

**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**



**MONOGRAFIA PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERA CIVIL**

**“DESINFECCIÓN SOLAR EN EL AGUA DEL RÍO  
TOMEBAMBA”**

---

**AUTORA: CAROLINA OLIVA ORMAZA SALDAÑA**

**TUTOR: ING. GALO ORDOÑEZ**

**CUENCA- ECUADOR**  
**2011**



## CONTENIDO

CAPITULO I .....	5
INTRODUCCION .....	5
1.1. ANTECEDENTES .....	7
1.2. MARCO TEORICO .....	10
1.2.1. DESINFECION DEL AGUA .....	10
1.2.2. CALIDAD DEL AGUA.....	15
1.2.2.1. Parámetros Físicos .....	16
1.2.2.2. Parámetros Químicos.....	18
1.2.2.3. Parámetros Biológicos.....	23
1.2.2.4. Parámetros Bacteriológicos .....	24
1.2.3. MÉTODO DE DESINFECCION SOLAR (SODIS) .....	24
1.2.3.1. Desarrollo del método SODIS.....	24
1.2.3.2. Científico.....	26
1.2.3.4. Efecto de la radiación UV-A y de la temperatura.....	27
1.2.3.5. Efecto de SODIS en los patógenos .....	28
1.2.3.6. El factor clima .....	30
1.2.3.7. Turbiedad del agua.....	31
1.2.3.8. Oxígeno .....	31
1.2.3.9. Ventajas del método SODIS .....	32
1.2.3.10. Limitaciones.....	32
CAPITULO II .....	33
2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	33
2.2. INTERROGANTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	33
2.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	33
2.4. OBJETIVOS .....	34
2.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	35
CAPITULO III .....	37
3.1. SUJETO.....	37



3.1.1. Descripción general de la zona de estudio .....	37
3.1.2. Características naturales .....	38
3.1.2.1. Calidad del agua .....	38
3.1.2.2. Flora .....	38
3.1.2.3. Fauna .....	39
3.1.2.4. Descripción del paisaje .....	39
CAPITULO IV.....	40
4. METODOLOGIA .....	40
4.1. Fases de campo y laboratorio .....	40
4.1.1. Fase de Campo.....	40
4.1.2. Fase de Laboratorio .....	40
CAPITULO V.....	41
5. APLICACION DEL MÉTODO SODIS.....	41
5.1. PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DEL MÉTODO SODIS .....	41
5.2. REGISTRO DE DATOS .....	45
5.3. CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS .....	46
5.3.1. Primer día de ensayo .....	46
5.3.2. Segundo día de ensayo.....	47
5.3.3. Cuadro de Temperaturas.....	47
CAPITULO VI.....	49
6. RESULTADOS.....	49
6.1. RESULTADOS OBTENIDOS.....	49
CAPITULO VII.....	50
7.1. DETALLE DE RESULTADOS .....	50
7.1.1. DOS CHORRERAS.....	50
7.1.1.2. Características Bacteriológicas.....	52
7.1.2. LAS CABAÑAS RESTAURANT .....	53
7.1.3. AV. 12 DE ABRIL (FRENTE A CARLOS CUEVA).....	55
CAPITULO VIII.....	59
8. CONCLUSIONES .....	59



CAPITULO IX.....	60
9. RECOMENDACIONES .....	60
CAPITULO X.....	61
10. REFERENCIAS.....	61
CAPITULO XI.....	61
11. ANEXOS .....	61



## CAPITULO I

### INTRODUCCION

El tema de la presente investigación es determinar la aplicación del método de desinfección solar (SODIS), en el agua del río Tomebamba de la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay.

El agua, sin lugar a dudas es esencial para la vida, pero ésta debe ser en suficiente cantidad y de buena calidad. Sin embargo a principios del año 2000, la sexta parte de la población mundial, es decir más de mil millones de personas no tenían acceso a un abastecimiento mejorado de agua potable y muchas más personas carecían de acceso a agua segura. Sólo en América Latina y en el Caribe, de acuerdo con el informe de la OPS del 2000, existen más de 76 millones de personas sin acceso a agua segura. Además, 54 millones de personas sólo tienen acceso a servicios precarios como bombas manuales y llaves públicas, y el agua de estos servicios está expuesta a contaminación secundaria durante la recolección, el transporte o el almacenamiento. Como consecuencia hay al menos 130 millones de personas en América Latina que necesitan mejorar la calidad del agua que toman, sin considerar los sistemas de agua con abastecimiento intermitente y con deficiente desinfección.



La falta de acceso a agua de buena calidad provoca un riesgo de enfermedades transmitidas por el agua tales como: diarrea, cólera, fiebre tifoidea, hepatitis A, disentería amébrica o bacteriana y otras enfermedades diarreicas. Cada año, 4000 millones de casos de diarrea causan 2200 millones de muertes, mayormente entre niños menores de cinco años. Esto equivale a que un niño muera cada 15 segundos. Estas muertes representan aproximadamente 15% del total de muertes de niños menores de 5 años en los países en desarrollo.

Es necesario contar con métodos adecuados de tratamiento del agua, para evitar que la población sin acceso a agua potable segura se enferme y muera. Se denomina agua potable o agua para consumo humano, al agua que puede ser consumida sin restricción. El término se aplica al agua que cumple con las normas de calidad establecidas, para este se debe llevar a cabo procesos de desinfección del agua para uso humano la cual tiene por finalidad la eliminación de los microorganismos patógenos.



La población más vulnerable a este riesgo es la rural; para proteger de estas enfermedades a la población que carece de acceso al agua limpia, es necesaria la aplicación de métodos apropiados de potabilización de agua.

Muchas comunidades rurales no añaden cloro al agua por rechazo al sabor o falta de suministro del producto, tampoco hierven el agua por escasez de la leña, alto costo, la dificultad de tener que acarrearla o porque el sabor también

cambia, el uso de la plata coloidal se ve limitado por su costo y baja disponibilidad en comunidades marginadas.

Una alternativa para desinfección del agua para este tipo de comunidades es la radiación solar, la cual ha demostrado ser una técnica eficiente en la inactivación y destrucción de bacterias patógenas y virus en el agua. Este método ha sido probado por diferentes instituciones y países alrededor del mundo desde hace casi dos décadas.

En nuestra ciudad el problema no es indiferente la población más pobre tiene aun restringida el acceso a agua potable, por lo que se pretende con este tema dar una alternativa eficaz y a un costo bajo para la desinfección del agua.

Por lo que la presente investigación tiene como finalidad es identificar las condiciones necesarias para la aplicación del Método SODIS, específicamente se pretende analizar la aplicabilidad del método en el agua de Rio Tomebamba de la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay.

Frente a este panorama, y como medida de prevención de la salud de las familias, que en los próximos años no tengan posibilidad de acceder a un sistema convencional de abastecimiento de agua, se propone una alternativa para la desinfección del agua con el Método SODIS.

La desinfección solar del agua (SODIS), es un método simple y de muy bajo costo que sirve para desinfectar el agua a nivel doméstico. Utiliza la radiación solar (luz UV-A y temperatura) para destruir las bacterias y los virus patógenos presentes en el agua.



## 1.1. ANTECEDENTES

El agua en estado natural se encuentra notablemente extendida en la naturaleza al estado sólido en la nieve, hielo, granizo y escarcha; al estado líquido en los mares, ríos, lagos, cataratas y fuentes, y al estado vapor en la humedad atmosférica. El agua es una mezcla de agua con sales y gases disueltos, y un elemento indispensable para la vida humana, debido a que en el hombre representa aproximadamente el 70% del peso total de su cuerpo. El hombre la utiliza como elemento para su nutrición, ya sea como bebida o como integrante de alimentos; la requiere para el lavado de trastos y ropas; la exige para el aseo personal y dispone de ella para alejar sus desechos, le proporciona comodidad al resolver numerosos problemas de su vida cotidiana.



La salud humana, depende no solo de la cantidad de agua que utiliza. Según la Organización Mundial de la salud “casi la cuarta parte de las camas disponibles en todos los Hospitales del mundo, están ocupadas por enfermos cuyas dolencias se deben a la insalubridad del agua “. Esto quiere decir que cuando el agua, por contacto con la tierra o con el hombre, ha modificado su composición, puede convertirse en un peligro y ocasionar grandes daños. Las funciones principales del agua es la de mantener la existencia de la vida y funcionamiento de la economía. Para poder hacer uso de ella, es indispensable que el agua cumpla con características que permitan hacerla apta para cualquier uso que se destine.

En el agua del río Tomebamba de ciudad de Cuenca hasta la fecha no se ha realizado una investigación sobre la aplicabilidad del Método SODIS para la desinfección del agua; sin embargo a nivel mundial es un método muy investigado.

La Desinfección Solar del Agua “SODIS” (SOLarwaterDISinfection) es una solución simple, de bajo costo y ambientalmente sostenible para el tratamiento de agua para consumo humano a nivel doméstico, en lugares en los que la población consume agua cruda y microbiológicamente contaminada.

**El método SODIS usa la energía solar para destruir los microorganismos patógenos que causan enfermedades transmitidas por el agua y de esa manera mejora la calidad del agua utilizada para el consumo humano. Los microorganismos patógenos son vulnerables a dos efectos de la luz solar: la radiación en el espectro de luz UV-A y el calor (incremento en la temperatura del agua).**





Se produce una sinergia entre estos dos efectos, ya que el efecto combinado de ambos es mucho mayor que la suma de cada uno de ellos independientemente. Esto implica que la mortalidad de los microorganismos se incrementa cuando están expuestos a la temperatura elevada y a la luz UV-A simultáneamente. SODIS es ideal para desinfectar pequeñas cantidades de agua con baja turbiedad.

Debido a que a nivel mundial el método SODIS ya se ha aplicado se ha podido determinar parámetros que van a ser utilizados como punto de partida para la presente investigación los cuales serán:

- Selección del recipiente
- Tiempo de exposición

### SELECCIÓN DE RECIPIENTE

Puesto que ya se ha realizado investigaciones para determinar el recipiente más adecuado para la aplicación del método SODIS, se considera los resultados descritos por el Manual SODIS los mismos que se detallan a continuación:

El recipiente que da mayor eficiencia para la aplicación del método SODIS es el llamado PET debido a que son buenos transmisores de luz en el rango UV-A y visible del espectro solar. Las botellas de plástico están hechas de PET (tereftalato de polietileno) contienen aditivos, como estabilizadores UV, para incrementar su estabilidad o proteger a los recipientes y sus contenidos de la oxidación y la radiación UV. Se recomienda el uso de botellas de PET pues las botellas de PET contienen muchos menos aditivos.







Las botellas PET cumplen con las siguientes características:

- Las botellas de PET no superan una profundidad de 10 cm cuando son expuestas horizontalmente al sol.
- Las botellas de PET pueden mantenerse cerradas. De esa manera, se reduce el riesgo de recontaminación del agua purificada.
- Las botellas de PET se encuentran fácilmente disponibles a un bajo costo.
- Las botellas de PET son fáciles de manipular (llenar, transportar) y pueden usarse directamente en la mesa, reduciendo así el riesgo de recontaminación.
- Las botellas de PET son bastante durables. Después de varios meses de aplicación, la botella todavía está en buenas condiciones. Se recomienda usar botellas resistentes (como las botellas retornables) para incrementar el tiempo de vida útil de las botellas y reducir los residuos de material plástico.

BOTELLAS PET	
<b>VENTAJAS</b>	Poco peso
	Relativamente irrompible
	Transparente
	Sabor neutro
	Químicamente estable
<b>DESVENTAJAS</b>	Limitada resistencia térmica (deformación por encima de 65°C)
	Rayaduras y otros efectos de

### TIEMPO DE EXPOSICION

Con el fin de garantizar la desinfección del agua, las botellas deben exponerse al sol desde la mañana hasta la tarde por un mínimo de 6 horas. Es mejor si las botellas se exponen al sol durante todo el día. Es importante saber que las botellas deben exponerse al sol durante las horas de mayor intensidad solar, alrededor del medio día. No basta exponer las botellas a las 6 de la mañana para usar el agua de éstas a la hora del almuerzo. Las botellas deben exponerse al sol desde las 9 de la mañana hasta las 3 de la tarde. No hay ningún problema si las botellas permanecen expuestas durante un período mayor, tampoco si las botellas se quedan en el techo de un día para otro.

Se debe tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

**La eficiencia del Método SODIS depende de la cantidad de energía solar disponible:**

- La botella se debe exponer al sol durante 6 horas si el cielo está despejado o con una nubosidad de hasta el 50%
- La botella se debe exponer al sol durante 2 días consecutivos si el cielo está nublado más del 50%

## 1.2. MARCO TEORICO

### 1.2.1. DESINFECCION DEL AGUA

La desinfección de las aguas se ha utilizado durante mucho tiempo. Dos reglas básicas se pueden ya encontrar en la antigüedad (desde el 2000 a. C.) que decía que las aguas debían ser expuestas a la luz del sol y filtrada con carbón. El agua impura se debía de hervir e introducir un trozo de cobre siete veces, antes de filtrar el agua. Existen descripciones de civilizaciones antiguas en referencia al agua hervida y el almacenamiento del agua en recipientes de plata. Para llevar a cabo la purificación del agua se utilizaban cobre, plata y técnicas de electrólisis.

La desinfección se ha utilizado durante muchos siglos. Sin embargo los mecanismos de desinfección no son conocidos hasta hace unos pocos cientos de años.

