

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE CIENCIAS MÉDICAS**

**“TÉCNICAS DE TRATAMIENTO DE AGUA  
Y PREVALENCIA DE ENFERMEDAD DIARREICA AGUDA”**

Estudio analítico realizado en el departamento de Baja Verapaz.

abril- mayo 2011

**Michellee Margarita Nájera Romero  
Karla Margarita Nájera Romero  
Samuel Eduardo García Díaz  
Juan Carlos Andrade Spatz  
Fernando José Cabrera Berganza  
Lilian Eugenia Silvestre**

**Médico y Cirujano**

Guatemala, mayo de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE CIENCIAS MÉDICAS

**“TÉCNICAS DE TRATAMIENTO DE AGUA  
Y PREVALENCIA DE ENFERMEDAD DIARREICA AGUDA”**

Estudio analítico realizado en el departamento de Baja Verapaz.

abril- mayo 2011

Tesis

Presentada a la Honorable Junta Directiva  
de la Facultad de Ciencias Médicas de la  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Por

**Michellee Margarita Nájera Romero  
Karla Margarita Nájera Romero  
Samuel Eduardo García Díaz  
Juan Carlos Andrade Spatz  
Fernando José Cabrera Berganza**

**Médico y Cirujano**

Guatemala, mayo de 2011

El infrascrito Decano de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de San Carlos de Guatemala hace constar que:

Los estudiantes:

Michellee Margarita Nájera Romero	199812000
Karla Margarita Nájera Romero	200110181
Samuel Eduardo García Díaz	200311177
Juan Carlos Andrade Spatz	200318752
Fernando José Cabrera Berganza	200410155

han cumplido con los requisitos solicitados por esta Facultad, previo a optar al Título de Médico y Cirujano, en el grado de **Licenciatura**, y habiendo presentado el trabajo de graduación titulado:

“TÉCNICAS DE TRATAMIENTO DE AGUA  
Y PREVALENCIA DE ENFERMEDAD DIARREICA AGUDA”

Estudio analítico realizado en el departamento de Baja Verapaz.

abril - mayo 2011

Trabajo asesorado por la Dra. Marjorie Vásquez y revisado por el Dr. Alejandro Samayoa, quienes avalan y firman conformes. Por lo anterior, se emite, firma y sella la presente:

ORDEN DE IMPRESIÓN

En la Ciudad de Guatemala, treinta de mayo del dos mil once.

  
DR. JESUS ARNULFO OLIVA LEAL  
DECANO



Guatemala, 30 de mayo del 2011

Doctor  
Edgar Rodolfo de León Barillas  
Unidad de Trabajos de Graduación  
Facultad de Ciencias Médicas  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente

Dr. de León Barillas:

Le informo que los estudiantes abajo firmantes:

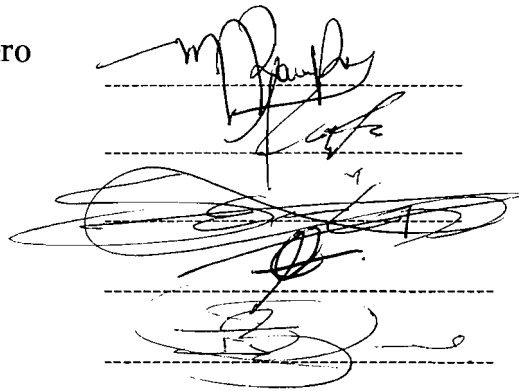
Michellee Margarita Nájera Romero

Karla Margarita Nájera Romero

Samuel Eduardo García Díaz

Juan Carlos Andrade Spatz

Fernando José Cabrera Berganza



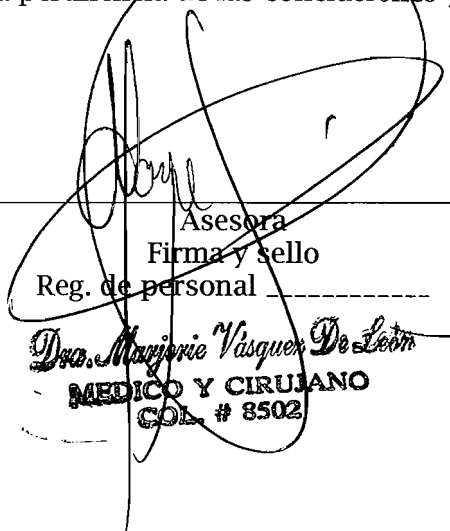
Presentaron el informe final del Trabajo de Graduación titulado:

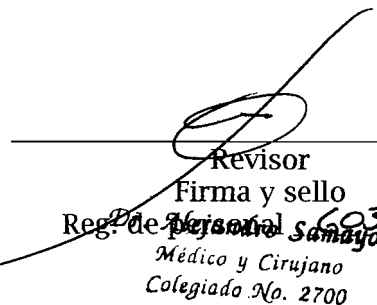
“TÉCNICAS DE TRATAMIENTO DE AGUA  
Y PREVALENCIA DE ENFERMEDAD DIARREICA AGUDA”

Estudio analítico realizado en el departamento de Baja Verapaz.

abril - mayo 2011

Del cual como asesora y revisor nos responsabilizamos por la metodología, confiabilidad y validez de los datos, así como de los resultados obtenidos y de la pertinencia de las conclusiones y recomendaciones propuestas.

  
Asesora  
Firma y sello  
Reg. de personal -----  
**Dra. Margarita Vásquez De León**  
**MEDICO Y CIRUJANO**  
**COL. # 8502**

  
Revisor  
Firma y sello  
Reg. de personal **6037**  
**Dr. Fernando Samayoa**  
Médico y Cirujano  
Colegiado No. 2700

El infrascrito Coordinador de la Unidad de Trabajos de Graduación de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de San Carlos de Guatemala, hace constar que los estudiantes:

Michellee Margarita Nájera Romero	199812000
Karla Margarita Nájera Romero	200110181
Samuel Eduardo García Díaz	200311177
Juan Carlos Andrade Spatz	200318752
Fernando José Cabrera Berganza	200410155

han presentado el trabajo de graduación titulado:

“TÉCNICAS DE TRATAMIENTO DE AGUA  
Y PREVALENCIA DE ENFERMEDAD DIARREICA AGUDA”

Estudio analítico realizado en el departamento de Baja Verapaz.

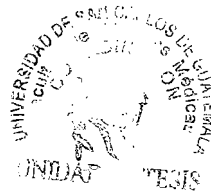
abril - mayo 2011

El cual ha sido **revisado y corregido** por el Profesor de la Unidad de Trabajos de Graduación -UTG- Dr. Ángel Alfonso Velarde López y al establecer que cumple con los requisitos exigidos por esta Unidad, se les autoriza a continuar con los trámites correspondientes para someterse al Examen General Público. Dado en la Ciudad de Guatemala, el treinta de mayo del dos mil once.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Dr. Edgar Rodolfo de León Barillas  
Coordinador



## RESÚMEN

**Objetivos:** Analizar las técnicas de tratamiento de agua y su asociación con la prevalencia de enfermedad diarreica aguda (EDA) diagnosticada, en el departamento de Baja Verapaz, durante los meses de enero a diciembre del año 2010. Identificar los agentes microbiológicos que se encuentran en el agua en semana de tratamiento en semana de no tratamiento del agua. **Metodología:** Estudio analítico. Se obtuvo los datos de los ocho municipios del departamento de Baja Verapaz, a través de los instrumentos del Sistema de información gerencial en salud SIGSA 18, que contiene el número de casos por semana epidemiológica de Enfermedad Diarreica Aguda EDA de enero a diciembre del año 2010 é informes semanales del tratamiento de agua de las trece plantas de tratamiento de enero a diciembre del año 2010 proporcionados por el personal técnico de salud. Se tomó muestras de agua en las plantas de abastecimiento y se procesaron en el laboratorio multidisciplinario del Centro Universitario Metropolitano CUM. **Resultados:** A nivel departamental podemos observar que el valor del chi cuadrado a nivel departamental es de 274.02. El resultado de Odds Ratio fue 0.72. Las pruebas de laboratorio evidenciaron presencia de coliformes en agua no tratada. **Conclusiones:** En el Departamento de Baja Verapaz la prevalencia de casos de EDA se encuentra asociada a las técnicas de tratamiento de agua. El tratamiento del agua presenta un factor protector para la población de dicha área. La técnica de tratamiento utilizada en el departamento es la cloración. Existe presencia de coliformes en el agua no tratada.

**Palabras Claves:** Diarrea, Enfermedades gastrointestinales, técnicas, tratamiento del agua, agua potable, microorganismos acuáticos, indicadores de contaminación.

## ÍNDICE

1. Introducción	1
2. Objetivos	5
3. Marco teórico.	7
3.1. Contextualización del área de estudio.	7
3.1.1 Monografía de Baja Verapaz	7
3.2. Cualidades del agua.	9
3.2.1 El agua en la tierra	10
3.2.2 Efectos sobre la civilización humana	12
3.2.2.1 Agua y su saneamiento	12
3.2.2.1.1 Derecho humano esencial	12
3.2.2.2 Agua para beber	13
3.2.2.2.1 Necesidad del cuerpo humano	15
3.3. Breve historia sobre el tratamiento del agua.	15
3.3.1 Las antiguas civilizaciones	15
3.3.2 Siglo dieciocho y diecinueve	15
3.3.3 Siglo diecinueve y veinte	16
3.3.4 Los reglamentos federales de la calidad del agua potable	16
3.3.5 Patógenos y sustancias químicas	17
3.3.6 Sistemas urbanos	18
3.4. Técnicas del tratamiento del agua.	19
3.4.1 Fase 1: Remoción de sólidos o clarificación	19
3.4.1.1 Remoción de sólidos gruesos o desbaste	19
3.4.1.2 Desarenado	20
3.4.1.3 Flotación	22
3.4.1.4 Coagulación y floculación	25
3.4.1.5 Sedimentación	26
3.4.1.5.1 Sedimentación del tipo 1	27
3.4.1.5.2 Sedimentación del tipo 2	27
3.4.1.5.3 Sedimentación zonal y por compresión	28
3.4.1.6 Filtración	28
3.4.1.6.1 Filtración por gravedad o lenta	29
3.4.1.6.2 Filtración por presión o rápida	29
3.4.2 Fase 2	30
3.4.2.1 Proceso de intercambio de gases	30
3.4.2.1.1 Aireación	30
3.4.3 Fase 3	31
3.4.3.1 Desinfección	31
3.4.3.1.1 Cloro o sus derivados	31
3.4.3.1.1.1 Cloro gaseoso en solución acuosa	33
3.4.3.1.1.2 Aplicación del cloro directo	33
3.4.3.1.1.3 Aplicación del cloro sólido o líquido	33
3.4.3.1.1.3.1 Hipoclorito de calcio	34
3.4.3.1.1.3.2 Hipoclorito de sodio	34

3.4.3.1.2 Ozono	37
3.4.3.1.3 Radiación ultravioleta	40
3.5. Agentes bacterianos transmitidos por el agua.	43
3.5.1 Aeromonas spp	44
3.5.2 Campylobacter	45
3.5.3 Escherichi coli 0157:H7	45
3.5.4 Mycobacterium spp	46
3.6. Enfermedad diarreica aguda.	46
3.6.1 Clasificación	46
3.6.1.1 Síndrome diarreico coleriforme	46
3.6.1.2 Síndrome diarreico disenteriforme	47
3.6.1.3 Diarrea persistente	47
3.6.2 Comportamientos que influyen en la propagación de los enteropatógenos	48
3.6.3 Mecanismos fisiopatológicos	48
4. Hipótesis	51
5. Metodología.	53
5.1. Tipo y diseño de la investigación	53
5.2. Unidad de análisis.	53
5.3. Población y muestra.	53
5.4. Criterios de inclusión y exclusión	54
5.5. Definición y operalización de variables.	55
5.6. Definición de técnicas.	56
5.7. Aspectos éticos.	57
5.8. Plan de procesamiento y análisis de datos.	57
5.9 Recursos.	58
6. Resultados	59
6.1 Asociación entre las técnicas de tratamiento de agua y la prevalencia de Enfermedad Diarreica Aguda en el Departamento de Baja Verapaz	59
6.2 Caracterización de la presencia de microorganismos en los abastecimientos de agua.	61
7. Discusión	53
7.1 Asociación entre las técnicas de tratamiento de agua y la prevalencia de Enfermedad Diarreica Aguda del Departamento de Baja Verapaz	63
7.2 Caracterización de la presencia de microorganismos en los abastecimientos de agua	66
8. Conclusiones	69
9. Recomendaciones	71
10. Aportes	73
11. Referencias bibliográficas.	75
12. Anexos.	81
12.1 Consentimiento informado.	83
12.2 Instrumento de recolección de datos.	85
12.3 Caracterización demográfica y socioeconómica de la población	89
12.4 Presentación de tablas	91
12.5 Presentación de graficas	93



## 1. INTRODUCCIÓN.

Las enfermedades diarreicas son la principal causa de morbilidad y mortalidad en menores de 5 años en los países en desarrollo, y un factor importante de desnutrición. En el 2003 murieron aproximadamente 1.870.000 niños menores de 5 años como consecuencia de la diarrea. Ocho de cada 10 defunciones se producen en los dos primeros años de vida. Los niños menores de 3 años de los países en desarrollo presentan una media de tres episodios diarreicos por año. En Guatemala la incidencia del síndrome diarreico fue de 3,154 casos por cien mil habitantes en el año 2005, y la mortalidad fue de 14 personas por cien mil habitantes.(1)

En el 2006 esta enfermedad ocupó la cuarta causa de morbilidad general y la sexta causa de mortalidad general. Con una incidencia de 2,707 casos por cien mil habitantes, y una mortalidad de 9 personas por cien mil habitantes; fueron los menores de 5 años el grupo etario con más casos, según el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. En el 2007 el síndrome diarreico agudo ocupó la segunda causa de morbilidad con una incidencia de 2,935 casos por cien mil habitantes; y con relación a la mortalidad ocupó la cuarta causa con una tasa de 12 muertes por cien mil habitantes de acuerdo a la Memoria de Vigilancia Epidemiológica de ese año. Se ha presentado una disminución de la incidencia por diarrea a partir del año 2002.

En el 2006 la diarrea ocupó la cuarta causa de morbilidad y la sexta causa de mortalidad en el país, según el Sistema de Información Gerencial en Salud (SIGSA).(1)

En Guatemala la época lluviosa se relacionó con el comportamiento de la diarrea según el corredor endémico; la época seca que comprende los meses de febrero a marzo muestra una incidencia promedio de 45 casos por cien mil habitantes, y para la época lluviosa comprende en promedio 60 casos por 100,000 habitantes, ocurriendo en junio y julio las incidencias más altas de 87 casos por cien mil habitantes.(1)

Las enfermedades transmitidas por agua (ETA) constituyen un importante problema de Salud Pública debido a su magnitud, trascendencia, tendencia fluctuante y aumentos en su comportamiento durante el año, lo que ha significado etapas de emergencia, reemergencia, aparición de agentes nuevos con potencial epidémico y el incremento a la resistencia a los antimicrobianos con impacto negativo económico en grupos de población.(2)

Dentro de las enfermedades transmitidas por el agua, se estiman cuatro mil millones de casos anuales de diarrea, de los cuales el 88 % puede atribuirse a la insalubridad del agua y a deficiencias de saneamiento y de higiene. Con una mortalidad de un millón ochocientas mil personas, por enfermedades diarreicas cada año; la mayoría de ellas son niños menores de cinco años de edad. Según la OMS el 94 % de los casos de diarrea podrían evitarse mediante modificaciones del medio, por ejemplo, a través de intervenciones que permitan aumentar la disponibilidad de agua limpia y mejorar el saneamiento y la higiene. Además, una revisión sistemática efectuada en el año 2005 permitió concluir que los episodios diarreicos se reducen un 25% al mejorar el abastecimiento de agua, un 32 % al mejorar el saneamiento, un 45 % por medio del lavado de manos y un 39% mediante el tratamiento y el almacenamiento seguro del agua doméstica. Una revisión Cochrane más reciente de ensayos clínicos controlados (2006) confirmó la importante función que las intervenciones en la calidad del agua en el lugar de uso podrían desempeñar en la reducción de los episodios de diarrea, al revelar una disminución a la mitad, en promedio, de la morbilidad por enfermedad diarreica, aunque algunos estudios evidenciaban reducciones del 70 % o más.(4,5)

De acuerdo estudios previos realizados en el mismo, se logró determinar que el 98% del agua no potable que está disponible para el consumo y utilización diaria por los habitantes del departamento, se encuentra contaminada con agentes microbiológicos, a pesar de que dicho departamento cuenta con 13 plantas de tratamiento de agua, las cuales abastecen a las 8 comunidades.(6) Siendo un dato importante, teniendo en cuenta que una de las principales causas de atención a los servicios de salud de dicho departamento es la EDA, ya que las estadísticas actuales reportan que ésta ocupa el cuarto puesto en casos de mortalidad general con una tasa de 7.65%.(8)

El trabajo tiene como finalidad facilitar información a instituciones responsables de la salud, como: Áreas de Salud, Municipalidades, Organizaciones no gubernamentales, como también a la población en general, para que reconozcan los factores que determinan el aumento de enfermedades transmitidas por agua, y que ellos sean los actores en la creación de políticas y estrategias locales de control y prevención y como resultante final, mejoras en las condiciones de vida y el bienestar particularmente en los grupos de la población más vulnerables.

El presente estudio es Analítico, se obtendrán los datos de los ocho municipios del departamento de Baja Verapaz, a través de los instrumentos, Sistema Integral de Atención en Salud SIGSA 18 que contiene el número de casos por semana epidemiológica de Enfermedad Diarreica Aguda EDA de enero a diciembre del año 2010, documentos proporcionados por el personal técnico de salud, que incluye los informes semanales del tratamiento de agua de las trece plantas de tratamiento de enero a diciembre del año 2010 y datos obtenidos mediante el instrumento diseñado para el efecto, el cual será respondido por los ocho técnicos de salud encargados de las trece plantas de tratamiento de agua que se encuentran en el departamento de Baja Verapaz.

Para la interpretación de los datos, se realizaron cuadros de dos por dos teniendo como variables a evaluar, semanas de cloración, semanas de no cloración, numero casos de EDA y número de casos de No EDA; para asociarlos entre sí de manera cruzada. Se obtiene resultado de Chi cuadrado con un grado de libertad y probabilidad (p)  $\leq 0.5$ . También se obtiene el resultado de Odds Ratio e índice de confiabilidad y se evalúa en la constante en una escala menor a 1. Basado en lo anterior, la interpretación de los datos se realizó de la siguiente forma: Si Chi cuadrado ( $\chi^2$ ) es mayor o igual a 3.84, se determina asociación entre las técnicas de cloración y la presencia de enfermedad diarreica aguda y se procede a obtener el resultado de Odds Ratio (OR) para determinar la fuerza con la que este evento podría suscitarse de presentar las condiciones o no adecuadas. La interpretación de este dato se realizó de la siguiente forma: Si el valor obtenido fue menor de 1, se le considero como factor protector; si el valor fue mayor de 1 se le considero riesgo y si fue igual a 1 se consideró que no existía riesgo.

Se realizó la visita a las 13 plantas de tratamiento de agua del Departamento de Baja Verapaz ubicadas en los siguientes municipios: Salamá, San Jerónimo, San Miguel Chicaj, Rabinal, Cubulco, Purulhá, Granados y El Chol, de las cuales se describirá los hallazgos sobre la presencia de coliformes encontrados durante una semana de cloración y durante otra semana en la cual no hubo cloración.



## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo General:

- 2.1.1 Analizar las técnicas de tratamiento de agua y su asociación con la prevalencia de enfermedad diarreica aguda (EDA) diagnosticada, en el departamento de Baja Verapaz, durante los meses de enero a diciembre del año 2010.

### 2.2 Objetivos Específicos:

- 2.2.1 Identificar las técnicas de tratamiento de agua que se utilizan en el departamento de Baja Verapaz y cuál es la más utilizada.
- 2.2.2 Cuantificar la prevalencia de enfermedad diarreica aguda diagnosticados en los meses de enero a diciembre del año 2010 en el departamento de Baja Verapaz.
- 2.2.3 Identificar los agentes microbiológicos que se encuentran en los abastecimientos de agua en una semana de tratamiento de agua y en una semana de no tratamiento de agua.



### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 Contextualización del área de estudio.

