

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
AGRONOMÍA

DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA UTILIZADA PARA
LA PRODUCCIÓN DE TOMATE Y CHILE EN LOS VALLES
PRODUCTORES DEL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA, 2012

FRANKLIN BENJAMIN MONROY OXCAL

CHIQUIMULA, GUATEMALA, NOVIEMBRE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
AGRONOMÍA

DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA UTILIZADA PARA LA
PRODUCCIÓN DE TOMATE Y CHILE EN LOS VALLES PRODUCTORES
DEL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA, 2012

TRABAJO DE GRADUACIÓN

Sometido a consideración del Honorable Consejo Directivo

Por

FRANKLIN BENJAMIN MONROY OXCAL

Al conferírsele el título de

INGENIERO AGRONOMO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

En el grado académico de

LICENCIADO

CHIQUIMULA, GUATEMALA, NOVIEMBRE 2016

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
AGRONOMÍA**



**RECTOR
Dr. CARLOS GUILLERMO ALVARADO CEREZO**

CONSEJO DIRECTIVO

Presidente:	M.Sc. Nery Waldemar Galdámez Cabrera
Representante de Profesores:	M.Sc. José Leonidas Ortega Alvarado
Representante de Profesores:	Lic. Zoot. Mario Roberto Suchini Ramírez
Representante de Graduados:	Lic. Zoot. Oscar Augusto Guevara Paz
Representante de Estudiantes:	Br. Carla Marisol Peralta Lemus
Representante de Estudiantes:	PAE. Alberto José España Pinto
Secretaria:	Licda. Marjorie Azucena González Cardona

AUTORIDADES ACADÉMICAS

Coordinador Académico:	Ing. Agr. Edwin Filiberto Coy Cordón
Coordinador de Carrera:	M.Sc. José Leonidas Ortega Alvarado

ORGANISMO COORDINADOR DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN

M.Sc. Mario Roberto Díaz Moscoso
M.Sc. José Leonidas Ortega Alvarado
M.Sc. Hugo Ronaldo Villafuerte Villeda

TERNA EVALUADORA

Ing. Civ. M.Sc. Ricardo Otoniel Suchini Paiz
Ing. Agr. M.Sc. Edgar Arnoldo Casasola Chinchilla
Ing. Agr. M.Sc. José Leonidas Ortega Alvarado

Chiquimula, Octubre 2016.

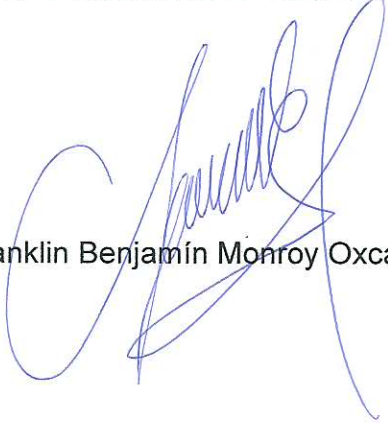
Señores:
Consejo Directivo:
Centro Universitario de Oriente
Ciudad Chiquimula

Honorables Miembros

De conformidad con las normas establecidas por la ley orgánica de la Universidad de San Carlo de Guatemala, Tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de graduación titulado. DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA UTILIZADA PARA LA PRODUCCIÓN DE TOMATE Y CHILE EN LOS VALLES PRODUCTORES DEL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA, 2012, como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción, en el grado académico de Licenciado, esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme.

Atentamente

"ID Y ENSEÑAR A TODOS"



Franklin Benjamín Monroy Oxcal

REF-PTG- JRGA-02-2016
Chiquimula, octubre de 2016

MSc. Nery Waldemar Galdámez Cabrera
Director CUNORI
Chiquimula, Ciudad

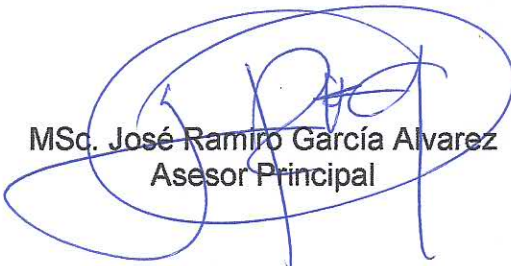
Respetable Licenciado Galdámez:

En atención a la designación efectuada por el Programa de Trabajos de Graduación - PTG- de la carrera de Agronomía, para asesorar al estudiante, Franklin Benjamín Monroy Oxcal carné: 200440083, en el trabajo de investigación denominado **"DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA UTILIZADA PARA LA PRODUCCIÓN DE TOMATE Y CHILE EN LOS VALLES PRODUCTORES DEL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA, 2012"**, tengo el agrado de dirigirme a usted, para informarle que he procedido a asesorar y orientar al sustentante, sobre el contenido de dicho trabajo.

En mi opinión, el trabajo presentado reúne los requisitos exigidos por las normas pertinentes; razón por la cual, recomiendo la aprobación del informe final para su discusión en el Examen General Público, previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción, en el Grado Académico de Licenciado.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



MSc. José Ramiro García Álvarez
Asesor Principal



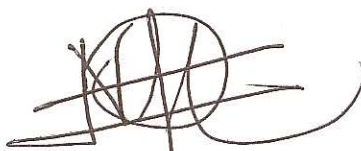
cc. Archivo

D-TG-A-172/2016

EL INFRASCRITO DIRECTOR DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, POR ESTE MEDIO HACE CONSTAR QUE: Conoció el Trabajo de Graduación que efectuó el estudiante **FRANKLIN BENJAMÍN MONROY OXCAL** titulado "**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA UTILIZADA PARA LA PRODUCCIÓN DE TOMATE Y CHILE EN LOS VALLES PRODUCTORES DEL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA, 2012**", trabajo que cuenta con el aval de su Revisor y Coordinador de Trabajos de Graduación, de la carrera de Ingeniero Agrónomo. Por tanto, la Dirección del CUNORI con base a las facultades que le otorga las Normas y Reglamentos de Legislación Universitaria **AUTORIZA** que el documento sea publicado como Trabajo de Graduación a Nivel de Licenciatura, previo a obtener el título de **INGENIERO AGRÓNOMO**.

Se extiende la presente en la ciudad de Chiquimula, a tres de noviembre de dos mil dieciséis.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



MSc. Nery Waldemar Galdámez Cabrera
DIRECTOR
CUNORI - USAC



ACTO QUE DEDICO

- A DIOS: Por iluminarme y guiarme durante todo el proceso de mi vida estudiantil, a Él sea toda la Honra y toda la Gloria.
- A MIS PADRES: Por el apoyo incondicional, por su amor, por su paciencia, por su disciplina y que hoy estuvieran regocijados porque ellos forman parte de este triunfo. Recuerdos infinitos. Hoy descansan en el sueño eterno.
- A MIS HERMANOS: Francisco (QEPD), Efraín (QEPD) Hortencia, Hector, David, Daniel, Amarilis, Irma, Rossana, gracias por su apoyo y motivación en todo el proceso.
- A MI NOVIA: Heidy Calderón Linares, por su amor incondicional brindado en todo momento. Y el apoyo recibido por parte de su familia.
- A MIS SOBRINOS: Por los buenos momentos que hemos compartido y que este logro sea de estímulo para alcanzar sus metas.
- A MIS COMPAÑEROS DE PROMOCIÓN: Por los buenos momentos y experiencias compartidas durante todo el proceso de la carrera. A ellos les deseo éxitos en su vida profesional.
- A MIS AMIGOS: Gracias por el apoyo moral, en los momentos difíciles de mi vida.
- A MIS CATEDRATICOS: M.Sc. Ramiro García, M.Sc. Godofredo Ayala Ruiz, M.Sc. Fredy Coronado, M.Sc. Rodolfo Chicas, M.Sc. Hugo Ronaldo Villafuerte Villeda, por sus enseñanzas compartidas en mi formación profesional. Llevaré un grato recuerdo de ustedes.
- AL CUNORI-USAC: Unidad Académica de la Tricentenaria, donde se han formado profesionales que hoy mismo sirven a la patria en los cuatro puntos cardinales de nuestra Guatemala y en el exterior.

AL CATIE:

Por brindarme los recursos económicos para la realización de esta investigación.

AL LABORATORIO

AMBIENTAL DEL CUNORI:

Por proveerme el espacio físico y todo el equipo, para la realización de los análisis de agua. Y en especial al Químico Abner Arzet, por el apoyo logístico en la aplicación de la metodología para la realización de los análisis susodichos.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	Página
INDICE GENERAL	i
INDICE DE GRÁFICAS	v
INDICE DE CUADROS	viii
RESUMEN	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO CONCEPTUAL	2
2.1 Antecedentes	2
2.2 Justificación	3
2.3 Definición y delimitación del problema	4
III. MARCO TEÓRICO	5
3.1 Agua derecho humano esencial	5
3.2 Papel esencial del agua en la agricultura	5
3.3 Definición de calidad del agua	6
3.4 Calidad del agua para riego agrícola	6
3.5 Contaminación del agua según la -OMS-	7
3.6 Sustancias que provocan la contaminación del agua	8
3.6.1 Microorganismos patógenos	8
3.6.2 Desechos Orgánicos	8
3.6.3 Sustancias Químicas Inorgánicas	9
3.6.4 Nutrientes vegetales inorgánicos	9
3.6.5 Contaminación térmica	9
3.7 Características del agua	9

3.7.1 Características físicas	10
3.7.2 Características químicas	10
3.8 Método de análisis para la evaluación de la calidad de agua	11
3.8.1 Criterio y técnicas de muestreo de las aguas	12
3.8.2 Técnica de captación y transporte de muestras para análisis	13
3.9 Riego en Guatemala	14
3.10 Contaminación del agua en Guatemala	15
3.11 Importancia del riego	16
3.12 Los sistemas de información del agua	16
IV. MARCO REFERENCIAL	18
4.1 Descripción del departamento de Chiquimula	18
4.2 Descripción de las áreas de estudio	18
4.2.1 Valle de Chiquimula	18
4.2.2 Valle de Ipala	18
4.2.3 Valle de Esquipulas	19
4.2.4 Municipio de Camotán	19
4.2.5 Municipio de Jocotán	19
4.3 Red Hidrológica del departamento de Chiquimula	20
V. MARCO METODOLÓGICO	21
5.1 Objetivos	21
5.1.1 General	21
5.1.2 Específicos	21

5.2	Área de estudio	21
5.3	Manejo de las muestras	24
5.3.1	Muestreo realizado para agua subterránea (pozo)	24
5.3.2	Muestreo realizado para agua de río	25
5.3.3	Muestreo realizado en charca	25
5.3.4	Transporte de las muestras de agua	25
5.4	Parámetros físicos, químicos y bacteriológicos del agua	26
5.4.1	Metodología de análisis para determinar la calidad del agua	25
5.4.2	Método de análisis para los parámetros bacteriológicos	28
5.4.3	Propuesta de lineamientos generales para el uso del agua en áreas Productoras de hortalizas del departamento de Chiquimula	28
VI.	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	29
6.1	Potencial de hidrógeno (pH)	29
6.2	Conductividad eléctrica	33
6.3	Dureza en CaCO_3	36
6.4	Nitratos NO_3	38
6.5	Fosfatos PO_4	40
6.6	Sólidos totales disueltos	42
6.7	Turbidez	44
6.8	Demanda bioquímica de oxígeno	47
6.9	Coliformes fecales	48
6.10	Lineamientos generales sobre el manejo del agua para riego en los valles productores de hortalizas del departamento de Chiquimula	50

VII. CONCLUSIONES	54
VIII. RECOMENDACIONES	55
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
X. ANEXOS	60

INDICE DE FIGURAS

No.	Contenido	Página
1	Ubicación de las localidades de producción de hortalizas estudiadas en el departamento de Chiquimula.	23
2	Resultados del pH del agua en las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, durante la época lluviosa; Chiquimula 2012.	31
3	Resultados del pH del agua en las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, durante la época seca; Chiquimula 2012.	32
4	Resultados de la conductividad eléctrica del agua en las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, durante la época lluviosa; Chiquimula 2012.	34
5	Resultados de la conductividad eléctrica del agua en las fuentes utilizadas para riego en diferentes valles productores de hortalizas, durante la época seca; Chiquimula 2012.	36
6	Resultados de la dureza del agua en las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, durante la época lluviosa; Chiquimula 2012.	37
7	Resultados de la dureza del agua en las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, durante la época seca; Chiquimula 2012.	37

8	Concentración de nitrato en el agua de las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, durante la época de lluvia; Chiquimula 2012.	39
9	Concentración de nitrato en el agua en las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, durante la época seca; Chiquimula 2012.	39
10	Concentración de fosfatos en las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, durante la época de lluvia; Chiquimula 2012.	41
11	Concentración de fosfatos en las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, durante la época seca; Chiquimula 2012.	41
12	Concentración de sólidos disueltos totales en las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, durante la época de lluvia; Chiquimula 2012.	43
13	Concentración de sólidos disueltos totales en las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, durante la época seca; Chiquimula 2012.	43
14	Concentración de la turbidez en las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, en la época lluviosa; Chiquimula 2012.	45
15	Concentración de la turbidez en las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, durante la época seca; Chiquimula 2012.	45

16	Concentración de la demanda bioquímica de oxígeno en las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, en la época de lluvia; Chiquimula 2012.	47
17	Concentración de la demanda bioquímica de oxígeno en las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, durante la época seca; Chiquimula 2012.	47
18	Concentración de coliformes fecales en las fuentes de riego utilizadas en los valles productores de hortalizas, durante la época de lluvia; Chiquimula 2012.	49
19	Concentración de coliformes fecales en las fuentes de riego utilizadas en los valles productores de hortalizas, durante la época seca; Chiquimula 2012.	49

INDICE DE CUADROS

No.	Contenido	Página
1	Áreas productoras de hortalizas del departamento de Chiquimula, 2012.	22
2	Resultados de pH del agua en las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, durante las épocas seca y lluviosa del departamento de Chiquimula, 2012.	30
3	Resultados de conductividad eléctrica del agua en las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, durante las épocas seca y lluviosa del departamento de Chiquimula, 2012.	33
4	Resultados de dureza del agua en las fuentes utilizadas para riego de los valles productores de hortalizas, durante las épocas seca y lluviosa del departamento de Chiquimula, 2012.	36
5	Resultados de la concentración de nitratos en las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, durante las época seca y lluviosa del departamento de Chiquimula, 2012.	38
6	Resultados de la concentración de fosfatos en las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, durante las época seca y lluviosa del departamento de Chiquimula, 2012.	40
7	Resultados de la concentración de sólidos totales disueltos en las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, durante las épocas seca y lluviosa del departamento de Chiquimula, 2012.	42

- 8 Resultados de turbidez del agua en las fuentes utilizadas para riego en los diferentes valles productores de hortalizas, durante las épocas y lluviosa del departamento de Chiquimula, 2012. 44
- 9 Resultados de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) del agua en las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, durante las épocas seca y lluviosa del departamento de Chiquimula, 2012. 46
- 10 Resultados de coliformes totales en las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, durante las épocas seca y lluviosa del departamento de Chiquimula, 2012. 48

RESUMEN

En el departamento de Chiquimula las fuentes de agua que se utilizan para la producción hortalizas, especialmente chile y tomate, en la mayoría de los casos son objeto de contaminación por la descarga de aguas negras sin tratamiento, la utilización cada vez mayor de fertilizantes, el mal manejo de plaguicidas y herbicidas, alteran las características físico-químicas y microbiológicas.

El presente estudio se realizó con el propósito de determinar la calidad del agua de las fuentes utilizadas para riego agrícola en los principales valles productores de hortalizas del departamento de Chiquimula, siendo éstos los municipios de Chiquimula, Ipala, Esquipulas, Camotán, Jocotán y San Juan Ermita.

Las muestras de cada fuente fueron tomadas considerando las técnicas de captación, manejo y transporte recomendadas por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA), por la Asociación de Salud Pública Americana y Asociación de trabajos del Agua de los Estados Unidos (APHA, AWWA).

Se monitorearon un total de 25 fuentes de agua las que provienen de ríos, quebradas, charcas, nacimientos y pozos, a las cuales se les determinaron 9 parámetros de la manera siguiente: dos en campo (pH y conductividad eléctrica) y el resto a nivel de laboratorio (nitratos, fosfatos, sólidos disueltos totales, turbidez, dureza, demanda biológica de oxígeno y coliformes fecales) llevándose a cabo en el laboratorio ambiental del Centro Universitario de Oriente (CUNORI), realizando dos monitoreos uno en la época seca y el otro en la época lluviosa del año 2012.

La importancia de determinar la calidad del agua de riego utilizada para la producción de hortalizas, se debe a que ésta influye en el rendimiento de los cultivos de hortalizas, pudiendo modificar las características físicas del suelo, incluso cuando se dispongan de condiciones y prácticas de producción favorables.

Después de obtener los resultados de las muestras analizadas, se observó que los parámetros pH, dureza, turbidez y coliformes fecales, reportaron valores que superaron los límites máximos aceptables, en la mayoría de las fuentes monitoreadas, observando mayores concentraciones en la época lluviosa.

De acuerdo a Rodríguez (2012), los principales problemas del agua relacionados al tema de alcalinidad y dureza del agua., repercuten en: 1) desbalance entre Ca y Mg (el exceso de uno puede generar la deficiencia del otro en la planta), 2) presencia de residuos de sales en el follaje, 3) formación de sarro en las tuberías y mangueras del sistema de riego, 4) reduce la efectividad de agentes dispersantes; valores de pH y dureza total que pueden representar problemas relacionados a la alcalinidad y la dureza del agua, limitando la eficiencia de los plaguicidas y fertilizantes utilizados en la producción de hortalizas.

I. INTRODUCCIÓN

Los requerimientos de agua para el sector agrícola en cantidad y calidad propician el desarrollo económico y social; este requerimiento es una demanda cada vez mayor por parte de este sector. Es por ello que el cuidado de este preciado líquido y la preservación de la calidad resultan indispensables.

El departamento de Chiquimula según el cuarto censo agropecuario, ocupa el tercer lugar de producción de hortalizas (chile y tomate) a nivel nacional, generando un 11% de la producción en Guatemala. Dichas áreas se concentran en los valles de Ipala, Esquipulas, San Juan Ermita, Jocotán, Camotán y Chiquimula; el agua utilizada en las unidades de producción proviene de pozos, ríos y charcas. En las diferentes áreas hortícolas se han manifestado problemas que pudiesen estar asociados a la calidad del agua entre ellas se destacan: problemas de obstrucción de tuberías, taponamientos en los sistemas de riego y la funcionabilidad agroquímicos.

En este sentido, conociendo la importancia que tiene el agua en la producción hortícola del departamento, el presente estudio plantea generar información sobre las propiedades físicas, químicas y bacteriológicas del agua que está siendo utilizada para riego y labores agrícolas en las unidades de producción, dicha información constituye un insumo para plantear recomendaciones orientadas a su manejo y una adecuada gestión de la misma.

Para el presente estudio se tomaron muestras de agua en 25 localidades de producción en los 5 municipios del departamento de Chiquimula, a las cuales se le determinaron 9 parámetros (pH, conductividad eléctrica, nitratos, fosfatos, sólidos disueltos totales, turbidez, dureza, demanda biológica de oxígeno y coliformes totales); para el análisis de las muestras se siguieron los lineamientos del “Estandar Methods of the examination of water and wastewater” (método estándares para examinar agua), metodología utilizada comúnmente por los laboratorios de agua, realizando dos monitoreos uno en época seca y época lluviosa. Todos los análisis fueron realizados en el laboratorio ambiental del Centro Universitario de Oriente-CUNORI-.

II. MARCO CONCEPTUAL

2.1 Antecedentes

El departamento de Chiquimula, dispone de información dispersa y poco actualizada referente a estudios realizados sobre la calidad del agua para uso agrícola.

El diagnóstico “Situación actual de las hortalizas especialmente en cadenas de valor tomate y chile en el área del triffinio 2009”, realizado por el CATIE en colaboración con CUNORI, menciona los siguientes problemas en las unidades de producción: bacteriosis en las plantas, taponamientos en los sistemas de riego, sobre dosificación de agroquímicos al haber poca efectividad; problemas ocasionados probablemente por la mala calidad de agua utilizada.