En el año 1680 Anthony van Leeuwenhoek desarrolla el microscopio. El descubrimiento de los microorganismos se consideró una curiosidad. Pasarían otros doscientos años hasta que los científicos utilizaran este invento, el microscopio, para la identificación y comparación de microorganismos y otros patógenos.

En siglos pasados el hombre ha sufrido enfermedades como el cólera y otras cuyo origen era mal interpretado. Se decía que estas enfermedades eran causadas por castigos de dios o debido a la impureza del aire que era consecuencia de cambio en la alineación de los planetas.

En 1854 la epidemia de cólera causó gran cantidad de muertos en Londres. El doctor inglés John Snow descubrió que la epidemia del cólera era causada por el bombeo de agua contaminada. La expansión del cólera se evitó mediante el cierre de todos los sistemas de bombeo. Después de este hecho los científicos han realizado estudios e investigación de la presencia de microorganismos en el agua y modo de eliminación para el suministro de agua apta para el consumo.

En el siglo XIX se descubrieron los efectos de los desinfectantes en el agua para el tratamiento y desinfección de la misma. Desde 1900 los desinfectantes se utilizan extensamente por las compañías del agua para evitar la expansión de enfermedades y mejorar la calidad del agua.



El acceso a agua y saneamiento en América Latina todavía es insuficiente. Además, se puede observar diferencias grandes de cobertura tanto entre como también dentro de muchos países. Según el programa conjunto de monitoreo de agua y saneamiento de la OMS y de UNICEF, en 2004 el porcentaje de la población que tenía acceso a una fuente mejorada de agua:

Según Marini y Gragnolati (2003, p.146), “la prevención de enfermedades, acompañadas de mejoras en la calidad y disponibilidad de agua potable y saneamiento son factores críticos para reducir la mala nutrición crónica. La mala nutrición afecta el futuro económico de un país mediante la reducción del potencial intelectual y físico de la población, manteniendo así las condiciones de pobreza.” Las mejoras en los servicios básicos deben incluir mejoras a la infraestructura de agua y saneamiento, acompañados de educación relacionada con el tratamiento de agua, salud en el hogar, y la preparación de alimentos para reducir la exposición a agentes patógenos y la vulnerabilidad a infecciones.

La Organización Mundial de la Salud dice que “ningún tipo de intervención tiene más impacto en el desarrollo nacional y la salud pública que el abastecimiento de agua potable y la disposición adecuada de excrementos humanos” (WHO, FactSheet No. 112 – Water and Sanitation).

Por lo tanto, se plantea analizar la desinfección del agua en el hogar, como dice la Dra. Gro Harlem Brundtland, ExDirectora General de la OMS, “No podemos darnos el lujo de esperar grandes inversiones en infraestructura para brindar agua segura. No tiene sentido y no es aceptable ignorar las prioridades de los más necesitados”.

El acceso a agua potable y saneamiento básico en América Latina es insuficiente y además su calidad es inadecuada. Eso resulta en impactos negativos en la salud pública. La capacidad financiera limitada de los organismos encargados de proveer estos servicios y la institucionalidad débil del sector son factores que limitan las posibilidades de mejorar el acceso y la calidad de agua potable y saneamiento en el continente.

La relación existente entre la calidad del agua y la salud se conoce desde siempre. Las aguas claras se consideraban aguas limpias mientras los pantanos eran considerados zonas sucias y aguas no salobres.

La desinfección del agua para uso humano tiene por finalidad la eliminación de los microorganismos patógenos contenidos en el agua.

La desinfección del agua es necesaria para prevenir que esta sea dañina para nuestra salud, en algunos casos la desinfección es el único tratamiento que se le da al agua para obtener agua potable, por lo que mediante esta se debe realizar de forma



eficiente para evitar los problemas que esta puede causar en la salud pública. La desinfección puede hacerse por medios químicos o físicos.

### Medios químicos

Los compuestos químicos más utilizados para la desinfección del agua son:

- Hipoclorito de sodio ( $\text{NaClO}$ ), Ácido hipocloroso ( $\text{HClO}$ ), Clorito de sodio ( $\text{NaClO}_2$ ). El cloro es uno de los elementos más comunes para la desinfección del agua. El cloro se puede aplicar para la desactivación de la actividad de la gran mayoría de los microorganismos, y es relativamente barato.
- Dióxido de cloro ( $\text{ClO}_2$ )
- Ozono ( $\text{O}_3$ )
- Halógenos: Yodo
- Metales: cobre ( $\text{Cu}^{2+}$ ), plata ( $\text{Ag}^+$ )
- Permanganato ( $\text{KMnO}_4$ )
- Jabones y detergentes
- Sales de amonio
- Peróxido de hidrógeno

### Medios físicos, electro - físicos y/o físico - químicos

Los procesos físicos más utilizados para la desinfección del agua son:

- Generación de ácido hipocloroso mediante proceso de hidrólisis (sin aditivos).
- Luz ultravioleta
- Fotocatálisis
- Radiación electrónica
- Rayos gamma
- Sonido
- Calor

.La Guía de aplicación para la desinfección solar del agua (2005, p.8) recomienda los siguientes métodos de tratamiento de agua de aplicación doméstica:

- **El almacenamiento del agua:** es un método simple, sin embargo sólo puede bajar la turbiedad parcialmente e inactivar los coliformes fecales. El principal riesgo de este método es el riesgo de la recontaminación a través de prácticas de manipulación inadecuadas.

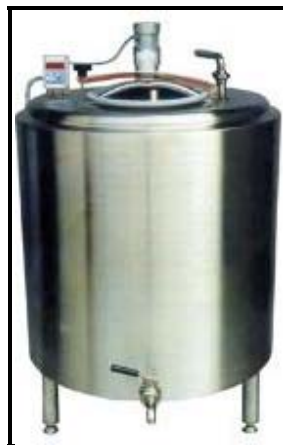




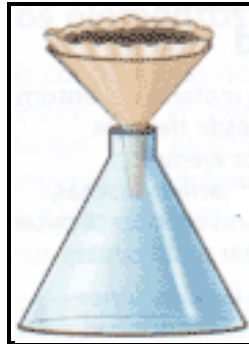
- **Hervir el agua:** inactiva virus, parásitos y bacterias patógenas. Se hierve el agua durante un minuto, al nivel del mar, añadiendo un minuto más por cada 1000 metros de altitud. La principal desventaja de hervir el agua es la gran cantidad de energía requerida, lo que hace que este método no sea económico y ambientalmente insostenible.



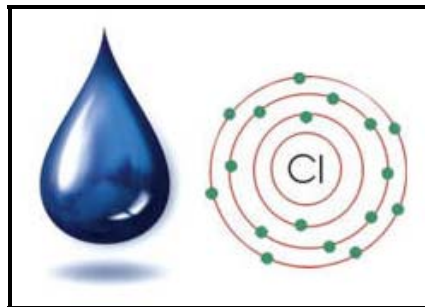
- **La pasteurización:** Logra el mismo efecto que hervir el agua, usando temperaturas de sólo 70 a 75 grados centígrados, pero requiere de un tiempo de exposición mayor, aproximadamente 10 minutos.



- **La filtración:** usando filtros caseros como cerámica, piedra y arena, se elimina una gran parte de la materia sólida, pero posiblemente no elimine todos los microorganismos. Los filtros comerciales son relativamente caros y los filtros fabricados con material local generalmente tienen una poca eficacia limitada con respecto a la mejora en la calidad microbiológica del agua.



- **La desinfección con cloro:** se usa para matar microorganismo (bacterias y virus), pero no es suficientemente efectiva para inactivar a los parásitos patógenos (como la Giardia, el Cryptosporidium y los huevos de helmintos). Este tipo de tratamiento requiere de suministro de cloro en polvo o líquido. La aplicación la debe hacer alguien capacitado pues el cloro es una sustancia peligrosa y corrosiva. Por otro lado el agua tratada con cloro tiene un sabor que puede disgustar a muchas personas.



- **La desinfección solar del agua (SODIS):** es un método de tratamiento simple que usa la radiación solar (luz UV-A y temperatura) para destruir las bacterias y los virus patógenos presentes en el agua. Su eficacia para matar protozoarios depende de la temperatura alcanzada por el agua durante la exposición al sol y de las condiciones climáticas.





### 1.2.2. CALIDAD DEL AGUA

El agua es esencial para la vida y todas las personas deben disponer de un suministro satisfactorio (suficiente, inocuo y accesible). La mejora del acceso al agua potable puede proporcionar beneficios tangibles para la salud. Debe realizarse el máximo esfuerzo para lograr que la inocuidad del agua de consumo sea la mayor posible.

El agua de consumo inocua (agua potable), es aquella que no ocasiona ningún riesgo significativo para la salud cuando se consume durante toda una vida, teniendo en cuenta las diferentes vulnerabilidades que pueden presentar las personas en las distintas etapas de su vida. Las personas que presentan mayor riesgo de contraer enfermedades transmitidas por el agua son los lactantes y los niños de corta edad, las personas debilitadas o que viven en condiciones antihigiénicas y los ancianos. El agua potable es adecuada para todos los usos domésticos habituales, incluida la higiene personal

La gran mayoría de los problemas de salud relacionados de forma evidente con el agua se deben a la contaminación por microorganismos (bacterias, virus, protozoos u otros organismos). No obstante, existe un número considerable de problemas graves de salud que pueden producirse como consecuencia de la contaminación química del agua de consumo.

La calidad del agua es función tanto de la fuente de agua propiamente dicha, como la de su potencial uso.

#### Factores que afectan la calidad del agua:







**Calidad del Agua:** Atributos que presenta el agua, de manera tal, que reúna criterios de aceptabilidad para diversos usos. Incluye todos los factores que influyen en el uso beneficioso del agua:

- Físicos
- Químicos
- Biológicos
- Bacteriológicos

### 1.2.2.1. Parámetros Físicos

#### Sabor y Olor

Estos parámetros son determinaciones organolépticas y de determinación subjetiva, para dichas observaciones no existen instrumentos de observación, ni registro, ni unidades de medida.

Tienen un interés muy evidente en las aguas potables dedicadas al consumo humano y podemos establecer ciertas “reglas”:

Las aguas adquieren un sabor salado a partir de 300 ppm de  $\text{Cl}^-$ , y un gusto salado y amargo con más de 450 ppm de  $\text{SO}_4^{=}$ . El  $\text{CO}_2$  libre en el agua le da un gusto “picante”. Trazas de fenoles u otros compuestos orgánicos le confieren un olor y sabor desagradables.

#### Color

El color es la capacidad de absorber ciertas radiaciones del espectro visible. Existen muchas causas y por ello no podemos atribuirlo a un constituyente en exclusiva, aunque algunos colores específicos dan una idea de la causa que los provoca, sobre todo en las aguas naturales. El agua pura es bastante incolora sólo aparece como azulada en grandes espesores.

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

- Color amarillento debido a los ácidos húmicos.
- Color rojizo, suele significar la presencia de hierro.
- Color negro indica la presencia de manganeso.



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

### Turbiedad

Es la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos y que se presentan principalmente en aguas superficiales, en general son muy difíciles de filtrar y pueden dar lugar a depósitos en las conducciones. La medición se hace por comparación con la turbidez inducida por diversas sustancias, la medición en ppm de SiO<sub>2</sub> ha sido muy utilizada pero se aprecian variaciones según la sílice y la técnica empleadas. Otra forma es mediante célula fotoeléctrica, existen numerosos tipos de turbidímetros.

### Conductividad y Resistividad

La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad y la resistividad es la medida recíproca. El agua pura prácticamente no conduce la electricidad; por lo tanto la conductividad que podamos medir será consecuencia de las impurezas presentes en el agua. El aparato para las mediciones se llama conductímetro, y básicamente lo que hace es medir la resistencia al paso de la corriente entre dos electrodos que se introducen en el agua, y se compara para su calibrado con una solución tampón de ClK a la misma temperatura y 20 °C. La unidad para la resistividad es el Ohm, pero se emplea el MegaOhm por cm, la de la conductividad es el Siemens, pero como es muy grande se suele emplear el micro siemens por cm. La siguiente tabla que nos dará una idea según la medida o la composición del agua.

CONDUCTIVIDAD	
Temperatura de la muestra 25 °C	Conductividad (µS/cm)
Agua Ultra pura	0,05
Agua alimentación calderas	1 a 5
Agua Potable	50 a 100
Agua de Mar	53
5% de NaOH	223
50% NaOH	150
10% ClH	700
32% de ClH	700
31% NO <sub>3</sub> H	865



### 1.2.2.2. Parámetros Químicos

#### **PH**

Es la medida de la concentración de los iones hidrógeno. Nos mide la naturaleza ácida o alcalina de la solución acuosa.

La mayoría de las aguas naturales tienen un pH entre 6 y 8.

#### **Dureza**

La es producida por la presencia de sales de calcio y magnesio y mide la capacidad de un agua para producir incrustaciones.

Afecta tanto a las aguas domésticas como a las industriales. La eliminación de la dureza se hace, principalmente, por descalcificación o ablandamiento por intercambio iónico con resinas.

#### **Alcalinidad**

La alcalinidad es una medida de neutralizar ácidos. Contribuyen, principalmente, a la alcalinidad de una solución acuosa los iones bicarbonato ( $\text{CO}_3\text{H}^-$ ), carbonato ( $\text{CO}_3^{=}$ ), y oxidrilo ( $\text{OH}^-$ ), pero también los fosfatos, ácido silícico u otros ácidos de carácter débil. Su presencia en el agua puede producir  $\text{CO}_2$  en el vapor de calderas que es muy corrosivo y también puede producir espumas, arrastre de sólidos con el vapor de calderas, etc. Se mide en las mismas unidades que la dureza. Se corrige por descarbonatación con cal, tratamiento ácido o desmineralización por intercambio iónico.