##### 3.1.1 Monografía de Baja Verapaz.

El Departamento de Baja Verapaz se encuentra localizado en el centro de la República de Guatemala a 15°06'12" latitud norte y 90°16'00" longitud Oeste; tiene una altitud de 940 mts, limita al Norte con el Departamento de Alta Verapaz y El Quiché; al Sur con el Departamento de Guatemala; al Este con el Departamento de El Progreso y al Oeste con el Departamento de El Quiché; el Departamento de Baja Verapaz, forma parte de la Región II, juntamente con el Departamento de Alta Verapaz. Está conformado por 8 municipios, de conformidad a lo establecido en el "Decreto Número 181, J. Rufino Barrios, General de División y Presidente de la República de Guatemala, dado en el Palacio Nacional de Guatemala, a cuatro de mayo de mil ochocientos setenta siete".<sup>8</sup>

**Tabla 1. Resultados del XI censo de población y VI de habitación 2002 del departamento de Baja Verapaz.**

<b>No.</b>	<b>MUNICIPIO</b>	<b>POBLACION</b>	<b>VIVIENDAS</b>	<b>HOGARES</b>
	<b>TOTAL</b>	<b>215,915</b>	<b>52,980</b>	<b>41,882</b>
1	Salamá	47,274	11,096	9,347
2	San Miguel Chicaj	23,201	5,452	4,226
3	Rabinal	31,168	8,546	6,541
4	Cubulco	43,639	11,879	8,273
5	Granados	11,338	3,014	2,435
6	El Chol	8,460	2,229	1,765
7	San Jerónimo	17,469	4,351	3,568
8	Purulhá	33,366	6,413	5,727

Fuente: Instituto Nacional de Estadística –INE-

**Tabla 2. Demografía del departamento de Baja Verapaz.**

<b>DATOS GENERALES</b>		
Lugares poblados	676	(Censo 2002)
Municipios	8	(Censo 2002)
Población	215,915	(Censo 2002)
Extensión territorial	3,124 Km <sup>2</sup>	(IGN)
Vocación forestal	66.2 %	(ADD)
Vocación agrícola	28.7 %	(ADD)
Vocación pecuaria	5.1 %	(ADD)
Población Económicamente Activa (Pob. 7 años y Más)	32.2 %	(Censo 2002)
Índice de Desarrollo Humano	0.594 %	(IDH 2002)
Índice de Salud	0.7808 %	(IDH 2002)
Índice de Educación	0.5241 %	(IDH 2002)
Índice de Ingresos	0.5375 %	(IDH 2002)
Población indígena (Q'eqchí, Poqomchí y Achí)	58.8 %	(Censo 2002)
Población que vive en el área rural	72.7 %	(Censo 2002)
Población comprendida en edades de 0 a 14 años	53.9 %	(Censo 2002)
Población comprendida en edades de 15 a 59 años	48.1 %	(Censo 2002)
De la población las mujeres constituyen el	51 %	(Censo 2002)
Tasa de Natalidad	26.64 *	(MSPAS 2009)
Tasa de Mortalidad	3.68 *	(MSPAS 2009)
Tasa de Mortalidad infantil	19.86 **	(MSPAS 2009)
Tasa de Crecimiento vegetativo	22.96 ***	(MSPAS 2009)
Pobreza	49.2	(Encovi 2006)
Pobreza Extrema	21.2	(Encovi 2006)
No Pobres	29.6	(Encovi 2006)
No. Afiliados al IGSS	6,006	IGSS 2005
Empresas Inscritas en la SAT	5,122	SAT 2004
Población residente en el extranjero	36,855	OIM 2007
Hogares que reciben remesas	26,880	OIM 2007

Fuente: Instituto Nacional de Estadística –INE-  
ADD (Agenda de Desarrollo Departamental 2000-2010)

\* Por cada mil habitantes.

\*\* Por cada mil nacidos vivos.

\*\*\* Natalidad menos mortalidad.

+ Es la menor a nivel nacional.



**Tabla 3. Densidad poblacional y habitacional por municipio del departamento de Baja Verapaz en el año 2002.**

MUNICIPIO	Población	Viviendas	Extensión Km2	Habitantes por Km2	Personas por vivienda
Salamá	47,274	11,101	776	61	4
San Miguel Chicaj	23,201	5,454	300	77	4
Rabinal	31,168	8,549	504	62	4
Cubulco	43,639	11,889	444	98	4
Granados	11,338	3,014	248	46	4
El Chol	8,460	2,229	140	60	4
San Jerónimo	17,469	4,355	464	38	4
Purulhá	33,366	6,414	248	135	5
BAJA VERAPAZ	215,915	53,005	3,124	69	4

Fuente: Proyecciones de Población con Base al XI Censo de Población y VI de Habitación 2002

**Tabla 4. Pobreza total y extrema, población rural e indígena por municipio del departamento de Baja Verapaz.**

Municipio	Pobreza		Población Rural	Población Indígena
	Total	Extrema		
Salamá	62.82 %	25.41 %	62 %	22.45 %
San Miguel Chicaj	78.45 %	35.18 %	59 %	93.24 %
Rabinal	68.85 %	27.57 %	70 %	81.81 %
Cubulco	79.59 %	38.70 %	82 %	75.46 %
Granados	70.92 %	29.6 %	93 %	9.10 %
El Chol	69.41 %	27.13 %	76 %	17.11 %
San Jerónimo	65.25 %	26.08 %	63 %	16.79 %
Purulhá	77.90 %	35.67 %	86 %	82.80 %
<b>Total</b>	<b>71.56 %</b>	<b>31.01 %</b>	<b>73 %</b>	<b>58.84 %</b>

Fuente: Informe de Desarrollo Humano 2005

### 3.2 Cualidades del agua.

El agua (del latín *aquí*) es una sustancia cuya molécula está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H<sub>2</sub>O). Es esencial para la supervivencia de todas las formas conocidas de vida. El termino agua, generalmente, se refiere a la sustancia en su estado líquido, pero la misma puede hallarse en su forma sólida llamada hielo, y en forma gaseosa denominada vapor. El agua cubre el 71% de la superficie de la corteza terrestre.(8)

Se localiza principalmente en los océanos donde se concentra el 96,5% del agua total, los glaciares y casquetes polares poseen el 1,74%, los depósitos subterráneos (acuíferos), los permafrost y los glaciares continentales suponen el 1,72% y el restante 0,04% se reparte en orden decreciente entre lagos, humedad del suelo, atmósfera, embalses, ríos y seres vivos. El agua es un elemento común del sistema solar, hecho confirmado en descubrimientos recientes. Puede ser encontrada, principalmente, en forma de hielo; de hecho, es el material base de los cometas y el vapor que compone sus colas.(9)

Desde el punto de vista físico, el agua circula constantemente en un ciclo de evaporación o transpiración (evapotranspiración), precipitación, y desplazamiento hacia el mar. Los vientos transportan tanto vapor de agua como el que se vierte en los mares mediante su curso sobre la tierra, en una cantidad aproximada de 45.000 km<sup>3</sup> al año. En tierra firme, la evaporación y transpiración contribuyen con 74.000 km<sup>3</sup> anuales al causar precipitaciones de 119.000 km<sup>3</sup> cada año.(10)

Se estima que aproximadamente el 70% del agua dulce es usada para agricultura.<sup>11</sup>

El agua en la industria absorbe una media del 20% del consumo mundial, empleándose en tareas de refrigeración, transporte y como disolvente de una gran variedad de sustancias químicas. El consumo doméstico absorbe el 10% restante.(12)

El agua es esencial para la mayoría de las formas de vida conocidas por el hombre, incluida la humana. El acceso al agua potable se ha incrementado durante las últimas décadas en la superficie terrestre.<sup>10</sup> Sin embargo estudios de la FAO, estiman que uno de cada cinco países en vías de desarrollo tendrá problemas de escasez de agua antes del 2030; en esos países es vital un menor gasto de agua en la agricultura modernizando los sistemas de riego.(12)

### 3.2.1 El Agua en la Tierra.

El agua es fundamental para todas las formas de vida conocida. Los humanos consumen agua potable. Los recursos naturales se han vuelto escasos con la

El total del agua presente en el planeta, en todas sus formas, se denomina hidrosfera. El agua cubre 3/4 partes (71%) de la superficie de la Tierra. Se puede encontrar esta sustancia en prácticamente cualquier lugar de la biosfera y en los tres estados de agregación de la materia: sólido, líquido y gaseoso.(9)

El 97% es agua salada, la cual se encuentra principalmente en los océanos y mares; sólo el 3 por ciento de su volumen es dulce. De esta última, un 1% está en estado líquido. El 2% restante se encuentra en estado sólido en capas, campos y plataformas de hielo en las latitudes próximas a los polos. Fuera de las regiones polares el agua dulce se encuentra principalmente en humedales y, subterráneamente, en acuíferos.(9)

El agua representa entre el 50 y el 90% de la masa de los seres vivos (aproximadamente el 75% del cuerpo humano es agua; en el caso de las algas, el porcentaje ronda el 90%). En la superficie de la Tierra hay unos 1.386.000.000 km<sup>3</sup> de agua que se distribuyen de la siguiente forma: La mayor parte del agua terrestre, por tanto, está contenida en los mares, y presenta un elevado contenido en sales. Las aguas subterráneas se encuentran en yacimientos subterráneos llamados acuíferos y son potencialmente útiles al hombre como recursos. En estado líquido compone masas de agua como océanos, mares, lagos, ríos, arroyos, canales, manantiales y estanques.(9)

El agua desempeña un papel muy importante en los procesos geológicos. Las corrientes subterráneas de agua afectan directamente a las capas geológicas, influyendo en la formación de fallas. El agua localizada en el manto terrestre también afecta a la formación de volcanes. En la superficie, el agua actúa como un agente muy activo sobre procesos químicos y físicos de erosión. El agua en su estado líquido y, en menor medida, en forma de hielo, también es un factor esencial en el transporte de sedimentos. El depósito de esos restos es una herramienta utilizada por la geología para estudiar los fenómenos formativos sucedidos en la Tierra.(9)

### 3.2.2 Efectos sobre la civilización humana.

La historia muestra que las civilizaciones primitivas florecieron en zonas favorables a la agricultura, como las cuencas de los ríos. Es el caso de Mesopotamia, considerada la cuna de la civilización humana, surgida en el fértil valle del Éufrates y el Tigris; y también el de Egipto, una espléndida civilización que dependía por completo del Nilo y sus periódicas crecidas. Muchas otras grandes ciudades, como Rotterdam, Londres, Montreal, París, Nueva York, Buenos Aires, Shanghái, Tokio, Chicago o Hong Kong deben su riqueza a la conexión con alguna gran vía de agua que favoreció su crecimiento y su prosperidad. Las islas que contaban con un puerto natural seguro —como Singapur— florecieron por la misma razón. Del mismo modo, áreas en las que el agua es muy escasa, como el norte de África o el Oriente Medio, han tenido históricamente dificultades de desarrollo.(13)

#### 3.2.2.1 Agua y su saneamiento.

##### 3.2.2.1.1 Derecho humano esencial.

La Asamblea General de Naciones Unidas, aprobó el 28 de julio de 2010, en su sexagésimo cuarto período de sesiones, una resolución que reconoce al agua potable y al saneamiento básico como derecho humano esencial para el pleno disfrute de la vida y de todos los derechos humanos.(14)

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

adopción de esta resolución estuvo precedida de una activa campaña liderada por el presidente del Estado Plurinacional de Bolivia, Evo Morales Ayma.(14)

### 3.2.2.2 Agua para beber.

#### 3.2.2.2.1 Necesidad del cuerpo humano.

El cuerpo humano está compuesto de entre un 55% y un 78% de agua, dependiendo de sus medidas y complejidad.(16)

Para evitar desórdenes, el cuerpo necesita alrededor de siete litros diarios de agua; la cantidad exacta variará en función del nivel de actividad, la temperatura, la humedad y otros factores. La mayor parte de esta agua se absorbe con la comida o bebidas —no estrictamente agua—. No se ha determinado la cantidad exacta de agua que debe tomar un individuo sano, aunque una mayoría de expertos considera que unos 6-7 vasos de agua diarios (aproximadamente dos litros) es el mínimo necesario para mantener una adecuada hidratación.(15)

La literatura médica defiende un menor consumo, típicamente un litro de agua diario para un individuo varón adulto, excluyendo otros requerimientos posibles debidos a la pérdida de líquidos causada por altas temperaturas o ejercicio físico. Una persona con los riñones en buen estado tendrá dificultades para beber demasiado agua, pero (especialmente en climas cálidos y húmedos, o durante el ejercicio) beber poco también puede ser peligroso. El cuerpo humano es capaz de beber mucha más agua de la que necesita cuando se ejercita, llegando incluso a ponerse en peligro por hiperhidratación, o intoxicación de agua. El hecho comúnmente aceptado de que un individuo adulto debe consumir ocho vasos diarios de agua no tiene ningún

fundamento científico. Hay otros mitos sobre la relación entre agua y salud que poco a poco van siendo olvidados.(16)

En 1945, el Consejo Nacional de Investigación de los Estados Unidos, a través de la Plataforma de Alimentación y Nutrición señalaba que el consumo de una cantidad ordinaria de agua para cualquier persona, era de un 1 mililitro de agua por cada caloría de comida y que la mayor parte de esta cantidad ya estaba contenida en los alimentos preparados.(17)

La última referencia ofrecida por este mismo organismo habla de 2.7 litros de agua diarios para una mujer y 3.7 litros para un hombre, incluyendo el consumo de agua a través de los alimentos. Naturalmente, durante el embarazo y la lactancia la mujer debe consumir más agua para mantenerse hidratada. Según el Instituto de Medicina —que recomienda una media de 2.2 litros/día para una mujer, y 3.0 litros/día para un varón— una mujer embarazada debe consumir 2.4 litros, y hasta 3 litros durante la lactancia, considerada la gran cantidad de líquido que se pierde durante la cría. También se señala que normalmente, alrededor de un 20% del agua se absorbe con la comida, mientras el resto se adquiere mediante el consumo de agua y otras bebidas. El agua se expulsa del cuerpo de muy diversas formas: a través de la orina, las heces, en forma de sudor, o en forma de vapor de agua, por exhalación del aliento, se pierde alrededor de 2,500 a 3500cc. Una persona enferma, o expuesta directamente a fuentes de calor, perderá mucho más líquido, por lo que sus necesidades de consumo también aumentarán.(18,19)

### 3.3 Breve Historia sobre el tratamiento del agua.

#### 3.3.1 Las antiguas civilizaciones.

Desde la antigüedad las civilizaciones se establecieron alrededor de fuentes de agua. Lo más importante era tener abundante cantidad de agua para tomar y otros usos era aparente para nuestros antecesores, un entendimiento de la calidad de agua no era bien conocido o documentado. A pesar de que los registros en la historia señalan problemas estéticos (una apariencia, olor o sabor desagradable) con respecto al agua de tomar, se tomó miles de años para la gente reconocer que no podían contar solamente con sus sentidos para juzgar la calidad del agua.(20)

Los tratamientos de agua originalmente se enfocaban en mejorar las calidades estéticas del agua de tomar. Métodos para mejorar el sabor y olor del agua de tomar están asentados desde el 400 antes de Cristo (a.C.). Sanscritos Antiguos y Escrituras Griegas recomiendan métodos tales como filtración por carbón, exposición a la luz solar, hervir y colar. Nublazón visible (después llamado turbidez) fue la fuerza detrás de los primeros tratamientos de agua, porque muchas fuentes de agua contenían partículas que eran de aspecto y sabor cuestionables. Para aclarar el agua, se dice que los egipcios utilizaban la sustancia química alum en los años 1500 a.C. para provocar la suspensión de las partículas que se asientan en el agua.(20)

#### 3.3.2 Siglo dieciocho y diecinueve.

Durante los años 1700 después de Cristo (d.C.), la filtración fue establecida como un medio efectivo de remover partículas del agua, aunque el grado de claridad logrado no se podía medir en ese tiempo. Al principio de los años 1800 d.C., los científicos obtuvieron un mayor entendimiento de las fuentes y efectos de los contaminantes del agua, especialmente esos que no eran visibles a simple vista. En 1855, el epidemiólogo Dr. John Snow comprobó que el cólera era una enfermedad causada por el agua, relacionando una epidemia de enfermedad en Londres a un pozo público que estaba contaminado por las aguas negras. En 1,864, Louis Pasteur demostró la

“teoría del microbio”, que explicaba cómo estos organismos microscópicos (microbios) podían transmitir enfermedades a través del medio como el agua.(20)

### 3.3.3 Siglo diecinueve y veinte.

Durante la parte final de los siglos diecinueve y veinte, las inquietudes sobre la calidad del agua continuaron enfocándose mayormente en microbios que causan enfermedades (patógenos) en fuentes de agua públicas. Los científicos descubrieron que la turbidez no era un problema estético solamente, partículas en la fuente de agua, tales como materia fecal, pueden encubrir patógenos. Como resultado todos los diseños de la mayoría de sistemas de tratamiento de agua de tomar fabricado en los Estados Unidos durante el principio de los años 1900 fueron propulsados por la necesidad de eliminar la turbidez, y por ende, eliminando los contaminantes de microbios que estaban causando brotes de fiebre tifoidea, disentería y cólera. Para reducir la turbidez, algunos sistemas de agua en ciudades de los Estados Unidos (tales como Filadelfia) comenzaron a utilizar filtración con arena lenta.(20)

Mientras la filtración es método de tratamiento bastante efectivo para reducir la turbidez, fueron los desinfectantes como el cloro que jugaron un papel mayor reduciendo el número de brotes de enfermedades al principio del siglo veinte. En 1908 el cloro fue usado por primera vez como desinfectante primordial del agua de tomar en Nueva Jersey. El uso de otros desinfectantes tales como el ozono también empezó en Europa, pero no se utilizó en los Estados Unidos hasta varias décadas después.

### 3.3.4 Los Reglamentos federales de la calidad del agua potable.

Estos reglamentos fueron establecidos en 1914, cuando el Servicio de Salud Pública Estadounidense fijó estándares para la calidad bacteriológica del agua de tomar. Los estándares se aplican solamente a los sistemas de agua que proveen agua de beber a los transportadores interestatales como barcos y trenes y solamente se aplicaban a los



contaminantes capaces de causar enfermedades contagiosas. El servicio de Salud Pública revisó y expandió estos estándares en los años 1925, 1946, y 1962. Los estándares del año 1962, regulando 28 sustancias, fueron los estándares federales más completos para el agua de tomar en existencia antes de la Ley de la seguridad del agua potable del año 1974. Con pequeñas modificaciones, todos los 50 estados adaptaron los estándares del Servicio de Salud Pública ya sea como reglamentos o como pautas para todos los sistemas públicos de agua en su jurisdicción.(20)

### 3.3.5 Patógenos y sustancias químicas.

En el año 1960, se hizo aparente que los problemas estéticos, patógenos y las sustancias químicas identificadas por el Sistema de Salud Pública no eran los únicos con inquietudes de calidad del agua de tomar. Avances en agricultura e industriales y la creación de sustancias químicas fabricadas por el hombre también han tenido impacto negativo en el medio ambiente y en la salud pública. La mayoría de estas sustancias químicas nuevas se vertían en las fuentes de agua debido a desechos de fábricas, de las calles y de tanques almacenamiento debajo de la tierra y los tanques de residuos. Aunque existían técnicas de tratamientos tales como aireación, floculación, y absorción de carbón activado (para extraer contaminantes orgánicos) en aquellos tiempos, no se les daba suficiente uso en los sistemas de agua ó eran ineficaces extrayendo algunos contaminantes nuevos.(20)

Problemas en el área de salud estimularon al gobierno federal a hacer varios estudios sobre la fuente de agua de la nación. Uno de los más evidentes fue una encuesta llevada a cabo por el Servicio de Salud Pública en el año 1969, el cual demostró que solamente el 60% de los sistemas en la encuesta llevaban agua que reunía todos los estándares. Sin embargo en más de la mitad de las plantas de tratamiento encuestadas tenían grandes deficiencias involucrando desinfección, aclaración, ó presión en el sistema de distribución (las tuberías que cargan agua desde la planta de tratamiento a edificios), o combinaciones de estas deficiencias. Sistemas pequeños, especialmente esos con menos de 500 clientes, tenían las deficiencias más grandes. Un estudio realizado en el 1972 encontró 36

sustancias químicas en agua tratada tomada de plantas de tratamiento que sacaban su agua del Río Mississippi en Louisiana. Como resultado de este y otros estudios, durante el año de 1973 se presentaron y debatieron nuevas propuestas legislativas en el Congreso, con la finalidad de crear una ley Federal de Agua Saludable.(20)

Durante el año 1970, uno de los temas que llamo la atención fue la contaminación de fuentes de agua con sustancias químicas, lo cual motivó a la creación de varias leyes federales sobre el medio ambiente y salud; entre ellas la Ley de la seguridad del agua potable, creada en 1974, actualmente esta ley rige todas las agencias de Protección Ambiental y de Consumo de agua en la tierra (EPA), luego de haber tenido dos enmiendas significativas en 1986 y 1996(20)

Desde la creación de la Ley para el consumo de Agua, ha aumentado el número de plantas que aplica algún tipo de tratamiento así como el porcentaje de sistemas comunitarios que realizan el mismo procedimiento, según encuestas realizadas por la EPA durante 1976 a 1995, ya que durante 1976 solamente el 33% de los sistemas comunitarios contaba con algún tipo de tratamiento mientras que en 1995 esta cifra aumentó a 69%.

