

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
AGRONOMÍA



**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA UTILIZADA PARA RIEGO EN
LOS CULTIVOS DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum*) Y CHILE
(*Capsicum sp*) BAJO CONDICIONES DE PROTECCIÓN,
EN EL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA 2013**

GABRIEL ALEJANDRO HEREDIA CARRANZA

CHIQUIMULA, GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
AGRONOMIA

DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA UTILIZADA PARA RIEGO
EN LOS CULTIVOS DE TOMATE (*Licopersicum esculentum*) Y CHILE
(*Cappsicum sp*) BAJO CONDICIONES DE PROTECCION,
EN EL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA 2013

TRABAJO DE GRADUACIÓN

Sometido a consideración del Honorable Consejo Directivo

Por

GABRIEL ALEJANDRO HEREDIA CARRANZA

Al conferírsele el título de

INGENIERO AGRONOMO

En el grado académico de

LICENCIADO

CHIQUIMULA, GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2013

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



RECTOR
Dr. CARLOS ESTUARDO GALVEZ BARRIOS

CONSEJO DIRECTIVO

Presidente:	M.Sc. Nery Waldemar Galdámez Cabrera
Representante de Profesores:	M.Sc. Edgar Arnoldo Casasola Chinchilla
Representante de Profesores:	Ph.D. Felipe Nery Agustín Hernández
Representante de Graduados:	Lic. Zoot. Alberto Genesio Orellana Roldán
Representante de Estudiantes:	Br. Heidy Jeaneth Martínez Cuestas
Representante de Estudiantes:	Br. Otoniel Sagastume Escobar
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

Msc. Hugo Rolando Villafuerte Villeda
M.Sc. Marlon Leonel Bueso Campos
M. Sc. José Leonidas Ortega Alvarado

TERNA EVALUADORA

M.Sc. Edgar Arnoldo Casasola Chinchilla Nombre
M.Sc. José Ramiro García Álvarez
M.Sc. Godofredo Ayala Ruiz

REF-PTG- MRDM-02-2013
Chiquimula, noviembre de 2013

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-, para asesorar al estudiante, Gabriel Alejandro Heredia Carranza, en el trabajo de investigación denominado **"DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO EN LOS CULTIVOS DE TOMATE *Lycopersicum esculentum* Y CHILE *Capsicum sp.* BAJO CONDICIONES DE PROTECCIÓN EN EL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA"**, 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.

"ID Y ENSEÑAR A TODOS"

MSc. Mario Roberto Díaz Moscoso
Asesor Principal



cc. Archivo

Chiquimula, Noviembre de 2013

Señores
Consejo Directivo
Centro Universitario de Oriente
Ciudad de Chiquimula

Honorables Miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de graduación titulado: **"DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA UTILIZADA PARA RIEGO EN LOS CULTIVOS DE TOMATE (*Licopersicum esculentum*) Y CHILE (*Capsicum sp*) BAJO CONDICIONES DE PROTECCIÓN, EN EL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA 2013"**, como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme.

Atentamente:

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Gabriel Heredia Carranza', with a stylized flourish at the end.

Gabriel Alejandro Heredia Carranza

D-TG-A-106/2013

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 **GABRIEL ALEJANDRO HEREDIA CARRANZA** titulado “**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA UTILIZADA PARA RIEGO EN LOS CULTIVOS DE TOMATE (*Lycopersicum esculentum*) Y CHILE (*Capsicum* sp) BAJO CONDICIONES DE PROTECCIÓN, EN EL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA 2013**”, 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 veintiséis de noviembre de dos mil trece.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



MSc. Nery Waldemar Galdámez Cabrera

**DIRECTOR
CUNORI - USAC**



AGRADECIMIENTOS

A DIOS

A MIS PADRES

A MI ESPOSA E HIJOS

A MIS FAMILIARES

A MIS CATEDRÁTICOS

A MI ASESOR Y DESTACADO CATEDRÁTICO

M. Sc. Mario Roberto Díaz Moscoso

AL CUERPO DE CATEDRATICOS DE LA CARRERA DE AGRONOMIA

Fuente de conocimiento y saber

A LOS MIEMBROS DEL PROGRAMA DE TRABAJOS DE GRADUACION:

Msc. Hugo Rolando Villafuerte Villeda

M.Sc. Marlon Leonel Bueso Campos

M. Sc. José Leonidas Ortega Alvarado

A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

AL CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE-CUNORI

A GUATEMALA

Nuestra patria libre y soberana, que resulte beneficiada del logro que hoy
alcanzamos.

ACTO QUE DEDICO A

A DIOS:

Creador de todas las cosas, por ser benevolente y brindarme todas las oportunidades, medios y métodos para poder vivir en paz.

A MIS PADRES:

Gabriel Heredia Castro y Alma Jeannette Carranza Castañeda, por darme la vida, instruirme en el camino del bien, formarme como un buen ser humano y brindarme el ejemplo de personas correctas. Gracias les doy por el apoyo incondicional.

A MI ESPOSA:

Ingrid Griselda, que sin su apoyo no hubiera conseguido los triunfos de mi vida, gracias por acompañarme en el camino de mi carrera. La Amo.

A MIS HIJOS:

Gabriel Alcides y José Damián, porque son la fuente de mi aspiración para ser mejor cada día y poder darles el ejemplo que mis padres me dieron.

A MI HERMANO y HERMANAS:

Melvin, Jennyfer, Jessica y Katerine, porque siempre estuvieron cuando más los necesite y me brindaron su apoyo y cariño incondicionalmente.

A MIS ABUELOS:

Aura, Eva y Erminio, gracias por su compañía y sabios consejos.

A MIS SOBRINOS:

Carlos Gabriel, Javier Alejandro, María del Milagro, Gabriela Sofía, Melvin Sebastián. Gracias por iluminar con su presencia y sonrisa cada momento de mi vida.

A MIS SUEGROS, CUÑADA Y CUÑADO:

Por brindarme su apoyo y cariño incondicionalmente. Se les aprecia enormemente.

A BUFETE ARCE:

Gracias por su apoyo, amistad y cariño.

A TODA MI FAMILIA:

En general gracias a todos por su amor y cariño en todo momento. En especial a familia Guevara Carranza, que son como mis padres y hermanos. Se les aprecia enormemente.

INDICE

Contenido	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
III. JUSTIFICACIÓN	3
IV. MARCO TEÓRICO	4
4.1 El muestreo	4
4.2 Procedimiento de captación	5
4.3 Observaciones importantes en la captación de agua	7
4.4 Calidad de agua para riego	7
4.5 Parámetros de calidad de agua	9
4.5.1 Temperatura	10
4.5.2 La concentración de sales	10
4.5.3 La relación de adsorción de sodio	13
4.5.4 El sodio	15
4.5.5 Los cloruros y sulfatos	16
4.5.6 Los carbonatos y bicarbonatos	17
4.5.7 Sabor y olor	17
4.5.8 Color	17
4.5.9 Turbidez	18
4.6 Otros factores que influyen en la calidad de agua	18
4.7 Clasificación de las aguas para riego	21
4.7.1 Conductividad eléctrica	22
4.7.2 Índice RAS	25
4.7.3 Clasificación de la conductividad eléctrica y la relación de adsorción de sodio siguiendo la metodología de las normas Riverside	26
4.7.4 Criterio de fitotoxicidad	30
4.7.5 Clasificación según la dureza	30
4.7.6 Clasificación según las normas H. Greene	31

4.7.7	Clasificación siguiendo las normas L.V. Wilcox	31
4.7.8	Clasificación basada en la formación de precipitados	32
4.7.9	Clasificación según el índice de Langelier	33
V.	MARCO REFERENCIAL	37
5.1	Descripción de las áreas de estudio	37
5.2	Zonas de vida	39
5.3	Suelos	40
VI.	MARCO METODOLÓGICO	41
6.1	Objetivos	41
6.2	Hipótesis	42
6.3	Población y muestra	42
6.4	Geo posicionamiento de área de cultivo en condiciones de protección	43
6.5	Técnicas de recolección de muestras	43
6.6	Parámetros a determinar	43
6.7	Análisis de la Información	44
VII.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	45
7.1	Conductividad eléctrica	50
7.2	Relación de Adsorción de Sodio	53
7.3	Criterio de fitotoxicidad	57
7.4	Clasificación según las normas H. Greene	58
7.5	Clasificación siguiendo las normas L.V. Wilcox	59
7.6	Clasificación basada en la formación de precipitados	61
7.7	Clasificación según el índice de Langelier	64
7.8	Temperatura	68
7.9	Coliformes totales y fecales	70
VIII.	CONCLUSIONES	72
IX.	RECOMENDACIONES	73
X.	BIBLIOGRAFÍA	73
XI.	ANEXOS	74
1.	Boleta de campo	76

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Contenido	Página
1	Parámetros comunes de calidad de agua	9
2	Relacion de adsorción de sodio	15
3	Parámetros de calidad de agua según la conductividad eléctrica	22
4	Riesgo de la relación de adsorción de sodio	26
5	Riesgo de fitotoxicidad según el sodio	30
6	Tipo de agua según la dureza	30
7	Calidad química del agua de riego en función de la formación de precipitados	33
8	Tabla de valores paramétricos para el índice de Langelier	34
9	Característica del agua según el índice de Langelier	34
10	Riesgo de obstrucción de sistemas de riego	34
11	Generalidades e identificación del muestreo	45
12	Fuente de agua y tipo de riego utilizado en los sistemas de producción	48
13	Determinación de la calidad de agua tomando en cuenta la conductividad eléctrica	50
14	Clasificación de las aguas para riego según las normas Riverside	51
15	Clasificación del riesgo de adsorción de sodio	53
16	Comparación de resultados según la relación de adsorción de sodio	54

Cuadro	Contenido	Página
17	Interpretación y recomendación de la calidad de agua para riego según las normas Riverside	56
18	Determinación de fitotoxicidad de sodio	57
19	Clasificación según el porcentaje de sodio en relación a las sales	58
20	Clasificación según el porcentaje de sodio en relación a las sales	59
21	Riesgo de formación de precipitados	61
22	Características del agua según el índice de incrustación de Langelier	64
23	Riesgo potencial de obstrucción según el índice de incrustación de Langelier	64
24	Riesgo y clase de agua según el índice de Langelier	65
25	Calidad del agua según la temperatura	68
26	Análisis microbiológico	70

INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica	Contenido	
Página		
1	Relación de la CE y la temperatura	24
2	Calidad del Agua según el contenido de sales	31
3	Calidad de agua según el porcentaje de sodio y la conductividad	32
4	Area cultivada en Ha.	46
5	Area cultivada según modalidad	47

INDICE DE FIGURAS

Figura	Contenido	
Página		
1	Normas de Riverside para evaluar la calidad de las aguas de riego.	29
2	Ubicación de del área de estudio	38
3	Ubicación y tipo de fuente utilizada en la producción de tomate y chile en condiciones de ambientes protegidos, Chiquimula. 2013	49
4	Normas de Riverside para evaluar la calidad de las aguas de riego.	55
5	Análisis de los parámetros químicos de las fuentes de agua evaluadas	60
6	Análisis del riesgo de formación de precipitados en las fuentes de agua evaluadas	63
7	Análisis del riesgo de obstrucción, corrosión e incrustación de las fuentes de agua evaluadas	67
8	Análisis de los parámetros físicos de la fuentes de agua evaluadas.	69
9	Análisis microbiológico de las fuentes de agua Evaluadas en el departamento de Chiquimula	71

RESUMEN

En el departamento de Chiquimula, existía una caracterización de la calidad de agua utilizada en la producción de tomate y chile en condiciones de ambientes protegidos. Sin embargo el diagnóstico de la calidad del agua efectuado fue orientado a conocer las condiciones físicas, químicas y microbiológicas, que imperan y afectan la producción hortícola el departamento de Chiquimula. Para ello fue necesaria la utilización de materiales de laboratorio debidamente esterilizados, equipo actualizado y personal capacitado.

Los principales parámetros analizados fueron: Conductividad Eléctrica CE, la Relación de Adsorción de Sodio RAS o SAR, El criterio de Fitotoxicidad siguiendo la clasificación de la FAO, Dureza, Normas Riverside, Normas H. Greene, Normas L. V. Wilcox, Índice de Langelier y las normas COGUANOR para agua de consumo humano, con los análisis efectuados se determinó que el riesgo de formación de precipitados que presentan las fuentes de agua provenientes de ríos y Quebradas es Severo, por tener un pH mayor a 8, así para las fuentes provenientes de pozos, nacimientos y embalses ya que en su totalidad el riesgo para estos casos es moderado y leve, por lo que en el primer caso se recomienda utilizar productos reguladores de pH, ácido fosfórico o ácido sulfúrico para disminuir el riesgo existente.

En cuanto a la conductividad eléctrica se determinó que la totalidad de las fuentes analizadas son aptas para la utilización en riego, el riesgo de fitotoxicidad es inexistente; y, el riesgo de obstrucción de sistemas de riego en cuanto al índice de Langelier, se determinó que es alto para las fuentes provenientes de ríos y quebradas. En cuanto a la calidad de agua según los parámetros microbiológicos para la totalidad de las muestras analizadas, es adecuada por presentar niveles altos de coliformes fecales, por lo que se recomienda hacer tratamientos de desinfección en estos municipios con cloro por ser un insumo eficaz y económico.

I. INTRODUCCIÓN

El departamento de Chiquimula está identificado como uno de los mayores productores de tomate y chile, lo que se ve reflejado en el mercado nacional. La producción de hortalizas es una actividad importante para las familias chiquimultecas, debido a que representa un medio de obtención de ingresos y empleo rural (MAGA 2010).

Considerando la importancia de los cultivos de tomate y chile en el departamento, se han identificado a los municipios de Chiquimula, Esquipulas, Ipala, Jocotán, Camotán, San José La Arada y San Juan Ermita con las mayores áreas de producción de hortalizas bajo condiciones ambientales protegidas (FAO-PESA 2009).

Se ha determinado que en el manejo de los cultivos, el agua representa un insumo importante, debido a que se utiliza en actividades como: riego, fertilización, control de plagas y enfermedades por lo que influyen directamente en la relación suelo-planta lo cual se relaciona en forma directa con el desarrollo y producción del cultivo, específicamente en el rendimiento y calidad del producto. También se puede decir que en todo proceso de producción es necesario determinar los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de las fuentes de agua, especialmente aquellas en donde se cuenta con cobertura de protección, para posteriormente comparar los resultados de los análisis de laboratorio y establecer la calidad de la misma, definiendo si es o no apta para su uso en la producción hortícola.

Por la falta de información sobre la calidad de agua utilizada para riego en el Departamento de Chiquimula, surge la necesidad de realizar una caracterización de las fuentes de agua, con el propósito de brindar recomendaciones a los agricultores para mejorar la productividad de los cultivos, por lo que se tomó en cuenta la diversidad de parámetros y rangos comparativos para determinar el uso, calidad, riesgo y características de este insumo y con ello respondernos sobre si "la calidad del agua utilizada para la producción de tomate y chile en el Departamento de Chiquimula es de buena calidad y su uso no presenta riesgo alguno"

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los municipios de Esquipulas, Ipala, Jocotán, Camotán, San Juan Ermita, Chiquimula y San José la Arada, están identificados como las zonas con mayor producción de hortalizas a campompo abierto y en condiciones de ambientes protegidos. Uno de los insumos más importantes en la agricultura es el agua, debido a que se utiliza en actividades como: riego y aspersión de agroquímicos. Actualmente los productores de hortalizas no realizan análisis de agua, debido al costo y la capacidad de interpretación de los resultados para su manejo. En muchas unidades de producción, no se conoce las características físicas, químicas y microbiológicas de las fuentes de aguas, para poder realizar el mejor uso de las mismas.

Los productores han determinado problemas como bacteriosis, salinidad, aborto de flor y daños a los frutos entre otros, están relacionados al suelo, el agua, el manejo agronómico y el clima. Algunas instituciones presentes en la región como por ejemplo Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (FAO PESA), Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (MAGA), han manifestado lo siguiente: falta de asistencia técnica, ciclos de plagas y enfermedades, las características propias del suelo y las fuentes de agua han provocado los bajos rendimientos en los cultivos. La Federación de Asociaciones Agrícolas de Guatemala (FASAGUA), identificó como otros problemas: la escasez de agua para riego, efectos climáticos, altos costos de producción.

Por lo anterior se propone realizar una evaluación de la calidad del agua utilizada para la producción en los cultivos de tomate y chile en los Municipios de Esquipulas, Ipala, Jocotán, Camotán, San Juan Ermita, San José La Arada y Chiquimula, durante el ciclo de producción comprendido a finales del año dos mil doce y principios del año dos mil trece, para la producción de tomate y chile, en condiciones bajo protección.

En el departamento no existe una caracterización sobre las fuentes y calidad del agua para riego de los productores de tomate y chile, por lo que es necesario realizar una zonificación en función de la calidad y establecer recomendaciones de su uso para la producción de hortalizas.

III. JUSTIFICACIÓN

El agua es el principal líquido existente en la naturaleza, vital para el normal funcionamiento de la mayoría de seres vivos, en la agricultura puede ser un medio de transporte de microorganismos patógenos, elementos y sustancias químicas.

El cultivo de tomate y chile es una actividad de importancia económica para los productores del departamento de Chiquimula. Sin embargo, la mayoría de los productores no disponen de asesoría técnica, por lo general no realizan análisis de suelo y agua, producen de forma intensiva y no practican la rotación de cultivos. El manejo que proporcionan a las unidades de producción han reportado altos costos. Actualmente el agua tiene un papel importante en la agricultura, por lo que su disponibilidad y calidad son determinantes para el establecimiento de cualquier cultivo.

La falta de información de la calidad de agua existente puede influir: en el excesivo uso de agroquímicos, disminución del rendimiento y baja calidad de la fruta, problemas de obstrucción de tubería y sistemas de riego; y, el no disponer de datos importantes como pH, conductividad eléctrica, dureza, relación de absorción de sodio, no permiten aprovechar eficientemente la potencialidad de los insumos para la producción, además de influir significativamente en la producción.

El presente estudio plantea la caracterización de las fuentes de agua identificadas en los municipios de Chiquimula, Esquipulas, Ipala, Jocotán, Camotán y San Juan Ermita y San José La Arada, con el propósito de generar información que sirva de base para realizar una zonificación en función de la calidad del agua para riego y establecer recomendaciones sobre su uso en el manejo de los cultivos de tomate y chile producidos en condiciones de protección.

La información generada será utilizada como fuente de consulta por el Centro Universitario de Oriente, organizaciones no gubernamentales, estudiantes de las diferentes carreras y productores de hortalizas en general.

IV. MARCO TEÓRICO

4.1 El muestreo

El diagnóstico de la calidad del agua debe estar orientado a conocer las condiciones físicas y químicas, para ejercer un control de su calidad. Los estudios deben hacerse por un periodo de seis meses de tiempo, de tal manera que una fuente debe ser muestreada bajo las diferentes condiciones ambientales, que se presentan durante un ciclo de producción, para ello debe tomarse en cuenta: las estaciones del año, los materiales del lugar de nacimiento, los materiales de recorrido y posibles fuentes de contaminación.

El muestro de aguas conlleva el propósito de obtener muestras representativas de las fuentes a utilizar.

a) Consideraciones importantes del muestreo

En los puntos de muestreo seleccionado, se realizarán los procedimientos internacionales aceptados para la toma de muestra de agua. Las muestras se colectarán en recipientes plásticos de alta densidad con un volumen de un litro y serán almacenadas a una temperatura aproximadamente de 4° C, para su traslado del punto de recolección hasta el laboratorio. Algunos de los aspectos a considerar son los siguientes:

- Debe ser representativa de la fuente
- El volumen de agua a muestrear no debe ser menor de 250 ml por lo que se debe obtener un volumen de 1000 ml.
- Las muestras deben ser analizadas lo antes posible, es recomendable no dejar pasar más de 18 horas y en todo caso no más de 24 horas.
- Las muestras deben transportarse en un recipiente fresco, evite transportarlas o dejarlas en lugares calientes, transpórtese en hielo cuando sea necesario.
- Debe evitarse que las muestras sean contaminadas. Es de hacer notar que el simple hecho de tocarla con el dedo, una gota de sudor por descuido hace que se altere considerablemente los resultados analíticos.

considerablemente los resultados analíticos.

- Si no es posible el análisis de las muestras dentro de las siguientes 24-48 horas después de muestreadas estas deberán guardarse en refrigeradora a 5-8 grados °C evitando que sean congeladas.
- Los recipientes deben ser completamente limpios y plenamente identificados.

b) Datos que deben colocarse en la etiqueta de cada muestra:

- de muestra.
- Fuente: río, nacimiento, reservorio, pozo etc.
- Nombre de la fuente.
- Punto de muestreo.
- Profundidad del muestreo.
- Temperatura.
- Jurisdicción.
- Fecha de muestreo.
- Hora de muestreo.
- Tomado por (nombre de la persona).
- Observaciones.

4.2 Procedimiento de captación de la muestra

Debe ponerse especial interés y cuidado en la recolección de las muestras de agua. De ello depende, en gran parte, el éxito de los resultados analíticos reales. Los diferentes tipos de fuentes deberán muestrearse siguiendo el procedimiento recomendado para cada una de ellas

Las muestras de agua se recolectarán de acuerdo al siguiente procedimiento:

Cada botella se lavará en el laboratorio utilizando detergente libre de fosfatos, ácido clorhídrico al 3% y agua destilada para eliminar todo tipo de contaminante, se dejará secar

y permanecerá cerrada hasta el momento del muestreo. Cada botella se acondicionará previamente con tres lavados con el agua del punto de muestreo, se procurará no alterar los sedimentos en cada lavado.

