nivel de importancia de cada uno (Cuadro 1). No obstante, la clasificación del ICA fluctúa según los usos del agua y las necesidades de los usuarios (Cuadro 2).

CUADRO 1. PESOS ESPECÍFICOS PARA LOS PARÁMETROS DEL ICA

PARÁMETRO	PESO (Wi)	PARÁMETRO	PESO (Wi)
Demanda bioquímica de oxígeno	5.0	Nitrógeno en nitratos	2.0
Oxígeno disuelto	5.0	Alcalinidad	1.0
Coliformes fecales	4.0	Color	1.0
Coliformes totales	3.0	Dureza total	1.0
Sustancias activas al azul de metileno (detergentes)	3.0	Potencial de hidrógeno (pH)	1.0
Conductividad eléctrica	2.0	Sólidos suspendidos	1.0
Fosfatos totales	2.0	Cloruros	0.5
Grasas y aceites	2.0	Sólidos disueltos	0.5
Nitrógeno amoniacal	2.0	Turbiedad	0.5

FUENTE: SEMARNAT, 2008

CUADRO 2. CLASIFICACIÓN DEL INDICE DE CALIDAD DE AGUA

Valor (%)	Criterio General	Abastecimiento Público	Recreación General	Pesca y vida acuática	Industrial y agrícola	Navegación
100	No contaminada	No requiere purificación ligera	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	No requiere purificación	ACEPTABLE
90		Requiere purificación ligera			Mayor necesidad de tratamiento	
80	Aceptable		Aceptable más no recomendable	Dudosa para especies sensibles		
70		Poco contaminada			Dudosa	
60	Contaminada		Inaceptable	Evitar contacto con el agua		
50		Altamente contaminada			Inaceptable	
40	Contaminada		Inaceptable	Inaceptable		
30		Altamente contaminada			Inaceptable	
20	Altamente contaminada		Inaceptable	Inaceptable		
10		Altamente contaminada			Inaceptable	
0	Altamente contaminada		Inaceptable	Inaceptable		Inaceptable

FUENTE: SEMARNAT, CONAGUA, GERENCIA DE SANEAMIENTO Y CALIDAD DEL AGUA, 2002

La evaluación de la calidad del agua también se puede establecer mediante tres indicadores: la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO) y los sólidos suspendidos totales (SST) (CONAGUA, 2007) (Cuadro 3). Los primeros dos parámetros determinan la materia orgánica (M.O) procedente de las descargas de aguas residuales en el cuerpo hídrico, pero se diferencian en que la DBO mide principalmente la M.O biodegradable y la DQO la cantidad total de materia orgánica proveniente principalmente de descargas no municipales (CONAGUA, 2011). Las altas concentraciones en estos parámetros

afectan los niveles de oxígeno disuelto, lo cual es una limitante al desarrollo de los ecosistemas acuáticos. Esto mismo es consecuencia de los altos niveles de sólidos disueltos, los cuales proceden no solamente de aguas residuales, sino también de la erosión del suelo.

CUADRO 3. CLASIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA

ESCALAS DE CLASIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SEGÚN PARÁMETRO		
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)		
Criterio (mg/L)	Clasificación	Color
$DBO \leq 3$	Excelente: No contaminada	Azul
$3 < DBO \leq 6$	Buena calidad: Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable	Verde
$6 < DBO \leq 30$	Aceptable: Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente	Amarillo
$30 < DBO \leq 120$	Contaminada: Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal	Naranja
$DBO > 120$	Fuertemente contaminada: Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales	Rojo
Demanda Química de Oxígeno (DQO)		
$DQO \leq 10$	Excelente: No contaminada	Azul
$10 < DQO \leq 20$	Buena calidad: Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable	Verde
$20 < DQO \leq 40$	Aceptable: Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente	Amarillo
$40 < DQO \leq 200$	Contaminada: Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal	Naranja
$DQO > 200$	Fuertemente contaminada: Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales	Rojo

SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)		
SST ≤ 25	Excelente: Clase de excepción, muy buena calidad	Azul
25 < SST ≤ 75	Buena calidad: Aguas superficiales con bajo contenido de sólidos suspendidos, generalmente condiciones naturales. Favorece la conservación de comunidades acuáticas y el riego agrícola irrestricto	Verde
75 < SST ≤ 150	Aceptable: Aguas superficiales con indicio de contaminación. Con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente. Condición regular para peces. Riego agrícola restringido	Amarillo
150 < SST ≤ 400	Contaminada: Aguas superficiales de mala calidad con descargas de aguas residuales crudas. Aguas con alto contenido de material suspendido	Naranja
SST > 400	Fuertemente contaminada: Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales con alta carga de contaminante. Mala condición para peces	Rojo

FUENTE: CONAGUA, 2007

2.6 LOS USOS DEL AGUA Y LOS SECTORES INVOLUCRADOS EN LA GIRH

La Figura 3 muestra dos tipos de uso del agua; los extractivos o consuntivos y los no extractivos o no consuntivos. El primer grupo, implica una disminución en la cantidad del recurso, lo cual se refiere al agua que se toma desde su fuente original, ya sea superficial o subterránea, para fines agrícolas, industriales, domésticos, públicos, o para la generación de energía térmica. El segundo grupo son los usos que se realizan en el ambiente natural sin deteriorar la cantidad ni la calidad del agua. Éstos se relacionan a la producción de energía hidroeléctrica, a la pesca, a la recreación, al transporte, y a la conservación de los ecosistemas terrestres y acuáticos (Aguas de Mérida, 2009).

Por lo tanto, la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos es un proceso que le compete a diferentes sectores, entre ellos, el financiero, el minero e industrial, el

ambiental, el de transporte, el hidroeléctrico, el turístico, el de abastecimiento y saneamiento del agua, el agropecuario y el pesquero.

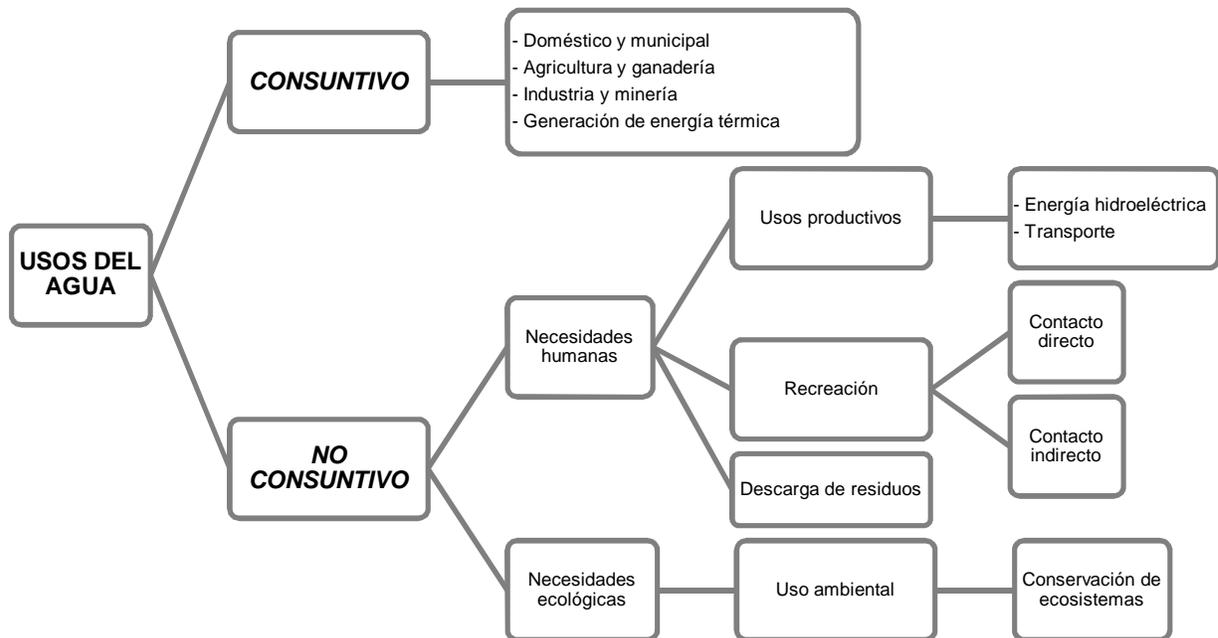


FIGURA 3. TIPOLOGÍA DE LOS USOS DEL AGUA

FUENTE: Adaptado de Hernández Rodríguez, 2005

2.7 LA ESCASEZ DEL AGUA Y EL ESTRÉS HÍDRICO

La ONU, señala el término *escasez del agua* como el punto en el que el abastecimiento de agua, en términos de calidad y cantidad hacia los diferentes sectores, incluyendo el medio ambiente, no puede ser completamente satisfecho debido a los impactos que los diferentes usuarios originan sobre el recurso.

Pese a que éste concepto es bastante incierto, ya que su definición siempre va a depender de las construcciones sociales (como costumbres y expectativas) o de variaciones en los patrones de la oferta como son los derivados del cambio climático, la estimación del grado de disponibilidad de agua según Brown y Matlock (2011) se puede calcular a partir de diferentes índices. Uno de los más usados es el indicador de Falkenmark, definido por Brown y Matlock (2011)

“como la fracción de la escorrentía anual total disponible para el uso humano” que toma en cuenta diferentes categorías de evaluación, entre las cuales, se relaciona el estrés hídrico con un suministro anual de agua per cápita menor a 1700 m³ (Revenga et al., 2000), la escasez de agua con un volumen menor a 1000 m³/hab/año, y la escasez absoluta con un volumen debajo de los 500 m³ (Cuadro 4) (Falkenmark et al., 1989 citado por Rijsberman, 2006; WRI, 2000).

CUADRO 4. GRADOS DE DISPONIBILIDAD DE AGUA

DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO	DISPONIBILIDAD NATURAL MEDIA PER-CÁPITA (m ³ /hab/año)
Escasez extrema	D < 1000
Escasez crítica	1000 < D < 1700
Disponibilidad baja	1700 < D < 5000
Disponibilidad media	5000 < D < 10000
Disponibilidad alta	D > 10000

FUENTE: Morales Soriano, 2005

3. ANTECEDENTES

La Gestión Integrada de los Recursos Hídricos es un proceso que se ha venido desarrollando desde hace aproximadamente un siglo, aunque sólo en años recientes se ha involucrado en la agenda política como un tema de debate. Según Mizanur y Varis (2005), España fue tal vez el primer país que organizó las cuencas por confederaciones hidrográficas en el año de 1926, para planificar su hidrología y gestionar los recursos. Cuatro años más tarde, la Autoridad del Valle de Tennessee desarrolló planes integrales de cuenca para el uso de los recursos naturales (UNESCO, 2009), y en 1960 se desarrolla un plan de manejo integrado de los recursos hídricos dentro de un marco multidisciplinario en Hessen, Alemania (Mizanur y Varis, 2005).

Una de las primeras reuniones internacionales en la que se discutió la GIRH fue en la Conferencia del Agua de las Naciones Unidas en Mar del Plata en 1977, que

involucró temas relacionados con el uso del agua, los riesgos naturales, el ambiente, la salud, la política del agua, el ordenamiento territorial, la educación, la investigación y la cooperación regional e internacional (Biswas, 2004 citado por Mizanur y Varis, 2005), lo cual, abrió paso a nuevos espacios de debate en conferencias como el Segundo Foro Ministerial y Mundial del Agua (2000), la Conferencia Internacional sobre el Agua Dulce (2001), la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible (2002) y el Tercer Foro Mundial del Agua (2003), entre otros (Mizanur y Varis, 2005).

Esto, no solamente ha permitido crear compromisos globales para un mejor manejo del agua, sino que ha involucrado a diferentes actores, desde el sector público hasta el sector privado, desde el ámbito local al nacional, en la identificación de los problemas que afectan la disponibilidad del recurso con el propósito de generar soluciones integrales y multisectoriales. Sin embargo, el crecimiento poblacional, y el desarrollo económico, tecnológico e industrial son factores que ejercen una presión importante en las reservas de agua, y que limitan su disponibilidad y su calidad (Still et al., 2010; Vaux Jr, 2012).

3.1 LA SITUACIÓN DEL AGUA EN EL MUNDO

La crisis mundial del agua es una realidad notoria en el Oriente Medio, África, China y el Sudeste Asiático. Fernández (1999) afirma que África, con un 13% de la población mundial, dispone solamente de un 11% del agua dulce del planeta; esta situación es aún más crítica en Asia, donde un 60% de la población apenas cuenta con el 36% del recurso.

La escasez de agua y el estrés hídrico, son hechos característicos de la primera mitad del siglo XXI. Las zonas áridas y semiáridas como Egipto, Siria, Jordania, Israel, Yemen, Arabia Saudí, Libia, Irak y Kuwait (Fernández, 1999; Vaux Jr, 2012) ya están siendo afectadas por problemas de escasez; sin embargo, el estrés hídrico es una amenaza latente que tiende a incrementar en el futuro como se muestra en los Cuadros 5 y 6.

CUADRO 5. PAISES CON ESTRÉS HÍDRICO

REGIÓN	1997	2025
América del Norte	-	-
Europa Occidental	Bélgica	Bélgica
Pacífico	-	-
Ex URSS	Azerbaizhán	Azerbaizhán
	-	Turkmenistán
	Uzbekistán	Uzbekistán
Europa Oriental	-	-
África	-	Argelia
	Egipto	Egipto
	Libia	Libia
	-	Marruecos
	-	Sudáfrica
	-	Túnez
América Latina	Perú	Perú

REGIÓN	1997	2025
Oriente Medio	Afganistán	Afganistán
	Arabia Saudí	Arabia Saudí
	Bahrein	Bahrein
	Irán	Irán
	Irak	Irak
	Israel	Israel
	Jordania	Jordania
	Kuwait	Kuwait
	Qatar	Qatar
	Unión de Emiratos Árabes	Unión de Emiratos Árabes
Yemen	Yemen	
China	-	-
Sudeste Asiático	Corea	Corea
	Pakistán	Pakistán
	-	Singapur

FUENTE: Fernández, 1999

CUADRO 6. POBLACIÓN EN MILLONES

	SIN ESTRÉS	ESTRÉS BAJO	ESTRÉS	ESTRÉS ALTO
--	------------	-------------	--------	-------------

1997

América del Norte	27	280	-	-
Europa Occidental	18	180	300	15
Pacífico	-	25	120	-
Ex URSS	14	200	50	18
Europa Oriental	-	50	16	17
África	100	395	200	27
América Latina	-	360	140	-
Oriente Medio	-	27	138	29
China	-	120	1200	-
Sudeste Asiático	-	480	1080	-

2025

América del Norte	30	310	-	-
Europa Occidental	18	180	310	14
Pacífico	-	26	122	-
Ex URSS	15	220	52	20
Europa Oriental	-	65	18	20
África	200	810	400	160
América Latina	15	480	200	-
Oriente Medio	-	45	300	40
China	-	700	1680	-
Sudeste Asiático	-	500	1685	-

FUENTE: Fernández, 1999

Según Margat y Andréassian (2008), en el Tercer Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo (UNESCO, 2009), el consumo anual de agua dulce a nivel global alcanza los 4000 km³, aparte de los 6400 km³ que son usados por la agricultura en forma de lluvia. Sin embargo, la cantidad de agua consumida por cada sector es muy variable. De acuerdo con el mismo informe, el sector agrícola es el que más consume, seguido del doméstico – urbano y el industrial y el energético. No obstante, estos consumos tienden a incrementar exponencialmente en relación directa con el crecimiento poblacional, las necesidades alimentarias, el incremento en el abastecimiento de agua, y el crecimiento económico e industrial (Figura 4); factores que varían por país acorde con su nivel de desarrollo. Los países catalogados como los mayores consumidores de agua en el mundo son Estados Unidos, Japón, Indonesia, China, India, Bangladesh, Tailandia, la Federación Rusa y México (UNESCO, 2009).

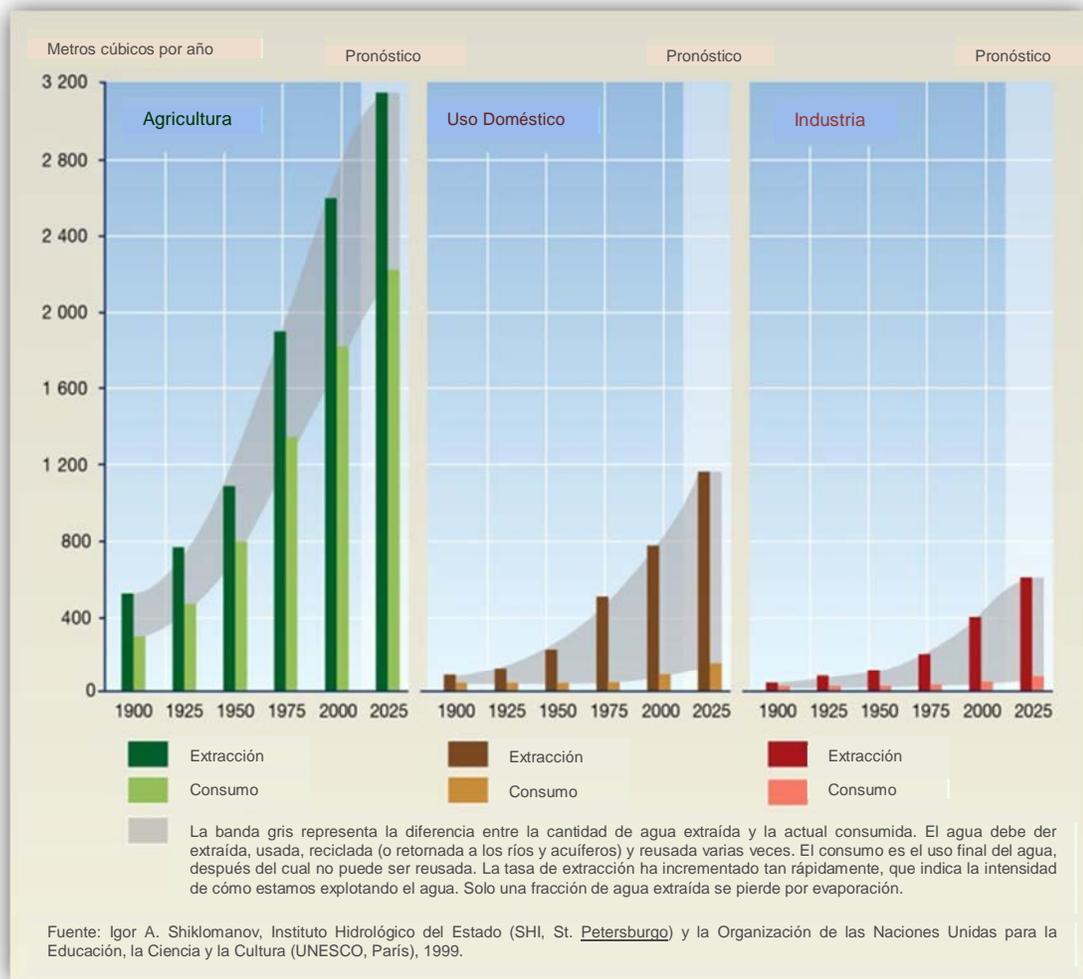


FIGURA 4. TENDENCIAS DEL USO GLOBAL DEL AGUA POR SECTOR

FUENTE: PNUMA, 2008

No obstante, con base en las metas para el año 2015 del Plan de Acción de la Cumbre de Desarrollo Sustentable (ONU, 2002 citado por Carabias et al., 2005), en el cual se plantea aplicar el manejo integral en las cuencas en 90% de los países en el año 2015, muchas iniciativas se están llevando a cabo para poner en marcha la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos. Este es el caso de los estados de Oregon y California, los ríos Delaware, Yakima, Río Grande, Minnesota y St. Jones de los Estados Unidos (AWRA, 2012), el río Mara en Kenya, el río Murray-Darling en Australia, el río Amarillo en China, la isla Jeju en

la República de Corea, el río Tiber en Italia y el Tagus en Portugal, entre otros (UNESCO, 2012).

Estas iniciativas, han propiciado la integración y la participación de todos los actores involucrados en el aprovechamiento del agua, en modelos de gestión hacia el uso sostenible de los recursos hídricos. Sin embargo, estos procesos han sido lentos en la medida que se adaptan a los cambios y las necesidades locales y regionales.

3.2 LOS RECURSOS HÍDRICOS EN MÉXICO

Debido a su ubicación geográfica, México es un país megadiverso compuesto por diferentes climas, ecosistemas y una gran riqueza de recursos hídricos que se disponen de forma heterogénea a lo largo del territorio nacional. De un volumen total de 1489 Km³ de agua precipitada que recibe el país anualmente, el norte y el centro solo captan alrededor de 500 mm de lluvia, lo que los caracteriza como zonas áridas y semiáridas; en contraste, la región sureste recibe más de 2000 mm al año (CONAGUA, 2011).

Sin embargo, el agua dulce del país es insuficiente en relación con la disponibilidad natural media per cápita, la cual para el año 2010 se estimó en 4090 m³ (CONAGUA, 2012); este valor, a pesar de no estar bajo el umbral del estrés hídrico, representa una cifra baja según Falkenmark et al. (1989, citado por Rijsberman, 2006). Del total disponible de ésta agua, una tercera parte se encuentra en presas, acuíferos, lagos y lagunas, y más de la mitad en los ríos (Arriaga et al., 2000 citado por CONAGUA, 2011).

Las 1471 cuencas del país se subdividen en 37 Regiones Hidrológico-Administrativas administradas por 25 consejos de cuenca (Figura 5), los cuales, según la Ley General de Aguas se definen como los *“órganos colegiados de integración mixta, que serán instancia de coordinación y concertación, apoyo,*

consulta y asesoría, entre la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), incluyendo el Organismo de Cuenca que corresponda, y las dependencias y entidades de las instancias federal, estatal o municipal, y los representantes de los usuarios de agua y de las organizaciones de la sociedad, de la respectiva cuenca hidrológica o región hidrológica” (Ley de Aguas Nacionales).

Una región hidrológica se define como el *“área territorial conformada en función de sus características morfológicas, orográficas e hidrológicas, en la cual se considera a la cuenca hidrológica como la unidad básica para la gestión de los recursos hídricos, cuya finalidad es el agrupamiento y sistematización de la información, análisis, diagnósticos, programas y acciones en relación con la ocurrencia del agua en cantidad y calidad, así como su explotación, uso o aprovechamiento...”* (Ley de Aguas Nacionales), por lo tanto la región hidrológico – administrativa es un *“área territorial integrada por una o varias regiones hidrológicas”* (Ley de Aguas Nacionales).



FIGURA 5. REGIONES HIDROLÓGICO - ADMINISTRATIVAS DE MÉXICO

FUENTE: Modificado del archivo shp de las Subregiones Hidrológicas de México (CONAGUA, Subdirección General Técnica, 2007, disponible en el catálogo de Metadatos de CONABIO)

Los consejos de cuenca son “*espacios de discusión y concertación para la toma de decisiones a nivel regional en los temas relacionados principalmente con la distribución del agua*” (Cotler y Priego, 2004), lo que se espera debe dar paso a una mejor gestión de los recursos hídricos, tal y como se ha evidenciado en la cuenca de Lerma Chapala (Cotler y Priego, 2004), y en la cuenca del río los Chochos (Cotler y Pineda, 2008), entre otros. Sin embargo, pese a que la historia del manejo de las cuencas en México comienza desde finales del siglo XX con el

nacimiento de la Secretaría de Agricultura y Fomento y la Comisión Nacional de Irrigación, su organización oficial nace en 1947 mediante la creación de las primeras comisiones de cuencas hidrográficas de los ríos Papaloapan, Balsas, Grijalva-Usumacinta, Tepalcatepec, Lerma-Santiago, Fuerte y Panuco.

La comisión de la cuenca del Valle de México nació en el año de 1951 y la comisión del Lago de Texcoco en 1974; cuya finalidad era abastecer las necesidades de agua potable en el Distrito Federal y sus zonas aledañas, y de controlar los volúmenes escurridos del lago de Texcoco a través de programas de conservación, reforestación y desarrollo de los ríos del oriente de la Cuenca de México (Martínez Menez, 1999).

Según Perevochtchikova y Arellano (2008) la institucionalización de la gestión del agua en el país comienza con la creación de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en el año de 1989 como una respuesta a la influencia internacional de las organizaciones promotoras de la Gestión Integral de los Recursos Hídricos. Esta entidad descentralizada de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), ha tomado desde entonces la administración de las aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes bajo los lineamientos de la Ley de Aguas Nacionales (LAN) decretada en 1992.

4. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El municipio de Tamasopo se encuentra en el oriente del estado de San Luis Potosí (Figura 6), en la región Huasteca entre los 22°15' y 21°37' LN y los 99°09' y 99°32' LW. Al norte limita con Ciudad del Maíz, El Naranjo y Ciudad Valles; al este con Ciudad Valles y Aquismón; al sur con Santa Catarina; y al oeste con Santa Catarina, Alaquines y Rayón (Lugo al., 2009; Gobierno Municipal de Tamasopo, 2009).

Cuenta con una superficie de 1328.73 km², que representa el 2.2% de la superficie total del estado. La temperatura media anual oscila entre 12°C y 18°C y una

precipitación anual de 1200 a 2000 mm. Consta de 186 localidades y una población total de 28848 habitantes (Lugo et al., 2009; INEGI, 2009; Gobierno Municipal de Tamasopo, 2009).

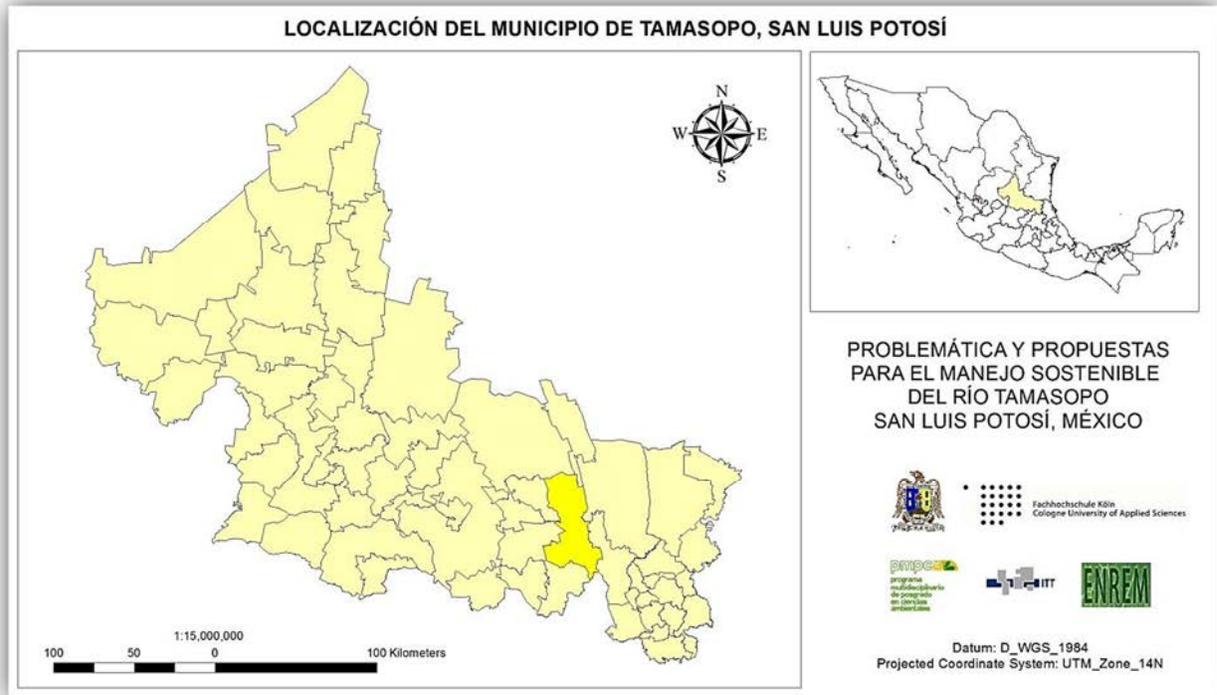


FIGURA 6. LOCALIZACIÓN DEL MUNICIPIO DE TAMASOPO

FUENTE: Modificado de los archivos shp de la división política estatal de México CONABIO (2005, disponible en CONABIO, 2011) y las áreas geo estadísticas municipales de México (INEGI, 2010)

El río Tamasopo, nace al noroeste de la cabecera municipal y al oeste del cañón del Espinazo del Diablo, en los municipios de Cárdenas y Rayón (Figura 7); su cuenca tiene una extensión de 476 Km² y forma parte de la Región Hidrológica del Pánuco en el Golfo Norte. En el poblado Las Canoas se unen dos afluentes; uno de ellos drena parcialmente los municipios de Cárdenas y Alaquines; otro, procedente del sur, drena un valle intermontano del municipio de Rayón. A su paso por las Canoas, ambos afluentes presentan flujo escaso pero permanente. Una vez que se unen, fluyen por el cañón del Espinazo del Diablo, en donde se pierden por infiltración en el lecho cárstico. El río, salvo pequeñas pozas aisladas, se observa seco durante el estiaje a lo largo de esta geoforma.