### 3.3.6 Sistemas urbanos.

A principio del siglo veinte se establecieron la mayoría de sistemas urbanos por lo que el agua ha requerido algún tipo de tratamiento, especialmente cuando el agua proviene de fuentes como ríos, lagos y presas, ya que estos son más susceptibles a contaminación. De acuerdo a una encuesta de la EPA en el año 1995, aproximadamente el 64% del agua de la tierra y del agua de superficie de las comunidades la desinfectan con cloro. Casi todos los sistemas de agua de superficie restantes, y algunos de los sistemas de agua de tierra, usan otro tipo de desinfectante tal como el ozono o cloramina.(20)

Recientemente, los Centros de Prevención y Control de Enfermedades y la Academia Nacional de Ingeniería señalaron al tratamiento del agua como a

uno de los avances públicos más significativos del Siglo XX. Más aún, se anticipa que aumentará el número de técnicas de tratamiento y combinaciones de técnicas desarrolladas según se descubren y se regulan contaminantes más complejos.(20)

### 3.4 Técnicas de tratamiento de agua.

El tratamiento de potabilización de aguas para el consumo humano está dividido en 3 fases importantes e indispensables. Estas fases son: fase 1, remoción de sólidos o clarificación; fase 2, proceso de intercambio de gases y fase 3, desinfección.

A continuación se describe cada una de estas fases y sus pasos para la realización del proceso de potabilización del agua.

#### 3.4.1 Fase 1: Remoción de Sólidos o Clarificación.

El proceso de remoción de sólidos consiste en la extracción de todas aquellas sustancias sólidas, disueltas o no, que interfieren con otros procesos y métodos de purificación o que alteran la calidad sanitaria y estética del agua. Consiste en 6 pasos. Estos son:(21)

##### 3.4.1.1 Remoción de sólidos gruesos o desbaste.

El desbaste tiene por objeto proteger a la estación de la posible llegada de grandes objetos que puedan provocar obstrucciones en las distintas unidades de la instalación o dificultar los restantes tratamientos.( 22,23)

El desbaste permite separar y evacuar fácilmente las materias voluminosas arrastradas por el agua, que podrían disminuir la eficacia de los tratamientos siguientes, o complicar la realización de los mismos. Consiste en eliminar componentes sólidos del agua por medio de rejillas que están formadas por barrotes paralelos. Estas rejillas pueden ser: (22,23)

- De gruesos: distancia entre barrotes de 5-10 cm

- De finos: distancia entre barrotes de 1,5-3 cm
- Fijas ó Móviles
- Horizontales, Verticales, Inclínadas ó Curvas.

En función de la forma en que se realiza la retirada de sólidos retenidos, las rejillas se clasifican:

- Rejillas de limpieza manual
- Rejillas de limpieza automática.

A medida que los sólidos van siendo retenidos por las rejillas, el agua experimenta una dificultad mayor en atravesar este dispositivo, especialmente en la rejilla de finos. La limpieza de las rejillas es una operación de mantenimiento de gran importancia, ya que la pérdida de carga aumenta a medida que crece el grado de obturación.(22,23)

El parámetro de control fundamental en la comprobación de rejillas es la velocidad de paso del agua entre los barrotes. Esta velocidad, debe ser suficiente para conseguir que la retención de las partículas sea máxima y la pérdida de carga mínima. Los residuos deben someterse a un proceso de escurrido para eliminar el agua antes de su vertido o tratamiento. (22,23)

#### 3.4.1.2 Desarenado.

El desarenado tiene como objetivo eliminar partículas más pesadas que el agua, que no se hayan quedado retenidas en el desbaste, y que tienen un tamaño superior a 200 micrómetros, ( $\mu\text{m}$ ) sobre todo arenas pero también otras sustancias como cáscaras, semillas, etc. Con este proceso se consiguen proteger los equipos de procesos posteriores ante la abrasión, atascos y sobrecargas.(22)

Existen tres tipos de desarenadores fundamentales: desarenadores de flujo horizontal, desarenadores de flujo vertical y desarenadores de flujo inducido.(22)

Los desarenadores de flujo horizontal son utilizados en instalaciones de pequeñas poblaciones y consisten en un ensanchamiento del canal del pretratamiento de forma que se reduzca la velocidad de flujo y decanten las partículas. Debe diseñarse con un canal paralelo para proceder a su limpieza que se realiza manualmente.(22)

Los desarenadores de flujo vertical se diseñan mediante tanques que tienen una velocidad ascensional del agua tal que permite la decantación de las arenas pero no caen las partículas orgánicas. Suelen ser depósitos tronco-colíndricos con alimentación tangencial.(22)

Los desarenadores de flujo inducido son de tipo rectangulares aireados. En estos equipos se inyecta aire por medio de grupos motosoplantes creando una corriente en espiral de manera que permite la decantación de las arenas y genera una corriente de fondo. Además el aire provoca la separación de las materias orgánicas. De esta forma, dado que el depósito está aireado y se favorece la separación de la materia orgánica, se reduce la producción de malos olores.(22)

La separación de las arenas puede ser manual o por medio de hidrociclón, en plantas de pequeño tamaño. En plantas mayores se instalan sistemas de separación mediante tornillos de arquímedes o mediante clasificadores alternativos de rastrillos o de vaivén. Estos dos últimos lavan las arenas y vuelven a disminuir su contenido en materia orgánica.(22)

El diseño del desarenador será efectivo si además de lograr la extracción de las arenas descritas con suficiente rendimiento, consigue que éstas sean realmente elementos minerales, cuyo

contenido en materia orgánica sea ínfimo. Para evitar que la materia orgánica de granulometría similar a la de las arenas sedimente con ellas se diseñan los desarenadores de forma que se asegure en ellos un "barrido o limpieza de fondo". Este fenómeno, se explica por el hecho de que existe una velocidad crítica del flujo a través de la sección, por encima de la cual las partículas de un tamaño y una densidad determinadas, una vez sedimentadas, pueden de nuevo ser puestas en movimiento y reintroducidas en la corriente.(22)

En el desarenado, dos técnicas son la base de los procedimientos utilizados en la separación de arenas: La separación natural por decantación en canales o depósitos apropiados y la separación dinámica por procesos utilizando inyección de aire o efectos de separación centrífuga. La separación natural requiere una constancia absoluta en el paso del agua. El diseño más complejo corresponde al canal aireado. El aire que se inyecta provoca una rotación al líquido (trayectoria horizontal) y crea una velocidad constante de barrido de fondo, perpendicular a la velocidad de paso, la cual puede entonces variar sin inconvenientes. El aire inyectado, además de su papel motor, favorece, por su efecto de agitación, la separación de la materia orgánica que puede quedar adherida a las partículas de arena.(22,24,25)

#### 3.4.1.3 Flotación.

La flotación es una "operación física unitaria", esto es, un método de tratamiento en el que predominan los fenómenos físicos, que se emplea para la separación de partículas de una fase líquida. La separación se consigue introduciendo finas burbujas de gas, normalmente aire, en la fase líquida. Las burbujas se adhieren a las partículas, y la fuerza ascensorial que experimenta el conjunto partícula-burbuja de aire hace que suban hasta la superficie del líquido. De esta forma, es posible hacer ascender a la superficie partículas cuya densidad es mayor que la del líquido, además de favorecer la ascensión de las partículas

cuya densidad es inferior, como el caso del aceite en el agua. Una vez que las partículas se hallan en la superficie, pueden recogerse mediante un rascado superficial.(21,22)

En el tratamiento de aguas residuales, la flotación se emplea para la eliminación de la materia suspendida y para la concentración de los fangos biológicos. La principal ventaja del proceso del proceso de flotación frente al de sedimentación consiste en que permite eliminar mejor y en menos tiempo las partículas pequeñas o ligeras cuya deposición es lenta. Su uso está generalizado para las aguas industriales y no tanto para las urbanas.(21,22)

La flotación como proceso de descontaminación se realiza con microburbujas, de diámetros del orden de 15-100  $\mu\text{m}$  y con burbujas medianas (100-600  $\mu\text{m}$ ). En el primer caso, la capacidad de remoción de carga de estas burbujas es muy pequeña, sin embargo, hoy en día existen técnicas y equipos que generan burbujas de tamaño intermedio.(22,23)

Las burbujas se añaden, o se induce su formación, mediante uno de los siguientes métodos:

- Aireación a presión atmosférica (flotación por aireación).
- Saturación con aire a la presión atmosférica, seguido de la aplicación del vacío al líquido (flotación por vacío).
- Inyección de aire en el líquido sometido a presión y posterior liberación de la presión a que está sometido el líquido (flotación por aire disuelto FAD).

Normalmente, se suelen añadir determinados compuestos químicos para facilitar el proceso de flotación. En su mayor parte, estos reactivos químicos funcionan de manera que crean una superficie o una estructura que permite absorber o atrapar fácilmente las burbujas de aire. Los reactivos químicos inorgánicos, tales como las sales de hierro o de aluminio y la sílice activada, se emplean para agregar las partículas sólidas, de manera que se cree una estructura que facilite la absorción de las burbujas de aire. También se pueden emplear diversos polímeros

orgánicos para modificar la naturaleza de las interfaces aire-líquido, sólido líquido, o de ambas a la vez. Por lo general, estos compuestos actúan situándose en la interface para producir los cambios deseados.(22,23)

En los sistemas de flotación por aireación, las burbujas de aire se introducen directamente en la fase líquida por medio de difusores o turbinas sumergidas. La aireación directa durante cortos periodos de tiempo no es especialmente efectiva a la hora de conseguir que los sólidos floten. La instalación de tanques de aireación no suele estar recomendada para conseguir la flotación de las grasas, aceites y sólidos presentes en las aguas residuales normales, pero ha resultado exitosa en el caso de algunas aguas residuales con tendencia a generar espumas.(22,23)

Existen tres tipos de sistema de flotación:

- Flotación por aireación.
- Flotación por Vacío
- Flotación por Aire Disuelto

La flotación propiamente dicho ocurre en un tanque que recibe la suspensión proveniente de la zona de contacto y tiene por objetivo separar las fases flotadas y efluente tratado (agua). Los sistemas de descarga del agua tratada, normalmente por el fondo, emplean mecanismos especiales, como canaletas provistas de ranuras que las atraviesan longitudinalmente por su parte inferior, o dispositivos que minimizan la formación de corrientes de agua. El parámetro más importante que debe ser considerado en el diseño de esta etapa, es el "flujo superficial" que es una medida del tiempo de residencia medio del fluido dentro del estanque. En relación con el producto flotado, su extracción es normalmente realizada con un raspador (colector) mecánico que atraviesa lentamente la superficie de la unidad de flotación o situado en el extremo final del estanque separador.(22,23)



El agua consta de tres tipos principales de impurezas: físicas, químicas y biológicas. Desde el punto de vista físico se puede hablar que los sólidos totales que son impurezas del agua se pueden clasificar como partículas no filtrables o en suspensión, filtrables o disueltas y una tercera posibilidad es el caso intermedio que corresponde a los coloides. En general los coloides no tienen un límite fijo de tamaño y se suelen estudiar bajo un enfoque fisicoquímico desde el punto de vista de sus propiedades. Un material coloidal puede tardar 755 días en sedimentar por tanto es importante cambiar esta condición.(22,23)

Para comprender mejor el estudio del proceso de clarificación del agua, debemos saber que se entiende por turbiedad a la propiedad óptica de una muestra de poder diseminar y absorber la luz, en lugar de transmitirla en línea recta. Además de turbiedad es posible también definir el término color. Se habla de color aparente si no se ha removido la turbiedad y de color verdadero del agua en caso contrario. El color del agua se debe principalmente a materia orgánica o minerales en suspensión o en estado coloidal. En general las sustancias liofílicas son responsables de la coloración del agua.(22,23)

La Coagulación y Floculación son dos procesos dentro de la etapa de clarificación del agua. Ambos procesos se pueden resumir como una etapa en la cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas llamadas flocs tal que su peso específico supere a la del agua y puedan precipitar.(24)

La coagulación se refiere al proceso de desestabilización de las partículas suspendidas de modo que se reduzcan las fuerzas de separación entre ellas. La floculación, es un proceso mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes, se aglutinan las sustancias coloidales presentes en el agua. Tiene

relación con los fenómenos de transporte dentro del líquido para que las partículas hagan contacto. Esto implica la formación de puentes químicos entre 4 partículas de modo que se forme una malla de coágulos, la cual sería tridimensional y porosa. Así se formaría, mediante el crecimiento de partículas coaguladas, un floc suficientemente grande y pesado como para sedimentar.(24)

El término coágulo se refiere a las reacciones que suceden al agregar un reactivo químico (coagulante) en agua, originando productos insolubles. La coagulación comienza al agregar el coagulante al agua y dura fracciones de segundo.(22)

Existen dos modelos de la coagulación. El modelo físico o de la doble capa, basado en fuerzas electrostáticas de atracción y repulsión. El otro modelo es químico, llamado "puente químico", que relaciona una dependencia entre el coagulante y la superficie de los coloides.(22,23)

Para la coagulación existen también dos modelos. El primero es llamado ortocinético, el cual es promovido por agitación externa principalmente. Influye en partículas de tamaño superior al micrón y tiene relación con los gradientes de velocidad del líquido. El segundo modelo se llama pericinéutico y se diferencia del primero en que su fuente de agitación es interna. Su efecto es principalmente sobre partículas de tamaño inferior a 1 micrón.(22,23)

#### 3.4.1.5 Sedimentación.

La sedimentación es la separación de las partículas más pesadas en el agua mediante acción de la gravedad. Es una de las operaciones unitarias más utilizadas en el tratamiento de las aguas residuales. Este tratamiento tiene como propósito fundamental obtener un efluente clarificado, pero también es

necesario producir un fango con una concentración de sólidos que pueda ser tratado con facilidad.(26)

En algunos casos, la sedimentación es el único paso en el tratamiento que se somete el agua residual. En una planta típica de lodos activados la sedimentación se efectúa en tres pasos:(26)

- Desarenadores, en donde la materia orgánica se elimina.
- Sedimentadores primarios, que preceden al reactor biológico en donde los sólidos orgánicos y otros se separan.
- Sedimentadores secundarios, que siguen al reactor biológico, en los cuales el lodo biológico se separa del efluente tratado.

En base a la concentración y a la tendencia a la interacción de las partículas pueden efectuarse cuatro clasificaciones generales sobre la forma de dichas partículas que se depositan. Es frecuente que se produzca más de un tipo de sedimentación en un momento dado durante la sedimentación y también es posible que los cuatro tipos se tengan en forma simultánea.(26)

#### 3.4.1.5.1 Sedimentación del tipo 1.

Esta se refiere a la sedimentación de partículas discretas en una suspensión de sólidos de concentración muy baja. Las partículas se depositan como entidades individuales y no existe interacción significativa con las partículas más próximas. Un ejemplo típico es una suspensión de partículas de arena. Este tipo de sedimentación también se le conoce como sedimentación libre.(26)

#### 3.4.1.5.2 Sedimentación del tipo 2.

Se refiere a una suspensión diluida de partículas que se agregan, o flocculan durante la sedimentación. La temperatura durante el proceso es uniforme a lo largo

de todo el ensayo, a fin de eliminar las corrientes de convección. La sedimentación deberá tener lugar en condiciones de reposo. A distintos intervalos de tiempo, se retiran las muestras de los orificios y se analizan para ver el número de sólidos en suspensión.(26)

#### 3.4.1.5.3 Sedimentación Zonal y por Compresión.

En los sistemas que tienen gran cantidad de sólidos en suspensión, además de los otros tipos de sedimentación (tipo 1 y 2), suele producirse una sedimentación zonal y por compresión. A medida que se prosigue la sedimentación, comienza a formarse en el fondo del cilindro una capa de partículas comprimidas. Las partículas de esta región forman aparentemente una estructura en la que existe un contacto físico entre las mismas. Cuando se forma la capa de compresión, las regiones que tienen las concentraciones de sólidos cada vez menores que las halladas en la región de compresión se van desplazando hacia la parte superior.(26)

#### 3.4.1.6 Filtración.

La filtración es una operación en la que se hace pasar el agua a través de un medio poroso, con el objetivo de retener la mayor cantidad posible de materia en suspensión. El medio poroso tradicionalmente utilizado es un lecho de arena, de altura variable, dispuesta en distintas capas de distinto tamaño de partícula, siendo la superior la más pequeña y de entre 0.15 y 0.3 mm. Es una operación muy utilizada en el tratamiento de aguas potables, así como en el tratamiento de aguas para reutilización, para eliminar la materia en suspensión que no se ha eliminado en anteriores operaciones (sedimentación). En aguas industriales hay más variedad en cuanto al material filtrante utilizado, siendo habitual el uso de tierra de diatomeas (insecticida ecológico

natural, constituido por algas unicelulares microscópicas). Es habitual que previamente, para mejorar la eficacia, se haya realizado el proceso de coagulación-floculación.(23,26)

Hay muchas maneras de clasificar los sistemas de filtración: Por gravedad ó a presión, lenta ó rápida, de torta ó en profundidad.(23,26)

#### 3.4.1.6.1 Filtración por gravedad o lenta.

El agua circula verticalmente y en descenso a través del filtro por simple gravedad. Dentro de este tipo, podemos hablar de dos formas de operar, que nos lleva a tener una filtración lenta, apenas utilizados actualmente, o una filtración rápida. El mecanismo de la separación de sólidos es una combinación de asentamiento, retención, adhesión y atracción, por lo que se eliminan partículas mucho menores que el espacio intersticial. Es un sistema muy utilizado en tratamiento para aguas potables.(23,26)

#### 3.4.1.6.2 Filtración por presión o rápida.

Normalmente están contenidos en recipientes y el agua se ve forzada a atravesar el medio filtrante sometida a presión. También en este caso puede haber filtración lenta, en la que en la superficie del filtro se desarrolla una torta filtrante donde la filtración, a través de esa superficie, es por mecanismos físicos y biológicos. Por otro lado, en la filtración rápida se habla de filtración en profundidad, es decir, cuando la mayor parte de espesor de medio filtrante está activo para el proceso de filtración y la calidad del filtrado mejora con la profundidad. Esta filtración a presión se suele utilizar más en aguas industriales.(23,26)

En la actualidad y en algunas de sus aplicaciones, estos métodos están siendo desplazados por operaciones con membranas, especialmente por microfiltración.(23,26)

### 3.4.2 Fase 2.

#### 3.4.2.1 Proceso de intercambio de gases.

El proceso de intercambio de gases consiste en la extracción o adición de gases al agua sometida a tratamiento.