Se llenará la botella sumergiendo, sin dejar burbujas de aire. Se cerrará cada botella con su respectivo tapón de seguridad y posteriormente se almacenará a 4° C y se transportará para su análisis en el laboratorio.

a) Muestreo de sistemas de distribución

Antes de tomar la muestra, debe purgarse la tubería abriendo el chorro por 3 a 5 minutos. De esa manera se asegura de tomar una muestra más representativa del volumen de agua que fluye por las tuberías. Evitar tocar la boca del chorro con el recipiente de muestreo, evitar contaminantes por salpicaduras.

b) Muestreo de pozos

Para pozos mecánicos: deberá bombearse el agua, por espacio de 5-10 minutos, a fin de descargar el agua almacenada en la tubería y tomar una muestra promedio del agua que abastece el pozo. Coloque el recipiente a dos pulgadas de la salida del chorro. Evite contaminaciones por salpicaduras.

Para pozos manuales: No se toma la muestra con el balde o cubeta que se utiliza en el pozo, introdúzcase un recipiente plástico de galón previamente limpio con las normas ya indicadas. Los pozos deben muestrearse mensualmente o bimensualmente, en la época seca o lluviosa, tratando de obtener muestras representativas de las aportaciones del acuífero.

c) Muestreo en ríos

Los valores analíticos de las muestras de ríos, varían con las distancias de los márgenes, profundidad y turbulencia de la corriente. Las muestras de agua de un río que es estudiado por primera vez deben ser tomadas tanto en el margen como en la mediación, las muestras deben ser tomadas a lo largo de su recorrido, partiendo de su nacimiento hasta el punto de derivación, investigar los tributarios y las diferentes fuentes de

a problemas de distancias, accesibilidad, etc. En cuyo caso deberá cumplir con el muestreo representativo y el control periódico durante uno o varios años en torno al caudal cercano al punto de derivación.

d) Muestreo en reservorios

El muestreo sigue las mismas técnicas y recomendaciones que para los ríos. De igual manera, el valor analítico de las muestras varía con las condiciones de los márgenes, ríos que alimentan el lago distancia de la orilla, profundidad, etc. Para el control del balance de sales, el muestreo debe efectuarse en el punto de desagüe del reservorio, o en el punto de derivación de una obra.

4.3 Observaciones importantes en la captación de agua

Es importante enjuagar el recipiente de muestreo con la misma muestra de agua a recolectar. Asegúrese que el recipiente no esté rebajado. Así mismo debe tapar bien el recipiente para que la muestra no se derrame. Asegúrese de etiquetar bien las muestras para evitar que se desprendan y que los datos anotados en la etiqueta no se borren o manchen.

4.4 Calidad del agua para riego

El término calidad del agua es relativo y solo tiene importancia universal si está relacionado con el uso del recurso. Esto quiere decir que una fuente de agua suficientemente limpia que permita la vida de los peces puede no ser apta para la natación y un agua útil para el consumo humano puede resultar inadecuada para la industria o la agricultura.

Para decidir si un agua califica para un propósito particular, su calidad debe especificarse en función del uso que se le va a dar por lo que en la presente investigación se trató del tema de calidad de agua para riego en los cultivos de tomate y chile que se encontraban en condiciones protegidas. Bajo estas consideraciones, se dice que un agua está contaminada cuando sufre cambios que afectan su uso real o potencial.

Es importante anotar que la evaluación de la calidad del agua se realiza usando técnicas analíticas adecuadas para cada caso. Para que los resultados de estas determinaciones sean representativos, es necesario dar mucha importancia a los procesos de muestreo y a las unidades y terminología empleadas.

Para una correcta interpretación de los datos obtenidos, los resultados de los análisis deben manejarse estadísticamente, teniendo en cuenta la correlación de iones, los factores que gobiernan el comportamiento de los componentes del agua, etcétera. El uso de gráficos ayuda a mostrar las relaciones físicas y químicas entre el agua, las fuentes probables de contaminación o polución y el régimen de calidad y, por tanto, a realizar adecuadamente la evaluación de los recursos hídricos.

El tipo de agua que se utilice como agua de riego tiene dos efectos importantes, a corto plazo influye en la producción, calidad y tipo de cultivo; y, a largo plazo ciertas aguas pueden perjudicar el suelo hasta hacerlo totalmente inservible para la agricultura. Sea cual sea el origen del agua debe de cumplir la calidad que se exige a una agua de riego natural y únicamente en ciertas situaciones o para ciertas producciones pueden variarse los márgenes establecidos, Siempre que no afecte las propiedades del suelo.

Así pues, del agua para riego está determinada por la concentración y composición de los constituyentes disueltos. Por lo tanto, la calidad del agua es una consideración importante para la investigación de las condiciones de salinidad o contenido de sodio intercambiable en cualquier zona de riego.

En varias partes del mundo el aumento de la agricultura bajo riego y los cambios en las prácticas de manejo están causando problemas muy serios debido a la calidad de las aguas. Existe la tendencia a usar para riego toda agua disponible. Esto significa que después de varios años las derivaciones de las corrientes superficiales pueden cambiar de agua de río no contaminada, a una porción considerable de flujo revolvente de pobre calidad, proveniente del drenaje.

Para la evaluación de la calidad de un agua de riego se han desarrollado índices empíricos que suponen una guía práctica y de uso generalizado. Esta evaluación no

requiere el grado de precisión analítica propio de un estudio de investigación, se trata de obtener una indicación de los posibles problemas a tener en cuenta en la toma de decisiones

4.5 Parámetros de calidad de agua

El conjunto de parámetros a considerar en la evaluación de la calidad del agua de riego han de contemplar el conjunto de características físicas, químicas y microbiológicas que definen su adecuación. Habitualmente las determinaciones que se realizan al agua de riego son según Cánovas Cuenca, J. 1986.

CUADRO 1. Parámetros comunes de calidad de agua

Parámetro de calidad	símbolo	unidad	intervalo usual
Salinidad			
Contenido de Sales			
Conductividad Eléctrica	CE a 25 °C	μS/cm	0-3000
	CE a 25 °C	dS/cm	0-3
Materia Disuelta Total	MTD	mg/l	0-2000
Cationes y Aniones			
Calcio	Ca ²⁺	mg/l	0-400
Magnesio	Mg ²⁺	mg/l	0-60
Sodio	Na ⁺	mg/l	0-900
Carbonatos	CO ₂ ⁻³	mg/l	0-3
Bicarbonatos	HCO ³⁻	mg/l	0-600
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	0-1100
Sulfatos	SO ₂ ⁻⁴	mg/l	0-1000
Diversos			
Boro	B	mg/l	0-2
pH	pH	-	6.5-8.5
SAR	SAR	-	0-15

Fuente: Cánovas Cuenca, J. (1986) "Calidad agronómica de las aguas de riego".

Los datos presentados son, en principio, suficientes para evaluar la idoneidad de un agua de riego y tener en cuenta los posibles problemas que esta agua pueda causar al suelo o a las plantas pero en algunos casos cuando se sospecha de una anomalía en el agua es importante la determinación de otros parámetros como: el contenido en metales pesados y boro (por su incidencia en la cadena trófica y su alta toxicidad), los sólidos en suspensión

(pueden condicionar el tipo de riego), los detergentes (para evitar problemas en las conducciones y en las superficies activas del suelo); si se realiza la preparación de soluciones nutrientes, para la fertirrigación, se han de analizar además de los iones habituales otros como: hierro, manganeso, cobre, nitratos y fosfatos, a fin de tener en cuenta sus concentraciones en el agua de riego y su incidencia sobre la nutrición de los cultivos. Por todo esto, pueden ser interesantes los análisis adicionales que contemplen los siguientes parámetros:

4.5.1 Temperatura

La variación de la temperatura tiene incidencia sobre diferentes parámetros físico-químicos que, a su vez, pueden afectar la calidad de las aguas de riego. Los factores a tener en cuenta son derivados de los sistemas de riego, de las condiciones del cultivo y de la variación de temperatura diaria y estacional.

La solubilidad de las sales varía irregularmente en función de la sal de que se trate. La solubilidad de muchas sales aumenta con la temperatura. En cambio, en algunos sulfatos y carbonatos alcalinotérreos, un cambio en las formas cristalinas y estables conduce a una disminución de solubilidades con el aumento de la temperatura. Consideramos, por último, que los bicarbonatos son inestables y se descomponen con el aumento de temperatura del agua, dando lugar a carbonatos y dióxido de carbono

El agua de riego actúa sobre las temperaturas del suelo, del substrato y de la planta modificando su régimen térmico, en uno u otro sentido, en función de la época de aplicación del riego y del origen del agua utilizada. La temperatura del agua influye en la infiltración superficial y en algunos casos en la facilidad de humectación de algunos substratos orgánicos como la torva, por lo que en ocasiones es necesario construir balsas y albercas con la finalidad de regar cuando el suelo esté frío o el agua más caliente.

4.5.2 La concentración de sales

Está referida a la presencia de iones, cationes y aniones asociados formando sales en disolución. La concentración de sales (concentración total) esta expresada en términos de

conductividad eléctrica (micromhos/cm). Así mismo puede referirse a la suma de cationes y a la suma de aniones de las sales solubles expresada en meq/litro. La concentración total de sales solubles en las aguas de riego, para fines de diagnóstico y de clasificación, se puede expresar en términos de conductividad eléctrica, la cual se puede determinar en forma rápida y precisa. Casi todas las aguas para riego que se han usado por mucho tiempo tienen una conductividad eléctrica menor de 2,250 micromhos/cm. Ocasionalmente se usan aguas de mayor conductividad, pero las cosechas obtenidas no han sido satisfactorias, excepto en raras ocasiones.

En general, las aguas cuya conductividad eléctrica sea menor de 750 micromhos/cm son satisfactorias para el riego por lo que respecta a sales, aun cuando los cultivos sensibles pueden ser afectados adversamente cuando se usan aguas cuya conductividad varíe entre 250 y 750 micromhos/cm.

Las aguas cuya conductividad eléctrica varía entre 750 y 2,250 micromhos/cm son comúnmente utilizadas, obteniéndose con ellas crecimiento adecuado de las plantas, Siempre y cuando haya un buen manejo de la tierra y un drenaje eficiente. El empleo de aguas con conductividad eléctrica mayor de 2,250 micromhos/cm es una excepción y rara vez se obtienen buenos resultados.

El calcio, el magnesio y el potasio son nutrientes necesario para el crecimiento de las plantas; sin embargo, debe entenderse que cuando estos se complementan con carbonatos, cloruros y sulfatos combinados en condiciones adversas del medio, adquieren grandes concentraciones, convirtiéndose en perjudiciales, para el suelo y para las plantas, sobre todo para aquellos suelos pesados con drenaje deficiente o bajo déficit de lluvia.

El uso doméstico produce un incremento en el contenido en sales propio del agua de abastecimiento usada que suele estar entre 150-400 mg/ l. Este aumento no se altera con la depuración y eso hace que las aguas residuales puedan presentar problemas de salinidad.

El término salinidad representa la cantidad y el tipo de sales disueltas en el agua de riego y su valor se determina mediante la medida de la conductividad eléctrica de la solución. La conductividad eléctrica aumenta al aumentar la salinidad de la solución.

A medida que aumenta la salinidad del agua utilizada para regar también lo hace la posibilidad de que aparezcan problemas en el suelo, en el agua o en el cultivo agrícola como consecuencia de los efectos osmóticos que la alta concentración salina provoca (en las zonas radicales afecta al flujo de agua en el sistema suelo-planta). Estos problemas pueden guardar relación con el contenido total de sales, con el contenido de uno o varios tipos de sales o con concentraciones excesivas de uno o varios microelementos. Es, pues, uno de los parámetros individuales más importantes para determinar la idoneidad de un agua de riego.

Siempre que se riega se aportan sales al suelo, lo que se debe tener en cuenta es la acumulación que se da de estas, la cual depende de la cantidad de sales aportadas por el agua de riego y de la cantidad de sales eliminadas por el lavado del suelo. A largo plazo las sales aportadas han de igualar las sales eliminadas. La eliminación se facilita por el hecho que la mayoría de sales que se aportan con una agua de riego son solubles y por tanto se arrastran fácilmente con el agua que el cultivo utiliza de un riego, y que de esta manera lava el suelo (es importante un buen drenaje para un movimiento continuo del agua y de las sales). Establecer un flujo descendente tanto de agua como de sales, a través de la zona radicular es la única manera de resolver el problema de la salinidad.

La gestión del riego y, por tanto, la determinación de la fracción de lavado adecuada, variará mucho según el grado de capacidad de drenaje del suelo; en casos de salinidad fuerte, la gestión será intensa y puede dar lugar a decisiones que supongan hasta un cambio en el cultivo utilizado, ya que en ciertos cultivos estas aguas pueden suponer reducciones de productividad importantes incluso utilizando la mejor técnica de gestión posible.

Podemos ver que Cánovas, indica que el cultivo de Tomate (*Lycopersicum esculentum*) y Chile (*Capsicum sp*), se encuentran en un rango de tolerancia de moderadamente

tolerantes, por lo que se hace importante su diagnóstico para lograr mejores rendimientos de estos.

En general se puede decir que pueden presentarse problemas por salinidad del agua de riego cuando la conductividad eléctrica es superior a 2 dS/ m. Esta conductividad eléctrica corresponde a un contenido aproximado de sales de 1.3 g/ l. Valores de conductividad eléctrica superiores a 3 dS/ m (equivalente a unos 2 g/ l) producen disminuciones importantes de producción en la mayoría de casos.

Las aguas residuales tienen un contenido en sales variable que oscila, en general, entre 2-4 dS/ m. Así pues pueden presentar problemas por salinidad si se utilizan estas aguas y no se produce una lixiviación importante sales con el riego o las lluvias.

Otro parámetro importante y base para evaluar la acumulación de sales en el suelo, debida a la evapotranspiración del agua del suelo y no la propia concentración de sales del agua de riego es el total de sales disueltas (TSS). Nosotros incorporamos con el agua de riego una cantidad de sales disueltas que se concentraran mucho más en el suelo como consecuencia de la evapotranspiración a la que está sometida esa solución una vez retenida en la matriz del suelo.

El uso prolongado de agua residual regenerada para regar no es posible si no se dispone de un drenaje adecuado. En las condiciones características de la mayoría de suelos, la utilización de una cantidad de agua residual superior a la necesaria tanto para el crecimiento normal de la planta como para el lavado del suelo dará lugar al desarrollo de una capa freática próxima a la superficie que será una fuente adicional e importante de sales.

4.5.3 La relación de adsorción de sodio (SAR) o (RAS)

La relación de absorción de sodio (SAR) es un parámetro que refleja la posible influencia del ion sodio sobre las propiedades del suelo, ya que tiene efectos dispersantes sobre los coloides del suelo y afecta a la permeabilidad. Sus efectos no dependen sólo de la concentración en sodio sino también del resto de cationes. Se basa en una fórmula

empírica que relaciona los contenidos de sodio, calcio y magnesio y que expresa el porcentaje de sodio de cambio en el suelo en situación de equilibrio (este índice denota la proporción relativa en que se encuentra el sodio respecto al calcio y magnesio, cationes divalentes que coiten con el sodio por los lugares de intercambio del suelo).

$$\text{SAR} = \text{Na} / ((\text{Ca} + \text{Mg}) / 2)^{1/2}$$

Si en el agua predomina el ion sodio, inducirá cambios de calcio y magnesio por sodio en el suelo, lo que podría llevar a la degradación de éste, con la consiguiente pérdida de estructura y permeabilidad.

En la valoración del SAR no se tiene en cuenta la interacción entre los constituyentes del agua de riego, los constituyentes sólidos del suelo y los de la solución del suelo, de forma que se ha amplificado con exceso la incidencia negativa del sodio en el suelo, considerando que el valor del SAR en la solución del suelo, en el perfil superior, es el mismo que el del agua que se usa para regar. Esta consideración no es del todo cierta ya que por una parte, el agua de riego disolverá o precipitará carbonatos alcalinotérreos cuando se adicionen al suelo, se concentraran o se establecerán nuevos equilibrios en el sistema del suelo; y por otra parte se producirán procesos de meteorización de los minerales del suelo. Todo esto afectará el contenido en calcio en el agua intersticial y por tanto tendrá un efecto diferente sobre los lugares de cambio respecto el sodio y el magnesio. Por todo esto un ajuste en el cálculo de la SAR suele ser necesario para la evaluación de la calidad de ciertas aguas, es la SAR ajustada:

SAR ajustada = $\text{Na} / ((\text{Cax} + \text{Mg}) / 2)^{1/2}$ donde las concentraciones de Na y Mg, expresadas en meq/ l, se obtienen del análisis del agua y la concentración de Cax, en meq/ L, se deduce de la tabla que aparece a continuación. Para utilizar esta tabla es necesario conocer la conductividad eléctrica (CE) del agua en dS/ m, y el cociente concentraciones de bicarbonato y calcio, expresadas en meq/ l. Estos parámetros nos permitirán estimar la concentración de calcio en la interface suelo-agua suponiendo que: 1) se han conseguido las condiciones de equilibrio, 2) no hay precipitación de Mg y 3) la presión parcial de CO₂, es de 0.0007 atmósferas.

CUADRO 2. Relación de adsorción de sodio ajustada

HCO ₃ /Ca	Salinidad del agua de riego, dS/m											
	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0
0,05	13,20	13,61	13,92	14,40	14,79	15,26	15,91	16,43	17,28	17,97	19,07	19,94
0,10	8,31	8,57	8,77	9,07	9,31	9,62	10,02	10,35	10,89	11,32	12,01	12,56
0,15	6,34	6,54	6,69	6,92	7,11	7,34	7,65	7,90	8,31	8,64	9,17	9,58
0,20	5,24	5,40	5,52	5,71	5,87	6,06	6,31	6,52	6,86	7,13	7,57	7,91
0,25	4,51	4,56	4,76	4,92	5,06	5,22	5,44	5,62	5,91	6,15	6,52	6,82
0,30	4,00	4,12	4,21	4,36	4,48	4,62	4,82	4,98	5,24	5,44	5,77	6,04
0,35	3,61	3,72	3,80	3,94	4,04	4,17	4,35	4,49	4,72	4,91	5,21	5,45
0,40	3,30	3,40	3,48	3,60	3,70	3,82	3,98	4,11	4,32	4,49	4,77	4,98
0,45	3,05	3,14	3,22	3,33	3,42	3,53	3,68	3,80	4,00	4,15	4,41	4,61
0,50	2,84	2,93	3,00	3,10	3,19	3,29	3,43	3,54	3,72	3,87	4,11	4,30
0,75	2,17	2,24	2,29	2,37	2,34	2,51	2,62	2,70	2,84	2,95	3,14	3,28
1,00	1,79	1,85	1,89	1,96	2,01	2,09	2,16	2,23	2,35	2,44	2,59	2,71
1,25	1,54	1,59	1,63	1,68	1,73	1,78	1,86	1,92	2,02	2,10	2,23	2,33
1,50	1,37	1,41	1,44	1,49	1,53	1,58	1,65	1,70	1,79	1,86	1,97	2,07
1,75	1,23	1,27	1,30	1,35	1,38	1,43	1,49	1,54	1,62	1,68	1,78	1,86
2,00	1,13	1,16	1,19	1,23	1,26	1,31	1,36	1,40	1,48	1,54	1,63	1,70
2,25	1,04	1,08	1,10	1,14	1,17	1,21	1,26	1,30	1,37	1,42	1,51	1,58
2,50	0,97	1,00	1,02	1,06	1,09	1,12	1,17	1,21	1,27	1,32	1,40	1,47
3,00	0,85	0,89	0,91	0,94	0,96	1,00	1,04	1,07	1,13	1,17	1,24	1,30
3,50	0,78	0,80	0,82	0,85	0,87	0,90	0,94	0,97	1,02	1,06	1,12	1,17
4,00	0,71	0,73	0,75	0,78	0,80	0,82	0,86	0,88	0,93	0,97	1,02	1,07
4,50	0,66	0,68	0,69	0,72	0,74	0,76	0,79	0,82	0,86	0,90	0,95	0,99
5,00	0,61	0,63	0,65	0,67	0,69	0,71	0,74	0,76	0,80	0,83	0,88	0,93
7,00	0,49	0,50	0,52	0,53	0,55	0,57	0,59	0,61	0,64	0,67	0,71	0,74
10,00	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43	0,45	0,47	0,48	0,51	0,53	0,56	0,58
20,00	0,24	0,25	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,32	0,33	0,35	0,37

Fuente: Cánovas Cuenca, J. (1986) "Calidad agronómica de las aguas de riego".

La determinación de la SAR ajustada es importante cuando se utilizan aguas residuales regeneradas ya que estas suelen tener un valor de SAR notablemente superior al de las aguas convencionales.

Las características que intervienen en la calidad de agua de riego son: a) La concentración de sales solubles, b) La concentración de sodio (Na) en relación a las otras sales, c) la concentración de cloruros y sulfatos, d) La concentración de boro y otras sustancias tóxicas (aluminio y selenio) y los carbonatos y bicarbonatos.

4.5.4 El sodio, es el ion capaz de provocar serios efectos en la relación suelo-planta. Su fácil intercambiabilidad en el complejo argilico y la selectividad de algunas arcillas por el sodio provocan efectos nocivos en la parte física, química y biológica del suelo.

El sodio se evalúa en términos de relación de absorción de sodio (RAS), los iones están expresados en meq/litro. La expresión es el índice de peligrosidad del sodio en aguas de riego, por lo tanto dicha expresión señala el sodio intercambiable que tendría un suelo, cuando el suelo y el agua alcanzan un equilibrio. En consecuencia, el RAS en aguas de riego y el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) en suelos están muy ligados. La relación entre el RAS y el PSI se expresa en la siguiente forma:

$$PSI = [100 * (-0.0126 + 0.01475 RAS)] / [1 + (-0.0126 + 0.01475 RAS)]$$

Es necesario recordar que un suelo que contenga 15 o más PSI es un suelo sódico (alcalino) y el rendimiento de la cosecha se reduce considerablemente, además del daño que causa al suelo en sí. El porcentaje de sodio presente en aguas de riego o solución del agua, se calcula así:

$$\% NA = \{ [(NA + K) * 100] / Ca + Mg + Na + K \} = meq / litro.$$

4.5.5 Los cloruros y sulfatos, son aniones determinantes en la calidad del agua para riego. Los cloruros constituyen uno de los aniones más persistentes en agua de riego. Ello se debe a que las sales constituidas en los cloruros son altamente solubles, lo que facilita que dichas sales solubilizadas (disolución) a partir del material parental y transportadas por las aguas de riego. Los cloruros son tóxicos y aunque no dañen el coloide del suelo, su concentración causa problemas de toxicidad en aquellos cultivos sensibles a este anión. El porcentaje de cloro presente en aguas de riego o en la solución, se calcula así:

$$\% CL = \{ [(CL + NO_3) * 100] \} / [CO_3 + HCO_3 + CL + SO_4 + NO_3] \} = Meq / litro$$

Los sulfatos son sales cuya solubilidad es menor que la de los cloruros, pudiendo ser estos medianamente solubles a insolubles. Su toxicidad es menor que la de los cloruros, considerándose que la toxicidad de los SO_4 es más o menos la mitad de los Cl.