#### **Coloides**

Es una medida del material en suspensión en el agua que, por su tamaño alrededor de  $10^{-4}$  ~  $10^{-5}$  mm, se comportan como una solución verdadera y atraviesa el papel de filtro.

Los coloides pueden ser de origen orgánico (macromoléculas de origen vegetal) o inorgánico (oligoelementos: óxidos de hierro y manganeso).

#### **Acidez mineral**

La acidez es la capacidad para neutralizar bases. Es bastante raro que las aguas naturales presenten acidez, no así las superficiales. Es responsable de corrosión se



mide en las mismas unidades que la alcalinidad y se corrige por neutralización con álcalis.

### **Sólidos Disueltos**

Los sólidos disueltos o salinidad total, es una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua.

El origen puede ser múltiple tanto en las aguas subterráneas como en las superficiales.

Para las aguas potables se fija un valor máximo deseable de 500 ppm, este dato por sí sólo no es suficiente para catalogar la bondad del agua.

### **Sólidos en Suspensión**

Se suelen separar por filtración y decantación. Son sólidos sedimentables, no disueltos, que pueden ser retenidos por filtración. Las aguas subterráneas suelen tener menos de 1 ppm, las superficiales pueden tener mucho más dependiendo del origen y forma de captación.

### **Sólidos Totales**

Es la suma de los dos anteriores disueltos y en suspensión.

### **Residuo Seco**

Se llama así al peso de los materiales que quedan después de evaporar un litro del agua en cuestión. Si previamente le hemos hecho una buena filtración corresponderá al peso total de sustancias disueltas, sean volátiles o no. La temperatura a que se hace la evaporación influye en los resultados, por las transformaciones que puede haber y las pérdidas, por ejemplo, de gas carbónico CO<sub>2</sub>.

### **Cloruros**

El ión cloruro Cl<sup>-</sup>, forma sales muy solubles, suele asociarse con el ión Na<sup>+</sup> esto lógicamente ocurre en aguas muy salinas. Las aguas dulces contienen entre 10 y 250 ppm de cloruros, pero también se encuentran valores muy superiores fácilmente. Las aguas salobres contienen millares de ppm de cloruros, el agua de mar está alrededor de las 20.000 ppm de cloruros.

### **Sulfatos**

El ión sulfato (SO<sub>4</sub><sup>=</sup>), corresponde a sales de moderadamente solubles a muy solubles. Las aguas dulces contienen entre 2 y 250 ppm y el agua de mar alrededor de



3.000 ppm. Recordemos, como ya hemos dicho, que el agua pura se satura de  $\text{SO}_4\text{Ca}$  a unas 1.500 ppm, lo que ocurre es que la presencia de otras sales de calcio aumenta la solubilidad. En cantidades bajas no perjudica seriamente al agua pero algunos centenares de ppm pueden perjudicar seriamente la resistencia del hormigón.

### **Nitratos**

El ión nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) forma sales muy solubles y estables. En un medio reductor puede pasar a nitritos, nitrógeno e incluso amoníaco. Las aguas normales contienen menos de 10 ppm, y el agua de mar hasta 1 ppm. Aguas con infiltraciones de zona de riego con contaminación por fertilizantes pueden tener hasta varios centenares de ppm. Su presencia junto con fosfatos, en aguas superficiales, provocan la aparición de un excesivo crecimiento de algas es lo que se conoce como eutrofización.

### **Fosfatos**

El ión fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) en general forma sales muy poco solubles y precipita fácilmente como fosfato cálcico. Como procede de un ácido débil contribuye, como ya hemos visto, a la alcalinidad del agua. No suele haber en el agua más de 1 ppm, salvo en los casos de contaminación por fertilizantes.

### **Fluoruros**

El ión fluoruro ( $\text{F}^-$ ), corresponde a sales de solubilidad muy limitada, suele encontrarse en cantidades superiores a 1 ppm. Hay quien mantiene que alrededor de dicha concentración puede resultar beneficioso para la dentadura, en nuestra opinión no es aconsejable añadirlo al agua con este objeto, ya que también se almacena en el organismo y no existen estudios a largo plazo de efectos secundarios.

### **Sílice**

La sílice,  $\text{SiO}_2$  se encuentra en el agua disuelta como ácido silícico  $\text{SiO}_4\text{H}_4$  y como materia coloidal; contribuye a provocar algo de alcalinidad en el agua. Las aguas naturales contienen entre 1 y 40 ppm, pudiendo llegar a las 100 ppm.

### **Bicarbonatos y Carbonatos**

Como ya hemos visto anteriormente, existe una estrecha relación entre los iones bicarbonato  $\text{CO}_3\text{H}^-$ , carbonato  $\text{CO}_3^{2-}$ , el  $\text{CO}_2$  gas y el  $\text{CO}_2$  disuelto.

El equilibrio, como ya vimos, está muy afectado por el pH; todos estos iones contribuyen, fundamentalmente, a la alcalinidad del agua.



Las aguas dulces suelen contener entre 50 y 350 ppm de ión bicarbonato, y si el pH es inferior a 8,3, no habrá ión bicarbonato. El agua de mar contiene alrededor de 100 ppm de ión bicarbonato.

### Otros Componentes Aniónicos

Los sulfuros,  $S^{2-}$ , y el ácido sulfhídrico son muy característicos de medios reductores, pero en general las aguas contienen menos de 1 ppm, su principal característica es que el agua tiene muy mal olor. Los compuestos fenólicos afectan a la potabilidad, con olores y gustos especialmente desagradables, sobre todo después de un proceso de cloración. Los detergentes son ligeramente tóxicos y presentan problemas de formación de espumas y consumen el oxígeno del agua. Los ácidos húmicos pueden afectar a procesos de pretratamientos e intercambio iónico.

### Sodio

El ión sodio,  $Na^+$ , el primero de los componentes catiónicos que vamos a tratar corresponde a sales de solubilidad muy elevada y muy difíciles de precipitar; suele estar asociado con el ión cloruro  $Cl^-$ . El contenido en aguas dulces está entre 1 y 150 ppm, pero se pueden encontrar casos de hasta varios miles de ppm. Las aguas de mar contienen alrededor de 11.000 ppm.

### Potasio

El ión potasio,  $K^+$ , también corresponde a sales de muy alta solubilidad y difíciles de precipitar.

Las aguas dulces no suelen contener más de 10 ppm. El agua de mar contiene alrededor de 400 ppm. Vemos que son valores mucho menos importantes que los del catión sodio.

### Calcio

El ión calcio,  $Ca^{++}$ , forma sales generalmente poco solubles, en algunos casos de solubilidad muy moderada pero la mayoría son muy insolubles. Ya hemos visto que precipita fácilmente como carbonato cálcico. Es el principal componente de la dureza del agua y causante de incrustaciones.

Las aguas dulces suelen contener de 10 a 250 ppm, pudiendo llegar hasta 600 ppm. El agua de mar alrededor de 400 ppm.



## Magnesio

El ión magnesio,  $Mg^{++}$ , tiene propiedades muy similares a las del ión calcio, aunque sus sales son un poco más solubles y difíciles de precipitar. El hidróxido de magnesio es, sin embargo, menos soluble. Las aguas dulces suelen contener entre 1 y 100 ppm. El agua de mar contiene alrededor de 1.300 ppm. Su aparición en el agua potable con varios centenares de ppm provoca un sabor amargo y efectos laxantes.

## Hierro

Es un catión muy importante desde el punto de vista de contaminación, aparece en dos formas: ión ferroso,  $Fe^{++}$ , o más oxidado como ión férrico,  $Fe^{+++}$ . La estabilidad y aparición en una forma u otra depende del pH, condiciones oxidantes o reductoras, composición de la solución, etc. Afecta a la potabilidad de las aguas y es un inconveniente en los procesos industriales por provocar incrustaciones.

Por todo lo anterior, las aguas subterráneas sólo contienen el ión ferroso disuelto, que suele aparecer con contenidos entre 0 y 10 ppm, pero al airear el agua se precipita el hidróxido férrico de color pardo-rojizo, y se reduce el contenido a menos de 0,5 ppm. Para que parezcan contenidos de hierro de varias docenas de ppm hacen falta que el medio sea ácido.

## Manganeso

El ión manganeso se comporta en la mayoría de los casos muy parecido al ión hierro, además de poder ser bivalente y trivalente positivo puede también presentarse con valencia +4 formando el  $MnO_2$  que es insoluble. Rara vez el agua contiene más de 1 ppm y requiere un pH ácido.

La forma manganeso  $Mn^{++}$  que es la más general por aireación se oxida y precipita con un color negruzco de  $MnO_2$ .

## Metales tóxicos

Los más comunes son el arsénico, el cadmio, el plomo, el cromo, el bario y el selenio. Todos deben ser seriamente controlados en el origen de la contaminación.

## Gases Disueltos

El dióxido de carbono,  $CO_2$ , es un gas relativamente soluble que se hidroliza formando iones bicarbonato y carbonato, en función del pH del agua. Las aguas subterráneas profundas pueden contener hasta 1.500 ppm pero las superficiales se sitúan entre 1 y 30 ppm, un exceso hace que el agua sea corrosiva.





El oxígeno,  $O_2$ , por su carácter oxidante juega un papel importante en la solubilización o precipitación de iones que presenta alguna forma insoluble, su presencia en el agua es vital para la vida superior y para la mayoría de los microorganismos.

El ácido sulfhídrico,  $SH_2$ , causa un olor a huevos podridos y es corrosivo.

El amoníaco,  $NH_3$ , es un indicador de contaminación del agua, y en forma no iónica es tóxico para los peces. Con la cloración produce cloraminas, también tóxicas.

### 1.2.2.3. Parámetros Biológicos

Estos parámetros son indicativos de la contaminación orgánica y biológica; tanto la actividad natural como la humana contribuyen a la contaminación orgánica de las aguas: la descomposición animal y vegetal, los residuos domésticos, detergentes, etc.

Este tipo de contaminación es más difícil de controlar que la química o física y además los tratamientos deben estar regulándose constantemente.

#### **Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)**

Mide la cantidad de oxígeno consumido en la eliminación de la materia orgánica del agua mediante procesos biológicos aerobios, se suele referir al consumo en 5 días (DBO5), también suele emplearse, pero menos el (DBO21) de 21 días. Se mide en ppm de  $O_2$  que se consume.

En las aguas superficiales es muy variable y dependerá de las fuentes contaminantes aguas arriba. En las aguas residuales domésticas se sitúa entre 100 y 350 ppm. En las aguas industriales puede alcanzar varios miles de ppm.

#### **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Mide la capacidad de consumo de un oxidante químico, dicromato, permanganato, por el total de materias oxidables orgánicas e inorgánicas. Es un parámetro más rápido que el anterior ya que es de medición casi inmediata, la unidad de medida son ppm de  $O_2$ .

Las aguas no contaminadas tienen valores de DQO de 1 a 5 ppm. Las aguas residuales domésticas están entre 260 y 600 ppm.

#### **Carbón Orgánico Total**

El COT es una medida del contenido de materia orgánica del agua. Es especialmente utilizable en pequeñas concentraciones. En presencia de un catalizador, el carbón



orgánico se oxida a CO<sub>2</sub>; últimamente se está popularizando por la rapidez en la realización del análisis.

#### 1.2.2.4. Parámetros Bacteriológicos

De todo el mundo es conocido que el “gran enemigo” es la bacteria Escherichiacoli y el grupo de los coliformes en su conjunto.

Generalmente se emplea un grupo de bacterias como indicadores de contaminación, esto es una práctica generalizada en todo el mundo, se supone que la NO presencia de estas bacterias hace que el agua sea potable bacteriológicamente hablando. Son:

- Escherichia coli
- Streptococosfecales
- Clostridios (anaerobios y formadores de esporas).

La medición se hace empleando técnicas estadísticas “número más probable” (índice NMP) en 100 ml de agua.

Las aguas con un NMP inferior a 1 son satisfactoriamente potables.

#### 1.2.3. MÉTODO DE DESINFECCION SOLAR (SODIS)

##### 1.2.3.1. Desarrollo del método SODIS

La investigación sobre la desinfección solar del agua la inició el profesor AftimAcra de la American University de Beirut. El trabajo de Acra motivó a la Asociación de Sistemas Integrales de Energía Rural (INRESA) a lanzar un proyecto ramificado en 1985.

En 1988, el BraceResearchInstitute de Montreal organizó un taller para revisar los resultados de esta investigación de campo.

En 1991, un equipo interdisciplinario compuesto por ingenieros sanitarios, fotoquímicos, bacteriólogos y virólogos de EAWAG/SANDEC inició exhaustivas pruebas de laboratorio y de campo para evaluar el potencial de SODIS y desarrollar un método de tratamiento del agua eficaz, sostenible y de bajo costo.

En el pasado, se han usado dos procesos distintos para el tratamiento del agua usando energía solar con el fin de mejorar la calidad microbiológica del agua. El primero, la radiación UV, se ha usado por su efecto bactericida; el segundo, la radiación infrarroja para elevar la temperatura del agua, se conoce como pasteurización. Durante la primera fase de la investigación, los investigadores de



EAWAG combinaron los dos efectos y descubrieron una fuerte sinergia entre la radiación y el calor. Los experimentos demostraron que a una temperatura del agua de 50°C, sólo se necesita la cuarta parte de la cantidad de luz UV requerida a 30°C para inactivar la misma cantidad de coliformes fecales. A una temperatura del agua de unos 30°C, se requiere alcanzar una intensidad de radiación solar de por lo menos 500 W/m<sup>2</sup> (toda luz espectral) durante unas 5 horas para lograr una efectividad adecuada de SODIS.