##### 3.4.2.1.1 Aireación.

El método de aireación se debe aplicar para restituir oxígeno al agua o para provocar la oxidación de sustancias químicas presentes, como el hierro y el manganeso, previamente a la aplicación de otros procesos y métodos de purificación, como la coagulación y floculación. Es preciso que haya una circulación de aire que garantice las condiciones aeróbicas en el proceso.(23)

Puede haber una aireación de tiro natural en la que el aire fluye de abajo a arriba por diferencia de las temperaturas aportando a la masa de lecho el oxígeno suficiente para mantener La microflora en un ambiente aeróbico. Diferencias de 6 grados celcius producen corrientes de  $18\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$ ., La cual se considera suficiente para mantener estas condiciones. Si no se puede conseguir este flujo de forma natural habrá que forzarlo artificialmente al menos a esta cantidad.(23)

### 3.4.3 Fase 3.

#### 3.4.3.1 Desinfección.

El proceso de desinfección es obligatorio para cualquier sistema de abastecimiento de agua para consumo humano. Los procesos permitidos por el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social de Guatemala son los siguientes:(21)

##### 3.4.3.1.1 Cloro o sus derivados.

La cloración o desinfección del agua se logra mediante la adición de hipoclorito de sodio al 5% (conocido comúnmente como cloro) al agua, el cual elimina la mayoría de bacterias, hongos, virus, esporas y algas presentes en el agua.(27)

El cloro se aplica al agua filtrada para eliminarle los microorganismos patógenos aún presentes en ella. Entre ellos el bacilo de Cook causante de la tuberculosis. El cloro libre se busca que sea de 1 a 1.3 p.p.m. en la planta y el cloro combinado de 0.05 a 0.08 p.p.m. al cloro que existe en forma de ácido hipocloroso y de ion hipoclorito se le denomina cloro libre, la suma del cloro libre y el combinado es el cloro total.(27)

En la cloración, el cloro se debe mantener un residual no mayor a 0.5 partes por millón (ppm) ósea 0.5 mililitros por metro cubico o 5 mililitros por 10 metros cúbicos.(27)

La cloración generalmente se hace en los tanques cisternas en donde se almacena el agua en el inicio del proceso.(27)

La desinfección por el método de aplicación de cloro o sus derivados se debe aplicar, sin excepción alguna, en todos

los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano. Previo a su aplicación se debe verificar que el agua tenga un valor de potencial de hidrógeno entre seis punto cinco y ocho punto cinco unidades, así como un valor de turbiedad menor que quince punto cero unidades nefelométricas de turbiedad.(27)

La cantidad de cloro o sus derivados que se adicione al agua debe ser tal que se produzca una concentración residual de cloro libre no menor de cero punto cinco miligramos por cada litro de agua; en el punto más alejado de la red de distribución, respecto del punto de aplicación del cloro. En el caso de distribución por medio del uso de camiones cisterna, la concentración residual de cloro libre no debe ser menor de cero punto cinco miligramos por cada litro de agua, para todas las unidades.(26,27)

El cloro continúa siendo la sustancia química que más económicamente, y con mejor control y seguridad se puede aplicar al agua para obtener su desinfección.(26,27)

La desinfección requiere, dependiendo del tipo de agua, un mayor o menor período de contacto y una mayor o menor dosis del desinfectante. Generalmente, un agua relativamente clara, con pH cerca de la neutralidad, sin muchas materias orgánicas y sin fuertes contaminaciones, requiere de unos cinco a diez minutos de contacto con dosis menores a un mg/l. de cloro. En cada caso deberá ser determinada la dosis mínima requerida para que permanezca un pequeño residuo libre que asegure un agua exenta en cualquier momento de agentes patógenos vivos.(26,27)

Cuando se aplican soluciones, como las de hipoclorito de calcio o de sodio, deberá tomarse en cuenta su contenido de cloro, expresado en la forma de ácido hipocloroso, con objeto de fijar las dosificaciones. También deben



considerarse las concentraciones de las soluciones.(26,27)

El cloro se encuentra en tres estados físicos: gaseoso, líquido o sólido. El equipo requerido para la dosificación del cloro depende del estado en que éste se vaya a dosificar.

#### 3.4.3.1.1.1 Cloro gaseoso en solución acuosa.

El cloro viene embalado en cilindros y para poder pasarlo a una solución acuosa se requiere de agua a presión. Por la complejidad y peligrosidad en el manejo del cloro gaseoso, este sistema es más utilizado en plantas de purificación convencionales para acueductos de gran tamaño.(26)

#### 3.4.3.1.1.2 Aplicación directa del cloro gaseoso.

Este sistema de aplicación del cloro gaseoso es utilizado en instalaciones relativamente pequeñas, pero teniendo en cuenta que se requiere una cierta infraestructura y adiestramiento de los operarios.(26)

#### 3.4.3.1.1.3 Aplicación del cloro sólido o líquido.

En instalaciones pequeñas resulta ser más económico y fácil el empleo del cloro en cualquiera de estos dos estados. Los hipocloritos (sales del ácido hipocloroso) pueden ser obtenidos comercialmente en cualquiera de estas formas. Algunos de ellos son:(26)

#### 3.4.3.1.1.3.1 Hipoclorito de calcio.

El hipoclorito de calcio más usado es el HTH (High Test Calcium Hypochlorite), el cual viene en forma granular, polvo o tabletas. Su aplicación puede ser directa o mediante la preparación previa de una solución acuosa.(26)

#### 3.4.3.1.1.3.2 Hipoclorito de sodio.

Este hipoclorito viene en forma líquida en diferentes concentraciones. Por ejemplo el Perclorito 130 (130 g/L).(26)

El cloro es un elemento muy corrosivo y por lo tanto se debe tener precaución en su manejo; adicionalmente los equipos empleados deben ser de materiales resistentes a la corrosión.

Los hipocloritos líquidos son dosificados mediante el empleo de "hipocloradores", los cuales son bombas de desplazamiento positivo, de diafragma o pistón, con elementos resistentes a la corrosión del cloro. Para hacer la dosificación de un hipoclorito, es necesario hacer una dilución de la concentración inicial de cloro de 0.5 a 1.0 por ciento en peso.(26,27)

En la práctica, el cloro líquido se obtiene en cilindros a presión con capacidades de 100, 150 y 2.000 libras (46-88 y 908 Kg.). El cloro líquido se gasifica en cuanto deja de estar sometido a presión y los aparatos dosificadores (cloradores ) lo aplican como tal o bien disuelto en agua. El cloro se obtiene en la forma de hipoclorito de calcio o sodio y se aplican como suspensiones. Para dosificaciones que requieran gran exactitud se utiliza el gas cloro aplicado con aparatos cloradores de alta precisión.(26,27)

El pH del agua del agua tiene una marcada influencia en la cloración de las aguas. Por ejemplo, a pH 6 una solución de cloro es casi 100% HClO y baja a un por ciento mínimo a pH 9.

Muchos factores determinan la exacta cantidad de cloro a dosificar en una aplicación dada para obtener los resultados deseados. Los dosificadores de gas cloro funcionan abarcando una amplia gama de dosificaciones y normalmente pueden convertirse fácilmente en dosificadores de capacidad mayor o menor. El caudal máximo de un clorador es por lo menos veinte veces su dosificación mínima, con

cualquier capacidad dada del tubo medidor.

La cantidad de cloro requerida para efectuar la desinfección (dosificación) o cualquier otro tipo de tratamiento depende de: La demanda de cloro en el agua, la cantidad y tipo de cloro residual requerido; el tiempo de contacto del cloro en el agua, la temperatura del agua, el volumen del flujo a tratar.

La demanda de cloro se define como la diferencia entre la cantidad de cloro aplicada al agua y la cantidad de cloro libre residual, combinado residual o total resultante al final de un específico período de contacto.(26)

Las diferentes sustancias presentes en el agua, influyen en la demanda de cloro y complican el uso de cloro para la desinfección. Por lo tanto es necesario aplicar suficiente cloro no solo para destruir organismos, sino también para compensar el cloro consumido por esas sustancias.

El tipo y cantidad de cloro residual requerido para una aplicación particular, así como el tiempo de contacto necesario, varía de

tiempo en tiempo y de lugar en lugar. Adicionalmente cualquier tipo de restricción impuesta por las autoridades de salud pública, deberán ser tomadas en consideración.<sup>26</sup>

#### 3.4.3.1.2 Ozono.

El ozono (O<sub>3</sub>) es un gas alótopo del oxígeno. A la temperatura y presión del ambiente es un gas inestable que se descompone rápidamente para volver a la molécula de oxígeno (O<sub>2</sub>). Debido a esta característica, no se puede almacenar o envasar, sino que debe generarse in situ y usarse inmediatamente. Por lo general, la ozonización se utiliza cuando se requiere su propiedad más importante: su elevado potencial oxidante, que permite eliminar los compuestos orgánicos que dan color, sabor u olor desagradables al agua y, al mismo tiempo, cuando se desea inactivar los microorganismos patógenos del agua. Una característica importante de la ozonización es la ausencia de efecto residual, lo cual es un beneficio porque si el ozono se mantuviese en el agua le daría un sabor desagradable, pero a la vez es una desventaja, ya que, como se ha expresado, es necesario asegurar la calidad del agua hasta que llegue al consumidor mediante algún efecto residual.<sup>(26)</sup>

A pesar de sus excelentes propiedades, su uso se ha restringido a ciudades grandes con fuentes de agua muy contaminadas y se ha empleado poco en comunidades pequeñas y de porte medio. El inconveniente principal para las comunidades pequeñas ha sido el costo inicial y el de operación, así como las dificultades de operación y mantenimiento. Sin embargo, cuando las fuentes de agua

accesibles están muy contaminadas (biológica y químicamente), puede ser el método más recomendable para la oxidación de las sustancias orgánicas y desinfección primaria, siempre que cuente con la adición de un sistema de cloración secundario para mantener el efecto residual durante su distribución.(26)

La ozonización se ha ensayado y probado extensamente; sin embargo, para las comunidades con menos de 10.000 habitantes probablemente se deberá considerar inicialmente un proyecto demostrativo desde el punto de vista operativo, administrativo y de infraestructura. En la actualidad, se están comenzando a fabricar equipos de ozonización de capacidad menor que empiezan a ser económicamente factibles, lo que permitirá su futura aplicación en comunidades pequeñas.(26)

El método de desinfección por ozonización consiste en agregar cantidades suficientes de ozono lo más rápidamente que sea posible, de manera que satisfaga la demanda y mantenga un residuo de ozono durante un tiempo suficiente para asegurar la inactivación o destrucción de los microorganismos. La demanda de ozono en la mayoría de los sistemas de abastecimiento de agua suele ser mayor a la del cloro, debido a su gran potencial de oxidación. Los procesos de desinfección por ozono normalmente tratan de mantener un residual mínimo de 0,4 a 0,5 ppm después de 10 a 20 minutos de contacto con el agua.(26)

El mecanismo de desinfección en la ozonización se basa en el alto poder del ozono como oxidante protoplasmático general. Esta condición convierte al ozono en un eficiente destructor de bacterias y la evidencia sugiere que es igual

de efectivo para atacar virus, esporas y quistes resistentes de bacterias y hongos.(26)

A diferencia del cloro, la capacidad desinfectante del ozono no depende tanto de su período de retención en el agua (aunque esto tiene un efecto), sino más bien de la dosis suministrada. Esto se debe a que su alto potencial oxidante produce gran inestabilidad del ozono, incluso en el agua destilada, lo que quiere decir que quedará ozono remanente y por un corto tiempo solo cuando toda la materia con alta capacidad de oxidación haya sido oxidada. En caso contrario, es posible que no se haya satisfecho completamente la demanda de ozono. Dada su escasa permanencia, es comprensible entonces la importancia de determinar adecuadamente la demanda de ozono y la dificultad que reviste determinar el residual que asegure una desinfección completa.(26,27)

Cuando hay presencia de material orgánico, la química se hace más compleja y se acelera la descomposición del ozono. Con un potencial de oxidación de 2,07 voltios, el ozono teóricamente puede oxidar la mayoría de los compuestos orgánicos y los convierte en dióxido de carbono y agua, pero como es selectivo en cuanto a las sustancias que oxida rápidamente, la cinética de las reacciones del ozono con muchos compuestos será demasiado lenta para que resulte en la conversión de estos a dióxido de carbono durante el tratamiento del agua. Como casi siempre la demanda total de ozono excede su suministro, estas reacciones cesarán mucho antes de que todas las sustancias orgánicas se hayan oxidado totalmente. En el tratamiento de sustancias orgánicas, el ozono se ha usado principalmente para la ruptura de enlaces múltiples como tratamiento preliminar, antes de la filtración y como ayuda para la coagulación.(26,27)

Otra consideración que se debe tener en cuenta, al igual que con otros desinfectantes, es que la eficacia del ozono depende de su contacto con los microorganismos, por lo que debe evitarse que estos se agrupen y protejan (si el agua es turbia) y también se debe proveer algún sistema de mezcla o contacto con el ozono antes que el gas se disipe.(27)

Como desventaja principal, el ozono no proporciona un residual estable aunque sea un desinfectante primario excelente que logra la destrucción de microorganismos, por lo tanto, habrá que añadir un desinfectante secundario para proporcionar ese residual y proteger el agua de una posible contaminación en el sistema de distribución. Por estas razones y debido a que el costo es relativamente alto, rara vez se emplea el ozono solamente para desinfectar, se usa más bien cuando es necesario mejorar simultáneamente otros aspectos del tratamiento mediante su poder de oxidación.(27)

#### 3.4.3.1.3 Radiación ultravioleta.

Aunque la radiación ultravioleta (o luz ultravioleta o UV) no es popular en el tercer mundo, es el único método físico práctico que puede usarse para la desinfección del agua en comunidades pequeñas (con sistema centralizado de agua). La desventaja: La radiación UV no otorga *ningún* residual al agua tratada para hacer frente a eventuales futuras contaminaciones en las redes de distribución o en las viviendas.(26)

A pesar de esto último, la desinfección con radiación ultravioleta se ha venido utilizando ampliamente en los sistemas de abastecimiento de agua de pequeños establecimientos, como hospitales, industrias de alimentos



y bebidas y hoteles. Recientemente se ha incrementado su uso para la desinfección de efluentes de plantas de tratamiento de aguas servidas y ha vuelto a recibir atención como desinfectante de pequeños sistemas de agua, debido a su capacidad de desinfectar sin producir cambios físicos o químicos notables en el agua tratada. Existe en el mercado una gama de equipos para grandes plantas de tratamiento de agua hasta un pequeño artilugio que cabe en una mano y que los caminantes usan para desinfectar aguas de lagos y ríos.(26)

Cabe mencionar que en la desinfección a base de luz ultravioleta la temperatura del agua no juega ningún papel, ya que esta no afecta para dicho proceso. Otro factor a mencionar es la relación que existe entre distancia de emisión de rayos y la purificación del agua: A mayor distancia entre punto de emisión y el agua, menos eficiente será la purificación de la misma.(26)

El mecanismo de desinfección se basa en un fenómeno físico por el cual las ondas cortas de la radiación ultravioleta inciden sobre el material genético (ADN) de los microorganismos y los virus, y los destruye en corto tiempo, sin producir cambios físicos o químicos notables en el agua tratada.(27)

Se cree que la inactivación por luz ultravioleta se produce mediante la absorción directa de la energía ultravioleta por el microorganismo y una reacción fotoquímica intracelular resultante que cambia la estructura bioquímica de las moléculas (probablemente en las nucleoproteínas) que son esenciales para la supervivencia del microorganismo. Está demostrado que independientemente de la duración y la intensidad de la dosificación, si se suministra la misma

energía total, se obtiene el mismo grado de desinfección.(27)

Como se ha expresado, la luz ultravioleta tiene la capacidad de tratar el agua sin producir cambios físicos o químicos considerables en el agua tratada. No se conoce que haya efectos directos adversos sobre la salud de los consumidores de agua desinfectada con luz ultravioleta. En el proceso de desinfección no se le agrega ninguna sustancia al agua, por lo que no hay riesgos de formación de subproductos de la desinfección y la luz ultravioleta no altera el sabor ni el olor del agua tratada. A la dosificación y frecuencia utilizada para la desinfección, no se conoce que exista la formación de derivados. La sobredosis de luz ultravioleta tampoco resulta en ningún efecto nocivo. No obstante, el operador del equipo de desinfección con luz ultravioleta debe usar anteojos y ropa protectora para evitar exponerse a la radiación de alta energía, característica de la luz ultravioleta.(26,27)

La luz ultravioleta se produce por medio de lámparas de vapor de mercurio de alta y baja presión, siendo más populares las últimas. Se asemejan a las conocidas lámparas fluorescentes. En realidad, las lámparas ultravioletas son elaboradas por las grandes empresas que fabrican las lámparas fluorescentes estándar. En consecuencia, las lámparas, los balastos y los arrancadores para los sistemas ultravioletas pueden comprarse en tiendas comerciales, salvo las que tengan dimensiones excepcionales.(26,27)

Las lámparas raras veces se queman, pero generalmente se cambian después de que han perdido 25% a 30% de la luz ultravioleta que emitían cuando eran nuevas. Estas lámparas tienen una duración de 10.000 horas, lo que en

términos prácticos y teniendo en cuenta el recambio cuando ha descendido su intensidad a 70-75 %, significa una vida útil de nueve meses a un año de trabajo sin interrupción.(26,27)

Como se ha mencionado, la desinfección del agua con luz ultravioleta puede lograrse con longitudes de onda de luz entre 240 y 280 Nm y se obtiene la máxima eficiencia germicida a los 260 Nm. Las lámparas de arco de mercurio a baja presión que se encuentran en el mercado producen una longitud de onda de luz ultravioleta cerca de 254 Nm.(26,27)

Sin embargo, la gran desventaja del método es que la luz ultravioleta no proporciona residuales. Esto quiere decir que después de la desinfección por este sistema hay que aplicar un compuesto químico para garantizar la seguridad microbiológica del agua durante todo su trayecto por la red de distribución y aun para cuando se almacena en las viviendas.26,27

### 3.5 Agentes bacterianos transmitidos por el agua.

Hay una variedad de bacterias transmitidas por el agua que son de interés desde la perspectiva de la salud de los seres humanos. Estas bacterias patógenas oportunistas se pueden encontrar como parte de la flora de bacterias heterótrofas en los sistemas acuáticos. El problema es que la mayoría aparentemente no son patógenas para los seres humanos "sanos" y hay una tendencia a ignorar su importancia como agentes causantes de enfermedades humanas. Por lo general, producen enfermedades evidentes solo en individuos susceptibles, inmunológicamente débiles. Además, los microbiólogos sanitarios tienden a preocuparse por los agentes que causan trastornos gastrointestinales y dejan en un plano secundario a aquellos agentes transmitidos por el agua que causan infecciones en heridas: en los ojos, oídos, nariz, garganta u otras infecciones generalizadas en el cuerpo. Por último, para muchos de los agentes patógenos

oportunistas, no existen medios selectivos específicos de enumeración y aislamiento, lo cual dificulta monitorear de manera directa y fácil su presencia y densidad en el agua.(28,29)

El cuadro 1 muestra las bacterias consideradas como agentes patógenos oportunistas que generalmente se encuentran en el agua potable. Algunos microorganismos de esta lista se pueden considerar agentes patógenos francos o primarios, lo cual significa que puede tratarse de un agente primario causante de la enfermedad y no de un invasor secundario.(29)

**Cuadro 1. Bacterias patógenas oportunistas aisladas del agua potable**

<i>Acinetobacter</i> spp.	<i>Achromobacter xylosoxidans</i>
<i>Aeromonas hydrophila</i> *	<i>Bacillus</i> spp.
<i>Campylobacter</i> spp. *	<i>Citrobacter</i> spp.
<i>Enterobacter aerogenes</i>	<i>E. agglomerans</i>
<i>E. cloacae</i>	<i>Flavobacterium meningosepticum</i>
<i>Hafnia alvei</i>	<i>Klebsiella pneumoniae</i> *
<i>Legionella pneumophila</i> *	<i>Moraxella</i> spp.
<i>Mycobacterium</i> spp.	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> *
<i>Pseudomonas</i> spp. (no aeruginosa)	<i>Serratia fonticola</i>
<i>S. liquefaciens</i>	<i>S. marcescens</i>
<i>Staphylococcus</i> spp. *	<i>Vibrio fluvialis</i> *

Fuente: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos

\* Indica que el organismo puede ser un agente patógeno primario (franco)

Del grupo de bacterias oportunistas más conocidas/emergentes, los organismos con más letalidad parecen ser las *Aeromonas* spp., *Campylobacter*, *Escherichia coli* como el serotipo 0157:H7 y *Mycobacterium* spp. Sin embargo, actualmente resulta difícil evaluar el riesgo real de exposición a estos y otros organismos oportunistas para la salud de los seres humanos.(28)

### 3.5.1 *Aeromonas* spp.

En el caso de *Aeromonas* spp. que fermentan lactosa, los métodos de detección son similares a los usados para los coliformes. Para diferenciar e identificar estos organismos, se requieren pocas pruebas bioquímicas adicionales. En general, parece ser que en el agua potable tratada y desinfectada no se encuentran densidades significativas de *Aeromonas* spp., pero en el agua sometida únicamente a desinfección se han encontrado

cantidades considerables. Sin embargo, estos agentes pueden ingresar a través de eventos de contaminación posteriores al tratamiento o algunos pueden sobrevivir al tratamiento y desinfección y reproducirse bajo condiciones apropiadas en algunas áreas del sistema de distribución. Con un periodo de incubación de 5 a 14 días con un cuadro clínico de diarrea, vómitos y fiebre.(30)

### 3.5.2 Campylobacter.

El *Campylobacter jejuni* causa enfermedades diarreicas humanas en todo el mundo y la mayoría de los animales domésticos son reservorios. Muchos de los brotes de las enfermedades están relacionados con los alimentos y la leche.