4.5.6 Los carbonatos y bicarbonatos, aunque son menos dañinos que los otros iones pueden llegar a constituir problemas en las aguas de riego. Los carbonatos se valoran en función del carbonato de sodio residual CSR.

El CSR es problema en el agua cuando el contenido de carbonato más bicarbonato, sobre pasa el contenido del calcio más magnesio. Las aguas que pueden contener valores elevados de CSR pueden contener sodio efectivo en exceso provocando en el suelo la precipitación del calcio y magnesio, aumentando así el porcentaje de sodio.

Así pues, el exceso de carbonatos, cloruros y sulfatos de calcio y magnesio, así como de sodio, reducen el valor nutritivo y la productividad de los suelos, pudiendo llegar afectar considerables áreas dedicadas a la agricultura. Si a lo anterior se le agrega el efecto del clima (cálido y seco) y el mal manejo hace tanto del agua para riego como del suelo, son las contribuciones que provocan la formación de los suelos problemas, suelos nátricos que constituyen áreas marginales para el desarrollo agrícola y pecuario.

4.5.7 Sabor y olor

Estos parámetros son determinaciones organolépticas y de determinación subjetiva, para dichas observaciones no existen instrumentos de observación, ni registro, ni unidades de medida. Tienen un interés muy evidente en las aguas potables dedicadas al consumo humano y podemos establecer ciertas "reglas":

Las aguas adquieren un sabor salado a partir de 300 ppm de Cl^- , y un gusto salado y amargo con más de 450 ppm de $\text{SO}_4^{=}$. El CO_2 libre en el agua le da un gusto "picante". Trazas de fenoles u otros compuestos orgánicos le confieren un olor y sabor desagradables.

4.5.8 Color

El color es la capacidad de absorber ciertas radiaciones del espectro visible. Existen muchas causas y por ello no podemos atribuirlo a un constituyente en exclusiva, aunque algunos colores específicos dan una idea de la causa que los provoca, sobre todo en las

aguas naturales. El agua pura es bastante incolora sólo aparece como azulada en grandes espesores.

En general presenta colores inducidos por materiales orgánicos de los suelos vegetales:

Color amarillento debido a los ácidos húmicos.

Color rojizo, suele significar la presencia de hierro.

Color negro indica la presencia de manganeso.

El color, por sí mismo, no descalifica a un agua como potable pero la puede hacer rechazable por estética, en aguas de proceso puede colorear el producto y en circuito cerrado algunas de las sustancias colorantes hacen que se produzcan espumas. Las medidas de color se hacen en laboratorio por comparación, y se suelen medir en ppm de Pt, las aguas subterráneas no suelen sobrepasar las 5 ppm de Pt pero las superficiales pueden alcanzar varios cientos de ppm de Pt. La eliminación suele hacerse por coagulación-floculación con posterior filtración o la absorción en carbón activo.

4.5.9 Turbidez

Es la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos y que se presentan principalmente en aguas superficiales, en general son muy difíciles de filtrar y pueden dar lugar a depósitos en las conducciones. La medición se hace por comparación con la turbidez inducida por diversas sustancias, la medición en ppm de SiO_2 ha sido muy utilizada pero se aprecian variaciones según la sílice y la técnica empleadas. Otra forma es mediante célula fotoeléctrica, existen numerosos tipos de turbidímetros. Se elimina por procesos de coagulación, decantación y filtración.

4.6 Otros factores que influyen en la calidad del agua

El uso de agua residual regenerada para regar puede dar lugar a ciertos problemas debido a valores anormales de pH, a la corrosión de las tuberías y equipos, a la obturación del sistema de riego, a la presencia de elevadas concentraciones de cloro residual, etc.

El pH del agua en sí mismo no es un problema aunque un pH fuera del intervalo 6.5-8.4 es buen indicador de una calidad del agua anormal o de la presencia de un ion tóxico, llegando a ser necesaria una evaluación detallada del agua. Esta posibilidad de contaminación puede incidir muy negativamente sobre la población microbiana del suelo, alterar los equilibrios existentes en el mismo y hasta dañar el sistema radicular de las plantas.

Los problemas de corrosión pueden presentarse en las tuberías tanto de metal como de hormigón, delante la presencia de un pH bajo, a una concentración elevada de dióxido de carbono o dióxido de carbono libre, o en algunos casos el efecto secundario de un descenso del oxígeno disuelto en el agua causado por una carga orgánica excesiva.

Los problemas de obturación de los sistemas de riego por aspersión y de riego localizado son debidos a la formación de películas biológicas producidas por bacterias o otros microorganismos llegando a impedir el paso de la misma manera que lo pueden hacer elevadas concentraciones de algas o de materia en suspensión. El sistema de riego que registra más problemas de obturaciones es el localizado (aunque considerado el más ideal al estar totalmente cerrado, evitando el riesgo de contacto y de formación de aerosoles). En general la cloración y un buen nivel de filtrado resuelven estos problemas. Se debe de tener en cuenta que, en general, las aguas residuales suelen tener más sólidos en suspensión que las aguas normales y, por tanto, la frecuencia de limpieza de filtros y laterales ha de ser mayor.

La precipitación de carbonato cálcico y magnésico es uno de los problemas más frecuentes en la obturación de goteros por causas químicas, todo y que también puede presentar problemas la precipitación de los óxidos de hierro y manganeso y los sulfuros de hierro y manganeso. Pero estos problemas de precipitación se solucionan bajando el pH a valores próximos a 7 mediante el uso de ácido clorhídrico o sulfúrico (aunque a veces se utiliza ácido fosfórico que sirve a su vez como aportación de fósforo).

La concentración excesiva de cloro residual produce daños en las plantas cuando se usan aspersores. El cloro residual es muy reactivo e inestable en el agua por lo que una

concentración elevada de cloro residual puede disiparse rápidamente colocando el agua residual tratada en un estanque abierto durante varias horas. Concentraciones de cloro residual inferiores a 1 mg/ l no han de afectar a las hojas de las plantas, en cambio, si la concentración sobrepasa los 5 mg/ l de cloro residual los daños en las hojas pueden ser importantes. Es un parámetro importante cuando el riego se efectúe con agua residual proveniente directamente de la planta de tratamiento, sin pasar por ningún depósito intermedio.

Las aguas de riego pueden llevar sustancias en suspensión que sedimentan sobre el suelo y la vegetación, con excepción de aquellas que sufren una filtración previa como es el caso del riego localizado. El efecto favorable que sobre la fertilidad del suelo pueden originar los sedimentos dejados por determinadas aguas (limos y materiales orgánicos) es relativo. A un criterio mejorante se opone el hecho que la acumulación de material fino dificulta la infiltración o el transporte de semillas. También son desfavorables los problemas que puedan aparecer en los equipos de riego, la corrosión y obturación, y los depósitos sobre las hojas que pueden taponar estomas, reduciendo la actividad funcional de la planta y perjudicar la calidad de los productos obtenidos. Para una evaluación de estas características en un agua se deben de mirar los parámetros de turbulencia específica y de caudal sólido.

La presencia de detergentes en las aguas residuales produce la aparición de espuma, sobre todo en las arquetas de riego, cuando las concentraciones de detergente son superiores a 0.5 mg/ l. Esta espuma provoca el rechazo del agricultor para usar estas aguas para el riego. Es probable que los detergentes biodegradables no supongan ningún problema para los suelos ni los cultivos pero hay poca información sobre este punto.

Formación de precipitados

Algunos compuestos disueltos en el agua de riego pueden precipitar debido a variaciones de presión, temperatura, pH, potencial de oxido-reducción o cambios de concentración relativa de otros compuestos en la solución. El tamaño de las partículas precipitadas pueden alcanzar un tamaño tal que obstruyen los laberintos del emisor, provocando el taponamiento y por consiguiente una disminución de la tasa de aplicación de agua en el

lugar afectado. Si el taponamiento es generalizado, puede ser necesario el remplazo de todos los emisores para recuperar el buen rendimiento del sistema de riego.

Conocer los componentes disueltos en el agua para riego es necesario para cuantificar el riesgo de formación de precipitados y posibles taponamientos de emisores. Un análisis químico del agua es fundamental para determinar la presencia de los diferentes compuestos y poder tomar las medidas o acciones que contribuyan a reducir o eliminar la formación de precipitados.

El taponamiento de emisores es provocado por la precipitación de uno o más de los siguientes compuestos: carbonatos de calcio y magnesio, sulfato de calcio, carbonatos, hidróxidos, silicatos y sulfuros de metales pesados, fosfatos, fierro, cobre, zinc y manganeso. Estos compuestos precipitan formando costras que pueden obstruir parcial o totalmente los pequeños conductos u orificios de los emisores. Aguas con alto contenido de sólidos totales disueltos y pH superior a 7 tiene un alto potencial para la formación de precipitados. El compuesto que precipita con mayor facilidad es el carbonato de calcio cuya solubilidad es función del pH del agua y la temperatura. Un incremento en el pH o la temperatura reduce la solubilidad del calcio, y por consiguiente, aumenta la formación de precipitados.

4.7 Clasificación de las aguas para riego

Para poder determinar la calidad de agua para uso agrícola, existe diversidad de metodologías dependiendo de sus componentes y de sus características físicas, químicas y biológicas:

Según Cánova,

- a) Según la Conductividad Eléctrica CE,
- b) Relación de Adsorción de Sodio RAS o SAR,
- c) El criterio de Fitotoxicidad siguiendo la clasificación de la FAO.
- d) Dureza
- e) Normas Riverside
- f) Normas H. Greene

- g) Normas L. V. Wilcox
- h) Índice de Langelier
- i) COGUANOR para agua de consumo humano.

4.7.1 Conductividad eléctrica a 25 °C (u,S/cm)

La conductividad eléctrica (C.E.), mide la concentración de sales en el agua de riego, dando con este contenido su calidad. Para caracterizar la conductividad del agua de riego se va a tener en cuenta la siguiente relación:

CUADRO 3. Parámetros de calidad de agua según la conductividad eléctrica

C.E. a 25 °C (umhos/cm) ó (uS/cm)	
0 - 1000	Excelente
1000 - 3000	Buena a marginal
> 3000	Inaceptable

Fuente: Cánovas Cuenca, J. (1986) "Calidad agronómica de las aguas de riego".

1mmho/cm = 1000 umhos/cm = 1000 uS/cm;

Para comprender mejor lo que es la conductividad eléctrica (CE) del agua de riego, primero hay que entender el significado del TDS.

TDS - Total de Sólidos Disueltos - la cantidad total de sólidos disueltos en el agua, principalmente de las sales minerales.

El TDS es medido en ppm (partes por millón) o en mg/l.

La Relación Entre el TDS y la Conductividad Eléctrica del Agua:

Ya que es difícil medir los sólidos disueltos totales en el cao, se utiliza la conductividad eléctrica del agua como una medida del TDS.

La conductividad eléctrica refleja la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica, y está directamente relacionada con la concentración de sales disueltas en el agua. Por lo tanto, la conductividad eléctrica está relacionada con TDS.

La conversión del TDS a la conductividad eléctrica puede ser realizada mediante la siguiente relación:

$$\text{TDS (ppm)} = 0.64 \times \text{EC } (\mu\text{S/cm}) = 640 \times \text{EC (dS/m)}$$

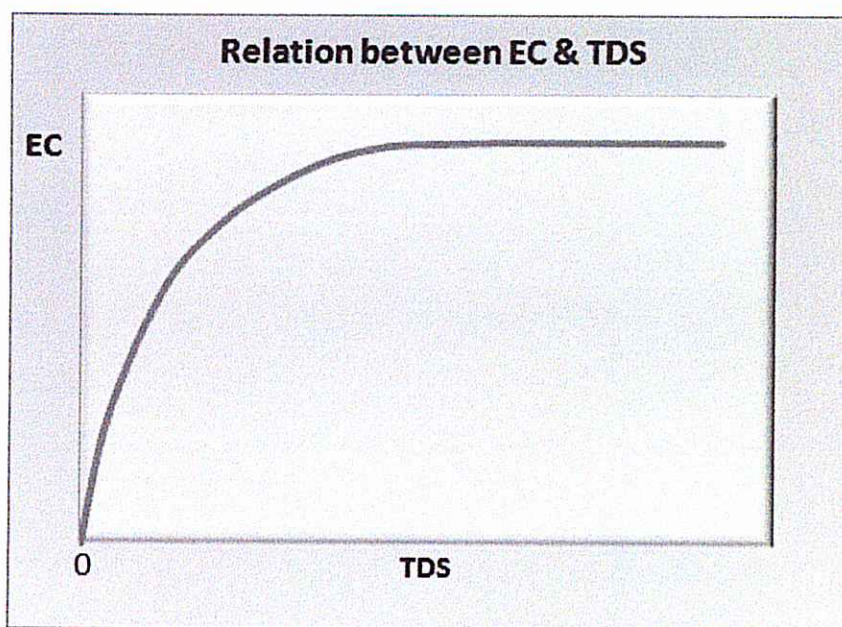
Nótese que esta es una relación aproximada.

Las sales en el agua se disuelven en iones con carga positiva e iones con carga negativa, que conducen electricidad.

El agua destilada no contiene sales disueltas y, por lo tanto, no conduce la electricidad y tiene una conductividad eléctrica de cero.

Sin embargo, cuando la concentración de las sales llega a un cierto nivel, la conductividad eléctrica ya no está directamente relacionada con la concentración de las sales en el agua.

Esto es porque se forman pares de iones. Los pares de iones debilitan la carga de uno al otro, de modo que por encima de un cierto nivel, un TDS más alto no resultará en una conductividad eléctrica más alta.



Fuente: Cánovas Cuenca, J. (1986) "Calidad agronómica de las aguas de riego".

GRAFICA 1. Relación de la CE y la temperatura

La conductividad eléctrica del agua también depende de la temperatura del agua: mientras más alta la temperatura, más alta sería la conductividad eléctrica tal como se observa en la gráfica 1. La Conductividad eléctrica del agua aumenta en un 2-3% para un aumento de 1 grado Celsius de la temperatura del agua. Muchos medidores CE que existen en el mercado normalizan automáticamente las lecturas a 25°C.

En términos agronómicos, cuando medimos la CE de un agua de riego, una disolución fertilizante, un extracto acuoso de un suelo, etc., determinamos la conductividad específica de dicha disolución. Actualmente se emplea la unidad del SI, siemens (S), equivalente a mho; y para trabajar con números más manejables se emplean submúltiplos:

$$1 \text{ mS/cm} = 1 \text{ dS/m} = 1000 \text{ (S/cm} = 1 \text{ mmho/cm)}$$

Es por ello que es importante saber que **Siemens (S)** es una unidad de conductividad eléctrica. La conductividad del agua se mide dentro de una cierta distancia de modo que la entrada es en S/cm o mS/cm. Otras unidades de conductividad eléctrica son Mho cm, CF (en América y Australia) y EC.

4.7.2 Índice RAS. (Relación Adsorción Sodio)

Además de la concentración total de sales en solución interesa la proporción relativa de Na y cationes divalentes en el agua de riego, por su efecto en la sodificación del suelo. La importancia de este proceso radica en el efecto dispersante que tiene el Na al ser intercambiado por los coloides del suelo, debido a su elevado radio de hidratación.

Cuando un suelo sufre dispersión por efecto del Na, su estructura se ve alterada con diferentes grados de intensidad, sellándose total o parcialmente la superficie del suelo a la infiltración del agua de riego e impidiendo el intercambio gaseoso entre la atmósfera y el perfil del suelo.

Se crean en consecuencia condiciones inapropiadas para el adecuado desarrollo del sistema radicular de las plantas, afectándose el rendimiento de los cultivos; por el efecto sobre la infiltración, disminuye la eficiencia del riego, incrementándose el escurrimiento superficial y el tiempo de riego necesario para reponer el agua consumida por los cultivos. Por tratarse de un proceso de intercambio catiónico entre las arcillas del suelo y los iones disueltos en el agua que fluye en el perfil del suelo, el peligro de sodificación queda determinado por la relación entre Na y iones divalentes, expresada a través de un índice conocido como relación de adsorción de sodio o RAS.

La relación de adsorción de sodio (RAS) en una solución del suelo, se relaciona con la adsorción de sodio y, en consecuencia, esta relación puede usarse como "índice de sodio" o "del peligro de sodificación que tiene dicha agua". Esta relación es la siguiente:

$$RAS = Na^+ / \sqrt{(Ca^{++} + Mg^{++}) / 2}$$

En la cual, Na^+ , Ca^{++} y Mg^{++} representan las concentraciones en miliequivalentes por litro de los iones respectivos.

Los valores de RAS se clasifican como se observa en el cuadro número cuatro.

CUADRO 4. Riesgo de la relación de adsorción de sodio

Clasificación	Rango
bajo	< 11
medio	11-18
alto	18-26
muy alto	> 26

Fuente: Cánovas Cuenca, J. (1986) "Calidad agronómica de las aguas de riego".

Y cuando al analizar un agua se encuentran valores del RAS superiores a 10, podemos decir que es alcalinizante, siendo mayor este riesgo cuanto mayor sea aquel valor.

Si la proporción de sodio es alta, será mayor el peligro de sodificación y, al contrario, si predominan el calcio y el magnesio, el peligro es menor. La concentración de la solución del suelo aumenta a causa de la extracción de agua del suelo por las raíces y a causa de la evaporación. Debido a que la cantidad de sal absorbida por las plantas es relativamente pequeña la solución remanente en el suelo es más concentrada que el agua de riego aplicada. Al siguiente riego esta solución más concentrada puede ser desplazada hacia abajo o ser diluida; de ese modo la concentración de la solución que está en contacto con el suelo variará con el tiempo y localización en el perfil.

4.7.3 Clasificación de la conductividad eléctrica y la relación de adsorción de sodio siguiendo la metodología de las normas Riverside

4.7.3.1 Conductividad eléctrica

La C.E. expresa la concentración total de sales. Respecto a la conductividad eléctrica (C.E) las aguas de riego se clasifican en cuatro grupos.

Aguas C1, de baja salinidad: pueden usarse en la mayoría de suelos y cultivos. Las lluvias de la mayoría de las regiones lavan fácilmente las pocas sales que llevan dichas aguas. Sin embargo en regiones con mediana o poca precipitación y en donde los suelos presentan una mediana permeabilidad, pueden provocar salinidad a muy largo plazo, pero si se controla es fácilmente lavada con un adecuado riego. Se exceptúan aquellos suelos pesados, muy lentamente o nada permeable o bien con drenaje interno restringido, mas aun si estos se localizan en zonas áridas, estos suelos requieren de un control o monitoreo más puntual.

Aguas C2, de mediana salinidad: presentan cierto grado de retención ya que estas aguas pasan de los 250 micromhos/cm, acentuándose más sus limitaciones cuando su C.E. es muy cercada a los 750 micromhos/cm. Pueden usarse en suelos con buen drenaje y con cultivos tolerantes a cierta salinidad. Su uso es mas permitido en regiones con lluvia apreciables ya que estas provocan el lavado de las sales depositadas por el agua C2.

Su uso es restringido en suelos pesados, poco permeables y con una capa freática muy poco profunda y más aún, en regiones donde las escasas lluvias no favorecen el lavado de las sales. Se recomienda que sean usadas bajo condiciones de manejo adecuado del suelo.

Agua C3, de alta salinidad: el simple hecho que su C.E. sobre pasa los 750 micromhos/cm, las hace muy limitantes para su uso agrícola. En principio se recomienda tomarlas como aguas no aprovechables. Sin embargo pueden ser usadas en suelos de textura media y gruesa (suelos francos, franco-arenosos). Con muy buen drenaje y bajo prácticas de control de salinidad. Los cultivos deben ser muy tolerantes a salinidad. No se recomienda su uso en suelos con drenaje deficiente. Aun en suelos finos (franco arcilloso y arcilloso) con buen drenaje, su uso no es recomendable, sobre todo, si la capacidad de intercambio de estos suelos es alta.

Aguas C4, de muy alta salinidad: podrían usarse en condiciones muy especiales de suelo, con cultivos altamente tolerantes y bajo estricto control y manejo. Sin embargo, estas aguas son casi Siempre descartadas para uso agrícola (riego).