Durante la segunda fase del proyecto de investigación, se probaron varios tipos de recipientes en condiciones de campo, usando diferentes calidades del agua y condiciones climáticas. Se usaron materiales disponibles localmente, como botellas de plástico, vidrio y bolsas de plástico. Durante la fase de prueba, los investigadores elaboraron guías de operación para el método de tratamiento del agua.

Durante la tercera fase, se estudió la aceptación sociocultural, la aplicabilidad y la viabilidad financiera de SODIS a través de proyectos de demostración en comunidades de Colombia, Bolivia, Burkina Faso, Togo, Indonesia, Tailandia y China. El estudio para determinar la aceptación sociocultural de SODIS reveló que los usuarios aprecian la sostenibilidad y simplicidad de este método de tratamiento del agua.

Estos experimentos fueron financiados conjuntamente por EAWAG y la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (CONSUDE).

En 1999, SODIS ganó el premio SIMAVI en la Conferencia Mundial del Agua. En el 2000, la Organización Mundial de la Salud (OMS), promocionó SODIS durante el Día Mundial del Agua.

En el 2001 hasta la fecha se han estado haciendo proyectos a gran escala en diferentes países del mundo en vía de desarrollo.

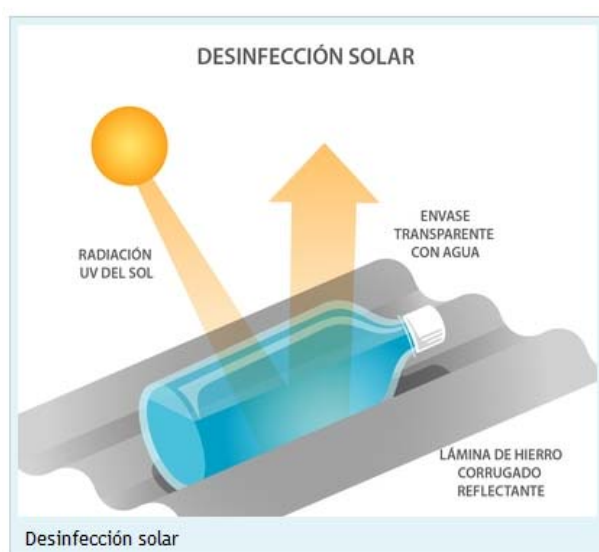
Actualmente se encuentra en la fase de difusión y aplicación a nivel mundial a través de EAWAG/SANDEC y de las organizaciones locales de los países en vía de desarrollo.

Un promedio de 84% de los usuarios señaló que definitivamente continuaría usando SODIS luego de concluidos los proyectos de demostración. Aproximadamente 13% de ellos señaló que consideraría usarlo en el futuro y sólo 3% de los usuarios se rehusó a usar SODIS en la medida que su salud no se veía afectada por la calidad del agua que venía consumiendo.

### 1.2.3.2. Científico

Debido a la falta de acceso al agua segura de miles de familias de América Latina, se debe buscar alternativas de prevención para aquellas familias que en los próximos años no tendrán acceso a los sistemas convencionales de abastecimiento de agua potable, por lo cual se propone: Retomar la promoción de desinfección de agua en el hogar, su manipuleo adecuado y el lavado de manos, con un enfoque hacia el cambio de comportamientos para así crear “un escudo contra las diarreas”, como una medida de prevención, hasta que lleguen los sistemas de agua potable convencionales. Por lo anterior, el método SODIS es una “solución simple” que ayuda a salvar vidas de las familias más necesitadas.

La Desinfección Solar del Agua (SODIS) es una solución simple, de bajo costo y ambientalmente sostenible para el tratamiento de agua para consumo humano a nivel doméstico en lugares en que la población consume agua cruda y microbiológicamente contaminada (lo cual causa enfermedades). Wegelin, M. (2002, p.) dice: “El método SODIS es un sencillo tratamiento que permite mejorar la calidad del agua y elimina bacterias y otros microorganismos que contaminan el agua, por medio de la luz solar. El agua contaminada se introduce en una botella plástica y se expone durante 6 horas a la acción de la luz solar”



El método SODIS utiliza la radiación solar para inactivar y destruir los microorganismos patógenos presentes en el agua. El tratamiento consiste básicamente en llenar botellas de plástico transparente de agua contaminada, y exponerlas a la luz del sol durante aproximadamente seis horas y al llegar la noche, se colocan en posición vertical, para que el agua purificada se decante de las partículas de minerales precipite.



Según Litter (2002) “el método cumple con amplitud los criterios económicos y de factibilidad: las botellas de plástico son un residuo de consumo habitual, y se encuentran fácilmente en las regiones que padecen el problema; pueden usarse no sólo para el tratamiento del agua sino también para su transporte y para el consumo final.

El uso permanente de las botellas de plástico evita el riesgo de recontaminación por trasvases. De los materiales plásticos probados, el que hasta el momento ha mostrado ser mejor es el PET “Tereftalano de Polietileno” (Tereftalato de polietileno, politereftalato de etileno, polietilentereftalato o polietileno Tereftalato es un tipo de plástico muy usado en envases de bebidas y textiles. Químicamente el PET es un polímero que se obtiene mediante una reacción de policondensación entre el acidotereftalano y el etilenglicol, pertenece al grupo de materiales sintéticos denominados poliésteres)

#### 1.2.3.4. Efecto de la radiación UV-A y de la temperatura

SODIS usa dos componentes de la luz solar para la desinfección del agua: El primero, la radiación UV-A, tiene efecto germicida y el segundo componente, la radiación infrarroja, eleva la temperatura del agua y genera el efecto de pasteurización cuando la temperatura llega a 70-75°C. El uso combinado de la radiación UV-A y del calor produce un efecto de sinergia que incrementa la eficacia del proceso.

#### **Efectos de la radiación UV**

La radiación solar puede dividirse en tres rangos de longitud de onda: radiación UV, luz visible y radiación infrarroja. El ojo humano no puede percibir la radiación UV que tiene un rango de radiación muy agresiva que puede causar daños severos a la piel y los ojos y puede destruir las células vivas. Afortunadamente, la mayoría de la luz UV-C y UV-B en el rango de 200 a 320 nm es absorbida por la capa de ozono (O<sub>3</sub>) en la atmósfera que protege a la tierra de un gran porcentaje de la radiación solar proveniente del espacio. Sólo una fracción de la radiación UV A, con un rango de longitud de onda más alto, 320 a 400nm, cercano a la luz violeta visible, llega a la superficie de la tierra.

La luz UV-A tiene un efecto letal en los patógenos presentes en el agua que afectan a los humanos. Estos patógenos no se adaptan bien a las condiciones ambientales agresivas, pues sus condiciones de vida específicas son las del tracto gastrointestinal humano.



Por lo tanto, son más sensibles a la luz solar que los organismos que abundan en el ambiente.

La radiación UV-A interactúa directamente con el ADN, los ácidos nucleicos y las enzimas de las células vivas, cambia la estructura molecular y puede producir la muerte de la célula. La radiación UV también reacciona con el oxígeno disuelto en el agua y produce formas altamente reactivas de oxígenos (radicales libres de oxígeno y peróxidos de hidrógeno). Estas moléculas también interfieren con las estructuras celulares y matan a los patógenos.

### **Efectos de la temperatura (radiación infrarroja)**

Otro aspecto de la luz solar es la radiación de onda larga, denominada infrarroja. Esta radiación tampoco la puede ver el ojo humano, pero podemos sentir el calor producido por la luz con una longitud de onda superior a 700nm. La radiación infrarroja absorbida por el agua es responsable de su calentamiento. Los microorganismos son sensibles al calor. El cuadro 4 presenta la temperatura y el tiempo de exposición necesarios para eliminar microorganismos. Puede verse que el agua no tiene que hervir para matar el 99.9% de los microorganismos y el calentamiento del agua a 50- 60°C durante una hora tiene el mismo efecto.

### **1.2.3.5. Efecto de SODIS en los patógenos**

Los patógenos que afectan a los humanos se adaptan a vivir en los intestinos de las personas, donde encuentran un ambiente húmedo y oscuro y temperaturas que oscilan entre los 36°C y los 37°C. Una vez descargados en el medio ambiente, estos patógenos son muy sensibles a las condiciones fuera del cuerpo humano. No pueden tolerar temperaturas elevadas y no tienen ningún mecanismo de protección contra la radiación UV. Por lo tanto, es posible usar la temperatura y la radiación UV para inactivar a estos patógenos. Las investigaciones han demostrado que SODIS destruye las bacterias y los virus patógenos. Se ha documentado la inactivación de los siguientes microorganismos:

- Bacterias: Escherichiacoli (E.coli), Vibrio cholerae, Streptococcusfaecalis, Pseudomonasaerugenosa, Shigellaflexneri, Salmonella typhii, Salmonella enteritidis, Salmonella paratyphi.
- Virus: Bacteriófagos f2, Rotavirus, Virus de la Encefalomiocarditis.
- Levaduras y mohos: Aspergillus niger, Aspergillus flavus, Candida, Geotrichum.

Sin embargo, todavía no se ha evaluado sistemáticamente la inactivación de organismos que forman quistes esporas como protozoarios, Entamoebahystolitica, Giardiaintestinalis, Cryptosporidiumparvum y helmintos, mediante la desinfección solar





del agua, por lo que sería muy importante una investigación en nuestro medio ya que este es uno de los problemas con mayor incidencia en nuestra población.

Es posible destruir estos organismos usando la temperatura (hirviendo o pasteurizando el agua). Todos los microorganismos tienen una sensibilidad específica al calor. El punto de muerte térmica de los quistes de amebas y Giardia es 57°C (durante 1 minuto de exposición). SODIS destruirá eficazmente estos patógenos si el agua en las botellas expuestas a la luz solar alcanza la temperatura de 57°C durante 1 minuto.

La mayoría de patógenos que ataca a los humanos es muy frágil; fuera del cuerpo humano no puede multiplicarse y muere. Una de las pocas excepciones la constituye la Salmonella, la cual, sin embargo, requiere condiciones ambientales favorables (como un suministro adecuado de nutrientes) para sobrevivir.

Es importante señalar que SODIS no produce agua estéril. Organismos, diferentes a los patógenos que afectan a los humanos, por ejemplo las algas, se adaptan bien a las condiciones ambientales dentro las botellas de SODIS y pueden incluso desarrollarse allí; sin embargo, estos organismos no representan un peligro para la salud humana.

En la medida que SODIS no produce agua estéril, es necesario usar parámetros adecuados para evaluar su eficacia, entre estos se puede considerar.

### **INDICADORES USADOS PARA PROBAR LA EFICACIA DE SODIS**

Muchos patógenos transmitidos por el agua pueden ser detectados, pero se requiere de métodos analíticos complicados y costosos.

En vez de medir directamente la presencia de patógenos, es más fácil detectar organismos indicadores que señalan la presencia de contaminación fecal en el agua. Un organismo indicador de contaminación fecal tiene que cumplir los siguientes requisitos:

- Estar presente en altas cantidades en las heces humanas.
- Ser detectable mediante métodos simples.
- No crecer en aguas naturales.
- Su persistencia en el agua y su remoción mediante métodos de tratamiento del agua deben ser similares a los de los patógenos transmitidos por agua.

Muchos de estos criterios los cumple el organismo conocido como Escherichia coli (E. coli, coliforme fecal). El E. coli es un buen organismo indicador para determinar la contaminación fecal del agua si los recursos para el análisis bacteriológico son limitados.





También es posible realizar pruebas paradedetectar la presencia de E. coli en condicionesde campo, por ejemplo usando el“kit” portátil denominado “Del Agua” parapuebas en campo con los cuales se puede determinar las características del agua expuestas a la desinfección solar.

Sin embargo, algunos organismos, como los enterovirus, el Cryptosporidium, la Giardia y las amebas son más resistentes que el E. coli. Por lo tanto, la ausencia de E. coli no indica necesariamente que los otros organismos no estén presentes. Es posible usar las esporas de clostridia, que reducen el sulfito, como indicadores de la presencia de estos organismos, pero tales métodos analíticos no se pueden usar para pruebas rutinarias en condiciones de campo, pues demandan mucho tiempo y son costosos.

Las bacterias coliformes totales no se pueden tomar como indicador de la calidad sanitariadel agua cruda, pues abundan naturalmenteen el ambiente.El recuento total de bacterias tampoco es un parámetro adecuado para la evaluación dela eficacia de SODIS, pues organismos inocuos,como las bacterias ambientales y las algas,pueden crecer durante la exposición de unabotella de SODIS a la luz solar.

#### 1.2.3.6. El factor clima

La eficacia de SODIS depende de la cantidad de luz solar disponible; sin embargo, la radiación solar se distribuye de manera irregular y su intensidad varía de una ubicación geográfica a otra, dependiendo de la latitud, la estación y la hora del día.