No se ha informado aislamientos de *Campylobacter jejuni* en el agua potable tratada, desinfectada o recontaminada. El interés por la ocurrencia de estos microorganismos se debe a su presencia en las aguas superficiales y, por consiguiente, el potencial de su ocurrencia en el agua potable sin tratar o tratada inadecuadamente. El período de incubación es de 1 a 10 días, el cuadro clínico es autolimitado y dura entre 2 a 5 días, el uso de antibióticos no varía el curso clínico sólo elimina el germen. El cuadro clínico se manifiesta por una diarrea aguda, que puede o no ir acompañada de vómitos, dolor abdominal, dolor de cabeza y malestar general.(31)

### 3.5.3 *Escherichia coli* 0157:H7.

Este organismo es un coliforme fecal atípico que no hidroliza el sustrato fluorogénico MUG usado en pruebas específicas de sustrato desarrolladas recientemente para coliformes totales y *E. coli*. La *E. coli* 0157:H7 es más conocida como un agente patógeno transmitido por alimentos (carne y leche), pero también se le ha relacionado con brotes de enfermedades transmitidas por el agua. Causa colitis hemorrágica, síndrome hemolítico-urémico, y es causa principal de enfermedades renales en los niños. En todos los casos de brotes de enfermedades transmitidas por el agua debido a la *E. coli* 0157:H7, el abastecimiento de agua fue a través de agua subterránea sin desinfectar o agua superficial contaminada por heces. Se estima un periodo de incubación

de 4 a 5 días. La sintomatología con calambres abdominales seguida de diarreas acuosas.(32)

#### 3.5.4 Mycobacterium spp.

Es probable que las micobacterias hayan estado "surgiendo" como agentes patógenos oportunistas en el agua potable mucho antes que otro género o grupo de bacterias. En los últimos años se ha incrementado la ocurrencia de micobacterias como agentes de enfermedades en pacientes con SIDA y también los casos de aislamiento de Mycobacterium spp. de las fuentes de agua clorada en las áreas de asistencia a enfermos en hospitales. Las enfermedades que causaron estos organismos varían desde granulomas de la piel a micobacteriosis pulmonar crónica, enfermedades difundidas en los pacientes con SIDA o en pacientes con trastornos hematológicos; en éstos se ha producido una tasa de letalidad de hasta 73%.(33)

### 3.6 Enfermedad Diarreica Aguda.

#### 3.6.1 Clasificación.

Desde el punto de vista clínico práctico, pueden dividirse los cuadros de enfermedad diarreica en tres síntomas clínicos, siendo posible clasificar a todos los pacientes con diarrea en uno de ellos.(34)

##### 3.6.1.1 Síndrome Diarreico coleriforme (diarrea líquida aguda).

Diarrea que empieza agudamente y tarda menos de 14 días (la mayoría se resuelve en menos de 7 días).

Se manifiesta por pérdida de 3 ó más evacuaciones intestinales, líquidas o semilíquidas, sin sangre visible que puede acompañarse de vómito, fiebre baja, disminución del apetito e irritabilidad.

Agentes etiológicos del SDR coleriforme:

- Rotavirus
- Escherichia Coli enterotoxigénica (ECET)

- Escherichia Coli enteropatógena (ECEP)
- Shigella
- Campylobacter jejuni
- Vibrio cholera
- Yersinia enterocolítica 34

### 3.6.1.2. Síndrome diarreico disenteriforme.

Se caracteriza por la presencia de sangre visible en las heces. Sus efectos importantes incluyen: anorexia, pérdida de peso, daño de la mucosa intestinal causada por bacterias invasoras.

Agentes etiológicos del SDR disenteriforme:

- Shigella
- Escherichia Coli enteroinvasiva (ECEI)
- Escherichia Coli enterohemorrágica (ECEH)
- Entamoeba Hystolítica
- Salmonella34

### 3.6.1.3. Diarrea persistente.

Se inicia como un episodio agudo de diarrea líquida o disentería, pero persistente por 14 ó más días.

En estos casos ocurre frecuentemente pérdida marcada de peso.

En estos pacientes el volumen de la pérdida fecal puede ser grande, pudiendo causar deshidratación.(34)

Agentes etiológicos de la diarrea persistente:

- Escherichia Coli enteroinvasiva
- Escherichia Coli enterohagregativa (ECAgg)
- Shigella
- Cryptosporidium

Sin embargo, en la mayoría de los casos no se pueden identificar un agente etiológico, además del daño de la vellosidad puede ser muy

grande y la mucosa intestinal puede estar muy aplanada y la absorción de nutrientes será inadecuada, por lo tanto puede existir intolerancia de disacáridos o intolerancia a proteínas.(34)

### 3.6.2. Comportamientos que influyen en la propagación de los enteropatógenos.

- Falta de lactancia materna exclusiva durante los primeros 4-6 meses.
- Usar biberones para alimentar a los niños.
- Guardar alimentos a temperatura ambiente.
- Beber agua contaminada por materia fecal.
- No lavarse las manos después de defecar, después de desechar las heces de los niños o de limpiar los pañales y antes de preparar o servir alimentos.34

### 3.6.3. Mecanismos fisiopatológicos.

La función intestinal predomina sobre la secretora, estableciéndose normalmente un balance. Este se pierde cuando hay enfermedad del intestino delgado o grueso, en la que se disminuye la absorción, aumenta la secreción o ambas. En conclusión la diarrea se produce por una rotura del equilibrio absorción-secreción.(34,35)

Lo anterior nos permite clasificar fisiopatológicamente las diarreas según sean producidas por una alteración de la absorción (mala absorción) o por secreción activa (diarrea secretoria). Aunque no existe consenso universal, un tercer mecanismo productor es aquel en el cual hay alteraciones en la motilidad intestinal (híper o hipomotilidad).(34)

Para eliminar un poco el halo obscuro sobre el proceso íntimo involucrado en los mecanismos de la diarrea, se desea que el lector se ubique espacialmente en el intestino. Existen tres puntos en los cuales determinados grupos de gérmenes pueden actuar para producir la diarrea:

1. Algunos se localizan en plena luz y desde allí bombardean los enterocitos apicales, que son eminentemente absorptivos, con sustancias



(enterotoxinas) que invierten su ciclo metabólico, impiden la absorción, pero fundamentalmente estimulan la secreción activa en ellos, de agua y electrolitos. Estas son las diarreas secretoras cuyos prototipos son el E. Coli enterotoxigénico (con sus toxinas termoestables-TS y termolábiles-TL I-TL II) y el Vibrión Colérico (con su toxina-TC). Estas son dramáticamente abundantes y persistentes (tanto, como que pueden llevar al choque y a la muerte en cuestión de horas), son como "agua de arroz", sin un olor especial y que tienen concentraciones de sodio de hasta 100 Meq/litro.(35)

2. Otros dañan directamente el enterocito, y por supuesto el borde en cepillo absorptivo, ocasionando un déficit de las enzimas localizadas allí e impidiéndose por lo tanto la absorción intestinal. Al no digerirse ni absorberse tanto el sustrato alimenticio como los electrolitos, se acumulan en la luz intestinal, aumentando la osmolaridad intraluminal y por gradientes osmóticos arrastran agua desde la pared intestinal hacia la luz, reduciendo diarreas osmóticas, cuyo prototipo son el E. Coli enteropatógeno (con su mecanismo de adherencia y esfacelamiento AE) y los virus (principalmente rotavirus).(35)

La Shigella, puede clasificarse dentro de este grupo fisiopatológico como en el siguiente. Una vez que se encuentra en el interior del enterocito, lo lesiona por medio de su citotoxina (toxina de Shiga) desencadenando reacción inflamatoria en la membrana basal. El ataque se realiza del sentido proximal al distal, invadiendo de un enterocito al enterocito contiguo, hasta finalmente llegar al colon. El mecanismo fundamental de la Shigella es la diarrea osmótica, con componente disentérico y se asocia a respuesta sistémica por la liberación hacia la circulación de su toxina (toxina de Shiga).(35)

En el aspecto clínico, las diarreas de los grupos 1 y 2 son llamadas "enteriformes o coleriformes", no son tan frecuentes pero son un abundante contenido líquido, explosivas, de un mal olor sugéneris (fermento, ácido, podrido, fétido) dependiendo de los macronutrientes que principalmente se está mal absorbiendo, producen déficit hidroelectrolítico a veces severo y en ocasiones quemar el área del pañal. El promedio de

perdida de sodio es del orden de los 50 mEq/litro, son igualmente las que mayores desplomes nutricionales ocasionan.(35)

3. Existen un tercer grupo constituido generalmente por bacterias invasivas que tienen su localización en proximidades de la válvulas íleocecal y en sentido distal hacia el colon, que invaden enterocitos, traslocan por antonomasia a la submucosa, producen allí reacción inflamatoria y migran a continuación a los ganglios linfáticos mesentéricos, en donde son objeto de un intento de eliminación, con la consecuente reacción inflamatoria. Mientras ocurre el paso enterocitario, la diarrea ocasionada por ellos es de tipo osmótico, rápidamente va cambiando, tornándose moco, sangre y en ocasiones pus (diarrea disenteriforme). En la submucosa se encuentran los plexos mientéricos de Meissner y Auerbach, estación neurológica de impulsos aferentes y eferentes que controlan la motilidad intestinal, que se ven afectados por la reacción inflamatoria y la liberación de prostaglandinas. En efecto final es un estado de hiperexcitabilidad de dichos plexos que conducen a la hiperexcitabilidad intestinal, diarrea disenteriforme y un estado de reactividad sistémica (fiebre, taquicardia, leucocitos) por el flujo de todas los metabolitos, producidos en la reacción sistémica. Son prototipos de este tercer grupo la E. Coli Enterohemorrágica (con su verotoxina 1 y 2), Yersinia enterocolítica (con su enteroxina termoestable) y la salmonella (con su enterotoxina).(35)

Es importante anotar que si el estado inmune del paciente afectado es competente, se logra finalmente la eliminación del germen en los ganglios linfáticos regionales. Cuando ello no existe o cuando se tienen específicamente serotipos tiphy y paratiphy de salmonella, se diseminan al torrente sanguíneo, por vía linfática y a continuación se siembran en el sistema fagocítico-histiocitario (bazo, hígado, pulmón), desencadenando allí procesos inflamatorios por acción directa o a distancia por reacción inmune.(34,35)

#### **4. HIPÓTESIS.**

4.1 Ho: No existe diferencia entre las técnicas de tratamiento de agua y la prevalencia de enfermedad diarreica aguda (EDA) diagnosticada en el departamento de Baja Verapaz.

4.2 Ha: Si existe diferencia entre las técnicas de tratamiento de agua y la prevalencia de enfermedad diarreica aguda (EDA) diagnosticada en el departamento de Baja Verapaz.



## 5. METODOLOGÍA

### 5.1. Tipo y diseño de la investigación.

Estudio analítico

### 5.2. Unidad de análisis.

5.2.1 Unidad primaria de muestreo: Todos los municipios del departamento de Baja Verapaz.

5.2.2 Unidad de análisis: Datos epidemiológicos del instrumento SIGSA 18, datos obtenidos mediante el instrumento diseñado para el efecto y la información proporcionada por los 8 técnicos de salud encargados del tratamiento de agua en las 8 comunidades del departamento de Baja Verapaz.

5.2.3 Unidad de información: Datos epidemiológicos del instrumento SIGSA 18, datos obtenidos mediante el instrumento diseñado para el efecto y la información proporcionada por los 8 técnicos de salud encargados del tratamiento de agua en las 8 comunidades del departamento de Baja Verapaz.

### 5.3. Población y muestra.

5.3.1 No se tomó muestra. La muestra fue la población del departamento de Baja Verapaz del 01 de enero al 31 de diciembre del año 2010; 215,915 habitantes.

### 5.4. Criterios de inclusión y exclusión.

#### 5.4.1 Criterios de inclusión:

Todas aquellas comunidades del departamento de Baja Verapaz que contaban con abastecimiento de Agua potable y que la misma fuera tratada por los técnicos en salud.

#### 5.4.2 Criterios de exclusión:

- Comunidades que no contaban con SIGSA 18 y reporte de tratamiento de agua semanal necesario para efectuar dicho estudio.
- Comunidades que representaban un riesgo a la seguridad o limitara el acceso a nuestra integridad como investigadores.

5.5. Definición y operacionalización de variables.

<b>Variable</b>	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Definición Operacional</b>	<b>Tipo de Variable</b>	<b>Escala de Medición</b>	<b>Instrumento de recolección de datos</b>
Técnica de Tratamiento de agua	Conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación o de aquellas características no deseables de las aguas, bien sean naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales.(21)	Dato del número de Semana en la que se ha utilizado y en la que no se ha utilizado una técnica de tratamiento de agua, reportado en el boletín semanal del tratamiento de agua, proporcionado por el técnico de salud de cada municipio.	Cualitativa	Nominal	Instrumento de recolección de datos
Enfermedad Diarreica Aguda	Eliminación de heces líquidas y semilíquidas, en número de tres o más en 12 horas.(34)	Prevalencia de casos de síndrome diarreico agudo reportados en la SIGSA 18 del centro de salud de los municipios del Departamento de Baja Verapaz.	Cualitativa	Nominal	Instrumento de recolección de datos
Agentes Microbiológicos	Aquel elemento o medio capaz de producir algún tipo de enfermedad o daño en el cuerpo de un animal, un ser humano o un vegetal.(28)	Presencia de Agentes Microbiológicos en la Muestra de agua tomada en las plantas de abastecimiento de los 8 municipios del departamento de Baja Verapaz, durante la semana de tratamiento y no tratamiento, las cuales serán procesadas en el laboratorio multidisciplinario del CUM, con la utilización de reactivos específicos.	Cualitativa	Nominal	Instrumento de recolección de datos

## 5.6. Técnicas, procedimientos e instrumentos a utilizar en la recolección de datos.

### 5.6.1 Técnicas.

Asistimos a la oficina del técnico de salud encargado del tratamiento de agua, ubicada en el centro de salud de cada municipio del departamento de Baja de Verapaz para que respondiera el instrumento de recolección de datos, elaborado específicamente para obtener información como datos generales sobre el municipio, plantas de tratamiento a su cargo, comunidades a las cuales suministran agua potable, semana de cloración en la que se encuentra, y la prevalencia de EDA en dicha semana.

### 5.6.2 Procedimientos.

Se tomó la información sobre las semanas de tratamiento de agua, brindada por el técnico de salud encargado de dicho tratamiento en cada municipio, donde se encuentra el abastecimiento investigado; así como la información del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS) contenida en el instrumento SIGSA 18, proporcionada por cada centro de salud de cada municipio para observar las semanas epidemiológicas de enfermedad diarreica aguda. También se realizó la toma de muestra de agua, en todas las comunidades que cuentan con abastecimientos, para observar la presencia de microorganismos patógenos. Toda la información se recolectó por medio de un instrumento dividido en tres secciones elaborado de una manera simple.

### 5.6.3 Instrumentos.

El instrumento de recolección de datos elaborado, obtuvo los datos necesarios de manera confiable y objetiva y nos permitió obtener la información necesaria sobre las variables que fueron objetos de estudio como las técnicas de tratamiento de agua utilizadas en cada municipio, la prevalencia de enfermedad diarreica aguda reportados y los diferentes agentes microbiológicos encontrados durante la toma de muestra de agua.



## 5.7. Aspectos Éticos.

El estudio a realizar se contempló dentro de la categoría I.

Comprende los estudios que utilizan técnicas observacionales, con las que no se realiza ninguna intervención o modificación intervencional con las variables fisiológicas, psicológicas o sociales de las personas que participan de dicho estudio, por ejemplo, encuestas, cuestionarios, entrevistas, revisión de expedientes clínicos y otros documentos, que no invadan la intimidad de la persona que va a ser objeto de estudio.

## 5.8. Plan de procesamiento y análisis de datos.

En este trabajo de investigación las variables que fueron analizadas son las técnicas de tratamiento de agua, la prevalencia de EDA y los agentes microbiológicos presentes en el agua, ya que nuestro interés radicó en conocer la prevalencia de EDA durante las semanas durante las cuales se utiliza alguna técnica de tratamiento de agua, así como aquellas en las que no se utiliza ninguna técnica, se procedió a relacionar dichas variables, haciendo un análisis de ésta relación. Además procedimos a relacionar las semanas del tratamiento del agua con los datos de los agentes microbiológicos encontrados en las muestras de agua tomadas de los abastecimientos de cada municipio y se realizó un análisis dependiendo de los resultados.

### 5.8.1 Análisis de datos.

Para poder realizar un análisis de las dos variables utilizamos el Chi cuadrado ya que es una prueba estadística para evaluar hipótesis acerca de la asociación entre dos variables categóricas, realizando en esta investigación una asociación de ambas para poder descartar o aprobar la hipótesis dependiendo de las semanas de cloración y las semanas con mayor prevalencia de enfermedades diarreicas agudas mediante una tabla de contingencia o tabulación cruzada, que es una tabla de dos dimensiones y cada dimensión contiene una, es una prueba que parte del supuesto de “no relación entre variables” y se evalúa si en un caso esto es cierto o no.

5.9. Recursos.

Humanos	Se integró un grupo de 5 estudiantes de medicina	
Físicos	8 Municipalidades y 8 Centros de Salud de los municipios del departamento de Baja Verapaz que cuentan con planta de tratamiento agua.	
Materiales	Vehículo, cámara, laptops, impresora.	
Económicos	Gasolina, alimentación, hospedaje, papelería e insumos, reactivos químicos, equipo y materiales de laboratorio.	Q.4,500.00

## 6. RESULTADOS

Se presentan los resultados de los 8 municipios del departamento de Baja Verapaz recolectados mediante los instrumentos elaborados para la misma recolección, que con una población total de 215,915 habitantes cuenta actualmente con 13 plantas de tratamiento de aguas de las 52 semanas del año 2010 con una media de los 8 municipios, se establece que se cloraron 17 semanas un 32.7% de realización de la técnica y 35 semanas no se efectuó el clorado. Además que se sustrajo los datos dentro del marco de la SIGSA 18 semanal, los casos de Enfermedad Diarreica Aguda (EDA) siendo un número de casos equivalente a 11,110 de los cuales 4,663 fueron reportados en semanas de cloración y 6,447 reportados en semanas en las cuales no hubo cloración alguna. Los resultados se presentan en el siguiente orden:

### 6.1 Asociación entre las técnicas de tratamiento del agua y prevalencia de la Enfermedad Diarreica Aguda del Departamento de Baja Verapaz.

**TABLA 1**

Número de pacientes con EDA y numero de semanas en las que se cloró y no se cloró y la valoración de su asociación así como la probabilidad en la que pueden ocurrir los casos de EDA en presencia o no de cloración, estimado para la población del Departamento de Baja Verapaz enero-diciembre 2010 Guatemala, mayo 2011

No. de Plantas	Población	Frecuencia Semanas de Cloración	%	No. Casos EDA	Frec. Semanas de No Cloración	%	No. Casos EDA	$\chi^2$	P	IC	OR
13	215915	17	33.7	4662	35	67.3	6379	274.2	0	0.70-0.75	0.72

Fuente: Instrumento de recolección de datos. Recolección personal.

\*Estimación de intervalo de con fianza IC: 0.70 – 0.75 para el OR establecido.