4.7.3.2 Con relación a la concentración de sodio

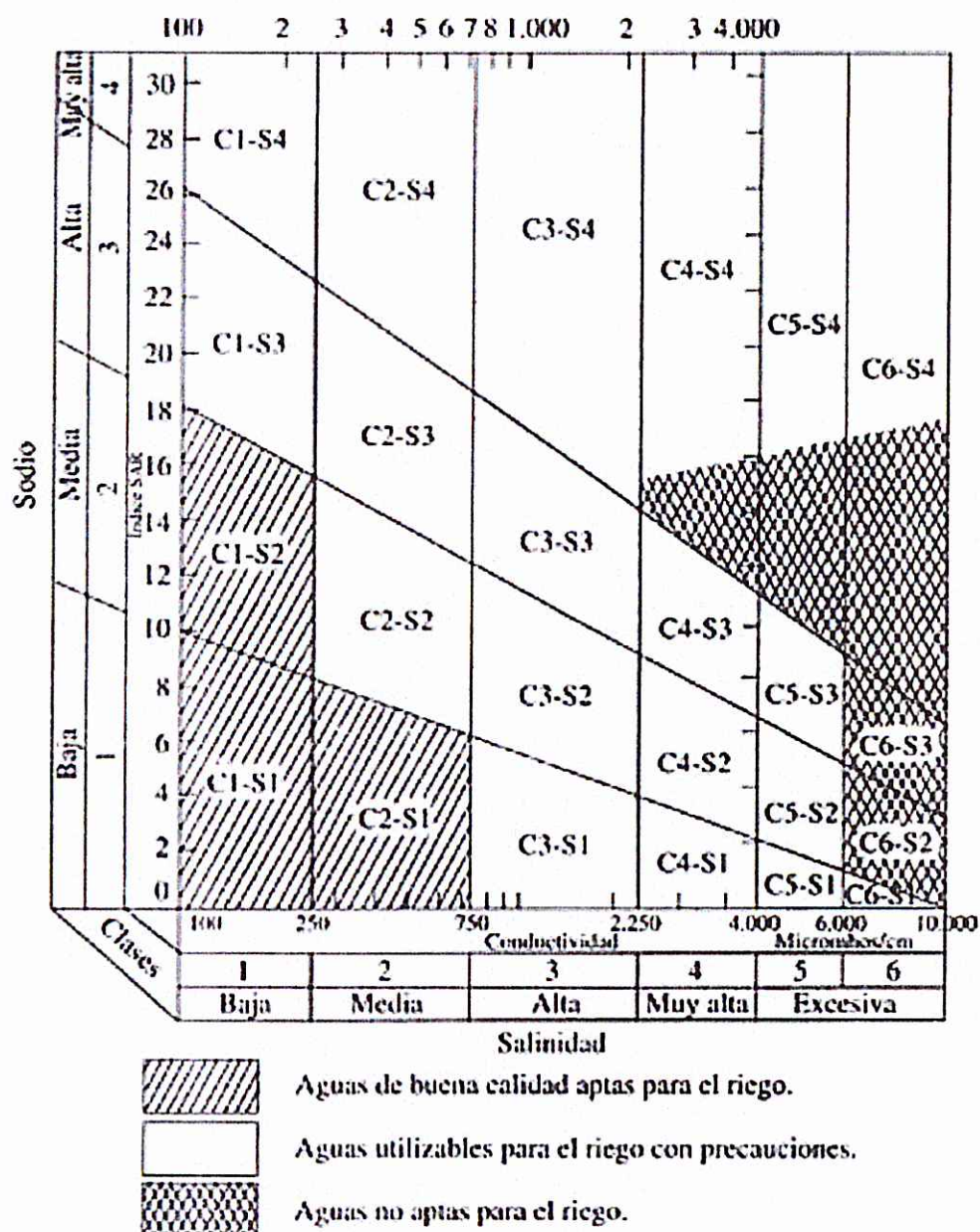
Aguas S1, de bajo contenido de sodio: pueden utilizarse en casi todos los suelos y en la mayoría de los cultivos, son aguas de amplio uso, con muy poca probabilidad de alcanzar toxicidad de sodio. Sin embargo, aquellas aguas cuyo RAS cercano a 10 meq/litro, debe usarse con cierta cautela en suelos pesados. Cultivos con muy alta sensibilidad al sodio, pueden no tolerar aguas con RAS de 10 meq/litro.

Aguas S2, de mediano contenido de sodio: puede utilizarse en casi todos los suelos de textura media y gruesa con buen drenaje. De igual manera, puede utilizarse en suelos con buen contenido de materia orgánica y con presencia de calcio y sulfatos. Los suelos finos con alta capacidad de intercambio corren el peligro de dosificarse. Los suelos medianos y finos con drenaje imperfecto agudizan el problema de infiltración en sus capas superiores. La acumulación de sodio intercambio se lleva a cabo relativamente rápido, presentando problemas de toxicidad a mediano y corto plazo. Estas aguas no son factibles de uso para cultivos poco tolerantes a este elemento.

Aguas S3, de alto contenido de sodio: en términos generales, debe evitarse el uso de estas aguas hasta donde sea posible. Por su alto contenido de sodio, aunque se señale su factibilidad de uso, debe considerarse como poco apropiadas para una gran mayoría de suelos y cultivos, ya que sus efectos dañinos se dejan sentir a corto plazo. Sin embargo, pueden usarse en suelos medianos con muy buen drenaje que permitan el fácil lavado de las sales de sodio en un momento dado. Igualmente, en suelos de alto contenido de materia orgánica en donde el calcio disuelto por el agua de riego pueda contrarrestarse a la peligrosidad del sodio. El uso de estas aguas puede facilitarse mediante adiciones controladas de yeso, hasta desplazar el sodio intercambiable. Todo lo anterior debe hacerse previo estudio del suelo incluyendo su drenaje y que sea de factibilidad económica.

Aguas S4, de muy alto contenido de sodio: son definitivamente marginales, su uso podría darse a condiciones muy excepcionales y bajo un estricto control de buen manejo,

pero solo para cultivos altamente tolerantes en sodio. No debe olvidarse, que tanto, la salinidad como sodicidad son contraproducentes para el suelo y la planta, pero la presencia de alto contenido de sodio es aún más significativamente dañina.



Fuente: Cánovas Cuenca, J. (1986) "Calidad agronómica de las aguas de riego".

FIGURA 1. Normas de Riverside para evaluar la calidad de las aguas de riego

4.7.4 Criterio de fitotoxicidad

Para evaluar el riesgo de inducir toxicidad de un agua de riego, seguimos la clasificación de la F.A.O. Cánovas Cuenca, J. (1986).

CUADRO 5. Riesgo de fitotoxicidad según el sodio

Ión	Inexistente	Problema creciente	Problema grave
Na⁺ (meq/l)	< 3	3 - 9	> 9

Fuente: Cánovas Cuenca, J. (1986) "Calidad agronómica de las aguas de riego".

4.7.5 Clasificación según la dureza

Este índice se refiere al contenido de calcio en el agua. Según su dureza, un agua se puede clasificar en:

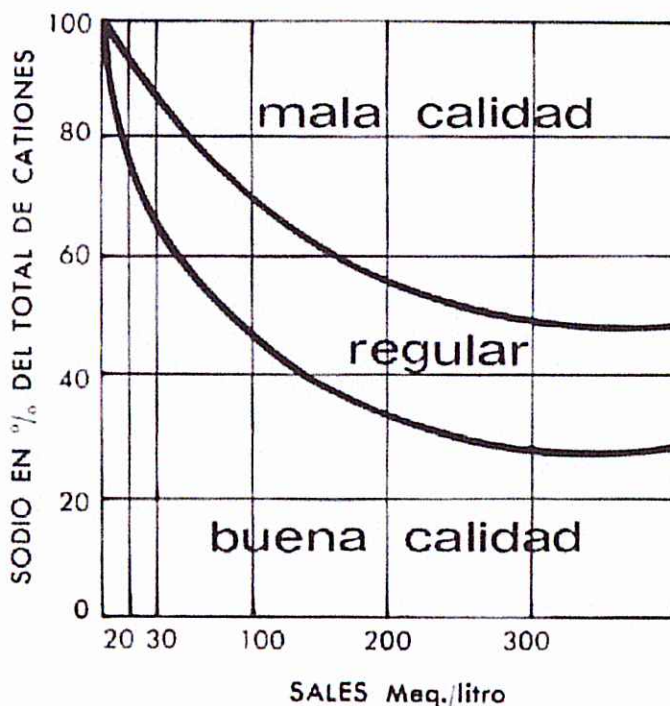
CUADRO 6. Tipo de agua según la dureza

Tipos de agua	mg/l
Agua blanda	≤17
Agua levemente dura	≤60
Agua moderadamente dura	≤120
Agua dura	≤180
Agua muy dura	>180

Fuente: Cánovas Cuenca, J. (1986) "Calidad agronómica de las aguas de riego".

4.7.6 Clasificación según las normas H. Greene

En ellas se toma como base la concentración total de las aguas expresada en miliequivalentes/litro con relación al porcentaje de sodio, calculado respecto al contenido total de cationes expresados en meq/l.



Fuente: Cánovas Cuenca, J. (1986) "Calidad agronómica de las aguas de riego".

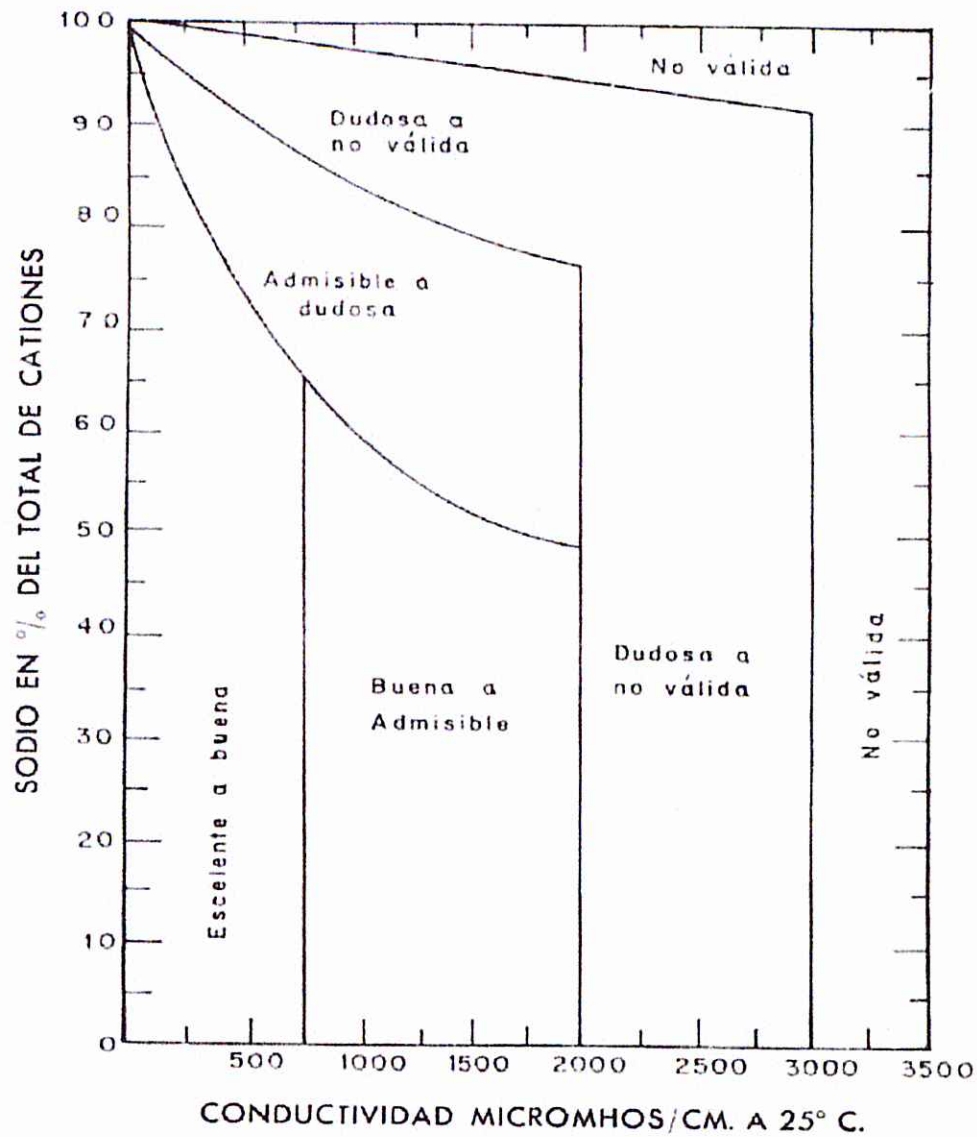
GRAFICA 2. Calidad del agua según el contenido de sales y el porcentaje de sodio

4.7.7 Clasificación siguiendo las normas L. V. Wilcox

Considera como índices para la calificación de las aguas el porcentaje de sodio respecto al total de cationes y la conductividad eléctrica.

$$\% \text{ Na}^+ = \%$$

$$\text{C.E.} = \text{umhos/cm}$$



Fuente: Cánovas Cuenca, J. (1986) "Calidad agronómica de las aguas de riego".

GRAFICA 3. Calidad de agua según el porcentaje de sodio y la conductividad eléctrica

4.7.8 Clasificación basada en la formación de precipitados

Estos parámetros nos permiten determinar la calidad del agua en función del riesgo de formación de precipitados.

CUADRO 7. Calidad química del agua de riego en función de la formación de precipitados

PARAMETRO	RIESGO		
	LEVE	MODERADO	SEVERO
PH	< 7.0	de 7 a 8	> 8.0
Solidos totales disueltos	< 500	de 500 a 2000	> 2000
Dureza total	< 150	de 150 a 300	> 300

Fuente: Cánovas Cuenca, J. (1986) "Calidad agronómica de las aguas de riego".

4.7.9 Clasificación según el Índice de Langelier.

El Índice de Langelier es un índice para calcular el carácter incrustante o agresivo del agua y tiene que ver con los diversos equilibrios en el agua del anhídrido carbónico, bicarbonato-carbonatos, el pH, la temperatura, la concentración de calcio y la salinidad total.

Es importante para poder controlar la incrustación o la corrosión en las redes de distribución del agua y para las instalaciones de riego presurizada ya que ocasionalmente se presentan taponamientos y se incrementan los costos y destrucción del equipo utilizado. Tiene un cálculo matemático o gráfico y el valor paramétrico para el agua en la red de riego está entre + - 0.5.

$$IS = pH + TF + HF + AF - C$$

Dónde:

IS = índice de Saturación

pH = medida del pH

TF = factor de temperatura

HF = medida de la dureza cálcica en ppm

AF = medida de la alcalinidad total carbonatada en ppm

C = Constante = 12.5

CUADRO 8. Valores paramétricos para el índice de Langelier

Temperatura		Dureza		Alcalinidad	
C	TF	ppm	HF	ppm	AF
0	0,0	5	0,7	5	0,7
4	0,1	25	1,4	25	1,4
8	0,2	50	1,7	50	1,7
12	0,3	75	1,9	75	1,9
16	0,4	100	2,0	100	2,0
20	0,5	150	2,2	150	2,2
24	0,6	200	2,3	200	2,3
28	0,7	250	2,4	250	2,4
32	0,7	300	2,5	300	2,5
36	0,8	400	2,6	400	2,6
40	0,9	500	2,7	500	2,7
50	1,0	1000	3,0	1000	3,0

Fuente: Cánovas Cuenca, J. (1986) "Calidad agronómica de las aguas de riego".

El Índice de Langelier se usa para determinar el equilibrio del agua y utiliza los valores que se muestran en el cuadro 9.

CUADRO 9. Característica del agua según el índice de Langelier

Valor	Característica
-0.5 a 0.5	Perfectamente Equilibrada
< - 0.5	Corrosiva
> 0.5	Incrustante

Fuente: Cánovas Cuenca, J. (1986) "Calidad agronómica de las aguas de riego".

En el cuadro 9 se muestra la evaluación del riesgo de incrustación para cada valor del Índice de Langelier. También se presenta el riesgo potencial de obstrucción según el Índice de Langelier del agua tal como se muestra en el cuadro 10.

CUADRO 10. Riesgo de obstrucción de sistemas de riego

VALOR	EVALUACIÓN DEL RIESGO
< 0.0	Riesgo bajo
0.0 – 0.5	Riesgo medio
> 0.5	Riesgo alto

Fuente: Cánovas Cuenca, J. (1986) "Calidad agronómica de las aguas de riego".

Si su signo es negativo y mayor a -0.5 : el agua está desequilibrada y es corrosiva, por lo que se debería de aumentar su alcalinidad y/o pH. Si el índice de Langelier toma un valor igual a 0: el agua tiene un equilibrio perfecto.

Si el valor del índice de Langelier está comprendido entre -0.5 y $+0.5$: el agua está equilibrada también y cumple con las normativas para su uso en riegos presurizados, pero tendrán que realizarse, esporádicamente, análisis de agua para verificar que continúe entre esos parámetros. Si su signo es positivo y mayor a 0.5 : el agua es está desequilibrada y es incrustante, por lo que se debería de reducir su alcalinidad y/o pH.

El agua corrosiva produce la oxidación de todos aquellos elementos metálicos con los que está en contacto, produciendo en calderas y tuberías problemas de corrosión graves, porque su comportamiento ácido tiende a absorber todo tipo de metales pesados. Como señal de corrosión del agua, tenemos un agua coloreada en marrón o verde dependiendo de la "valencia" del hierro o en azul, verde, gris o negro también dependiendo de la valencia del cobre y de dónde se deposite.

El agua incrustante tienen un comportamiento contrario al agua corrosiva: tiende a depositar o precipitar carbonato cálcico, causando deposiciones en la superficie de estanques, reservorios, así como en las paredes de los sistemas de distribución en riegos presurizados, saturando filtros, tuberías, accesorios, etc.

Además, si IS de Langelier es positivo, existe riesgo de precipitación del carbonato de calcio. Valores de SI de cero o negativos aseguran la solubilidad total del carbonato de calcio y por consiguiente, la ausencia de formación de precipitados.

Para un amplio rango de muestras de agua, el valor de pH es del orden de 6.5 a 6.7. Este es el valor de pH que debe tener el agua de riego para evitar el riesgo de precipitación de los carbonatos.

El IS de Langelier solo sirve para determinar el pH ideal del agua de riego para asegurar la ausencia de formación de precipitados. En ningún caso permite calcular la cantidad de

ácido necesario a aplicar y el tipo de producto. Esto solo puede ser determinado a través de una titulación en donde se mide el cambio de pH del agua frente a la adición de un determinado volumen de ácido.

V. MARCO REFERENCIAL

5.1 Descripción de las áreas de estudio

El presente estudio se realizó en 7 municipios (Chiquimula, Ipala, Camotán, Jocotán, Esquipulas, San José La Arada y San Juan Ermita) del departamento de Chiquimula, lugares donde se concentran la mayoría de productores de hortalizas que cuentan con invernaderos y casas malla. La localización geográfica de cada municipio se describe a continuación:

Municipio de Chiquimula

El municipio de Chiquimula, limita al norte con el municipio de Zacapa; al sur con los municipios de San José La Arada y San Jacinto; al este con los municipios Jocotán, San Juan Ermita y San Jacinto y al oeste con los municipios de San Diego y Cabañas, Zacapa. Su extensión territorial es de 372 kms. cuadrados. La ciudad cabecera se encuentra a una altura de 423.86 m.s.n.m. Latitud 14° 47' 58", longitud 89° 32' 37", su clima es tropical seco. Se localiza a una distancia de 169 km, de la ciudad capital y comunica con la ruta al Atlántico y la ruta CA-10. (Segeplan, 2003)

Municipio de Ipala

El municipio de Ipala, según el Instituto Geográfico Nacional (IGN), se encuentra en el mapa de Ipala 2259-I escala 1:50,000, con las coordenadas latitudinales 14° 37' 10". El banco de marca (MB) del IGN en la estación de ferrocarril se encuentra a una altura de 822.76 metros sobre el nivel del mar, por lo que generalmente su clima es templado. La extensión territorial es de 228 Km² (Segeplan 2003).

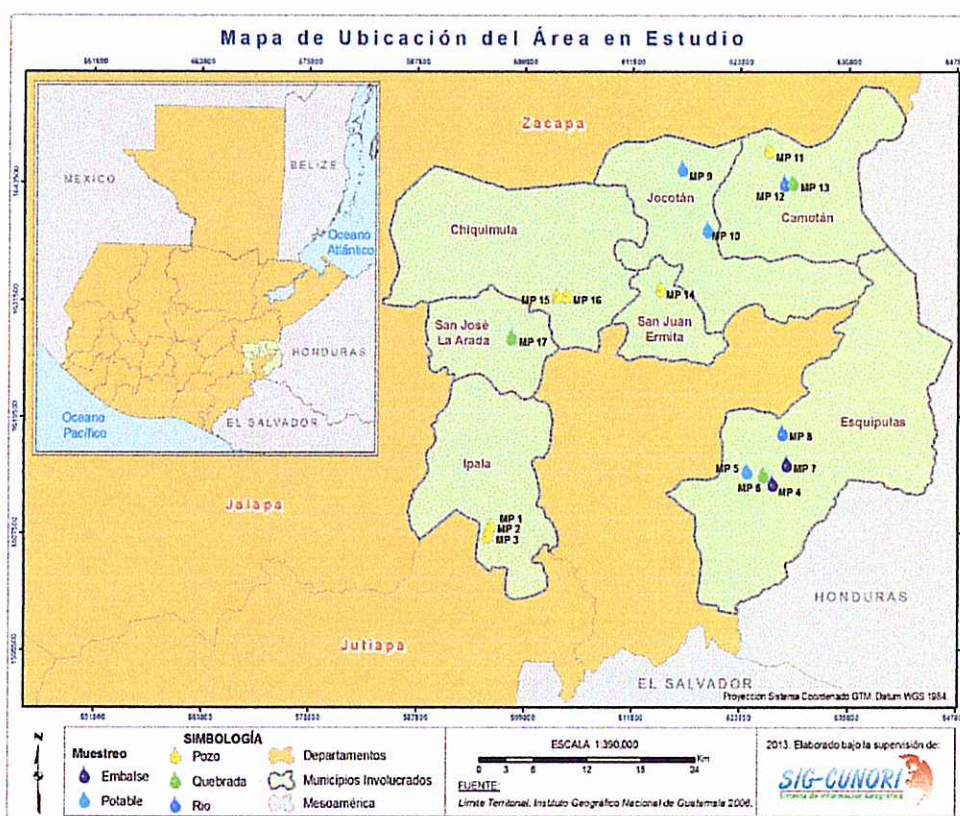
Municipio de Camotán

El municipio de Camotán está ubicado en el departamento de Chiquimula, se encuentra en las coordenadas latitud norte 14°49'13" longitud oeste 89°22'24". La distancia de la cabecera municipal de Camotán a la cabecera departamental de Chiquimula es de 32 km por la carretera que conduce al lugar fronterizo el Florido con la república de Honduras.