En el paraje Puente de Dios, un sistema de manantiales alimenta el flujo permanente del río. Más adelante, a partir del paraje Paso Ancho, el río se bifurca. Un ramal se dirige hacia el norte donde se une al arroyo de los Otates a la altura del paraje El Trampolín, en las cercanías del poblado Agua Buena. El arroyo los Otates nace de un manantial situado al oeste del poblado Agua Buena, y su caudal permite que el ramal Agua Buena presente flujo permanente incluso durante la temporada más severa de estiaje cuando casi la totalidad del flujo del ramal procedente de Paso Ancho es utilizada para el regadío de los campos cañeros. Asimismo, dentro del poblado Agua Buena otro manantial llamado “El Nacimiento”, contribuye al flujo del ramal Agua Buena, además de prestar un valioso servicio de provisión de agua potable a los pobladores de ese lugar. Tanto el ramal Tamasopo como el Agua Buena se vuelven a unir en el puerto de La Chaca-San Gerónimo, en un paraje denominado las Adjuntas. De allí se dirige hacia el este donde, después de pasar por el poblado Tambaca se une al río San Nicolás para formar el río Gallinas (Figuras 8 y 9).

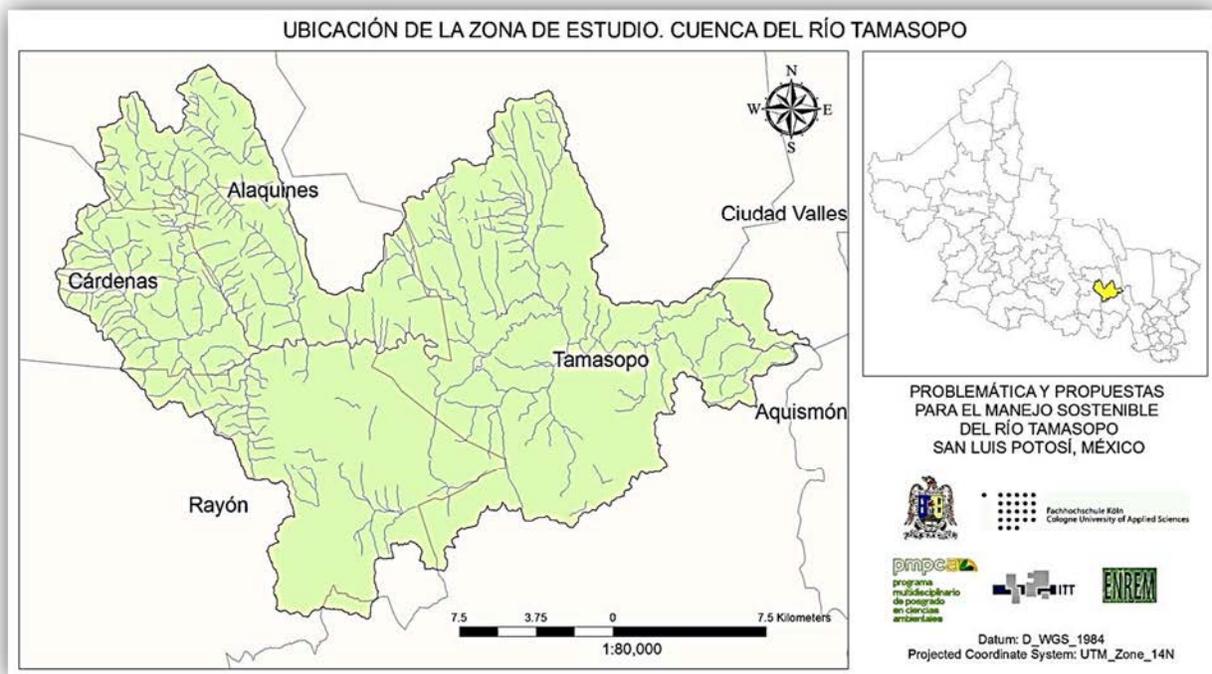


FIGURA 7. LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

FUENTE: Elaboración propia con base en los archivos shp de las áreas geoestadísticas municipales de México (INEGI, 2010) y la red hidrográfica de México (INEGI, 2012)

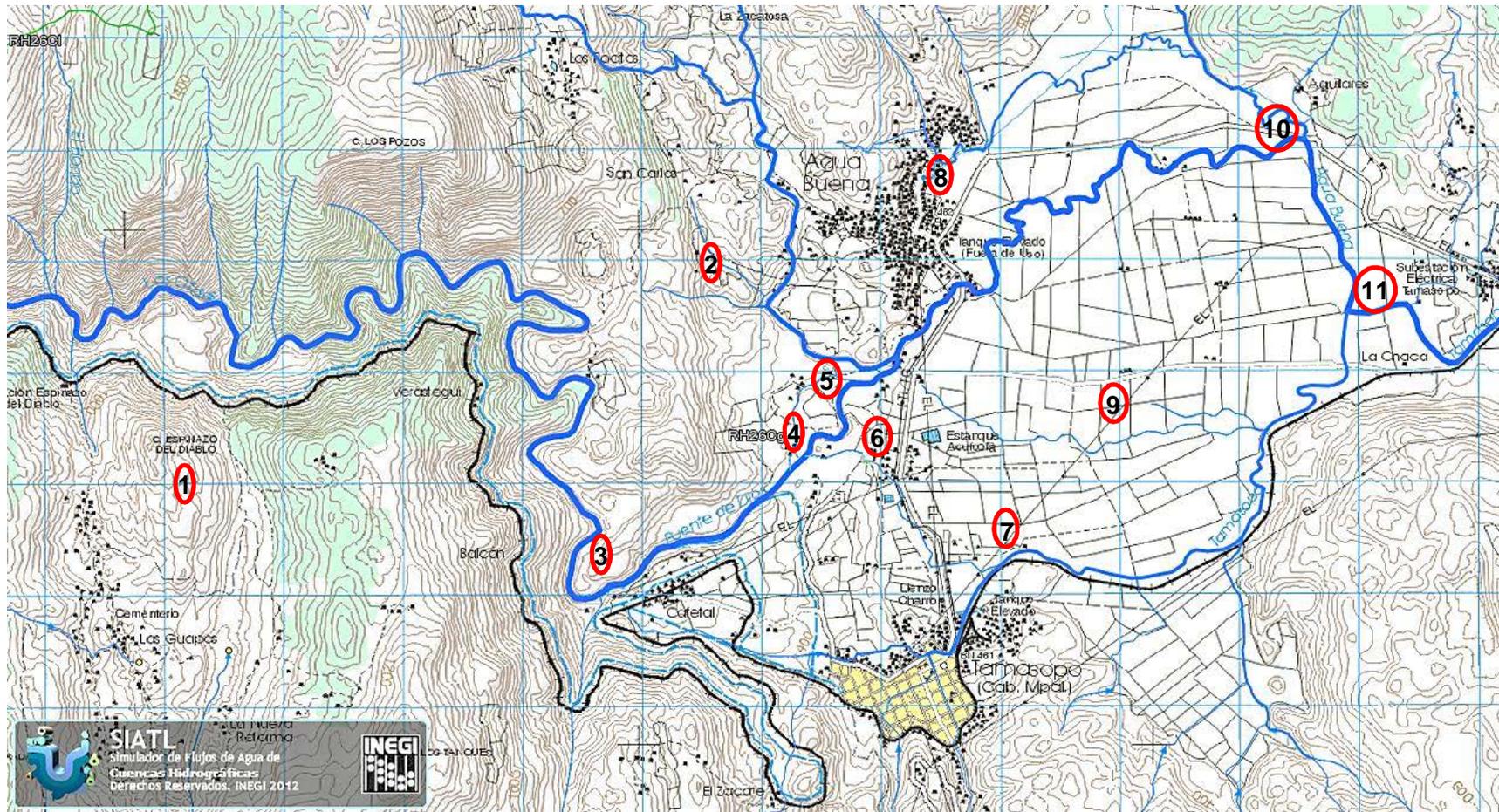


FIGURA 8. PUNTOS IMPORTANTES DEL RÍO TAMASOPO (TRAMO AGUA BUENA – TAMASOPO)

FUENTE: Modificado de INEGI, 2012

1. Cañón del Espinazo del Diablo; 2. Manantial Las Otates; 3. Manantial de abastecimiento de agua de la población de Tamasopo (Puente de Dios); 4. Paso Ancho; 5. Cascaditas De Tamasopo; 6. Cascadas de Tamasopo; 7. Planta de tratamiento de agua residual de Tamasopo; 8. Manantial “El Nacimiento” para abastecimiento de agua de Agua Buena; 9. Canales de riego de los campos cañeros; 10. Descarga de aguas residuales de la localidad de Agua Buena; 11. Las Adjuntas (unión del río).

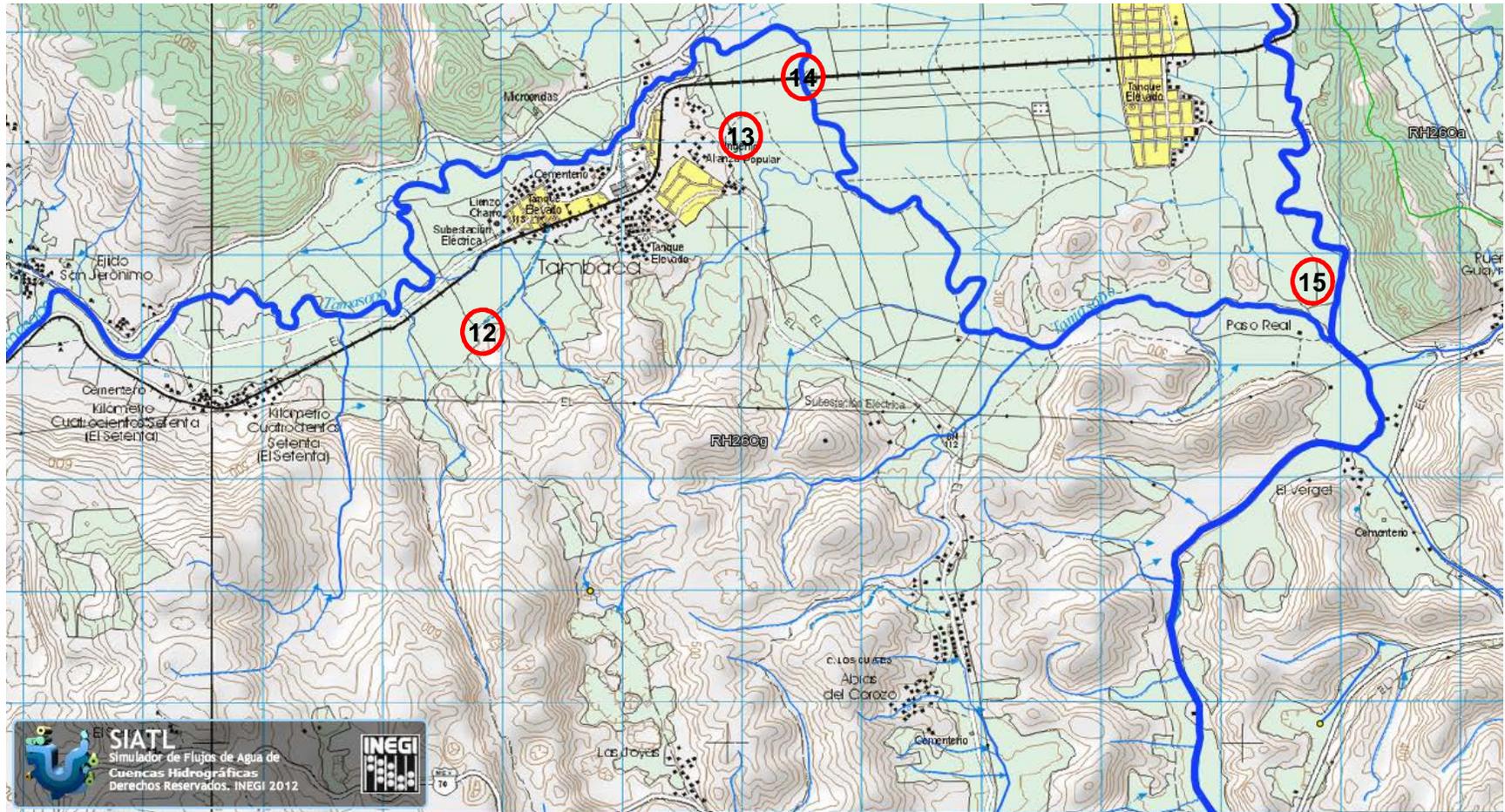


FIGURA 9. PUNTOS IMPORTANTES DEL RÍO TAMASOPO (TRAMO TAMBACA)

FUENTE: Modificado de INEGI, 2012

12. Manantial El Charco Azul; 13. Ingenio Alianza Popular de Tambaca; 14. Descarga de aguas residuales de la localidad de Tambaca; 15. Desembocadura del río Tamasopo en el río Gallinas.

Esta zona se caracteriza por una diversa topografía de montañas, cerros y valles, que en combinación con el clima semicálido y húmedo, favorecen la presencia de una variada cubierta vegetal de selva baja caducifolia, selva mediana subperennifolia, bosque de encino y relictos de bosque mesófilo (Lugo et al., 2009).

Los principales usos del río son turístico, agroindustrial y urbano, pero la ausencia de un plan de ordenamiento territorial en la zona ha contribuido a un incremento sustancial en los cambios de los usos del suelo (Gobierno Municipal de Tamasopo, 2009). La creciente demanda turística y los acelerados procesos de deforestación para el aprovechamiento maderable y agro pastoril de la región, han generado un incesante problema de erosión y una explotación forestal que se traduce en 115 612 m³ al año, los cuales 96 922 son de encino, 532 de cedro rojo y 18 158 de otras especies maderables (Lugo et al., 2009).

Parajes como el “Puente de Dios”, “Paso Ancho”, “Las Cascadas de Tamasopo”, “Los Otates”, “Las Cascaditas”, “La Isla”, “El Trampolín” y “La Cascada del Aguacate” se benefician de las bellas pozas, cuevas y caídas de agua que brinda el río (Lugo, 2009). Así mismo, ésta fuente abastece a 1420 tomas domiciliarias en la cabecera municipal que distribuyen agua a casi el 62% de las viviendas (Gobierno Municipal de Tamasopo, 2009; INEGI, 2011) y riega alrededor de 15 720.76 ha de caña (Aguilar Rivera et al., 2010).

5. METODOLOGÍA

5.1 DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Para delimitar la cuenca del río Tamasopo, se utilizó el continuo de elevaciones mexicano CEM (2.0) del estado de San Luis Potosí (INEGI, 2013), el cual se recortó sobre la sección de la cuenca del río Gallinas obtenida de la red hidrográfica del INEGI (2012) SIATL.

Con la herramienta de Arc Hydro Tools (Terrain preprocessing) de ArcMap (versión 10.1), se determinaron la dirección y la acumulación del flujo de la hidrología para hallar finalmente las líneas de drenaje que dieron paso a la definición de la cuenca principal.

5.2 IDENTIFICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

El desarrollo de este proyecto involucra tres componentes: la calidad del agua, la cantidad del agua y el manejo y el uso del río Tamasopo. Respecto al primer componente, se identificaron y georeferenciaron seis puntos a lo largo del río donde se tomaron muestras simples en la mitad del cauce para los análisis físico-químicos y bacteriológicos del agua (Lee et al., 2010; Jiménez y Vélez, 2006; Valverde et al., 2009). Los parámetros considerados fueron: pH, alcalinidad, conductividad, dureza, cloruros, nitrógenos, sulfatos, fosfatos, DBO, DQO, coliformes totales, coliformes fecales, sólidos totales suspendidos y sólidos totales disueltos. Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Química Ambiental de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Para complementar la información, se obtuvieron registros en campo de temperatura ambiente, presión, punto de rocío y humedad relativa de cada punto mediante un anemómetro GEOS N.11. Adicionalmente, se obtuvieron los datos correspondientes a la temperatura del agua y el oxígeno disuelto a partir de la segunda medición en marzo de 2013. Para ello se utilizó un medidor Thermo Scientific Orion 5 Star Plus.

5.3 CALIDAD DEL AGUA

Se realizaron cuatro muestreos en los periodos de lluvias y de estiaje en las siguientes fechas: Julio 2012, Marzo 2013, Abril 2013 y Junio 2013, para detectar posibles fluctuaciones en la calidad del agua durante los momentos de alto y bajo caudal. Los resultados de calidad de agua se compararon con los límites

máximos permisibles establecidos en la norma NOM-001-ECOL-1996 para contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales (Navarro y Pérez, 2005) y con la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 para Agua para uso y consumo humano. Por otra parte, se evaluó el agua del río mediante el índice de calidad de agua (ICA) para determinar su aptitud de uso (Arango et al., 2008; Gómez et al., 2007; Montoya et al., 2011; Torres et al., 2010).

El muestreo se realizó en seis puntos estratégicos a lo largo del río como se muestra a continuación:

- Punto 1: Aguas arriba del Puente de Dios. Toma de agua para el abastecimiento de la localidad de Tamasopo.

FOTO 1. PUENTE DE DIOS



- Punto 2: Paso Ancho. Antes de la bifurcación del río.

FOTO 2. PASO ANCHO



- Punto 3: Los Sabinos. Descarga de la planta de tratamiento de agua residual de la localidad de Tamasopo.

FOTO 3. DESCARGAS DE AGUA RESIDUAL DE TAMASOPO (LOS SABINOS)



- Punto 4: Descarga de agua residual de la localidad de Agua Buena.

FOTO 4. DESCARGAS DE LA LOCALIDAD DE AGUA BUENA



- Punto 5: Las Adjuntas.

FOTO 5. LAS ADJUNTAS



- Punto 6: Aguas abajo del Ingenio Alianza Popular y previo a su desembocadura en el río Gallinas.

FOTO 6. AGUAS ABAJO DE TAMBACA

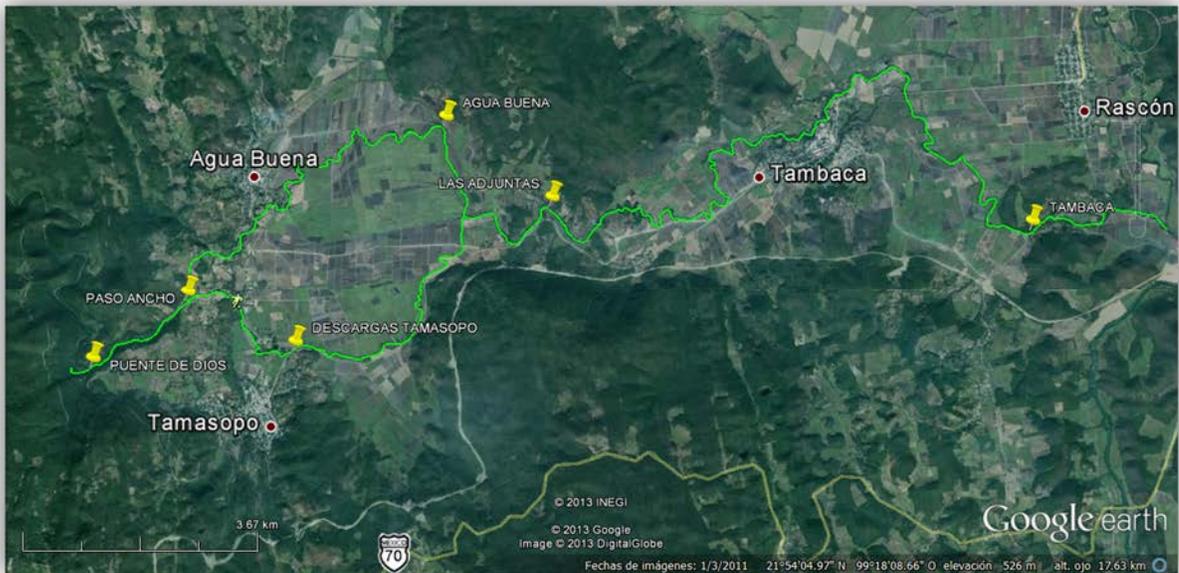


FIGURA 10. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

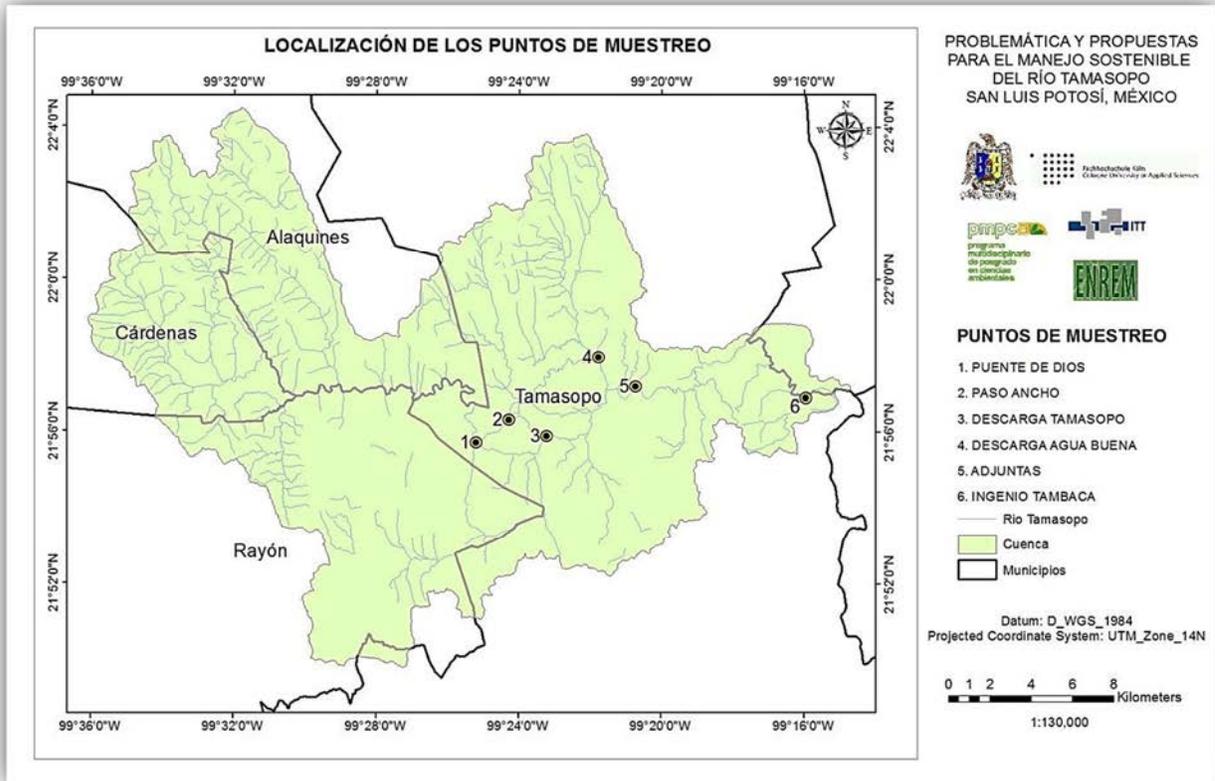


FIGURA 11. LOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

FUENTE: Elaboración propia con base en los archivos shp de las áreas geoestadísticas municipales de México (INEGI, 2010) y la red hidrográfica de México (INEGI, 2012)

El cálculo del índice de calidad se agua se basó en la metodología del INDIC-SEDUE (índice de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología) con la fórmula (Guzmán Arroyo, 1997):

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

Donde:

ICA= Índice de calidad del agua

I_i = Índice de calidad para el parámetro i

W_i = Coeficiente de ponderación del parámetro i

n = Número total de parámetros

Los pesos de cada parámetro fueron los propuestos por SEMARNAT (2008) (ya mencionados en el marco teórico). Por su parte, los índices de calidad individuales (Ii) se calcularon a partir de las siguientes ecuaciones matemáticas:

CUADRO 7. ECUACIONES PARA EL CÁLCULO DE INDICES INDIVIDUALES DE CALIDAD

pH	$I_{Ph} = 10^{(0.2335 \cdot pH + 0.44)}$	pH < 6.7
	$I_{Ph} = 100$	6.7 < pH < 7.3
	$I_{Ph} = 10^{(4.22 - 0.293 \cdot pH)}$	pH > 7.3
Sólidos suspendidos	$I_{SST} = 266.5 (SS)^{-0.37}$	SS: mg/L
Sólidos disueltos	$I_{SD} = 109.1 - 0.0175 (SD)$	SD: mg/L
Conductividad	$I_{CE} = 540 (CE)^{-0.379}$	CE: μ mhos/cm
Alcalinidad	$I_A = 105 (A)^{-0.186}$	A: mg/L como CaCO ₃
Dureza total	$I_{DT} = 10^{(1.974 - 0.00174 \cdot DT)}$	DT: mg/L como CaCO ₃
Nitrógeno en nitratos	$I_{N-NO_3} = 162.2 (N-NO_3)^{-0.343}$	N-NO ₃ : mg/L
Nitrógeno amoniacal	$I_{N-NH_3} = 45.8 (N-NH_3)^{-0.343}$	N-NH ₃ : mg/L
Fosfatos	$I_{PO_4} = 34.215 (PO_4)^{-0.46}$	PO ₄ : Fosfatos totales mg/L
Cloruros	$I_{Cl} = 121 (Cl)^{-0.223}$	Cl: mg/L
Oxígeno disuelto	$I_{OD} = (OD/OD_{SAT}) * 100$	OD: mg/L a temperatura de campo (T _c) OD _{SAT} : mg/l, T _{sat} = T _c
DBO	$I_{DBO} = 120 (DBO)^{-0.673}$	DBO: mg/L
Coliformes totales	$I_{CT} = 97.5 (CT)^{-0.27}$	CT: NMP/100 mL
Coliformes fecales	$I_{CF} = 97.5 [5 (CF)]^{-0.27}$	CF: NMP/100 mL

FUENTE: Adaptado de Guzmán Arroyo (1997)

Debido a que no se obtuvo información para todos los parámetros que maneja el ICA (18), se tuvieron solamente en cuenta los del Cuadro 7.