Según el Perfil Ambiental de Chiquimula, existen diversas fuentes de contaminación que modifican las propiedades físicas y químicas del suelo en la mayoría de unidades de producción agrícola, siendo la principal causa el uso de agua contaminada; creando adicionalmente condiciones sanitarias limitadas para la producción de alimentos.

Las fuentes de contaminación que afectan con mayor frecuencia el agua para riego son las siguientes: desechos sólidos depositados a cielo abierto, aguas residuales domesticas sin ningún tratamiento vertidas a quebradas y ríos, beneficiado de café artesanal que genera aguas mieles y pulpa, mal manejo de productos químicos en las actividades agrícolas.

Lo anterior evidencia la problemática que padece la agricultura local a causa del agua para la producción intensiva de cultivos, mostrando la importancia de realizar un estudio para determinar las características físico químicas y biológicas de dicho recurso.

2.2 Justificación

La producción de tomate y chile en Guatemala ha mostrado una tendencia creciente durante los últimos siete años, presentado una tasa media anual del 12% (Díaz, 2008). El departamento de Chiquimula ocupa el tercer lugar a nivel nacional con el 11% de la producción de hortalizas. Lo anterior muestra la importancia económica que representa la actividad hortícola en el departamento. La producción de tomate en la región oriental, tiene una alta participación en la economía de la población, porque provee empleo e ingresos económicos a diferentes a las familias relacionadas en la cadena de producción y comercialización del cultivo.

Actualmente se cultiva tomate con la utilización de diferentes tipos de tecnologías agrícolas: a) Cultivo en casa malla o invernadero, donde se utiliza riego por goteo y fertirriego b) Cultivo a campo abierto, con riego por goteo y fertirriego; el uso de cada tecnología demanda un mayor control en la cadena de valor en la producción de hortalizas.

En este sentido CATIE en colaboración con CUNORI en el año 2009, realizaron talleres con diferentes grupos focales, dirigido a fortalecer la producción de hortalizas en el departamento, a través de dichos talleres surge una línea de investigación. Dentro de esta línea se propuso determinar la calidad del agua usada por los productores de hortalizas en el departamento, ya que los productores manifestaron el desconocimiento de la calidad de dicho recurso, y la necesidad de disponer de información actualizada e interpretada.

Los resultados recabados en el presente estudio constituyen una base de información para mejorar el manejo y gestión del agua para su uso en las actividades agrícolas, estableciendo lineamientos que se orienten a elevar las potencialidades de las unidades de producción.

2.3 Definición y delimitación del problema

La producción de tomate y chile en el departamento de Chiquimula, tiene una alta participación en la economía de la población, porque provee empleo e ingresos económicos a diferentes familias relacionadas en la cadena de producción y comercialización del cultivo. Los municipios de Ipala, Esquipulas, San Juan Ermita, Jocotán, Camotán y Chiquimula, están identificados como las zonas con mayor producción de hortalizas a campo abierto y bajo condiciones protegidas.

Los productores actualmente cultivan sus hortalizas con la utilización de diferentes tipos de tecnologías. Uno de los insumos de mucha importancia en cada una de las unidades de producción es el agua, debido a que se utiliza en actividades como riego, aspersión de agroquímicos y lavado de fruta.

Generalmente el agua utilizada para la producción en dichas áreas proviene de fuentes superficiales o subterráneas, las cuales en la mayoría de los casos son objeto de contaminación por el sobre uso de productos agrícolas y la descarga de aguas negras sin tratamiento, afectando las corrientes de agua superficiales como de las fuentes subterráneas, alterando de esta manera las propiedades físicas, químicas, y microbiológicas de dicho recurso.

De acuerdo al diagnóstico: “Situación actual de las hortalizas especialmente en cadenas de valor tomate y chile, en el área del trifujo 2009”, los productores del departamento de Chiquimula manifestaron la necesidad de determinar la calidad de agua utilizada en las unidades de producción, ya que se han afrontado a problemas que pudiesen relacionarse con la mala calidad de agua.

Este desconocimiento obstaculiza una acertada toma de decisiones relacionado con la gestión del recurso hídrico.

III. MARCO TEÓRICO

3.1 Agua, derecho humano esencial

El 26 de julio de 2010 puede considerarse como un día histórico, fue el día cuando la Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en el sexagésimo cuarto periodo de sesiones refrendó su resolución A/64/L.63 donde declara el derecho al agua potable y el saneamiento como un derecho humano esencial para el pleno disfrute de la vida y de todos los derechos humanos (ONU, 2010).

La resolución fue adoptada por iniciativa de Bolivia tras 15 años de debates, con el voto favorable de 122 países y 44 abstenciones. La Asamblea de Naciones Unidas se mostró “profundamente preocupada porque aproximadamente 884 millones de personas carecen de acceso al agua potable y más de 2.600 millones de personas no tienen acceso al saneamiento básico y alarmada porque cada año fallecen aproximadamente 1,5 millones de niños menores de 5 años y se pierden 443 millones de días lectivos a consecuencia de enfermedades relacionadas con el agua y el saneamiento” (ONU, 2010).

3.2 Papel esencial del agua en la agricultura

En la agricultura se utiliza 70% de todas las extracciones de agua dulce a escala mundial y hasta el 95% en varios países en desarrollo, con el fin de satisfacer la actual demanda de alimentos. (Ratnayake, 1997)

Además, se estima que la superficie de regadío efectiva deberá aumentar un 34% en los países en desarrollo y que deberá extraerse un 14% más de agua con fines agrícolas. Cabe recordar que la agricultura de regadío suministra el 40% de la oferta mundial de alimentos en el 20% de las tierras cultivadas. (Ratnayake, 1997)

La obtención de una mayor producción depende de la fertilidad de los suelos, la selección de cultivares, la densidad de cultivo, el manejo fitosanitario y posteriormente de los controles post-cosecha hasta la salida del proceso de producción agrícola (Sandoval, 1989).

Lo anterior muestra el valor que añade el agua sistemáticamente en las actividades agrícolas donde se puede relacionar su eficiencia con la producción. Demostrando que se pueden mejorar los beneficios en términos financieros, seguridad sanitaria, métodos de riego y otras tecnologías agrícolas que permiten ahorrar agua (Sandoval, 1989).

Por otro lado, las aguas residuales tratadas y aguas salinas (principalmente subterránea y de drenaje), también son importantes en la agricultura, particularmente en regadíos de zonas áridas y semiáridas de países con escases de agua y en entornos periurbanos con rápido crecimiento con clima árido o húmedo (Sandoval, 1989).

3.3 Definición de calidad de agua

La definición de calidad va en función del uso que se le dé y que es de relevancia para la vida. Existen diferentes parámetros para definir la calidad del agua en función de su uso y para cada uno de ellos se establecen estándares diferentes.

La calidad del agua queda definida por su composición y el conocimiento de los efectos que puede causar cada uno de sus componentes, solo o en conjunto, permitiendo de esta forma establecer posibilidades de utilización (OMS, 2008).

3.4 Calidad del agua para riego agrícola

La calidad de agua y su disponibilidad es un tema importante desde el punto de vista económico, ecológico y político, ya que de la calidad depende el uso que le da la humanidad.

Palacios y Aceves en 1970, señalan que la calidad de agua para riego agrícola es un término que se utiliza para indicar la conveniencia o limitación del empleo del agua, con fines de riego de cultivos agrícolas, para cuya determinación generalmente se toman como base las características químicas, pero actualmente al emplear el riego por goteo/micro aspersión o aspersión es relevante considerar características físicas y biológicas; así como la tolerancia de cultivos a las sales, las propiedades del suelo, las condiciones de manejo de suelo y agua y las condiciones climatológicas.

El criterio de salinidad se evalúa mediante los índices de conductividad eléctrica, salinidad efectiva y salinidad potencial. La conductividad eléctrica se mide con un conductímetro y registra la presencia de sólidos disueltos. El agua pura no conduce corriente eléctrica. Mientras mayor sea el contenido de sólidos disueltos más alto es su valor, y se expresa en ds/m ó mmhos/cm a 25°C.

3.5 Contaminación del agua según la Organización Mundial de la Salud -OMS-

Por satisfacer distintas necesidades el agua se transforma en un recurso. Sin embargo no todas las personas disponen de él. Esto sucede por varios motivos, entre los cuales se pueden mencionar la desigual distribución natural del agua en la superficie terrestre. Esta imposibilidad lleva a situaciones de escasez, que no tiene causas exclusivamente naturales, sino que también sociales (OMS, 2008).

El agua constituye un elemento natural indispensable para el desarrollo de la vida y de las actividades humanas. El agua cubre el 75% de su superficie del planeta. Sin embargo, no toda el agua es apta para el uso agrícola o el consumo humano. El 97.5% del agua es salada y el 2.5% restante es agua dulce distribuida en lagos, ríos, arroyos y embalses; la que es utilizable con más facilidad (OMS 2008).

3.6 Sustancias que provocan la contaminación del agua

Existen un gran número de contaminantes del agua que se pueden clasificar de diferentes maneras. Una forma es agruparlos en los siguientes grupos:

3.6.1 Microorganismos patógenos

Son los diferentes tipos de bacterias, virus, protozoos y otros organismos que transmiten enfermedades como el cólera, tifus, gastroenteritis, diversas hepatitis, etc. En los países en vías de desarrollo las enfermedades producidas por estos patógenos son uno de los motivos más importantes de la muerte prematura, sobre todo en los niños.

Normalmente estos microbios llegan al agua en las heces y otros restos orgánicos que producen las personas infectadas. Por esto mismo, un buen índice para medir la salubridad de las aguas, en lo que refiere a estos microorganismos, es el número de bacterias coliformes presentes en el agua. La OMS (Organización Mundial de la Salud) recomienda que el agua para beber haya 0 colonias de coliformes por 100 ml. de agua, (OMS, 2008).

3.6.2 Desechos orgánicos

Son el conjunto de residuos orgánicos producidos por los seres humanos, ganado, etc. Incluyen heces y otros materiales que pueden ser descompuestos por bacterias aeróbicas, es decir en procesos con consumo de oxígeno. Cuando este tipo de desechos se encuentra en exceso, la proliferación de bacterias agota el oxígeno del agua y por lo tanto ya no pueden vivir en estas aguas peces y otros seres vivos que necesitan oxígeno. Buenos índices para medir en esta misma son la cantidad de oxígeno disuelto, o la DBO (Demanda Biológica de Oxígeno), (OMS, 2008).

3.6.3 Sustancias químicas inorgánicas

En este grupo están incluidos ácidos, sales y metales tóxicos como el mercurio, plomo. Si están en cantidades altas pueden causar graves daños a los seres vivos, disminuir los rendimientos agrícolas y corroer los equipos que se usan para trabajar con el agua (OMS, 2008).

3.6.4 Nutrientes vegetales inorgánicos

Incluye a los nitratos y fosfatos, éstos son sustancias solubles en agua y si se encuentran en cantidades excesivas inducen el crecimiento desmesurado de algas y otros organismos provocando la eutrofización del agua, produciendo mal olor e haciéndola inutilizable (OMS, 2008).

3.6.5 Contaminación térmica

El agua caliente libera por centrales de energía o procesos industriales eleva, en ocasiones, la temperatura de ríos o embalses con lo que disminuye su capacidad de contener oxígeno y afecta a la vida de los organismos.

3.7 Características del agua

Las características del agua que permite designarla como de buena calidad dependerán directamente del uso al cual se destina.

Una publicación de la facultad de química y biología de la USAC menciona que: “No existe una definición única de buena calidad del agua, sino que existen distintas exigencias para la calidad en función de los diversos usos del recurso y para cada uno se establecen guías de calidad”. Los niveles más exigentes son los del agua para consumo humano y protección de vida acuática (Boy, 1989).

Los análisis de agua son necesarios para determinar aquellos constituyentes que pueden causar dificultades para su evaluación y escoger así el tratamiento previo más adecuado si fuera necesario. Las características más importantes son (Boy, 1989):

3.7.1 Características físicas

Están relacionadas con la medición y registro de aquellas propiedades que pueden ser observadas por los sentidos organolépticos; para lo cual se hace uso de parámetros que permiten tener un juicio aceptado de la calidad del agua (Boy, 1989).

- a) Aspecto:** se relaciona con la turbidez y se determina con el uso de un turbidímetro.
- b) Color:** puede ser de origen mineral, vegetal o sustancias metálicas como componente de hierro, magnesio, humus, turba, taninos, alga y protozoos, etc.
- c) Temperatura:** influye en la actividad biológica, la solubilidad de gases (especialmente oxígeno) y la viscosidad.

3.7.2 Características químicas

Son las que permiten determinar las cantidades de material mineral y orgánico presente en el agua y que afecta su calidad (Boy, 1989).

- a) Oxígeno disuelto:** se refiere a la cantidad de oxígeno disuelto en el agua. Generalmente las aguas servidas carecen de oxígeno disuelto, dada la cantidad de materia orgánica; sin embargo, este valor puede variar con relación al ambiente y la temperatura del agua (Boy, 1989).

- b) Sólidos:** las aguas negras contienen sólidos en solución y suspensión en relación al 0.10% aproximadamente, proviniendo de desechos domésticos, industriales y pecuarios transformando su contenido biológico, físico y químico a través del tiempo (Boy, 1989).
- c) pH (Potencial de Hidrógeno):** se relaciona con la regulación de los procesos químicos de la digestión anaeróbica de la materia orgánica, cuando el pH es ácido la digestión no es satisfactoria (Boy, 1989).
- d) Demanda Biológica de Oxígeno:** se refiere a la cantidad de oxígeno requerido (ml/l), para la descomposición biológica de los sólidos orgánicos disueltos en condiciones aeróbicas en un tiempo y temperatura determinado (generalmente 5 días, a 20°C). La DBO estima el oxígeno gastado en la descomposición biológica actual de una muestra residual, siendo una simulación del proceso microbiano de auto purificación (Boy, 1989).
- e) Conductividad eléctrica del agua:** es producida por los electrolitos disueltos en el agua, es muy baja en el agua pura. Además se comprende que exista una relación entre ella y la cantidad de los electrolitos que contiene (Boy, 1989).

3.8 Método de análisis para la evaluación de la calidad de agua

La evaluación de la calidad de agua se realiza mediante una serie de análisis de laboratorio dirigidos a conocer cualitativa y cuantitativamente, las características físicas, químicas y biológicas más importantes que pueden afectar, su uso real y potencial, como el tipo y grado de tratamiento requerido para un adecuado acondicionamiento (APHA, 1985).

Para garantizar la confiabilidad de los resultados, que muestre el laboratorio, las técnicas deben de haber sido cuidadosamente desarrollados, evaluados y con los niveles de sensibilidad requeridos, además se debe establecer un conjunto de procedimientos para la captación, traslado y preservación de la muestra de agua, así como también deben de tenerse en las unidades y terminología utilizada (APHA, 1985).

Es de suma importancia destacar que los análisis de laboratorio no tienen validez si la muestra es captada sin cumplir la normativa sobre criterios y técnicas de muestreo, puesto que es condición indispensable que la muestra sea lo más representativa posible del agua en estudio (APHA, 1985).

La Asociación Americana de Salud Pública (American Public Health Association, APHA); la Asociación Americana de Abastecimiento de Agua, han establecido normas internacionales para la caracterización de la calidad de agua, las cuales se encuentran incluidas en los denominados “Metodos Normales para el Examen de las Aguas y de las aguas Residuales” (Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater), de común adopción por numerosos países en todo el mundo (APHA, 1985).

Con base a lo recomendado en estas normas internacionales, han sugerido diversos criterios, métodos y técnicas de análisis, que permiten el estudio adecuado de los distintos tipos de parámetros, desde el proceso inicial de captación de las muestras hasta la interpretación correcta de los resultados obtenidos (APHA, 1985).

3.8.1 Criterio y técnicas de muestreo de las aguas

Los procedimientos para la captación de muestras varían según los análisis que se van a efectuar y de las condiciones del cuerpo de agua; independientemente de los fines para los cuales han sido tomadas esas muestras, ellas deben ser representativas del cuerpo de agua en estudio.

Una muestra es representativa en la medida en que sus características correspondan a la existencia de una gran masa en total. Sin embargo para lograr tal condición, deben tomarse en cuenta varios factores, entre los cuales podemos incluir: homogeneidad del cuerpo de agua a muestrear, número de sitios muestreados, frecuencia de muestreo, tamaño de las muestras individuales y las técnicas de captación (Castillo, 1970).

3.8.2 Técnica de captación y transporte de muestras para análisis físico químico

En la captación de muestras para análisis físico-químicos, se requiere un volumen mínimo de dos litros para lo cual se recomienda el uso de una botella químicamente limpia de Polivinil Clorido Rígido (P.V.C), prácticamente incolora y equipada con una tapa con excelente condición de cierre. Antes de captar la muestra se debe enjuagar el envase dos o tres veces en la misma agua que se va a analizar, a fin de curarla, es decir, eliminar cualquier sustancia que no corresponda con la verdadera composición del agua bajo estudio; luego se llena y se tapa herméticamente (Castillo, 1970).

Las muestras deben de ser transportadas al laboratorio en el menor tiempo posible el tiempo permisible entre la captación de la muestra y el examen físico-químico no debe pasar de 24 horas, a fin de evitar alteraciones en parámetros tales como alcalinidad, nitritos, nitratos, sulfatos, pH, sólidos. Además las muestras para su transporte deben ser refrigeradas, esta precaución es debido a que durante el período de almacenamiento y envío de muestras están sujetas a cambios atribuibles a sus características y al recipiente que las contiene (Castillo, 1970).

El procedimiento para captar las muestras varía según los sitios (Castillo, 1970):

- a) Captación de muestras de ríos:** Se toma la muestra donde la velocidad del flujo sea mayor. La botella se debe inclinar en un Angulo de 45° con la horizontal, dirigiendo la boca hacia arriba contra la corriente y destapándose estando cerca del agua. Mientras la botella se llena, se moverá lentamente contra la corriente para evitar que el agua toque la mano. De esta forma se llena una cuarta parte con el agua que se quiere captar, se repone el tapón y se le da a la botella unas cuantas sacudidas para lavar el interior, esta operación se repite dos veces, posteriormente se llena la botella (Castillo, 1970).
- b) Captación de muestras en pozos:** cuando el pozo tiene bomba se debe poner en funcionamiento la misma en forma interrumpida, durante el tiempo mínimo de cinco minutos antes de captar la muestra, la cual se debe de tomar en el punto de descarga más próximo al pozo, si no tiene bomba se saca con baldes el agua existente en el pozo, para que se renueve con agua fresca. Luego se saca con un balde lleno de agua para obtener la muestra y se enjuaga la botella tres veces consecutiva, llenándola por ultimo completamente. Se coloca el tapón y se envía al laboratorio (Castillo, 1970).
- c) Captación de la muestra en manantiales:** se colocará la botella lo más cerca posible de la boca del manantial, a fin de captar el agua antes de que esta toque el suelo; luego se procede a llenarla (Castillo, 1970).

Después de captadas las muestras deben ser registradas e identificadas apropiadamente y luego transportadas (Castillo, 1970).

3.9 Riego en Guatemala

De acuerdo a Díaz (2008), en Guatemala existen aproximadamente 1,5 millones de hectáreas susceptibles al riego, de las cuales cerca de 130,000 hectáreas son regadas actualmente, es decir menos del 10% del área potencial.

El 20% del área regada corresponde a proyectos ejecutados por el Gobierno, la mayoría de éstos han sido transferidos a los usuarios y 80% a proyectos ejecutados por la iniciativa privada. La mayor parte de riego actual es por inundación, aunque se identifican proyectos de mini riego y riego por goteo. Se estima que actualmente 5,500 millones de m³/año de agua se utilizan para riego agrícola (MARN, 2009).

La Agricultura es la actividad económica que mayor cantidad de agua utiliza para su sostenimiento, siendo de vital importancia la implementación de tecnología de riego para reducir el volumen de gasto y mejor aprovechamiento del agua (MARN, 2009).