Se encuentra a una altitud de 650-1500 msnm. La extensión territorial del municipio es de 232 km² (Segeplan 2003)

Municipio de Esquipulas

El municipio de Esquipulas está situado en la parte sur-oriental del departamento de Chiquimula, en el área del Trifinio de las líneas divisorias entre las repúblicas de El Salvador, Honduras y Guatemala, a una altitud que oscila entre los 600 y 2,500 metros sobre el nivel del mar en las montañas más altas; latitud 14° 33'48'', longitud 89° 21'06''. Su extensión territorial es de 532 km², colinda al norte con los Municipios de Olopa, Jocotán y Camotán, al sur con el municipio de Metapán, El Salvador, al oriente con los departamentos de Copan y Ocotepeque, Honduras y al poniente con el municipio de Concepción las Minas y parte de Quezaltepeque. (Segeplan 2003)



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 2. Mapa de ubicación del área de estudio, departamento de Chiquimula, 2013

5.2 Zona de vida

Con base en el sistema Holdridge y la clasificación de zonas de vida de Guatemala, en el departamento de Chiquimula se diferencian cinco de las catorce zonas de vida reportadas para Guatemala, las cuales se identifican y detallan a continuación:

Monte espinoso Subtropical (me-S)

La flora de los municipios de Chiquimula, Jocotán, Camotán, Olopa y Quezaltepeque, está constituida mayormente por arbustos espinosos. Las especies características son el cacto *Cactus spp.*, tuna *Opuntia spp.*, espino blanco o subín *Acacia farnesiana*, limoncillo *Jaquima spp.*, upay *Cordia alba*, pitaya de árbol *Parekia spp.*, guayacán *Guaiacum guatemalensis* y roble *Quercus spp.* (De La Cruz 1975)

Bosque seco Subtropical (bs-S)

Los municipios de Chiquimula, San José La Arada y parte Camotán, la vegetación característica es pochote, pumpo *Cochlospermum vitifolium*, conacaste blanco *Abizzia mexicana*, palma *Sabal mexicana*, guacamayo *Phyllocarpus septentrionalis*, ceibillo *Ceiba aesculifolia* y cola de ardilla *Alvarados amorfoideus*. (De la Cruz, 1975)

Bosque húmedo Subtropical telado (bh-S)t

Es la zona más extensa en Chiquimula, se encuentra principalmente en los municipios de Concepción Las Minas, Esquipulas, Ipala y Camotán; se caracteriza por la presencia de roble *Quercus spp.*, encino *Quercus spp.*, pino colorado *Pinus oocarpa*, nance *Byrsonima crassifolia* y hoja de lija *Curatella americana*. (De la Cruz 1975)

Bosque muy húmedo Subtropical frío (bmh-S)f

Se localiza principalmente en el Cerro Montecristo, Concepción Las Minas, y Esquipulas en las fronteras con El Salvador y Honduras, dentro de la vegetación más común están aguacatillo *Persea schiedreana*, pimientillo *Rapanea ferruginea*, zapotillo *Clethra spp.*, arayán *Myrica spp.*, sangre de dragón *Croton draco*, fruto de paloma *Eurya seemanii* y liquidambar *Liquidambar styraciflua*. (De la Cruz 1975)

Bosque muy húmedo Montano Bajo (bmh-MB)

Se encuentra en una pequeña área del cerro Montecristo en el municipio de Esquipulas. En este bosque es común encontrar, canac *Chiranthodendrum pentadactylon*, pino blanco *Pinus ayacahuite*, pino triste *Pinus pseudostrobus* y ciprés común *Cupressus lusitánica*. (De la Cruz 1975)

5.3 Suelos

Los suelos de Chiquimula pertenecen a la clase miscelánea de terrenos de los suelos aluviales no diferenciados. En el municipio de Ipala están corendidos dentro de los suelos poco profundos, franco arcilloso, arcilloso y en menor cantidad franco arcilloso arenoso por origen volcánico.

El municipio de Camotán y Olopa, son suelos con escasa profundidad, compuestos en su mayoría por arcillas, franco arcillosos (Negro, amarillo y blanco), limosos arcillosos y pedregosos, con formación de aluviones cuaternarios, cretáceos – eoceno, paleozoico y terciario distribuido en todo el territorio.

En el municipio de Esquipulas pertenece a los valles no diferenciados; estos incluyen una alia variedad de clases de materiales madre, tipos de suelo y grado de inclinación; gran parte tiene un 1% de pendiente, conveniente para la agricultura mecanizada, pero también se incluyen áreas con una pendiente de 5% (Simmons et al. 1959).

VI. MARCO METODOLÓGICO

6.1 Objetivos

a. General

Analizar la calidad del agua utilizada para riego, en los sistemas de producción de tomate y chile cultivados bajo condiciones de ambientes protegidos, en el departamento de Chiquimula.

b. Específicos

- Determinar las principales propiedades químicas, físicas y microbiológicas de las fuentes de agua, utilizadas para riego en los sistemas de producción de tomate y chile, en condiciones de ambientes protegidos.
- Formular recomendaciones sobre el uso y posibles tratamientos para mejorar del agua utilizada para riego, en los sistemas de producción de tomate y chile en condiciones de ambientes protegidos

6.2 Hipótesis

Ha: El agua utilizada para riego en la producción de tomate y chile bajo condiciones de ambientes protegidos, es de buena calidad y recomendable para su uso en la producción, según la comparación de las diferentes metodologías de evaluación de los principales parámetros químicos, físicos y microbiológicos.

6.3 Población y muestra

a. Población

La selección de las áreas de estudio en los municipios priorizados en el departamento de Chiquimula, se hizo con base a los productores de tomate (*Lycopersicum esculentum*) y chile (*Capsicum sp*). que cuenten con condiciones de coberturas de protección y que formen parte de la organización de productores de hortalizas del departamento de Chiquimula.

También se consideró los productores que forman parte del Programa Especial de Seguridad Alimentaria (FAO – PESA), FIDAORIENTE, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA). En la revista MAGAActual de julio 2006 identificó como mayores productores de tomate y chile en el departamento de Chiquimula a los municipios de: Esquipulas, Ipala, Chiquimula, San Juan Ermita, San José La Arada, Camotán y Jocotán.

b. Determinación del tamaño de la muestra

Al inicio del estudio se estimó en los siete municipios del departamento de Chiquimula utilizando la fórmula de muestreo, tomando en cuenta a la población total de agricultores que tienen las características de poseer cultivos en condiciones de protección obtenidos por FASAGUA, MAGA, FAO-PESA y FIDA ORIENTE.

Se realizó un muestreo simple en la época seca del año dos mil trece, esto con el fin de determinar las condiciones de la calidad de agua, para posteriormente elaborar mapas y cuadros de resultados que muestren las condiciones actuales de este insumo.

6.4 Geo posicionamiento de área de cultivos en condiciones de protección

Se geo-posicionaron cada uno de los sistemas de cultivo en condiciones bajo sistemas de cobertura de protección en las áreas de estudio en el departamento de Chiquimula, se usó un (gps) Garmin de tipo navegador, para obtener las coordenadas de ubicación y altitud sobre el nivel del mar.

La información recopilada se procesó en la unidad de Sistema de Información Geográfica (SIG-CUNORI) para la elaboración de mapas que cubren los seis municipios en estudio. En cada mapa se colocó un punto para referenciar la ubicación de cada área producida en un sistema protegido por cobertura y fuente de agua. Dentro de cada mapa se incluyó los puntos georeferenciados, tipo de estructura, área en m² de la estructura.

6.5 Técnicas de recolección de las muestras

Para el análisis físico-químico y microbiológico se recolectaron muestras de 1 litro de agua directamente de la fuente en las primeras horas de la mañana, en frascos de plástico con tapón esmerilado y debidamente rotulado. Posteriormente se trasladaron al laboratorio del Centro Universitario de Oriente para su análisis.

6.6 Parámetros analizados

Cationes: potasio, calcio, magnesio, y sodio.

Aniones: fosfatos, cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos.

Parámetros de calidad: Relación de absorción de sodio, pH, conductividad eléctrica, dureza, Riesgo de Formación de Precipitados, Riesgo de Fitotoxicidad, Temperatura, Índice de Langelier y presencia de coliformes totales y fecales.

6.7 Análisis de la información

La información cuantitativa se tabuló en una base de datos con la siguiente información: número de muestra, nombre del productor, ubicación (departamento, municipio, aldea, coordenadas geográficas, altitud), tipo de fuente de agua, modalidad de producción, tipo de estructura (invernadero, casa malla y micro-túneles) área de la estructura en m² y tipo de riego que utilizan, temperatura, humedad relativa, conductividad eléctrica, dureza, RAS, sodio, %Na, potasio, magnesio, calcio y pH. Para la evaluación de la hipótesis se utilizó las metodologías de L. V Wilcox, FAO, normas Riverside, normas H. Greene, Langelier y COGUANOR, con el propósito de determinar la calidad de agua para riego; la información se describió en forma cualitativa y descriptiva. Cada aspecto se describió de forma individual, luego se analizó el consolidado de la información obtenida para determinar la situación actual en el departamento de Chiquimula.

VII. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

A continuación se presentan los análisis realizados según el parámetro de comparación: En el cuadro 11 se puede observar el muestreo realizado, en el que se tomó diecisiete muestras de igual número de agricultores, en los municipios de Chiquimula, San Juan Ermita, Camotán, Jocotán, Ipala San José La Arada y Esquipulas, obteniendo los siguientes resultados:

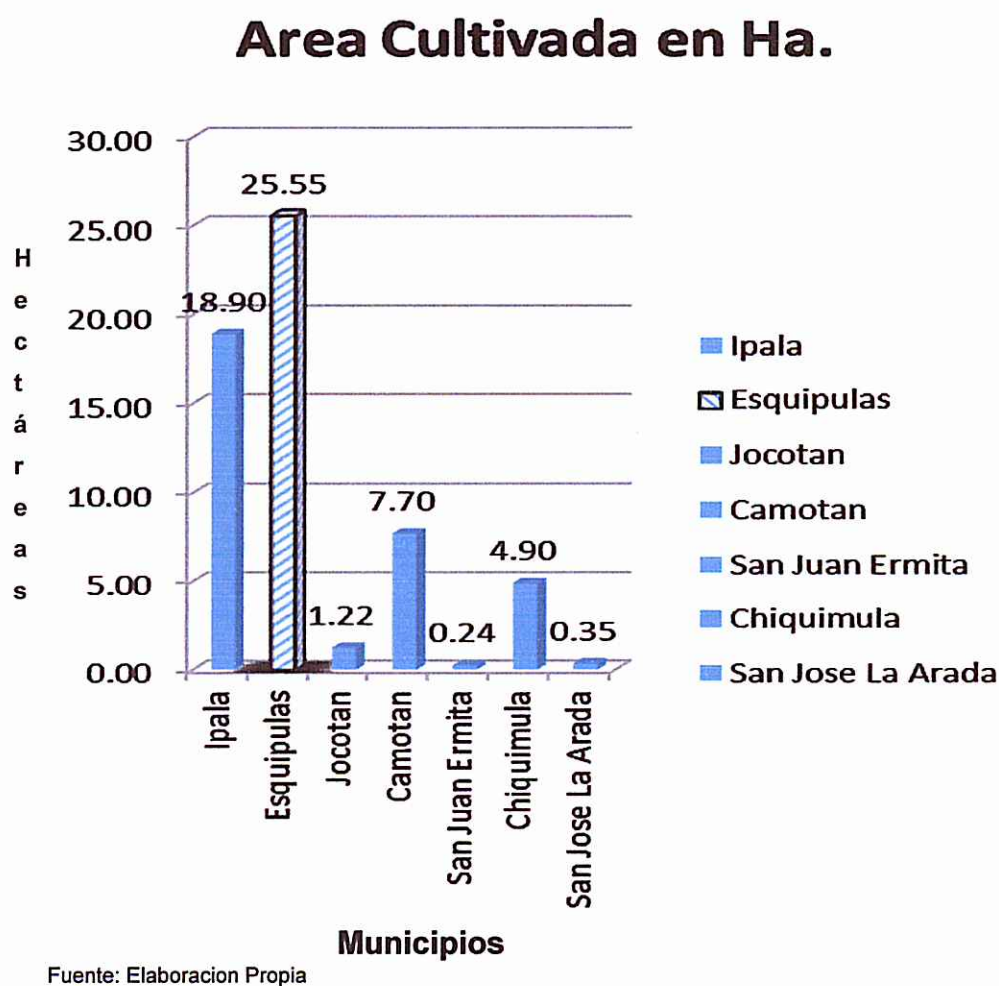
CUADRO 11. Identificación de las fuentes y área cultivada según modalidad, Chiquimula. 2013

	Identificación	Ubicación	Tipo de Fuente	Área Cultivada en Mz			
				Cao libre	Casa Malla	Macro túnel	Micro túnel
1	Juan Berganza	Amatillo Ipala	Pozo		1.00		8.00
2	Estuardo Sandoval	Amatillo Ipala	Pozo		3.00		2.00
3	Juan Berganza	Amatillo Ipala	Pozo	9.00	4.00		
4	Marco Tulio Pinto	Esquipulas	Reservorio	3.00			2.00
5	Willam Martínez	Valle Dolores Esquipulas	Potable		6.00	1.00	
6	Catalina Portillo	Nejapa Esquipulas	Corriente Permanente		3.00		
7	Victor Hugo Sandoval	Olopita Esquipulas	Reservorio		1.50		
8	Antonio Guzmán	Cuevitas Esquipulas	Río	10.00	10.00		
9	Elsa Pérez	Plan de Candelero Jocotán	Potable	0.10	0.21		0.14
10	Isaias Avalos	La Mina Camotán	Potable		0.50		
11	Abelino Díaz	La Libertad Camotán	Pozo		2.50	8.00	
12	Noe Guerra	La Libertad Camotán	Río		0.50		
13	Erlin Giménez Díaz	Jocotán, Jocotán	Corriente Permanente	1.00	0.29		
14	Gerson Martínez	San Juan Ermita	Pozo		0.34		
15	Edwin Villela	Sabana Grande Chiquimula	Pozo		4.00		
16	Carlos Villela	El Obraje Chiquimula	Pozo		3.00		
17	José De La Rosa Moscoso	San José La Arada	Corriente Permanente		0.50		

Fuente: Elaboración Propia

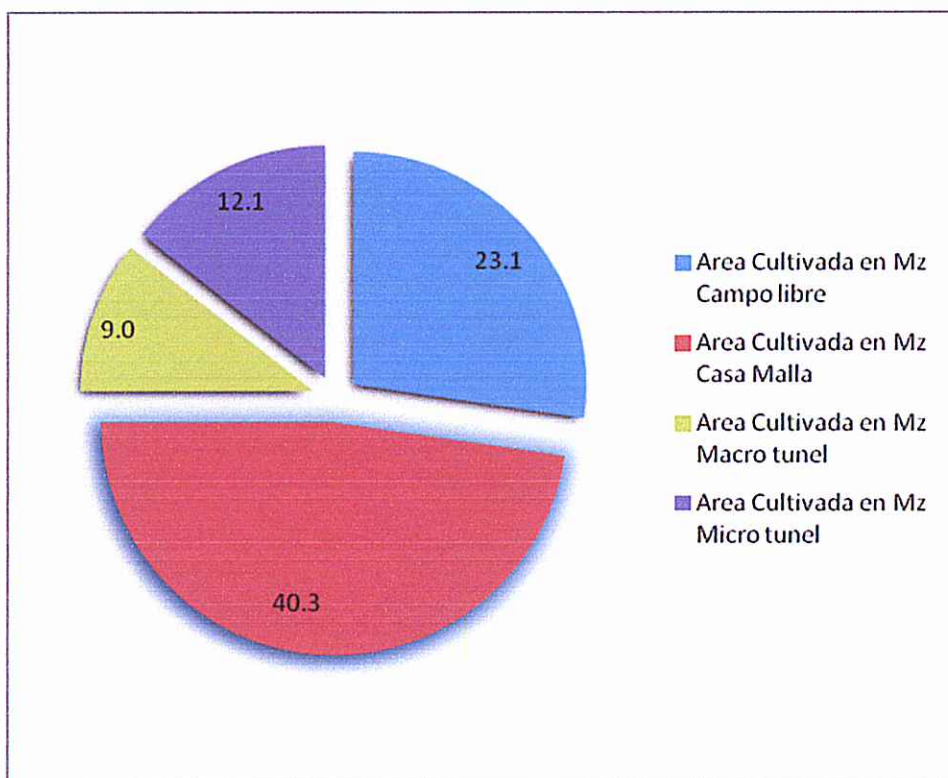
Siguiendo los resultados del muestreo se determinó que los municipios con mayor producción de tomate y chile bajo condiciones de protección son: i) el municipio de

Esquipulas con una área de 36.5 Mz equivalente a 22.55 Ha; y ii) el municipio de Ipala con 27 Mz equivalente a 18.90 Ha. Tal como se observa en la gráfica número cuatro.



GRAFICA 4. Area cultivada en Ha por municipio según muestreo, Chiquimula. 2013

Además podemos deducir que prevalece el cultivo en sistemas protegidos en los municipios mencionados, tomando en consideración que el estudio se basa en cultivo bajo condiciones de protección es necesario hacer una comparación de las modalidades de producción existentes en los puntos muestreados quedando como se observa en la gráfica 5.



Fuente: Elaboración Propia

GRAFICA 5. Area cultivada según modalidad, Chiquimula. 2013

En la gráfica 5, podemos observar que la modalidad que prevalece en las áreas muestreadas es el de sistemas de producción cultivados bajo la modalidad de casas malla, no obstante, hay que tener presente que este tipo de producción tiene costos elevados por lo que se ve reflejado en que según la muestra realizada la modalidad de producción en campo libre es otra opción para los productores de tomate y chile.

Otros factores importantes dentro del estudio son el tipo de riego y la fuente de agua utilizada en el área muestreada, por lo que a continuación se presenta el cuadro siguiente:

CUADRO 12. Fuente de agua y tipo de riego utilizado en los sistemas de producción de tomate y chile en condiciones de protección, Chiquimula. 2013

	Identificación	Ubicación	Tipo de Fuente	Tipo de Riego
1	Juan Berganza	Amatillo Ipala	Pozo	Goteo
2	Estuardo Sandoval	Amatillo Ipala	Pozo	Goteo
3	Juan Berganza	Amatillo Ipala	Pozo	Goteo
4	Marco Tulio Pinto	Esquipulas	Reservorio	Goteo
5	Willam Martínez	Valle Dolores Esquipulas	Potable	Goteo
6	Catalina Portillo	Nejapa Esquipulas	Corriente Permanente	Goteo
7	Victor Hugo Sandoval	Olopita Esquipulas	Reservorio	Goteo
8	Antonio Guzmán	Cuevitas Esquipulas	Rio	Goteo
9	Elsa Pérez	Plan de Candelero Jocotán	Potable	Goteo
13	Erlin Giménez Díaz	Jocotán Jocotán	Corriente Permanente	Goteo
10	Isaias Avalos	La Mina Camotán	Potable	Goteo
11	Abelino Díaz	La Libertad Camotán	Pozo	Goteo
12	Noe Guerra	La Libertad Camotán	Rio	Goteo
14	Gerson Martínez	San Juan Ermita	Pozo	Goteo
15	Edwin Villela	Sabana Grande Chiquimula	Pozo	Goteo
16	Carlos Villela	El Obraje Chiquimula	Pozo	Goteo
17	José De La Rosa Moscoso	San José La Arada	Corriente Permanente	Goteo

Fuente: Elaboración propia

Según los datos contenidos en el cuadro 12 podemos, analizar que las fuentes de agua utilizadas en las unidades de estudio son: proveniente de pozos, corrientes permanentes, ríos, reservorios y agua potable. Así mismo, podemos observar que la siete unidades de producción utilizan como fuente de agua la proveniente de pozos, y en segunda importancia se encuentra la que proviene de Corrientes Permanentes, tal como se observa en la figura 3. También se determinó que en su totalidad el tipo de riego utilizado es el sistema de riego por goteo.

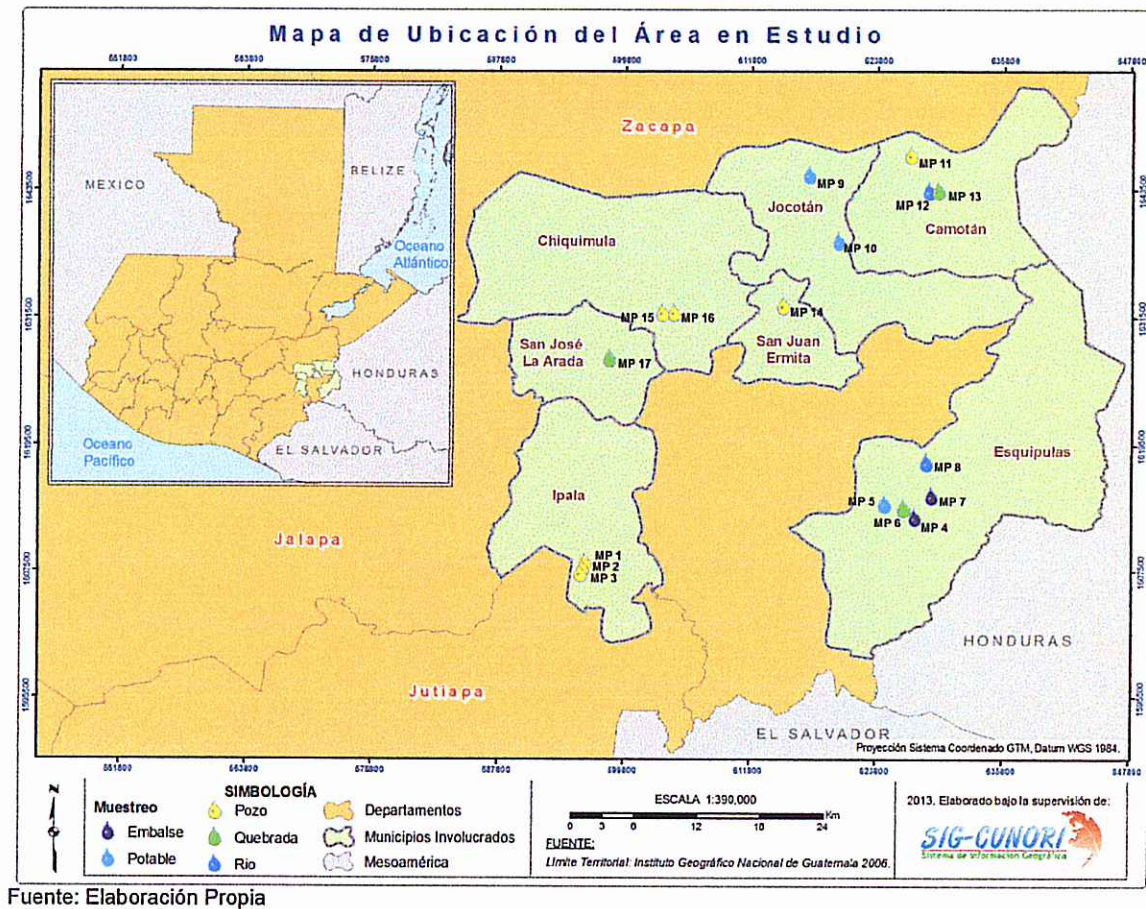


FIGURA 3. Ubicación y tipo de fuente utilizada en la producción de tomate y chile en condiciones de ambientes protegidos, Chiquimula. 2013

7. Factores determinantes de calidad de agua

la importancia de la investigación realizada, los factores que fueron parte indispensable de la investigación son las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de las fuentes de agua, que se utilizan en las distintas unidades de producción. Se determinó la calidad del agua, riesgos que presentaba según el parámetro analizado y características principales del agua, y en consecuencia se presenta los resultados, expresados en el cuadro 13.