**TABLA 2**

Número de pacientes con EDA y número de semanas en las que se cloró y no se cloró y la valoración de su asociación así como la probabilidad en la que pueden ocurrir los casos de EDA en presencia o no de cloración, estimado para la población de los Municipios del Departamento de Baja Verapaz  
enero-diciembre 2010  
Guatemala, mayo 2011

Municipio	No. de Plantas	Población	Frecuencia de Semanas de Cloración	%	No. Casos EDA	Frec. Semanas de No Cloración	%	No. Casos EDA	$\chi^2$	P	IC	OR
Salamá	1	47274	36	69.2	2803	16	30.8	747	1237.2	0	3.62 - 4.26	3.93
San Jerónimo	1	34938	20	38.5	173	32	61.5	203	2.42	0.1198	0.69 - 1.05	-
San Miguel Chicaj	2	23201	31	59.6	1060	21	40.4	406	301.28	0	2.39 - 3.02	2.68
Purulhá	1	33366	2	3.8	16	50	96.2	1086	1056.3	0	0.01 - 0.02	0.01
Rabinal	3	31168	8	15.4	263	44	84.6	1413	810.12	0	0.16 - 0.21	0.18
Cubulco	2	43639	33	63.5	1586	19	36.5	556	507	0	2.65 - 3.22	2.92
El Chol	1	8460	0	0	0	52	100	169	-	-	-	-
Granados	2		0	0	0	52	100	502	-	-	-	-

Fuente: Instrumento de recolección de datos. Recolección personal.

\* Estimación de intervalo de confianza IC: 3.62 – 4.26 para el OR establecido.

**6.2 Caracterización de la presencia de microorganismos en los abastecimientos de agua.**

**TABLA 3**

Hallazgos en las plantas de tratamiento durante la semana de cloración del Departamento de Baja Verapaz Guatemala, mayo 2011

<b>Municipio</b>	<b>Planta de tratamiento.</b>	<b>Nivel de pH.</b>	<b>Cloro residual</b>	<b>Hallazgo bacteriológico</b>
Salamá	1	7.2	3 ppm	Negativo
Sn. Jerónimo	1	7.2	0.5 ppm	Negativo
Sn. Miguel Chicaj	2	6.8	0.3 ppm	Negativo
		6.8	0.5 ppm	Negativo
Rabinal	3	7.1	0.1 ppm	Negativo
		6.9	0.3 ppm	Negativo
		7.1	0.1 ppm	Negativo
Cubulco	2	6.8	0.5 ppm	Negativo
		6.8	0.5 ppm	Negativo
Purulhá	1	7.2	0.1 ppm	Negativo
Granados	2	7.3	0.3 ppm	Negativo
		7.1	0.3 ppm	Negativo
El Chol	1	6.9	0.1 ppm	Negativo

Fuente: Instrumento de recolección de datos. Recolección personal.

**TABLA 4**

Hallazgos en las plantas de tratamiento de agua durante la semana de no cloración en el Departamento de Baja Verapaz  
Guatemala, mayo 2011

<b>Municipio</b>	<b>Planta de tratamiento.</b>	<b>Nivel de pH.</b>	<b>Cloro residual</b>	<b>Hallazgo bacteriológico</b>
Salamá	1	6.8	0	Positivo
Sn. Jerónimo	1	6.8	0	Positivo
Sn. Miguel Chicaj	2	7.2	0	Positivo
		7.2	0	Positivo
Rabinal	3	7	0	Positivo
		7.1	0	Positivo
		6.7	0	Positivo
Cubulco	2	6.7	0	Positivo
		7	0	Positivo
Purulhá	1	6.8	0	Positivo
Granados	2	7.1	0	Positivo
		6.9	0	Positivo
El Chol	1	6.9	0	Positivo

Fuente: Instrumento de recolección de datos. Recolección personal.

## 7. DISCUSIÓN

### 7.1 Asociaciones entre las técnicas de tratamiento del agua y prevalencia de la Enfermedad Diarreica Aguda.

Para la interpretación de los datos, se realizaron cuadros de dos por dos teniendo como variables a evaluar, semanas de cloración, semanas de no cloración, número de casos de EDA y número de casos de No EDA; para asociarlos entre sí de manera cruzada. Para poder realizar la asociación correcta entre ambas variables, debido al periodo de incubación de 7 días que presentan los microorganismos, se realizó una relación entre semana 1 de cloración y casos de EDA de la semana 2 ya que sería el agua de dicha semana la responsable de los casos registrados en la semana 2. Con respecto a los datos estadísticos, se obtiene resultado de Chi Cuadrado por fórmula con un grado de libertad y  $p \leq 0.5$ . También se obtiene el resultado de Odds Ratio y se evalúa en la constante en una escala menor a 1. Basado en lo anterior, la interpretación de los datos se realizó de la siguiente forma: Si Chi cuadrado ( $\chi^2$ ) es mayor o igual a 3.84, se determina asociación entre las técnicas de cloración y la presencia de enfermedad diarreica aguda y se procede a obtener el resultado de Odds Ratio (OR) para determinar la fuerza con la que este evento podría suscitarse de presentar las condiciones o no adecuadas. La interpretación de este dato se realizó de la siguiente forma: Si el valor obtenido fue menor de 1, se le considero como factor protector; si el valor fue mayor de 1 se le considero riesgo y si fue igual a 1 se consideró que no existía riesgo. (Ver Tabla 1, Tabla 2; Anexos Gráfica 1 – Gráfica 9)

Para obtener el resultado de frecuencia de cloración general, se realizó un promedio semanal de la frecuencia de cloración de todas las plantas en estudio y posterior a un análisis de distribución poblacional y frecuencia de práctica de la técnica, el equipo de investigación decidió que si 4 de los 8 municipios donde se encuentran plantas de tratamiento había clorado, se tomaría como positivo para cloración en esa semana.

En el departamento de Baja Verapaz, es la técnica de cloración la que se utiliza todas las plantas de tratamiento de agua debido a su bajo costo y a que el cloro residual presente posterior al tratamiento, evita la aparición de microorganismos por mayor

tiempo, que a diferencia de las otras técnicas permitidas por acuerdo ministerial, no se puede lograr.

Al evaluar los resultados obtenidos, podemos observar como en el departamento de Baja Verapaz, la prevalencia de casos de EDA está asociada a las técnicas de tratamiento de agua. Desde el punto de vista global, podemos observar que el valor del  $\chi^2$  a nivel departamental es de 274.02 lo que nos confirma que existe, como ya se mencionó anteriormente, asociación entre ambas variables. Debido a la positividad de nuestro resultado de  $\chi^2$ , se prosiguió a obtener el resultado de OR. El resultado de OR fue 0.72, esto nos evidencia que la cloración a nivel departamental tiene un efecto protector en los habitantes de Baja Verapaz. (Ver Tabla 1; Anexo Tabla 9, Gráfica 1).

Vale la pena mencionar ciertos factores que podrían influir en los resultados obtenidos. Entre ellos debemos mencionar que no existe una responsabilidad en la frecuencia de cloración en cada una de las plantas del departamento. En esos municipios donde la frecuencia de cloración no se realiza acorde a las normas instituidas, afecta tanto a los habitantes del departamento de Baja Verapaz como los resultados a nivel global de este estudio. Otro factor que se debe mencionar, es el sub registro que existe a nivel departamental de los casos de EDA semanal que realmente se presentan. Este sub registro lo podemos atribuir hecho que no todos los habitantes de Baja Verapaz tienen acceso a los servicios de salud. El clima es otro factor a mencionar. En la época de lluvia, que corresponde a las semanas de la 19 a la 42 según el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, es cuando tanto a nivel departamental como municipal, se presentan los valores más altos registrados de EDA. La deficiencia de un sistema adecuado de drenajes a nivel departamental es otro factor a mencionar, como la mala educación en higiene de la población y el mal estado de las tuberías de la red de distribución de agua. (Ver Tabla 1; Anexo Tabla 9, Gráfica 1).

En el municipio de Salamá podemos ver que se trató el agua con una frecuencia de 36 de 52 lo que nos da un porcentaje de 69.2%. El resultado de  $\chi^2$  es de 1237.2, con lo que evidenciamos una asociación entre tratamiento de agua y prevalencia de EDA. El resultado obtenido de OR nos hace concluir que la población de Salamá presenta 3.93 más riesgo de contraer la enfermedad diarreica aguda si no se clorara el agua. (Ver Tabla 2; Anexos Tabla 4, Tabla 9, Gráfica 2).



En el municipio de San Jerónimo podemos ver que se trató el agua con una frecuencia de 20 de 52 lo que nos da un porcentaje de 38.5%. El resultado de  $\chi^2$  obtenido es de 2.42 y debido a que es menor a (3.84), evidenciamos que no existe asociación entre el tratamiento del agua y la prevalencia de EDA. (Ver Tabla 2; Anexos Tabla 2, Tabla 9, Gráfica 6).

En el municipio de San Miguel Chicaj podemos la frecuencia de cloración fue 31 de 52 lo que nos da un porcentaje de 59.6%. El resultado de  $\chi^2$  es de 301.28, con lo que evidenciamos una asociación entre tratamiento de agua y prevalencia de EDA. El OR obtenido nos hace concluir que la población de San Miguel Chicaj presenta 2.68 más riesgo de contraer la enfermedad diarreica aguda si no se clorara el agua. (Ver Tabla 2; Anexos Tabla 3, Tabla 9, Gráfica 5).

En el municipio de Purulhá se trató el agua con una frecuencia de 2 de 52 lo que nos da un porcentaje de 3.8%. El resultado de  $\chi^2$  es de 1056.37, con lo que evidenciamos una asociación entre tratamiento de agua y prevalencia de EDA. El resultado obtenido de OR (0.01) nos muestra que la población de Purulhá presenta factor protector si se clorara el agua. (Ver Tabla 2; Anexo Tabla 1, Tabla 9, Gráfica 8).

En el municipio de Rabinal podemos ver que se trató el agua con una frecuencia de 8 de 52 lo que nos da un porcentaje de 15.4%. El resultado de  $\chi^2$  es de 810.12, con lo que evidenciamos una asociación entre tratamiento de agua y prevalencia de EDA. El resultado obtenido de OR (0.18) nos muestra que la población de Rabinal presenta factor protector al clorar el agua. (Ver Tabla 2; Anexos Tabla 5, Tabla 9, Gráfica 4).

En el municipio de Cubulco podemos ver que se trató el agua con una frecuencia de 33 de 52 veces lo que nos da un porcentaje de 63.5%. El resultado de  $\chi^2$  es de 507, con lo que evidenciamos una asociación entre tratamiento de agua y prevalencia de EDA, mayor a 3.84. El resultado obtenido de OR nos hace concluir que la población de Cubulco presenta 2.92 más riesgo de contraer EDA si se deja de clorar el agua. (Ver Tabla 2; Anexos Tabla 6, Tabla 9, Gráfica 3).

En el municipio de El Chol y de Granados, se puede observar que la frecuencia de No Cloración fue de 52 de 52, dando un porcentaje de 100% de no cloración. Debido a que en la semana de cloración se encuentra con valor de 0 no se logró establecer una asociación válida. Al no poder realizar dicha comparación, no se puede presentar

datos de  $x^2$  y OR ya que tampoco serían válidos. Un punto que si cabe mencionar es que el valor de EDA reportado en el año en dichos municipio, no es un valor confiable. Claramente evidencia un sub registro. Una conclusión válida que podríamos sacar de estos datos es que la práctica ocasional de la cloración del agua tendría un factor protector en la comunidad y beneficiaría a los habitantes del municipio. (Ver Tabla 2; Anexos Tabla 7y 8, Tabla 9, Gráfica 7).

## **7.2 Caracterización de la presencia de microorganismos en los abastecimientos de agua.**

Se realizó la visita a las 13 plantas de tratamiento de agua del Departamento de Baja Verapaz ubicadas en los siguientes municipios: Salamá, San Jerónimo, San Miguel Chicaj, Rabinal, Cubulco, Purulhá, Granados y El Chol, de las cuales se describirá los hallazgos encontrados durante una semana de cloración y durante otra semana en la cual no hubo cloración.

Se procedió a tomar una muestra de agua a un kilómetro de la ubicación de las plantas de tratamiento, utilizando las técnicas apropiadas, posteriormente a ser refrigeradas para su transportación, se le aplico reactivos específicos para medición de pH y cloro residual, obteniendo valores de pH comprendidos entre considerados normales y valores de cloro residual en 0 por lo que se considera que el agua no ha sido clorada. Después fueron trasladadas al laboratorio multidisciplinario del centro universitario metropolitano en donde fueron procesadas con el reactivo ReadyCult, indicado para la detección microorganismos coliformes, se procedió a trasladar dicha muestra a un recipiente específico y se le aplica dicho reactivo, se deja incubando durante 24 horas a 37 C. Al día siguiente se observó dichas muestras y 9 de estas presentaron cambios en la coloración que para ser positivos tornan color verde, indicativo de la presencia de microorganismos coliformes, las cuales después son expuestas a luz ultravioleta para identificar E. coli cambiando de coloración de verde a azul, de las cuales 8 presentan cambios al realizar dicho procedimiento, por lo que se concluye que existe la presencia de E. coli y microorganismos coliformes en el agua durante la semana de no cloración. Una semana después se realiza el mismo procedimiento en esta ocasión al aplicar los reactivos para medición de pH y cloro residual, se obtienen valores de pH comprendidos entre 7.2 a 7.6 ppm, considerados normales y valores de cloro residual

entre 1 a 3 ppm, que a pesar de mantener niveles bajos se considera que el agua ha sido clorada. Nuevamente nos dirigimos al centro universitario metropolitano y se repite todo el procedimiento, pero en esta ocasión, luego de las 24 horas de incubación, ninguna de las muestras presenta cambio alguna en la coloración, por lo que no se realiza la prueba de la luz ultravioleta y se concluye que a pesar de que la cloración residual se encuentra en niveles subóptimos es efectiva. (Ver Tablas 3 y 4)



## 8. CONCLUSIONES

- 8.1 La única técnica de tratamiento de agua que se utiliza en las 8 plantas de abastecimiento del departamento de Baja Verapaz es la cloración.
- 8.2 En el departamento de Baja Verapaz, la prevalencia de casos de EDA está directamente asociada con las técnicas de tratamiento de agua, ya que el valor de  $\chi^2$  a nivel departamental es de 274.02 lo que confirma que existe, como ya se mencionó anteriormente, asociación entre ambas variables. Debido a la positividad de nuestro resultado de  $\chi^2$ , se prosiguió a obtener el resultado de OR. El resultado de OR fue 0.72, comprobando que la cloración tiene un efecto protector en los habitantes de Baja Verapaz.
- 8.3 La prevalencia de la enfermedad diarreica aguda diagnosticada durante los meses de enero a diciembre del año 2010, en el departamento de Baja Verapaz fue de 11,101 casos.
- 8.4 No se encuentran agentes microbiológicos en los abastecimientos de agua durante la semana de tratamiento de agua y en una semana en la cual no hubo tratamiento de agua se encontraron microorganismos coliformes en 9 abastecimientos, siendo de estos 8 positivos para E. coli.



## 9. RECOMENDACIONES

A instituciones encargadas de la atención en salud: Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, Municipalidades, ONG's:

- 9.1 Mejorar las condiciones de saneamiento ambiental, con respecto a: tratamiento del agua para consumo, aumentar los sistemas de introducción de agua domiciliar y alcantarillado en las comunidades, para disminuir la prevalencia de EDA's, así como el tratamiento de desechos sólidos.
- 9.2 Fortalecer los programas de promoción hacia la población con respecto al consumo de agua saludable, enfocándose primordialmente en métodos de tratamiento de agua.
- 9.3 Mejorar los servicios de salud, en relación con el aumento de personal, presupuesto, material, equipo e infraestructura destinado al servicio de salud, y realizar supervisiones periódicas para evaluar el cumplimiento de los programas de prevención y control.
- 9.4 Reforzar la notificación de EDA's a las Áreas de Salud, por parte de instituciones públicas y privadas, con el propósito del optimizar la información, evitar el subregistro y mostrar la realidad de esta morbilidad en el país





## 10. APORTES

- 10.1 El presente trabajo servirá como aporte y referencia para próximos estudios dentro y fuera de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ya que al publicarse, se tendrán a disposición ejemplares para todos los usuarios de la biblioteca universitaria. Además este estudio servirá como base para futuros trabajos a nivel nacional, para tener una panorámica de la situación en enfermedades transmitidas por agua en Guatemala.
- 10.2 Se ha presentado un informe a la jefatura del área de salud del Departamento de Baja Verapaz, en el cual se dan recomendaciones a los distintos niveles de organización en salud, para tener un mejor control de este grupo afectado, y así llevar a cabo acciones para mejorar la situación de salud de los pobladores, en pro de la prevención del apareamiento de enfermedades transmitidas por el agua, desde el primer nivel de atención, hasta la organización del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.
- 10.3 También se estableció relación con los técnicos encargados de los diferentes centros de salud de cada municipio del Departamento de Baja Verapaz en donde fue proporcionado los reportes de las técnicas de tratamiento de agua y el número de casos de enfermedad diarreica aguda.
- 10.4 Durante la realización del estudio, en el trabajo de campo se observó la falta de cumplimiento en realizar, la técnica de tratamiento de agua semanalmente además de un subregistro de casos de enfermedad diarreica aguda por la falta de conocimiento por parte del personal a encargado de los pacientes.
- 10.5 Este trabajo recuerda la importancia de la medicina preventiva, que a la larga resulta más eficiente que la curativa, ya que al conocer de cerca las condiciones de vida y los hábitos de estas personas, un facultativo, puede influir en la toma de decisiones de los pacientes, practicando así la medicina holísticamente, logrando así lo más importante, la salud de la población.

10.6 Con este estudio se entregó una base de datos al Área de Salud de Baja Verapaz con los datos recopilados acerca de la enfermedad diarreica aguda y las semanas durante las cuales se utilizó una técnica de tratamiento de agua, para futuras intervenciones e investigaciones.

## 11. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

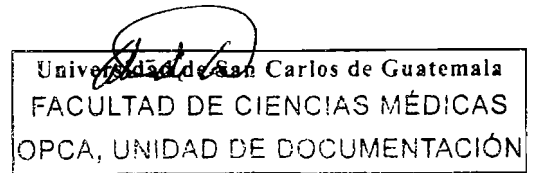
1. Vásquez L, Sazo H. Análisis de la situación de las enfermedades transmitidas por alimentos y agua. [tesis Médico y Cirujano] Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad Ciencias Médicas, 2009.
2. Checkley W, Gilman RH, Black RE, Epstein L, Cabrera L, Sterling Ch, et al. Effect of water and sanitation on childhood health in a poor peruvian peri-urban community. *Lancet* 2004; 363: 112-18.
3. World Health Organization. The international drinking water supply and sanitation decade: end of decade review. [en línea] Geneva, Suiza: WHO 1983, [accesado 2 de febrero del 2011] Disponible en: [http://whqlibdoc.who.int/offset/WHO\\_OFFSET\\_92.pdf](http://whqlibdoc.who.int/offset/WHO_OFFSET_92.pdf)
4. Henríquez C, Guillén C, Benavente L, Gotuzzo E, Echevarría J, Seas C. Incidencia y factores de riesgo para adquirir diarrea aguda en una comunidad rural de la selva peruana. *Rev Med Hered* 2002; 13(2): 44-48.
5. Esrey SA, Feachem RG, Hughes JM. Interventions for the control of diarrhoeal diseases among young children: improving water supplies and excreta disposal facilities. *Bull World Health Organ* 1985; 63(4): 757-72.
6. CERIGUA. El 98 por ciento del agua en Baja Verapaz está contaminada. [en línea]. Guatemala, Baja Verapaz 2010. [accesado 20 de octubre del 2010] Disponible en: [http://cerigua.org/archivo/index.php?option=com\\_content&task=view&id=18882](http://cerigua.org/archivo/index.php?option=com_content&task=view&id=18882)
7. Rutala W, Weber D. Uses of inorganic hypochlorite (bleach) in health-care facilities. *Clin Microbiol Rev* 1997; 10(4): 597-610.
8. Guatemala. Instituto Nacional de Estadística en el Departamento de Baja Verapaz. Guatemala: INE, 2010.
9. Central Intelligence Agency. The World Factbook. [en línea]. Washington D.C. 2009, [accesado 1 de febrero del 2011] Disponible en: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/xx.html#Geo>

10. Gleick P H. Earth's water distribution. U.S. Geological Survey [revista en línea]. Estados Unidos 2010 [accesado 2 de febrero del 2011] Disponible en:  
<http://ga.water.usgs.gov/edu/waterdistribution.html>
11. Skilomanov IA. editor. Summary of the monograph. World water resource at the beginning of the 21<sup>ST</sup> Century, UNESCO. State Hydrological Institute 2009 [accesado 2 de febrero del 2011] Disponible en:  
<http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/shiklomanov/summary/html/summary.html#2.%20Water%20storage>
12. Baroni L, Cenci L, Tettamanti M, Berati M. Evaluating the environmental impact of various dietary patterns combined with different food production systems. EJCN [en línea] Baltimore 2006 [accesado 1 de febrero del 2011]61: 279–286. Disponible en:  
<http://www.nature.com/ejcn/journal/v61/n2/full/1602522a.html>
13. No hay crisis mundial de agua, pero muchos países en vías de desarrollo tendrán que hacer frente a la escasez de recursos hídricos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [en línea] Kyoto 2003 [accesado el 2 de febrero del 2011] Disponible en: <http://www.fao.org/spanish/newsroom/news/2003/15254-es.html>
14. La crisis del agua refleja otras crisis. BBC Mundo [periódico en línea], Londres 2006 [accesado el 2 de febrero del 2011] Disponible en:  
[http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/specials/newsid\\_4790000/4790600.stm](http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/specials/newsid_4790000/4790600.stm)
15. Países que conjuntamente con Bolivia han avalado el proyecto de resolución confirmando el Derecho humano al agua y saneamiento. ONU 1999 [en línea], New York [accesado el 2 de febrero del 2011] Disponible en:  
<http://www.politicaspublicas.net/panel/agua/dhagua/667-onu-2010-resolucion-agua.html>
16. Jeffrey U. Qué porcentaje del cuerpo es agua. MadSci Network [en línea], Washington 2000 [accesado el 2 de febrero del 2011] Disponible en:  
<http://www.madsci.org/posts/archives/2000-05/958588306.An.r.html>
17. Rhoades RA, Tanner GA. Medical Physiology. 2 ed. Philadelphia. Lippincott Williams & Wilkins, 2003.