El mayor reto lo representa los focos de contaminación, que surgen como consecuencia derivada de la utilización del agua; sin embargo, no será igual la cantidad de recursos que se requieren para tratar el agua si el problema son deposiciones humanas, residuos producidos por las industrias, o agua contaminada con químicos utilizados en las prácticas agrícolas, tales como fertilizantes inorgánicos y aplicación de plaguicidas (MARN, 2009).

3.10 Contaminación del agua en Guatemala

El problema de contaminación se considera muy grave en Guatemala, aunque en general existe más información cualitativa que cuantitativa a respecto. No hay una toma de muestras sistemática que abarque puntos de control en todo el país. En cualquier caso, la contaminación orgánica sigue siendo una mayor proporción que la debida a las cargas tóxicas generadas en los países más industrializados (MARN, 2009).

Aunque las municipalidades son conscientes de que la contaminación del agua es constante, la falta de recursos resulta la principal limitante para abordar el problema. A nivel nacional en el año 2000 las enfermedades diarreicas agudas siguen siendo la segunda causa de mortalidad por causa de la contaminación del agua (MARN, 2009).

3.11 Importancia del riego

El Producto Interno Bruto (PIB) del país es de Q. 225,000 millones y el 71% del mismo depende de cuatro grandes ramas de la economía: a) sector agropecuario, b) industria, c) comercio, d) transporte, almacenaje y comunicaciones (SEGEPLAN, 2006).

El sector agropecuario (23 % del PIB) depende del recurso agua. La producción agrícola es cíclica, se siembra al inicio de las lluvias y se cosecha al final de las mismas. Realizar actividades agropecuarias fuera de temporada, significa agregar de manera “artificial” agua al suelo. Se estima que el país riega un poco más de 310, 000 hectáreas, esto ha demandado inversiones, cuyo valor financiero es tomado en cuenta, más no siempre la contribución directa del agua al incremento en los rendimientos de los cultivos agrícolas, como variable importante para cuidar sosteniblemente el capital hídrico nacional (SEGEPLAN, 2006).

La importancia del recurso agua a nivel económico cobra mayor relevancia si se considera que solamente el sector agropecuario ocupa cerca del 50% de la PEA total (SEGEPLAN, 2006).

3.12 Los sistemas de información del agua

La responsabilidad de generar información sobre los sistemas hídricos del país recae en el sector público, pero es recurrente la falta de integración y la ausencia de recursos humano, equipo y logístico- para generar estadísticas de detalle que trasciendan los niveles exploratorios y que permitan conocer mejor los parámetros y la variabilidad espacio temporal del ciclo hidrológico; la toma de decisiones a nivel nacional y local municipal suele carecer de un conocimiento sólido de la realidad en el ámbito local, y ello imposibilita optimizar los pocos recursos disponibles o que estos lleguen a donde más se necesita (GEA, 2011).

Durante la elaboración del Plan Sectorial de Ambiente y Agua se identificó la necesidad de generar información y conocimiento, mediante el fortalecimiento de los sistemas de información sobre los temas relacionados al agua, para medir indicadores de resultados y servicios y la toma de decisiones. (GEA, 2011).

Respecto a los sistemas de información institucional relacionados con la inversión pública en agua potable y saneamiento, el hallazgo identifica la carencia histórica de un trabajo sectorial integrado, que ha llegado a generar duplicidad, mucha incertidumbre de los datos, notables vacíos espaciotemporales a nivel comunitario y no permiten conocer la calidad de los servicios. (GEA, 2011).

IV. MARCO REFERENCIAL

4.1 Descripción del departamento de Chiquimula

Cuenta con una extensión territorial de 2376 km² y se encuentra ubicado en las coordenadas Latitud Norte 14° 47'58" y una Longitud Oeste 89° 32' 48". Su división político administrativa es la siguiente: Chiquimula (cabecera departamental), Camotán, Jocotán, San Juan Ermita, San José la Arada, Olopa, San Jacinto, Ipala, Quezaltepeque, Esquipulas y Concepción las Minas (IGN, 1987).

4.2 Descripción de las áreas de estudio

4.2.1 Valle de Chiquimula: su altitud varía entre los 390 y 420 msnm. La producción de hortalizas se observa en la ribera del río San José, la Aldea San Esteban, Vado Hondo, Hacienda el Santo, El Obraje, Vega Arriba, Sabana Grande, Planes del Molino y Shusho Abajo. Se cultivan a campo abierto aproximadamente de 25 y 22 mz de tomate y chile respectivamente, además de 12,200 m² de casa malla.

Las fuentes de agua que abastecen las unidades de producción en esta área son: fuentes superficiales (captando agua del río San José, Río Shusho) y fuentes subterráneas (pozos mecánicos).

4.2.2 Valle de Ipala: su altitud varía entre los 890 y 915 msnm. La producción de hortalizas se observa en las aldeas El Amatillo, El Jocotillo, Julumichapa y Dolores. Se cultivan aproximadamente 92 y 26 mz de tomate y chile respectivamente. Además de 28,000 m² de casa malla. (Díaz, 2008).

Las fuentes de agua que abastecen las unidades de producción en esta área son: fuentes superficiales (captando agua del río San José, Río Shusho) y fuentes subterráneas (pozos mecánicos).

Para la producción de hortalizas los productores se abastecen de agua, provenientes de fuentes superficiales (pozos mecánicos), a excepción de un productor que capta agua de una charca.

4.2.3 Valle de Esquipulas: su altitud varía entre los 890 y 1010 msnm. La producción de hortalizas se observa en las aldeas El Bueyero, Olopita, El Rodeo (Olopa), Los Espino y Valle Dolores. Se cultivan aproximadamente 48 y 28 mz de tomate y chile pimiento respectivamente. Actualmente existe en el valle Olopita 10 mz bajo casa malla. (Díaz, 2008).

En los valles de Esquipulas los productores se abastecen de agua únicamente de fuentes superficiales, utilizando el caudal del río Atulapa, río Olopita, Charcas, y agua domiciliar proveniente de un nacimiento.

4.2.4 Municipio de Camotán: su altitud varía entre los 580 y 900 msnm. Los cultivos a campo abierto se observan en las Aldeas La Libertad, Lela, Camotán y Copan Honduras, cubriendo a campo abierto un área aproximada 28 y 27 mz de los cultivos de tomate y chile, respectivamente. El área cultivada es aproximadamente de 1,158 m² (invernaderos); 2,200 m² (casa malla). (Díaz, 2008).

En el municipio de camotán el agua que abastece las áreas de producción proviene del río Jupilingo, la cual es captada en las orillas del río y llevada hacia los campos hortícolas.

4.2.5 Municipio de Jocotán: la producción de hortalizas observada en su mayoría es bajo condiciones controladas (invernaderos) y protegidas (casa malla). Su altitud varía entre los 670 y 1,200 msnm. Los cultivos realizan en las comunidades de Talquezal, Plan de Candelero, Guaraquiche, Tierra Blanca, Cabecera Municipal Jocotán, Lelá Chancó, El Volcán, La Lima, Lantiquin, Dos Quebradas, Cabecera Municipal. El área cultivada es 8,028 m² (invernaderos), 1,000 m² (casa Malla). (Díaz, 2008).

El agua usada para uso agrícola y riego de hortalizas en este municipio proviene de fuentes superficiales, en las partes altas se capta agua de nacimientos y en los valles se capta agua del río Jupilingo.

4.3 Red hidrológica del departamento de Chiquimula

Está comprendida por Río Grande u Ostúa en Concepción Las Minas, además del Río Las Minas, Río Anguiatú; en Esquipulas el Río Chanmagua, Río San Juan y Río Atulapa. En Olopa el Río Tituque; Río Jupilingo que abarca Camotán y Chiquimula; Río la conquista, Tutinico y Santa Cruz, en Quetzaltepeque. El Río San José que atraviesa desde Ipala hacia San José la Arada y Chiquimula; Río Tacó, Guior en Chiquimula, Río Shutaque en San Jacinto y Chiquimula. El departamento forma parte de cuatro cuencas, la del Río grande de Zacapa y la del Motagua, las cuales pertenecen a la vertiente del atlántico y la de mayor extensión la cuenca del Río Olopa y Río Ostúa que drenan por la vertiente del pacífico y ocupan una pequeña extensión del departamento (Díaz, 2008).

V. MARCO METODOLÓGICO

5.1 Objetivos

5.1.1 General

Generar información sobre la calidad del agua utilizada en la producción de tomate y chile pimienta del departamento de Chiquimula, para plantear recomendaciones orientadas a su manejo en las unidades de producción.

5.1.2 Específicos

- a) Determinar las propiedades físicas, químicas y bacteriológicas del agua utilizada para la producción de tomate y chile en las unidades de producción, para precisar las recomendaciones de su manejo.
- b) Proponer lineamientos generales para el manejo del agua en las unidades de producción.

5.2 Área de estudio

La investigación se realizó en el departamento de Chiquimula, en las áreas de producción de los cultivos tomate y chile, en 6 municipios productores (Chiquimula, San Juan Ermita, Jocotán, Camotán, Esquipulas, Ipala).

Para identificar las áreas y sus respectivas localidades de producción, se utilizó el diagnóstico realizado por CATIE en el año 2009, en donde se identificaban 27 localidades de producción en 6 municipios.

Se realizó una visita para identificar cada una de las áreas de producción y se determinó que para el año 2012 existía una variación en las localidades de producción, ya que algunos productores cambiaron su sistema de cultivo en los

últimos años y otros iniciaron el establecimiento de sus campos hortícolas, como es el caso del municipio de San Juan Ermita.

En el cuadro 1, se observan las áreas de producción, las coordenadas de cada una de las unidades de producción y el tipo de fuente utilizada para fines de riego y labores agrícolas.

Cuadro 1. Áreas productoras de hortalizas del departamento de Chiquimula, 2012.

No.	Coordenadas			Ubicación de Muestreo	Fuente de agua
	Latitud	Longitud	Altitud		
1	14 31 29.2	89 36 11.7	862 m	Aldea Amatillo-Ipala	Charca
2	14 32 39.0	89 36 25.6	898 m	Aldea Amatillo-Ipala	Pozo
3	14 32 21.7	89 36 34.3	900 m	Aldea Amatillo-Ipala	Pozo
4	14 32 04.9	89 36 41.4	904 m	Aldea Amatillo-Ipala	Pozo
5	14 40 14.9	89 37 32.3	837 m	Aldea Amatillo-Ipala	Pozo
6	14 34 45.6	89 18 02.8	888 m	Aldea Jicamapa-Ipala	Pozo
7	14 34 53.6	89 18 57.4	906 m	Aldea Atulapa-Esquipulas	Río Atulapa
8	14 35 36.0	89 20 33.6	932 m	Aldea Atulapa-Esquipulas	Nacimiento
9	14 35 23.6	89 19 32.7	910 m	San Calletano-esquipulas	Charca
10	14 37 51.6	89 18 16.5	928 m	Aldea Nejapa-Esquipulas	Quebrada
11	14 45 46.2	89 25 56.0	612 m	Aldea Olopita-Esquipulas	Charca
12	14 45 44.8	89 25 58.9	599 m	Aldea Cuevitas-Esquipulas	Río
13	14 45 46.2	89 25 56.0	443 m	Municipio San Juan Ermita	Pozo
14	14 45 44.8	89 25 58.9	981 m	Municipio San Juan Ermita	Río
15	14 53 27.6	89 19 08.5	1207 m	Municipio de Jocotan	Quebrada
16	14 51 35.4	89 18 10.4	548 m	Aldea Plan de Candelero-Jocotan	Nacimiento
17	14 51 37.4	89 17 40.9	519 m	Aldea La Lima-Jocotan	Nacimiento
18	14 45 57.1	89 31 23.8	375 m	Jocotan	Quebrada
19	14 49 19.3	89 22 04.0	458 m	Camotan	Pozo
20	14 49 19.3	89 22 03.8	418 m	Camotan	Río Jupilingo
21	14 45 48.1	89 31 23.8	388m	Colonia Shusho-Chiquimula	Río Shusho
22	14 45 57.1	89 31 23.8	382 m	Aldea Sabana Grande	Pozo
23	14 45 26.3	89 32 20.3	382 m	Aldea Sabana Grande-Chiquimula	Pozo
24	14 45 26.8	89 31 43.6	394 m	Aldea el Obraje Chiquimula	Pozo
25	14 45 25.8	89 31 43.6	382m	Aldea Petapilla-Chiquimula	Quebrada

Fuente: elaboración propia

Se referenció geográficamente cada punto de muestreo donde se utiliza el agua para riego agrícola, para generar un mapa base de las fuentes utilizadas para la producción de tomate y chile pimiento. Como se muestra en la figura 1.



Fuente: elaboración propia, 2012

Figura 1. Ubicación de las localidades de producción de hortalizas estudiadas, en el departamento de Chiquimula.

Se clasificaron las unidades de producción de acuerdo a las fuentes de agua utilizada (pozos, quebradas, río, charca, nacimiento), realizando dos muestreos (época seca y lluviosa). Seguidamente a la toma de muestras, se hizo el traslado al laboratorio ambiental del CUNORI donde se determinó la concentración de los parámetros evaluados en el agua.

5.3 Manejo de las muestras

El procedimiento para la toma de las muestras varió de acuerdo al tipo de fuente y condiciones del cuerpo de agua. Se consideraron técnicas de captación, manejo y transporte de las muestras para cada tipo de fuente, de acuerdo a las recomendaciones de la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA), por la Asociación de Salud Pública Americana y Asociación de trabajos del Agua de los Estados Unidos (APHA, 1985).

Para captar la muestra de agua de cada una de las fuentes monitoreadas, se utilizaron envases de polivinilclorido rígido (P.V.C) de 2 tamaños. Dos Envases de 1 litro cada uno para los análisis físico químicos y un envase de 125 ml para el análisis microbiológico.

Para la toma de cada una de las muestras se emplearon las siguientes técnicas:

5.3.1 Muestreo realizado para agua subterránea (pozo)

- a) Se identificó cada envase utilizado un marcador indeleble.
- b) Se descargó el agua con la bomba, tomando la muestra en la salida más próxima.
- c) El agua se dejó fluir durante 5 minutos.
- d) La primera muestra fue de 125 ml para el análisis microbiológico.
- e) Después se llenaron dos envases plásticos de 1 litro cada uno.
- f) Las muestras de agua fueron refrigeradas.
- g) Finalmente se trasladaron las muestras al laboratorio el mismo día de su captación.

5.3.2 Muestreo realizado para agua de río

- a) Se identificó cada envase utilizando un marcador indeleble.

- b) Se buscó la sección del río donde el flujo del agua recorre con mayor velocidad.
- c) Para el llenado se inclinó el envase en contra la corriente del agua.
- d) La primera muestra fue de 125 ml para el análisis microbiológico.
- e) Seguidamente se llenaron los envases de 1 litro cada uno.
- f) Las muestras de agua fueron refrigeradas.
- g) Finalmente se trasladaron las muestras al laboratorio el mismo día de su captación.

5.3.3 Muestreo realizado en charca y nacimientos

- a) Se identificaron los envases con marcador indeleble.
- b) Los mismos fueron enjuagados con agua de la charca.
- c) Se sumergieron los envases hasta llenarse.
- d) La primera muestra fue de 125 ml para el análisis microbiológico.
- e) Seguidamente se llenaron dos envases de 1 litro cada uno.
- f) Las muestras de agua fueron refrigeradas.
- g) Finalmente se trasladaron las muestras al laboratorio el mismo día de captación.

5.3.4 Transporte de las muestras de agua

El tiempo de traslado de las muestras desde su captación hasta el laboratorio no fue mayor a las 24 horas, con el fin de evitar alteraciones en los parámetros de alcalinidad, nitritos, fosfatos, sólidos, color etc. Durante su transporte las muestras fueron refrigeradas en una hielera a 4° C para no influir en los resultados de las muestras relacionadas a sus características. Esta refrigeración se mantuvo después de su llegada al laboratorio y los análisis se iniciaron a las dos horas de recibidas las muestras.

5.4 Parámetros físicos, químicos y bacteriológicos del agua

Para determinar la calidad de agua de uso agrícola se analizaron considerando los parámetros siguientes: conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, turbidez, demanda bioquímica de oxígeno, nitratos, fosfatos, dureza total, pH, coliformes fecales.

5.4.1 Metodología de análisis para determinar la calidad del agua

Se utilizaron los métodos recomendados por “Estándar Methods of the examination of Water and Wastewater” (método estándares para examinar agua) y que son utilizados normalmente por los laboratorios de agua (APHA, 1985).

a) Determinación de parámetros físicos:

Miden aquellas características del agua que pueden ser percibidas por los sentidos y que en algunos casos crean problemas de rechazo por parte del usuario. Los parámetros físicos analizados fueron: temperatura, conductividad, sólidos disueltos totales y turbidez.

- ✓ **Temperatura:** La lectura se hizo a nivel de campo con un medidor multiparámetro, el cual contiene dos sondas con dos electrodos, los cuales se enjuagaron con agua destilada utilizando una pizeta.
- ✓ **Turbidez:** se midió utilizando un turbidímetro previamente calibrado, introduciendo un tubo de ensayo en forma progresiva con una fracción del líquido a analizar. Para cada cambio de muestra se enjuagó el tubo con agua destilada.
- ✓ **Sólidos totales:** se colocó una cápsula de porcelana previamente tarada e identificada dentro de un horno a 85° C por 2 horas y con la ayuda de una pinza se sacó para su pesado en una balanza analítica.

Se tomó el peso inicial de la cápsula de porcelana y seguidamente se agregó 25 ml del agua a analizar, agitando el envase de la muestra durante dos minutos para su homogenización. Después se vuelve a ingresar la cápsula al horno a una temperatura de 85° C durante 24 horas para que el agua se evapore.

Finalmente se sacó la cápsula del horno con la ayuda de una pinza para dejarla enfriar por unos minutos antes de colocarla en la balanza analítica y tomar la segunda lectura, se anotó el peso final y se calcularon las diferencias.

b) Determinaciones de parámetros químicos:

Permite determinar la concentración de sustancias de naturaleza mineral y orgánica que pudiesen afectar la calidad del agua, los parámetros evaluados fueron los siguientes:

- ✓ **DBO₅:** se necesitó de un envase especial de DBO agregando 30 ml de muestra y 1 ml de las soluciones A, B, C, D. El volumen faltante se completó con agua destilada hasta el cuello del envase. Seguidamente se determinó el oxígeno disuelto utilizando una sonda de oxímetro. Después de sacar el detector se completó el volumen con agua destilada hasta el cuello del envase, evitando que no queden burbujas de aire dentro del mismo para su incubación a 20° C durante 5 días exactos. Finalmente se realizó una segunda lectura determinando el oxígeno disuelto (O.D) y la diferencia entre ambas medidas de (O.D) fue el dato de DBO₅.
- ✓ **Nitrógeno y sulfatos:** Con base a la metodología de la APHA (1985), se determinaron los niveles de nitrógeno en forma de nitratos y sulfatos, utilizando reactivos específicos y una espectrofotometría visible.

- ✓ **Dureza total:** se determinó por titulación con el uso de EDTA (ácido etilendiamintetraacético), método basado en la cuantificación de los iones calcio y magnesio y su posterior conversión a Dureza Total expresada como CaCO_3 .
- ✓ **Potencial de hidrogeno (pH):** su medición se realizó en campo utilizando el método electrométrico, por medio de un electrodo de vidrio previamente calibrado.
- ✓ **Conductividad:** la lectura se realizó en el campo por medio de las sondas de medidor multiparámetros, éstas transmiten la corriente eléctrica al agua y según las sales disueltas en la muestra, así será la lectura.

5.4.2 Método de análisis para los parámetros bacteriológicos

Los indicadores más usados son los llamados organismos coliformes. La determinación de los organismos coliformes se realizó empleando la técnica de los tubos múltiples.