7.1 Conductividad eléctrica

CUADRO 13. Determinación de la calidad de agua tomando en cuenta la conductividad eléctrica, Chiquimula. 2013

No.	Identificación	Ubicación	Tipo de Fuente	Nombre de la Fuente	CE en (umhos/cm) ó (uS/cm)	RESULTADOS
1	Juan Berganza	Amatillo Ipala	Pozo	Pozo I	369.33	EXCELENTE
2	Estuardo Sandoval	Amatillo Ipala	Pozo	Pozo I	324.67	EXCELENTE
3	Juan Berganza	Amatillo Ipala	Pozo	Pozo I	250.00	EXCELENTE
4	Marco Tulio Pinto	Esquipulas	Reservorio	La Laguna	134.20	EXCELENTE
5	William Martínez	Valle Dolores Esquipulas	Potable	Potable	144.40	EXCELENTE
6	Catalina Portillo	Nejapa Esquipulas	Corriente Permanente	Corriente Permanente Nejapa	467.67	EXCELENTE
7	Victor Hugo Sandoval	Olopita Esquipulas	Reservorio	Reservorio	153.10	EXCELENTE
8	Antonio Guzmán	Cuevitas Esquipulas	Rio	Rio Olopita	242.00	EXCELENTE
9	Elsa Pérez	Plan de Candelero Jocotán	Potable	Nacimiento EL Bosque	55.00	EXCELENTE
10	Isaias Avalos	La Mina Camotán	Potable	Nacimiento El Volcán	396.00	EXCELENTE
11	Abelino Díaz	La Libertad Camotán	Pozo	Pozo I	572.67	EXCELENTE
12	Noe Guerra	La Libertad Camotán	Rio	Rio Jupilingo	259.33	EXCELENTE
13	Erlin Giménez Díaz	Jocotán Jocotán	Corriente Permanente	Corriente Permanente Torjá	421.33	EXCELENTE
14	Gerson Martínez	San Juan Ermita	Pozo	Pozo I	697.33	EXCELENTE
15	Edwin Villela	Sabana Grande Chiquimula	Pozo	Pozo I	543.33	EXCELENTE
16	Carlos Villela	El Obraje Chiquimula	Pozo	Pozo I	886.67	EXCELENTE
17	José De La Rosa Moscoso	San José La Arada	Corriente Permanente	Corriente Permanente Santa Rosa	937.67	EXCELENTE

Fuente: Elaboración Propia

Según los rangos de conductividad eléctrica expresada en (umhos/cm) ó (uS/cm), normados por Cánovas Cuenca, J. (1986), se determinó que la totalidad de las fuentes analizadas se encuentran en el rango excelente.

CUATRO 14. Clasificación de las aguas para riego según las normas Riverside, Chiquimula. 2013

No.	Identificación	Ubicación	Tipo de Fuente	Nombre de la Fuente	CE en (umhos/cm) ó (uS/cm)	RESULTADOS Cánovas	RESULTADOS normas Riverside
1	Juan Berganza	Amatillo Ipala	Pozo	Pozo I	369.33	EXCELENTE	C2
2	Estuardo Sandoval	Amatillo Ipala	Pozo	Pozo I	324.67	EXCELENTE	C2
3	Juan Berganza	Amatillo Ipala	Pozo	Pozo I	250.00	EXCELENTE	C1
4	Marco Tulio Pinto	Esquipulas	Reservorio	La Laguna	134.20	EXCELENTE	C1
5	William Martínez	Valle Dolores Esquipulas	Potable	Potable	144.40	EXCELENTE	C1
6	Catalina Portillo	Nejapa Esquipulas	Corriente Permanente	Corriente Permanente Nejapa	467.67	EXCELENTE	C2
7	Victor Hugo Sandoval	Olopita Esquipulas	Reservorio	Reservorio	153.10	EXCELENTE	C1
8	Antonio Guzmán	Cuevitas Esquipulas	Rio	Rio Olopita	242.00	EXCELENTE	C2
9	Elsa Pérez	Plan de Candelero Jocotán	Potable	Nacimiento EL Bosque	55.00	EXCELENTE	C1
10	Isaias Avalos	La Mina Camotán	Potable	Nacimiento El Volcán	396.00	EXCELENTE	C2
11	Abelino Díaz	La Libertad Camotán	Pozo	Pozo I	572.67	EXCELENTE	C2
12	Noe Guerra	La Libertad Camotán	Rio	Rio Jupilingo	259.33	EXCELENTE	C2
13	Erlin Giménez Díaz	Jocotán Jocotán	Corriente Permanente	Corriente Permanente Torjá	421.33	EXCELENTE	C2
14	Gerson Martínez	San Juan Ermita	Pozo	Pozo I	697.33	EXCELENTE	C2
15	Edwin Villela	Sabana Grande Chiquimula	Pozo	Pozo I	543.33	EXCELENTE	C2
16	Carlos Villela	El Obraje Chiquimula	Pozo	Pozo I	886.67	EXCELENTE	C3
17	José De La Rosa	San José La Arada	Corriente Permanente	Corriente Permanente Santa Rosa	937.67	EXCELENTE	C3

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a las normas Riverside para clasificar las aguas destinadas para riego siguiendo como patrón la conductividad eléctrica, se clasifican en cuatro grupos conforme aumenta. Puede notarse que en las unidades de producción ubicadas en el Municipio de San José La Arada y en el Obraje, Municipio de Chiquimula, se tiene una fuente de agua clasificada como tipo **C3**, que presenta alta salinidad, lo que la hace limitantes para su uso en la agricultura, sin embargo éstas pueden ser utilizadas en suelos francos y con buen drenaje, bajo prácticas de control de salinidad. Diferente resultado presentan los municipios de Esquipulas e Ipala, en donde se concentra la mayor área de producción con fuentes de agua provenientes de pozos, encontrando como resultado aguas de tipo **C1 y C2**, de baja salinidad y mediana salinidad respectivamente, las que según su rango están recomendadas para la mayoría de suelos y cultivos.

Haciendo una comparación con la clasificación de agua que propone las normas Riverside y Cánovas, podemos constatar que las fuentes de agua proveniente de corrientes de agua permanentes presentan limitantes para el uso en la agricultura, no así las que provienen de pozo.

7.2 Relación de adsorción de sodio (RAS)

CUADRO 15. Clasificación del riesgo de adsorción de sodio, Chiquimula. 2013

No.	Identificación	Ubicación	Tipo de Fuente	Nombre de la Fuente	RAS Meq/Lts.	RESULTADOS normas Riverside
1	Juan Berganza	Amatillo Ipala	Pozo	Pozo I	0.45	BAJO/S1
2	Estuardo Sandoval	Amatillo Ipala	Pozo	Pozo I	0.92	BAJO/S1
3	Juan Berganza	Amatillo Ipala	Pozo	Pozo I	0.63	BAJO/S1
4	Marco Tulio Pinto	Esquipulas	Reservorio	La Laguna	0.48	BAJO/S1
5	Willam Martínez	Valle Dolores Esquipulas	Potable	Potable	0.27	BAJO/S1
6	Catalina Portillo	Nejapa Esquipulas	Corriente Permanente	Corriente Permanente Nejapa	0.32	BAJO/S1
7	Victor Hugo Sandoval	Olopita Esquipulas	Reservorio	Reservorio	0.21	BAJO/S1
8	Antonio Guzmán	Cuevitas Esquipulas	Rio	Rio Olopita	0.77	BAJO/S1
9	Elsa Pérez	Plan de Candelero Jocotán	Potable	Nacimiento EL Bosque	0.84	BAJO/S1
10	Isaias Avalos	La Mina Camotán	Potable	Nacimiento El Volcán	0.93	BAJO/S1
11	Abelino Díaz	La Libertad Camotán	Pozo	Pozo I	0.62	BAJO/S1
12	Noe Guerra	La Libertad Camotán	Rio	Rio Jupilingo	0.14	BAJO/S1
13	Erlin Giménez Díaz	Jocotán Jocotán	Corriente Permanente	Corriente Permanente Torjá	0.23	BAJO/S1
14	Gerson Martínez	San Juan Ermita	Pozo	Pozo I	0.37	BAJO/S1
15	Edwin Villela	Sabana Grande Chiquimula	Pozo	Pozo I	1.00	BAJO/S1
16	Carlos Villela	El Obraje Chiquimula	Pozo	Pozo I	0.42	BAJO/S1
17	José De La Rosa Moscoso	San José La Arada	Corriente Permanente	Corriente Permanente Santa Rosa	0.12	BAJO/S1

Fuente: Elaboración propia

Analizando la relación de adsorción de sodio existente en las unidades de producción observamos que el cien por ciento presenta un resultado **BAJO/S1**, dando en consecuencia una interpretación de que la calidad es de TIPO **S1**, el contenido de sodio es **BAJO**, por lo que estas fuentes de agua pueden ser utilizadas en casi todos los suelos y en la mayoría de cultivos, por presentar una escasa probabilidad de toxicidad basada en el sodio.

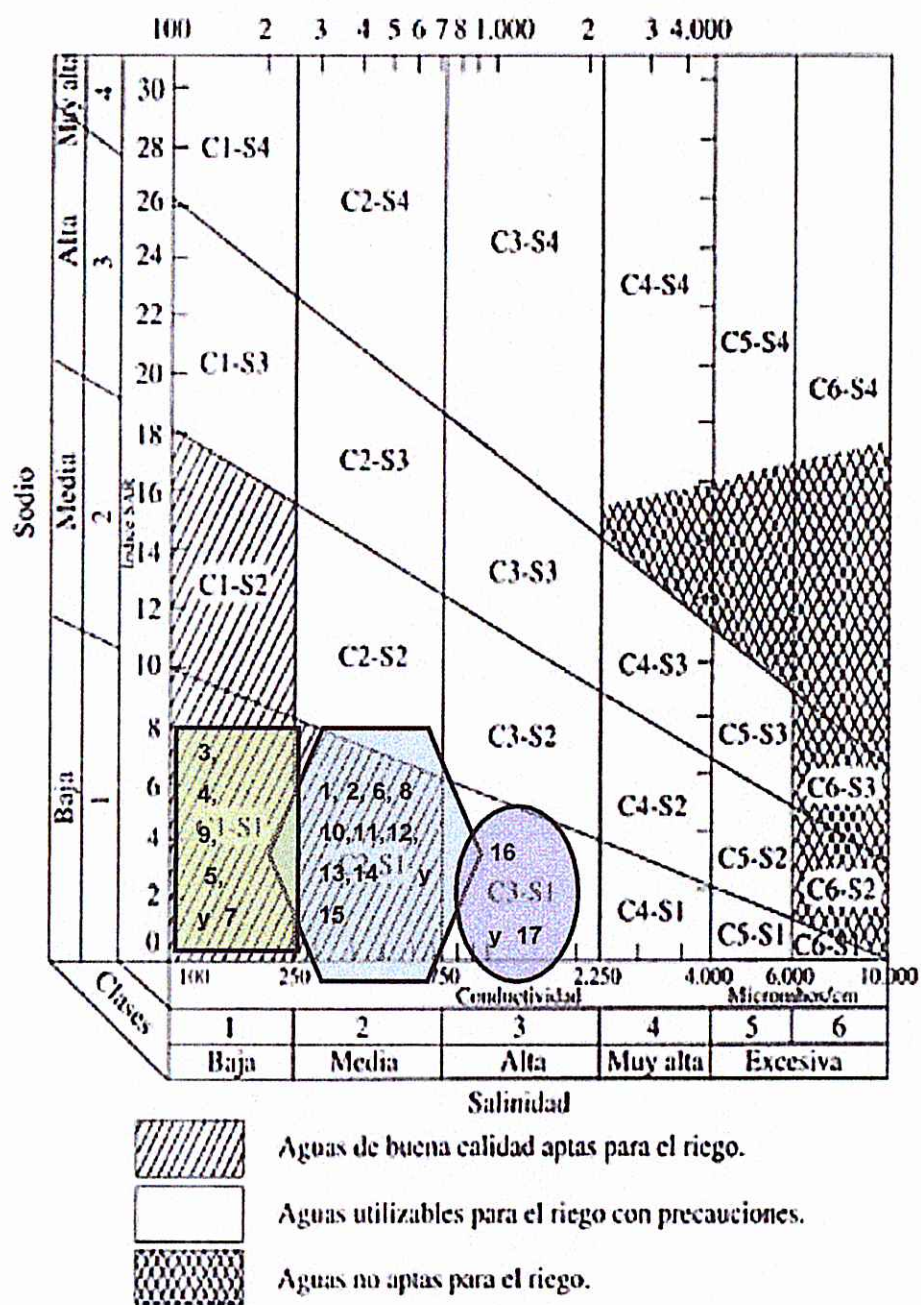
Existe un método para tomar decisiones respecto a la calidad de agua para riego, tomando en consideración los parámetros de Conductividad Eléctrica "CE" y de la relación de Adsorción de sodio "RAS", este procedimiento trata de combinar dichos resultados en una tabla tal y como se muestra a continuación:

CUADRO 16. Comparación de resultados según la relación de adsorción de sodio

No.	Identificación	Ubicación	Tipo de Fuente	RAS Meq/Lts.	RIESGO RAS	SODIO
3	Juan Berganza	Amatillo Ipala	Pozo	0.63	BAJO/S1	C1
4	Marco Tulio Pinto	Esquipulas	Reservorio	0.48	BAJO/S1	C1
5	Willam Martínez	Valle Dolores Esquipulas	Potable	0.27	BAJO/S1	C1
7	Victor Hugo Sandoval	Olopita Esquipulas	Reservorio	0.21	BAJO/S1	C1
9	Elsa Pérez	Plan de Candelero Jocotán	Potable	3.45	BAJO/S1	C1
6	Catalina Portillo	Nejapa Esquipulas	Corriente Permanente	0.32	BAJO/S1	C2
1	Juan Berganza	Amatillo Ipala	Pozo	0.45	BAJO/S1	C2
2	Estuardo Sandoval	Amatillo Ipala	Pozo	0.92	BAJO/S1	C2
8	Antonio Guzmán	Cuevitas Esquipulas	Rio	0.77	BAJO/S1	C2
10	Isaias Avalos	La Mina Camotán	Potable	0.93	BAJO/S1	C2
11	Abelino Díaz	La Libertad Camotán	Pozo	0.62	BAJO/S1	C2
12	Noe Guerra	La Libertad Camotán	Rio	0.14	BAJO/S1	C2
13	Erlin Giménez Díaz	Jocotán Jocotán	Corriente Permanente	0.23	BAJO/S1	C2
14	Gerson Martínez	San Juan Ermita	Pozo	0.37	BAJO/S1	C2
15	Edwin Villela	Sabana Grande Chiquimula	Pozo	1.00	BAJO/S1	C2
16	Carlos Villela	El Obraje Chiquimula	Pozo	0.42	BAJO/S1	C3
17	José De La Rosa Moscoso	San José La Arada	Corriente Permanente	0.12	BAJO/S1	C3

Fuente: Elaboración propia

Las aguas tipo S1,C1 y S1,C2 son de buena calidad y aptas para ser utilizadas en los riegos; las aguas tipo S1,C3 no son de buena calidad, por lo que su uso presenta restricciones. Tomando en cuenta lo contenido en el cuadro 16, podemos verificar que 5 de las muestras se encuentran en el tipo S1, C1, y 10 muestras más se encuentran en el tipo S1, C2 por lo que estas son de buena calidad y aptas para riego, no obstante dos de los análisis efectuados dieron como resultado tener agua tipo S1,C3 la que puede ser utilizada para riego pero con restricciones, esto se muestra en la figura 4 y el cuadro 17,



Fuente: Cánovas Cuenca, J. (1986) "Calidad agronómica de las aguas de riego". en comparación con Análisis de Calidad de Agua 2,013 elaboración propia

FIGURA 4. Normas de Riverside para evaluar la calidad de las aguas de riego

CUADRO 17. Interpretación y recomendación de la calidad de agua para riego según las normas Riverside, Chiquimula. 2013

No.	Identificación	Ubicación	Tipo de Fuente	RECOMENDACIÓN
1	Juan Berganza	Amatillo Ipala	Pozo	Buena Calidad, Apta para riego
2	Estuardo Sandoval	Amatillo Ipala	Pozo	Buena Calidad, Apta para riego
3	Juan Berganza	Amatillo Ipala	Pozo	Buena Calidad, Apta para riego
4	Marco Tulio Pinto	Esquipulas	Reservorio	Buena Calidad, Apta para riego
5	Willam Martínez	Valle Dolores Esquipulas	Potable	Buena Calidad, Apta para riego
6	Catalina Portillo	Nejapa Esquipulas	Corriente Permanente	Buena Calidad, Apta para riego
7	Victor Hugo Sandoval	Olopita Esquipulas	Reservorio	Buena Calidad, Apta para riego
8	Antonio Guzmán	Cuevitas Esquipulas	Rio	Buena Calidad, Apta para riego
9	Elsa Pérez	Plan de Candelero Jocotán	Potable	Buena Calidad, Apta para riego
10	Isaias Avalos	La Mina Camotán	Potable	Buena Calidad, Apta para riego
11	Abelino Díaz	La Libertad Camotán	Pozo	Buena Calidad, Apta para riego
12	Noe Guerra	La Libertad Camotán	Rio	Buena Calidad, Apta para riego
13	Erlin Giménez Díaz	Jocotán, Jocotán	Corriente Permanente	Buena Calidad, Apta para riego
14	Gerson Martínez	San Juan Ermita	Pozo	Buena Calidad, Apta para riego
15	Edwin Villela	Sabana Grande Chiquimula	Pozo	Buena Calidad, Apta para riego
16	Carlos Villela	El Obraje Chiquimula	Pozo	Uso con precauciones
17	José De La Rosa Moscoso	San José La Arada	Corriente Permanente	Uso con precauciones

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en el cuadro 17, que en los municipios de Ipala y Esquipulas, según la conductividad eléctrica y la relación de adsorción de sodio, existe buena calidad de agua para riego sin limitación alguna. En los municipios restantes, las fuentes de agua pueden utilizarse en la agricultura, previo a tratamientos en las fuentes que provienen de corrientes permanentes en el municipio de San José la Arada y el pozo ubicado en la unidad de producción del Obraje, Chiquimula.

7.3 Criterio de fitotoxicidad

Para evaluar el riesgo de inducir toxicidad del agua de riego, se siguió la clasificación de la F.A.O. en cuanto a sodio.

CUADRO 18. Determinación de fitotoxicidad de sodio, Chiquimula. 2013

No.	Identificación	Ubicación	Tipo de Fuente	Na ⁺ meq/l	RIESGO
1	Juan Berganza	Amatillo Ipala	Pozo	0.0740	INEXISTENTE
2	Estuardo Sandoval	Amatillo Ipala	Pozo	0.1470	INEXISTENTE
3	Juan Berganza	Amatillo Ipala	Pozo	0.1130	INEXISTENTE
4	Marco Tulio Pinto	Esquipulas	Reservorio	0.0520	INEXISTENTE
5	Willam Martínez	Valle Dolores Esquipulas	Potable	0.0390	INEXISTENTE
6	Catalina Portillo	Nejapa Esquipulas	Corriente Permanente	0.0830	INEXISTENTE
7	Victor Hugo Sandoval	Olopita Esquipulas	Reservorio	0.0350	INEXISTENTE
8	Antonio Guzmán	Cuevitas Esquipulas	Rio	0.1390	INEXISTENTE
9	Elsa Pérez	Plan de Candelero Jocotán	Potable	0.2560	INEXISTENTE
10	Isaías Avalos	La Mina Camotán	Potable	0.0560	INEXISTENTE
11	Abelino Díaz	La Libertad Camotán	Pozo	0.0910	INEXISTENTE
12	Noe Guerra	La Libertad Camotán	Rio	0.1350	INEXISTENTE
13	Erlin Giménez Díaz	Jocotán Jocotán	Corriente Permanente	0.0300	INEXISTENTE
14	Gerson Martínez	San Juan Ermita	Pozo	0.0870	INEXISTENTE
15	Edwin Villela	Sabana Grande Chiquimula	Pozo	0.226	INEXISTENTE
16	Carlos Villela	El Obraje Chiquimula	Pozo	0.121	INEXISTENTE
17	José De La Rosa Moscoso	San José La Arada	Corriente Permanente	0.117	INEXISTENTE

Fuente: Elaboración propia

Según el cuadro 18 se determinó que la totalidad de las muestras, no presentan riesgo de fitotoxicidad de acuerdo a la cantidad de Na⁺⁺ (meq/l) presente en el agua analizada.