5.4 CANTIDAD DE AGUA

Para conocer la dinámica de la esorrentía en la cuenca se estimó el volumen total escurrido para dos periodos de precipitación normal (julio de 1973 a junio de 1974 y julio de 2000 a junio de 2001), un periodo seco (junio de 1982 a Julio de 1983) y un periodo húmedo (junio de 2008 a julio de 2009) mediante la siguiente ecuación (Treviño et al., 2002):

$$V = (Cep) * (A) * (Pp)$$

Donde:

V = Volumen escurrido.

Cep = Coeficiente de esorrentía ponderado (Cuadro 9).

A = Superficie de la cuenca en m².

Pp = Precipitación pluvial total anual en m.

Es importante resaltar que para conocer los volúmenes totales escurridos de cada periodo, se adaptó la fórmula anterior. Esta fórmula maneja precipitaciones medias anuales, pero en éste caso se realizó el cálculo con las precipitaciones totales de cada periodo.

Para determinar si un periodo tiene una precipitación normal, es seco o húmedo, se determinó el índice de precipitación estandarizado (IPE). Este índice *“mide el nivel de exceso o déficit de precipitación para un lugar y un período de tiempo dados, comparando el acumulado de precipitación para ese lugar y período contra valores históricos de un período de referencia”* (Dirección Nacional de Meteorología de Uruguay, 2012). Su cálculo *“parte de la serie histórica de precipitaciones mensuales correspondiente al período requerido, serie que es ajustada a la distribución teórica de probabilidad que se considere conveniente, que se transforma, a continuación, en una distribución normal, de manera que el*

valor medio del SPI para el lugar y el período elegidos sea 0” (Edwards y Mc Kee, 1997 citado por AEMET).

Para el cálculo del IPE (Cuadro 8) se usó el programa de Análisis Meteorológico desarrollado por Daniel Núñez López del Instituto de Ecología, con las precipitaciones totales mensuales de 1971 a 2011 de la estación climatológica de Agua Buena (CONAGUA).

CUADRO 8. CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE PRECIPITACIÓN ESTANDARIZADO

CATEGORÍA	VALORES (IPE)
Extremadamente húmedo	≥ 2
Muy húmedo	$1.50 < \text{IPE} < 1.99$
Moderadamente húmedo	$1.0 < \text{IPE} < 1.49$
Ligeramente húmedo	$0.50 < \text{IPE} < 0.99$
Normal	$0.49 < \text{IPE} < -0.49$
Ligeramente seco	$-0.50 < \text{IPE} < -0.99$
Moderadamente seco	$-1 < \text{IPE} < -1.49$
Muy seco	$-1.50 < \text{IPE} < -1.99$
Extremadamente seco	≤ -2

FUENTE: Mc. Kee et al., 1993 citado por Gastaldi, 2012

Mediante la herramienta “Intersect” del programa ArcMap 10., se unieron en un nuevo mapa las capas de la cobertura de la cuenca para los años 1973, 1989, 2000 y 2005² (clasificadas por Sahagún et al., 2011) con la carta edafológica digital del INEGI y el modelo digital de elevación modificado del continuo de elevaciones mexicano CEM (2.0) del estado de San Luis Potosí (INEGI, 2013), para determinar los coeficientes de escorrentía con base en la clasificación de Prevert (Cuadro 9).

² Las coberturas de los años 1989 y 2005 se tuvieron en cuenta para calcular los V.M de los periodos de 1982-1983 y 2008-2009 considerando que los cambios en el uso del suelo no fueron trascendentales.

CUADRO 9. COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA DE PREVERT

USO DEL SUELO	PENDIENTE (%)	TEXTURA		
		Areno-limoso Limoso-arenoso	Limoso Limoso-arcilloso	Arcilloso
Bosque	0-5	0.10	0.30	0.40
	5-10	0.25	0.35	0.50
	10-30	0.30	0.40	0.60
	>30	0.32	0.42	0.63
Pastizal	0-5	0.15	0.35	0.45
	5-10	0.30	0.40	0.55
	10-30	0.35	0.45	0.65
	>30	0.37	0.47	0.68
Agricultura	0-5	0.30	0.50	0.60
	5-10	0.40	0.66	0.70
	10-30	0.50	0.70	0.80
	>30	0.53	0.74	0.84

FUENTE: TRAGSA, TRAGSATEC, 1994; Treviño Garza, et al., 2002

Para éste caso se reagrupó la vegetación secundaria, la selva y el matorral en la categoría de bosque, la agricultura de temporal y agricultura de riego en la categoría de agricultura y se asumieron coeficientes de 1 y 0 para la zona urbana y los cuerpos de agua respectivamente. En cuanto a las texturas del suelo, sólo se tuvieron en cuenta la fina y la mediana (limoso, limoso-arcilloso y arcilloso), por ser las representativas de la zona.

Los polígonos resultantes de los coeficientes de escorrentía, se convirtieron a formato raster con el fin de calcular el volumen total escurrido, el cual se obtuvo a partir del producto de cada uno de los coeficientes, con el área del pixel (0.09 Ha) y las precipitaciones totales de cada periodo, las cuales fueron:

- 1973-1974: 2027 mm
- 1982-1983: 909 mm
- 2000-2001: 2196 mm
- 2008-2009: 2785 mm

Para determinar las diferencias de gasto entre las épocas de lluvia y estiaje se calculó el caudal mediante la ecuación de velocidad propuesta por FAO (2006) y la ecuación general de caudal (Hudson, 1997; Rivera et al., 1999):

$$V = \frac{x}{t} \quad ; \quad Q = A * V$$

Donde:

V = Velocidad media de la corriente (m/s)

x = distancia recorrida por el flotador (m)

t = tiempo de recorrido (s)

Q = Caudal (m³/s)

A = Área del canal (m²)

En los puntos Paso Ancho y Las Adjuntas se midieron dos secciones transversales con una distancia de 10 m, de los cuales se obtuvo un área media. Posteriormente, se tomó el tiempo de recorrido de un flotador a lo largo de 10 m tanto en las orillas como en la mitad del canal para hallar el tiempo promedio de recorrido. La medición de la anchura del canal se realizó mediante un flexómetro de 50 m y las profundidades con una sonda GARMIN Gpsmap 421s.

Este procedimiento se realizó tanto en el punto de “Paso Ancho” como en el de las “Adjuntas”, para conocer los gastos antes y después de la bifurcación del río, así como en los periodos de estiaje y de lluvia.

5.5 MANEJO Y USO DEL AGUA DEL RÍO

Respecto al manejo y uso del agua del río Tamasopo, se aplicaron entrevistas y cuestionarios a diferentes actores, las cuales fueron de carácter semiestructurado y se aplicaron a una muestra no aleatoria de personas con previo conocimiento sobre el tema de investigación (Gaitán y Piñuel, 1998).

Para éste caso, se contó con la colaboración de los funcionarios encargados del manejo y la distribución del agua en los sectores doméstico, industrial y agrícola, tanto de la Presidencia Municipal de Tamasopo, como de la Comisión Nacional del Agua, de la Unión Local de Productores de Caña de Azúcar de la Confederación Nacional Campesina (CNC) y del Ingenio Alianza Popular de Tambaca. El propósito de las preguntas se enfocó principalmente en la opinión pública y privada sobre el manejo y uso actual del río Tamasopo en el marco de los programas ambientales, los parámetros de regulación ambiental y la prestación de los servicios públicos (agua potable y alcantarillado).

En relación con las encuestas, se tuvo en cuenta el total de las viviendas particulares habitadas de las localidades de Tamasopo, Agua Buena y Tambaca. Para cada una de las localidades se calculó el tamaño de la muestra a partir de la siguiente fórmula (Universidad de Oviedo, 2002):

$$n = \frac{N * Z_{\alpha/2}^2 * P * (1 - P)}{(N - 1) * e^2 + Z_{\alpha/2}^2 * P * (1 - P)}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra

N = Tamaño de la población

$Z_{\alpha/2}$ = Nivel de confianza

P = Proporción de una categoría de la variable

e = error máximo

El total de las viviendas particulares habitadas se consideró como el tamaño de la población para cada una de las localidades urbanas. El nivel de confianza usado fue del 90% con un error de 10% ($z = 1,65$) y una probabilidad (P) del 50%.

En el muestreo de las localidades de Tamasopo y Tambaca se enumeraron los lados de las cuadras en un croquis del INEGI y se escogieron los números en forma aleatoria en Excel. Se asumió como criterio que a la primera vivienda a la izquierda de la mitad de cada cuadra seleccionada al azar, fuese considerada para la encuesta.

En la localidad de Agua Buena la muestra se manejó de forma diferente debido a las irregularidades de las cuadras y las calles en el croquis. Por tal razón, para éste caso, se eligieron aleatoriamente de a dos a tres viviendas por barrio.

El cuestionario incluyó preguntas cerradas dicotómicas (si y no), de abanico (elección entre varias categorías) y abiertas relacionadas con el abastecimiento de agua, sus usos en el sector doméstico, la contaminación, las inundaciones y la escasez de agua de cada localidad.

6. RESULTADOS

6.1 LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO TAMASOPO

Los resultados del punto de muestreo número 1 (“Puente de Dios”), donde se localiza la toma de agua para el abastecimiento de la localidad de Tamasopo, se compararon con la norma 127 de la Secretaría de Salud, que establece los límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización (Cuadro 10). Este punto, es un manantial que se encuentra en el límite entre el cauce seco durante el estiaje (aguas arriba) y el cauce con flujo permanente (aguas abajo), lo cual lo hace un lugar altamente vulnerable a la contaminación.

En este sitio, las muestras de agua tomadas en julio de 2012 y abril de 2013, presentaron un alto contenido de coliformes fecales y coliformes totales, excediendo la norma 127. Las variaciones en éste parámetro pueden verse

afectadas por el arrastre de sedimentos en la temporada lluviosa, las posibles descargas domésticas en los puntos muestreados o la descomposición de materia orgánica cerca de los mismos en época de estiaje.

En cuanto a la dureza, el agua del sitio “Puente de Dios” presentó, en la mayoría de los muestreos, una concentración mayor a la establecida por la norma, por lo que se considera a ésta agua como “muy dura” (Soto, 2010).

El nitrógeno amoniacal, registró concentraciones bastante altas en comparación con el límite máximo permisible. En contraste, la concentración de nitratos al igual que el pH y los sólidos disueltos totales se mantienen por debajo del límite establecido para el agua de consumo humano. Las altas concentraciones de nitrógeno amoniacal en el agua, pueden deberse a pequeñas descargas domésticas en la zona o desechos orgánicos de humanos o animales. El oxígeno disuelto medido en campo varió entre los 3 y 4.8 mg/L (ver anexos), lo cual comparado con la concentración normal (5 mg/L, según Auburn University, Global Water Watch México, 2011) es una cantidad bastante baja, lo que imposibilita la formación de nitratos.

CUADRO 10. PARAMETROS PUNTO 1 VS NORMA

	PUENTE DE DIOS. PUNTO 1			
	Julio 2012	Marzo 2013	Abril 2013	Junio 2013
COLIFORMES TOTALES (NMP/100 ml)	2400	0	1100	90
NOM-127	0	0	0	0
COLIFORMES FECALES (NMP/100 ml)	2400	0	460	0
NOM-127	0	0	0	0
DUREZA TOTAL (mg/L)	419	818	826	810
NOM-127	500	500	500	500
NITRATOS (mg/L)	S.D	4.79	5.06	1.1
NOM-127	10	10	10	10
NITRÓGENO AMONICAL (mg/L)	S.D	2	8	3

NOM-127	0.5	0.5	0.5	0.5
pH	7.64	6.93	7	7.07
NOM-127 MIN	6.5	6.5	6.5	6.5
NOM-127 MAX	8.5	8.5	8.5	8.5
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (mg/L)	425	S.D	808	715
NOM-127	1000	1000	1000	1000

*S.D: Sin dato

En los puntos 2, 3, 4, 5 y 6 se compararon los resultados físico-químicos y microbiológicos con la norma 001 de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, en la cual se establecen los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Para los casos del pH y de la temperatura del agua, todos los puntos permanecieron casi constantes en cada uno de los muestreos sin sobrepasar el margen de la norma.

Lo anterior difiere con los resultados de coliformes fecales, pues se presentó un incremento sustancial en los muestreos de julio/12 y junio/13 en comparación con los muestreos de marzo/13 y abril/13 (Cuadro 11), lo cual se puede atribuir al arrastre de materia orgánica en época de lluvias o al incremento en las descargas domésticas que llegan a cada punto, o como lo indica Fujioka et al. (1997 citado por Barrios y Cañizares, 2001) a fuentes externas de bacterias coliformes asociadas con los drenajes de lluvia que se descargan a los ríos. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Chiroles et al. (2007) en el río Almendares en Cuba, el cual presentó mayor concentración de bacterias fecales en la época lluviosa.

CUADRO 11. COLIFORMES FECALES POR PUNTO Y MUESTREO

	MUESTREO	COLIFORMES FECALES (NMP/100 ml)	
		CONCENTRACION	NOM-001-ECOL
PASO ANCHO PUNTO 2	1	2400	2000
	2	0	
	3	40	
	4	420	
DESCARGA TAMASOPO PUNTO 3	1	2400	2000
	2	43	
	3	23	
	4	1100	
DESCARGA AGUA BUENA PUNTO 4	1	2400	2000
	2	4	
	3	93	
	4	3.80E+04	
ADJUNTAS PUNTO 5	1	2400	2000
	2	21	
	3	4	
	4	8.90E+04	
TAMBACA PUNTO 6	1	2400	2000
	2	9	
	3	9	
	4	2.40E+05	

1. Julio de 2012, 2. Marzo de 2013, 3. Abril de 2013, 4. Junio de 2013

Las concentraciones de DBO, sólidos suspendidos totales y nitrógeno total, estuvieron debajo de la norma 001 en los periodos de estiaje y de lluvias, por lo que se considera que el río cumple con los estándares para el uso doméstico, urbano y agrícola, y para la conservación de la vida acuática. No obstante, las concentraciones de sólidos suspendidos totales y nitrógeno total se muestran más altas en los meses de Abril de 2013 y Junio de 2013 cuando se la zafra estaba por finalizar o recién había concluido (Figuras 12 y 13). El nitrógeno puede tener una relación a los procesos de lixiviación de fertilizantes que llegan a la fuente hídrica, incrementándose con el periodo lluvioso. Asimismo, la concentración de sólidos suspendidos puede derivarse del suelo resultante de la

preparación de los campos agrícolas para el cultivo de la caña, o del arrastre de material después de la época lluviosa.

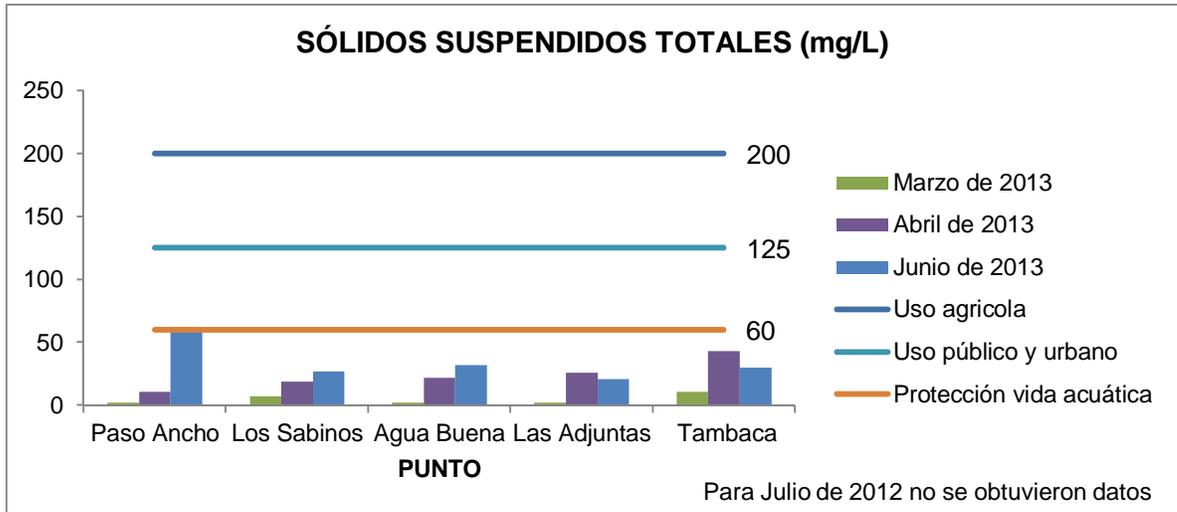


FIGURA 12. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES POR PUNTO DE MUESTREO

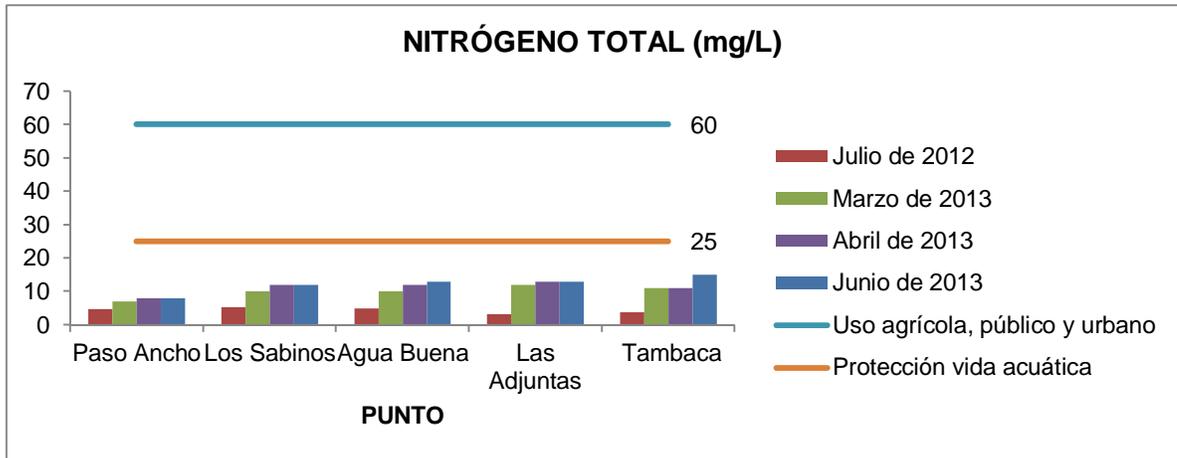


FIGURA 13. NITRÓGENO TOTAL POR PUNTO DE MUESTREO

Los cuadros 12 y 13 presentan los datos de los sólidos suspendidos totales, la demanda bioquímica de oxígeno y la demanda química de oxígeno de los puntos 1 al 6. El color de fondo de cada celda representa la calidad del agua con base en la clasificación de CONAGUA (2007). Como se puede apreciar, los datos variaron tanto a los largo del espacio (puntos de muestreo) como del tiempo

(fechas de muestreo). No obstante, se puede observar que, de forma general, los SST presentan una buena calidad del agua debido a sus bajas concentraciones al igual que la DBO. Sin embargo, en el muestreo realizado en abril, la DBO aumentó en Las Adjuntas y en Tambaca lo que redujo la calidad del agua a aceptable. Un caso diferente se presenta con la DQO, la cual muestra rangos más altos de contaminación. Según CONAGUA (2007) esto se debe a contaminación por materiales orgánicos difícilmente biodegradables, probablemente de origen urbano (combustibles, plásticos, disolventes, etc. de los pobladores de Tamasopo, Agua Buena y Tambaca) y agrícola (productos agroquímicos de los campos cañeros). Probablemente, el punto 1 “Puente de Dios” reciba descargas domésticas aguas arriba que están llegando mediante las fuentes subterráneas.

El valor de abril de 2013 se presenta demasiado alto para el punto de Las Adjuntas en comparación al comportamiento del río en otras fechas y otros puntos de muestreo. Probablemente, en éste caso se muestra un error en la toma o manejo de la muestra, o en su defecto en el cálculo del parámetro, por lo cual se considera un valor inválido.

CUADRO 12. CLASIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA POR PUNTO Y PARÁMETRO

	PUNTO	DBO (mg O ₂ /L)	DQO (mg O ₂ /L)	Sólidos suspensos totales (mg/L)
MUESTREO 4 Y 5 DE JULIO DE 2012	1	0.6	38	SD
	2	0.6	42	SD
	3	4	57	SD
	4	4	38	SD
	5	4	38	SD
	6	4	20	SD
MUESTREO 13 Y 14 DE MARZO DE 2013	1	0.4	44.8	2
	2	0.4	67.5	7
	3	0.81	20	2
	4	1.21	10	2
	5	1.62	112	2
	6	1.04	67.5	11

MUESTREO 10 DE ABRIL DE 2013	1	1.5	50	11
	2	1.5	62	19
	3	1.5	62	22
	4	5	48	26
	5	12	300	25
	6	14	58	43
MUESTREO 10 DE JUNIO DE 2013	1	0.7	31	25
	2	0.2	62	62
	3	0.3	83	27
	4	0.5	135	32
	5	0.3	42	21
	6	1.2	83	30

Excelente	Bueno	Aceptable	Contaminado	Muy contaminado
-----------	-------	-----------	-------------	-----------------

CUADRO 13. INDICE GENERAL DE CALIDAD DE AGUA POR PARÁMETRO

	INDICE DE CALIDAD DEL AGUA POR PARÁMETRO		
	DBO	DQO	SST
Julio de 2012	2.87	38.83	SD
Marzo de 2013	0.91	53.63	4.33
Abril de 2013	5.92	96.67	24.33
Junio de 2013	0.53	72.67	32.83
PROMEDIO GENERAL	2.56	65.45	20.50

* Los valores de las celdas representan los promedios de los seis sitios de muestreo

Como resultado de los índices de calidad de agua según la clasificación de SEMARNAT, CONAGUA, GERENCIA DE SANEAMIENTO Y CALIDAD DEL AGUA (2002), se puede señalar que en los sitios de muestreo 1 y 2 (abastecimiento de agua potable y zona turística) se encontró un bajo grado de contaminación; sin embargo, tanto los usos del agua para abastecimiento público, como para la recreación y la pesca presentan restricciones (Cuadro 14). Por otra parte, los puntos 3, 4, 5 y 6 (zona agrícola y vertimientos de desechos urbanos) mostraron un grado de contaminación más alto, lo que restringe, de forma moderada a fuerte, los usos antes mencionados (Figura 14).

CUADRO 14. INDICE DE CALIDAD DE AGUA

PUNTO	ICA	ABASTECIMIENTO PÚBLICO	RECREACIÓN GENERAL	PESCA Y VIDA ACUÁTICA	INDUSTRIA Y AGRICULTURA
1	60	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable más no recomendable	Dudosa para especies sensibles	No requiere tratamiento para uso en la industria
2	56				
3	49	Dudosa	Dudosa	Sólo organismos muy resistentes	Requiere tratamiento para uso en la industria
4	47				
5	45				
6	45				



FIGURA 14. CALIDAD DEL AGUA EN CADA PUNTO

6.2 CANTIDAD DE AGUA

Para conocer los cambios en la escorrentía de la cuenca, se compararon cuatro periodos: uno “extremadamente húmedo”, uno “extremadamente seco” y dos “normales”, según el índice de precipitación estandarizado (IPE) (Cuadro 15).

CUADRO 15. CLASIFICACIÓN DEL IPE POR PERIODO

ANO MES	1973-1974	1982-1983	2000-2001	2008-2009
7	-0.69	-0.96	-0.35	1.14
8	0.28	-1.23	0.41	1.36
9	0.49	-2.02	0.31	1.75
10	0.30	-2.33	0.39	2.18
11	0.29	-2.20	0.43	2.15
2	0.44	-2.34	0.43	2.50
1	0.61	-2.48	0.42	2.53
2	0.59	-2.53	0.43	2.57
3	0.84	-2.49	0.47	2.62
4	1.10	-2.60	0.55	2.57
5	0.99	-2.27	0.71	2.42
6	0.54	-2.31	0.87	1.90
PROMEDIO	0.48	-2.15	0.42	2.14

Extremadamente húmedo	Normal	Extremadamente seco
--------------------------	--------	------------------------

De manera general, el IPE histórico en la cuenca del río Tamasopo, presenta un cambio importante en la precipitación, la cual ha disminuido en los últimos 14 años, con excepción del pico presentado durante el periodo 2008-2009 (Figura 15). No obstante, el IPE presentado no es continuo debido a la ausencia de información en los años 1985, 1986, 1994, 1995, y 1996.