#### VARIACIÓN GEOGRÁFICA DE LA RADIACIÓN SOLAR

Las regiones más favorables para aplicar SODIS se ubican entre las latitudes 15°N y 35°N (así como 15°S y 35°S). Estas regiones semiáridas se caracterizan por la mayor cantidad de radiación solar. Más del 90% de la luz solar toca la tierra como radiación directa, debido a la limitada cobertura nubosa y la poca precipitación (menos de 250 mm de precipitación y generalmente más de 3000 horas de luz solar anualmente). La segunda región más favorable está ubicada entre la latitud 15°N y 15°S. Debido a la alta humedad y la frecuente cobertura nubosa, la cantidad de radiación, a pesar de ser intermitente, es alta en esta región (unas 2,500 horas de luz solar anualmente). Es importante señalar que la mayoría de países endesarrollo están ubicados entre la latitud 35°N y 35°S. Por lo tanto, pueden basarse en la radiación solar como fuente de



energía para la desinfección solar del agua para consumo humano. Variaciones estacionales y diarias de la radiación solar.

La intensidad de la radiación solar UV-A muestra variaciones estacionales y diarias. La variación estacional depende de la latitud y es la principal responsable del clima en la región. Las regiones cerca de la línea ecuatorial experimentan menos variación en la intensidad de la luz durante el año que las regiones en el hemisferio norte o sur.

Para que SODIS sea eficaz, es necesario contar con una intensidad total de radiación solar de por lo menos 500 W/m durante aproximadamente 6 horas. La intensidad solar también está sujeta a variaciones diarias. Al incrementarse la nubosidad, se cuenta con menos energía de radiación. Durante días completamente nublados, la intensidad de la radiación UV-A se reduce a un tercio de la intensidad registrada durante un día despejado.

Durante días muy nublados, las botellas de SODIS tienen que estar expuestas durante dos días consecutivos para alcanzar la radiación requerida y garantizar la inactivación de los patógenos.

#### 1.2.3.7. Turbiedad del agua

Las partículas suspendidas en el agua reducen la penetración de la radiación solar en el agua e impiden que los microorganismos sean irradiados. Por lo tanto, la eficacia de desinfección de SODIS se ve reducida en agua turbia.

Si la turbiedad del agua es mayor a 30 UNT, es necesario pre tratar el agua antes de exponerla a la luz solar; es recomendable para fuentes superficiales utilizar algún método de pre tratamiento que nos ayude a disminuir la turbiedad existente.

Los sólidos y partículas más grandes se pueden eliminar almacenando el agua cruda durante un día y dejando que las partículas se asienten en el fondo y luego, se decanta el agua. Se puede separar la materia sólida mediante filtración, usando una capa de arena o un paño. También se puede reducir la turbiedad mediante floculación/sedimentación, usando sulfato de aluminio o semillas trituradas de Moringa oleífera.

De no ser posible reducir la turbiedad mediante diferentes mecanismos de pre tratamiento, es posible inactivar los microorganismos mediante el aumento la temperatura esto se lo puede conseguir hirviendo el agua.

#### 1.2.3.8. Oxígeno



SODIS es más eficaz en agua con altos niveles de oxígeno: la luz solar produce formas altamente reactivas de oxígeno (radicales libres de oxígeno y peróxidos de hidrógeno) en el agua. Estas moléculas reactivas reaccionan con las estructuras celulares y matan a los patógenos.

La aeración del agua puede lograrse agitando una botella llena en sus tres cuartas partes durante unos 20 segundos, antes de llenarla completamente y exponerla al sol.

#### 1.2.3.9. Ventajas del método SODIS

- SODIS mejora la calidad microbiológica del agua para consumo humano.
- SODIS mejora la salud de la familia.
- SODIS brinda a los usuarios individuales un método simple que se puede aplicar a nivel del hogar bajo su propio control y responsabilidad.
- SODIS es fácil de entender.
- SODIS está al alcance de todos, pues los únicos recursos necesarios son la luz solar, que es gratis, y botellas de plástico.
- SODIS no requiere de gran infraestructura costosa, por lo que es fácilmente replicable en proyectos de autoayuda
- SODIS reduce la necesidad de fuentes tradicionales de energía, como la leña, el kerosén y el gas. En consecuencia, el uso de SODIS reduce tanto la deforestación, un problema ambiental importante en la mayoría de los países en desarrollo, como la contaminación del aire creada por la combustión de fuentes convencionales de energía. Las mujeres y los niños con frecuencia dedican gran parte de su tiempo y energía en recoger leña.
- Ventajas financieras: Es posible reducir los gastos familiares, al mejorar la salud de sus integrantes, ya que se requieren menos recursos financieros para la atención médica, por lo tanto, incluso los más pobres pueden tener acceso a SODIS.

#### 1.2.3.10. Limitaciones

- SODIS requiere suficiente radiación solar; por lo tanto, depende de las condiciones climáticas.
- SODIS requiere que el agua no esté turbia ( $\geq 30$  UT)
- SODIS no cambia la calidad química del agua.
- SODIS no es útil para tratar grandes volúmenes de agua.
- El agua tratada con el método SODIS debe ser consumida hasta 24h después de abierta la botella que fue expuesta al método SODIS puesto que se produce la recontaminación del agua al estar en contacto con el ambiente.



## CAPITULO II

### 2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 2.2. INTERROGANTES DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación pretende determinar:

- ¿Es eficiente el Método de desinfección solar (SODIS) para las fuentes superficiales existentes en la ciudad de Cuenca?
- ¿Es aplicable la desinfección solar en el agua del Rio Tomebamba por sus características?
- ¿Existen comunidades que pueden utilizar este método para la desinfección de agua para consumo domestico?
- ¿Se puede aplicar la desinfección solar en el agua del Rio Tomebamba, en las condiciones climatológicas presentadas durante los meses de investigación?
- ¿Las condiciones de agua obtenidas después de aplicado el método han sufrido variaciones?
- ¿Se puede considerar esta agua resultante apta para el consumo domestico?

### 2.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA



Los servicios públicos de los países en vías de desarrollo, como es el caso de nuestro país, no suelen ser capaces de producir y distribuir agua en unas condiciones de potabilidad que la hagan adecuada para el consumo, esta problemática se ve agravada en las zonas rurales, y en nuestra ciudad también está afectada, la desinfección del agua para consumo doméstico no se la realiza en algunos de los casos y en otros el tratamiento que se le da no es del todo confiable, en estas zonas el suministro de agua suele ser una tarea que asume cada hogar de forma individual.

Directamente asociado a la salud está el consumo, calidad y disponibilidad del agua. Estos tres componentes, separada o conjuntamente, han determinado una gran cantidad de problemas de salud que afectan a vastos sectores de la población mundial, aproximadamente, el 40% de la población mundial sufre en la actualidad por falta de agua, y se ha comprobado que en los países del tercer mundo o en vías de desarrollo,



más del 80% de las enfermedades tienen su origen en esta carencia o en las condiciones insalubres del agua que utilizan.

Nuestro organismo, en condiciones normales pierde diariamente alrededor de 3 litros de agua. Esta pérdida se produce a través de:

- Respiración: 0,4 litros que representa el 14%
- La orina: 1,5 a 2 litros que representa el 54%
- La transpiración : 0,6 litros representa el 21%
- Heces Fecales : 0,1 a 0,3 litros representa el 11%

Esta pérdida de agua nos hace sentir sed. Por lo tanto, en condiciones normales, el organismo de las personas necesita reponer, diariamente, más o menos 3 litros de agua. Lo cual se logra a través de la ingesta de agua limpia o potable, aproximadamente 1 litro y medio; comiendo alimentos, éstos contribuyen con alrededor de un litro de agua, los azúcares consumidos, son metabolizados en el interior de nuestro organismo, y este proceso aporta aproximadamente 0,35 litros de agua.

A nivel doméstico el agua se puede almacenar, hervir, filtrar o tratar con cloro. Estos métodos pueden fallar debido a su limitada eficacia, a su costo o al sabor desagradable que queda en el agua. Todas estas razones hacen que el método de desinfección del agua deba cumplir las siguientes condiciones:

- Producir agua potable adecuada para el consumo.
- Ser aplicable a nivel doméstico (Por cada persona se necesita aproximadamente 1,5 litros de agua para bebida).
- Sencillo de aplicar.
- Utilizar los recursos locales y las fuentes de energía renovables.
- Poder reproducirse con unos costes de inversión bajos.

Para la investigación se dividió en tres fases:

- Fase 1: Fundamentación teórica
- Fase 2: Experimentos en campo y análisis de laboratorio para determinación de resultados con el método SODIS.
- Fase 3: Determinación de resultados, conclusiones y recomendaciones.

## 2.4. OBJETIVOS

### 2.4.1. OBJETIVO GENERAL



- Analizar el agua del Rio Tomebamba sometida al método de desinfección solar.

#### 2.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar la literatura existente sobre la desinfección de agua.
- Estudiar la literatura referente a la desinfección solar
- Identificar las normativas de desinfección de agua existentes y determinar si el agua que se tiene como resultado de la desinfección solar cumple estas normativas.
- Determinar las características del agua con las que se puede optar por la desinfección solar.
- Determinar los principios por los que se produce la desinfección solar.
- Determinar el tiempo de exposición solar a la que se debe poner la muestra para obtener los mejores resultados.
- Identificar y analizar las principales ventajas y desventajas de utilizar el método de desinfección solar.

#### 2.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En nuestro país, tanto como en la ciudad de Cuenca, se han invertido grandes esfuerzos en la instalación de plantas de tratamiento y sistemas de abastecimiento de agua, especialmente en áreas urbanas, sin embargo, en la mayor parte de la población rural, tienen acceso sólo a agua de mala calidad. Las opciones que dependen solamente de soluciones centralizadas con uso intensivo de tiempo y recursos dejarán a cientos de personas sin acceso a agua segura, por lo que es necesario promocionar métodos que apoyen directamente a las familias.

El almacenamiento de agua en la casa es un método simple de sedimentación para mejorar la calidad del agua; sin embargo, la sedimentación simple sólo puede remover parcialmente la turbiedad y los coliformes fecales (el indicador común usado para cuantificar el grado de contaminación fecal). El principal riesgo para la salud en relación con el almacenamiento doméstico del agua es el riesgo de su recontaminación a través de prácticas de manipulación inadecuadas. Hervir el agua mata virus, parásitos y bacterias patógenos. La principal desventaja de hervir el agua es la gran cantidad de energía requerida, lo que hace que este método sea económica y ambientalmente insostenible.

La pasteurización del agua logra el mismo efecto que hervir el agua usando temperaturas de sólo 70°C-75°C, pero requiere un tiempo de exposición mayor,



aproximadamente 10 minutos. La filtración del agua, usando filtros caseros simples, como filtros de cerámica, piedra y arena, removerá una gran parte de la materia sólida, pero posiblemente no remueva todos los microorganismos. Los filtros comerciales son relativamente caros y los filtros fabricados con material local generalmente tienen una eficacia limitada con respecto a la mejora en la calidad microbiológica del agua.

La desinfección con cloro se usa para matar microorganismos (bacterias y virus), pero no es suficientemente efectiva para inactivar a los parásitos patógenos (como la Giardia, el Cryptosporidium y los huevos de helmintos). Este tipo de tratamiento requiere el suministro de cloro líquido o en polvo. La aplicación la debe realizar personal calificado, pues el cloro es una sustancia peligrosa y corrosiva. El agua tratada con cloro tiene un sabor que a muchos les disgusta.

La desinfección solar del agua (SODIS) es un método de tratamiento simple que usa la radiación solar (luz UV-A y temperatura) para destruir las bacterias y los virus patógenos presentes en el agua. Su eficacia para matar protozoarios depende de la temperatura alcanzada por el agua durante la exposición al sol y de las condiciones climáticas.

SODIS es un método de tratamiento del agua que: mejora la calidad microbiológica del agua para consumo humano, no cambia el sabor del agua, es aplicable a nivel doméstico, por lo que se considera un método aplicable en nuestra ciudad por lo que se pretende con este tema dar una alternativa eficaz y a un costo bajo para la desinfección solar del agua.





**CAPITULO III**

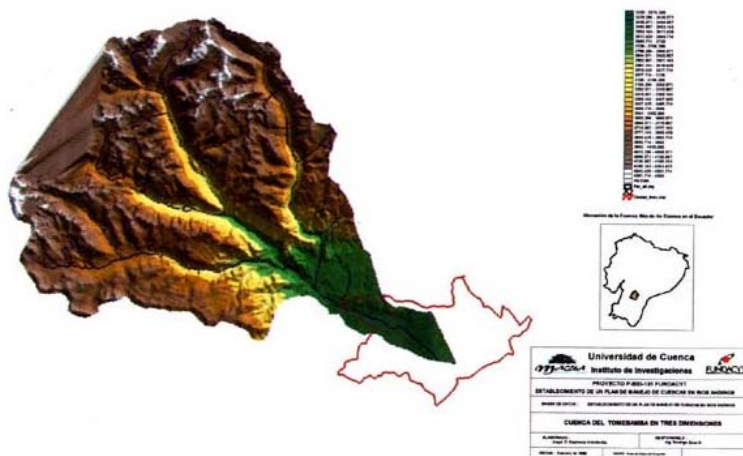
**3.1. SUJETO**



Para la presente investigación se analizara el agua del rio Tomebamba el cual nace a partir de las lagunas de origen glacial del Parque Nacional El Cajas ubicado a 30 km al oeste de la ciudad de Cuenca, se pretende determinar la aplicabilidad del método de desinfección solar SODIS para el agua proveniente de este afluente ya que en ciertas épocas del año tiene las características necesarias para que este método funciones de manera satisfactoria.