7.4 Clasificación según las normas H. Greene

Se tomó como base la concentración total de las sales expresada en miliequivalentes/litro con relación al porcentaje de sodio, calculado respecto al contenido total de cationes expresados en meq/l.

CUADRO 19. Clasificación según el porcentaje de sodio en relación a las sales,
Chiquimula. 2013

No.	Identificación	Ubicación	Tipo de Fuente	%Na+	RESULTADO
1	Juan Berganza	Amatillo Ipala	Pozo	19.58	BUENA CALIDAD
2	Estuardo Sandoval	Amatillo Ipala	Pozo	31.96	BUENA CALIDAD
3	Juan Berganza	Amatillo Ipala	Pozo	28.39	BUENA CALIDAD
4	Marco Tulio Pinto	Esquipulas	Reservorio	14.65	BUENA CALIDAD
5	Willam Martínez	Valle Dolores Esquipulas	Potable	20.00	BUENA CALIDAD
6	Catalina Portillo	Nejapa Esquipulas	Corriente Permanente	24.78	BUENA CALIDAD
7	Victor Hugo Sandoval	Olopita Esquipulas	Reservorio	13.67	BUENA CALIDAD
8	Antonio Guzmán	Cuevitas Esquipulas	Rio	26.33	BUENA CALIDAD
9	Elsa Pérez	Plan de Candelero Jocotán	Potable	22.12	BUENA CALIDAD
10	Isaias Avalos	La Mina Camotán	Potable	15.60	BUENA CALIDAD
11	Abelino Díaz	La Libertad Camotán	Pozo	61.49	REGULAR
12	Noe Guerra	La Libertad Camotán	Rio	36.19	REGULAR
13	Erlin Giménez Díaz	Jocotán Jocotán	Corriente Permanente	13.89	BUENA CALIDAD
14	Gerson Martínez	San Juan Ermita	Pozo	20.14	BUENA CALIDAD
15	Edwin Villela	Sabana Grande Chiquimula	Pozo	7.02	BUENA CALIDAD
16	Carlos Villela	El Obraje Chiquimula	Pozo	19.03	BUENA CALIDAD
17	José De La Rosa Moscoso	San José La Arada	Corriente Permanente	19.97	BUENA CALIDAD

Fuente: Elaboración propia

La calidad del agua relacionada con el contenido de sodio y sales, en el área de estudio es de buena calidad, sin embargo, existen dos unidades de producción que presenta calidad REGULAR, según esta clasificación, y se encuentran en el municipio de Camotán, por lo que es importante conocer que las concentraciones de sodio respecto a las sales son mayores, limitando el uso del agua para destino agrícola.

7.5 Clasificación siguiendo las normas L. V. Wilcox

Esta metodología considera como índices para la calificación de las aguas, el porcentaje de sodio respecto al total de cationes y la conductividad eléctrica.

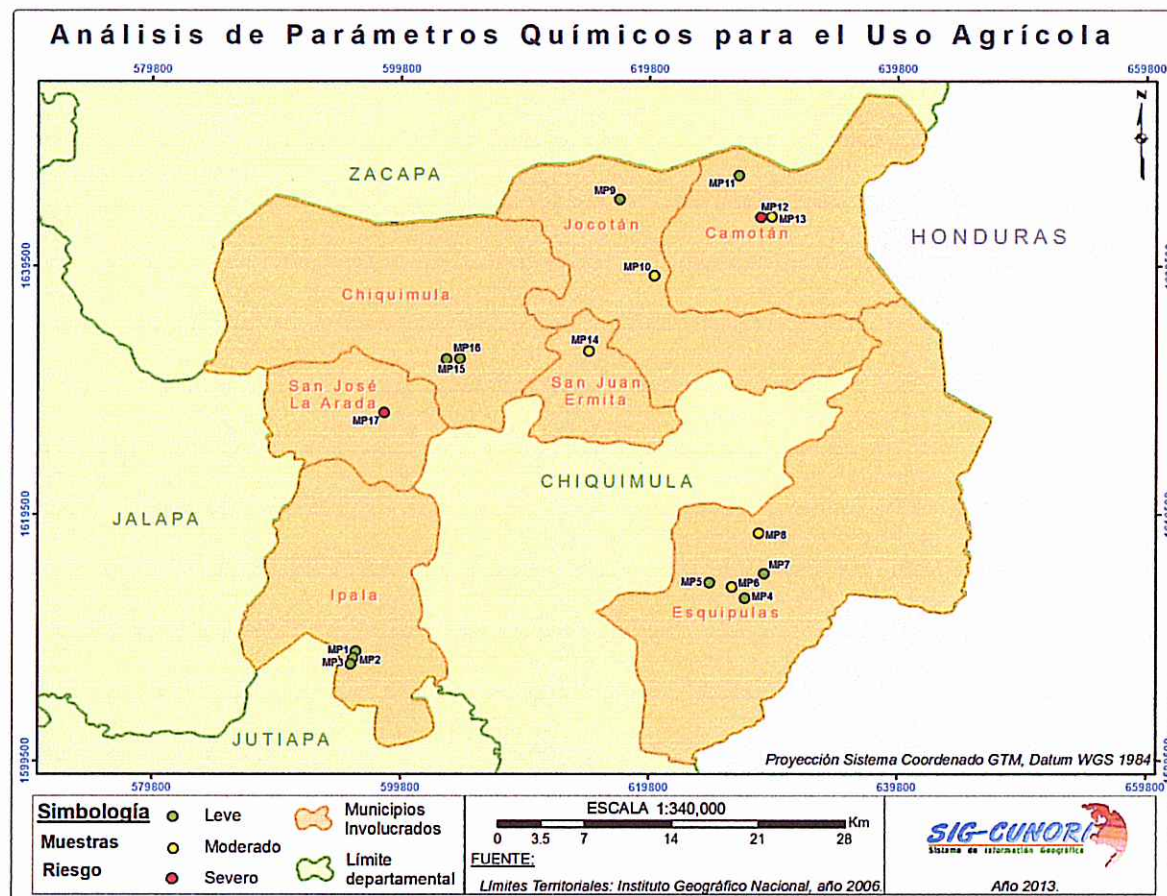
CUADRO 20. Clasificación según el porcentaje de sodio en relación a las sales, Chiquimula. 2013

No.	Identificación	Ubicación	Tipo de Fuente	%Na+	CE en (umhos/cm) ó (uS/cm)	Resultados
1	Juan Berganza	Amatillo Ipala	Pozo	19.58	369.33	Excelente
2	Estuardo Sandoval	Amatillo Ipala	Pozo	31.96	324.67	Excelente
3	Juan Berganza	Amatillo Ipala	Pozo	28.39	250.00	Excelente
4	Marco Tulio Pinto	Esquipulas	Reservorio	14.65	134.20	Excelente
5	Willam Martínez	Valle Dolores Esquipulas	Potable	20.00	144.40	Excelente
6	Catalina Portillo	Nejapa Esquipulas	Corriente Permanente	24.78	467.67	Excelente
7	Victor Hugo Sandoval	Olopita Esquipulas	Reservorio	13.67	153.10	Excelente
8	Antonio Guzmán	Cuevitas Esquipulas	Rio	26.33	242.00	Excelente
9	Elsa Pérez	Plan de Candelero Jocotán	Potable	22.12	55.00	Excelente
10	Isaias Avalos	La Mina Camotán	Potable	15.60	396.00	Excelente
11	Abelino Díaz	La Libertad Camotán	Pozo	61.49	572.67	Excelente
12	Noe Guerra	La Libertad Camotán	Rio	36.19	259.33	Excelente
13	Erlin Giménez Díaz	Jocotán Jocotán	Corriente Permanente	13.89	421.33	Excelente
14	Gerson Martínez	San Juan Ermita	Pozo	20.14	697.33	Excelente
15	Edwin Villela	Sabana Grande Chiquimula	Pozo	7.02	543.33	Excelente
16	Carlos Villela	El Obraje Chiquimula	Pozo	19.03	886.67	Buena a Admisible
17	José De La Rosa Moscoso	San José La Arada	Corriente Permanente	19.97	937.67	Buena a Admisible

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro 20, se presenta otro método para determinar la calidad de agua basado en las Normas L. V. Wilcox, la clasificación de las fuentes de agua utilizadas para riego en función de la conductividad y el porcentaje (%) de sodio, se determinó que para los municipios de Esquipulas e Ipala, donde se concentra la producción de tomate y chile en el departamento de Chiquimula, el agua es tipo excelente. También se puede observar

que en la aldea El Obraje, Chiquimula y en el San José La Arada, los resultados son de tipo bueno a excelente.



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 5. Análisis de los parámetros químicos de las fuentes de agua evaluadas en el departamento de Chiquimula. 2013

7.6 Clasificación basada en la formación de precipitados

El riesgo de formación de precipitados que presentan las distintas fuentes de agua analizadas en el Departamento de Chiquimula, se puede observar en el cuadro 21

CUADRO 21. Riesgo de formación de precipitados en el agua utilizada de las distintas fuentes evaluadas en el departamento de Chiquimula. 2013

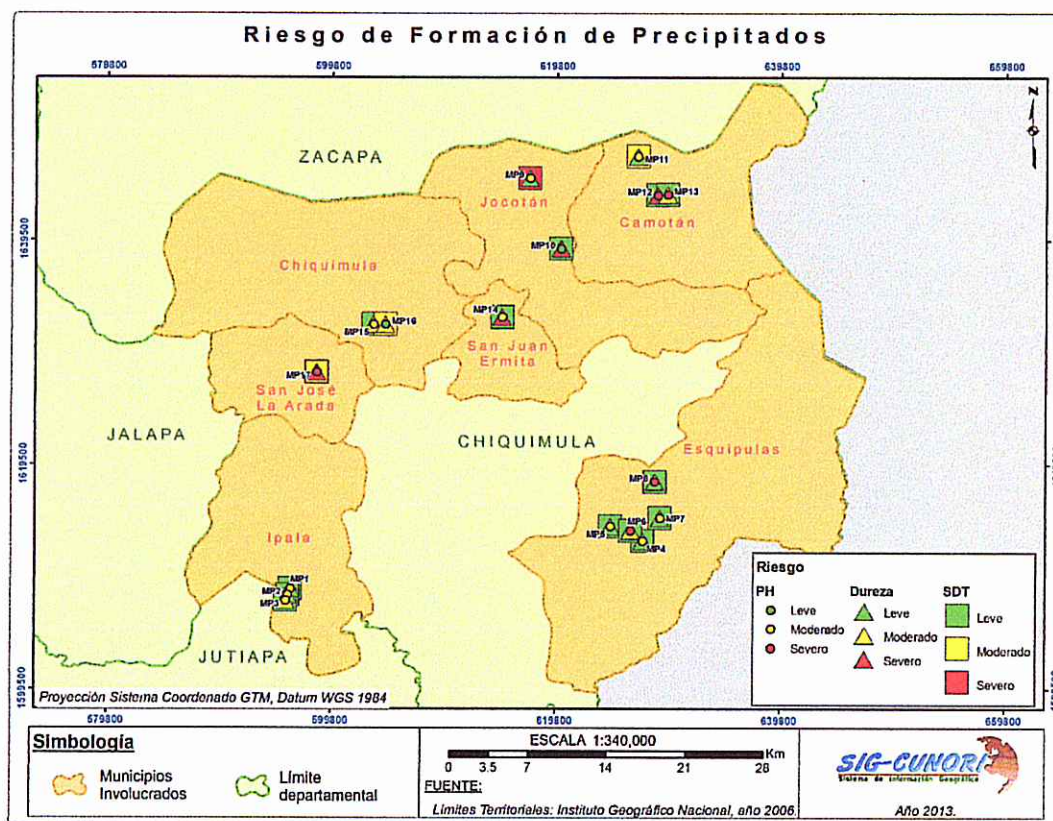
No.	Identificación	Ubicación	Tipo de Fuente	PH	RIESGO	Dureza	RIESGO	SDT	RIESGO
1	Juan Berganza	Amatillo Ipala	Pozo	7.37	MODERADO	130.00	LEVE	236.37	LEVE
2	Estuardo Sandoval	Amatillo Ipala	Pozo	7.91	MODERADO	101.00	LEVE	207.79	LEVE
3	Juan Berganza	Amatillo Ipala	Pozo	7.87	MODERADO	210.00	MODERADO	160.00	LEVE
4	Marco Tulio Pinto	Esquipulas	Reservorio	7.37	MODERADO	46.00	LEVE	85.89	LEVE
5	William Martínez	Valle Dolores Esquipulas	Potable	7.54	MODERADO	69.00	LEVE	92.42	LEVE
6	Catalina Portillo	Nejapa Esquipulas	Corriente Permanente	8.16	SEVERO	282.00	MODERADO	299.31	LEVE
7	Víctor Hugo Sandoval	Olopita Esquipulas	Reservorio	7.90	MODERADO	82.00	LEVE	97.98	LEVE
8	Antonio Guzmán	Cuevitas Esquipulas	Rio	8.45	SEVERO	135.00	LEVE	154.88	LEVE
9	Elsa Pérez	Plan de Candelero Jocotán	Potable	7.18	MODERADO	21.00	LEVE	35.2	LEVE
10	Isaías Avalos	La Mina Camotán	Potable	6.75	LEVE	446.00	SEVERO	253.44	LEVE
11	Abelino Díaz	La Libertad Camotán	Pozo	7.22	MODERADO	50.00	LEVE	824.00	MODERADO
12	Noé Guerra	La Libertad Camotán	Rio	8.14	SEVERO	318.00	MODERADO	366.51	LEVE
13	Erlin Giménez Díaz	Jocotán Jocotán	Corriente Permanente	8.30	SEVERO	299.00	MODERADO	165.97	LEVE
14	Gerson Martínez	San Juan Ermita	Pozo	7.07	MODERADO	642.00	SEVERO	446.29	LEVE
15	Edwin Villela	Sabana Grande Chiquimula	Pozo	7.60	MODERADO	159.00	MODERADO	347.73	LEVE
16	Carlos Villela	El Obraje Chiquimula	Pozo	6.70	LEVE	257.00	MODERADO	567.47	MODERADO
17	José De La Rosa Moscoso	San José La Arada	Corriente Permanente	8.41	SEVERO	318.00	SEVERO	600.11	MODERADO

Fuente: Elaboración propia

Tomando en cuenta los sólidos disueltos totales según la conductividad eléctrica de las muestras, el riesgo es moderado para las muestras tomadas en el pozo ubicado en la aldea la Libertad, del municipio de Camotán; el pozo ubicado en la aldea el Obraje, del municipio de Chiquimula y en la Corriente Permanente Santa Rosa del municipio de San José La Arada. Leve para la totalidad de las muestras tomadas en los municipios de Ipala, Esquipulas y San Juan Ermita.

Según el pH de las muestras, se observa un riesgo severo en las muestras tomadas en la Corriente Permanente Nejapa, ubicada en aldea Nejapa, del municipio de Esquipulas; en el Río Olopita, ubicado en la aldea Olopita, municipio de Esquipulas; en el río Torjá del municipio de Jocotán; en el río Jupilingo ubicado en la aldea La Libertad del Municipio de Camotán y en la corriente permanente Santa Rosa del municipio de San José La Arada, por tener un pH mayor a 8. Las fuentes de agua provenientes de pozos, nacimientos y reservorios tienen el riesgo moderado y leve.

Tomando en cuenta la dureza del agua de las muestras, se determinó que el riesgo es severo para el nacimiento ubicado en la aldea La Mina del municipio de Camotán; en el pozo ubicado en la cabecera municipal de San Juan Ermita y en la corriente de agua permanente Santa Rosa, ubicada en la cabecera municipal de San José La Arada. En el área de mayor producción de tomate y chile, el riesgo es leve, para el 66.66% de casos en el municipio de Ipala y el 80% en el municipio de Esquipulas; por lo que el agua tomada de las fuentes utilizadas en estas unidades de producción no presentan riesgos en la formación de precipitados y en consecuencia ningún riesgo de obstrucción en los sistemas de riego.



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 6. Análisis del riesgo de formación de precipitados en las fuentes de agua evaluadas en el departamento de Chiquimula. 2013

7.7 Clasificación según el Índice de Langelier.

El Índice de Langelier es un índice utilizado para calcular el carácter incrustante o agresivo del agua, por lo que se analizó los parámetros de bicarbonato-carbonatos, el pH, la temperatura, la concentración de calcio y la salinidad total.

CUADRO 22. Características del agua según el índice de incrustación de Langelier

Valor	Característica
Cero	Perfectamente Equilibrada
Negativo	Corrosiva
Positivo	Incrustante

Fuente: Cánovas Cuenca, J. (1986) "Calidad agronómica de las aguas de riego".

También se reviso el análisis siguiendo el riesgo potencial de obstrucción de sistemas de riego presurizado según el Índice de Langelier del agua.

CUADRO 23. Riesgo potencial de obstrucción según el índice de incrustación de Langelier

VALOR	EVALUACIÓN DEL RIESGO
< 0.0	Riesgo bajo
0.0 – 0.5	Riesgo medio
> 0.5	Riesgo alto

Fuente: Cánovas Cuenca, J. (1986) "Calidad agronómica de las aguas de riego".

CUADRO 24. Riesgo y clase de agua según el índice de Langelier utilizado en la evaluación de fuentes de agua en el departamento de Chiquimula. 2013

No.	Identificación	Ubicación	Tipo de Fuente	RESULTADO	INTERPRETACIÓN	
					RIESGO	CARACTERÍSTICA
1	Juan Berganza	Amatillo Ipala	Pozo	-0.433	BAJO	EQUILIBRADA
2	Estuardo Sandoval	Amatillo Ipala	Pozo	0.113	MEDIO	EQUILIBRADA
3	Juan Berganza	Amatillo Ipala	Pozo	0.573	ALTO	INCRUSTANTE
4	Marco Tulio Pinto	Esquipulas	Reservorio	-1.833	BAJO	CORROSIVA
5	William Martínez	Valle Dolores Esquipulas	Potable	-1.063	BAJO	CORROSIVA
6	Catalina Portillo	Nejapa Esquipulas	Corriente Permanente	1.060	ALTO	INCRUSTANTE
7	Víctor Hugo Sandoval	Olopita Esquipulas	Reservorio	-0.200	BAJO	EQUILIBRADA
8	Antonio Guzmán	Cuevitas Esquipulas	Rio	0.647	MEDIO	CORROSIVA
9	Elsa Pérez	Plan de Candelero Jocotán	Potable	-3.417	BAJO	CORROSIVA
10	Isaías Avalos	La Mina Camotán	Potable	-0.053	BAJO	EQUILIBRADA
11	Abelino Díaz	La Libertad Camotán	Pozo	-1.280	BAJO	CORROSIVA
12	Noé Guerra	La Libertad Camotán	Rio	1.240	ALTO	INCRUSTANTE
13	Erlin Giménez Díaz	Jocotán Jocotán	Corriente Permanente	1.203	ALTO	INCRUSTANTE
14	Gerson Martínez	San Juan Ermita	Pozo	0.570	ALTO	INCRUSTANTE
15	Edwin Villela	Sabana Grande Chiquimula	Pozo	0.100	MEDIO	EQUILIBRADA
16	Carlos Villela	El Obraje Chiquimula	Pozo	-0.403	BAJO	EQUILIBRADA
17	José De La Rosa Moscoso	San José La Arada	Corriente Permanente	0.210	MEDIO	EQUILIBRADA

Fuente: Elaboración propia

Siguiendo las indicaciones del índice de Langelier en cuanto al Riesgo potencial de obstrucción de las tuberías y sistemas de riego presurizado tenemos que para el municipio de Ipala, el riesgo es bajo para la muestra 1 y medio para la muestra 2, así mismo su característica es agua equilibrada por lo que pueden ser utilizadas para riego sin ninguna limitante, no así, en muestra 3 que presenta una característica Incrustante y un riesgo de obstrucción alto, por lo que no se recomienda para uso en sistemas de riego por goteo por la potencialidad de taponamiento, sin embargo, si se hacen correcciones del pH, puede ser usada aunque se incrementarían los costos de producción.

Para el municipio de Esquipulas, se tiene que únicamente la muestra 6, tomada de la corriente de agua permanente Nejapa, pertenece a la característica incrustante y riesgo alto, por lo que no se recomienda para su uso riego por goteo, a menos, que se disminuya el pH; en cuanto a las demás muestras de este municipio se tiene que son aguas con característica corrosiva y riesgo bajo, por lo que pueden ser utilizadas en riego por goteo, sin embargo se recomienda aumentar el nivel de pH, para evitar la corrosión de tuberías y sistemas de bombeo con partes metálicas que se utilicen.

Para el municipio de Jocotán el agua proveniente de la corriente de agua permanente Torja, pertenece a la característica incrustante y el riesgo de obstrucción en tuberías es alto, por lo que su uso en riegos por goteo se limita, no obstante si se hacen las enmiendas al pH, puede ser utilizada. Así mismo se observa que la muestra tomada del nacimiento en Plan de Candelero, presenta una característica corrosiva y de riesgo de obstrucción bajo, por lo que puede ser utilizada en riego pero se debe considerar la revisión de las partes metálicas de la tubería para evitar la corrosión de la misma.

En el municipio de Camotán se observa que únicamente el agua proveniente de pozo, en la Libertad, es apta para riego por goteo sin riesgo de obstrucción en las tuberías; el resto de las muestras presenta la característica incrustante y riesgo alto, por lo que se deben de realizar las enmiendas necesarias si se va a utilizar en riego por goteo.

Para el municipio de San Juan Ermita el riesgo de obstrucción es alto y la característica es de agua incrustante, por lo que debe disminuirse el pH para evitar problemas de

taponamiento en el sistema de riego por goteo. En cuanto a los municipios de San José la Arada y Chiquimula, el agua es equilibrada y con riesgos de medio a bajo, por lo que puede ser utilizada sin restricción.