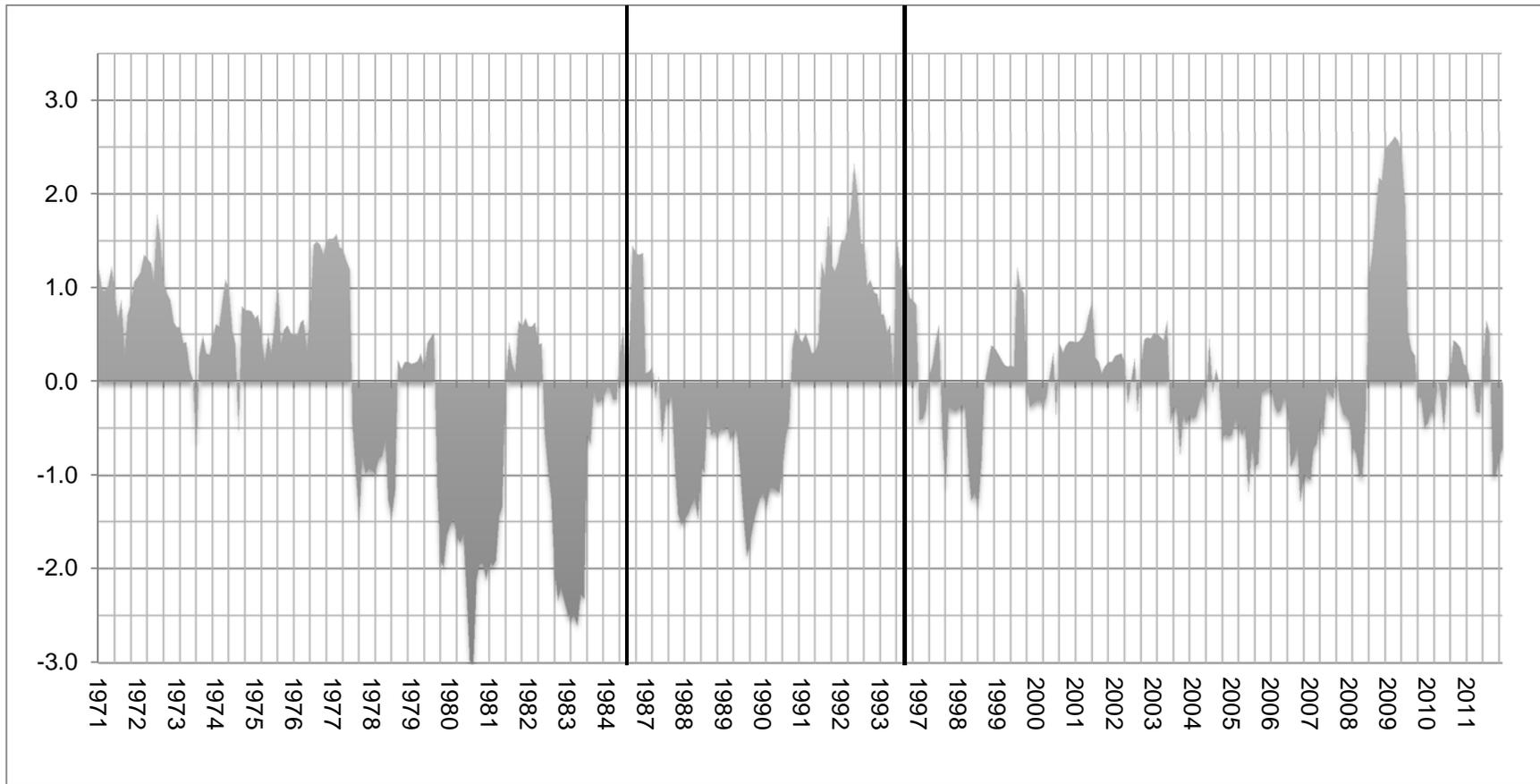


FIGURA 15. IPE HISTÓRICO DE LA ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA AGUA BUENA

— Discontinuidad por falta de datos

Es importante resaltar que el volumen escurrido en la cuenca en el periodo 2000-2001 presentó un incremento de 52 660 054 m³ a diferencia del periodo de 1973-1974 (Figura 16). Esto, como se muestra en la Figura 17 puede ser resultado de los cambios en los usos del suelo y la cobertura, ya que el incremento de la escorrentía se ve asociado principalmente con la expansión de la agricultura de temporal (milpa y caña de azúcar), la cual se encuentra normalmente en zonas con pendientes de 10 a 30%. En este sentido, la poca cobertura vegetal y las fuertes pendientes de las laderas son razones determinantes en la erosión y la degradación del suelo. Sin embargo, la explicación resultaría válida sólo para aquellas zonas que drenan directamente al río, ya que las laderas circundantes a depresiones cársticas no aportarían escorrentía superficial directa al cauce.

Para el periodo de extrema humedad se estimó una escorrentía total de la cuenca de 734 655 717 m³, lo cual representó un incremento de aproximadamente 33% en comparación con la escorrentía de los periodos normales. Contrariamente, para el periodo de extrema sequía se obtuvo un volumen de 237 762 687 m³, que en comparación con los periodos normales disminuyó aproximadamente en un 57% (Figura 18).

En general, la vegetación de la zona se encuentra en buen estado (Figura 19), lo que brinda a la cuenca un flujo regular y suficiente de agua, no solamente por la reducción del impacto erosivo de las lluvias en la época húmeda del año, sino también por la alimentación constante de los manantiales que, como se mencionó anteriormente, permiten el flujo permanente y estable del caudal del río a partir del Puente de Dios. Atendiendo a estas consideraciones, los usos del río no se deberían ver afectados por la disponibilidad del agua, pero cabe mencionar que las áreas de agricultura de riego son un punto clave en el manejo del recurso hídrico debido a la cantidad de agua que éstas demandan, lo cual se agrava con la tendencia actual de incremento en la frecuencia de años secos.

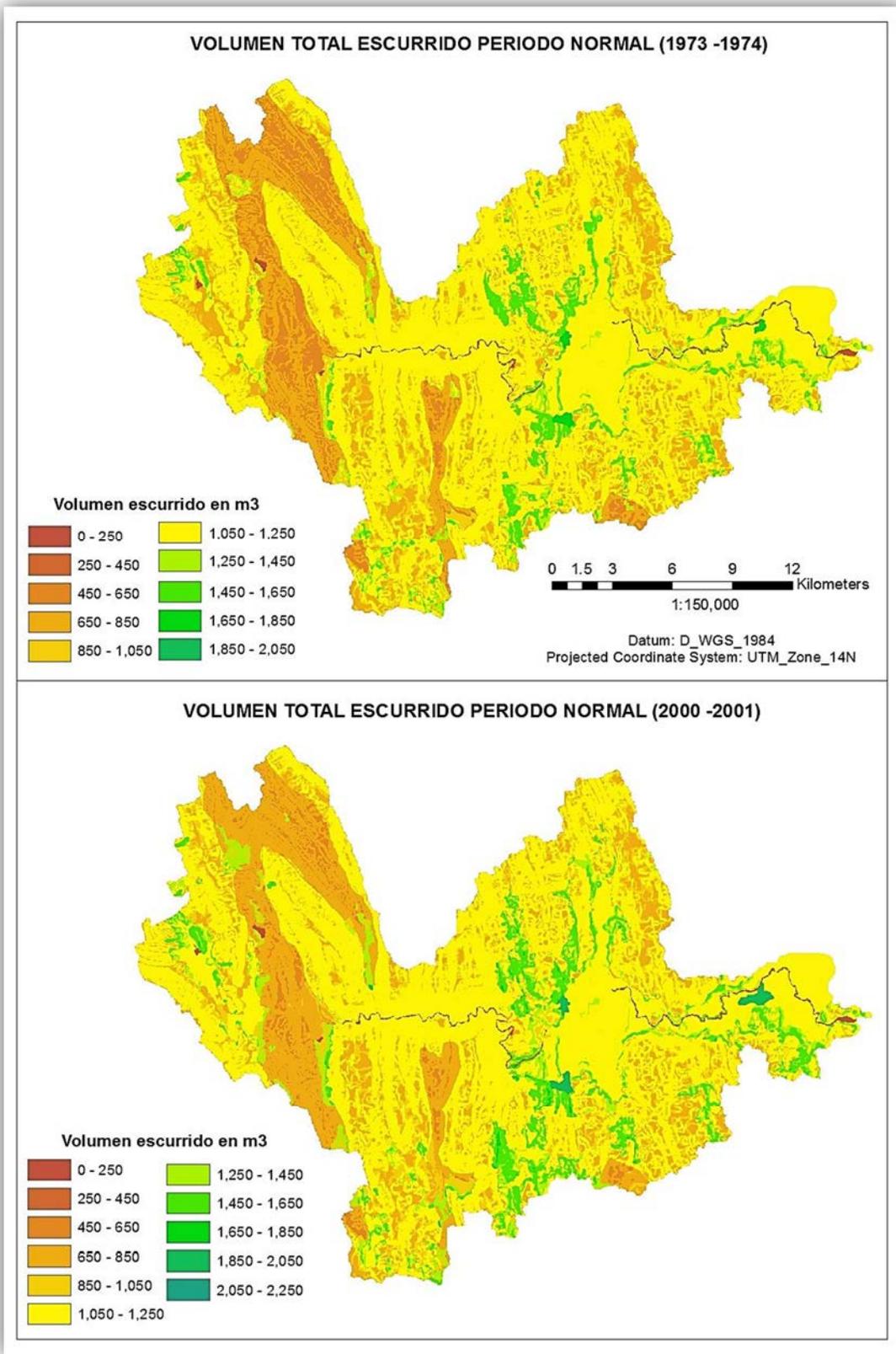


FIGURA 16. VOLUMEN TOTAL ESCURRIDO DE LOS PERIODOS 1973-1974 Y 2000-2001

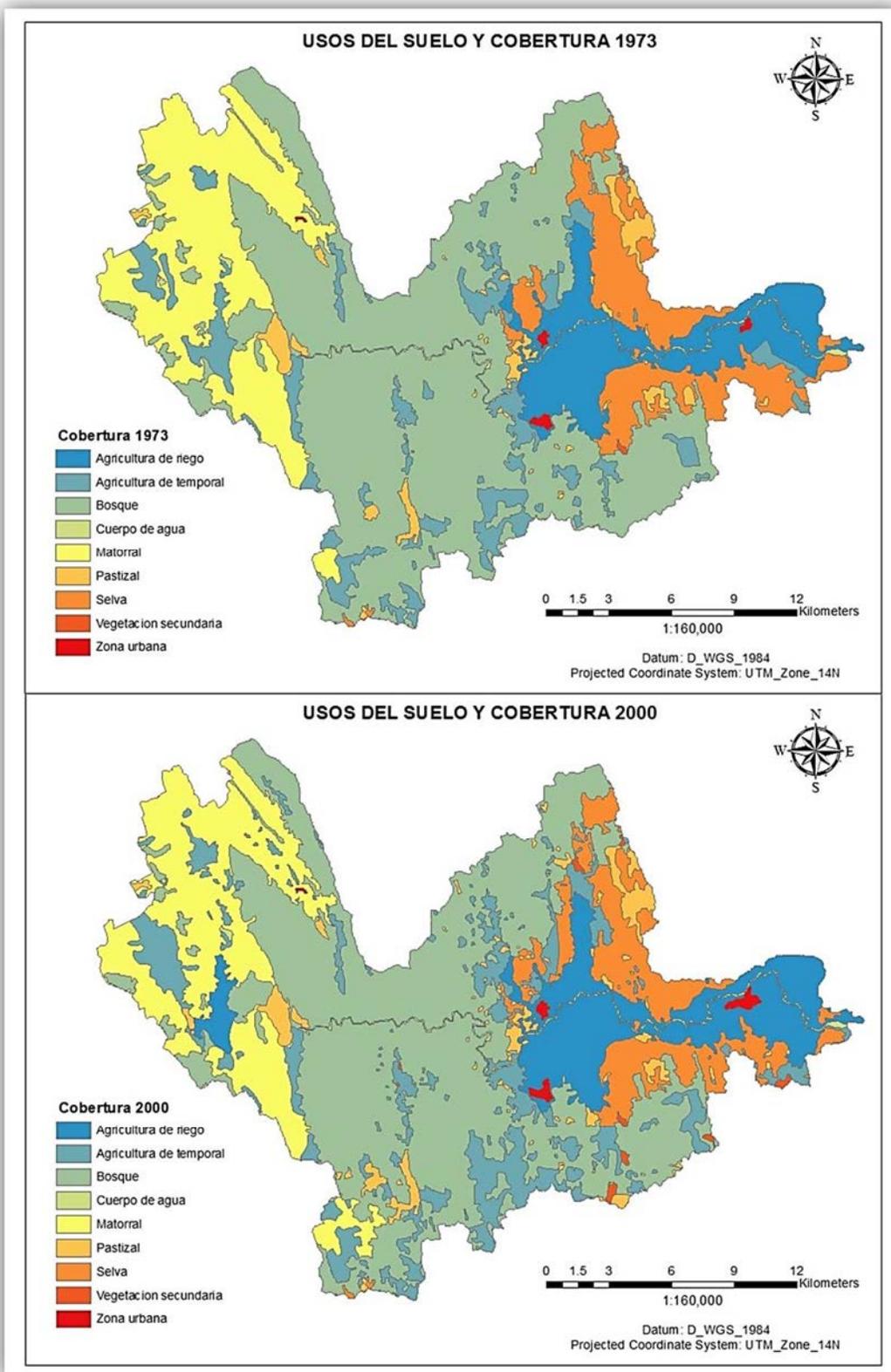


FIGURA 17. CAMBIOS EN LA CUBIERTA VEGETAL AÑOS 1973 Y 2000

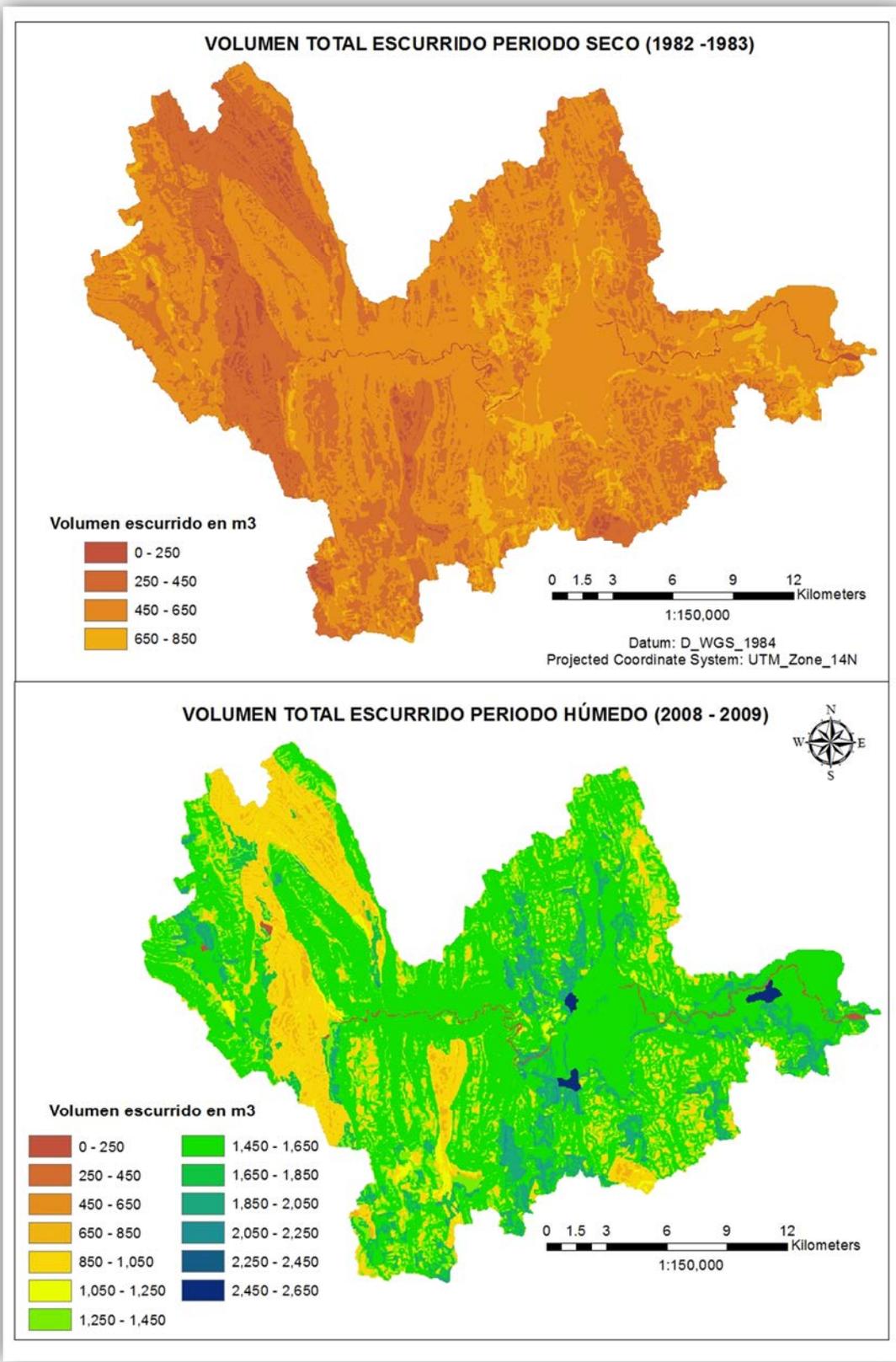


FIGURA 18. VOLUMEN TOTAL ESCURRIDO DE LOS PERIODOS 1982-1983 Y 2008-2009

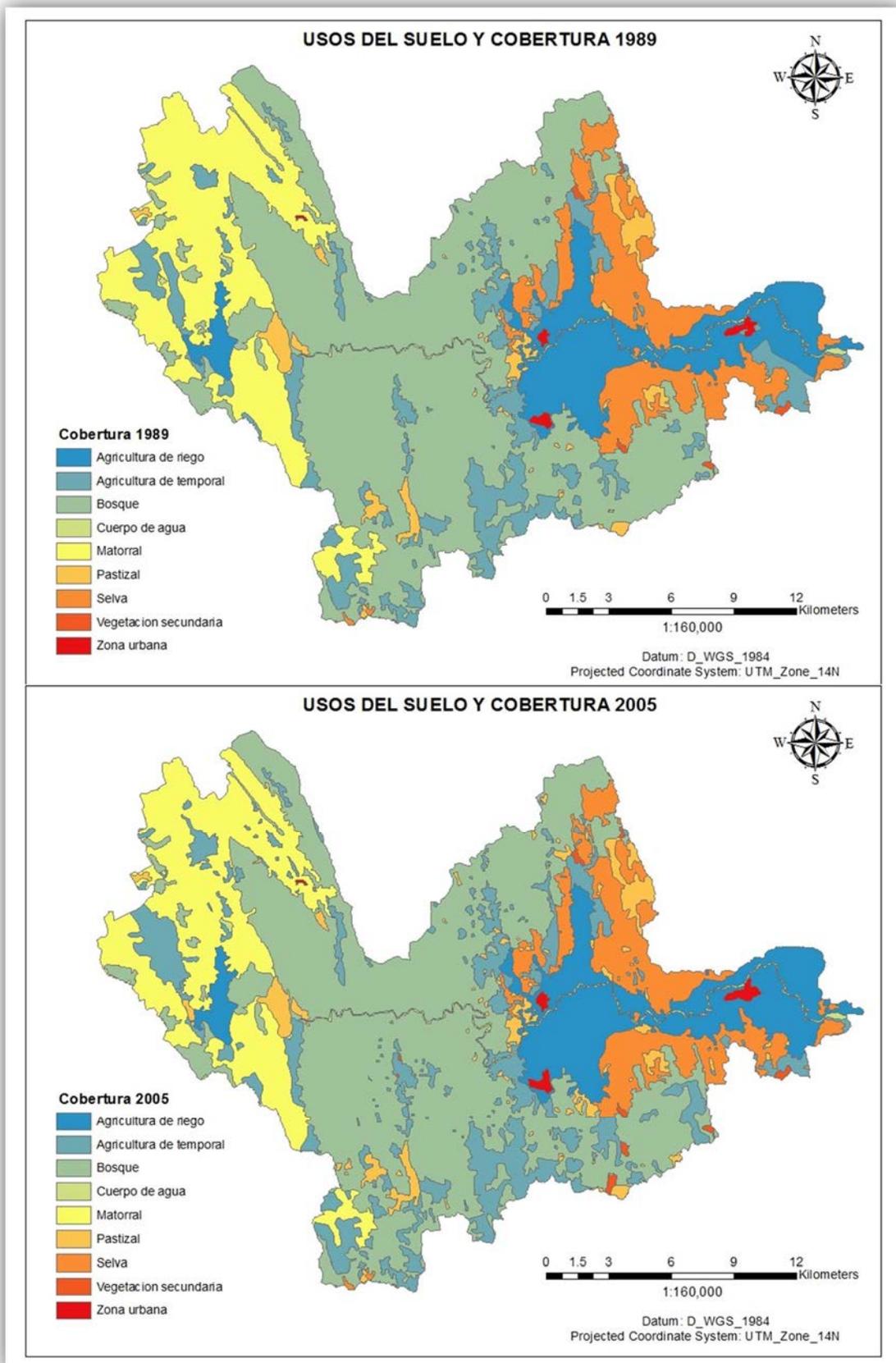


FIGURA 19. CAMBIOS EN LA CUBIERTA VEGETAL AÑOS 1989 Y 2005

Respecto a los gastos medidos para las épocas de secas y de lluvias en Paso Ancho y Las Adjuntas, se obtuvo como resultado un aumento para la época de lluvias de 1846.65 L/s en Paso Ancho, y de 1456.80 L/s en Las Adjuntas. Igualmente, al comparar las diferencias entre los dos sitios para cada fecha de muestreo se aprecia que en la temporada de estiaje esta fue de 1756.56 L/s y en la época de lluvias disminuyó a 1366.71 L/s (a pesar de los grandes volúmenes observados: 2706.17 L/s en Paso Ancho y 4072.19 L/s en Las Adjuntas) (Cuadro 16). Estos datos revelan el diferente peso específico temporal que tienen los sistemas hidrológicos subterráneo y superficial. Es decir, durante el estiaje los manantiales posteriores al Puente de Dios (Los Otates y El Nacimiento), contribuyen significativamente al incremento del caudal registrado en Las Adjuntas; por lo contrario, durante la época de lluvias es la escorrentía superficial, captada principalmente en el cañón del Espinazo del Diablo, la que aporta la mayor cantidad de agua al sistema; por ello, las diferencias entre el punto aguas arriba y el de aguas abajo se reduce claramente.

CUADRO 16. ESTIMACIÓN DEL CAUDAL EN PASO ANCHO Y LAS ADJUNTAS DURANTE EL ESTIAJE Y LA TEMPORADA LLUVIOSA

		TIEMPO MEDIO (s)	VELOCIDAD (m/s)	AREA MEDIA(m ²)	CAUDAL (m ³ /s)	CAUDAL (l/s)
PASO ANCHO	ABRIL/13	197.7	0.05059	16.99	0.86	859.53
	JUNIO/13	81.0	0.12346	21.92	2.71	2706.17
ADJUNTAS	ABRIL/13	603.0	0.01658	157.75	2.62	2616.09
	JUNIO/13	402	0.02488	163.73	4.07	4072.89

	DIFERENCIA TEMPORAL (L/s)
PASO ANCHO	1846.65
ADJUNTAS	1456.80

	DIFERENCIA ESPACIAL (L/s)
ABRIL 2013	1756.56
JUNIO 2013	1366.71

6.3 USOS DEL RÍO TAMASOPO

- USO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO:

A partir de las encuestas y las entrevistas realizadas, se evidenció que aunque alrededor del 90% de la población de Tamasopo, Agua Buena y Tambaca se abastece de la red de agua potable, la mayoría sufre por interrupciones en el servicio que ocurren normalmente más de tres veces al año. Alrededor del 40% de la población de Agua Buena y Tamasopo, del 25% en Tambaca, afirma que estas interrupciones duran más de una semana debido a daños en las tuberías, daños en las bombas o demora en el pago de la electricidad por parte de la comunidad para el funcionamiento de los sistemas de bombeo (Figura 20). Sin embargo, a pesar de éstos inconvenientes, más de la mitad de la población encuestada considera que el agua de la red llega normalmente y con la presión suficiente para abastecer sus necesidades básicas.

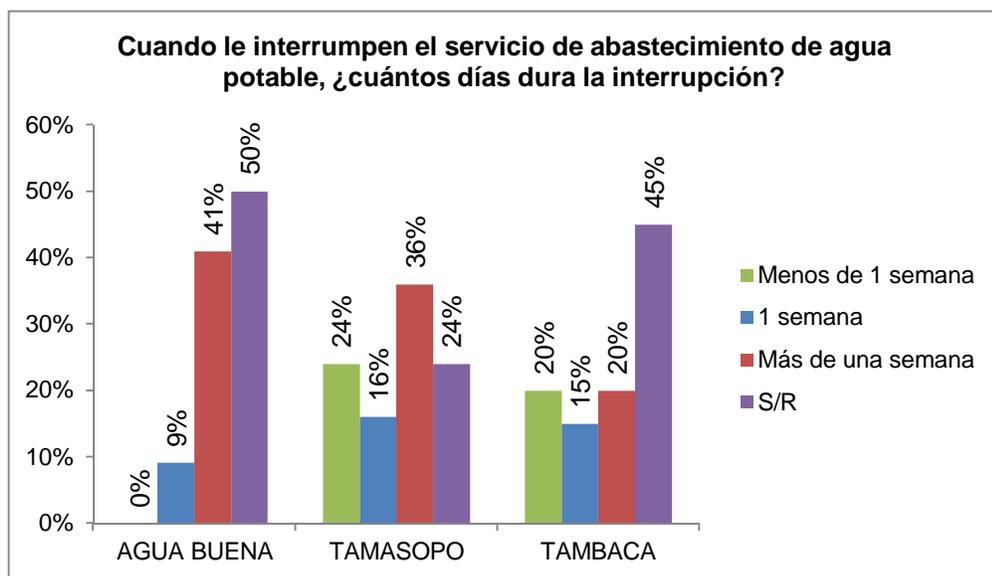


FIGURA 20. DURACIÓN EN LAS INTERRUPCIONES DEL SERVICIO DE ACUEDUCTO

A razón de estas percepciones, se entrevistó a los Presidentes de los comités de Distribución de Agua Potable de Agua Buena (Sr. Moisés Lugo) y

Tamasopo (Sr. Erik Arriaga Zúñiga) y al Ing. Edilberto Guadalupe Castillo, del CODESOL (Consejo de Desarrollo Social) para conocer más a fondo las causas de ésta problemática. Según el encargado de Tamasopo, las interrupciones en la red se deben por una parte a las deficiencias en las tuberías, sistema eléctrico y bombas, y por otra parte, a demoras en el pago por el consumo de energía eléctrica.

No obstante, como se muestra en la Figura 21, el abastecimiento de agua presenta más inconvenientes en la época más seca. Según el Ing. Castillo en el periodo de estiaje (de febrero a junio), las fuentes de abastecimiento se agotan. En Tamasopo durante esa época, la más cálida del año, las bombas se descomponen frecuentemente por sobrecalentamiento y por variaciones en el voltaje (el consumo de energía es más alto en las poblaciones por el uso de ventiladores y sistemas de aire acondicionado). Esta percepción se ve también reflejada en la opinión de la población, la cual considera que, en un futuro, los manantiales de donde se abastecen de agua podrían estar en riesgo de secarse o de ser insuficientes para satisfacer las necesidades de la población, no sólo por la falta de conciencia de las personas que derrochan y contaminan el agua, sino por el deterioro de la naturaleza, el calentamiento global, y el incremento de la población.

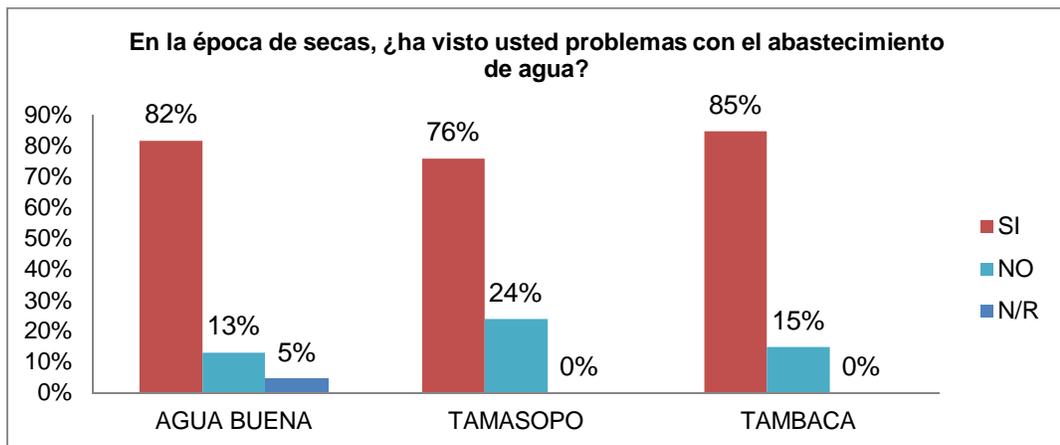


FIGURA 21. PROBLEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN ÉPOCA DE SECAS

En lo referente al factor equidad, el presupuesto destinado al sistema de agua potable, además de ser muy escaso, solo llega a la cabecera municipal. Si otras comunidades quieren obtener apoyo económico, deben solicitarlo al cabildo, en cuyo caso la asignación dependerá de las necesidades de la población y los recursos financieros existentes.