18. Valtin H, Departamento de Fisiología, Dartmouth Medical School. Drink at least eight glasses of water a day. Really is there scientific evidence for 8 × 8. AJPREGU Maryland [revista en línea]. 2002 [accesado el 2 de febrero del 2011], Disponible en:  
<http://ajpregu.physiology.org/content/283/5/R993.full>
19. National Research Council. Food and nutrition board. Recommended dietary allowances. Washington D.C. 1945.
20. Excel Wáter Technologies. La historia del tratamiento de agua para tomar [en línea]. Florida 2007 [accesado el 2 de febrero del 2011] Disponible en:  
[http://www.excelwater.com/spa/b2c/about\\_7.php](http://www.excelwater.com/spa/b2c/about_7.php)
21. Guatemala. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. Acuerdo Ministerial número 1148-09, abril 04 Manual de normas sanitarias que establecen los procesos y métodos de purificación de agua para consumo humano. Ministerio de Salud, 2009.
22. Organización Panamericana de la Salud. Tratamiento de agua para consumo humano, Plantas de filtración rápida. Manual I. Lima, Perú: OPS, 2004.
23. Antonio R, Pedro L, Roberto R, Miriam D, Susana V, Juana M. Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales, Informe de Vigilancia Tecnológica. [en línea] Madrid: DIGI 2006 [accesado 15 de enero del 2011] Disponible en:  
[http://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/vt/vt2\\_tratamientos\\_avanzados\\_de\\_aguas\\_residuales\\_industriales.pdf](http://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/vt/vt2_tratamientos_avanzados_de_aguas_residuales_industriales.pdf)
24. Organización Panamericana de la Salud. Tratamiento de agua para consumo humano, Plantas de filtración rápida. Manual II. Diseño de plantas de tecnología apropiada. Lima, Perú: OPS, 2004.
25. Organización Panamericana de la Salud. Tratamiento de agua para consumo humano; Plantas de filtración rápida: Manual III. Evaluación de plantas de tecnología apropiada. Lima, Perú: OPS, 2004.

26. Organización Panamericana de la Salud. Tratamiento de agua para consumo humano: Plantas de filtración rápida. Manual I. Lima, Perú: OPS, 2004.
27. Organización Mundial de la Salud/OPS. Guía para la operación y mantenimiento de sistemas de desinfección. Lima, Peru: OMS/OPS/ Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, 2007.
28. Reasoner DJ. Agentes patógenos en el agua potable - estado actual y perspectiva. División de Control de Contaminantes Microbiológicos. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, [en línea] Cincinnati, Ohio 1991, [accesado el 5 de febrero del 2011] Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsala/e/fulltext/agentes/agentes.pdf>
29. Rose J B. Emerging Issues for the microbiology of drinking water. Michigan, Engorge; 1990.
30. Pumarola A, Rodríguez-Torres JA, García Rodríguez G, Piédrola-Angulo. Microbiología y parasitología médica. 2da ed. España: Elsevier-Masson, 1995.
31. Blaser J M, Penner J. G. Wells. Diversity of serotypes in outbreaks of enteritis due to *Campylobacter jejuni*. J Infect Dis. 1982 146;(6):826.
32. Dev V J, Main M, Gould I. Waterborne outbreak of *Escherichia coli* 0157. Lancet 1992. 337:1412.
33. Moulin GC, Sherman IH, Hoaglin DC, Stottmeier KD. *Mycobacterium Avium* complex, an emerging pathogen in Massachusetts. J. Clin. Microbiol 1985. 22(1):9-12.
34. Pedro AS. Actualización del control de la enfermedad diarreica aguda en pediatría, prevención, diagnóstico y tratamiento. Rev de Pediat (Colombia) [en línea]. 1998 [accesado el 25 de enero del 2011] 33(3): [6 ventanas] Disponible en: <http://www.encolombia.com/vol33n3-pediatria-actualizacion.htm>

35. Raúl L R. Fisiopatología de la diarrea aguda. Rev de Pediat (Cuba) [en línea] 1999  
[accesado el 27 de enero 2011] 71(2):5299 Disponible en:  
[http://bvs.sld.cu/revistas/ped/vol71\\_2\\_99/ped05299.pdf](http://bvs.sld.cu/revistas/ped/vol71_2_99/ped05299.pdf)







## **12. ANEXOS**



## **12.1 CONSENTIMIENTO INFORMADO**

### **ENCUESTA ASOCIACION DE LAS TECNICAS DEL TRATAMIENTO DE AGUA Y LA PREVALENCIA DE ENFERMEDAD DIARREICA AGUDA DIAGNOSTICADAS, EN EL DEPARTAMENTO DE BAJA VERAPAZ DURANTE LOS MESES DE ENERO A DICIEMBRE DEL AÑO 2010**

Buenos días, estamos realizando un estudio para conocer detalladamente la asociación que existe en las técnicas de tratamiento de agua y su relación con el apareamiento de casos del Síndrome Diarreico Agudo en el departamento de Baja Verapaz. Lo estamos invitando ser partícipe de una encuesta y que se nos sea permitido recolectar muestras de agua de las cuales la información obtenida será útil para determinar cuáles comunidades y aldeas cuentan con plantas de tratamiento de agua y con qué frecuencia se le da tratamiento a este vital líquido que se distribuye a partir de dichas plantas, así como valorar si las técnicas de descontaminación están siendo efectivas en su totalidad y que cuyos datos si es posible permitan implementar algunos cambios para beneficio del departamento en estudio.

#### **ALTERNATIVA**

Su participación en el presente estudio es totalmente voluntaria. Usted puede interrumpir la entrevista en cualquier momento. También puede negarse a responder cualquier pregunta o a participar en la entrevista. No hay ninguna consecuencia negativa por rechazar o detener la entrevista y la obtención de las muestras de agua para su estudio.

#### **PROCEDIMIENTO**

Si usted acepta participar en el estudio, a usted se le realizará una pequeña entrevista de breve duración y luego se procederá a obtener una muestra de agua tratada para su posterior estudio en el Laboratorio Multidisciplinario del Centro Metropolitano Universitario, para su debido análisis microbiológico. La entrevista incluirá preguntas relacionadas con la presencia de plantas de tratamiento de agua en el municipio en estudio y su localización dentro de las comunidades del municipio y se incluye dentro de las preguntas del instrumento, las semanas en las cuales actualmente se realiza la cloración y posteriormente se tomara la muestra de agua en tubos de ensayo estériles para luego ser analizados en el laboratorio bioquímico. Los resultados obtenidos, tanto la información que usted nos brinde, serán para fines de investigación y serán tratados de forma confidencial.

#### **CONFIDENCIALIDAD**

Se garantizará la confidencialidad de la información acorde a lo establecido por la ley y las respuestas e información obtenidas pudieran ser revisadas para auditoría por personal autorizado de la coordinación del proyecto de investigación.

#### **COSTOS, RIESGOS Y BENEFICIOS**

Su participación en el presente estudio no tiene costo alguno para usted. Su participación en la entrevista no representa riesgo físico. Si se siente incómodo con algún aspecto de la misma, tiene toda la libertad de no contestarlo. Tampoco existe beneficio directo por su participación en las entrevistas.

## OTROS PUNTOS IMPORTANTES

- a) Usted puede conservar una copia de este informe para su consentimiento para su propia información.
- b) Si lo desea, una vez haya concluido el estudio, a usted se le podría informar sobre los resultados obtenidos.

He recibido una copia de este informe de consentimiento, el cual he leído y entendido, con lo cual consiento participar en la actual investigación.

\_\_\_\_\_  
Entrevistador (Nombre)

\_\_\_\_\_  
Participante (Nombre)

\_\_\_\_\_  
Entrevistador (Firma)

\_\_\_\_\_  
Participante (Firma)

**12.2 Instrumento de recolección de datos**  
**Sección No. 1**  
**Datos Generales**

1.- Nombre del Municipio:

- |   |                                    |
|---|------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> SALAMÁ.            | <input type="checkbox"/> CUBULCO.  |
| <input type="checkbox"/> SAN MIGUEL CHICAJ. | <input type="checkbox"/> GRANADOS. |
| <input type="checkbox"/> SAN JERÓNIMO.      | <input type="checkbox"/> PURULHÁ.  |
| <input type="checkbox"/> RABINAL.           | <input type="checkbox"/> EL CHOL.  |

2.- ¿Cuenta con plantas de tratamiento de agua el municipio?

- SI                       NO

3.- ¿Con cuántas plantas de tratamiento de agua cuenta el municipio?

- 1             2             3             4             5             >5

4.- Nombre (s) de la (s) comunidad (es) donde se encuentra (n) dicha (s) planta (s) de tratamiento:

- |   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> SALAMÁ.              | <input type="checkbox"/> PACHALUC.    |
| <input type="checkbox"/> VISTA EL VALLE.      | <input type="checkbox"/> CUBULCO.     |
| <input type="checkbox"/> SN. MIGUEL CHICAJ I  | <input type="checkbox"/> GRANADOS I.  |
| <input type="checkbox"/> SN. MIGUEL CHICAJ II | <input type="checkbox"/> GRANADOS II. |
| <input type="checkbox"/> SN. JERÓNIMO.        | <input type="checkbox"/> PURULHÁ.     |
| <input type="checkbox"/> RABINAL.             | <input type="checkbox"/> EL CHOL.     |
| <input type="checkbox"/> SAN JUAN.            |                                       |

**Sección No. 2**  
**Asociación de Datos**

**Datos Generales:**

1.- Nombre de la Comunidad o Aldea:

- |   |                                    |
|---|------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> SALAMÁ.            | <input type="checkbox"/> CUBULCO.  |
| <input type="checkbox"/> SAN MIGUEL CHICAJ. | <input type="checkbox"/> GRANADOS. |
| <input type="checkbox"/> SAN JERÓNIMO.      | <input type="checkbox"/> PURULHÁ.  |
| <input type="checkbox"/> RABINAL.           | <input type="checkbox"/> EL CHOL.  |

2.- Nombre de la Planta de Tratamiento de Agua:

- |   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> SALAMÁ.              | <input type="checkbox"/> PACHALUC.    |
| <input type="checkbox"/> VISTA EL VALLE.      | <input type="checkbox"/> CUBULCO.     |
| <input type="checkbox"/> SN. MIGUEL CHICAJ I  | <input type="checkbox"/> GRANADOS I.  |
| <input type="checkbox"/> SN. MIGUEL CHICAJ II | <input type="checkbox"/> GRANADOS II. |
| <input type="checkbox"/> SN. JERÓNIMO.        | <input type="checkbox"/> PURULHÁ.     |
| <input type="checkbox"/> RABINAL.             | <input type="checkbox"/> EL CHOL.     |
| <input type="checkbox"/> SAN JUAN.            |                                       |

3.- Nombre de la Comunidad (es) o Aldea (s) a la (s) que suministra agua:

- |   |   |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> LAS LIMAS.           | <input type="checkbox"/> PACHALUC.      |
| <input type="checkbox"/> LOS RAMONES.         | <input type="checkbox"/> XOGOC.         |
| <input type="checkbox"/> EL TEMPISQUE.        | <input type="checkbox"/> LA CEIBA.      |
| <input type="checkbox"/> EL CACHIL.           | <input type="checkbox"/> PICHEC.        |
| <input type="checkbox"/> LA CANOA.            | <input type="checkbox"/> SAN RAFAEL.    |
| <input type="checkbox"/> EL CACHIL.           | <input type="checkbox"/> TRES CRUCES.   |
| <input type="checkbox"/> RACHO VIEJO.         | <input type="checkbox"/> PATZOCON.      |
| <input type="checkbox"/> EL TUNAL.            | <input type="checkbox"/> EL NARANJO.    |
| <input type="checkbox"/> LLANO GRANDE.        | <input type="checkbox"/> XECUNABAJ.     |
| <input type="checkbox"/> SAN JUAN.            | <input type="checkbox"/> LAS VIUDAS.    |
| <input type="checkbox"/> EL AMATE.            | <input type="checkbox"/> EL NARANJO.    |
| <input type="checkbox"/> LAS MINAS.           | <input type="checkbox"/> AGUA CALIENTE. |
| <input type="checkbox"/> SAN GABRIEL PANTZUJ. | <input type="checkbox"/> LOS AMATES.    |
| <input type="checkbox"/> XICHOLOP.            | <input type="checkbox"/> SANTA BARBARA. |
| <input type="checkbox"/> CHOPEN.              | <input type="checkbox"/> LOS JOCOTES.   |
| <input type="checkbox"/> PACHALUM.            | <input type="checkbox"/> EL CACAO.      |
| <input type="checkbox"/> LAS VENTANAS.        | <input type="checkbox"/> MATANZAS.      |
| <input type="checkbox"/> PICHEC.              | <input type="checkbox"/> EL JÍCARO.     |
| <input type="checkbox"/> EL SAUCE.            | <input type="checkbox"/> EL DURAZNO.    |
| <input type="checkbox"/> CONCUL.              | <input type="checkbox"/> PORTEZUELO.    |
| <input type="checkbox"/> SAN FRANCISCO.       | <input type="checkbox"/> EL PROGRESO.   |

**Cuadro de Datos:**

<b>Semana</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>
<b>Cloración</b>																		
<b>Casos SDA</b>																		

<b>Semana</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>30</b>	<b>31</b>	<b>32</b>	<b>33</b>	<b>34</b>	<b>35</b>
<b>Cloración</b>																	
<b>Casos SDA</b>																	

<b>Semana</b>	<b>36</b>	<b>37</b>	<b>38</b>	<b>39</b>	<b>40</b>	<b>41</b>	<b>42</b>	<b>43</b>	<b>44</b>	<b>45</b>	<b>46</b>	<b>47</b>	<b>48</b>	<b>49</b>	<b>50</b>	<b>51</b>	<b>52</b>
<b>Cloración</b>																	
<b>Casos SDA</b>																	

**Sección No. 3**  
**Agentes Microbiológicos**

**Datos Agentes Microbiológicos**

Semana Con Tratamiento


Semana Sin Tratamiento




### 12.3 Caracterización demográfica y socioeconómica de la población.

#### CUADRO 1

Distribución de las características demográficas y socioeconómicas de población del Departamento de Baja Verapaz enero-diciembre 2010 Guatemala, mayo 2011

<b>Características Demográficas</b>	
Población Total	215,215 Hab.
Total de Hogares	41,882
Cuartos por Hogar	2.33
Personas por Dormitorio	2.95
<b>Hogares por Tipo de Servicio de Agua</b>	
Chorro Uso Exclusivo	30,450
Chorro para Varios Hogares	543
Chorro Público	1,406
Pozo	4,236
Camión o Tonel	62
Río, Lago o Manantial	4,224
Hogares con Servicios Sanitarios*	33,972
Hogares sin Servicios Sanitarios*	7,910
<b>Características Socioeconómicas</b>	
Población Económicamente Activa	32.20%
Índice de Desarrollo Humano	0.59%
Índice de Educación	0.52%
Índice de Salud	0.78%

Fuente: Instituto Nacional de Estadística –INE-ADD (Agenda de Desarrollo Departamental 2000-2010)

\* Servicios Sanitarios: red de drenaje, fosa séptica, excusado lavable, letrina y pozo ciego.



## 12.4 Presentación de tablas.

**Tabla 1**

Datos estadísticos del municipio de Purulhá, Baja Verapaz  
Enero–Diciembre 2010

	EDA	NO EDA
CLORACION	16	33350
NO CLORACION	1086	32280

OR = 0.01       $\text{CHI}^2 = 1056.3$       IC = 0.01 - 0.02      P = 0.00

**Tabla 2**

Datos estadísticos del municipio de San Jerónimo, Baja Verapaz  
Enero-Diciembre 2010

	EDA	NO EDA
CLORACION	173	17296
NO CLORACION	203	17266

OR = 0.00       $\text{CHI}^2 = 2.42$       IC = 0.69 - 1.05      P = 0.1198

**Tabla 3**

Datos estadísticos del municipio de San Miguel Chicaj, Baja Verapaz  
Enero-Diciembre 2010

	EDA	NO EDA
CLORACION	1060	22141
NO CLORACION	406	22795

OR = 2.68       $\text{CHI}^2 = 301.28$       IC = 2.39 - 3.02      P = 0.00

**Tabla 4**

Datos estadísticos del municipio de Salamá, Baja Verapaz  
Enero-Diciembre 2010

	EDA	NO EDA
CLORACION	2803	44471
NO CLORACION	747	46527

OR = 3.93       $\text{CHI}^2 = 1237.2$       IC = 3.62 - 4.26      P = 0.00

**Tabla 5**

Datos estadísticos del municipio de Rabinal, Baja Verapaz  
Enero-Diciembre 2010

	EDA	NO EDA
CLORACION	263	30905
NO CLORACION	1413	29755

OR = 0.18                   $CHI^2 = 810.12$                   IC = 0.16 - 0.21                  P = 0.00

**Tabla 6**

Datos estadísticos del municipio de Cubulco, Baja Verapaz  
Enero-Diciembre 2010

	EDA	NO EDA
CLORACION	1586	42053
NO CLORACION	556	43083

OR = 2.92                   $CHI^2 = 507$                   IC = 2.65 - 3.22                  P = 0.00

**Tabla 7**

Datos estadísticos del municipio de El chol, Baja Verapaz  
Enero-Diciembre 2010

	EDA	NO EDA
CLORACION	0	8460
NO CLORACION	158	8302

OR = -                   $CHI^2 = -$                   IC = -                  P = -

**Tabla 8**

Datos estadísticos del municipio de Granados, Baja Verapaz  
Enero-Diciembre 2010

	EDA	NO EDA
CLORACION	0	11338
NO CLORACION	502	10836

OR = -                   $CHI^2 = -$                   IC = -                  P = -

**Tabla 9**

Datos estadísticos del Departamento de Baja Verapaz  
Enero-Diciembre 2010

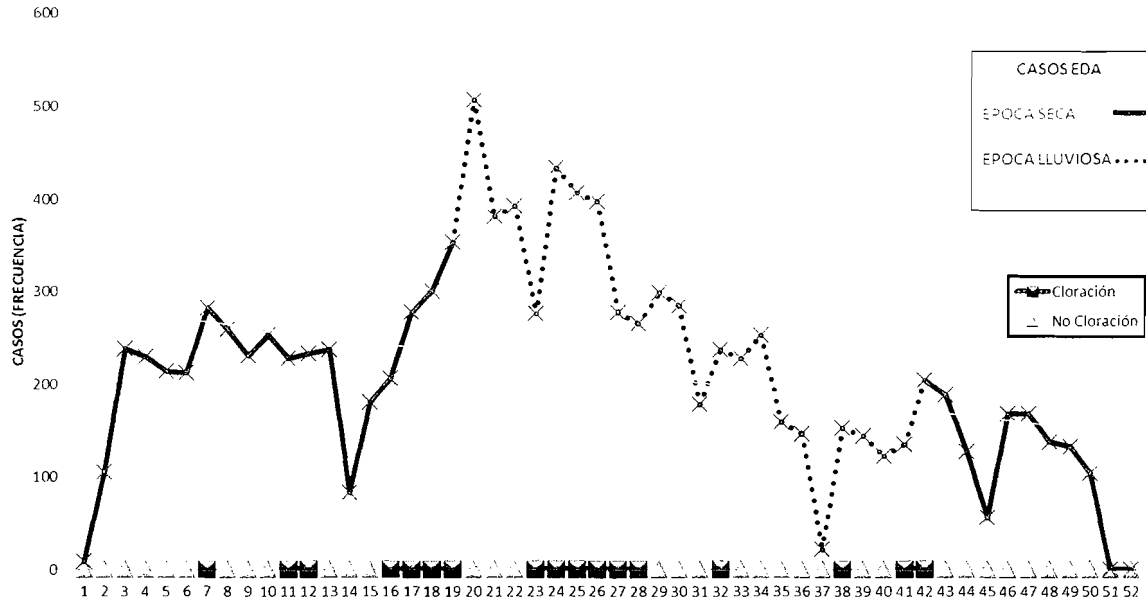
	EDA	NO EDA
CLORACION	4662	211253
NO CLORACION	6379	209536

OR = 0.72                   $CHI^2 = 274.2$                   IC = 0.70 - 0.75                  P = 0.00

12. 5 Presentación de gráficas.