**3.1.1. Descripción general de la zona de estudio**

El piso alto del río Tomebamba, está caracterizado por una geomorfología accidentada de conformación, y sus ríos caracterizados como de alta pendiente. La subcuenca del río Tomebamba comienza en el sector denominado Tres Cruces en el parque nacional "El Cajas" está constituida por las microcuencas de los ríos Mazán, Culebrillas, Capillas y Río Amarillo. Gran parte de la cuenca es Páramo que tiene una vegetación típica acorde con el piso altiandino. Por debajo de este piso encontramos bosque montano o andino; debemos remarcar que este se encuentra solamente en los valles de Mazán, Llaviuco y un poco en el sector denominado Fierro Loma (entrada a Llaviuco), en este se encuentra asentamientos dispersos, cultivos y pastos. El bosque nativo por lo general ha sido remplazado con pastos, cultivos y bosque plantados de eucalipto y pino que al momento constituyen una seria amenaza al ser sembrados sin ningún tipo de estudio del medio. En la parte baja se encuentra la ciudad de Cuenca y sus parroquias rurales.







### 3.1.2. Características naturales

#### 3.1.2.1. Calidad del agua

Para la presente investigación se determinara las condiciones tanto físico, químico y bacteriológico del agua cruda del afluente a analizar, así como también las obtenidas después de la desinfección solar.

Los parámetros a analizar son los siguientes:

- Temperatura
- Color aparente
- Color real
- Turbiedad
- Conductividad
- Sólidos suspendidos totales
- PH
- Coliformes totales
- E. Coli.

#### 3.1.2.2. Flora

A continuación se detalla la flora existente en las márgenes del río Tomebamba.

#### **NOMBRE FAMILIA GENERO Y ESPECIE**

- Sauce SalicaceaeSalixhumboldtiana
- Fresno o cholánBignoneaceaeTecomastans
- Fresno o urapánOleaceaeFraxinusssp.
- Nogal JuglandaceaeJuglansneotropica
- Aliso Betulácea Alnusacuminata
- Saúco Caprifoliácea Sambucusnigra
- Chamico SolanaceaeDraturastaponium
- Mortiño SolanaceaeSolanumnigon
- Chlilco Compuesta Bacharissp
- Sacha uvilla SolanaceaeSolanumsp
- Altanisa Compuesta Artemisiaambrosides
- Higuera EuphorbiaceaeRisinuscorinis
- Pelileo Leguminosa Cassiasp
- Penco blanco AmarllidaceaePurcraea gigantea
- Floripondio SolanaceaeBrugmancea
- KikuyoGramineaPennicetra clandestina
- Shiran Compuesta Bidens



- Sigza Gramínea Cortadera sp
- Diente de león Compuesta Taraxacum
- Nabo Crucífera Brassicanapus
- Retama Leguminosa Spartiumjunceun
- Lengua de vaca PoligonaceaeRumexsp.
- Bledo AmarantaceaeAmarantussp.
- SanguinataChenopodiaceaeChenopodiumsp
- Ojo del poeta AcanthaceaeThoambergiasp.
- Olco Gramínea Holcussp.

### 3.1.2.3. Fauna

#### NOMBRE FAMILIA GENERO Y ESPECIE

- Mirlo TurdidaeTurdussp.
- Colibrí Thochilidae Varias spp
- Gorrión común FringilidaeZonotrichiacapensis

### 3.1.2.4. Descripción del paisaje

Cuenca es considerada como la ciudad Atenas del Ecuador, uno de los principales elementos que la caracteriza es la presencia de cuatro ríos que la atraviesa en diferentes puntos de la urbe lo que le da un sabor natural y una riqueza en recursos hídricos que muchas otras ciudades del país y del mundo quisieran tener.



El río Tomebamba es el más céntrico de los cuatro, coincide en ser el punto divisorio entre la parte antigua y la parte nueva de la ciudad. La parte antigua está sobre elevada en relación al río y a la parte nueva y termina en un barranco a pocos metros del río.

El río Tomebamba es muy correntoso en todo su recorrido gracias a su pendiente y lecho recubierto de piedras grandes. El paisaje es del tipo cultural con la intervención del hombre tanto para la

construcción de las casas/ calles como de la siembra de las plantas que rodean el lugar.



## CAPITULO IV

### 4. METODOLOGIA

#### 4.1. Fases de campo y laboratorio

##### 4.1.1. Fase de Campo

La elección del punto de muestreo es una decisión muy importante al momento de la toma de las muestras, para la presente investigación se determinaron 3 puntos de muestreo, el primero corresponde al ubicado a la altura de la “Hostería Dos Chorreras” en el km 21 vía al Cajas, en segundo se encuentra ubicado en “Las Cabañas Restaurant” en la vía al Cajas sector de Sayausí y el tercero en la Avd. 12 de Abril frente al Teatro Carlos Cueva Tamariz.

El muestreo se realizara los días lunes 11y martes 12 de de Julio del 2011 en cada uno de estos días se tomara seis muestras las cuales se analizara tres en estado crudo y tres después de 24 horas de haber sido sometidas al método desinfección solar.

Para la recolección de muestras se utilizaran botellas PET de 2litros, las mismas que deben estar completamente limpias, lavados y posteriormente homogenizados con el agua del lugar de recolección.

Los envases en los que se toma las muestras serán debidamente rotulados, se llenara una ficha en la que constara la fecha, hora, ubicación, temperatura ambiental, temperatura del agua, descripción de la zona durante el muestreo, descripción de las condiciones climáticas durante el muestreo, descripción de las condiciones climáticas durante los días de ensayo, y observaciones.

##### 4.1.2. Fase de Laboratorio

Los ensayos serán realizados en de Laboratorio de Sanitaria de la Universidad de Cuenca, en las muestras tanto crudas como tratadas se realizaran análisis Físico - Químico y Bacteriológico, los parámetros a analizar son los siguientes:

- Color aparente
- Color real
- Turbiedad
- Conductividad
- Solidos suspendidos totales
- PH
- Coliformes totales
- E. Coli



## CAPITULO V

### 5. APLICACION DEL MÉTODO SODIS

#### 5.1. PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DEL MÉTODO SODIS

Para la realización de la siguiente investigación se construyo un soporte de madera con una cubierta de zinc para en este posteriormente dejar las botellas expuestas al método de desinfección solar.



El ángulo de la cubierta debe ser inferior a  $20^\circ$  para que las botellas puedan permanecer en el soporte durante el tiempo de ensayo.

Para la investigación de campo se utilizo el procedimiento recomendado en el manual de SODIS para la presente investigación el mismo que consiste en:

1. Lavar las botellasPET (tereftalato de poliutireno): Las botellas fueron lavadas con agua para así eliminar los residuos existentes que puedan contaminar la muestra que posteriormente se depositara en estos envases. Se realizo dos fases de lavado, la primera con agua fría





procedente de la red pública de la ciudad de Cuenca y luego a esta se le hizo hervir y se procedió a una segunda fase de lavado.



2. Llenar 3/4 partes de la botella con agua.





3. Agitar la botella por 20 segundos. (Esto se hace para airear el agua e incrementar los niveles de oxígeno lo cual ayuda a la eliminación de patógenos).



4. Llene la botella completamente y cierre la tapa.



5. Para el análisis bacteriológico se tomo la muestra en envases estériles en cada uno de los puntos antes determinados.







6. Coloque la botella sobre una plancha de zinc, en un sitio de fácil acceso donde pueda tener una buena exposición al sol.



7. Dejar la botella expuesta al sol (para el caso del presente ensayo se dejó las muestras por 24 horas debido a que el clima está nublado).







## 5.2. REGISTRO DE DATOS

Para el registro de datos se elaboro fichas en las cuales se identifico cada una de las muestras tomadas en los días de ensayo, en el campo se rotulo las muestras. En cada día de ensayo se tomaron seis muestras, dos en cada punto antes determinado en las mismas condiciones para posteriormente ser ensayadas tanto crudas como tratadas; es decir después de haber sido expuestas al método de desinfección solar por 24H.

Los datos registrados en el campo fueron:

- Fecha
- Hora
- Ubicación



- Temperatura ambiental



- Temperatura del agua



- Descripción de las condiciones de la zona durante el muestreo.
- Descripción de las condiciones climatológicas durante el muestreo.
- Descripción de las condiciones climatológicas durante los días de ensayo.
- Observaciones

En ANEXOS se presenta las fichas llenadas para cada una de las muestras tomadas en los diferentes días, así como también la de las muestras que fueron sometidas al método de desinfección solar SODIS.

### 5.3. CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS

#### 5.3.1. Primer día de ensayo



A continuación se detalla las condiciones a las que estuvo expuesta la muestra tomada el día lunes 11 de Julio del 2011 y sometida al método de desinfección solar (SODIS) desde las 11:40H del mismo día.

La temperatura registrada al inicio del ensayo fue de 15°C el cielo parcialmente cubierto con una



leve precipitación, se registro lluvia desde las 14:15H hasta las 18:00H, a las 16:00H se reporto una temperatura de 12°C, a las 19:30H la temperatura ambiente fue de 11°C, toda la noche se presento precipitación leve.

El martes 12 de Julio en la mañana se registro una temperatura ambiente a las 10:30H de 16°C, en la tarde se presento precipitación leve, la temperatura ambiente a las 16:00H fue de 11°C, en la noche se registro una temperatura de 13°C, precipitaciones durante la noche.

En la mañana del miércoles 13 de Julio se registro una temperatura ambiente de 15°C, el cielo parcialmente cubierto con precipitaciones leves, la muestra fue llevada a las 11:40H al laboratorio para su posterior ensayo.

### 5.3.2. Segundo día de ensayo



A continuación se describe las condiciones a las que estuvo expuesta la muestra tomada el día martes 12 de Julio del 2011 y sometida al método de desinfección solar (SODIS) desde las 10:30H del mismo día.

La temperatura registrada al inicio del ensayo fue de 16°C, en la tarde se presento precipitación leve, la temperatura ambiente a las 16:00H fue de 11°C, en la noche se registro una temperatura de 13°C,

precipitaciones durante la noche.

En la mañana del miércoles 13 de Julio se registro una temperatura ambiente de 15°C, el cielo parcialmente cubierto con precipitaciones leves, de 14:30 a 16:20 cielo despejado temperatura ambiente registrada de 18°C, de 16:30 a 17:45 precipitación leve cielo parcialmente cubierto, a las 19:00 se registro una temperatura ambiente de 16°C.




























El día jueves 14 de Julio se registro una temperatura ambiente de 16°C, el cielo despejado, la muestra fue llevada a las 10:30H al laboratorio para su posterior ensayo.

### 5.3.3. Cuadro de Temperaturas

A continuación se detallara el clima que se presentó en la ciudad de Cuenca en el periodo comprendido entre el 8 al 16 de Julio del 2011.





FECHA	TEMPERATURA (°c)					
	MAÑANA		TARDE		NOCHE	
08-jul-11	11 <sup>0</sup> c		14 <sup>0</sup> c		11 <sup>0</sup> c	
09-jul-11	13 <sup>0</sup> c		11 <sup>0</sup> c		14 <sup>0</sup> c	
10-jul-11	14 <sup>0</sup> c		15 <sup>0</sup> c		12 <sup>0</sup> c	
11-jul-11	15 <sup>0</sup> c		12 <sup>0</sup> c		11 <sup>0</sup> c	
12-jul-11	16 <sup>0</sup> c		11 <sup>0</sup> c		13 <sup>0</sup> c	
13-jul-11	15 <sup>0</sup> c		18 <sup>0</sup> c		14 <sup>0</sup> c	
14-jul-11	16 <sup>0</sup> c		16 <sup>0</sup> c		16 <sup>0</sup> c	
15-jul-11	14 <sup>0</sup> c		18 <sup>0</sup> c		13 <sup>0</sup> c	
16-jul-11	15 <sup>0</sup> c		16 <sup>0</sup> c		12 <sup>0</sup> c	

**DIAS DE MUESTREO**



**CAPITULO VI**  
**6. RESULTADOS**

**6.1. RESULTADOS OBTENIDOS**

A continuación se los resultados de los análisis Físico – Químico y Bacteriológico del agua del rio Tomebamba tanto cruda como tratada.