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 7. Análisis del riesgo de obstrucción, corrosión e incrustación de las fuentes de agua evaluada según del índice de Langelier en el departamento de Chiquimula. 2013

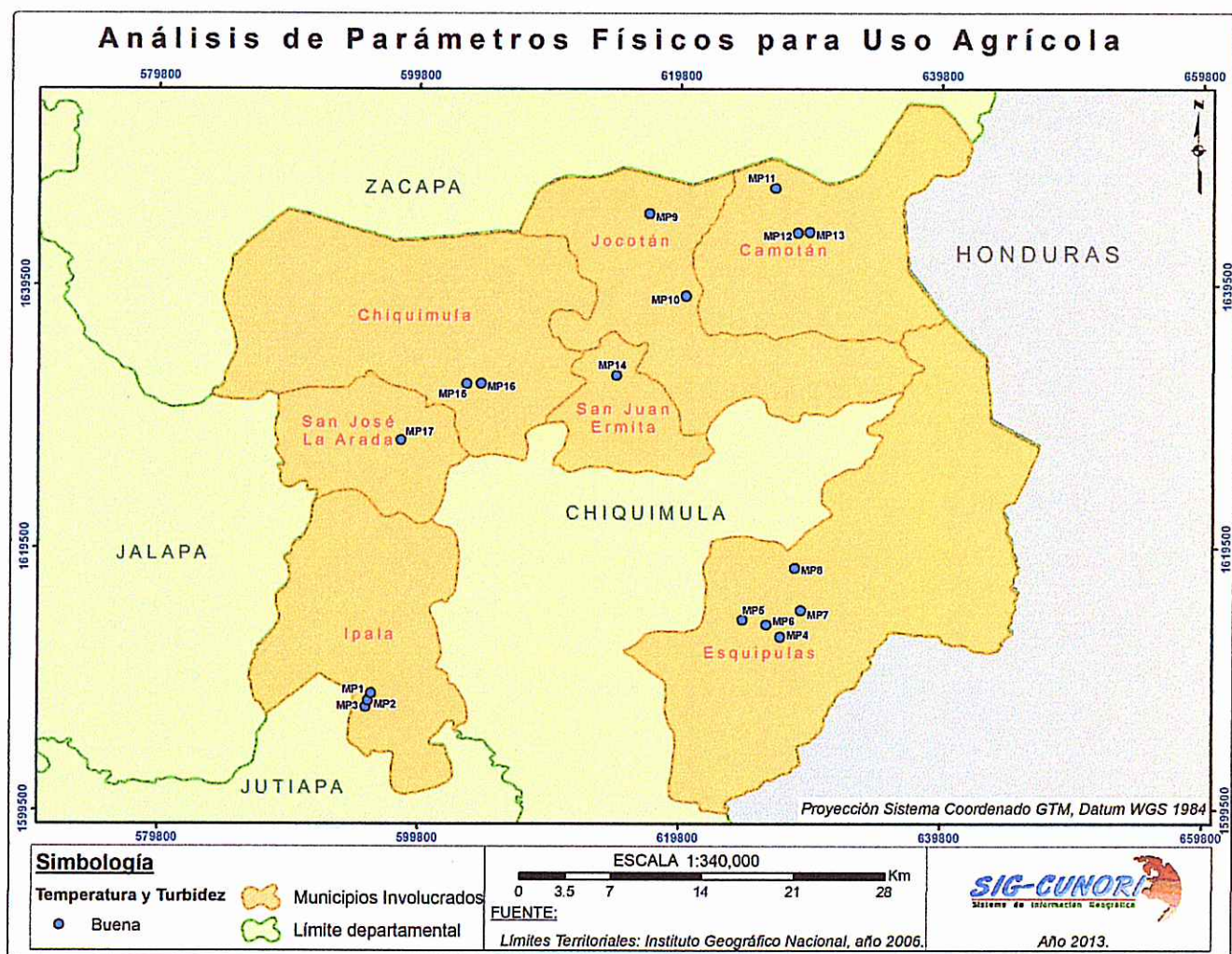
7.8 La temperatura

CUADRO 25. Calidad del agua según la temperatura, Chiquimula. 2013

No.	Identificación	Ubicación	Tipo de Fuente	TEMPERATURA	RESULTADOS
1	Juan Berganza	Amatillo Ipala	Pozo	31.37	BUENA
2	Estuardo Sandoval	Amatillo Ipala	Pozo	32.97	BUENA
3	Juan Berganza	Amatillo Ipala	Pozo	25.70	BUENA
4	Marco Tulio Pinto	Esquipulas	Reservorio	23.33	BUENA
5	William Martínez	Valle Dolores Esquipulas	Potable	23.80	BUENA
6	Catalina Portillo	Nejapa Esquipulas	Corriente Permanente	25.07	BUENA
7	Víctor Hugo Sandoval	Olopita Esquipulas	Reservorio	26.17	BUENA
8	Antonio Guzmán	Cuevitas Esquipulas	Rio	28.07	BUENA
9	Elsa Pérez	Plan de Candelero Jocotán	Potable	20.67	BUENA
10	Isaías Avalos	La Mina Camotán	Potable	21.50	BUENA
11	Abelino Díaz	La Libertad Camotán	Pozo	27.57	BUENA
12	Noé Guerra	La Libertad Camotán	Rio	26.97	BUENA
13	Erlin Giménez Díaz	Jocotán Jocotán	Corriente Permanente	25.97	BUENA
14	Gerson Martínez	San Juan Ermita	Pozo	27.00	BUENA
15	Edwin Villela	Sabana Grande Chiquimula	Pozo	27.03	BUENA
16	Carlos Villela	El Obraje Chiquimula	Pozo	27.67	BUENA
17	José De La Rosa Moscoso	San José La Arada	Corriente Permanente	23.50	BUENA

Fuente: Elaboración propia

Tomando en cuenta la temperatura del agua proveniente de las distintas fuentes analizadas, se puede observar en el cuadro 22 que el agua es buena, recomendable para el uso en agricultura.



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 8. Análisis de los parámetros físicos de la fuentes de agua evaluada en el departamento de Chiquimula. 2013

7.9 Coliformes totales y fecales

Analizando el estado microbiológico del agua tenemos los resultados que se presentan en el cuadro 26.

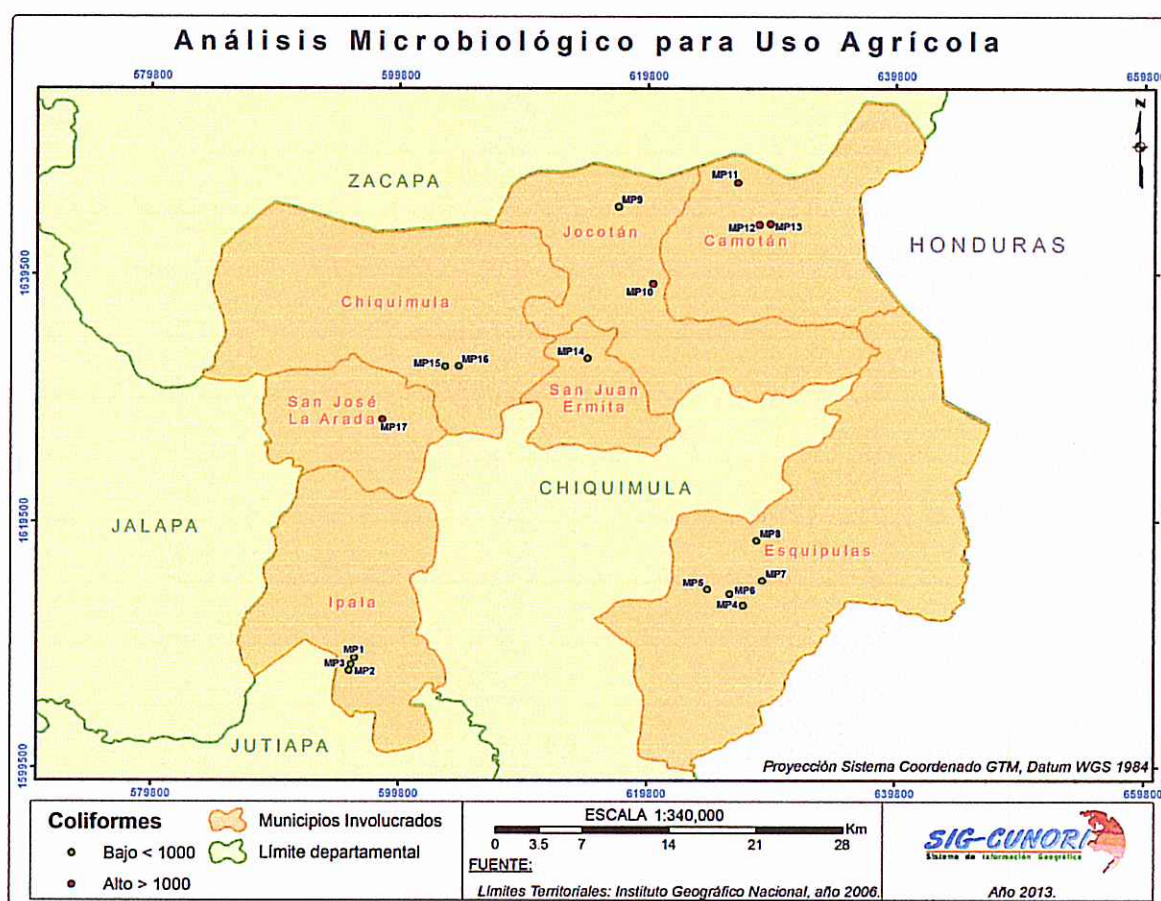
CUADRO 26. Análisis microbiológico de las fuentes de agua estudiadas en el departamento de Chiquimula. 2013

No.	Identificación	Ubicación	Tipo de Fuente	Coliformes Totales NMP/100 ml	Coliformes FCALES NMP/100 ml
1	Juan Berganza	Amatillo Ipala	Pozo	9	11
2	Estuardo Sandoval	Amatillo Ipala	Pozo	0	43
3	Juan Berganza	Amatillo Ipala	Pozo	0	11
4	Marco Tulio Pinto	Esquipulas	Reservorio	23	23
5	William Martínez	Valle Dolores Esquipulas	Potable	39	93
6	Catalina Portillo	Nejapa Esquipulas	Corriente Permanente	43	150
7	Víctor Hugo Sandoval	Olopita Esquipulas	Reservorio	39	290
8	Antonio Guzmán	Cuevitas Esquipulas	Rio	120	39
9	Elsa Pérez	Plan de Candelero Jocotán	Potable	210	240
10	Isaías Avalos	La Mina Camotán	Potable	11	≥2400
11	Abelino Díaz	La Libertad Camotán	Pozo	0	≥2400
12	Noé Guerra	La Libertad Camotán	Rio	0	≥2400
13	Erlin Giménez Díaz	Jocotán Jocotán	Corriente Permanente	≥2400	≥2400
14	Gerson Martínez	San Juan Ermita	Pozo	240	240
15	Edwin Villela	Sabana Grande Chiquimula	Pozo	28	460
16	Carlos Villela	El Obraje Chiquimula	Pozo	28	93
17	José De La Rosa Moscoso	San José La Arada	Corriente Permanente	≥2400	≥2400

Fuente: Elaboración Propia

Según los parámetros recomendados por la FAO, se puede observar el agua proveniente de pozos presenta niveles bajos de coliformes totales y fecales, únicamente el agua del

pozo ubicado en la libertad del municipio de Camotán, existe una elevada presencia de coliformes totales, esta fuente se encuentra a una distancia aproximada de ocho metros del río Jupilingo. El agua que se ocupa para la producción de tomate y chile, en el departamento de Chiquimula, contiene niveles altos de coliformes fecales, por lo que no puede ser utilizada en las aspersiones de productos sin antes ser tratada y desinfectada, sin embargo, puede ser utilizada para riego, excepto el agua del pozo ubicado en La Libertad, Camotán y la que proviene de la corriente de agua permanente en la cabecera del municipio de Jocotán.



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 9. Análisis microbiológico de las fuentes de agua evaluadas en el departamento de Chiquimula. 2013

VIII. CONCLUSIONES

1. Considerando los parámetros químicos del agua utilizada para riego en condiciones de ambientes protegidos, se observó que el riesgo de salinidad es inexistente y la conductividad eléctrica es excelente, en todas las unidades de producción analizadas.
2. El riesgo de formación de precipitados y obstrucción potencial de sistemas de riego que presentan las fuentes de agua provenientes de ríos y corrientes de agua permanentes es Alto, por tener un pH mayor a 8, no así para las fuentes provenientes de pozos, nacimientos y reservorios, ya que en su totalidad el riesgo para estos casos es moderado y leve.
3. Las fuentes muestreadas en los municipios de Ipala, Esquipulas, Jocotán, Camotán y San Juan Ermita presentan agua de buena calidad, clasificándose en S1,C1 Y S1,C2 por lo que esta es apta para riego; y las fuentes ubicadas en El Obraje, Chiquimula y la corriente de agua permanente Santa Rosa, que tienen se clasifican como aguas tipo S1,C3 que implica el uso de riego con restricciones.
4. De acuerdo a las propiedades físicas del agua utilizada para riego en condiciones de ambientes protegidos, en el departamento de Chiquimula, la calidad de este insumo es buena, por lo que es apta para su uso en la agricultura.
5. El agua que se ocupa para la producción de tomate y chile, en el departamento de Chiquimula, contiene niveles altos de coliformes fecales, por lo que no puede ser utilizada en las aspersiones de productos, sin antes ser tratada y desinfectada, sin embargo, puede ser utilizada para riego por goteo; excepto el agua del pozo existente en la unidad de producción ubicada La Libertad, Camotán y la corriente de agua permanente Torja, en la cabecera municipal de Jocotán por sobrepasar los niveles recomendados de coliformes totales.

IX. RECOMENDACIONES

1. Tomando en cuenta las propiedades físicas y químicas el agua proveniente de pozos y reservorios es recomendable para la producción hortícola sin limitación alguna.
2. El agua proveniente de corriente permanentes o ríos debe de ser tratada con reguladores de pH, ácido sulfúrico o ácido fosfórico, por presentar riesgos altos en cuanto a formación de precipitados, taponamiento de tuberías y emisores de riego.
3. Considerando la calidad el agua de acuerdo a las propiedades físicas, puede ser utilizada en riego para la producción de tomate y chile en los sistemas de producción bajo ambientes protegidos, sin limitación alguna.
4. Aplicar tratamientos preventivos de purificación a el agua utilizada para riego y aspersiones en la producción de tomate y chile en condiciones de ambientes protegidos, ya que la totalidad de las muestras analizadas, sobrepasan los niveles recomendados de coliformes fecales.

X. BIBLIOGRAFÍA

1. American Water Works Association, MX. 1968. Agua: su calidad y tratamiento. Trad. JM Verrey. Mexico, UTEHA. 564 p.
2. Arita Armendariz, C. 1985. Las aguas negras en el riego. Guatemala, Dirección Técnica de Riego y Avenamiento. 23 p. (Publicación Técnica 8)
3. 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, Escuela de Ingeniería Química. 136 p.
4. Cánovas Cuenca, J. 1986. Calidad agronómica de las aguas de riego. Mexico, UPANA. 623 p.
5. Cruz, J De La. 1975. Clasificación de zonas de vida de Guatemala basada en el sistema Holdridge. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 24 p.
6. COGUANOR (Comisión Guatemalteca de Normas). 1983. Norma guatemalteca obligatoria NGO 29 001 (Folleto mimeografiado). Guatemala. s.p.
7. Lee, R. 1980. Forest hydrology. New York, US, Columbia University Press. 349 p.
8. Mayorga Licon, FJ 1969. Estudio sobre la cantidad y calidad de las aguas negras en el proyecto '10' del INVI. Tesis Ing. Civ. Guatemala, USAC, Facultad de Ingeniería. 73 p.
9. McJunkin, EF. 1986. Agua y salud humana. México, Limusa. p. 32-39.
10. Ramírez GM. 1986. Riesgos para la salud relacionados con el agua de piscina. Revista ACODAL 7(125):38-44.

10. Ramírez GM. 1986. Riesgos para la salud relacionados con el agua de piscina. Revista ACODAL 7(125):38-44.
11. Sandoval Illescas, JE. 1989. Principios de riego y drenaje. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 345 p.
12. Sierra Castillo CE. 1980. Estudio de reconocimiento de la sub-cuenca del río San José, con fines de riego en el valle de Chiquimula. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 57 p.
13. Unda Opazo, F. 1969. Ingeniería sanitaria aplicada a saneamiento y salud pública. México, UTEHA. 870 p.
14. Velásquez Mazariegos, S. 1984. Caracterización cualitativa y cuantitativa del recurso agua de la cuenca del río Grande de Zacapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 136 p.
15. Winkler, MA. 1986. Tratamiento biológico de aguas de desecho. Trad. CA García Ferrer. México, Limusa. 338 p.



XI. ANEXOS



ANEXO 1 BOLETA DE CAMPO No. _____

INFORMACIÓN GENERAL

Identificación de la Muestra: _____

Fecha: _____ Hora de Muestreo: _____

Nombre del Propietario: _____

Ubicación del muestreo: _____

Ubicación Georeferenciada: N: _____ W: _____ Altitud: _____

Tipo de estructura de protección de cultivo: _____

Cultivos: _____ Área utilizada para la siembra: _____

Centros poblados: SI _____ NO _____ Lavaderos: SI _____ NO _____ Otros: _____

Vegetación alrededor: _____

Fuente del Agua: Pozo: _____ Corriente Permanente: _____ Río: _____ Reservorio: _____ Agua Potable: _____ Otra: _____

Nombre de la Fuente de Agua: _____ Color del Agua: _____

Clima: _____ Temperatura Ambiente: _____ % de Humedad Ambiental: _____

PARAMETROS FISICOS DE LA MUESTRA

PARAMETRO	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3
pH			
Conductividad			
Olor			
Color			
Temperatura en °C			

Observaciones:

ANEXO 2 Resumen de análisis de calidad de agua utilizada para riego en el departamento de Chiquimula

MUNICIPIO	Identificación	Tipo de Fuente	COLIFORMES TOTALES	COLIFORMES FECALES	TEMPERATURA	ÍNDICE DE OBSTRUCCIÓN DE L'ANGELIER		RIESGO DE FORMACIÓN DE PRECIPITADOS			RIESGO	% de Na.	CONDUCC. ELÉCTRICA
						RIESGO	TIPO DE AGUA	PH	Dureza mg/l	SDT			
IPALA	Juan Berganza	Pozo	NO APTA	NO APTA	BUENA	BAJO	EQUILIBRADA	MODERADO	LEVE	LEVE	INEXISTENTE	BUENA CALIDAD	EXCELENTE
	Estuardo Sandoval	Pozo	APTA	NO APTA	BUENA	MEDIO	EQUILIBRADA	MODERADO	LEVE	LEVE	INEXISTENTE	BUENA CALIDAD	EXCELENTE
	Juan Berganza	Pozo	APTA	NO APTA	BUENA	ALTO	INCRUSTANTE	MODERADO	MODERADO	LEVE	INEXISTENTE	BUENA CALIDAD	EXCELENTE
	Marco Tulio Pinto	Reservorio	NO APTA	NO APTA	BUENA	BAJO	CORROSIVA	MODERADO	LEVE	LEVE	INEXISTENTE	BUENA CALIDAD	EXCELENTE
	William Martínez	Polable	NO APTA	NO APTA	BUENA	BAJO	CORROSIVA	MODERADO	LEVE	LEVE	INEXISTENTE	BUENA CALIDAD	EXCELENTE
ESQUIPULAS	Catalina Portillo	Corriente Permanente	NO APTA	NO APTA	BUENA	ALTO	INCRUSTANTE	SEVERO	MODERADO	LEVE	INEXISTENTE	BUENA CALIDAD	EXCELENTE
	Víctor Hugo Sandoval	Reservorio	NO APTA	NO APTA	BUENA	BAJO	EQUILIBRADA	MODERADO	LEVE	LEVE	INEXISTENTE	BUENA CALIDAD	EXCELENTE
	Antonio Guzmán	Río	NO APTA	NO APTA	BUENA	MEDIO	CORROSIVA	SEVERO	LEVE	LEVE	INEXISTENTE	BUENA CALIDAD	EXCELENTE
	Elsa Pérez	Polable	NO APTA	NO APTA	BUENA	BAJO	CORROSIVA	MODERADO	LEVE	LEVE	INEXISTENTE	BUENA CALIDAD	EXCELENTE
	Erlin Giménez Díaz	Corriente Permanente	NO APTA	NO APTA	BUENA	ALTO	INCRUSTANTE	SEVERO	MODERADO	LEVE	INEXISTENTE	BUENA CALIDAD	EXCELENTE
CAMOTÁN	Isaías Avalos	Polable	NO APTA	NO APTA	BUENA	BAJO	EQUILIBRADA	LEVE	SEVERO	LEVE	INEXISTENTE	BUENA CALIDAD	EXCELENTE
	Abelino Díaz	Pozo	APTA	NO APTA	BUENA	BAJO	CORROSIVA	MODERADO	LEVE	MODERADO	INEXISTENTE	REGULAR	EXCELENTE
	Noé Guerra	Río	APTA	NO APTA	BUENA	ALTO	INCRUSTANTE	SEVERO	MODERADO	LEVE	INEXISTENTE	REGULAR	EXCELENTE
SAN JUAN ERMITA	Gerson Martínez	Pozo	NO APTA	NO APTA	BUENA	ALTO	INCRUSTANTE	MODERADO	SEVERO	LEVE	INEXISTENTE	BUENA CALIDAD	EXCELENTE
CHIQUMULA	Edwin Villela	Pozo	NO APTA	NO APTA	BUENA	MEDIO	EQUILIBRADA	MODERADO	MODERADO	LEVE	INEXISTENTE	BUENA CALIDAD	EXCELENTE
	Carlos Villela	Pozo	NO APTA	NO APTA	BUENA	BAJO	EQUILIBRADA	LEVE	MODERADO	MODERADO	INEXISTENTE	BUENA CALIDAD	EXCELENTE
SAN JOSÉ LA ARADA	José De La Rosa Moscoso	Corriente Permanente	NO APTA	NO APTA	BUENA	MEDIO	EQUILIBRADA	SEVERO	SEVERO	MODERADO	INEXISTENTE	BUENA CALIDAD	EXCELENTE

Fuente: Elaboración Propia