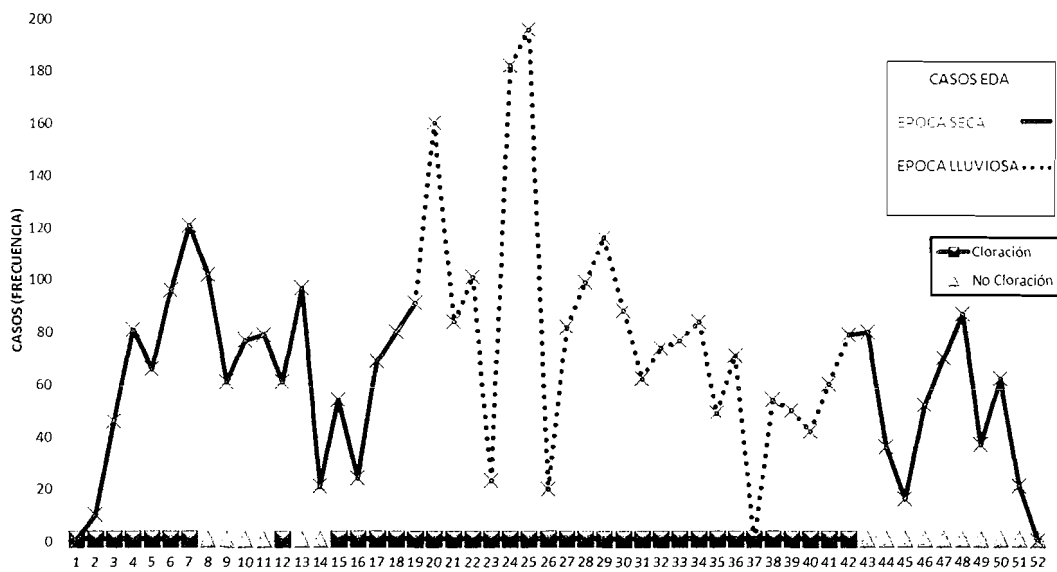
GRÁFICA 1

CASOS DE EDA DISPUESTOS EN SEMANAS DE CLORACIÓN Y NO CLORACIÓN EN EL DEPARTAMENTO DE BAJA VERAPAZ, EN EL PERIODO DE ENERO A DICIEMBRE DE 2010



GRÁFICA 2

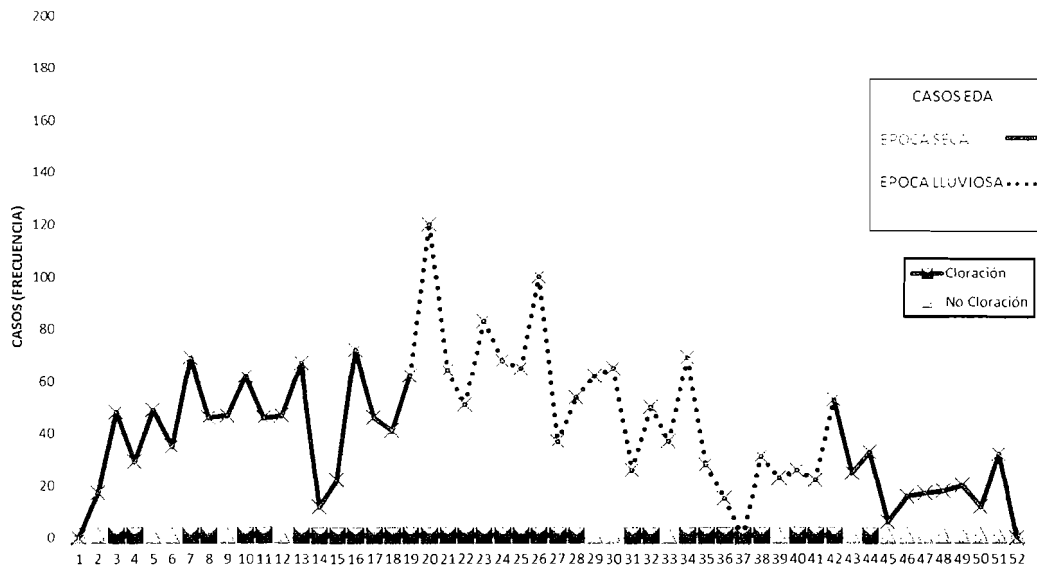
CASOS DE EDA POR SEMANAS DE CLORACIÓN Y NO CLORACIÓN EN EL MUNICIPIO DE SALAMÁ DE ENERO A DICIEMBRE DEL AÑO 2010



Fuente: Instrumento de recolección de datos. Recolección personal.

### GRÁFICA 3

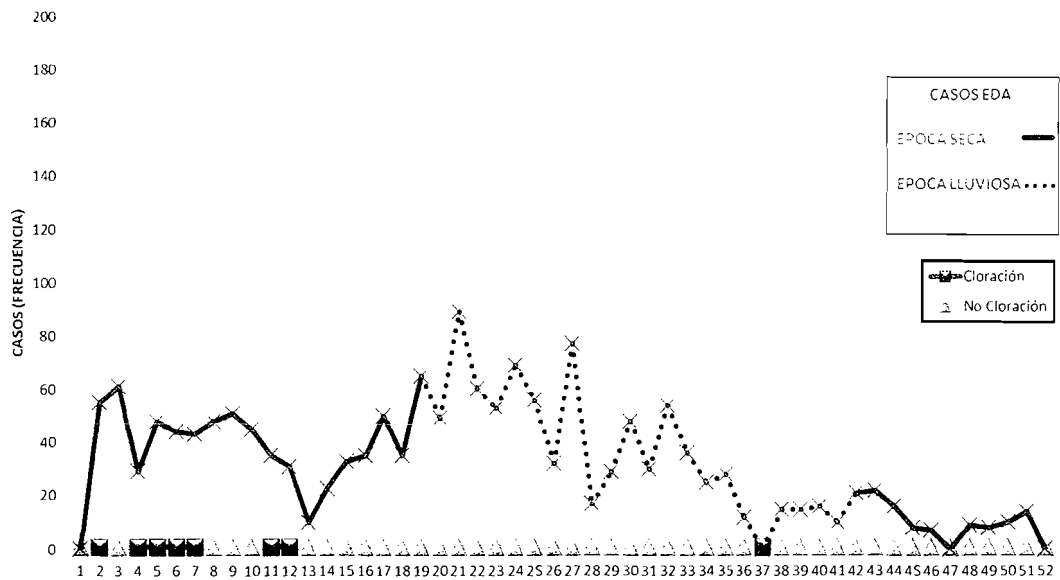
**CASOS DE EDA POR SEMANAS DE CLORACIÓN Y NO CLORACIÓN EN EL MUNICIPIO DE CUBULCO DE ENERO A DICIEMBRE DEL AÑO 2010**



Fuente: Instrumento de recolección de datos. Recolección personal.

### GRÁFICA 4

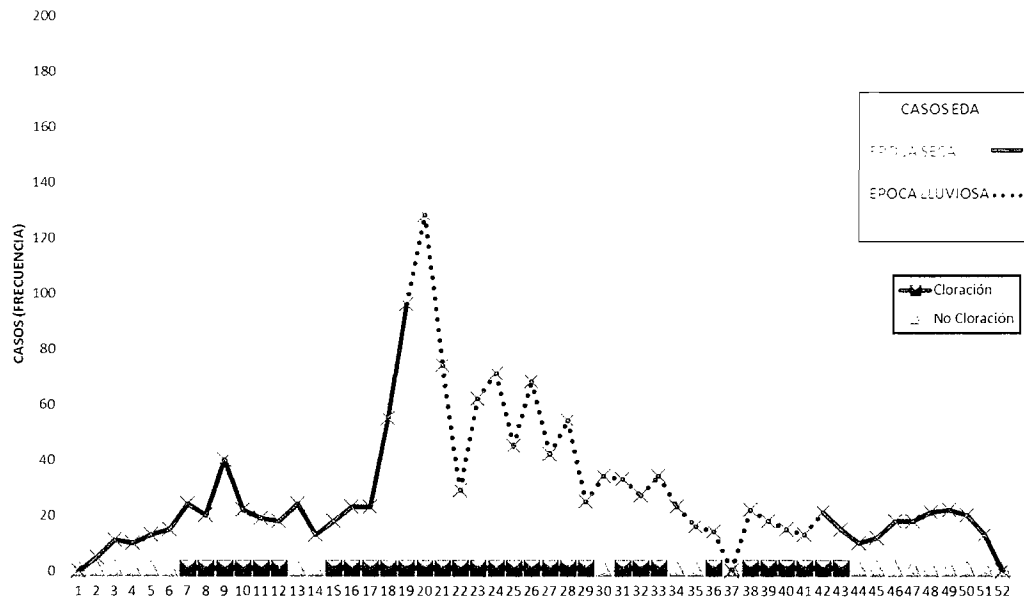
**CASOS DE EDA POR SEMANAS DE CLORACIÓN Y NO CLORACIÓN EN EL MUNICIPIO DE RABINAL DE ENERO A DICIEMBRE DEL AÑO 2010**



Fuente: Instrumento de recolección de datos. Recolección personal.

### GRÁFICA 5

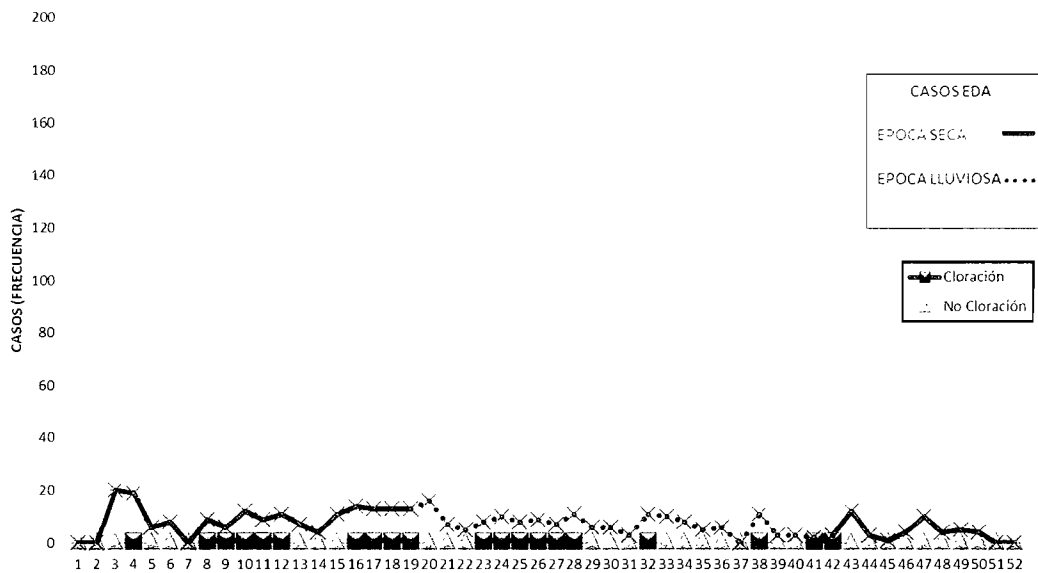
**CASOS DE EDA POR SEMANAS DE CLORACIÓN Y NO EN EL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL CHICAJ DE ENERO A DICIEMBRE DEL AÑO 2010**



Fuente: Instrumento de recolección de datos. Recolección personal.

### GRÁFICA 6

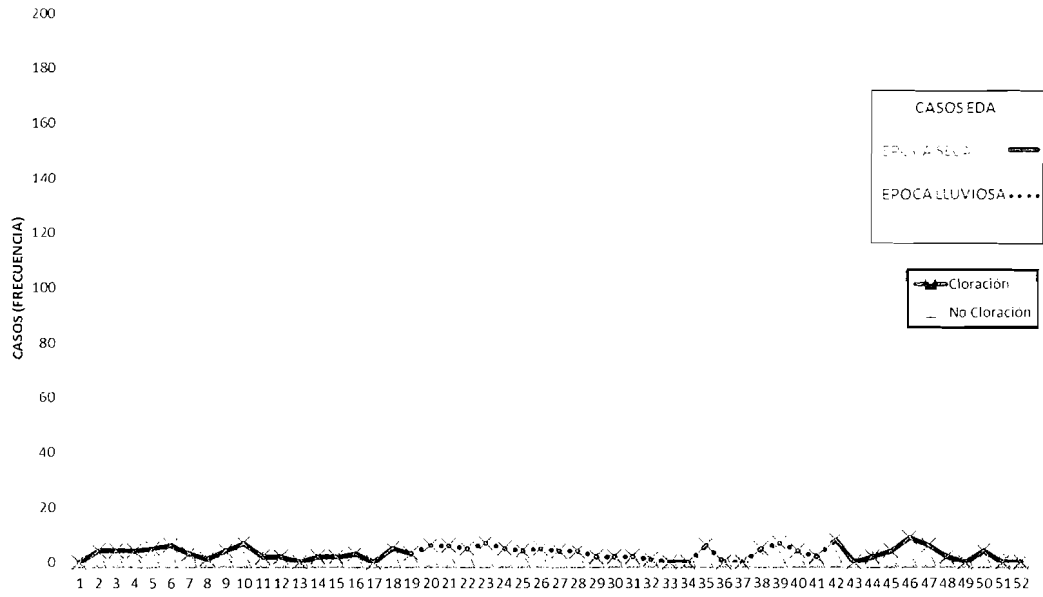
**CASOS DE EDA POR SEMANAS DE CLORACIÓN Y NO CLORACIÓN EN EL MUNICIPIO DE SAN JERONIMO DE ENERO A DICIEMBRE DEL AÑO 2010**



Fuente: Instrumento de recolección de datos. Recolección personal.

### GRÁFICA 7

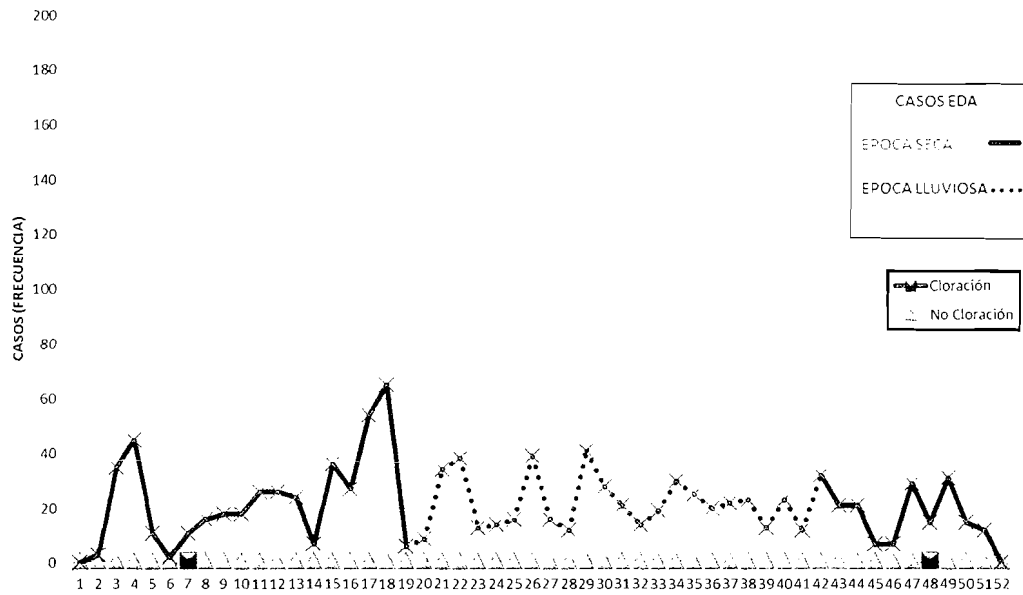
**CASOS DE EDA POR SEMANAS DE CLORACIÓN Y NO CLORACIÓN EN EL MUNICIPIO DE EL CHOL DE ENERO A DICIEMBRE DEL AÑO 2010**



Fuente: Instrumento de recolección de datos. Recolección personal.

### GRÁFICA 8

**CASOS DE EDA POR SEMANAS DE CLORACIÓN Y NO CLORACIÓN EN EL MUNICIPIO DE PURULHÁ DE ENERO A DICIEMBRE DEL AÑO 2010**

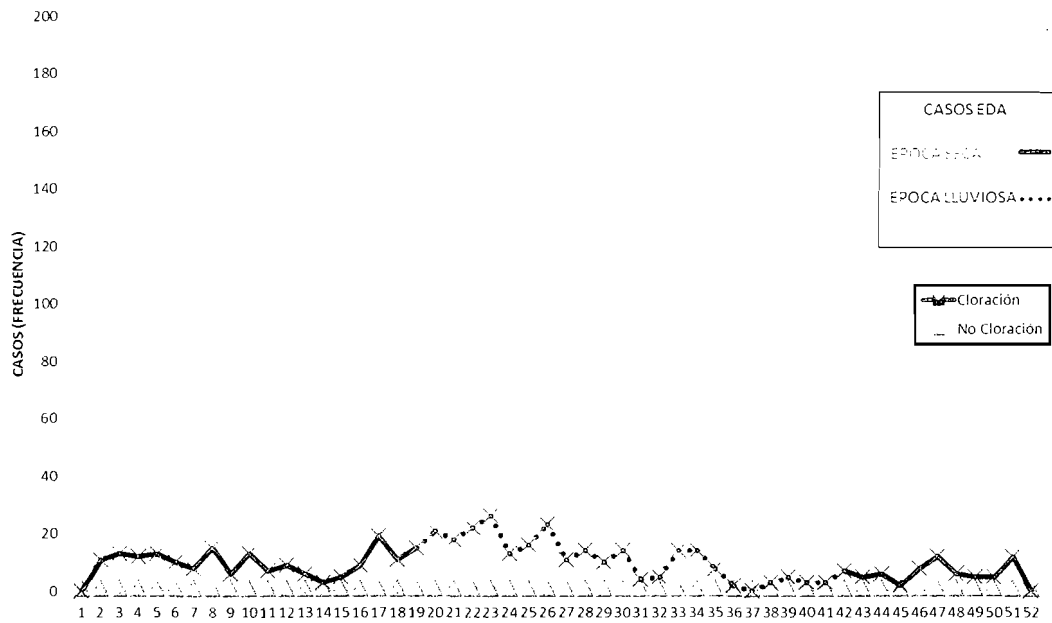


Fuente: Instrumento de recolección de datos. Recolección personal.



### GRÁFICA 9

CASOS DE EDA POR SEMANAS DE CLORACIÓN Y NO CLORACIÓN EN EL MUNICIPIO DE GRANADOS DE ENERO A DICIEMBRE DEL AÑO 2010



Fuente: Instrumento de recolección de datos. Recolección personal.