LABORATORIO DE SANITARIA							
RESULTADO DE ANALISIS FISICO- QUIMICO Y BACTERIOLOGICO DEL AGUA							
Muestra procedencia:	Rio Tomebamba						
Tipo de fuente:	Superficial						
Fecha de toma y analisis de agua cruda:	11 de Julio del 2011						
Fecha de toma y analisis de agua tratada:	13 de Julio del 2011						
Analisis solicitado por:	Sra. Carolina Ormaza (trabajo de tesis)						
PARAMETRO	1 Agua cruda Dos chorreras	2 Agua cruda Cabañas Restaurant Sayausi	3 Agua cruda Puente del Vado	1 Agua tratada Dos chorreras	2 Agua tratada Cabañas Restaurant Sayausi	3 Agua tratada Puente del Vado	OBSERVACIONES  UNIDADES
HORA	9:38H	10:14H	10:46H				
TEMPERATURA	7.00	11.00	12.00				in situ
COLOR APARENTE	104	145	300	58	93	134	U.C. (Pt-Co)
COLOR REAL	49	53	74	34	56	47	U.C. (Pt-Co)
TURBIEDAD	14.9	25.2	71.0	5.0	10.0	22.0	NTU (FTU)
CONDUCTIVIDAD	64.2	58.0	59.4	63.5	58.0	59.2	uS/cm
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	35.0	52.0	140.0	4.0	7.0	14.0	mg/l
PH	6.92	7.00	7.04	6.92	7.03	7.03	
COLIFORMES TOTALES	920.00	3.30E+03	2.40E+05	920.00	1.70E+03	1.10E+06	NMP/100ML
E. COLI.	540.00	1.70E+03	1.40E+05	270.00	4.60E+02	3.30E+05	NMP/100ML

LABORATORIO DE SANITARIA							
RESULTADO DE ANALISIS FISICO- QUIMICO Y BACTERIOLOGICO DEL AGUA							
Muestra procedencia:	Rio Tomebamba						
Tipo de fuente:	Superficial						
Fecha de toma y analisis de agua cruda:	12 de Julio del 2011						
Fecha de toma y analisis de agua tratada:	14 de Julio del 2011						
Analisis solicitado por:	Sra. Carolina Ormaza (trabajo de tesis)						
PARAMETRO	1 Agua cruda Dos chorreras	2 Agua cruda Cabañas Restaurant Sayausi	3 Agua cruda Puente del Vado	1 Agua tratada Dos chorreras	2 Agua tratada Cabañas Restaurant Sayausi	3 Agua tratada Puente del Vado	OBSERVACIONES  UNIDADES
HORA	8:54H	9:26H	10:05H				
TEMPERATURA	7.00	10.00	11.00				in situ
COLOR APARENTE	52	123	207	43	76	106	U.C. (Pt-Co)
COLOR REAL	36	44	65	34	45	59	U.C. (Pt-Co)
TURBIEDAD	4.4	23.2	45.2	3.0	9.0	13.0	NTU (FTU)
CONDUCTIVIDAD	66.7	59.2	58.3	68.0	59.1	66.6	uS/cm
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	5.0	41.0	75.0	16.0	7.0	10.0	mg/l
PH	6.93	6.95	7.00	6.87	6.96	6.90	
COLIFORMES TOTALES	79.00	7.00E+03	2.80E+05	170.00	9.20E+03	1.70E+04	NMP/100ML
E. COLI.	33.00	2.20E+02	2.80E+05	49.00	1.70E+02	<b>0.00E+00</b>	NMP/100ML

En ANEXOS se presenta los resultados proporcionados por el Laboratorio de Sanitaria de la Universidad de Cuenca para el presente ensayo.



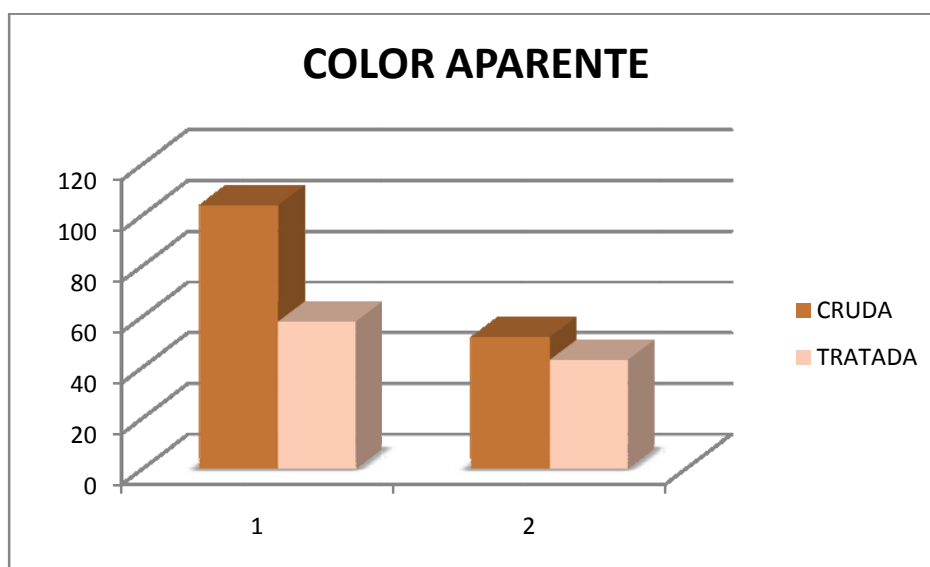
**CAPITULO VII**

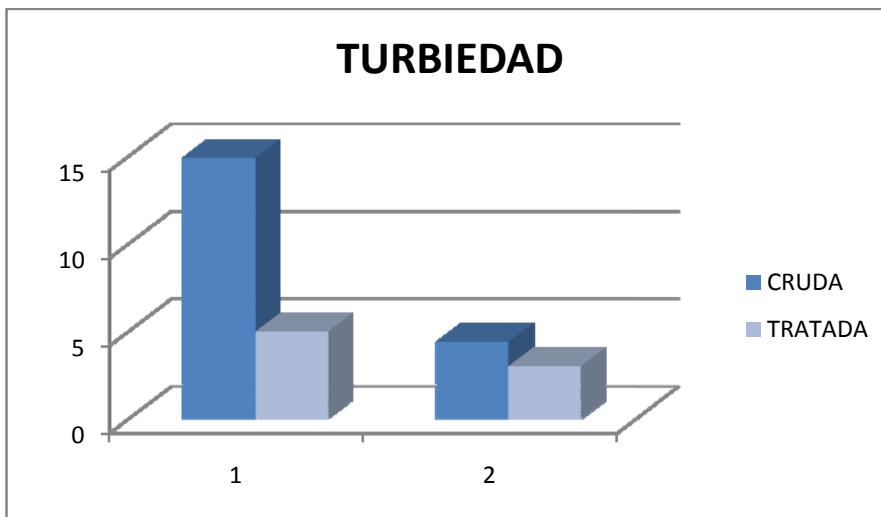
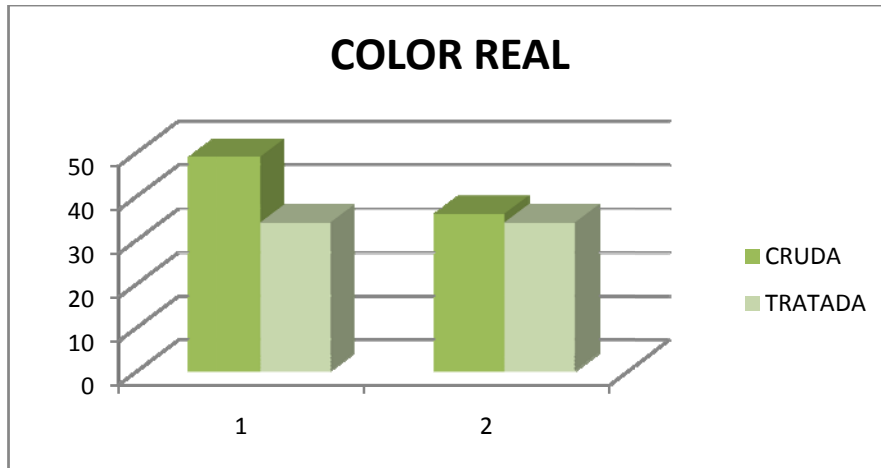
**7.1. DETALLE DE RESULTADOS**

**7.1.1. DOS CHORRERAS**

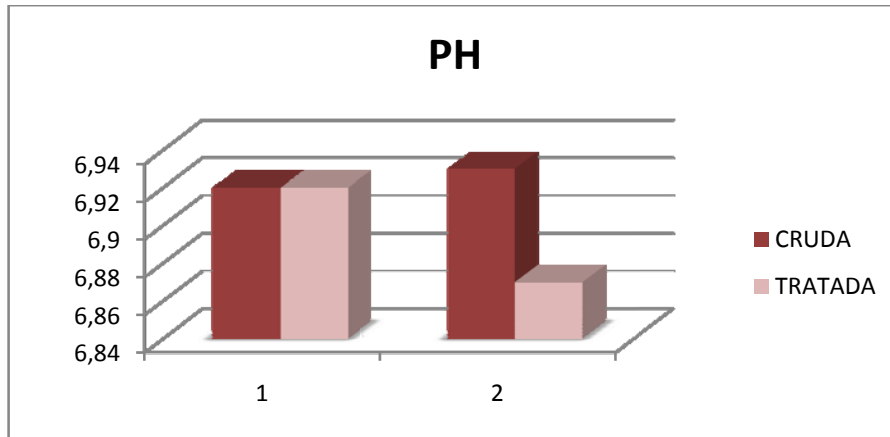
PARAMETRO	1 Agua cruda Dos chorreras	1 Agua tratada Dos chorreras	4 Agua cruda Dos chorreras	4 Agua tratada Dos chorreras	OBSERVACIONES UNIDADES
HORA	9:38H		8:54H		
TEMPERATURA	7.00		7.00		in situ
COLOR APARENTE	104	58	52	43	U.C. (Pt-Co)
COLOR REAL	49	34	36	34	U.C. (Pt-Co)
TURBIEDAD	14.9	5	4.4	3	NTU (FTU)
CONDUCTIVIDAD	64.2	63.5	66.7	68	uS/cm
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	35	4	5.0	16	mg/l
PH	6.92	6.92	6.93	6.87	
COLIFORMES TOTALES	920	920	79	170	NMP/100ML
E. COLI.	540	270	33	49	NMP/100ML

**7.1.1.1. Características Físico-Químico**

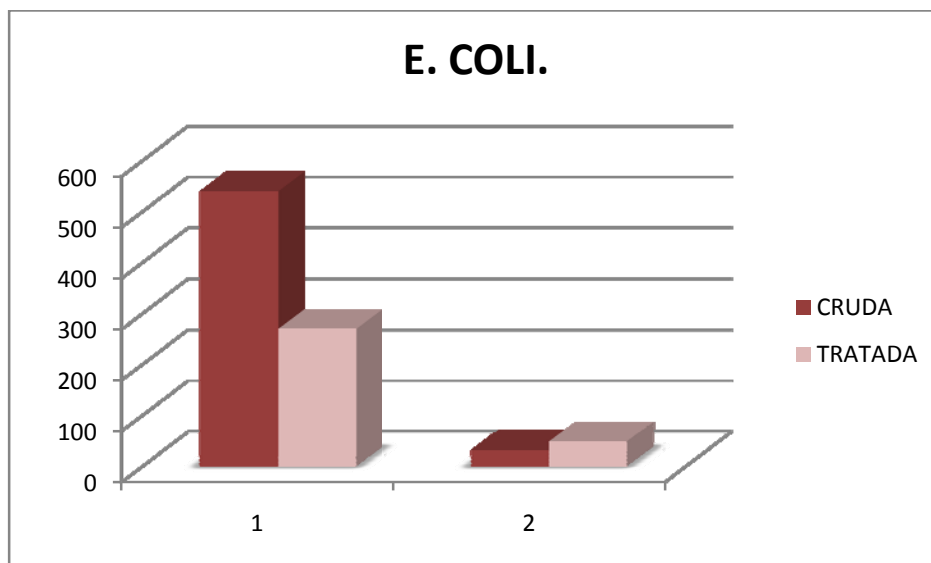
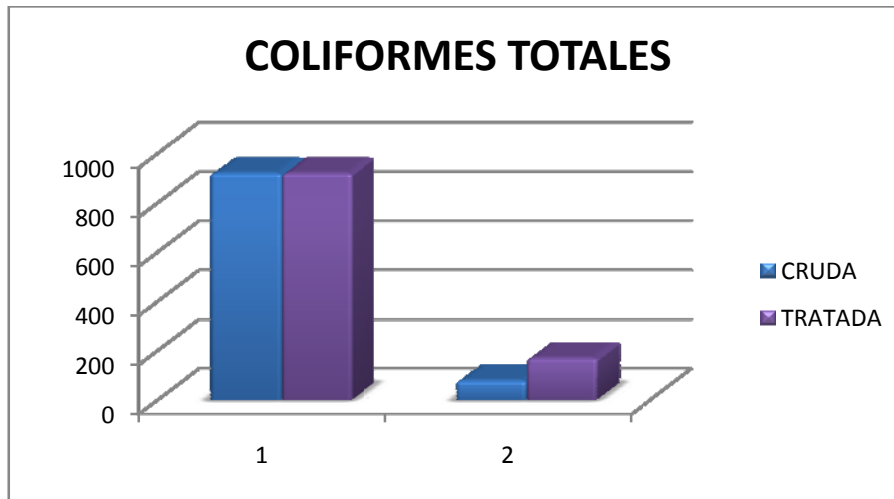