Análisis de coliformes: Se analizaron coliformes fecales, utilizando el método del Número Más Probable o Tubos Múltiples modificación con LMX (15 tubos). Las muestras se incubaron a 37°C por 24 horas. Los resultados se leyeron por un cambio de color, reacción Indol positiva o negativa y presencia o ausencia de fluorescencia. Relacionando los resultados con una tabla de número más probable para juegos de 15 tubos.

5.4.3 Propuesta de lineamientos generales para el uso del agua en áreas productoras de hortalizas del departamento de Chiquimula

Se plantearon lineamientos generales basados en los criterios propuestos por las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) para el manejo del agua utilizada en la producción de tomate y chile del departamento de Chiquimula.

VI. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados de los nueve parámetros analizados, para cada una de las fuentes monitoreadas, los parámetros se presentan en el siguiente orden: potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), dureza (CaCO_3), Nitratos (NO_3), fosfatos (PO_4), sólidos totales disueltos, turbidez, demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y coliformes fecales.

Para cada parámetro se elaboró un cuadro de resultados, en donde se indica, el número de fuente monitoreada, las coordenadas de ubicación de la fuente, el tipo de fuente de agua y los datos obtenidos para la época seca y época lluviosa; así mismo se presentan dos gráficas de resultados, una para cada época de monitoreo.

Al final se presentan lineamientos generales, que se proponen como estrategia para el manejo adecuado del agua en los valles productores de hortalizas. Los lineamientos fueron elaborados tomando en consideración los parámetros que mayor incidencia tienen en el agua utilizada para riego y uso agrícola.

6.1 Potencial de hidrógeno (pH)

El cuadro 2 reporta los datos de pH obtenidos en los puntos de muestreo de los valles productores de hortalizas del departamento de Chiquimula, correspondientes a la época seca y lluviosa.

Cuadro 2. Resultados de pH del agua en las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, durante las épocas seca y lluviosa del departamento de Chiquimula, 2012.

No.	Coordenadas			Ubicación de Muestreo	Fuente de agua	pH (unidades)	
	Latitud	Longitud	Altitud			Época lluviosa	Época seca
1	14 31 29.2	89 36 11.7	862 m	Aldea Amatillo-Ipala	Charca	6,11	0
2	14 32 39.0	89 36 25.6	898 m	Aldea Amatillo-Ipala	Pozo	7,4	7,3
3	14 32 21.7	89 36 34.3	900 m	Aldea Amatillo-Ipala	Pozo	7,72	7,35
4	14 32 04.9	89 36 41.4	904 m	Aldea Amatillo-Ipala	Pozo	8,24	7,91
5	14 40 14.9	89 37 32.3	837 m	Aldea Amatillo-Ipala	Pozo	7,78	7,89
6	14 34 45.6	89 18 02.8	888 m	Aldea Jicamapa-Ipala	Pozo	7,04	7
7	14 34 53.6	89 18 57.4	906 m	Aldea Atulapa-Esquipulas	Río Atulapa	7,87	7,19
8	14 35 36.0	89 20 33.6	932 m	Aldea Atulapa-Esquipulas	Nacimiento	6,24	6,71
9	14 35 23.6	89 19 32.7	910 m	San Calletano-esquipulas	Charca	8,33	7,36
10	14 37 51.6	89 18 16.5	928 m	Aldea Nejapa-Esquipulas	Quebrada	8,15	8,16
11	14 45 46.2	89 25 56.0	612 m	Aldea Olopita-Esquipulas	Charca	8,58	7,9
12	14 45 44.8	89 25 58.9	599 m	Aldea Cuevitas-Esquipulas	Río	8,43	8,48
13	14 45 46.2	89 25 56.0	443 m	Municipio San Juan Ermita	Pozo	7,05	6,98
14	14 45 44.8	89 25 58.9	981 m	Municipio San Juan Ermita	Río	8,18	0
15	14 53 27.6	89 19 08.5	1207 m	Municipio de Jocotan	Quebrada	8,32	0
16	14 51 35.4	89 18 10.4	548 m	Aldea Plan de Candelero-Jocotan	Nacimiento	7,24	7,24
17	14 51 37.4	89 17 40.9	519 m	Aldea La Lima-Jocotan	Nacimiento	6,79	6,74
18	14 45 57.1	89 31 23.8	375 m	Jocotan	Quebrada	7,1	7,22
19	14 49 19.3	89 22 04.0	458 m	Camotan	Pozo	8,14	8,33
20	14 49 19.3	89 22 03.8	418 m	Camotan	Río Jupilingo	8,17	8,3
21	14 45 48.1	89 31 23.8	388m	Colonia Shusho-Chiquimula	Rio Shusho	8,59	0
22	14 45 57.1	89 31 23.8	382 m	Aldea Sabana Grande	Pozo	6,18	6,3
23	14 45 26.3	89 32 20.3	382 m	Aldea Sabana Grande-Chiquimula	Pozo	6,5	6,5
24	14 45 26.8	89 31 43.6	394 m	Aldea el Obraje Chiquimula	Pozo	6,55	7
25	14 45 25.8	89 31 43.6	382m	Aldea Petapilla-Chiquimula	Quebrada	8,4	8,21

Fuente: elaboración propia, 2012.

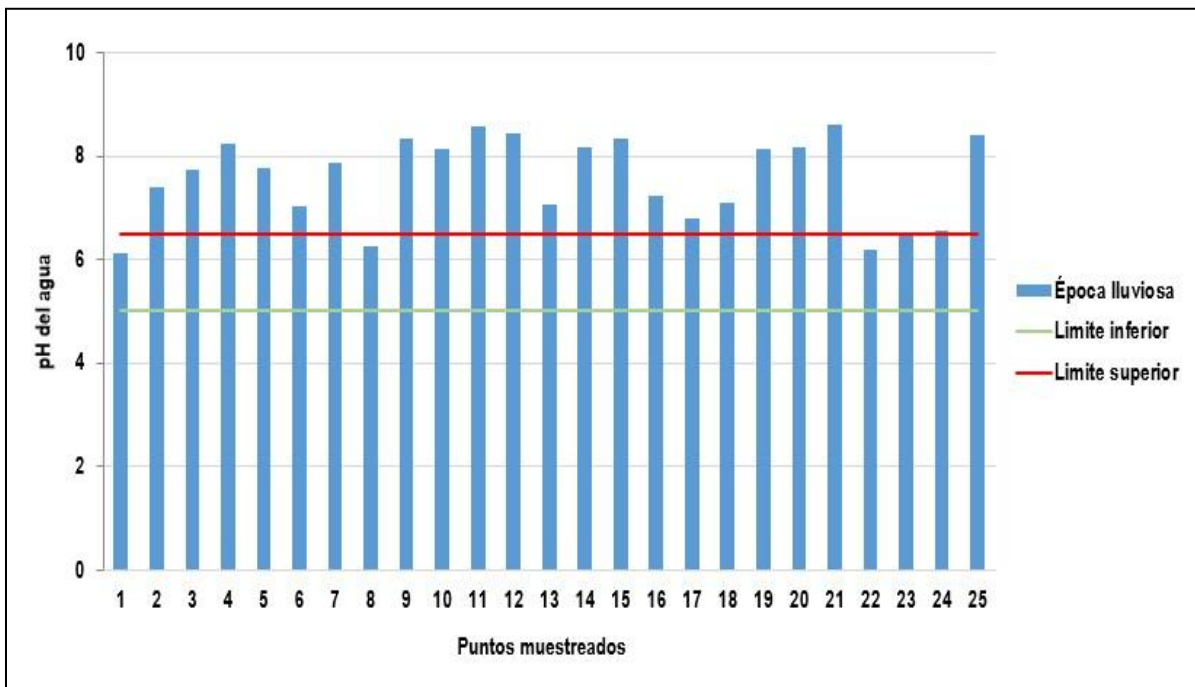
Límite inferior= 5,2

Límite superior=6.5

En la figura 2, se observan los resultados de los valores para pH de cada punto de muestreo, correspondiente a la época lluviosa en el departamento de Chiquimula.

Según Sierra, (1980), los límites inferior y superior para evaluar la calidad del agua de riego en función del pH son de 5,2 - 6,5.

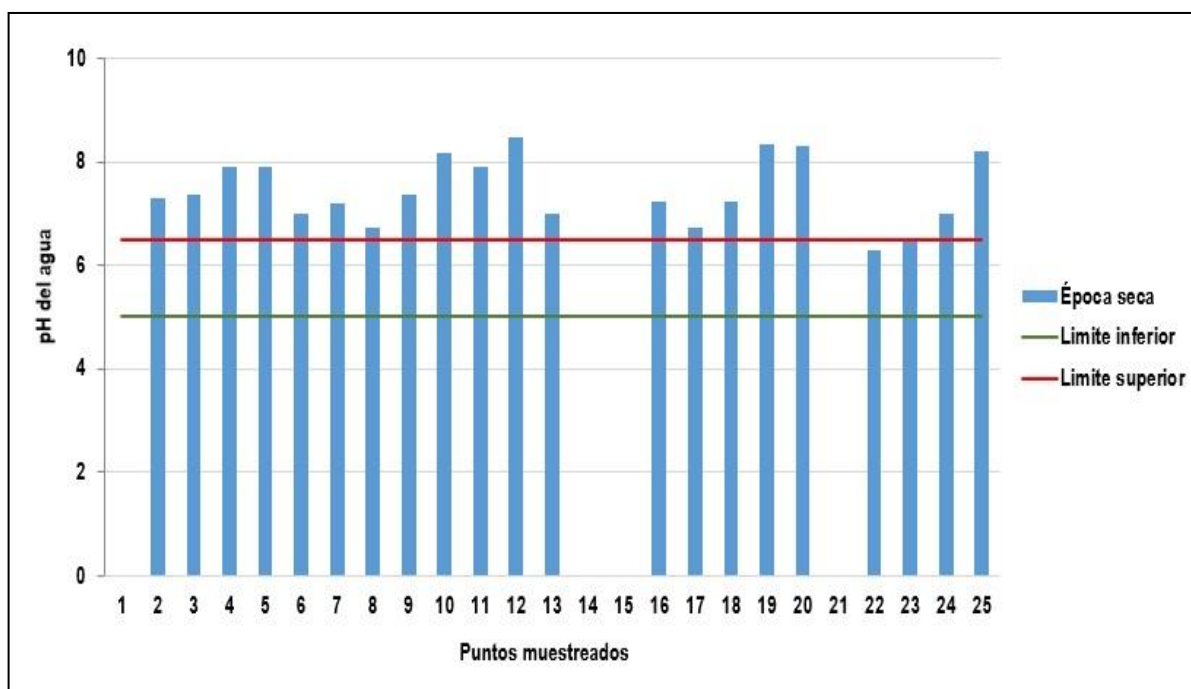
Se determinó que únicamente los puntos de muestreo 1, 8, 22, 23 y 24 se encuentran dentro del rango adecuado, considerándose el agua como ligeramente ácidas. Todos los demás puntos reportaron valores superiores a los rangos recomendados, considerándoseles como no óptima para su uso en la producción de hortalizas, por presentar valores fuera de los límites permisibles.



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Figura 2. Resultados del pH del agua en las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, durante la época lluviosa; Chiquimula 2012.

La figura 3, muestran los resultados de cada punto de muestreo correspondiente a la época seca en el departamento de Chiquimula, observando que únicamente los puntos 22 y 23 se encuentran dentro del rango adecuado, considerando éstas fuentes como recomendables para su uso en la producción de hortalizas; las demás fuentes por estar fuera de los rangos permisibles, no se recomienda para uso agrícola.



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Figura 3. Resultados del pH del agua en las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, durante la época seca; Chiquimula 2012.

Al comparar las dos gráficas, se observa que existe una marcada diferencia entre los dos muestreos, observando una mayor concentración del pH, en las fuentes de agua durante la época seca, en comparación con la época lluviosa.

En los casos de las fuentes de agua que superaron los límites permisibles, se recomienda utilizar correctores de pH, ya que los valores altos pueden causar obstrucciones en fertirriego y limitar la eficiencia de los pesticidas.

Valores de pH por arriba de 6,5 contribuyen a disminuir la disponibilidad de algunos elementos en el suelo como fósforo, calcio, hierro; a través de la formación precipitados, afectando el óptimo desarrollo de la planta.

El uso de agua alcalina produce una reacción química en los pesticidas que reduce la efectividad del producto, particularmente en organofosforados y carbamatos; esta reacción se conoce como hidrolisis alcalina. Es decir, que cierta parte del ingrediente activo se destruye de forma inocua antes de que alcance a la plaga.

6.2 Conductividad eléctrica (C.E.)

Se refiere a la concentración y composición de las sales disueltas en solución. Los fertilizantes inorgánicos tienen un efecto directo en la (C.E.). La salinidad afecta el crecimiento de las plantas, disminuyendo su rendimiento. En el cuadro 3 se muestran los resultados obtenidos en los puntos de muestreo. Según la FAO, valores inferiores a 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ representan niveles bajos de salinidad.

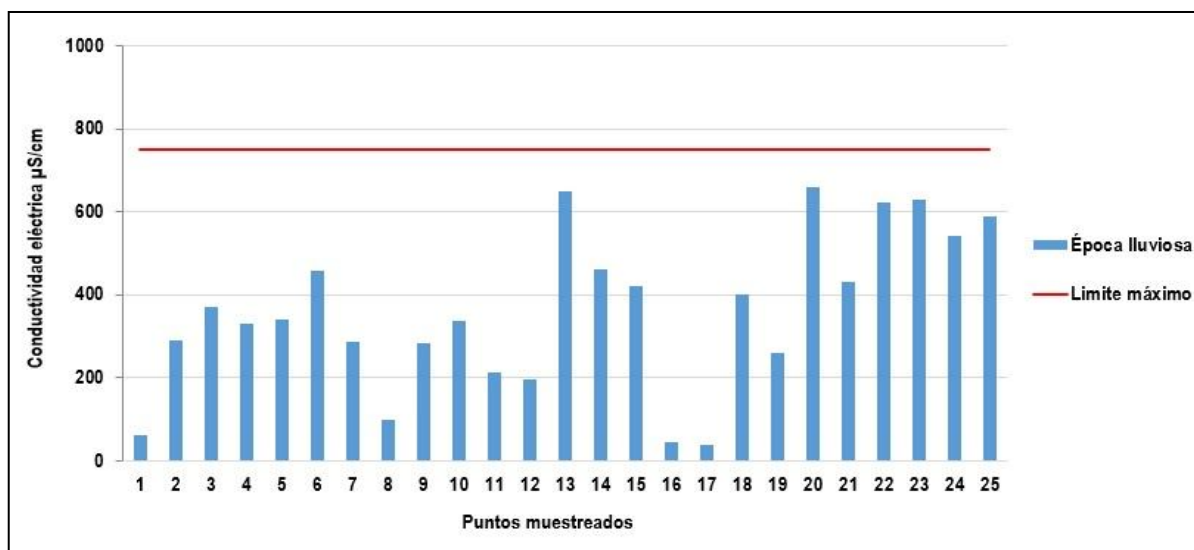
Cuadro 3. Resultados de conductividad eléctrica del agua en las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, durante las épocas seca y lluviosa del departamento de Chiquimula, 2012.

No.	Coordenadas			Ubicación de Muestreo	Fuente de agua	C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	
	Latitud	Longitud	Altitud			Época lluviosa	Época seca
1	14 31 29.2	89 36 11.7	862 m	Aldea Amatillo-Ipala	Charca	62,77	0
2	14 32 39.0	89 36 25.6	898 m	Aldea Amatillo-Ipala	Pozo	289,33	208
3	14 32 21.7	89 36 34.3	900 m	Aldea Amatillo-Ipala	Pozo	368,66	190
4	14 32 04.9	89 36 41.4	904 m	Aldea Amatillo-Ipala	Pozo	329,33	197
5	14 40 14.9	89 37 32.3	837 m	Aldea Amatillo-Ipala	Pozo	340,76	180
6	14 34 45.6	89 18 02.8	888 m	Aldea Jicamapa-Ipala	Pozo	457	249
7	14 34 53.6	89 18 57.4	906 m	Aldea Atulapa-Esquipulas	Río Atulapa	287,66	184
8	14 35 36.0	89 20 33.6	932 m	Aldea Atulapa-Esquipulas	Nacimiento	98,66	97,2
9	14 35 23.6	89 19 32.7	910 m	San Calletano-Esquipulas	Charca	284,3	233,4
10	14 37 51.6	89 18 16.5	928 m	Aldea Nejapa-Esquipulas	Quebrada	335,66	176,5
11	14 45 46.2	89 25 56.0	612 m	Aldea Olopita-Esquipulas	Charca	214,1	102,9
12	14 45 44.8	89 25 58.9	599 m	Aldea Cuevitas-Esquipulas	Río	197,2	173,1
13	14 45 46.2	89 25 56.0	443 m	Municipio San Juan Ermita	Pozo	649	364
14	14 45 44.8	89 25 58.9	981 m	Municipio San Juan Ermita	Río	461	0
15	14 53 27.6	89 19 08.5	1207 m	Municipio de Jocotán	Quebrada	420,66	0
16	14 51 35.4	89 18 10.4	548 m	Aldea Plan de Candelero-Jocotán	Nacimiento	46	29,9
17	14 51 37.4	89 17 40.9	519 m	Aldea La Lima-Jocotán	Nacimiento	38,6	93,9
18	14 45 57.1	89 31 23.8	375 m	Jocotán	Quebrada	401	276
19	14 49 19.3	89 22 04.0	458 m	Camotán	Pozo	259	114
20	14 49 19.3	89 22 03.8	418 m	Camotán	Río Jupilingo	657,66	55,2
21	14 45 48.1	89 31 23.8	388m	Colonia Shusho-Chiquimula	Río Shusho	430	0
22	14 45 57.1	89 31 23.8	382 m	Aldea Sabana Grande	Pozo	621	392
23	14 45 26.3	89 32 20.3	382 m	Aldea Sabana Grande	Pozo	628	497
24	14 45 26.8	89 31 43.6	394 m	Aldea el Obraje Chiquimula	Pozo	541	494
25	14 45 25.8	89 31 43.6	382m	Aldea Petapilla-Chiquimula	Quebrada	590	255

Fuente: Elaboración propia.

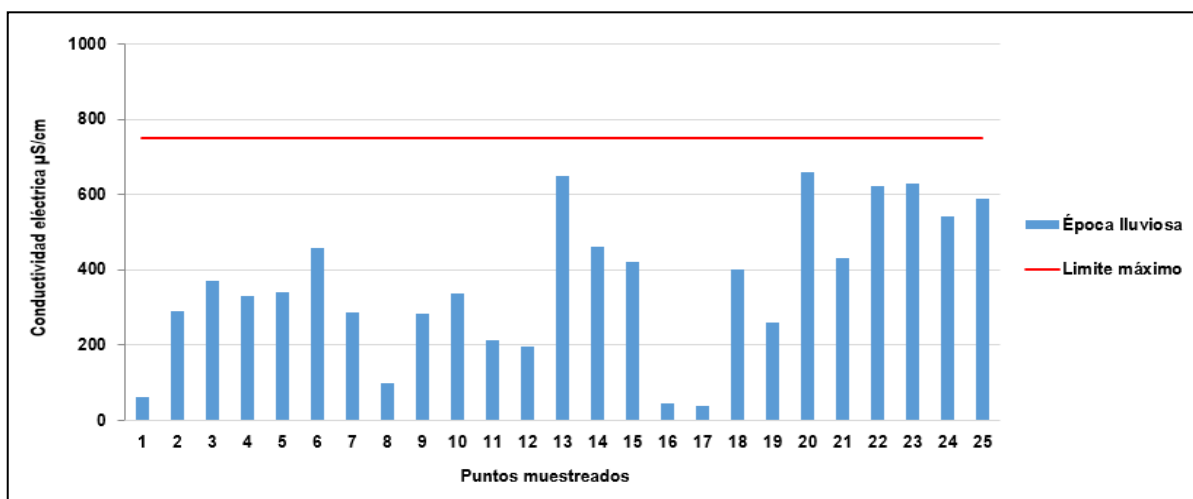
Límite máximo 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Las figuras 4 y 5, se muestran los resultados de la conductividad eléctrica del agua en los puntos de muestreo. Observando que en ninguna de las dos épocas de monitoreo (época seca y época lluviosa) sobrepasaron los límites máximos permisibles que establece la FAO (750 $\mu\text{S}/\text{cm}$) para la conductividad eléctrica.