“Este año se asignaron específicamente a la cabecera municipal 150 000 pesos para solventar un poquito a lo que son ampliaciones, reparaciones de bombas, mantenimiento” (Ing. Edilberto Guadalupe Castillo).

El organismo responsable de cada red de abastecimiento de agua consta de un director o presidente, un secretario, un tesorero y algunos trabajadores. Según el Sr. Erik Arriaga, este comité se elige por la comunidad; sin embargo, en la mayoría de los casos recaen todas las responsabilidades en el presidente, quien se encarga principalmente del monitoreo de los sistemas de bombeo, la reparación de fugas, el cobro del servicio y el tandeo del agua en las diferentes áreas de la localidad.

Por otra parte, las comunidades que no cuentan con agua de la red, quienes son las más pobres y marginadas tienen un apoyo directo de la presidencia que consta de distribución por medio de pipas:

“Ese apoyo va directamente a la persona, la pipa de agua es gratuita, pero realmente se benefician las personas más vulnerables a la sequía que son las rancherías de acá arriba. Realmente si nos hacen falta más pipas, porque precisamente en éste tiempo de sequía, aquí en la misma cabecera municipal hay partes altas que batalla el agua para llegar, sobretodo el sobreconsumo no permite llegar a ciertas áreas el agua, entonces también necesitamos una pipa aquí, pero tan solo en las rancherías una pipa no basta porque las distancias que hay de aquí, de donde se lleva el agua, hasta cada ranchería, me imagino que es un

viaje o dos viajes diarios para comunidades realmente lejanas, no es suficiente. Realmente allá el problema del agua en esas rancherías es grave, es un punto rojo” (Sr. Erik Arriaga).

Las personas que prefieren pipas privadas deben pagar alrededor de 45 pesos por un tanque de 200 litros, y de 80 a 100 pesos por un tinaco de 1100 litros. La pipa tiene una capacidad de 10 m³.

Respecto a la calidad del agua para abastecimiento, se percibieron diferentes fallas. En época de lluvias, el 100% de la población encuestada de las tres localidades recibe agua turbia. Del mismo modo, todas las personas beben sólo agua de garrafón ya que en su mayoría consideran que el agua de la llave no es saludable, por no ser tratada, tener mal sabor y estar sucia y contaminada (Figura 22). Esta problemática puede estar directamente asociada a la ausencia de un sistema de tratamiento de agua potable.

La mayor parte de la población que está en desacuerdo con la calidad del agua de la red municipal es de Tamasopo y Tambaca. En el caso de Tamasopo, la población asocia la contaminación del agua principalmente a la falta de conciencia de la gente. Sin embargo, en Tambaca, esta percepción se enfoca más a la contaminación que pueda estar ocasionando la industria de caña de azúcar en las fuentes de agua.

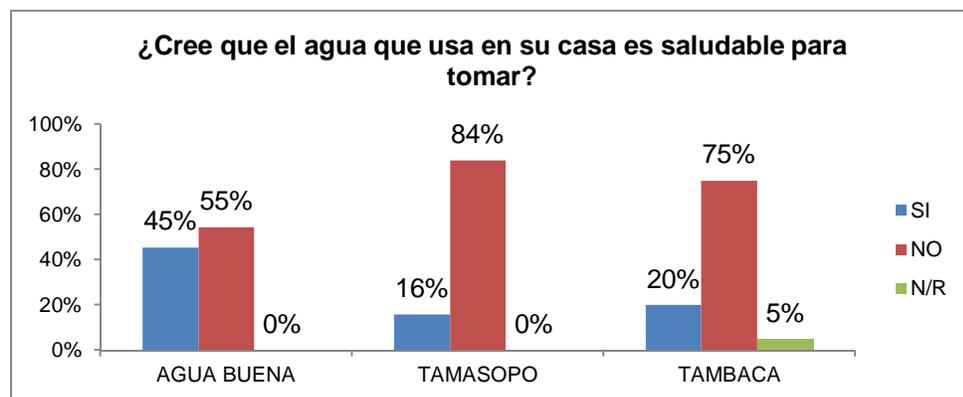


FIGURA 22. PERCEPCION DE LA POBLACIÓN SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA PARA ABASTECIMIENTO

Según el señor Erik Arriaga el agua que se distribuía anteriormente en la localidad de Tambaca llegaba por bombeo desde un manantial llamado “El Charco Azul” y por gravedad desde el río Tamasopo. Sin embargo, desde hace 2 años la presidencia municipal invirtió en una nueva red de acueducto para abastecer a esta localidad por gravedad desde las Cascaditas de Tamasopo. En el caso de Tamasopo, el agua se obtiene en un 30% por bombeo y el otro 70% por gravedad desde el nacimiento que se encuentra en el paraje Puente de Dios. Esta distribución se hace directamente, sin tratamiento previo. En el caso de Agua Buena, como lo afirma el señor Moisés Lugo, el agua para abastecimiento se obtiene de los manantiales que nacen en la localidad, y se distribuye en un 100% por bombeo a los tanques de almacenamiento que alimentan la red. No obstante, el agua que le llega a la población no es tratada.

“Hay estrategias en el plan municipal para llegar a un 70% en distribución de agua. No hay la infraestructura para llegar a lograrlo. Si es cierto que hay un plan, una meta, unos objetivos, pero está... para ser sincero muy difícil. No hay infraestructura en el aspecto de lograr esos objetivos, Tamasopo no cuenta con una potabilizadora” (Sr. Erik Arriaga).

“En el municipio no tenemos sistemas potabilizadores, donde se le dé un tratamiento al agua. Lo único que se ha instalado son los sistemas para cloración. Tenemos aquí otro problema de que tenemos aguas con mucha dureza. La fuente de abastecimiento aquí de la cabecera municipal presenta mucho sarro; entonces, las mismas líneas presentan mucha incrustación, y el agua en la época de lluvias en todas partes, las que son fuentes de los ríos, se nos revuelven” (Ing. Edilberto Guadalupe Castillo).

Atendiendo a las consideraciones anteriores, el uso del agua solamente se limita a la limpieza, la higiene personal, el riego de las plantas y árboles de

los solares y, en menor medida, al mantenimiento de animales de corral (Figura 23). No obstante, según la información brindada por los presidentes, el consumo es bastante alto debido a que las casas aún no cuentan con contadores; por lo tanto, es muy difícil realizar un seguimiento y control del uso del agua.

“Hay muchas tomas clandestinas e industriales (de potreros)³. Ahora no hay ninguna base para multar. No hay un reglamento interno, no hay ciertas cosas o ciertas herramientas para llevar un mejor control” (Sr. Erik Arriaga).

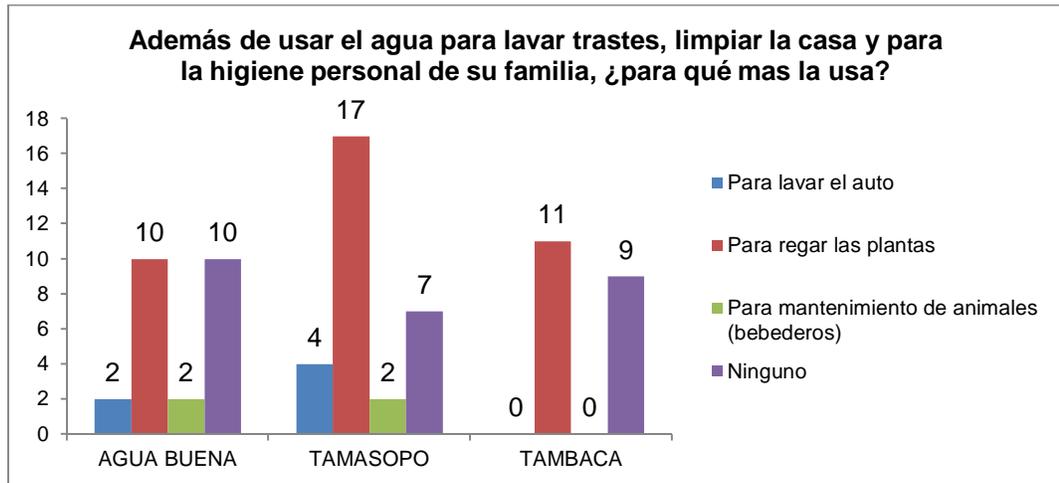


FIGURA 23. USOS DEL AGUA EN EL SECTOR DOMÉSTICO

La opinión de la población respecto a este tema fue similar. En las tres localidades, aproximadamente la mitad de la población encuestada afirmó conocer casos de personas que derrochan el agua, debido a que dejan la llave abierta, lavan la banqueta o lavan carros (Figura 24). Asimismo, muchas personas expresaron que las mangueras están rotas, hay fugas en las tuberías, no hay medidores y hay problemas de infraestructura.

³ Los potreros se consideran como tomas industriales, ya que el municipio les cobra una cuota más elevada.

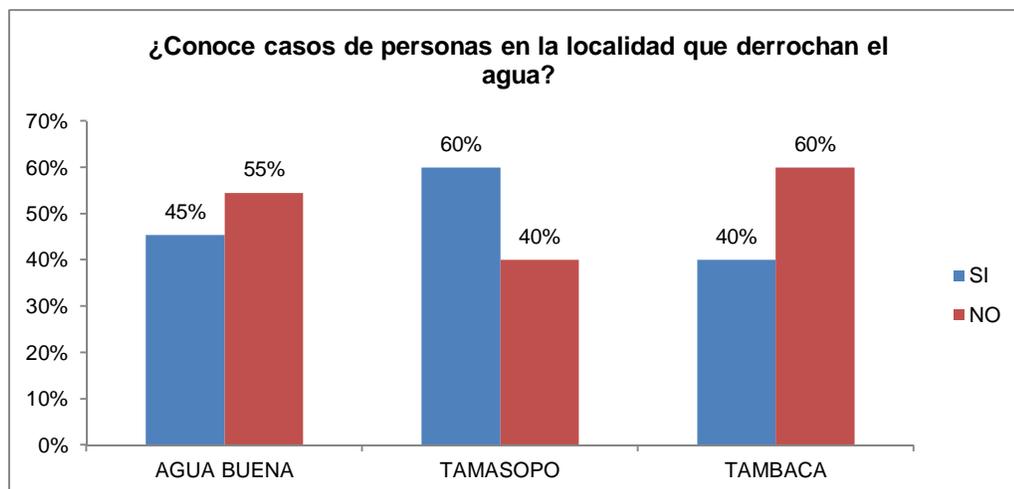


FIGURA 24. OPINIÓN DE LA POBLACIÓN SOBRE EL DESPERDICIO DEL AGUA

“La gente no hace conciencia, yo creo que también es parte de la naturaleza humana el desperdicio. Hay mucho desperdicio de agua, de hecho aquí en Tamasopo, y en Tambaca, hemos estado haciendo unos análisis de que el consumo es muy alto, no sabemos si es por las redes que ya están muy viejitas, que haya fugas por ahí que no nos damos cuenta, pero en gran parte es el mal uso por parte de la población. Aquí en Tamasopo, tenemos zonas donde ni siquiera tienen una llave. Llenan sus tanques, llenan sus depósitos y se lo ponen a las plantitas. ¿Un plan?... desafortunadamente como las administraciones cambian cada tres años se maneja mucha cuestión política. Cambian muchas veces puestos específicos... cada presidente viene con ciertas ideas, y trae su plan y su proyecto de trabajo. Entonces en muchas ocasiones, la mayoría, no se le da seguimiento a un proyectito o a un plan de cultura, uso y manejo del agua” (Ing. Edilberto Guadalupe Castillo).

Sin embargo, como entidad normativa y de seguimiento al manejo del agua, La Comisión Nacional del Agua actúa en el municipio por medio de diversos programas. Según el Ing. Castillo, la mayoría de ellos se basan en convenios con la presidencia para mejorar los sistemas de agua potable o de tratamiento de aguas negras de algunas localidades. Actualmente, el municipio cuenta con

un programa de devolución de derechos (PRODDER) donde se paga para acceder al uso del agua, y la CONAGUA regresa esos recursos para alguna obra, como las perforaciones de pozos y las ampliaciones de sistemas de agua potable que se han realizado a la fecha. Para acceder a un recurso estatal, se debe validar la factibilidad del proyecto y el cumplimiento con las normas.

Del mismo modo, según el Ingeniero José Luis Juárez, Jefe de proyectos de Agua Superficial de CONAGUA, se han instalado una serie de espacios de cultura del agua conjuntamente con los municipios y las instituciones para dar capacitación sobre el uso racional del recurso. Estas capacitaciones, aunque van dirigidas al público en general, se enfocan principalmente en los niños, por lo cual se imparten casi siempre en instituciones de educación primaria y secundaria.

- **DESCARGAS DOMÉSTICAS Y URBANAS:**

Como resultado a la problemática relacionada con las descargas de aguas residuales, se observó que en las localidades de Agua Buena y Tamasopo la mayoría de la población no desecha las grasas ni aceites de la cocina por el drenaje; una situación opuesta ocurre en Tambaca, donde el 75% aceptó realizar esta acción (Figura 25).

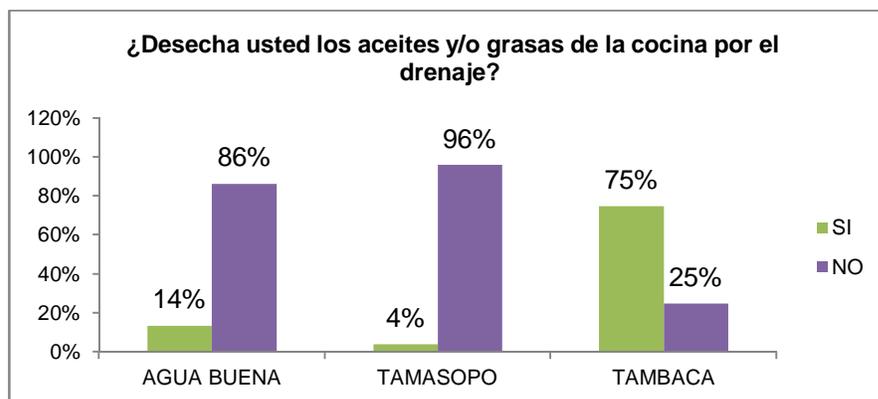


FIGURA 25. DESCARGA DE ACEITES DE COCINA AL DRENAJE

En Agua Buena y Tambaca, alrededor de un 66% de la población está conectada a la red de drenaje municipal, pero este porcentaje incrementa en un 18% en la cabecera municipal. En los tres poblados existen, en menor cantidad, descargas directamente a la superficie del terreno o a pozos sépticos (Figura 26).

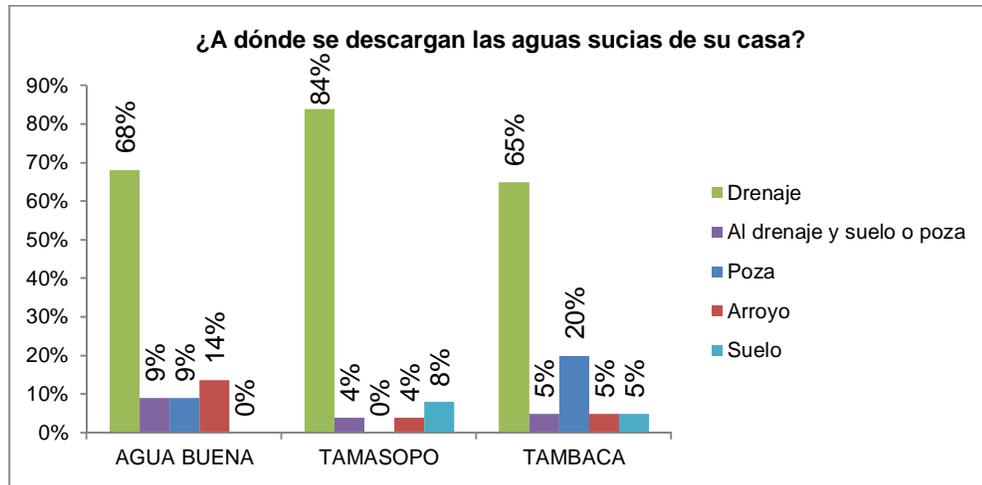


FIGURA 26. PORCENTAJE DE LA POBLACIÓN CONECTADA AL DRENAJE MUNICIPAL

A pesar de que la mayoría de la población accede al servicio de drenaje municipal, del 30 al 68% de los entrevistados manifestaron su desacuerdo con el buen funcionamiento del mismo, siendo la localidad de Agua Buena la del porcentaje más alto (Figura 27). Lo anterior, debido a que en la época lluviosa el agua se bloquea e incluso se devuelve al obstruirse las redes; en época de estiaje la molestia principal es por la generación de malos olores.

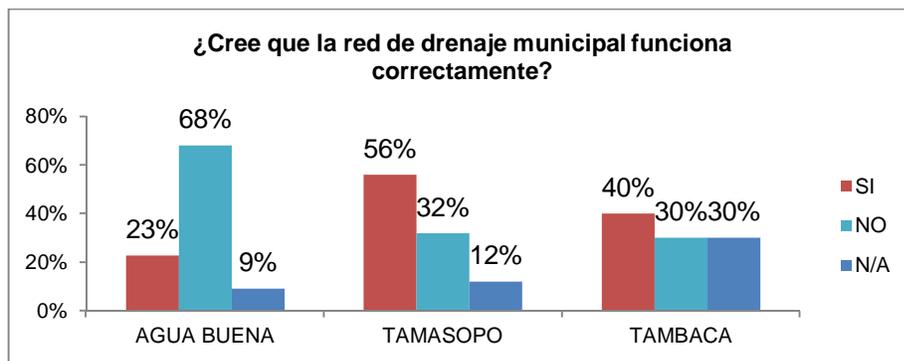


FIGURA 27. PERCEPCIÓN DE LA POBLACIÓN RESPECTO AL SERVICIO DE DRENAJE MUNICIPAL

Del mismo modo, casi todas las personas mostraron una gran inconformidad sobre las inundaciones en la temporada de lluvias y ciclones, no solamente a causa de la obstrucción de los drenajes, sino también porque las zonas urbanas se encuentran en valles inundables. En el caso de Tamasopo, durante la temporada de lluvias, la combinación del sustrato calizo y la posición de los poblados al pie de las montañas propician el afloramiento del agua en manantiales efímeros que suelen brotar hasta en el interior de los solares.

En los últimos 10 años la mayoría de las personas consideraron que sus localidades se han inundado de una a seis veces; incluso, alrededor de una quinta parte manifestó que siempre que llueve (es decir, cada temporada lluviosa) su localidad se inunda (Figura 28). En este caso, las causas podrían radicar, además del emplazamiento inadecuado y del drenaje deficiente mencionados anteriormente, en la deforestación de las laderas circundantes (ya referida en el tema cantidad de agua), en la expansión urbana y en la reciente construcción de nuevas vías de comunicación.

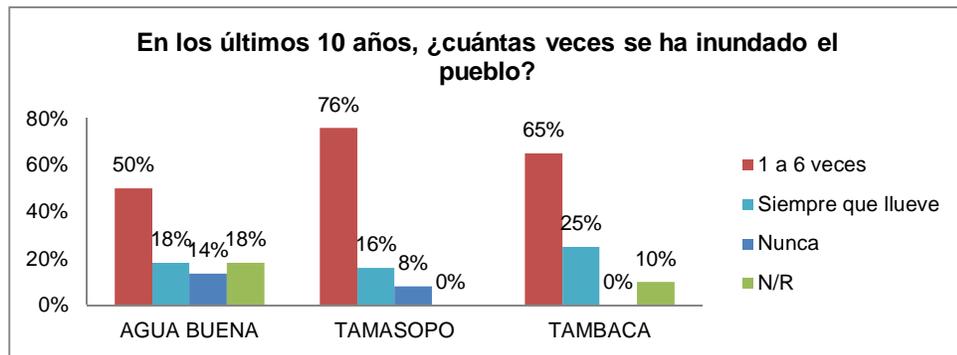


FIGURA 28. INUNDACIONES EN EL MUNICIPIO EN LOS ÚLTIMOS 10 AÑOS

Respecto a la contaminación de los ríos, en general, la población del municipio afirma que están contaminados porque hay una falta de conciencia por parte de la gente, carencia de programas municipales para el manejo del río y contaminación de las empresas que se ubican en la zona (especialmente en el caso de Tambaca) (Figura 29).

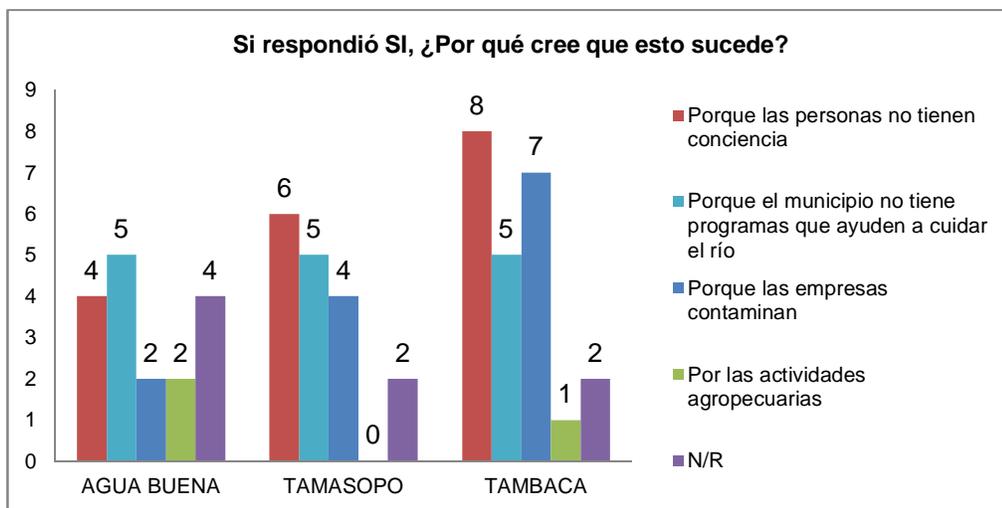


FIGURA 29. PERCEPCIÓN DE LA POBLACIÓN SOBRE LA CONTAMINACIÓN DEL RÍO

Alrededor de un 30% de la población total de las 3 localidades, negaron la posibilidad de contaminación del río, pero acertaron en que en un futuro esto podría suceder. No obstante, el municipio, se encuentra desarrollando diferentes proyectos respecto a éste tema. Según el Ingeniero Castillo, se está proyectando hacer plantas tratadoras de aguas negras en Agua Buena y Tambaca por ser zonas urbanas. En las comunidades rurales y en los lugares turísticos, se están llevando a cabo programas de letrinas húmedas y secas, así como pozas sépticas para evitar las descargas al río.

En el caso de Tamasopo, desde hace cinco años y medio se cuenta con una planta de tratamiento de agua residual urbana y doméstica. Mediante la entrevista realizada al Ingeniero Maximino Nájera Rocha, encargado de la planta, se conoció el funcionamiento del sistema de tratamiento. Esta planta, tiene una vida útil de 25 años y está trabajando actualmente a la mitad de su capacidad de tratamiento, la cual es de 16 L/s.

El sistema consta principalmente de dos lagunas de estabilización y dos de maduración en donde se remueve alrededor del 70 al 80% de la materia orgánica, aunque no elimina nutrientes como el nitrógeno. Sin embargo, en

un futuro se pretende construir unos humedales que permitirán mejorar la eficiencia del sistema.

FOTO 7. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE TAMASOPO



- USO DEL RÍO PARA LA RECREACIÓN Y LA PESCA:

Respecto al uso que recreativo del río, se encontró que alrededor del 47% de la población total encuestada acude a él para nadar o pasear de una a cinco ocasiones al año; el uso recreativo del río es mayor en Agua Buena y en Tambaca, donde alrededor de una quinta parte de la población manifestó que aprovecha la temporada de calor para bañarse casi todos los días en los nacimientos y las pozas más cercanas. El problema en Tambaca, como ya lo indicaron los datos de calidad del agua, es que allí el río presenta uno de los más altos grados de contaminación.

Normalmente, las personas acuden al río cualquier día del año (Figura 30) y prefieren lugares libres donde no se pague la entrada (Figura 31), debido a que una gran parte de las riberas del río se han privatizado para el turismo. La privatización de los parajes turísticos, por un lado representa una de las principales actividades económicas de la zona, misma que produce una derrama económica considerable y genera fuentes de empleo; por el otro, en

contraste, restringe las posibilidades de recreación gratuita de la población y propicia el uso de áreas inadecuadas, inseguras o contaminadas.

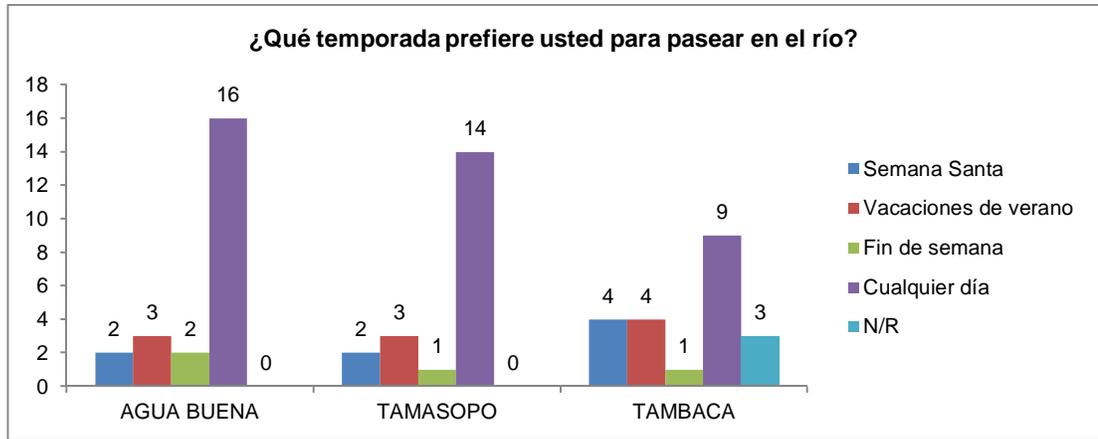


FIGURA 30. TEMPORADAS QUE PREFERE LA POBLACION PARA IR AL RÍO

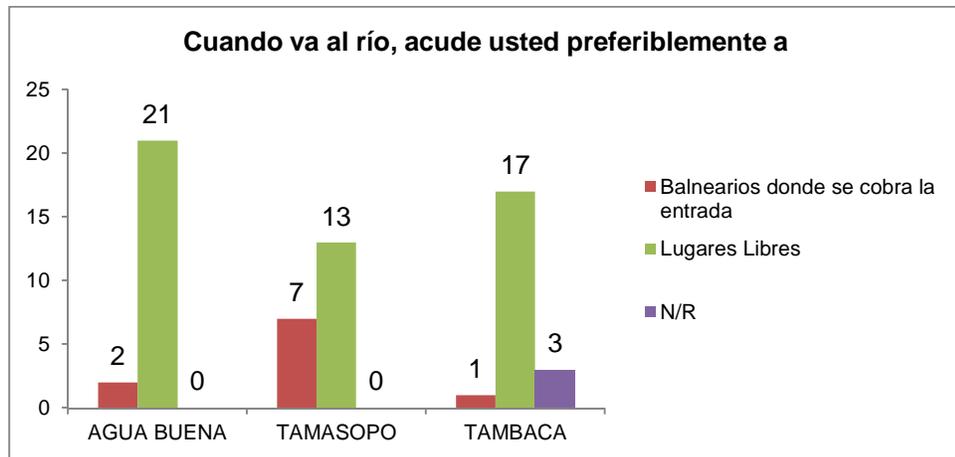


FIGURA 31. LUGARES DE PREFERENCIA PARA USO RECREATIVO DEL RÍO

Con base en la información proporcionada por los Ingenieros José Luis Martín del Campo y José Luis Juárez de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Tamasopo forma parte del programa de playas limpias, en el cual se busca por parte de los hoteleros quienes viven del turismo, la certificación nacional e internacional de la calidad del agua en los parajes turísticos con el objetivo de promocionar a la zona. Esta, fue una de las razones para formar el comité de cuenca, en el cual se involucra el sector salud, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), CONAGUA y diversas

dependencias, para la toma de decisiones en relación con el manejo y uso turístico del recurso hídrico en la zona. Esto, también ha generado un gran compromiso por parte de los prestadores de los servicios turísticos de las riberas del río para cumplir rigurosamente con las disposiciones de la normativa ambiental y con el pago puntual de sus derechos de concesión.