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Figura 4. Resultados de la conductividad eléctrica del agua en las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, durante la época lluviosa; Chiquimula 2012.



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Figura 5. Resultados de la conductividad eléctrica del agua en las fuentes utilizadas para riego en diferentes valles productores de hortalizas, durante la época seca; Chiquimula 2012.

Al comparar las gráficas de los dos monitoreos, se observa que no existe una diferencia significativa entre cada una de las épocas. Sin embargo, al presentarse concentraciones arriba de los $750 \mu\text{S/cm}$, las plantas pueden mostrar limitaciones de hidratación, causado la reducción del rendimiento.

6.3 Dureza en CaCO₃

La dureza se refiere a la concentración de carbonatos de calcio y magnesio en una solución, dichos cationes varían significativamente según el tipo de fuente. En el cuadro 4 se puede observar los valores obtenidos en el muestreo. Según (FAO, 1997) valores entre 120-180 mg/l corresponden a aguas duras y mayores a 180 mg/l a muy duras.

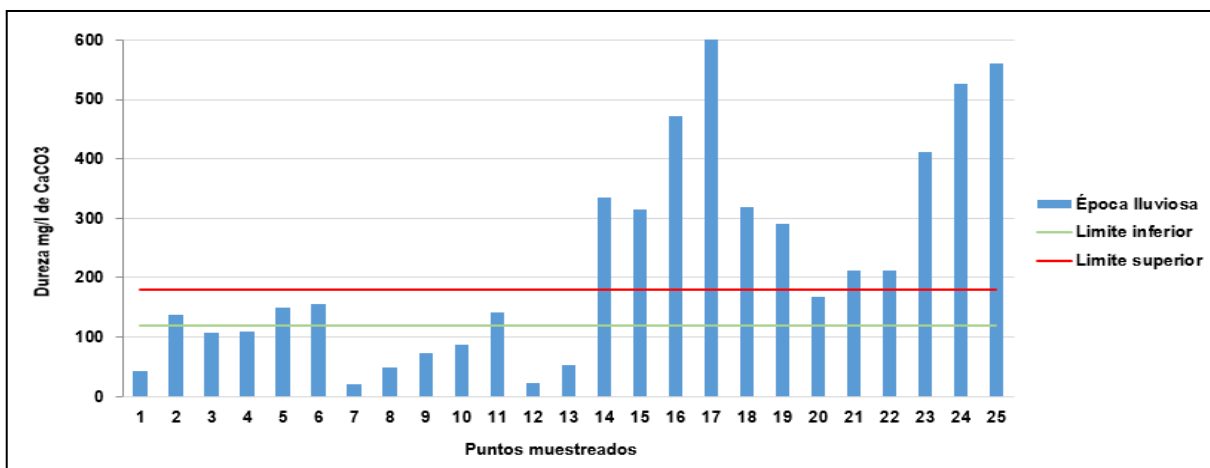
Cuadro 4. Resultados de dureza del agua en las fuentes utilizadas para riego de los valles productores de hortalizas, durante las épocas seca y lluviosa del departamento de Chiquimula, 2012.

No.	Coordenadas			Ubicación de Muestreo	Fuente de agua	CaCO ₃ (mg/l)	
	Latitud	Longitud	Altitud			Época lluviosa	Época seca
1	14 31 29.2	89 36 11.7	862 m	Aldea Amatillo-Ipala	Charca	42,24	0
2	14 32 39.0	89 36 25.6	898 m	Aldea Amatillo-Ipala	Pozo	137,28	105,6
3	14 32 21.7	89 36 34.3	900 m	Aldea Amatillo-Ipala	Pozo	106,656	102,5
4	14 32 04.9	89 36 41.4	904 m	Aldea Amatillo-Ipala	Pozo	109,12	99,23
5	14 40 14.9	89 37 32.3	837 m	Aldea Amatillo-Ipala	Pozo	149,95	105,6
6	14 34 45.6	89 18 02.8	888 m	Aldea Jicamapa-Ipala	Pozo	156,28	95,04
7	14 34 53.6	89 18 57.4	906 m	Aldea Atulapa-Esquipulas	Río Atulapa	21,12	116,16
8	14 35 36.0	89 20 33.6	932 m	Aldea Atulapa-Esquipulas	Nacimiento	48,57	63,36
9	14 35 23.6	89 19 32.7	910 m	San Calletano-Esquipulas	Charca	72,86	108,5
10	14 37 51.6	89 18 16.5	928 m	Aldea Nejapa-Esquipulas	Quebrada	86,59	120,5
11	14 45 46.2	89 25 56.0	612 m	Aldea Olopita-Esquipulas	Charca	142,56	126,72
12	14 45 44.8	89 25 58.9	599 m	Aldea Cuevitas-Esquipulas	Río	22,17	116,16
13	14 45 46.2	89 25 56.0	443 m	Municipio San Juan Ermita	Pozo	52,8	120,3
14	14 45 44.8	89 25 58.9	981 m	Municipio San Juan Ermita	Río	335,8	0
15	14 53 27.6	89 19 08.5	1207 m	Municipio de Jocotán	Quebrada	315,74	0
16	14 51 35.4	89 18 10.4	548 m	Aldea Plan de Candelero-Jocotán	Nacimiento	470,97	116,6
17	14 51 37.4	89 17 40.9	519 m	Aldea La Lima-Jocotán	Nacimiento	677,92	52,8
18	14 45 57.1	89 31 23.8	375 m	Jocotán	Quebrada	318,91	134,82
19	14 49 19.3	89 22 04.0	458 m	Camotán	Pozo	290,4	158,4
20	14 49 19.3	89 22 03.8	418 m	Camotán	Río Jupilingo	167,9	95,4
21	14 45 48.1	89 31 23.8	388m	Colonia Shusho-Chiquimula	Río Shusho	211,2	0
22	14 45 57.1	89 31 23.8	382 m	Aldea Sabana Grande	Pozo	211,2	158,4
23	14 45 26.3	89 32 20.3	382 m	Aldea Sabana Grande	Pozo	411,84	137,28
24	14 45 26.8	89 31 43.6	394 m	Aldea el Obraje-Chiquimula	Pozo	526,8	140,4
25	14 45 25.8	89 31 43.6	382m	Aldea Petapilla-Chiquimula	Quebrada	559,9	167,3

Fuente: Elaboración propia.

Límite inferior 120 mg/l. Límite superior 180 mg/l

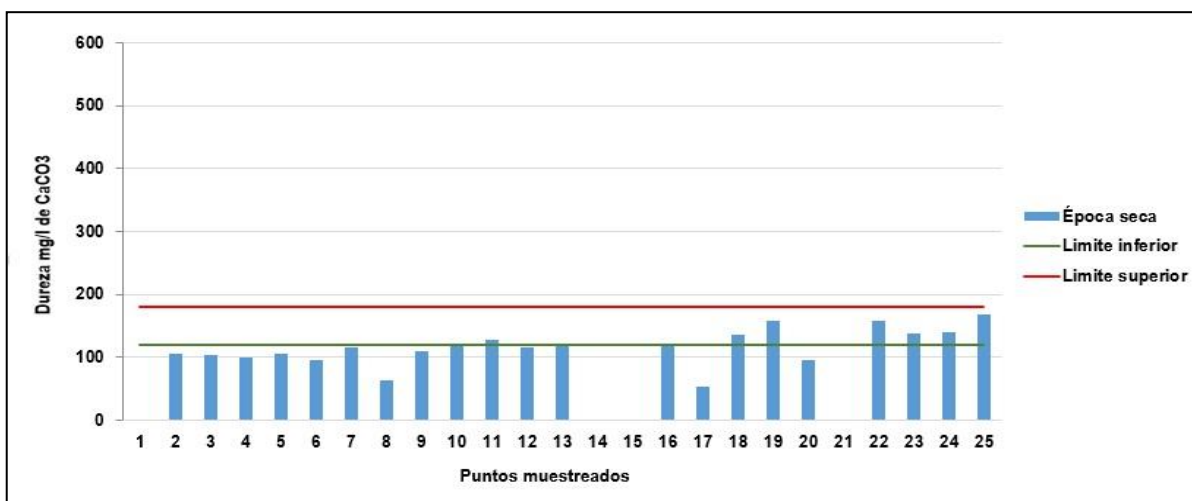
La gráfica 5 mostró que únicamente los puntos 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 24 y 25; reportaron valores mayores al límite máximo en la época de lluvia. En el resto de los casos, se obtuvo valores menores a dicho límite.



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Figura 6. Resultados de la dureza del agua en las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, durante la época lluviosa; Chiquimula 2012.

La figura 6 corresponde al muestreo en la época seca del año, donde no se observaron valores mayores al límite superior.



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Figura 7. Resultados de la dureza del agua en las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, durante la época seca; Chiquimula 2012.

Los puntos 13 y 20 mostraron mayor conductividad y menor dureza, interpretando que la presencia de sales en la solución contiene menor concentración de calcio y magnesio en comparación a otros cationes. Los puntos que reportaron mayor concentración de calcio y magnesio, los resultados pueden asociarse a la altitud, clima, suelo y prácticas de manejo de los cultivos del valle.

6.4 Nitratos NO₃

Son una forma de nitrógeno presente en el agua de riego, altos niveles de nitratos en aguas de riego se deben principalmente a la agricultura y ganadería intensivas. Cuando una forma de nitrógeno se determina en el agua de riego, se recomienda restarlo a la fertilización (FAO, 1997). El cuadro 5 reporta los valores obtenidos en el muestreo de las fuentes de agua.

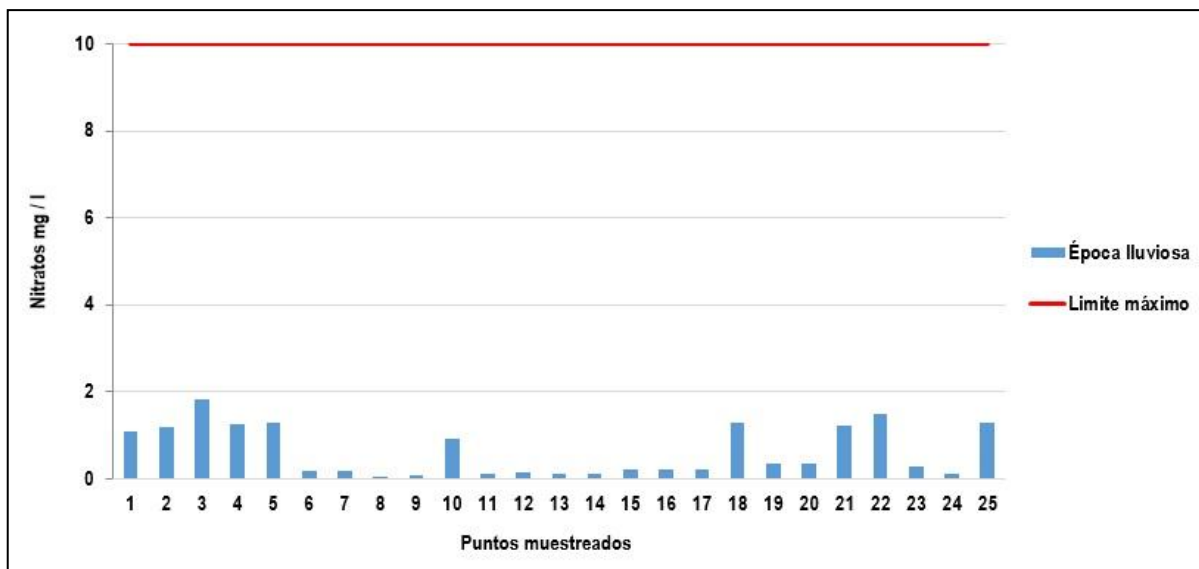
Cuadro 5. Resultados de la concentración de nitratos en las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, durante las época seca y lluviosa del departamento de Chiquimula, 2012.

No.	Coordenadas			Ubicación de Muestreo	Fuente de agua	Nitratos NO ₃ (mg/l)	
	Latitud	Longitud	Altitud			Época lluviosa	Época seca
1	14 31 29.2	89 36 11.7	862 m	Aldea Amatillo-Ipala	Charca	1,067	0
2	14 32 39.0	89 36 25.6	898 m	Aldea Amatillo-Ipala	Pozo	1,187	0,364
3	14 32 21.7	89 36 34.3	900 m	Aldea Amatillo-Ipala	Pozo	1,821	0,886
4	14 32 04.9	89 36 41.4	904 m	Aldea Amatillo-Ipala	Pozo	1,267	1,187
5	14 40 14.9	89 37 32.3	837 m	Aldea Amatillo-Ipala	Pozo	1,298	1,065
6	14 34 45.6	89 18 02.8	888 m	Aldea Jicamapa-Ipala	Pozo	0,173	0,940
7	14 34 53.6	89 18 57.4	906 m	Aldea Atulapa-Esquipulas	Río Atulapa	0,163	0,886
8	14 35 36.0	89 20 33.6	932 m	Aldea Atulapa-Esquipulas	Nacimiento	0,049	0,266
9	14 35 23.6	89 19 32.7	910 m	San Calletano-Esquipulas	Charca	0,067	0,364
10	14 37 51.6	89 18 16.5	928 m	Aldea Nejapa-Esquipulas	Quebrada	0,9	0,489
11	14 45 46.2	89 25 56.0	612 m	Aldea Olopita-Esquipulas	Charca	0,121	0,658
12	14 45 44.8	89 25 58.9	599 m	Aldea Cuevitas-Esquipulas	Río	0,15	0,815
13	14 45 46.2	89 25 56.0	443 m	Municipio San Juan Ermita	Pozo	0,121	0,658
14	14 45 44.8	89 25 58.9	981 m	Municipio San Juan Ermita	Río	0,101	0
15	14 53 27.6	89 19 08.5	1207 m	Municipio de Jocotán	Quebrada	0,224	0
16	14 51 35.4	89 18 10.4	548 m	Aldea Plan de Candelero-Jocotán	Nacimiento	0,196	0,549
17	14 51 37.4	89 17 40.9	519 m	Aldea La Lima-Jocotán	Nacimiento	0,212	1,217
18	14 45 57.1	89 31 23.8	375 m	Jocotán	Quebrada	1,273	1,065
19	14 49 19.3	89 22 04.0	458 m	Camotán	Pozo	0,331	1,152
20	14 49 19.3	89 22 03.8	418 m	Camotán	Río Jupilingo	0,354	6,918
21	14 45 48.1	89 31 23.8	388m	Colonia Shusho-Chiquimula	Río Shusho	1,206	0
22	14 45 57.1	89 31 23.8	382 m	Aldea Sabana Grande	Pozo	1,474	2,016
23	14 45 26.3	89 32 20.3	382 m	Aldea Sabana Grande	Pozo	0,292	1,924
24	14 45 26.8	89 31 43.6	394 m	Aldea el Obraje Chiquimula	Pozo	0,12	6,554
25	14 45 25.8	89 31 43.6	382m	Aldea Petapilla-Chiquimula	Quebrada	1,27	8,011

Fuente: Elaboración propia, 2012.

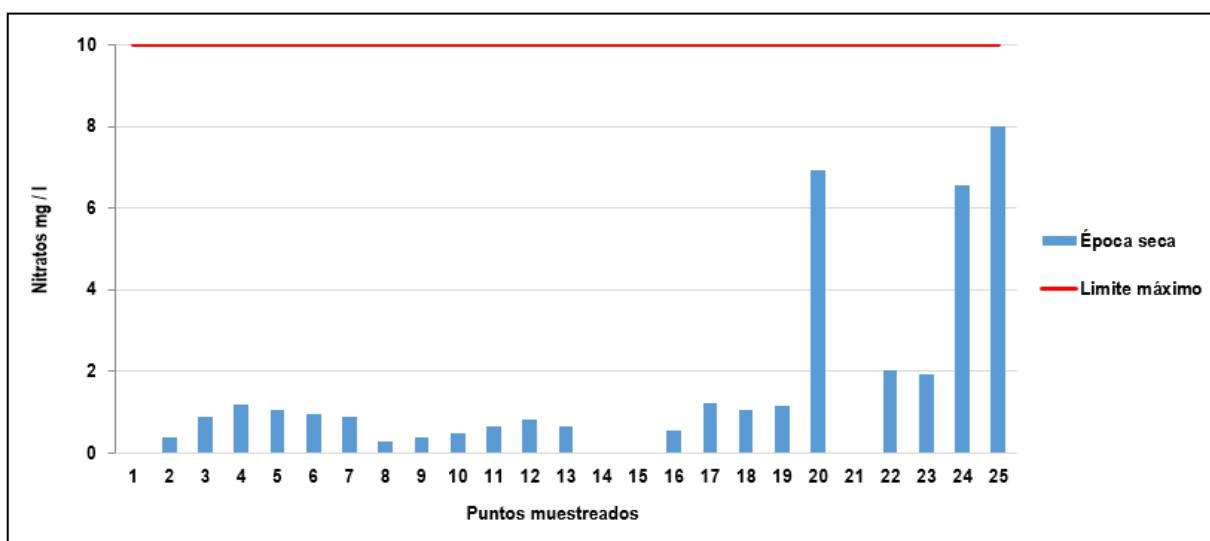
Límite máximo 10 mg/l.

Las figuras 8 y 9, muestran los resultados de las fuentes de agua, observando que en ambas épocas (seca y lluviosa) los valores obtenidos no superaron el límite máximo permitido. Según (FAO, 1997) en su estudio sobre calidad del agua, el rango permitido para actividades agropecuarias se encuentra entre 0,1 y 100 mg/l.



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Figura 8. Concentración de nitrato en el agua de las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, durante la época de lluvia; Chiquimula 2012.



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Figura 9. Concentración de nitrato en el agua en las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, durante la época seca; Chiquimula 2012.

En los puntos de muestreo 20, 24 y 25 se reportaron valores superiores a los 2 mg/l durante la época seca, los resultados pueden estar asociados a la presencia de residuos orgánicos y lixiviación de fertilizantes minerales, lo que pudo incrementar la concentración de los nitratos en cada una de las fuentes de agua para riego indicadas.

6.5 Fosfatos PO₄

Normalmente la concentración de fósforo varía según el tipo de fuente, en agua natural (0.01 a 1 mg/l), aguas residuales domésticas (1 a 15 mg/l) y aguas de drenaje agrícola (0.05 a 1 mg/l). Cantidades superiores de estos nutrientes favorecen el crecimiento de algas que consumen el oxígeno del medio acuático. El cuadro 6 reporta los valores obtenidos en el muestreo de fuentes de agua durante las épocas seca y lluviosa. El límite máximo corresponde a 1,0 mg/l.

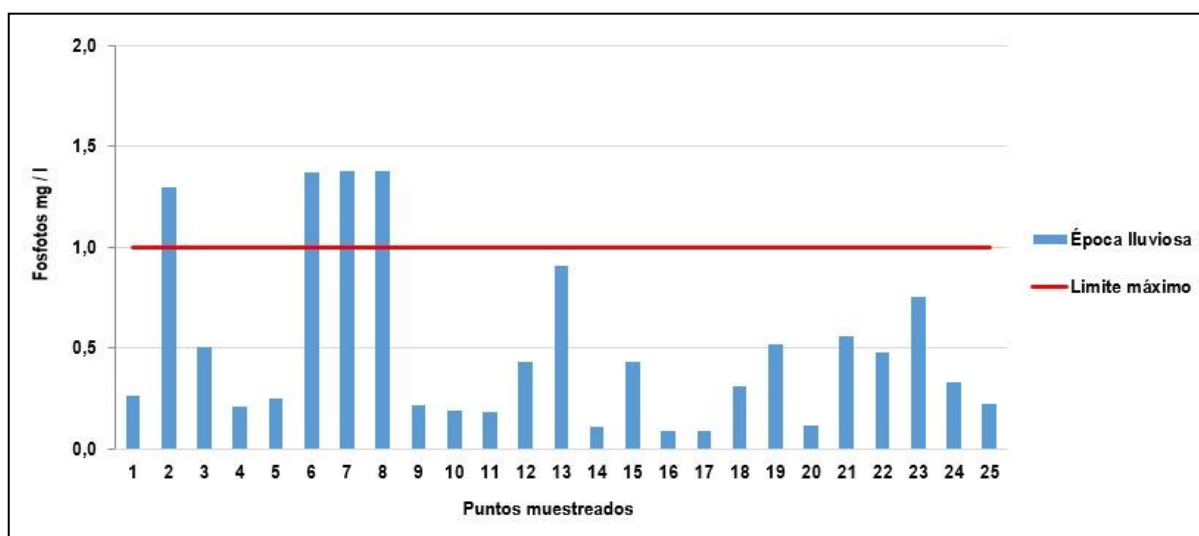
Cuadro 6. Resultados de la concentración de fosfatos en las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, durante las época seca y lluviosa del departamento de Chiquimula, 2012.

No.	Coordenadas			Ubicación de Muestreo	Fuente de agua	Época lluviosa	Época seca
	Latitud	Longitud	Altitud				
1	14 31 29.2	89 36 11.7	862 m	Aldea Amatillo-Ipala	Charca	0,27	0,00
2	14 32 39.0	89 36 25.6	898 m	Aldea Amatillo-Ipala	Pozo	1,30	0,79
3	14 32 21.7	89 36 34.3	900 m	Aldea Amatillo-Ipala	Pozo	0,51	0,62
4	14 32 04.9	89 36 41.4	904 m	Aldea Amatillo-Ipala	Pozo	0,21	0,39
5	14 40 14.9	89 37 32.3	837 m	Aldea Amatillo-Ipala	Pozo	0,25	0,44
6	14 34 45.6	89 18 02.8	888 m	Aldea Jicamapa-Ipala	Pozo	1,37	1,13
7	14 34 53.6	89 18 57.4	906 m	Aldea Atulapa-Esquipulas	Río Atulapa	1,38	1,39
8	14 35 36.0	89 20 33.6	932 m	Aldea Atulapa-Esquipulas	Nacimiento	1,38	1,49
9	14 35 23.6	89 19 32.7	910 m	San Calletano-Esquipulas	Charca	0,21	0,41
10	14 37 51.6	89 18 16.5	928 m	Aldea Nejapa-Esquipulas	Quebrada	0,19	0,11
11	14 45 46.2	89 25 56.0	612 m	Aldea Olopita-Esquipulas	Charca	0,18	0,53
12	14 45 44.8	89 25 58.9	599 m	Aldea Cuevitas-Esquipulas	Río	0,43	0,49
13	14 45 46.2	89 25 56.0	443 m	Municipio San Juan Ermita	Pozo	0,91	0,19
14	14 45 44.8	89 25 58.9	981 m	Municipio San Juan Ermita	Río	0,11	0,00
15	14 53 27.6	89 19 08.5	1207 m	Municipio de Jocotán	Quebrada	0,43	0,00
16	14 51 35.4	89 18 10.4	548 m	Aldea Plan de Candelero-Jocotán	Nacimiento	0,09	0,22
17	14 51 37.4	89 17 40.9	519 m	Aldea La Lima-Jocotán	Nacimiento	0,09	0,33
18	14 45 57.1	89 31 23.8	375 m	Jocotán	Quebrada	0,31	0,38
19	14 49 19.3	89 22 04.0	458 m	Camotán	Pozo	0,52	0,49
20	14 49 19.3	89 22 03.8	418 m	Camotán	Río Jupilingo	0,11	0,31
21	14 45 48.1	89 31 23.8	388m	Colonia Shusho-Chiquimula	Río Shusho	0,56	0,00
22	14 45 57.1	89 31 23.8	382 m	Aldea Sabana Grande	Pozo	0,48	0,93
23	14 45 26.3	89 32 20.3	382 m	Aldea Sabana Grande	Pozo	0,75	0,64
24	14 45 26.8	89 31 43.6	394 m	Aldea el Obraje Chiquimula	Pozo	0,33	0,63
25	14 45 25.8	89 31 43.6	382m	Aldea Petapilla-Chiquimula	Quebrada	0,22	0,71

Fuente: Elaboración propia, 2012.

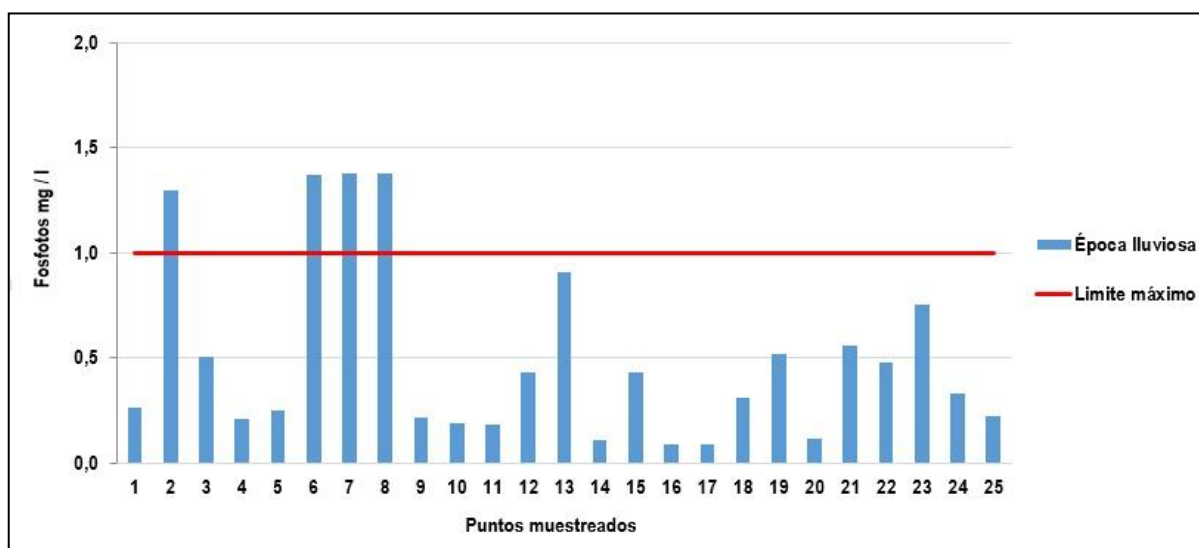
Límite máximo 1,0 mg/l.

Las figuras 10 y 11 muestran que únicamente los puntos de muestreo 2, 6, 7 y 8; superaron el límite máximo en la época de lluvia y seca, respectivamente.



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Figura 10. Concentración de fosfatos en las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, durante la época de lluvia; Chiquimula 2012.



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Gráfica 11. Concentración de fosfatos en las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, durante la época seca; Chiquimula 2012.

Las concentraciones de fósforo que se encuentran en el agua pueden provenir de fertilizantes lixiviados en el suelo, excreciones humanas o animales, detergentes y productos de limpieza. El fósforo (orto-fosfato) se consideran importantes nutrientes de las plantas, y conducen al crecimiento de algas en las aguas superficiales, pudiendo llegar a promover la eutrofización de las aguas.

6.6 Sólidos totales disueltos

Según Rodríguez (2012), clasifica el agua de riego en función de los sólidos disueltos totales de la manera siguiente: 175 mg/l excelente, 175-525 mg/l buena, 525-1400 mg/l permisible y mayor de 1400 mg/l inapropiada. El cuadro 7 reporta los valores obtenidos en el muestreo de las fuentes de agua.

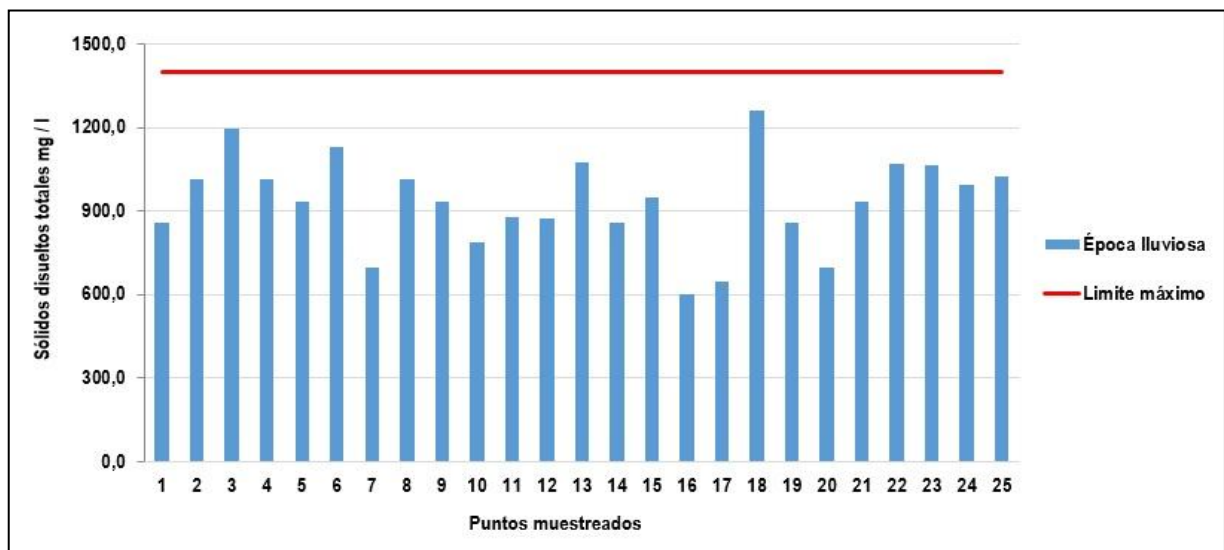
Cuadro 7. Resultados de la concentración de sólidos totales disueltos en las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, durante las épocas seca y lluviosa del departamento de Chiquimula, 2012.

No.	Coordenadas			Ubicación de Muestreo	Fuente de agua	STD (mg/l)	
	Latitud	Longitud	Altitud			Época lluviosa	Época seca
1	14 31 29.2	89 36 11.7	862 m	Aldea Amatillo-Ipala	Charca	860	0
2	14 32 39.0	89 36 25.6	898 m	Aldea Amatillo-Ipala	Pozo	1012	136
3	14 32 21.7	89 36 34.3	900 m	Aldea Amatillo-Ipala	Pozo	1196	236
4	14 32 04.9	89 36 41.4	904 m	Aldea Amatillo-Ipala	Pozo	1012	236
5	14 40 14.9	89 37 32.3	837 m	Aldea Amatillo-Ipala	Pozo	932	208
6	14 34 45.6	89 18 02.8	888 m	Aldea Jicamapa-Ipala	Pozo	1132	356
7	14 34 53.6	89 18 57.4	906 m	Aldea Atulapa-Esquipulas	Río Atulapa	696	316
8	14 35 36.0	89 20 33.6	932 m	Aldea Atulapa-Esquipulas	Nacimiento	1016	1248
9	14 35 23.6	89 19 32.7	910 m	San Calletano-Esquipulas	Charca	932	128
10	14 37 51.6	89 18 16.5	928 m	Aldea Nejapa-Esquipulas	Quebrada	788	344
11	14 45 46.2	89 25 56.0	612 m	Aldea Olopita-Esquipulas	Charca	876	280
12	14 45 44.8	89 25 58.9	599 m	Aldea Cuevitas-Esquipulas	Río	872	236
13	14 45 46.2	89 25 56.0	443 m	Municipio San Juan Ermita	Pozo	1076	60
14	14 45 44.8	89 25 58.9	981 m	Municipio San Juan Ermita	Río	860	0
15	14 53 27.6	89 19 08.5	1207 m	Municipio de Jocotán	Quebrada	948	0
16	14 51 35.4	89 18 10.4	548 m	Aldea Plan de Candelero-Jocotán	Nacimiento	600,4	28
17	14 51 37.4	89 17 40.9	519 m	Aldea La Lima-Jocotán	Nacimiento	644,4	332
18	14 45 57.1	89 31 23.8	375 m	Jocotán	Quebrada	1260	1260
19	14 49 19.3	89 22 04.0	458 m	Camotán	Pozo	856	856
20	14 49 19.3	89 22 03.8	418 m	Camotán	Río Jupilingo	696	696
21	14 45 48.1	89 31 23.8	388m	Colonia Shusho-Chiquimula	Rio Shusho	932	0
22	14 45 57.1	89 31 23.8	382 m	Aldea Sabana Grande	Pozo	1070	1270
23	14 45 26.3	89 32 20.3	382 m	Aldea Sabana Grande	Pozo	1066	856
24	14 45 26.8	89 31 43.6	394 m	Aldea el Obraje Chiquimula	Pozo	993,8	993,8
25	14 45 25.8	89 31 43.6	382m	Aldea Petapilla-Chiquimula	Quebrada	1023,1	1023,1

Fuente: Elaboración propia, 2012.

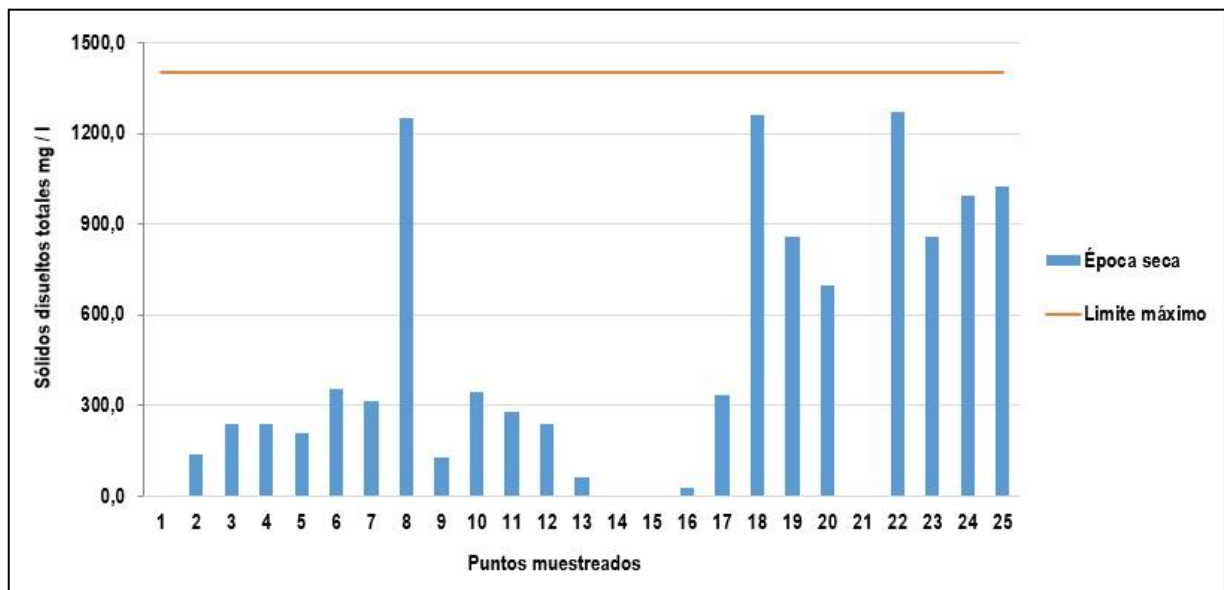
Límite máximo 1400 mg/l.

Las figuras 12 y 13, muestran los resultados de la época lluviosa y seca, observando que en ninguno de los casos los puntos muestreados superaron el límite máximo permitido.



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Figura 12. Concentración de sólidos disueltos totales en las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, durante la época de lluvia; Chiquimula 2012.



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Figura 13. Concentración de sólidos disueltos totales en las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, durante la época seca; Chiquimula 2012.

Los resultados basados en la concentración de sólidos disueltos totales, generalmente son relacionados a la suma de cationes (carga positiva) y aniones (cargado negativamente) en el agua. Dichos componentes la mayoría de las veces corresponden a sedimentos derivados del calcio, fosfatos, nitratos, sodio, potasio y cloruro.

6.7 Turbidez

El cuadro 8 reporta los valores obtenidos en el muestreo de las fuentes de agua, durante las épocas seca y lluviosa. Según Sierra (1980), los valores de turbidez con fines de riego no deben superar los 50 mg/l.

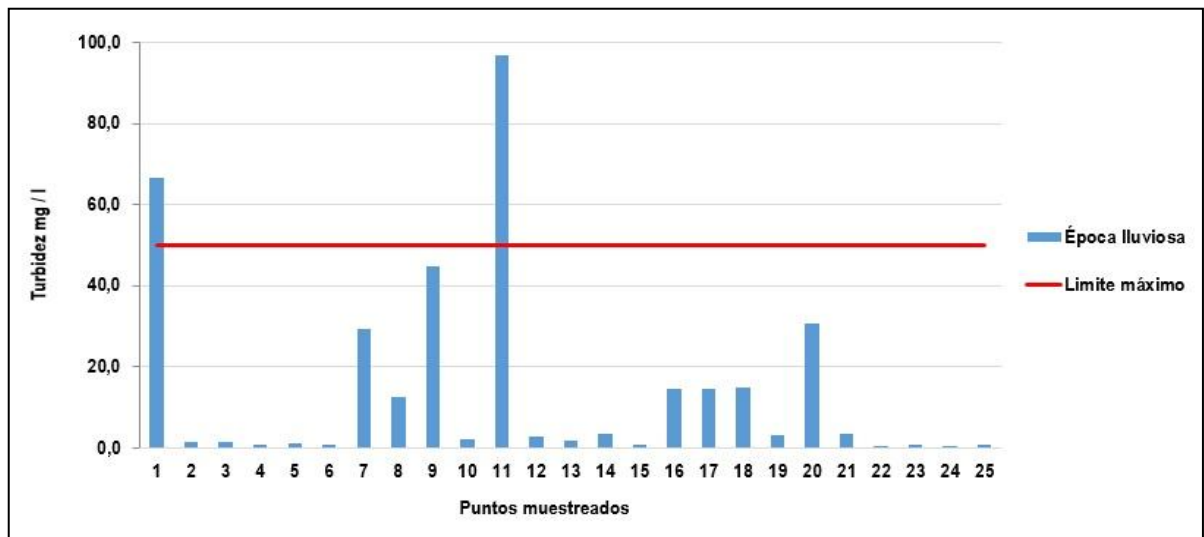
Cuadro 8. Resultados de turbidez del agua en las fuentes utilizadas para riego en los diferentes valles productores de hortalizas, durante las épocas seca y lluviosa del departamento de Chiquimula, 2012.