En el caso de la pesca, son muy pocas las personas que desarrollan dicha actividad en el municipio. El mayor porcentaje de pescadores en la zona se encontró en Agua Buena, seguido de Tambaca y Tamasopo (Figura 32).

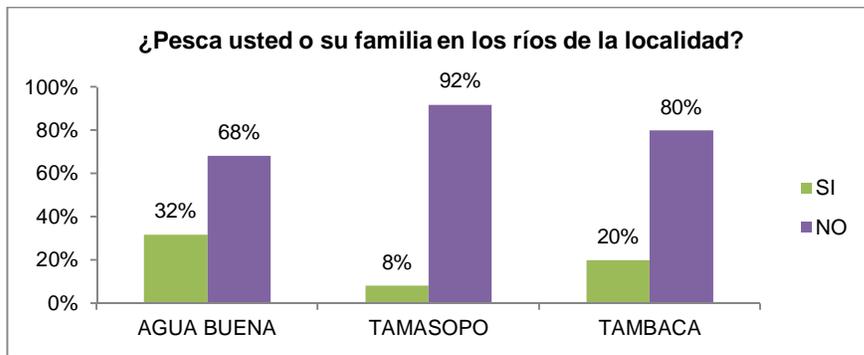


FIGURA 32. PORCENTAJE DE PERSONAS QUE PESCAN

Según la población, las especies más abundantes de la región son la tilapia (*Oreochromis sp.*) o Mojarra y el Bagre (*Ictalurus sp.*). Sin embargo, un poco más de la mitad de las personas encuestadas en Tamasopo y Tambaca consideran que la población de peces ha disminuido a causa de la contaminación, la pesca excesiva, la escasez de agua y la sequía (Figura 33).

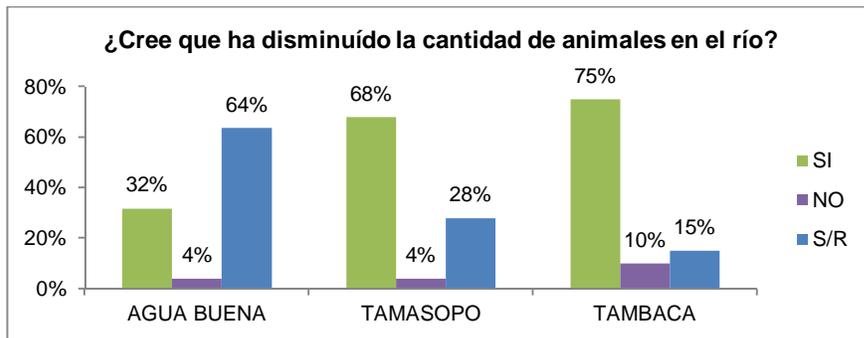


FIGURA 33. PERCEPCIÓN DE LA POBLACIÓN RESPECTO A LA DISMINUCIÓN DE PECES EN EL RÍO

- USO AGRÍCOLA:

Para conocer el manejo y uso del agua en el sector agrícola, se entrevistaron diversos funcionarios del sector público. Entre ellos el señor Jaime Berrones Rea, Secretario de Crédito y responsable del Departamento de Fidecomiso de la Unión Local de Productores de Caña de la Confederación Nacional Campesina (CNC), al Ingeniero José Luis Martín del Campo, Secretario Técnico de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), al Ingeniero José Luis Juárez Rubio, jefe de Proyectos de Agua Superficial de CONAGUA y al Ingeniero Tito T. García Quintero, Superintendente General de Campo del Ingenio Alianza Popular.

En lo que respecta al seguimiento y la asesoría de los sistemas de riego en las parcelas cultivadas, cada uno de los ejidos tiene su propio control y sus respectivos equipos de riego, así como su respectiva concesión asignada por la CONAGUA. Según Jaime Berrones (2013), en la mayoría de los ejidos se maneja un sistema de riego para todos los cultivadores, pero en otros casos los productores tienen su propio sistema. No obstante, la CNC, se encarga de apoyar a los productores (aproximadamente 3000 socios) con los trámites y los subsidios del gobierno para adquirir sistemas de riego o mejorar los que ya están instalados. Estos trámites se gestionan con la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y con la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Agropecuario y Recursos Hidráulicos (SEDARH) de Ciudad Valles, la cual destina presupuesto para el desarrollo agrícola de los Ingenios: San Miguel del Naranjo, Plan de Ayala, Plan de San Luis y Alianza Popular, este último situado en Tambaca, Tamasopo. Los subsidios del gobierno solamente cubren del 40 al 50% y la otra parte se costea por los usuarios o existe la posibilidad de acceder a un crédito con el gobierno municipal.

Según afirma el Ingeniero José Luis Martín del Campo, anteriormente, CONAGUA financiaba la implementación de sistemas de riego presurizados por microaspersión, pero, a partir del presente año, es SEDARH la que ha venido interviniendo en el mejoramiento de estos sistemas de riego. CONAGUA sólo está desarrollando programas de financiación para agricultura protegida. El Ingenio Alianza Popular, por su parte, financia a los cultivadores de caña con alrededor de 5 a 8 millones de pesos para pagar energía, empleados y combustible, o adquirir mangueras, tuberías o cañones (Ing. Tito García).

En la zona, existen tres tipos de riego. Por gravedad que es el más común, y en una menor cantidad por goteo y por cañones (Sr. Jaime Berrones). Con respecto al consumo de agua, el municipio carece de un registro exacto sobre el número de usuarios de agua para riego y de una cuantificación precisa del consumo de agua. Se estima que existen aproximadamente unas 150 a 200 bombas para riego presurizado. Con base en estas consideraciones, a las que habría que añadir el precio simbólico que pagan los cultivadores de caña por la concesión del agua, se explica el desperdicio de grandes cantidades de este recurso.

Según el Ingeniero José Luis Juárez, del agua que se extrae en la zona para los diferentes usos municipales, aproximadamente el 90% se destina al sector agrícola. Esta agua, como afirma el señor Jaime Berrones, proviene casi en un 95% de fuentes superficiales (ríos Tamasopo, San Nicolás de los Montes y Gallinas) y en un 5% de pozos para regar de dos a tres veces al año, en dependencia de la magnitud de la precipitación, especialmente durante el estiaje.

No obstante, según el Ing. Tito García, desde los últimos cinco años los campos agrícolas se han visto afectados por la disminución de las lluvias debido a que la mayoría son cultivos de temporal. De 1000000 t de caña

obtenidas en una zafra “normal”, se han registrado caídas muy drásticas a 600000 t para un total de 23 500 ha cultivadas.

A raíz de ésta problemática, CONAGUA, en convenio con otras entidades, se encuentra desarrollando un plan rector en el que se realizará un diagnóstico general sobre el uso del agua en el sector agrícola de la cuenca del río Gallinas, con el fin de tomar decisiones para un manejo más eficiente del agua. Así mismo, a raíz de la crisis de agua por la que ha atravesado la región, principalmente en la agricultura, se creó el comité de cuenca ya mencionado donde participan diferentes actores privados y públicos de los municipios de Tamasopo, Aquismón y Ciudad Valles para la toma de decisiones sobre el manejo general de la cuenca del río Gallinas (Ing. Martín del Campo e Ing. Juárez). Actualmente, entre los planes que se están desarrollando en la zona, se está realizando un tandeo en el riego para disminuir la presión sobre el flujo del río Gallinas y sus tributarios.

- **USO INDUSTRIAL:**

En la zona de estudio existe sólo una industria: el Ingenio Alianza Popular de Tambaca S.A de C.V. Para conocer el uso del agua dentro de los procesos de la producción de azúcar, se entrevistó al Ingeniero Fernando T. Flores Martínez del departamento de Ecología y Medio Ambiente del Ingenio.

Aunque esta empresa cuenta con una concesión de CONAGUA para la extracción de 2 816 500 m³/año de agua del río Tamasopo, el consumo no alcanza los 100 000 m³.

El consumo normal diario de la fábrica varía entre 1.22 a 2 L/s para servicios generales como: la recarga de los sistemas de recirculación del lavado de caña, las torres de enfriamiento, evaporación y tachos, el enfriamiento de molinos y el enfriamiento de los turbo-generadores de la planta eléctrica. No

obstante, ésta empresa cuenta con un proceso de recirculación y reúso del agua en el cual solo se reponen las pérdidas por evaporación, infiltración y acumulación de contaminantes (agua con sólidos suspendidos), normalmente una vez por mes, cuando se introduce nuevamente agua limpia en el sistema de lavado de la caña.

El agua que no se puede reutilizar por exceso de sólidos, se trata en una planta aledaña para luego aprovecharse en los sistemas de riego de los campos agrícolas. Esta planta tiene una capacidad de tratamiento de 120 L/s, pero, a partir de la zafra 2012-2013, se redujo el flujo a 70 L/s debido a la implementación de un proyecto de ahorro de agua en la fábrica y de reducción de costos de tratamiento de agua residual.

El Ingenio ha venido desarrollando diferentes programas ambientales en los últimos años:

“En el 2005 comenzamos con el programa industria limpia, en el 2006 pactamos un plan de acción con la SEMARNAT y lo terminamos de ejecutar en el 2010. En julio de 2010, el ingenio recibió su primer certificado como industria limpia (...). En el 2009 el ingenio se adhiere al programa de saneamiento de aguas residuales de la CONAGUA. Pactamos con ellos un plan de acción hasta 24 meses. En marzo del 2012 la CONAGUA viene a verificar el cumplimiento al plan de acción y nos valida el plan de acción” (Ing. Fernando Flores).

En éste sentido, a partir de la implementación de nuevos procesos, se evidencia una reducción considerable en el consumo de agua de los últimos años, tal y como se muestra a continuación:

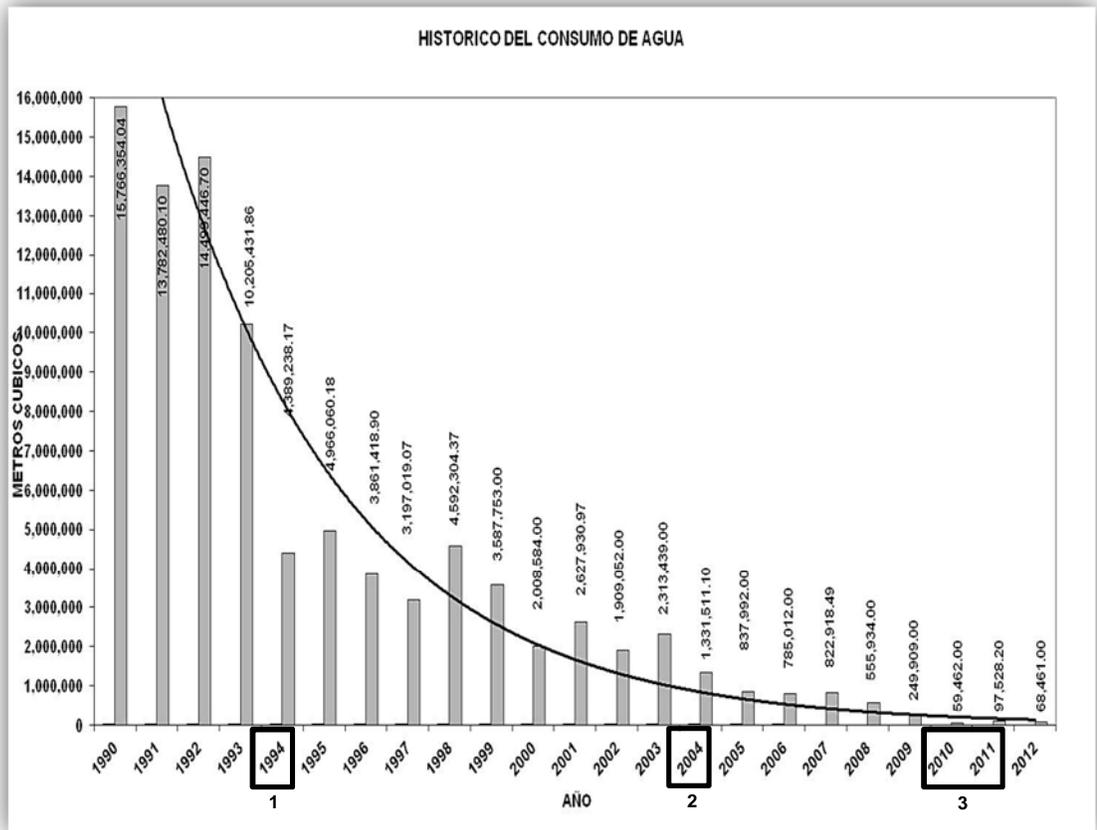


FIGURA 34. HISTÓRICO DEL CONSUMO DE AGUA INGENIO ALIANZA POPULAR

FUENTE: DEPENDENCIA DE ECOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE, INGENIO ALIANZA POPULAR (2013)

- ¹ Se incluye una torre de enfriamiento en el proceso.
- ² Inicia el sistema de recirculación del lavado de caña.
- ³ Se hace más eficiente el lavado de caña y se introduce otra torre nueva.

Del agua que se consume en el ingenio, una gran parte se extrae de la caña de azúcar, lo cual implica un ahorro en el consumo del agua del río. Según el balance hídrico de la zafra 2011-2012, de la caña de azúcar procesada se extrajeron alrededor de 4914 m³ de agua al día. Sin embargo, en el proceso se recuperaron solamente 4482 m³ debido a las pérdidas.

7. DISCUSIÓN

Dentro del marco de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, la calidad del agua es un factor determinante en su disponibilidad. Según el decenio Internacional para la Acción “El Agua Fuente de Vida” de la ONU, uno de los principales problemas por los que atraviesan los usuarios del recurso hídrico es la contaminación del agua, la cual a su vez es también una amenaza para los ecosistemas (ONU).

La contaminación del río Tamasopo se caracteriza principalmente por la presencia de microorganismos patógenos, nitrógeno amoniacal, la alta demanda química de oxígeno y la baja concentración de oxígeno disuelto. Según la clasificación de CONAGUA (2007), para que un agua sea de excelente calidad debe contar con una concentración de DQO menor a 10 mg/L, pero en este caso se presentaron, tanto en época de estiaje como de lluvias, concentraciones entre los 40 y 200 mg/L. Esto califica al agua como contaminada, pues indica la presencia de componentes orgánicos biodegradables y no biodegradables, procedentes principalmente de vertimientos municipales que no han recibido tratamiento previo (Ramírez et al., 2007 citados por Guzmán et al., 2011). Estos vertimientos provienen en gran medida de las localidades de Agua Buena y Tambaca, las cuales aún no cuentan con planta de tratamiento de agua residual y pueden ser contribuyentes importantes de organismos coliformes, los cuales, además de que estuvieron presentes en todos los puntos de muestreo sobrepasaron los límites máximos permisibles de la NOM-001 (2000 NMP/100 mL) en época de lluvias.

Esta presencia de microorganismos patógenos también es evidente en los análisis microbiológicos realizados por la CONAGUA en Marzo de 2011 para

cada uno de los parajes turísticos⁴, donde se encontró *Escherichia coli* y Enterococos fecales en el agua (Figuras 35 y 36). Estos resultados podrían estar asociados a la contaminación representada por los índices de calidad del agua para los puntos 3, 4, 5 y 6, en los que el agua no presenta una aptitud recomendada para la recreación debido a la recepción de aguas residuales domésticas a lo largo de estos tramos, los cuales presentan una alta contaminación orgánica que puede afectar a la salud humana (Romero et al., 2010).

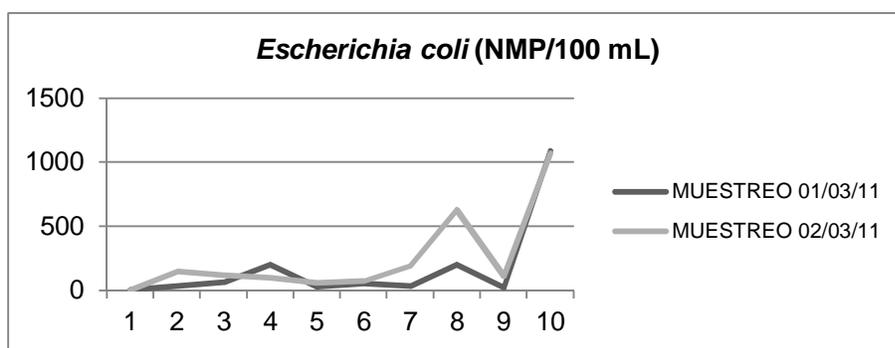


FIGURA 35. *E. COLI* PRESENTE EN PARAJES NATURALES
FUENTE: CONAGUA, 2011

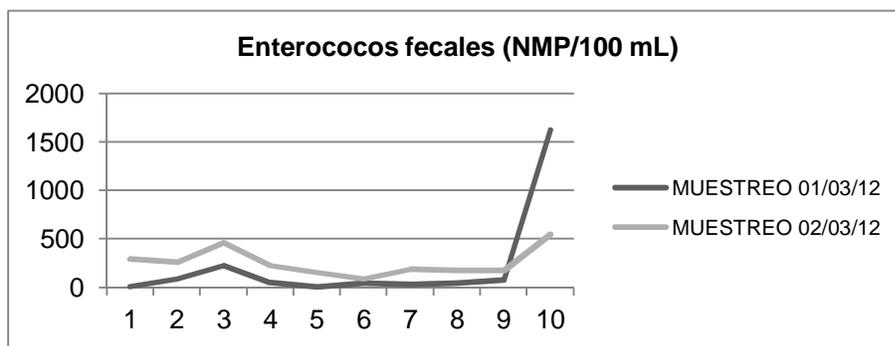


FIGURA 36. ENTEROCOCOS FECALES EN PARAJES NATURALES
FUENTE: CONAGUA, 2011

⁴ 1. Puente de Dios (aguas arriba entrada), 2. Puente de Dios (fosa azul), 3. Puente de Dios (aguas abajo salida), 4. Paso Ancho (aguas arriba), 5. Paso Ancho (aguas abajo), 6. Cascadas de Tamasopo (entre cascada chica y mediana), 7. Tres Cascadas de Tamasopo (aguas abajo), 8. Cascadas de Tamasopo (confluencia), 9. Cascaditas, 10. Puente Agua Buena o Puente de Oro

Los vertimientos de aguas residuales domésticas y la contaminación orgánica del río Tamasopo también son causantes de la alta concentración de nitrógeno amoniacal (Sardiñas et al., 2006; Barrenechea, 2004; R. Rivera et al., 2009; CONAGUA, 2007), el cual presentó valores entre los 2 y 9 mg/L y supera el límite máximo permisible de la NOM-127-SSA1-1994 (0.5 mg/L). Sin embargo, las concentraciones de nitratos fueron bajas en comparación al límite máximo permisible de la NOM-127 (10 mg/L); esto se debe al poco oxígeno disuelto que presenta el agua para los procesos de oxidación del nitrógeno amoniacal presente en la materia orgánica (Barrenechea, 2004; Martínez et al., 2001).

Otro punto importante se relaciona con la presencia de detergentes por descargas domésticas no tratadas (Guzmán et al., 2011). Según Barrenechea (2004) éstos agentes espumantes constan de compuestos tensoactivos presentes principalmente en detergentes domésticos, que son difíciles de autodepurar en el agua debido a que impiden las oxidaciones químicas y biológicas. Las bacterias que se encuentran en un medio con concentración elevada de detergentes, se aíslan mediante una película que inhibe su acción. Por esta razón, pese a que el agua esté contaminada, puede presentar niveles bajos de DBO al igual que una baja solubilidad de oxígeno. Lo anterior es congruente con los resultados obtenidos en todos los muestreos.

Aunque las concentraciones de detergentes no se midieron en los análisis de calidad de agua, es de suponerse que el río Tamasopo contiene altas concentraciones de éstos compuestos debido a la ausencia de las plantas de tratamiento de agua residual en las localidades de Agua Buena y Tambaca. De acuerdo con la encuesta realizada, los detergentes que se utilizan normalmente en éstas localidades son marcas comunes (foca, axión, ace, blancanieves, lirio, entre otros) que contienen el surfactante LAS (sulfonato de alquilbenceno lineal) (Zamora, 1995), biodegradables en condiciones aeróbicas pero resistentes en condiciones anaeróbicas (Peraza y Delgado, 2012). Asimismo, es probable que el consumo de jabones y detergentes en ésta zona tienda a ser mayor debido a

la dureza con la que cuenta el agua (Barrenechea, 2004). Esto se debe a que la reacción de los compuestos tensoactivos con las sales de magnesio y de calcio genera sales insolubles que evitan la producción de espumas (Romo, 1996).

Por otra parte, como lo evidencian Peraza y Delgado (2012), la presencia de estos detergentes representa un riesgo para las especies acuáticas, especialmente los bentos, debido a la precipitación del tensoactivo LAS y su adhesión en la materia orgánica de la cual se alimentan muchos organismos. Bajo éstas circunstancias, es probable que la disminución de especies acuáticas detectada por muchas personas encuestadas, no se deba solamente a las bajas concentraciones de oxígeno en el agua, sino a la presencia de detergentes. Las especies más abundantes en la zona, según la comunidad, son la tilapia o mojarra y el bagre, las cuales son resistentes a aguas con poco oxígeno y se desarrollan en aguas con pH de 5 a 8 y temperaturas aproximadas de 20 a 30°C (Secretaría de Pesca, 1986; Claro y Lindeman, 2008). Estos resultados se presentaron coherentes con el índice de calidad para la pesca y vida acuática en el que se determinó un agua apta solo para organismos muy resistentes.

Respecto al incremento de contaminantes como sólidos suspendidos totales, nitratos y nitrógeno amoniacal en los meses de abril y junio es probable que se deba a la zafra, la cual terminó a fines de mayo (Rangel, 2013). Con base en la información suministrada por Jaime Berrones Rea de la CNC, la aplicación de agroquímicos en el campo se realiza apenas se entregan las cosechas de caña de azúcar. Entre éstos productos se encuentran fertilizantes de composición variada en fósforo, nitrógeno y potasio en proporciones 28-13-13, 20-10-10 o triple 17 y fertilizantes foliares.

Según Estrada et al. (2002), la lixiviación de los nitratos se presenta cuando se aplican fertilizantes nitrogenados en exceso. Asimismo, indican que las descargas en las fuentes hídricas de nitrógeno en forma de amonio se presentan principalmente después de intensas lluvias. Por lo tanto, éstas afirmaciones se

muestran congruentes al compararse con los resultados del mes de abril (en el último bimestre de la zafra), y del mes de junio (lluvias). Como se pudo evidenciar en los gastos del río, el aumento es considerable en la época lluviosa lo cual podría implicar del mismo modo un aumento circunstancial en la concentración de contaminantes nitrogenados. Este problema es factible de solucionarse mediante programas que atiendan las necesidades específicas de fertilización para cada tipo de suelo; por ejemplo, Salgado et al. (2008) aplicaron en Pujiltic Chiapas el Sistema Integrado para Recomendar Dosis de Fertilizantes (SIRDF) el cual les permitió proponer, para validación, nuevas dosis que permitirán disminuir considerablemente las dosis de fertilización sin reducir el rendimiento.

Con base en el índice de calidad del agua INDIC-SENDUE (Guzmán Arroyo, 1997), el agua del río Tamasopo varía entre poco contaminada en los puntos 1 y 2, y contaminada en los puntos 3, 4, 5 y 6. No obstante, el uso del agua para cada punto depende principalmente de su aptitud en relación a la calidad. En el punto 1 donde se usa el agua principalmente para abastecimiento público; por tal razón es necesario un tratamiento previo a su distribución debido a la alta presencia de coliformes y nitrógeno amoniacal, los cuales exceden los límites de la NOM-127. Para el resto de los puntos, los usos principales usos son para la recreación y el turismo, la agricultura, y la industria. En lo que respecta el uso recreativo, el agua del río Tamasopo presenta una calidad aceptable pero no recomendable en los dos primeros puntos y dudosa en los demás puntos aguas abajo, lo cual no concuerda con los resultados expuestos por CONAGUA y SEMARNAT (2007) para los parajes naturales certificados en la cuenca del río Tamasopo (Cuadro 17), los cuales presentaron una calidad excelente en lo que se refiere a coliformes fecales y DQO. Es probable que la calidad del agua haya variado desde el muestreo realizado por la CONAGUA y la fecha actual.

CUADRO 17. CALIDAD DEL AGUA EN PARAJES CERTIFICADOS DEL MUNICIPIO DE TAMASOPO

DIAGNÓSTICO DE CALIDAD DEL AGUA						
Calidad del agua con base a	Puente de Dios (fosa después del puente)	Puente arriba "Las Playitas" (campamento Puente de Dios)	Paso Ancho	Cascadas de Tamasopo confluencia	Puente de Oro o Puente de Agua Buena	Puente Ahogado
Coliformes fecales	Excelente	Excelente	Excelente	Buena	Excelente	Excelente
DBO	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
DQO	Buena	Buena	Buena	Buena	Excelente	Excelente
SST	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente

FUENTE: Adaptado de CONAGUA y SEMARNAT (2007)

Referente a la industria y a la agricultura, se encontró que el índice de calidad de agua es apto para estos dos usos. Debido a que el agua de la industria se usa principalmente para los procesos de enfriamiento y lavado de caña, el tratamiento previo de la misma para este fin no es requerido.

La cantidad del agua, por su parte, también se relaciona con los usos y el manejo de la cuenca hidrográfica (objetivo 18.8 de la Agenda 21, ONU, 1992). Un ejemplo de ello son los cambios en el uso del suelo que afectan a la escorrentía superficial (Henríquez et al., 2006) como lo evidencian los resultados del volumen total escurrido para los periodos de 1973-1974 y 2000-2001. A pesar de que los dos periodos contaron con índices de precipitación estandarizados normales, el último muestra un incremento en la escorrentía a causa de la expansión de la agricultura de temporal. Estos resultados se muestran coherentes con la Evaluación del Flujo Hídrico Superficial en la Sierra de San Carlos en Tamaulipas, realizado por Treviño Garza et al. (2002), en el que se presentaron altos índices de escorrentía en las áreas agrícolas, principalmente en aquellas ubicadas en pendientes fuertes con escasa vegetación.