No.	Coordenadas			Ubicación de Muestreo	Fuente de agua	Turbidez (mg/l)	
	Latitud	Longitud	Altitud			Época lluviosa	Época seca
1	14 31 29.2	89 36 11.7	862 m	Aldea Amatillo-Ipala	Charca	66,67	0
2	14 32 39.0	89 36 25.6	898 m	Aldea Amatillo-Ipala	Pozo	1,5	2,3
3	14 32 21.7	89 36 34.3	900 m	Aldea Amatillo-Ipala	Pozo	1,52	1,52
4	14 32 04.9	89 36 41.4	904 m	Aldea Amatillo-Ipala	Pozo	0,8	0,8
5	14 40 14.9	89 37 32.3	837 m	Aldea Amatillo-Ipala	Pozo	1,07	2,5
6	14 34 45.6	89 18 02.8	888 m	Aldea Jicamapa-Ipala	Pozo	0,63	0,68
7	14 34 53.6	89 18 57.4	906 m	Aldea Atulapa-Esquipulas	Río Atulapa	29,2	30
8	14 35 36.0	89 20 33.6	932 m	Aldea Atulapa-Esquipulas	Nacimiento	12,6	11
9	14 35 23.6	89 19 32.7	910 m	San Calletano-Esquipulas	Charca	44,8	44,8
10	14 37 51.6	89 18 16.5	928 m	Aldea Nejapa-Esquipulas	Quebrada	2,1	8,5
11	14 45 46.2	89 25 56.0	612 m	Aldea Olopita-Esquipulas	Charca	96,8	92
12	14 45 44.8	89 25 58.9	599 m	Aldea Cuevitas-Esquipulas	Río	2,8	2,8
13	14 45 46.2	89 25 56.0	443 m	Municipio San Juan Ermita	Pozo	1,77	5,55
14	14 45 44.8	89 25 58.9	981 m	Municipio San Juan Ermita	Río	3,32	0
15	14 53 27.6	89 19 08.5	1207 m	Municipio de Jocotán	Quebrada	0,66	0
16	14 51 35.4	89 18 10.4	548 m	Aldea Plan de Candelero-Jocotán	Nacimiento	14,6	3,32
17	14 51 37.4	89 17 40.9	519 m	Aldea La Lima-Jocotán	Nacimiento	14,6	0,66
18	14 45 57.1	89 31 23.8	375 m	Jocotán	Quebrada	14,9	20
19	14 49 19.3	89 22 04.0	458 m	Camotán	Pozo	2,95	5,56
20	14 49 19.3	89 22 03.8	418 m	Camotán	Río Jupilingo	30,5	35,5
21	14 45 48.1	89 31 23.8	388m	Colonia Shusho-Chiquimula	Rio Shusho	3,4	0
22	14 45 57.1	89 31 23.8	382 m	Aldea Sabana Grande	Pozo	0,55	9,88
23	14 45 26.3	89 32 20.3	382 m	Aldea Sabana Grande	Pozo	0,66	3,45
24	14 45 26.8	89 31 43.6	394 m	Aldea el Obraje Chiquimula	Pozo	0,56	0,345
25	14 45 25.8	89 31 43.6	382m	Aldea Petapilla-Chiquimula	Quebrada	0,63	0,63

Fuente: Elaboración propia, 2012.

Límite máximo 50 mg/l.

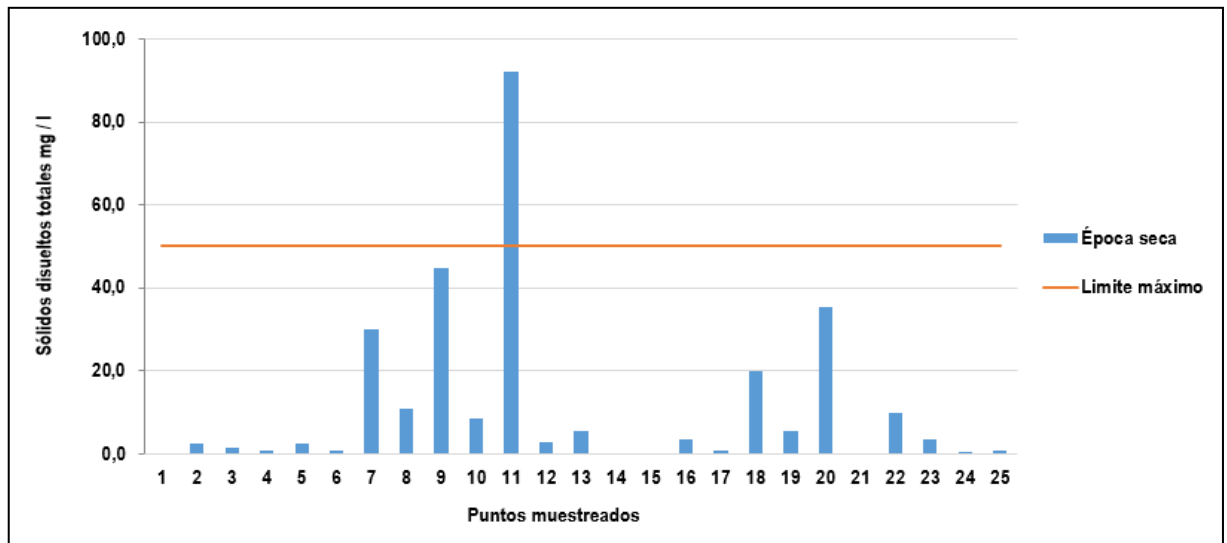
La figura 14 muestra que los resultados de los puntos de muestreo 1 y 11 superan el límite máximo en la época de lluvia.



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Figura 14. Concentración de la turbidez en las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, en la época lluviosa; Chiquimula 2012.

En la figura 15, se observa que únicamente el punto de muestreo 11 mostró nuevamente valores que superaron el límite máximo, en la época seca.



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Figura 15. Concentración de la turbidez en las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, durante la época seca; Chiquimula 2012.

La turbidez hace relación al tipo y concentración de los materiales suspendidos, éstos pueden ser limos, arcillas, partículas finas de materia orgánica e inorgánica. La erosión natural es la causa más común de sólidos suspendidos en las fuentes de agua, identificando que su exceso puede producir obstrucción de componentes mecánicos de sistemas de riego (Sierra, 1980).

6.8 Demanda bioquímica de oxígeno

El cuadro 9, reporta los valores obtenidos en el muestreo de las fuentes de agua, durante las épocas seca y lluviosa. Según (OMS, 1995) en aguas no contaminadas se pueden apreciar niveles bajos próximos a 3 mg/l, sin embargo; se considera preocupante cuando se alcanzan valores alrededor de 50 mg/l.

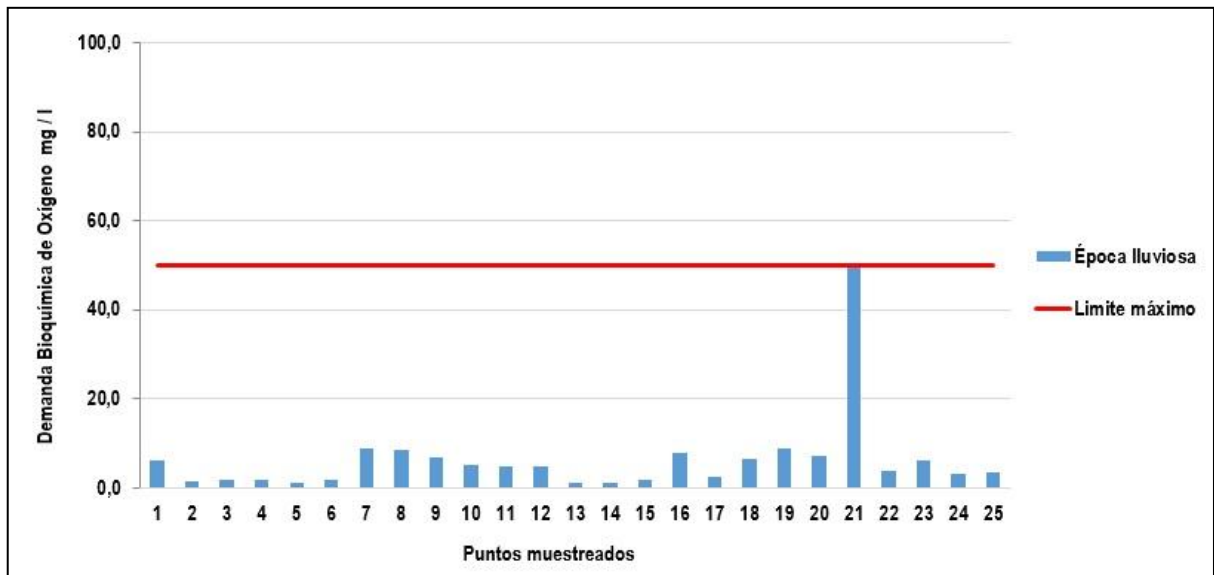
Cuadro 9. Resultados de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) del agua en las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, durante las épocas seca y lluviosa del departamento de Chiquimula, 2012.

No.	Coordenadas			Ubicación de Muestreo	Fuente de agua	DBO (mg/l)	
	Latitud	Longitud	Altitud			Época lluviosa	Época seca
1	14 31 29.2	89 36 11.7	862 m	Aldea Amatillo-Ipala	Charca	6	0
2	14 32 39.0	89 36 25.6	898 m	Aldea Amatillo-Ipala	Pozo	1,34	1,5
3	14 32 21.7	89 36 34.3	900 m	Aldea Amatillo-Ipala	Pozo	1,85	1,78
4	14 32 04.9	89 36 41.4	904 m	Aldea Amatillo-Ipala	Pozo	1,8	1,77
5	14 40 14.9	89 37 32.3	837 m	Aldea Amatillo-Ipala	Pozo	1,05	1,5
6	14 34 45.6	89 18 02.8	888 m	Aldea Jicamapa-Ipala	Pozo	1,8	2,45
7	14 34 53.6	89 18 57.4	906 m	Aldea Atulapa-Esquipulas	Río Atulapa	8,7	3,5
8	14 35 36.0	89 20 33.6	932 m	Aldea Atulapa-Esquipulas	Nacimiento	8,4	1,27
9	14 35 23.6	89 19 32.7	910 m	San Calletano-Esquipulas	Charca	6,7	0,59
10	14 37 51.6	89 18 16.5	928 m	Aldea Nejapa-Esquipulas	Quebrada	5	4,6
11	14 45 46.2	89 25 56.0	612 m	Aldea Olopita-Esquipulas	Charca	4,9	4,5
12	14 45 44.8	89 25 58.9	599 m	Aldea Cuevitas-Esquipulas	Río	4,8	4,8
13	14 45 46.2	89 25 56.0	443 m	Municipio San Juan Ermita	Pozo	1,05	0,27
14	14 45 44.8	89 25 58.9	981 m	Municipio San Juan Ermita	Río	1,05	0
15	14 53 27.6	89 19 08.5	1207 m	Municipio de Jocotán	Quebrada	1,8	0
16	14 51 35.4	89 18 10.4	548 m	Aldea Plan de Candelerero-Jocotán	Nacimiento	7,7	7
17	14 51 37.4	89 17 40.9	519 m	Aldea La Lima-Jocotán	Nacimiento	2,3	2
18	14 45 57.1	89 31 23.8	375 m	Jocotán	Quebrada	6,6	0,75
19	14 49 19.3	89 22 04.0	458 m	Camotán	Pozo	8,75	0,86
20	14 49 19.3	89 22 03.8	418 m	Camotán	Río Jupilingo	7,25	2,18
21	14 45 48.1	89 31 23.8	388m	Colonia Shusho-Chiquimula	Río Shusho	49,4	0
22	14 45 57.1	89 31 23.8	382 m	Aldea Sabana Grande	Pozo	3,9	1,72
23	14 45 26.3	89 32 20.3	382 m	Aldea Sabana Grande	Pozo	6	6
24	14 45 26.8	89 31 43.6	394 m	Aldea el Obraje Chiquimula	Pozo	3,1	3,1
25	14 45 25.8	89 31 43.6	382m	Aldea Petapilla-Chiquimula	Quebrada	3,35	3,35

Fuente: Elaboración propia, 2012.

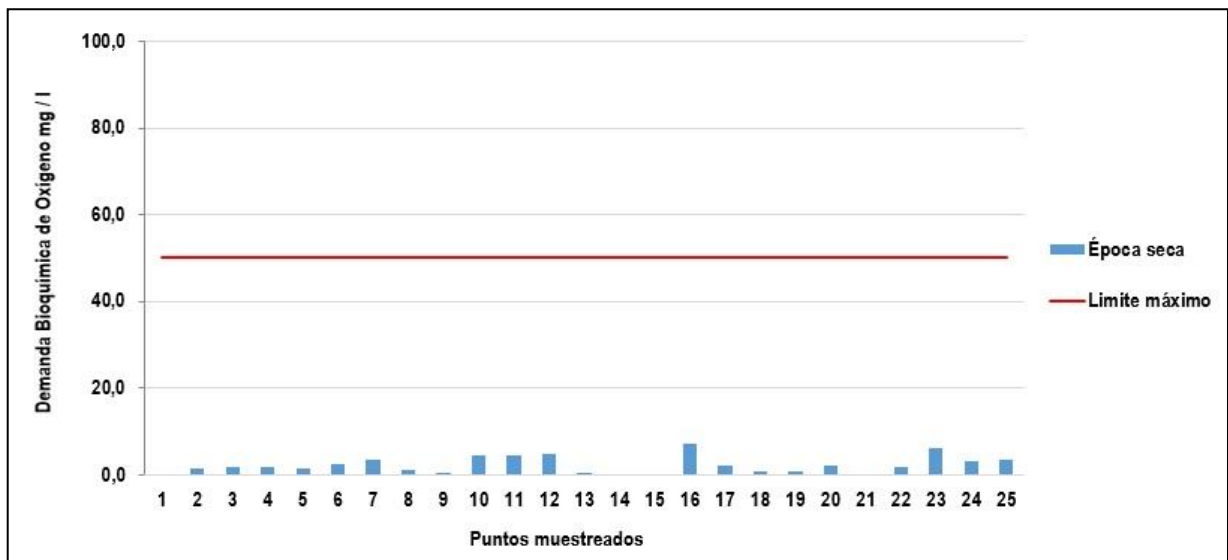
Límite máximo 50 mg/l.

La figura 16, muestra los resultados de los puntos de muestreo en la época de lluvia, observando que únicamente el punto 21, superó el límite máximo. En la figura 17 los resultados obtenidos no superaron el límite máximo.



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Figura 16. Concentración de la demanda bioquímica de oxígeno en las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, en la época de lluvia; Chiquimula 2012.



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Figura 17. Concentración de la demanda bioquímica de oxígeno en las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, durante la época seca; Chiquimula 2012.

La variable estudiada hace referencia a la cantidad de oxígeno que los microorganismos (bacterias y hongos), consumen durante la degradación de sustancias orgánicas contenidas en la muestra. Cuanto mayor cantidad de materia orgánica contiene la muestra, más oxígeno necesitan sus microorganismos para oxidarla (degradarla). El proceso de descomposición varía según la temperatura.

6.9 Coliformes fecales

El cuadro 10, reporta los valores obtenidos en el muestreo durante las épocas seca y lluviosa. Los valores se reportan en Unidades formadoras de Colonia en 100ml de agua. Este parámetro microbiológico hace referencia a la contaminación del agua por heces fecales, el límite máximo es de 3 colonias/100 ml.

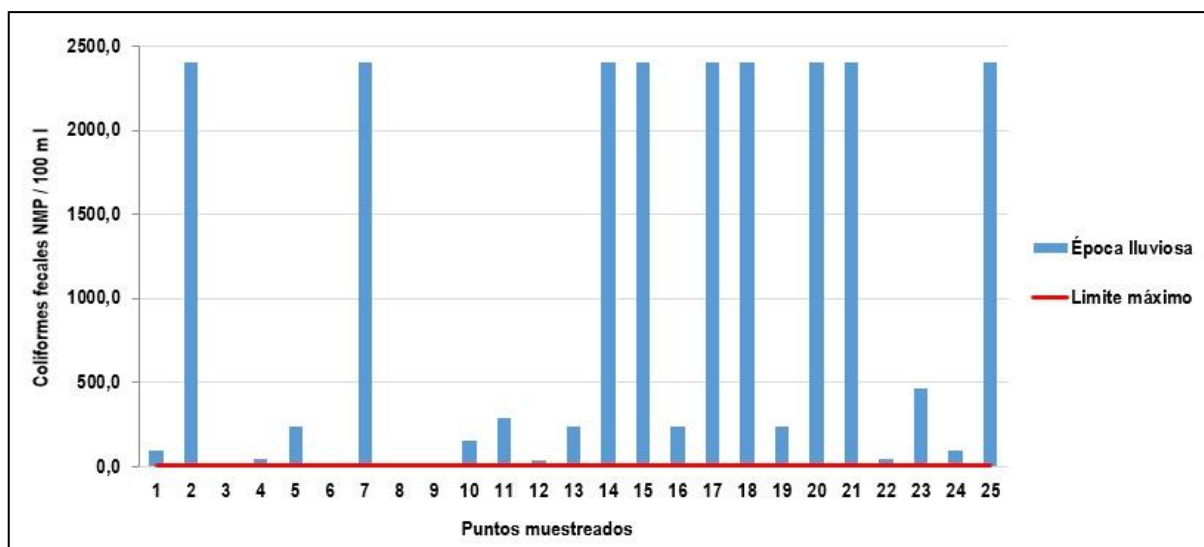
Cuadro 10. Resultados de coliformes totales en las fuentes utilizadas para riego en los valles productores de hortalizas, durante las épocas seca y lluviosa del departamento de Chiquimula, 2012.

No.	Coordenadas			Ubicación de Muestreo	Fuente de agua	Época lluviosa	Época seca
	Latitud	Longitud	Altitud				
1	14 31 29.2	89 36 11.7	862 m	Aldea Amatillo-Ipala	Charca	93	0
2	14 32 39.0	89 36 25.6	898 m	Aldea Amatillo-Ipala	Pozo	2400	2400
3	14 32 21.7	89 36 34.3	900 m	Aldea Amatillo-Ipala	Pozo	11	240
4	14 32 04.9	89 36 41.4	904 m	Aldea Amatillo-Ipala	Pozo	43	43
5	14 40 14.9	89 37 32.3	837 m	Aldea Amatillo-Ipala	Pozo	240	240
6	14 34 45.6	89 18 02.8	888 m	Aldea Jicamapa-Ipala	Pozo	23	23
7	14 34 53.6	89 18 57.4	906 m	Aldea Atulapa-Esquipulas	Río Atulapa	2400	2400
8	14 35 36.0	89 20 33.6	932 m	Aldea Atulapa-Esquipulas	Nacimiento	23	23
9	14 35 23.6	89 19 32.7	910 m	San Calletano-Esquipulas	Charca	23	93
10	14 37 51.6	89 18 16.5	928 m	Aldea Nejapa-Esquipulas	Quebrada	150	2400
11	14 45 46.2	89 25 56.0	612 m	Aldea Olopita-Esquipulas	Charca	290	460
12	14 45 44.8	89 25 58.9	599 m	Aldea Cuevitas-Esquipulas	Río	39	240
13	14 45 46.2	89 25 56.0	443 m	Municipio San Juan Ermita	Pozo	240	23
14	14 45 44.8	89 25 58.9	981 m	Municipio San Juan Ermita	Río	2400	0
15	14 53 27.6	89 19 08.5	1207 m	Municipio de Jocotán	Quebrada	2400	0
16	14 51 35.4	89 18 10.4	548 m	Aldea Plan de Candelero-Jocotán	Nacimiento	240	2400
17	14 51 37.4	89 17 40.9	519 m	Aldea La Lima-Jocotán	Nacimiento	2400	150
18	14 45 57.1	89 31 23.8	375 m	Jocotán	Quebrada	2400	0
19	14 49 19.3	89 22 04.0	458 m	Camotán	Pozo	240	2400
20	14 49 19.3	89 22 03.8	418 m	Camotán	Río Jupilingo	2400	240
21	14 45 48.1	89 31 23.8	388m	Colonia Shusho-Chiquimula	Río Shusho	2400	0
22	14 45 57.1	89 31 23.8	382 m	Aldea Sabana Grande	Pozo	43	240
23	14 45 26.3	89 32 20.3	382 m	Aldea Sabana Grande	Pozo	460	240
24	14 45 26.8	89 31 43.6	394 m	Aldea el Obraje Chiquimula	Pozo	93	240
25	14 45 25.8	89 31 43.6	382m	Aldea Petapilla-Chiquimula	Quebrada	2400	2400

Fuente: Elaboración propia, 2012.

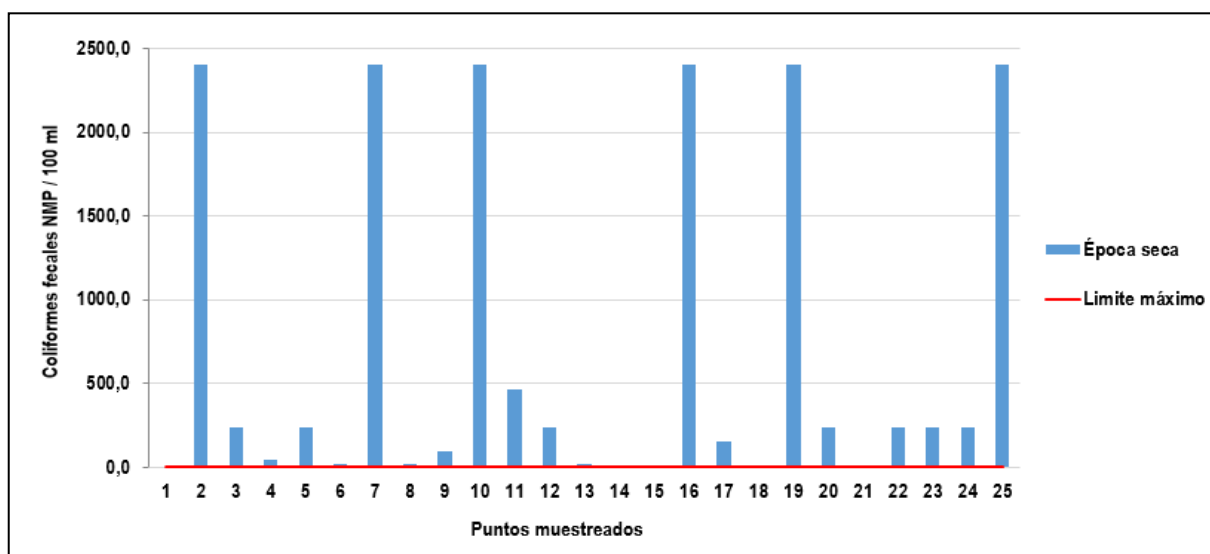
Límite máximo 3 colonias / 100 ml.

Las figuras 18 y 19, muestran los resultados de los puntos de muestreo analizados, observando que en todos los casos se superó el límite máximo.



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Figura 18. Concentración de coliformes fecales en las fuentes de riego utilizadas en los valles productores de hortalizas, durante la época de lluvia; Chiquimula 2012.



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Figura 19. Concentración de coliformes fecales en las fuentes de riego utilizadas en los valles productores de hortalizas, durante la época seca; Chiquimula 2012.

Los resultados obtenidos mostraron un alto contenido de coliformes en todas las fuentes en ambas épocas de muestreo, por lo que se interpretó que pueden encontrarse con abundantes a nivel de suelo, en las unidades de producción, considerando de vital importancia el control de los focos de contaminación cercanas a las fuentes utilizadas para riego.

6.10 Lineamientos generales para el manejo del agua de riego utilizada en los valles productores de hortalizas en el departamento de Chiquimula

En el estudio efectuado los parámetros que reportaron valores fuera de los límites permisibles de las muestras de agua tomadas en cada una de las localidades de producción son: pH, dureza total, turbidez, y coliformes fecales.

Las estrategias generales que se proponen para el manejo adecuado del agua en los valles productores de hortalizas en el departamento de Chiquimula, son las siguientes:

6.10.1 Estrategias para el control del pH en las localidades que reportaron valores arriba de los límites permisibles

- a) Para las localidades que reportaron valores altos de pH se recomienda, la utilización de correctores de pH, aplicando dosificaciones correctas para corregir el agua en determinada localidad.
- b) Con base a la experiencia de las empresas meloneras de la región, para el control de la alcalinidad, se recomienda el uso de productos acidificantes como el ácido fosfórico, ácido nítrico, nitrato de magnesio, nitrato de potasio, sulfato de calcio, sulfato de magnesio.

6.10.2 Estrategias para el control de la dureza total en las localidades que reportaron valores arriba de los límites permisibles

- a) Para optimizar la eficiencia de los macro elementos en las soluciones nutritivas utilizadas para fertirriego, las localidades que reportaron valores altos de la dureza total del agua se recomienda la utilización de los productos anteriormente mencionados (ácido fosfórico, ácido nítrico, nitrato de magnesio, nitrato de potasio, sulfato de calcio, sulfato

de magnesio), los cuales actúan de forma acidificante y neutralizan la concentración de iones de hidroxilo, carbonatos y bicarbonatos en la solución.

- b) Utilización de sistemas de ablandamiento como la filtración por ósmosis inversa.

6.10.3 Estrategias para controlar el grado de turbidez en las localidades que reportaron valores arriba de los límites permisibles

Para las localidades que reportaron valores altos de turbidez se recomienda la implementación de un sistema con filtros de arena para disminuir el contenido de materia orgánica.

6.10.4 Estrategias para el control de coliformes fecales en las localidades que reportaron valores arriba de los límites permisibles

Es importante mencionar que los valores fuera del límite permisible de coliformes fecales no afectan la efectividad de riego; sin embargo, los usuarios al estar en contacto directo, pueden adquirir posibles enfermedades gastrointestinales a causa de la presencia de coliformes. Por lo que las medidas preventivas para asegurar la calidad sanitaria del agua de uso agrícola son las siguientes:

- a) Utilización de sistemas de potabilización del agua como el uso de luz ultra violeta y sistemas de cloración.
- b) Implementar sistemas automatizados para mantener las concentraciones adecuadas de cloro.

- c) Que las fuentes de abastecimiento de agua generalmente pozos o canales lleven un programa de mantenimiento, análisis químico y microbiológico cada tres meses.
- d) Mantener un historial detallado de las colindancias de las unidades de producción y puntos posibles de riesgo de contaminación.

6.10.5 Implementación de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA)

Se recomienda efectuar las siguientes acciones, las cuales forman parte de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) para cultivos de hortalizas.

- a) No usar aguas residuales para regar los cultivos.
- b) Adoptar técnicas para supervisar el estado de los cultivos y el agua del suelo, programando con precisión el riego evitando la salinización del suelo, mediante la adopción de medidas para economizar agua y reciclarla siempre que sea posible.
- c) Manejo racional de los agroquímicos.
- d) Cualquier insumo de producción sean estos: productos reciclados orgánicos, inorgánicos o sintéticos, realizar prácticas que eviten la contaminación de los recursos hídricos.
- e) Identificar las fuentes de agua que se utilizan en la finca y su sistema de distribución.
- f) Mantener limpios los canales por donde circula el agua.
- g) Usar siempre el método de riego recomendado para su cultivo.
- h) Cada localidad de producción debe contar con agua potable destinada a la bebida y al lavado de manos y cuerpo.
- i) perfeccionar el funcionamiento del ciclo del agua en aquellas áreas donde la fuente es una charca, estableciendo una cubierta permanente, o manteniéndola conforme sea necesario;

6.10.5 Capacitación de productores de hortalizas

- a) Capacitación en áreas de administración y buenas prácticas agrícolas.
- b) Capacitación en aspectos físico-químicos y microbiológicos del agua.
- c) Capacitación en el manejo sostenible del agua.
- d) Involucrar a productores en nuevos proyectos de riego.

6.10.6 Monitorear la calidad del agua en los valles de producción de hortalizas

Desarrollar un sistema de información sobre el monitoreo de la calidad de agua y su disponibilidad en la unidad de producción, permitiendo a los productores tomar decisiones que incrementen la eficiencia de la producción.

6.10.7 Implementar un plan de gestión del agua de riego para la producción hortícola

Es importante elaborar un plan que permita administrar sosteniblemente el agua de riego, además de mejorar su calidad y disponibilidad con relación a las potencialidades de producción existentes y apertura de nuevos nichos de mercado a nivel local y nacional.

6.10.8 Valoración económica del agua de riego

Determinar la importancia económica del agua de riego para la producción agrícola y desarrollo de los valles de producción. Permitiendo incidir en acciones y políticas que garanticen una producción con agua de calidad y cantidad requerida.

VII. CONCLUSIONES

1. Con base a los resultados obtenidos en los dos monitoreos realizados, se determinó que en la época lluviosa los valores de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos analizados, presentaron valores superiores, en comparación con los valores obtenidos en la época seca.
2. Los resultados del pH del agua en cada una de las fuentes analizadas, mostraron que las localidades 1, 8, 22, 23 se encuentran por debajo del límite superior (6.5), todas las demás localidades reportaron valores superiores a los rangos recomendados, considerándose como no óptimo para uso agrícola.
3. En función de la dureza, las áreas de producción del municipio de San Juan Ermita (río), Jocotán (quebrada y nacimiento), Camotán (pozo) y Chiquimula (Río, quebrada y pozo); mostraron valores mayores al límite superior en la época lluviosa; clasificando el agua como dura, según la FAO. El uso de esta agua sin ningún tratamiento puede limitar la eficiencia de los plaguicidas y fertilizantes utilizados en la producción de hortalizas.
4. En las fuentes de los municipios de Chiquimula (ríos y quebradas), Jocotán (quebradas), Camotán (ríos) y San Juan Ermita (ríos) presentaron mayor número de colonias de coliformes fecales en la época lluviosa, por lo que se consideró como más contaminadas.
5. Los lineamientos generales para el manejo de las fuentes de agua utilizada para riego en los diferentes valles productores de hortalizas del departamento de Chiquimula, fueron elaborados a través de los criterios propuestos por las Buenas Prácticas Agrícolas para su mejor manejo, además de la experiencia compartida por las empresas meloneras de la región.

VIII. RECOMENDACIONES

1. Continuar el monitoreo de la calidad del agua utilizada para la producción de hortalizas en los valles de producción del departamento de Chiquimula, para generar una base de datos que permita sistematizar un índice de calidad para la producción de las mismas.
2. Las fuentes que reportaron valores altos de pH, dureza total, turbidez y coliformes fecales, se recomienda tomar en cuenta los lineamientos generales para el manejo del agua de riego, elaborados en el presente documento.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA (American Public Health Association, Estados Unidos de América). 1985. Métodos estándar para el examen de aguas y aguas de desecho. 15 ed. Caballero, PJ (trad.). México, Editorial Interamericana. p. 265-328.
- Boy Piedrasanta, JA. 1989. Determinación de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos para evaluar la calidad del agua para consumo humano y uso industrial en la ciudad de Amatitlán. Tesis Ing. Quím. Guatemala, USAC, Facultad de Ingeniería. 136 p.
- Castillo, C. 1970. Calidad del agua de acuerdo a su uso. Caracas, Venezuela, Dirección de obras hidráulicas, INOS. 32 p.
- Díaz Gutierrez, RA. 2008. Caracterización de la zona productora de chile pimiento (*capsicum frutescens*) de los municipios de Camotán, Ipala, Esquipulas y Chiquimula para la propuesta de líneas de acción en la producción y comercialización de las asociaciones de fasagua. Tesis Ing. Agr. Chiquimula, Guatemala, USAC-CUNORI, Carrera de Agronomía. 50 p. Consultado 12 may.2012. Disponible en http://cunori.edu.gt/descargas/CARACTERIZACION_DE_LA_ZONA_PRODUCTORA_DE_CHILE_PIMIENTO___Capsicum_frutescens__DE_LOS_MUNICIPIOS_DE_CAMOTAN_I.pdf.
- GEA (Gabinete Específico del Agua, Guatemala). 2011. Política nacional del agua de Guatemala y su estrategia (en línea). Guatemala. 48 p. consultado 12 may. 2012. Disponible en http://www.segeplan.gob.gt/downloads/clearinghouse/politicas_publicas/Recursos%20Naturales/Pol%C3%ADtica%20Nacional%20del%20Agua%20de%20Guatemala.pdf
- IGN (Instituto Geográfico Nacional, Guatemala). 1987. Mapa topográfico, hoja Chiquimula, no. 2260-II. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.

MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales-URL, Guatemala). 2009. Informa Ambiental del estado- GEO (en línea). Guatemala, IARNA-PNUMA. 286 p. Consultado 8 sep. 2012. Disponible en <http://biblio3.url.edu.gt/IARNA/MARN/GEO2009.pdf>

OMS (Organización Mundial de la Salud). 2008. Guía de calidad de agua. (en línea) http://www.paho.org/per/index.php?option=com_content&view=category&id=853&layout=blog&Itemid=631

ONU (Organización de las Naciones Unidas, US). 2010. Resolución aprobada por asamblea general de las Naciones Unidas A/RES/64/L.63: el derecho humano al agua y el saneamiento (en línea). Estados Unidos de América. 3 p. Consultado 25 may 2012. Disponible en <http://www.refworld.org/cgi-bin/texis/vtx/rwmain/opendocpdf.pdf?reldoc=y&docid=4cc9270b2>

Ratnayake, R. 1997. Modernization of irrigation schemes: past experiences and future options in Sri Lanka (en línea). Roma, Italia, FAO. Consultado 25 may. 2012. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-x6959e/x6959/x6959e04.htm#bm4.9>

Rodríguez, NM. 2012. Calidad de agua y agroquímicos (en línea). Argentina, AGRONORT. 23 p. Consultado 20 may. 2012. Disponible en http://www.agroconsultasonline.com.ar/ticket.html/Calidad%20de%20Agua%20y%20Agroquimicos%20Nicasio%20Rodriguez.pdf?op=d&ticket_id=1713&evento_id=3569

Sandoval Illescas, JE. 1989. Principios de riego y drenaje. Guatemala, Editorial Universitaria. 345 p.

Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales, España. s.f. Norma de calidad del agua y control de descargas ag-cc-o1 (en línea). España. 49 p. Consultado 12 may. 2012. Disponible en <http://faolex.fao.org/docs/pdf/dom60779.pdf>

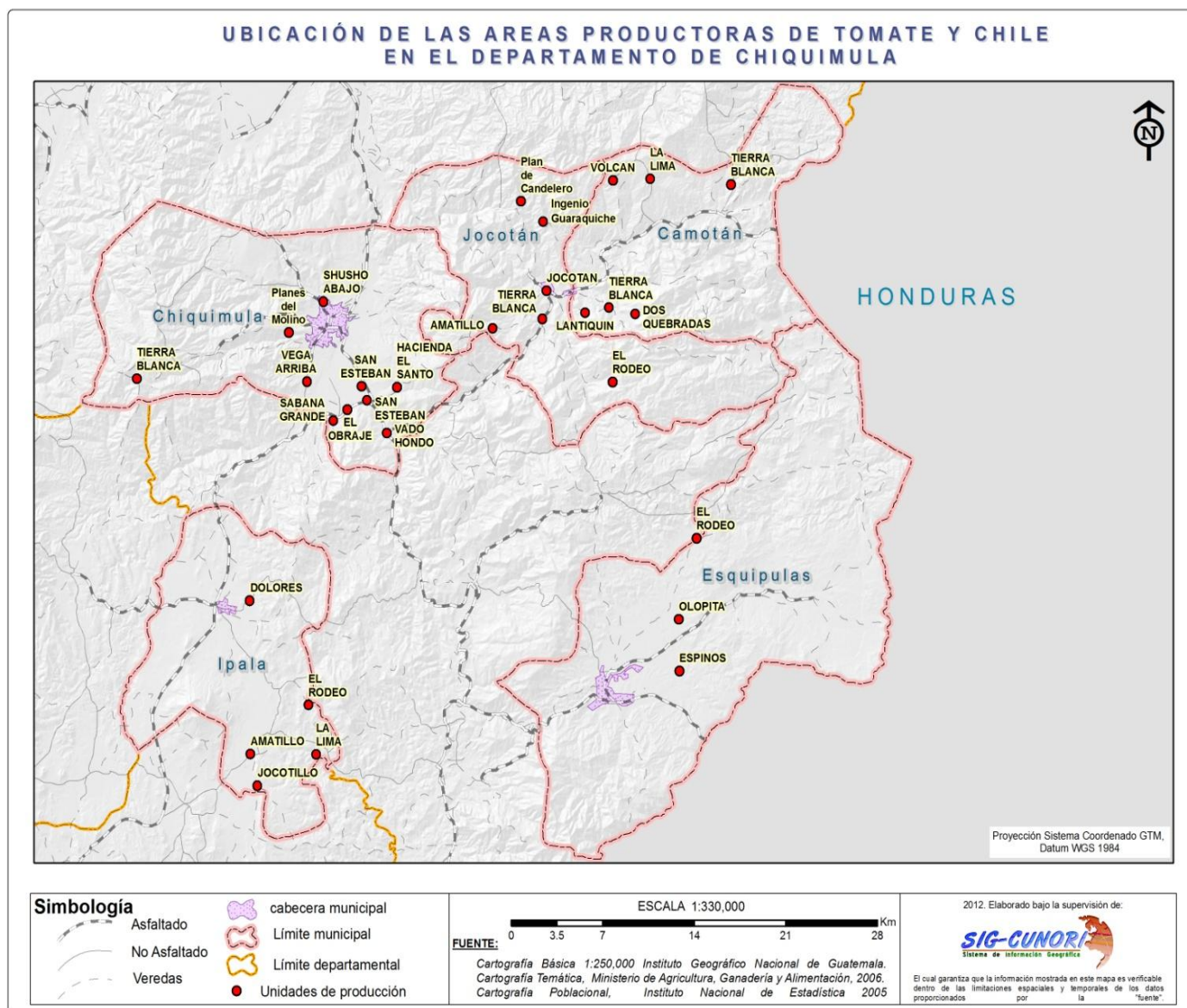
SEGEPLAN (Secretaría de la Planificación y Programación de la Presidencia, Guatemala). 2006. Estrategia para la gestión integrada de los recursos hídricos de Guatemala: diagnóstico (en línea). Guatemala. 104 p. consultado 12 de mayo de 2012. Disponible en http://www.wikiguate.com.gt/w/images/b/bb/Estrategia_para_la_gestion_integrada_de_los_recursos_hidricos_de_Guatemala_Diagnostico.pdf

Sierra Castillo, CE. 1980. Estudio de reconocimiento de la sub-cuenca del río San José, con fines de riego en el valle de Chiquimula (en línea). Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 66 p. Consultado 12 may. 2012. Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_0475.pdf

Villar Mir, J. 2005. Agua y agronomía. España, Editorial Mundi-Prensa. 606 p.

X. ANEXOS

Anexo 1. Mapa de ubicación de las áreas productoras de hortalizas en el departamento de Chiquimula.



Fuente: elaboración propia, 2012

Anexo 2. Hoja, utilizada para la colecta de datos a nivel de campo, en las áreas de producción de hortalizas en el departamento de Chiquimula



Hoja Para Colecta de Datos de Campo



Fecha _____ Hora de muestreo _____ Hora de salida _____
 Sitio de muestreo _____
 Nombre _____
 Ubicación _____
 Información GPS No. _____ N _____ W _____ Altitud _____

Información General

Vegetación alrededor: _____
 Poblados: Si: ____ No: ____ Lavaderos comunales: Si ____ No ____ Otros: _____
 Fuente de agua Utilizada: Pozo: ____ Rio: ____ Quebrada: ____ Estanque: _____
 Color del agua: _____
 Nombre de la Fuente de agua: _____
 Tipo de corriente: Suave: ____ Moderada: ____ Fuerte: ____ Muy fuerte: _____
 Clima: Soleado ____ Templado: ____ Nublado ____ Lluvioso ____
 Temperatura ambiente: _____ % Humedad Ambiental: _____

Datos Fisicoquímicos

Parámetro	Valor 1	Valor 2	Valor 3
pH			
Conductividad			
Temperatura en Celsius			
Oxígeno en mg/L			
Oxígeno % sat			
T° ambiente			

Observaciones:

Anexo 3. Tabla de número más probable utilizada para prueba de coliformes fecales.

Número de tubos que dan reacción positiva			
3 de 10 mL cada uno	3 de 1 mL cada uno	3 de 0.1 mL cada uno	NMP
0	0	0	< 3
0	0	1	3
0	1	0	3
0	2	0	-
1	0	0	4
1	0	1	7
1	1	0	7
1	1	1	11
1	2	0	11
2	0	0	9
2	0	1	14
2	1	0	15
2	1	1	20
2	2	0	21
2	2	1	28
2	3	0	-
3	0	0	23
3	0	1	39
3	0	2	64
3	1	0	43
3	1	1	75
3	1	2	120
3	2	0	93
3	2	1	150
3	2	2	210
3	3	0	240
3	3	1	460
3	3	2	1100
3	3	3	≥2400

Anexo 4. Localidades de producción visitadas, para la toma de muestras de agua



Anexo 5. Equipo utilizado para la toma de muestras en el campo.



Anexo 6. Equipo utilizado para analizar las muestras de agua en el laboratorio ambiental del Centro Universitario de Oriente –CUNORI-.