Respecto a la disponibilidad del recurso hídrico, con base en los caudales obtenidos en Paso Ancho y Las Adjuntas, se estima un gasto medio anual de aproximadamente 81 millones de metros cúbicos, dando lugar a una disponibilidad media per cápita de 6965 m³/hab/año para las localidades urbanas de Agua Buena, Tamasopo y Tambaca, lo cual se considera un valor medio según Falkenmark (1989, citado por Rijsberman, 2006).

La disponibilidad del agua es un elemento importante en su distribución. Sin embargo, la limitada infraestructura para el abastecimiento urbano y agrícola, la inadecuada implementación y ejecución de las políticas públicas y la débil organización municipal para la administración del agua, son puntos críticos en la gestión del recurso.

Asimismo, las presiones ejercidas por el uso del agua en cada sector reflejan el estado de las fuentes hídricas. En el caso del sector turístico, esta problemática se asocia a la privatización de las riberas (lo cual restringe su disfrute por la población local), a la deforestación de los parajes y a la contaminación durante la temporada pico (Lugo, 2009). Según van Deuren (2010), los impactos que el turismo genera en la calidad del agua de la zona se deben principalmente a la apertura de senderos y los descensos al río que generan turbiedad en el agua a causa de la erosión del suelo, y a la contaminación del agua por sustancias químicas y orgánicas como cremas de protección solar, repelentes para insectos y desechos orgánicos procedentes de materia fecal y orina.

En lo que respecta al sector doméstico y urbano (casas, locales comerciales, entre otros), el uso inadecuado del agua se relaciona principalmente al desperdicio asociado a las pérdidas en las tuberías, la ausencia de herramientas de control (como medidores) para la distribución del agua y la falta de conciencia de las personas que consumen de forma excesiva el recurso (Guyot, et al., 2013). Adicionalmente, los vertimientos urbanos no tratados que se llegan al río y

que son causa de contaminación, limitan el aprovechamiento del recurso aguas abajo, además de deteriorar los ecosistemas acuáticos.

Por otra parte, el alto consumo de agua por parte del sector agrícola es uno de los mayores causantes en la disminución del flujo superficial de los cuerpos hídricos en la zona. Un caso relevante se registró en la cascada de Tamúl (nace en la cuenca del río Gallinas y desemboca en el río Santa María en el municipio de Ciudad Valles), la cual en febrero del 2013 se secó debido al excesivo riego de los campos cañeros, lo que afectó directamente al desarrollo turístico de la zona (Galván, 2013).

Con base en los supuestos anteriores, es preciso inferir que hay una ausencia completa de un plan de manejo integral que involucre los aspectos: social, económico, político y ambiental. Actualmente, el uso del agua se encuentra fraccionado en cada uno de los sectores de consumo, siendo evidente la desigual distribución del recurso y la ausencia de organización para su gestión.

8. CONCLUSIONES

Se encontraron altas concentraciones en la demanda química de oxígeno y nitrógeno amoniacal, y presencia de microorganismos patógenos procedentes principalmente de las descargas municipales de las localidades de Agua Buena y Tambaca, las cuales aún no cuentan con una planta de tratamiento de agua residual. Estos niveles de contaminación afectan directamente la disolución del oxígeno en el agua y limitan los ecosistemas acuáticos a la presencia de organismos resistentes.

Los bajos índices en la calidad del agua de ésta zona son factores limitantes en la aptitud del recurso para el consumo humano y la recreación.

La expansión de los centros urbanos y los campos agrícolas han ocasionado cambios importantes en la cobertura y usos del suelo y en la escorrentía de la cuenca.

La débil infraestructura para el abastecimiento del agua del sector doméstico, los escasos recursos económicos para la inversión en la red de agua potable y alcantarillado, y la ausente organización para el control, mantenimiento y monitoreo del acueducto municipal, se presentan como una gran debilidad en el manejo de los recursos hídricos con este fin.

La alta demanda de agua por parte del sector agrícola, principalmente para el riego por gravedad, ha generado una disminución gradual pero crítica en el gasto del río durante el estiaje; esto ha generado la necesidad de implementación de tandeo de riegos durante esta época.

Es evidente el mal manejo de los recursos hídricos en la cuenca del río Tamasopo, por lo que se hace indispensable un plan de gestión que se adapte a las necesidades de la zona como un proceso persistente, comprometido y continuo. Para ello, es necesaria la participación de la academia, la ciudadanía, el sector público y el sector privado en la formulación de nuevas políticas y estrategias que permitan en un mediano y largo plazo su implementación.

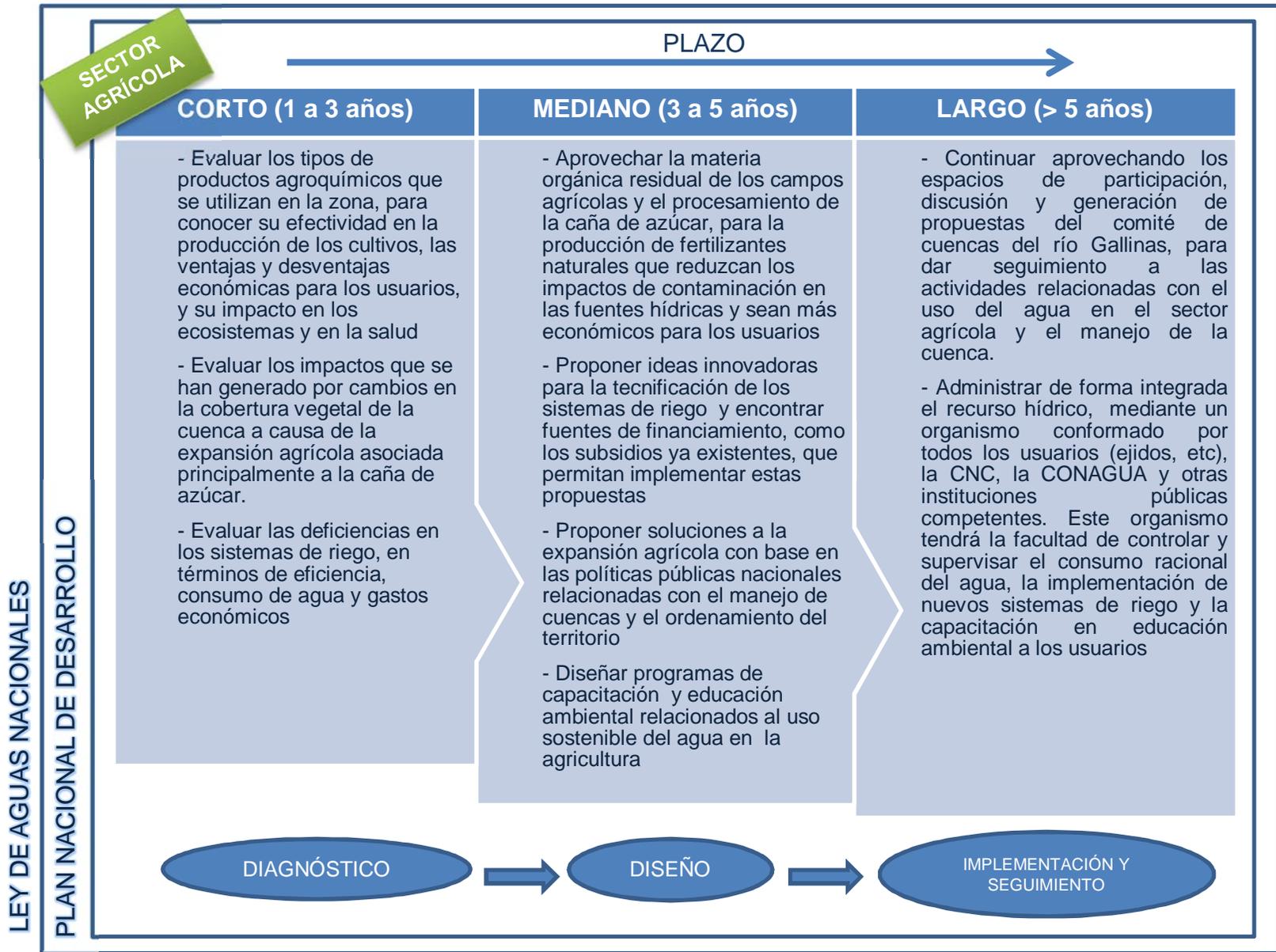
9. PROPUESTA

Por lo ya referido, y dentro del marco de los principios de la GIRH y las etapas en la planeación e implementación de éste proceso, propuestas por la ONU (2007), se proponen a continuación las estrategias base que podrán dar lugar a los futuros planes y programas de gestión del río Tamasopo. Estas estrategias se proponen para el corto, mediano y largo plazo dentro de los lineamientos establecidos por la Ley de Aguas Nacionales y el Plan de Desarrollo Federal. Cada plazo se delimita por una etapa, en la que se incluyen el diagnóstico, el

diseño y el seguimiento del plan de manejo; procedimiento que se realizó para los sectores: urbano, agrícola y turístico, los cuales son los que están ejerciendo más presión sobre los recursos hídricos.

Es importante resaltar que los actores involucrados en el uso y manejo del agua en la zona, serán los directamente responsables del desarrollo del plan de la GIRH. Sin embargo, este es un proceso que también debe integrar a la academia, a las comunidades locales y a los sectores privado y público dentro de un principio de equidad e inclusión, lo cual permita abrir espacios de discusión y generación de propuestas.







LITERATURA CITADA

AEMET, s.f. Interpretación del índice de precipitación estandarizado (SPI). [En línea]. Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Gobierno de España Disponible en: http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/vigilancia_clima/vigilancia_sequia/ayuda [Último acceso: 14 julio 2013].

Aguas de Mérida, 2009. Uso del Agua. [En línea] Disponible en: <http://www.aguasdemerida.com.ve/?q=node/97> [Último acceso: 16 abril 2013].

Aguilar Rivera, N., Galindo Mendoza, G., Fortanelli Martínez, J. & Contreras Servin, C., 2010. Competitividad internacional de la industria azucarera en México. *Theoria*, 19(1), pp. 7-29.

Aguirre Núñez, M., 2011. La cuenca hidrográfica en la gestión integrada de los recursos hídricos. *Virtual REDESMA*, V(1), pp. 9-20.

Amaury Franco, V., 2009. Agua, ciudad y derecho. *Alegatos*, número 72, pp. 229-246.

Arango, Maria Cecilia; Álvarez, Luisa Fernanda; Arango, Gloria Alexandra; Torres, Orlando Elí; Monsalve, Asmed de Jesús, 2008. Calidad del agua de las quebradas La Cristalina y La Risaralda, San Luis, Antioquia. *EIA*, número 9, pp. 121-141.

Auburn University, Global Water Watch México, 2011. Información básica sobre parámetros. [En línea] Disponible en: <http://www.globalwaterwatch.org/MEX/MXesp/MXInfoBasicaParametrosSp.aspx> [Último acceso: 20 junio 2013].

AWRA, 2012. Case studies in integrated water resources management: from local stewardship to national vision. [En línea]. American Water Resources Association. Edición de Brenda Bateman y Racquel Rancier. Middleburg, Virginia, 61 p.

Disponible en: <http://www.awra.org/committees/AWRA-Case-Studies-IWRM.pdf> [Último acceso: 29 abril 2013].

Barrenechea Martel, A., 2004. Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua. En: Tratamiento de Agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría. Tomo II . Lima: CEPIS/OPS, 278 p.

Barrios, A. L. & Cañizares, N., 2001. Estudio preliminar de la calidad bacteriológica de las aguas del río Neverí, Barcelona, Venezuela. *Revista Saber* , 13(2), pp. 97-104.

Betancur Vargas, T., Campillo Pérez, A. K. & García Leoz, V., 2011. Una metodología para la formulación de planes de ordenamiento del recurso hídrico. *Ingenierías*, X(19), pp. 67-77.

Carabias, J., Landa, R., Collado , J. & Martínez, P., 2005. Agua, medio ambiente y sociedad. Hacia la gestión integral de los recursos hídricos en México. 1ª. ed. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México, El Colegio de México A.C, Fundación Gonzalo Rfo Arronte I.A.P, 221 p.

Castillo, R., 2010. La Gestión Integrada de los Recursos Hídricos. [En línea]. Caracas: Asociación Venezolana para el Agua, Global Water Partnership South America, 5 p. Disponible en:

http://www.gwp.org/Global/GWP-SAm_Files/Publicaciones/Sobre%20GIRH/Implementacion-GIRH-Venezuela.pdf

[Último acceso: 12 abril 2013].

Chiroles Rubalcaba, Sergio; González Gonzáles, María Isabel; Torres Rojas, Teresa; Valdés Águila, Magaly; Domínguez Martínez, Isaida, 2007. Bacterias indicadoras de contaminación fecal en aguas del río Almendares (Cuba). Higiene y Sanidad Ambiental, Volumen 7, pp. 222-227.

Claro, R. & Lindeman, K. C., 2008. Biología y Manejo de los Pargos (Lutjanidae) en el Atlántico Occidental. La Habana: Instituto de Oceanología, CITMA. [En línea]

Disponible en: <http://www.redciencia.cu/cdoceano/>

CONABIO, 2011. Portal de geoinformación. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno Federal, México [En línea]

Disponible en :

<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

[Último acceso: 06 junio 2013].

CONAGUA, 2007. Estadísticas del agua en México. México D.F: Comisión Nacional del Agua, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [En línea]. Edición 2007, 259 p.

Disponible en:

http://www.paot.org.mx/centro/boletin/agosto/estadisticas_agua_mexico_07.pdf

[Último acceso: 20 mayo 2013].

CONAGUA, 2011. Estadísticas del Agua en México. México D.F: Comisión Nacional del Agua, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [En línea]. Edición 2011, 184 p.

Disponible en:

<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGP-1-11-EAM2011.PDF>

[Último acceso: 3 abril 2013].

CONAGUA, 2012. Atlas digital del agua en México 2012. Sistema Nacional de Información del Agua. Comisión Nacional del Agua, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [En línea].

Disponible en:

<http://www.conagua.gob.mx/atlas/ciclo13.html>

[Último acceso: 10 mayo 2013].

Cosgrove, William J. ; Rijsberman, Frank R., 2000. World Water Vision. World Water Council. London: Earthscan Publications Ltd. 108 p.

Cotler Ávalos, H. & Pineda López, R., 2008. Manejo integral de cuencas en México ¿hacia dónde vamos?. Boletín del Archivo Histórico del Agua, número 39, pp. 16-21.

Cotler, H. & Priego Santander, Á., 2004. El análisis del paisaje como base para el manejo integrado de cuencas: el caso de la cuenca Lerma-Chapala. En: INE & SEMARNAT, edits. El manejo integral de cuencas en México. Estudios y reflexiones para orientar la política ambiental. México, D.F. 267 p.

Dirección Nacional de Meteorología de Uruguay, 2012. Índice estandarizado de precipitación (IPE). [En línea]

Disponible en: http://www.meteorologia.gub.uy/pdf/rrpp/59_70064.pdf

[Último acceso: 14 julio 2013].

Echarri, L., 1998. Libro electrónico ciencias de la tierra y del medio ambiente. Tema 11: Contaminación del agua. Substancias Contaminantes del Agua [En línea]. Ed. Teide. Disponible en: <http://www.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgu/100CoAcu.htm> [Último acceso: 14 mayo 2013].

Estrada Botello, Maximiano A.; Nikolskii Gavrilov, Iouri; Gavi Reyes, Francisco; Etchevers Barra, Jorge D.; Palacios Vélez, Oscar L., 2002. Balance de nitrógeno inorgánico en una parcela con drenaje subterráneo en el trópico húmedo. *TERRA*, 20(2), pp. 189-198.

FAO, ONU, WRI, 2007. United Nations. Department of Economic and Social Affairs. UNDESA. [En línea]. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Organización de las Naciones Unidas, Instituto de los Recursos Mundiales.

Disponible en:

<http://www.google.de/imgres?um=1&hl=es&sa=N&biw=1280&bih=620&tbn=isch&tbnid=Dilwg2qPrpL7vM:&imgrefurl=http://www.un.org/waterforlifedecade/scarcity.shtml&docid=6lhRf435dZRCsM&imgurl=http://www.unep.org/dewa/vitalwater/jpg/0221-waterstress-EN.jpg&w=1200&h=>
[Último acceso: 31 marzo 2013].

FAO, 2006. Métodos sencillos para la acuicultura. Capítulo 3: Estimaciones del caudal de agua. [En línea]. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Disponible en: ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6705s/Index.htm

[Último acceso: 16 junio 2013].

FAO, 2009. ¿Por qué invertir en ordenación de las cuencas hidrográficas?, Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [En línea]. 4 p.

Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/012/a1295s/a1295s01.pdf>

[Último acceso: marzo 2013].

FAO, 2013. Aquastat. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [En línea].

Disponible en: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use/index.stm

[Último acceso: 28 abril 2013].

FEA, CEMDA, Presencia Ciudadana Mexicana, 2006. El agua en México: lo que todas y todos debemos saber. [En línea]. Primera ed. México, D.F.: Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C, Centro Mexicano de Derecho Ambiental, A.C., Presencia Ciudadana Mexicana, A.C. 1ª. ed. 95 p.

Disponible en: http://www.conaai.org.mx/Documentos/El_Agua_en_Mexico.pdf

[Último acceso: 22 abril 2013].

Fernández Jáuregui, C. A., 1999. El Agua como fuente de conflictos: Repaso de los focos de conflictos en el mundo. *After Internationals*, número 45, pp. 179-194.

Gaitán Moya, J. A. & Piñuel Raigada, J. L., 1998. Técnicas de investigación en comunicación social. Elaboración y registro de datos. Madrid: Editorial Síntesis. 332 p.

Galván, V., 2013. Se secó la cascada de Tamul. *Periódico Pulso*, 14 de febrero de 2013, San Luis Potosí, S.L.P, México. [En línea]

Disponible en: <http://pulsoslp.com.mx/2013/02/14/se-seco-la-cascada-de-tamul/>

[Último acceso: 16 julio 2013].

Gastaldi, L., 2012. Propuesta de seguro para empresas tamberas basado en un índice climático. Economía, resultados de investigación lechera. Ficha técnica número 24. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. INTA lechero.

Disponible en: <http://inta.gob.ar/documentos/ficha-tecnica-24.-propuesta-de-seguro-para-empresas-tamberas-basado-en-un-indice-climatico>

Global Water Partnership, 2008. Principios de la gestión integrada de los recursos hídricos. Bases para el desarrollo de planes nacionales. [En línea]

Disponible en:

<http://www.gwp.org/Global/GWP->

[CAm_Files/Bases%20para%20el%20Desarrollo%20de%20Planes%20Nacionales.pdf](http://www.gwp.org/Global/GWP-CACENA_Files/en/pdf/tec04.pdf)

[Último acceso: 22 junio 2013].

Global Water Partnership; Technical Advisory Committee (TAC), 2000. Integrated Water Resources Management. TAC background papers, número 4. Estocolmo: Global Water Partnership, 68 p.

Disponible en: http://www.gwp.org/Global/GWP-CACENA_Files/en/pdf/tec04.pdf

[Último acceso: 07 agosto 2013].

Gobierno Municipal de Tamasopo, 2009. Plan Municipal de Desarrollo "Responsabilidad Compartida". Tamasopo, S.L.P. 2009-2012.

Gómez Marín, A. M., Naranjo Fernández, D., Martínez, A. A. & Gallego Suárez, D. D. J., 2007. Calidad del agua en la parte alta de las cuencas Juan Cojo y El Salado (Girardota - Antioquia, Colombia). *Fac.Nal.Agr.*, 60(1), pp. 3735-3749.

Guyot-Téphany J, C Grenier y D Orellana. 2013. Usos, percepciones y manejo del agua en Galápagos. pp. 67-75. En: Informe Galápagos 2011-2012. DPNG, GCREG, FCD y GC. Puerto Ayora, Galápagos, Ecuador.

Disponible en: <http://www.galapagos.org/wp-content/uploads/2013/06/2013-9-HUMAN-SYS-water-mgmt.tephany-grenier-orellana.pdf>

[Último acceso: 18 junio 2013].

Guzmán, A.M., 1997. Las Aguas Superficies. Diagnóstico. Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial del Estado de Jalisco. Marco Físico. Instituto de Limnología. Universidad de Guadalajara. Guadalajara. 125 pp. [En línea]

Disponible en: <http://www.acude.udg.mx/jalisciencia/diagnostico/fisico/fisagsup.pdf>

[Último acceso: 12 Junio 2013]

Guzmán Colis, G.; Ramírez López, E. M.; Thalasso, F.; Rodríguez Narciso, S.; Guerrero Barrera, A. L.; Avelar González, F. J., 2011. Evaluación de contaminantes en agua y sedimentos del río San Pedro en el estado de Aguascalientes. *Universidad y Ciencia*, 27(1), pp. 17-32.

Henríquez , C., Azócar, G. & Aguayo, M., 2006. Cambio de uso del suelo y escorrentía superficial: Aplicación de un modelo de simulación espacial en Los Ángeles, VIII Región del Biobío, Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, número 36, pp. 61-74.

Hernández Rodríguez, M. d. L., 2005. Aspectos del Uso y Valoración del Agua Subterránea en el Estado de Tlaxcala: Un Análisis desde una Perspectiva Social. Tesis doctoral de Economía. Programa en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional, Colegio de Postgraduados Campus Puebla. 133 p. [En línea]

Disponible en: <http://www.eumed.net/tesis-doctorales/2007/lhr/>

[Último acceso: 7 agosto 2013]

- Hudson, N. W., 1997. Capítulo 4 - Caudal. Medición sobre el Terreno de la Erosión del Suelo y de la Escorrentía (Boletín de Suelos de la FAO - 68). Roma: FAO. [En línea]
Disponibile en: [http://www.fao.org/docrep/t0848s/t0848s06.htm#capítulo 4 caudal](http://www.fao.org/docrep/t0848s/t0848s06.htm#capítulo%204%20caudal)
[Último acceso: 7 agosto 2013]
- INEGI, 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Tamasopo, San Luis Potosí. Clave geoestadística 24036.
- INEGI, 2012. Simulador de flujos de agua de cuencas hidrográficas. [En línea]
Disponibile en: http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/SIATL/index.html#
[Último acceso: 8 junio 2013].
- INEGI, 2011. México en cifras. Tamasopo, San Luis Potosí.. [En línea]
Disponibile en: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/>
[Último acceso: 06 mayo 2012].
- INEGI, 2013. Continuo de Elevaciones Mexicano CEM (2.0). [En línea]
Disponibile en:
<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/continuoelevaciones.aspx>
[Último acceso: 17 Febrero 2013].
- Jiménez Cisneros, B. E., 2005. La contaminación ambiental en México: Causas, efectos y tecnología apropiada. México D.F: Limusa, 925 p.
- Jiménez J., M. A. & Vélez O., M. V., 2006. Análisis comparativo de indicadores de la calidad del agua superficial. Avances en recursos hidráulicos, número 14, pp. 53-70.
- Lee, J. Y., Yang, J. S., Kim, D. K. & Han, M. Y., 2010. Relationship between land use and water quality in a small watershed in South Korea. Water Science & Technology, 62(11), pp. 2607-2615.
- Lugo Martínez, Bárbara Cristina; Fortanelli Martínez, Javier; Lara Juárez, Priscila; Spiritu Ruiz, Paola; García Salgado, Aldo; García Pérez, José, 2009. Tamasopo: Desarrollo turístico sustentable en la cuenca alta del Río Gallinas, San Luis Potosí, México. San Luis Potosí. 116 p.
- Martínez, G., Alvarado, J. & Senior, W., 2001. Estudio físico-químico de las aguas superficiales de la cuenca baja y pluma del río Manzanares. Interciencia, 26(8), pp. 342-351.
- Martínez Menes, M. R., 1999. Manejo Integral de Cuencas. Pasado, Presente y Futuro. En Simposio 4 Manejo Integral de Cuencas Hidrológicas del IX Congreso Nacional de Irrigación. ANEI-S49901, pp. 1-11.
- Mizanur, M. & Varis, O., 2005. Integrated water resources management: Evolution, prospects and future challenges. Sustainability: Science, Practice, & Policy, 1(1), pp. 15-21.
- Montoya M, Y., Acosta, Y. & Zuluaga, E., 2011. Evolución de la calidad del agua en el río Negro y sus principales tributarios empleando como indicadores los índices ICA, el BMWP/COL y el ASPT. Caldasia, 33(1), pp. 193-210.
- Morales Soriano, S. M., 2005. Disponibilidad de Agua en Regiones Administrativas. Tesis de licenciatura en Ingeniería Hidrológica. División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica. México, D.F: Universidad Autónoma de México. 88 p.

Navarro Garza, H. & Pérez Olvera, M. A., 2005. Caracterización inorgánica del agua del río Texcoco, entre épocas del año y años. *TERRA Latinoamericana*, 23(2), pp. 183-190.

ONU, 1992. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. División de Desarrollo Sostenible. Organización de las Naciones Unidas [En línea] Disponible en: <http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/agenda21spchapter18.htm> [Último acceso: 16 abril 2013].

ONU-Agua, GWP, 2007. Roadmapping for Advancing Integrated Water Resources Management (IWRM) Processes. Organización de las Naciones Unidas, Global Water Partnership. [En línea]. Disponible en: http://www.unwater.org/downloads/UNW_ROADMAPPING_IWRM.pdf [Último acceso: 28 abril 2013].

ONU. Decenio Internacional para la Acción "El Agua Fuente de Vida" 2005-2015. Organización de las Naciones Unidas. [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/scarcity.shtml> [Último acceso: 24 abril 2013].

Perevochtchikova, M. & Arellano-Monterrosas, J. L., 2008. Gestión de cuencas hidrográficas: experiencias y desafíos en México y Rusia. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 4(3), pp. 313-325.

PNUD, 2006. Informe sobre desarrollo humano. Más allá de la escasez: Poder, pobreza y la crisis mundial del agua. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Nueva York: Mundi-Prensa. 440 p. [En línea]. Disponible en: http://hdr.undp.org/en/media/HDR_2006_ES_Complete.pdf

PNUD, 2012. Objetivos de desarrollo del milenio. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. [En línea] Disponible en: <http://www.undp.org/content/undp/es/home/mdgoverview/> [Último acceso: 13 julio 2013].

PNUMA, 2008. Vital water graphics. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. [En línea]. Disponible en: <http://www.unep.org/dewa/vitalwater/index.html>. [Último acceso: 23 abril 2013].

R. Rivera, N., Encina, F., Palma, R. & Mejias, P., 2009. La Calidad de las aguas en el curso superior y medio del río Traiguén. IX Región-Chile. *Información Tecnológica*, 20(4), pp. 75-84.

Rangel Salvador, M., 2012. "Mañana arranca la cosecha en Alianza Popular" [En línea]. ZAFRANET, 24 de octubre de 2013.

Disponible en: <http://www.zafranet.com/2012/10/maana-arranca-la-zafra-en-alianza-popular/> [Último acceso: 14 junio 2013].

Rangel, M., 2013. "Zafra en Tamasopo no dejará caña en pie" [En línea]. PULSO, 29 de mayo de 2013. Disponible en: <http://pulsoslp.com.mx/2013/05/29/zafra-en-tamasopo-no-dejara-cana-en-pie/> [Último acceso: 2 julio 2013].

Revenga, Carmen; Brunner, Jake; Henninger, Norbert; Kassem, Ken; Payne, Richard, 2000. Water quantity. En: *Pilot analysis of global ecosystems. Freshwater systems*. Washington, D.C: WRI, pp. 25-29.

Rijsberman, F. R., 2006. Water scarcity: Fact or fiction?. *Agricultural Water Management*, número 80, pp. 5-22.

Rivera, B., Tangarife, D. M. & Rojas Palacios, H., 1999. Desarrollo metodológico para la caracterización de caudales y niveles de sedimentación. *CONDESAN*, número 12, pp. 1-11.

Romero, S., García, J., Valdez, B. & Vega, M., 2010. Calidad del agua para actividades recreativas del río Hardy en la región fronteriza México-Estados Unidos. *Información Tecnológica*, 21(5), pp. 69-78.

Romo, A., 1996. Capítulo VII: Jabones, saponinas y detergentes. *Química, universo, tierra y vida*. [En línea]

Disponible en: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/51/htm/sec_10.html [Último acceso: 02 julio 2013].

Sahagún Sánchez, F. J., Reyes Hernández, H., Flores Flores, J. L. & Chapa Vargas, L., 2011. Modelización de escenarios de cambio potencial en la vegetación y el uso de suelo en la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí, México. *Journal of Latin American Geography*, 10(2), pp.65-85.

Salgado García, Sergio; Palma López, David J.; Zavala Cruz, Joel; Lagunes Espinoza, Luz del C.; Castelán Estrada, Mepivoseh; Ortíz García, Carlos F.; Juárez López, José F.; Rincón Ramírez, Joaquín A.; Hernández Nataren, Edith, 2008. Programa sustentable de fertilización para el ingenio Pujiltic, Chiapas, México. *Terra Latinoamericana*, 26(4), pp. 361-373.

Samboni Ruiz, N. E., Cavajal Escobar, Y. & Escobar, J. C., 2007. Revisión de parámetros fisico-químicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Revista Ingeniería e Investigación*, 27(3), pp. 172-181.

Sardiñas Peña, Olivia; Chiroles Rubalcaba, Sergio; Fernández Novo, Marta; Hernández Rodríguez, Yusaima; Pérez Cabrera, Adisbel, 2006. Evaluación físico-química y microbiológica del agua de la presa El Cacao (Cotorro, Cuba). *Higiene y Sanidad Ambiental*, Volumen 6, pp. 202-206.

Secretaría de Pesca, 1986. *Piscicultura de Agua Dulce. Manual - Recetario*. Bagre, Carpa, Tilapia, Trucha. Primera ed. México D.F.: Pesca. 461 p.

SEMARNAT, CONAGUA, GERENCIA DE SANEAMIENTO Y CALIDAD DEL AGUA, 2002. Escala de clasificación de la calidad del agua para usos específicos, según su índice de calidad de agua. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional del Agua. [En línea]. Disponible en: http://www.paot.org.mx/centro/informacion/semarnat/informe02/estadisticas_2000/compendio_2000/03dim_ambiental/03_02_Agua/data_agua/RequadroII.2.2.3.htm [Último acceso: 9 junio 2013].

SEMARNAT, CONAGUA, 2007. Comité de Parajes Naturales Certificados en la Cuenca del Río Tamasopo. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional del Agua. [En línea]. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/P3-3.pdf>

SEMARNAT, 2008. Compendio de Estadísticas Ambientales 2010. [En línea] Disponible en:

http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/estadisticas/compendio2010/10.100.13.5_8080/ibi_apps/WFServ/et28b9.html

[Último acceso: 22 abril 2013].

SEMARNAT, 2013. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. México, D.F: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Edición 2012. 362 p. [En línea]

Disponible en: http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/pdf/Informe_2012.pdf

Soto F., J., 2010. La dureza del agua como indicador básico de la presencia de incrustaciones en instalaciones domésticas sanitarias. Ingeniería Investigación y Tecnología, XI(2), pp. 167-177.

Still, D A; Dickens, C; Breen, C M; Mander, M; Booth, A, 2010. Balancing resource protection and development in a highly regulated river: The role of conjunctive use. Water SA, 36(3), pp. 371-378.

Tarquino Restrepo, I., 2004. Tendencias mundiales en la gestión de recursos hídricos: Desafíos para la ingeniería del agua. Ingeniería y Competitividad, VI(1), pp. 63-71.

Toledo, A., 2002. El Agua en México y el Mundo. Gaceta Ecológica, número 64, pp. 9-18.

Torres, P., Cruz, C. H. & Patiño, P. J., 2009. Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 8(15), pp. 79-94.

TRAGSA, TRAGSATEC, 1994. Unidad Temática 3. Modelos y Metodologías para el Cálculo de Escorrentías. En: Restauración Hidrológico Forestal de Cuencas y Control de la Erosión. Madrid: Mundi-Prensa, pp. 83-111.

Treviño Garza, E. J., Muñoz R., C. A., Cavazos C., C. & Barajas Chávez, L., 2002. evaluación del flujo hídrico superficial en la Sierra de San Carlos, Tamaulipas. Ciencia UANL, V(4), pp. 525-530.

U.C.-Peraza, R.G. & Delgado-Blas, V.H., 2012. Determinación de la concentración letal media (CI50) de cuatro detergentes domésticos biodegradables en *Laeonereis culveri* (Webster 1879) (Polychaeta: Annelida). Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 28(2), pp. 137-144.

UNESCO, 2009. IWRM Guidelines at River Basin Level. Part I. Principles. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. 33 p. [En línea]

Disponible en: <http://unesdoc.unesco.org/images/0018/001864/186417e.pdf>

UNESCO, 2009. The United Nations World Water Development Report 3. Water in a Changing World, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Londres: Earthscan. 349 p. [En línea].

Disponible en:

http://webworld.unesco.org/water/wwap/wwdr/wwdr3/pdf/WWDR3_Water_in_a_Changing_World.pdf

UNESCO, 2012. WWAP Case Studies. [En línea]

Disponible en: <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/case-studies/>
[Último acceso: 29 abril 2013].

Universidad de Oviedo, 2002. Cálculo del tamaño de la muestra. Introducción al muestreo. [En línea]

Disponible en: http://www.psico.uniovi.es/dpto_psicologia/metodos/tutor.7/p3.html

[Último acceso: 09 junio 2011].

Valverde Legarda, N. L., Caicedo Quintero, O. & Aguirre Ramirez, N. J., 2009. Análisis de calidad de agua de la quebrada La Ayurá con base en variables fisicoquímicas y macroinvertebrados acuáticos. *Producción + Limpia*. Vol.4, No.1, pp. 44-60.

Van Deuren, Christine. 2010. Ecoturismo regional en el cañón del Espinazo del Diablo, SLP, México. Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales. Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma de San Luis Potosí e Institute for Technology and Resources Management in the Tropics and Subtropics, Cologne University of Applied Sciences. San Luis Potosí, S.L.P. 232 p.

Vaux Jr, H., 2012. Water for agriculture and the environment: the ultimate trade-off. *Water Policy*, número 14, pp. 136-146.

WRI, 2000. *A Guide to World Resources 2000 - 2001. People and ecosystems. The fraying web of life*, Washington D.C: Water Resources Institute. 276 p. [En línea]

Disponible en: http://pdf.wri.org/world_resources_2000-2001_people_and_ecosystems.pdf

Zamora Mendoza, M. D. M., 1995. Efectos de algunos detergentes sobre los protozoarios presentes en los lodos activados de una planta de tratamiento. Tesis de maestría con especialidad en Ingeniería Ambiental. Universidad Autónoma de Nuevo León. 173 p. [En línea]

Disponible en: <http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1020112545/1020112545.PDF>

ANEXO 1. RESULTADOS FISICO-QUÍMICOS Y BACTERIOLÓGICOS

PUNTO	MUESTREO 4 Y 5 DE JULIO DE 2012					
	1	2	3	4	5	6
Temperatura del Agua (°C)	23.5	27.5	27.7	27	No data*	No data*
Temperatura Ambiente (°C)	30.1	30.9	31	37.6	31.3	31.8
Oxígeno Disuelto (mg/L)	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Dureza de Calcio (mg CaCO ₃ /L)	321	527	647	867	781	674
Dureza de Magnesio (mg CaCO ₃ /L)	98	120	331	330	158	186
Sulfatos (mg/L)	45	278	345	379	245	145
DQO (mg O ₂ /L)	38	42	57	38	38	20
pH	7.64	7.92	7.88	7.95	8.15	8.35
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	190	215	196	236	256	265
Conductividad (µSIEMS/cm)	702	1319	1326	1704	1472	1309
Dureza Total (mg CaCO ₃ /L)	419	647	978	1197	939	860
Cloruros (mg/L)	15	39	40	54	44	38
Fosfatos (mg P/L)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
DBO (mg O ₂ /L)	0.6	0.6	4	4	4	4
Coliformes Totales (NMP/100mL)	>2400	>2400	>2400	>2400	>2400	>2400
Coliformes Fecales (NMP/100mL)	>2400	>2400	>2400	>2400	>2400	>2400
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	425	844	848	1704	942	838
Nitrógeno Total (mg N ₂ -NH ₃ /L)	5.04	4.76	5.36	4.9	3.22	3.78
Nitratos (mg N ₂ -NO ₃ /L)	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Nitrógeno Amoniacal (mg N ₂ /L)	SD	SD	SD	SD	SD	SD

SD: sin dato

*: Problemas técnicos

NMP: número más probable

ND: no detectado

PUNTO	MUESTREO 13 Y 14 DE MARZO DE 2013					
	1	2	3	4	5	6
Temperatura del Agua (°C)	25	25.5	23.7	22	22.1	22.5
Temperatura Ambiente (°C)	23.6	24.8	24	24.5	25.4	28.7
Oxígeno Disuelto (mg/L)	3.46	3.64	3.95	4.83	3.53	3.96
Dureza de Calcio (mg CaCO ₃ /L)	670	837	850	915	775	740
Dureza de Magnesio (mg CaCO ₃ /L)	148	158	175	305	308	312
Sulfatos (mg/L)	301.8	313.5	286.4	156.1	285.7	486.4
DQO (mg O ₂ /L)	44.8	67.5	20	10	112	67.5
pH	6.93	7.95	7.82	7.6	7.84	8.02
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	204	208	192	212	172	192
Conductividad (µSIEMS/cm)	1443	1928	1964	1253	1904	1958
Dureza Total (mg CaCO ₃ /L)	818	995	1025	1220	1083	1052
Cloruros (mg/L)	32	68	65	63	54	62
Fosfatos (mg P/L)	1.72	1.72	1.78	2.32	1.86	1.88
DBO (mg O ₂ /L)	0.4	0.4	0.81	1.21	1.62	1.04
Coliformes Totales (NMP/100mL)	ND	40	43	9	240	43
Coliformes Fecales (NMP/100mL)	ND	ND	43	4	21	9
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	2	7	2	2	2	11
Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Nitrógeno Total (mg N ₂ -NH ₃ /L)	6	7	10	10	12	11
Nitratos (mg N ₂ -NO ₃ /L)	4.79	3.42	3.36	1.91	2.79	2
Nitrógeno Amoniacal (mg N ₂ /L)	2	3	5	4	8	5

	MUESTREO 10 DE ABRIL DE 2013					
PUNTO	1	2	3	4	5	6
Temperatura del Agua (°C)	29.7	30.2	27	34.3	29.5	27.9
Temperatura Ambiente (°C)	34.7	37.9	37.7	41.6	38.7	38.4
Oxígeno Disuelto (mg/L)	2.82	4.06	3.94	2.87	2.71	2.8
Dureza de Calcio (mg CaCO ₃ /L)	675	838	848	918	774	760
Dureza de Magnesio (mg CaCO ₃ /L)	151	164	186	307	315	312
Sulfatos (mg/L)	305.8	315	300	200	290	500
DQO (mg O ₂ /L)	50	62	62	48	300	58
pH	7	7.84	7.88	7.74	7.74	7.93
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	215	228	229	232	230	251
Conductividad (µSIEMS/cm)	1452	1936	1969	1260	1912	1976
Dureza Total (mg CaCO ₃ /L)	826	1002	1034	1225	1090	1072
Cloruros (mg/L)	40	70	66	64	60	64
Fosfatos (mg P/L)	1.72	1.72	1.78	2.32	1.86	1.88
DBO (mg O ₂ /L)	1.5	1.5	1.5	5	12	14
Coliformes Totales (NMP/100mL)	1,100.00	43	1,100.00	460	7	15
Coliformes Fecales (NMP/100mL)	460	40	23	93	4	9
Solidos Suspendidos Totales (mg/L)	11	19	22	26	25	43
Solidos Totales Disueltos (mg/L)	808	1118	1099	701	1066	1096
Nitrógeno Total (mg N ₂ -NH ₃ /L)	16	8	12	12	13	11
Nitratos (mg N ₂ -NO ₃ /L)	5.06	3.54	3.4	2.74	3	1.8
Nitrógeno Amoniacal (mg N ₂ /L)	8	5	9	7	8	8

PUNTO	MUESTREO 10 DE JUNIO DE 2013					
	1	2	3	4	5	6
Temperatura del Agua (°C)	25.5	27.9	27	27.5	27.9	28.6
Temperatura Ambiente (°C)	27.1	36.5	30.7	33.1	33.5	33.1
Oxígeno Disuelto (mg/L)	3.7	4.18	4.51	3.06	2.85	3.41
Dureza de Calcio (mg CaCO ₃ /L)	660	701	759	980	710	759
Dureza de Magnesio (mg CaCO ₃ /L)	190	214	213	240	210	186
Sulfatos (mg/L)	295	295	299	198	186	398
DQO (mg O ₂ /L)	31	62	83	135	42	83
pH	7.07	7.92	7.73	7.7	7.68	7.8
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	195	196	185	236	172	186
Conductividad (µSIEMS/cm)	1358	1362	1432	1648	1509	1639
Dureza Total (mg CaCO ₃ /L)	810	915	972	1320	920	945
Cloruros (mg/L)	36	52	60	69	52	61
Fosfatos (mg P/L)	0	0	0	0	0	0
DBO (mg O ₂ /L)	0.7	0.2	0.3	0.5	0.3	1.2
Coliformes Totales (NMP/100mL)	90	1100	1.1E+06	1.30E+06	3.80E+06	1.30E+07
Coliformes Fecales (NMP/100mL)	0	420	1100	3.80E+04	8.90E+04	2.40E+05
Solidos Suspendidos Totales (mg/L)	25	62	27	32	21	30
Solidos Totales Disueltos (mg/L)	715	817	859	988	905	938
Nitrógeno Total (mg N ₂ -NH ₃ /L)	6	8	12	13	13	15
Nitratos (mg N ₂ -NO ₃ /L)	1.1	1.01	0.92	0.76	0.8	0.7
Nitrógeno Amoniacal (mg N ₂ /L)	3	4	6	5	10	9

ANEXO 2. FORMATO DE CUESTIONARIO DE ENCUESTA

ABASTECIMIENTO DEL AGUA

1. ¿Cuántas personas habitan en su casa?
2. a. ¿El agua que llega a su casa proviene de la red municipal? Sí No
b. Si contestó NO, ¿de dónde obtiene el agua?
3. a. Si usa el agua de la red municipal, ¿ha tenido problemas por interrupciones en el abastecimiento? Sí No
b. Si respondió SI, ¿Con qué frecuencia? 1 a 3 veces al año Más de 3 veces al año
4. Cuando le interrumpen el servicio de abastecimiento de agua potable, ¿cuántos días dura la interrupción?
Menos de 1 semana 1 Semana Más de una semana
5. ¿El agua que llega a su casa cuenta con la presión suficiente? Sí No
6. a. El agua que usted bebe es: De la llave De garrafón Otra fuente ¿Cuál?
b. ¿Por qué no consume el agua de la llave?
7. a. ¿Cree que el agua que usa en su casa es saludable para tomar? Sí No
b. Si contestó NO, ¿Por qué?
8. En época de lluvia, ¿llega el agua turbia a su casa (color oscuro, con tierra y/o sedimentos)?
Sí No

USOS DEL AGUA

9. Además de usar el agua para lavar trastes, limpiar la casa y para la higiene personal de su familia, ¿para qué más la usa?
Para lavar el auto
Para regar las plantas
Para mantenimiento de animales (bebederos)
Ninguno
Otro uso _____
10. ¿Es suficiente el agua que llega a su casa para abastecer sus necesidades? Sí No
11. a. ¿Conoce casos de personas en la localidad que derrochan el agua? Sí No

- b. Si respondió SI, ¿por qué lo hacen?
12. ¿Cuántas veces al año acude usted o su familia al río, para nadar y pasear?
13. ¿Qué temporada prefiere usted para pasear en el río?
- Semana Santa Vacaciones de verano Fin de semana Cualquier día
14. Cuando va al río, acude usted preferiblemente a:
- Balnearios donde se cobra cuota de entrada Lugares libres
15. a. ¿Pesca usted o su familia en los ríos de la localidad? Sí No
- b. Si responde SI, ¿qué tipo de peces o animales obtiene?
- c. ¿Cree que ha disminuido la cantidad de animales en el río? Sí No
- d. Si respondió SI, ¿A qué lo atribuye?

CONTAMINACIÓN DEL AGUA

16. ¿Qué tipo de detergentes usa en su casa? (Por favor diga la marca para cada caso)
- Para lavar trastes _____ Para lavar ropa _____ Para limpiar su casa _____
17. ¿Desecha usted los aceites y/o grasas de la cocina por el drenaje? Sí No
18. ¿A dónde se descargan las aguas sucias de su casa?
19. a. ¿Cree que la red de drenaje municipal funciona correctamente? Sí No
- b. Si responde NO, ¿cuáles son los problemas que usted percibe?
20. ¿Existen cuerpos de agua cerca a su casa que generen malos olores, zancudos o moscas?
21. Sí No
22. a. ¿Cree que los ríos de la región están contaminados? Sí No
- b. Si respondió SI, ¿por qué cree que esto suceda?
- Porque las personas no tienen conciencia
 Porque el municipio no tiene programas que ayuden a cuidar el río
 Porque las empresas contaminan
 Por las actividades agropecuarias
- c. Si respondió NO, ¿cree que en un futuro esto podría pasar? Sí No
- d. Si responde SI, ¿Por qué?

INUNDACIONES Y ESCASEZ

23. ¿Se inunda su localidad en época de temporales o ciclones? Sí No
24. En los últimos 10 años, ¿cuántas veces se ha inundado el pueblo?
25. ¿A qué cree usted que se deban éstas inundaciones?
26. En la época de secas, ¿ha visto usted problemas con el abastecimiento de agua? Sí No
27. a. ¿Cree que en un futuro los nacimientos de donde se abastece pudiesen estar en riesgo de secarse? Sí No
- b. Si respondió SI, ¿por qué cree que esto suceda?

ANEXO 3. RESULTADOS DE LA ENCUESTA

		AGUA BUENA		TAMASOPO		TAMBACA	
		TOTAL ENCUESTAS	22	TOTAL ENCUESTAS	25	TOTAL ENCUESTAS	20
1. Promedio de habitantes por casa		5		4		4	
PREGUNTA		N° ENCUESTADOS	%	N° ENCUESTADOS	%	N° ENCUESTADOS	%
2A	SI	21	95%	24	96%	17	85%
	NO	1	5%	1	4%	3	15%
2B		Llega directamente del río en una tubería privada		Directamente con mangueras de un nacimiento		De un pozo, directo de un nacimiento	
3A	SI	13	59%	18	72%	11	55%
	NO	8	36%	6	24%	6	30%
	S/R	1	5%	1	4%	3	15%
3B	1 a 3 veces al año	2	15%	6	33%	3	27%
	Más de 3 veces al año	9	69%	12	67%	8	73%
	S/R	2	15%	0	0%	0	0%
4	Menos de 1 semana	0	0%	6	24%	4	20%
	1 semana	2	9%	4	16%	3	15%
	Más de una semana	9	41%	9	36%	4	20%
	S/R	11	50%	6	24%	9	45%
5	SI	13	59%	15	60%	11	55%
	NO	9	41%	10	40%	9	45%
6A	De la llave	3	14%	1	4%	0	0%
	De Garrafón	22	100%	25	100%	20	100%
	Otra Fuente	0	0%	0	0%	0	0%

6B		Porque viene sucia, está gorda, no está tratada y no es segura, costumbre al agua de garrafón					
7A	SI	10	45%	4	16%	4	20%
	NO	12	55%	21	84%	15	75%
	N/R	0	0%	0	0%	1	5%
7B		Herbicidas, bañan animales ahí, contaminada		Sucia, porque da diarrea, no tratada		Contaminada, no es tratada	
8	SI	22	100%	25	100%	20	100%
	NO	0	0%	0	0%	0	0%
9	Para lavar el auto	2	9%	4	16%	0	0%
	Para regar las plantas	10	45%	17	68%	11	55%
	Para mantenimiento de animales (bebederos)	2	9%	2	8%	0	0%
	Ninguno	10	45%	7	28%	9	45%
	Otro Uso	0	0%	0	0%	0	0%
10	SI	16	73%	18	72%	13	65%
	NO	6	27%	7	28%	7	35%
11A	SI	10	45%	15	60%	8	40%
	NO	12	55%	10	40%	12	60%
11B		Dejan abierta la llave, las mangueras están rotas, hay fugas en las tuberías, gente inconsciente, no hay contadores		Lavan la banquetta, dejan las llaves abiertas, lavan carros, problemas de infraestructura, no hay conciencia		Lavan la calle y los carros, dejan mangueras y llaves abiertas, hay fugas	
12	De 1 a 5 veces	10	45%	12	48%	10	50%
	5 a 30 veces	6	27%	6	24%	3	15%
	Todos los días en época de calor	6	27%	2	8%	4	20%
	Nunca	0	0%	5	20%	3	15%
13	Semana Santa	2	9%	2	8%	4	20%
	Vacaciones de verano	3	14%	3	12%	4	20%
	Fin de semana	2	9%	1	4%	1	5%
	Cualquier día	16	73%	14	56%	9	45%
	N/R	0	0%	0	0%	3	15%
14	Balnearios donde se cobra la entrada	2	9%	7	28%	1	5%
	Lugares Libres	21	95%	13	52%	17	85%
	N/R	0	0%	0	0%	3	15%
15A	SI	7	32%	2	8%	4	20%
	NO	15	68%	23	92%	16	80%
15B		Bagre, mojarra, tilapia y pargo		Mojarra, tilapia, bagre		Mojarra, pargo, bagre, tilapia	
15C	SI	7	32%	17	68%	15	75%

	NO	1	4%	1	4%	2	10%
	S/R	14	64%	7	28%	3	15%
15D		Contaminación, no hay control en la pesca		Contaminación, escasez de agua, no hay control en la pesca, cambio climático		Exceso de pesca, contaminación, poca agua por sequía	
16	Para lavar trastes	Salvo, axión, foca, blananieves, ariel, roma, ajax, lirio, cloro, fab, ace					
	Para lavar ropa	Ace, ariel, foca, pinol, salvo, roma, blananieves, ariel, cloro, SOTE, Lirio, 123, lirio, bold, útil, emperador					
	Para limpiar la casa	Fabuloso, cloro, mr. músculo, pinol, foca, ácido, cualquier detergente en polvo					
17	SI	3	14%	1	4%	15	75%
	NO	19	86%	24	96%	5	25%
18	Drenaje	15	68%	21	84%	13	65%
	Al drenaje y suelo o poza	2	9%	1	4%	1	5%
	Poza	2	9%	0	0%	4	20%
	Arroyo	3	14%	1	4%	1	5%
	Suelo	0	0%	2	8%	1	5%
19A	SI	5	23%	14	56%	8	40%
	NO	15	68%	8	32%	6	30%
	N/A	2	9%	3	12%	6	30%
19B		Malos olores, porque el drenaje no es suficiente para drenar todas las aguas y se regresan, se tapa el drenaje					
20	SI	8	36%	4	16%	4	20%
	NO	14	64%	21	84%	16	80%
21A	SI	12	55%	13	52%	18	90%
	NO	10	45%	8	32%	2	10%
	N/R	0	0%	4	16%	0	0%
21B	Porque las personas no tienen conciencia	4	18%	6	24%	8	40%
	Porque el municipio no tiene programas que ayuden a cuidar el río	5	23%	5	20%	5	25%
	Porque las empresas contaminan	2	9%	4	16%	7	35%
	Por las actividades agropecuarias	2	9%	0	0%	1	5%
	N/R	4	18%	2	8%	2	10%
21C	SI	8	36%	6	24%	2	10%
	NO	0	0%	2	8%	0	0%
	N/R	2	9%	0	0%	0	0%
21D		Crecimiento de la población, falta de conciencia, falta de planes de manejo, químicos que le caen al agua		Por falta de conciencia, escasez de agua		Falta de conciencia en los ciudadanos	

22	SI	17	77%	25	100%	20	100%
	NO	5	23%	0	0%	0	0%
23	1 a 6 veces	11	50%	19	76%	13	65%
	Siempre que llueve	4	18%	4	16%	5	25%
	Nunca	3	14%	2	8%	0	0%
	N/R	4	18%	0	0%	2	10%
24	En general la gente opina que es porque el agua no cuenta con un buen drenaje, porque hay mucha basura que tapa las salidas de agua, porque llueve mucho y están en una zona muy plana, porque hay muchos sótanos que revientan en época de lluvia (fuentes subterráneas), sobrepoblación cerca al río, no hay muros de contención en los bordes del río.						
25	SI	18	82%	19	76%	17	85%
	NO	3	13%	6	24%	3	15%
	N/R	1	5%	0	0%	0	0%
26A	SI	16	73%	21	84%	18	90%
	NO	4	18%	3	12%	1	5%
	N/R	2	9%	1	4%	1	5%
26B	Falta de lluvia, calentamiento global, derroche de agua, deterioro de la naturaleza		Calor, falta de lluvia, desperdicio de agua, calentamiento global, se tala mucho árbol		Mucho calor, contaminación, el ingenio gasta todo, sequía, tala de árboles, desperdicio de agua, mucha gente se toma el agua, los riegos gastan mucha agua		

* La sumatoria de los porcentajes que no concuerdan, se deben a que se eligió más de una vez la misma respuesta.

ANEXO 4. CONSUMO DE AGUA POR PROCESO. INGENIO ALIANZA POPULAR

PROCESO		CONSUMO (l/s)
TORRES DE PLANTA ELÉCTRICA Y TURBO-GENERADORES		56.9
TORRES DE ENFRIAMIENTO DE LAS CHUMACERAS DE MOLINOS		37.9
CANAL DEL LAVADO DE CAÑA		800-100
CARCAMO DE SERVICIOS GENERALES (Baños, lavado de pisos, limpieza y rellenos de los circuitos de enfriamiento, turbo-generadores, etc)	Durante la zafra	3.4
	Durante reparaciones	2.2
CIRCUITO DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO		1516