#### 7.1.1.2. Características Bacteriológicas

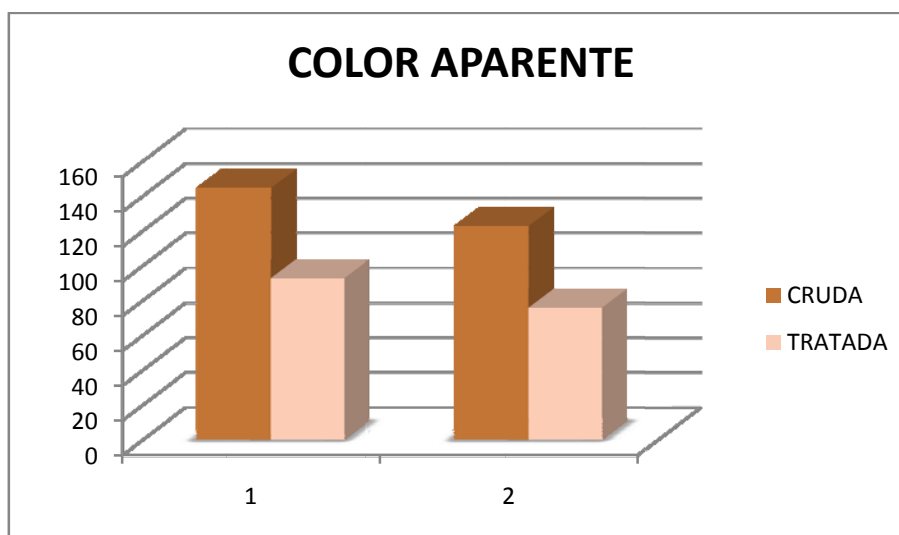


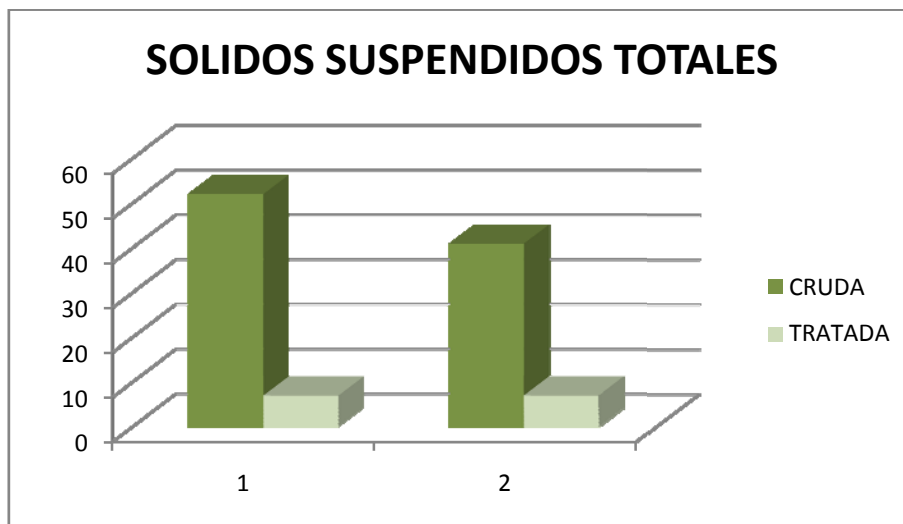
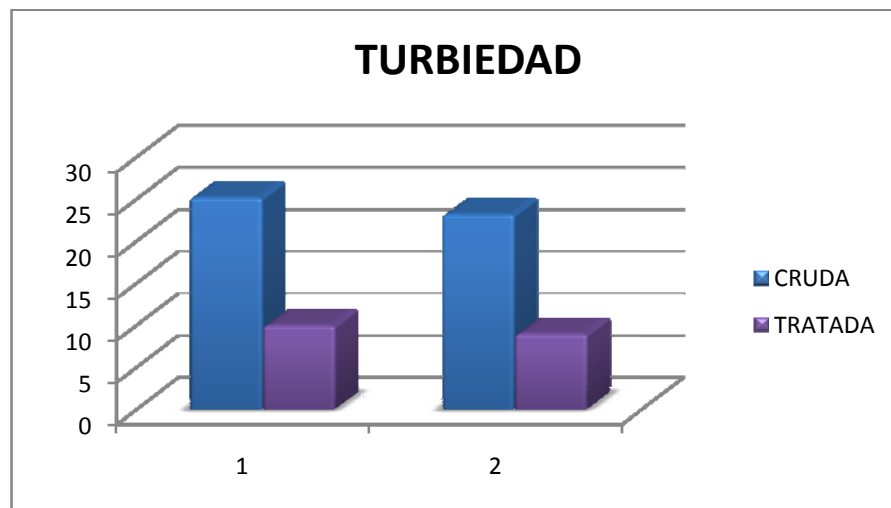
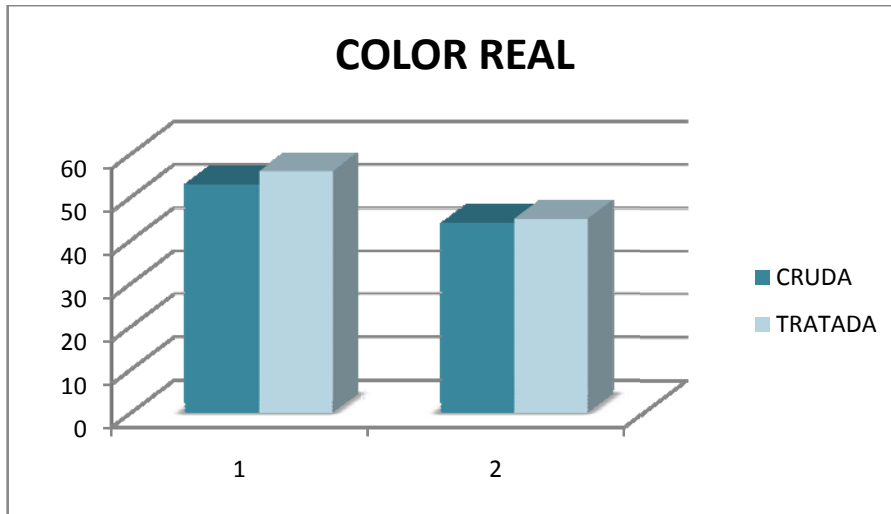


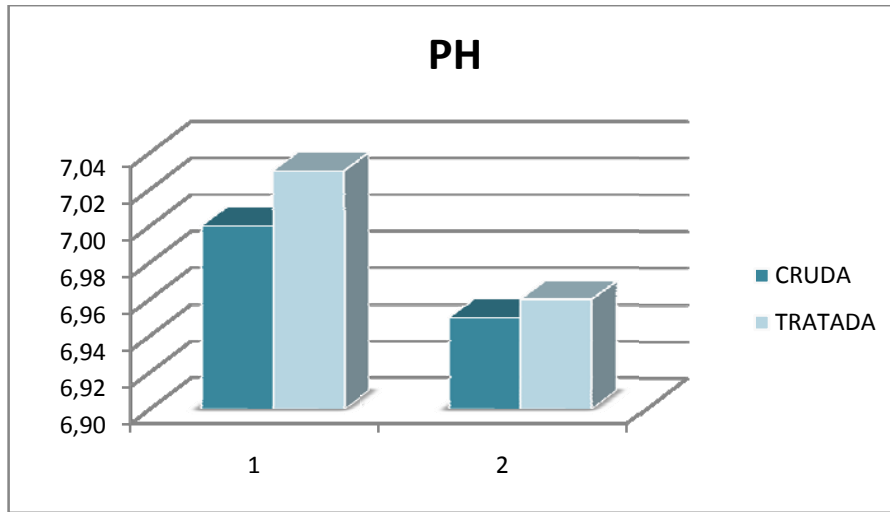
### 7.1.2. LAS CABAÑAS RESTAURANT

PARAMETRO	2	2	5	5	OBSERVACIONES
	Agua cruda Cabañas Restaurant Sayausi	Agua tratada Cabañas Restaurant Sayausi	Agua cruda Cabañas Restaurant Sayausi	Agua tratada Cabañas Restaurant Sayausi	
					UNIDADES
HORA	10:14H		9:26H		
TEMPERATURA	11		10		in situ
COLOR APARENTE	145	93	123	76	U.C. (Pt-Co)
COLOR REAL	53	56	44	45	U.C. (Pt-Co)
TURBIEDAD	25.2	10	23.2	9	NTU (FTU)
CONDUCTIVIDAD	58	58	59.2	59.1	uS/cm
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	52	7	41	7	mg/l
PH	7.00	7.03	6.95	6.96	
COLIFORMES TOTALES	3300	1700	7000	9200	NMP/100ML
E. COLI.	1700	460	220	170	NMP/100ML

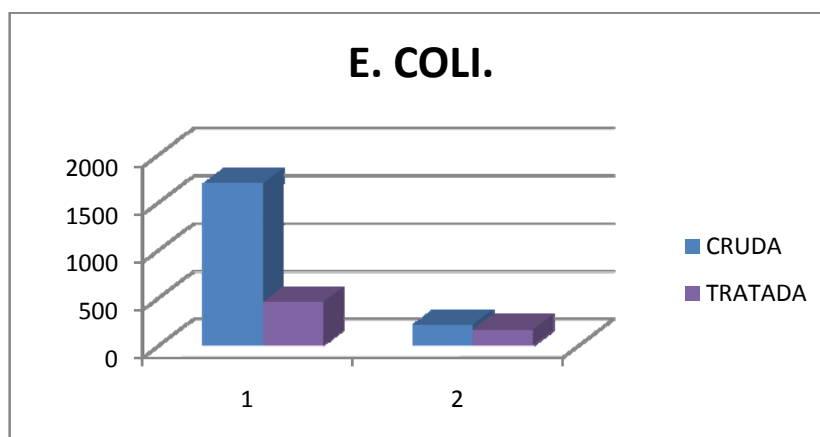
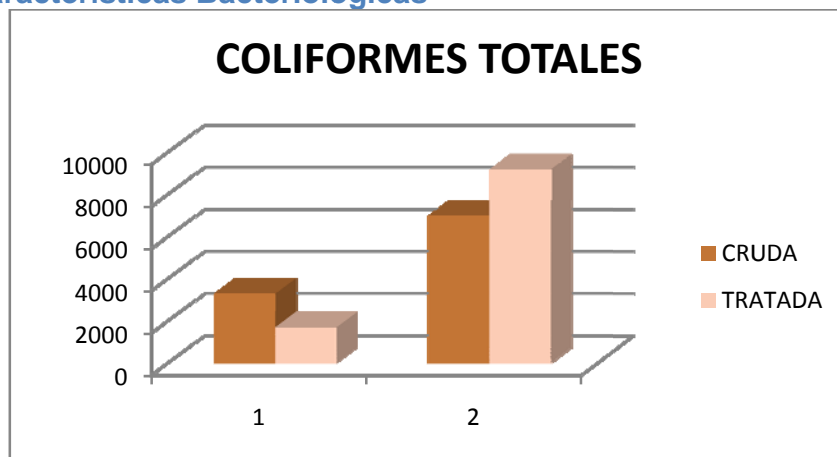
#### 7.1.2.1. Características Físico-Químico







#### 7.1.2.2. Características Bacteriológicas

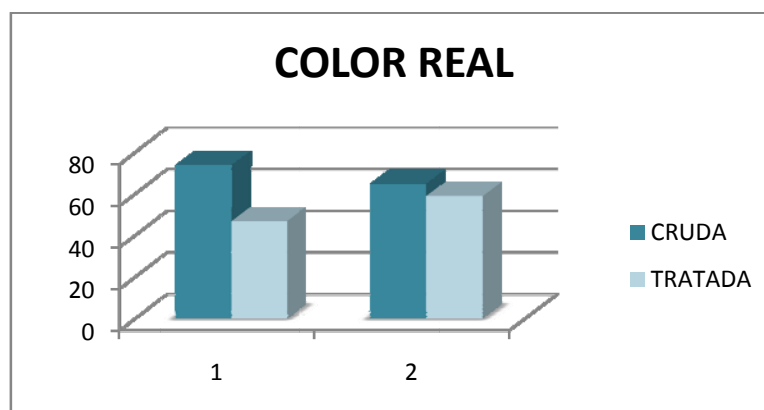
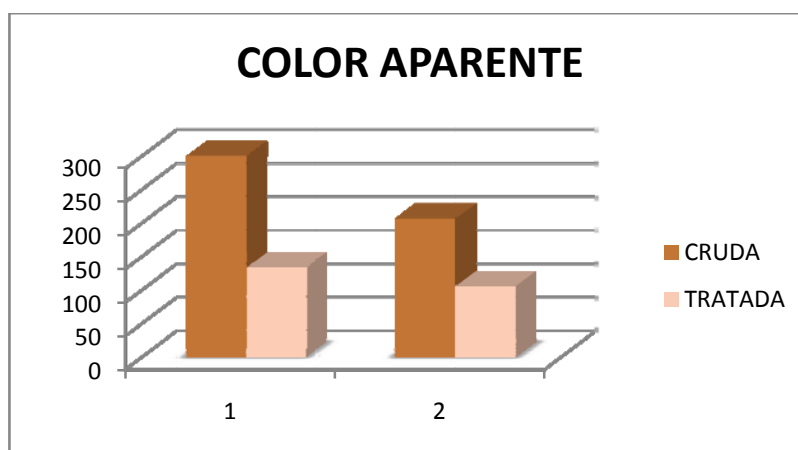


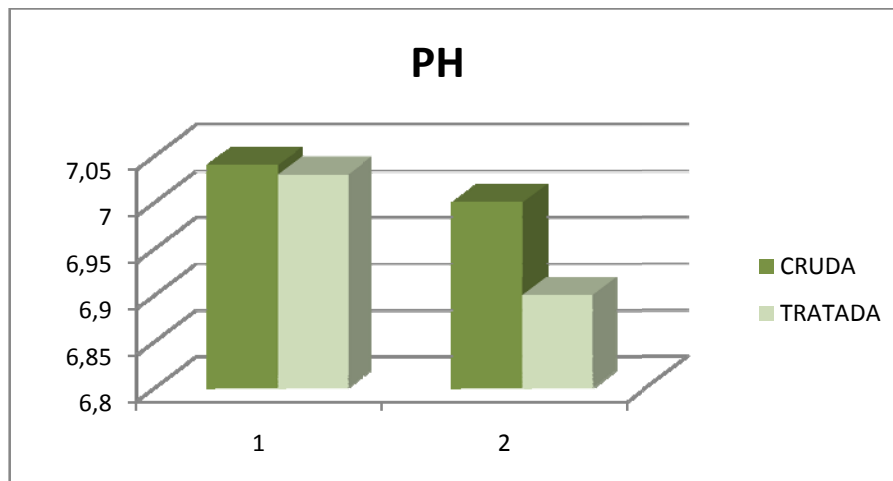
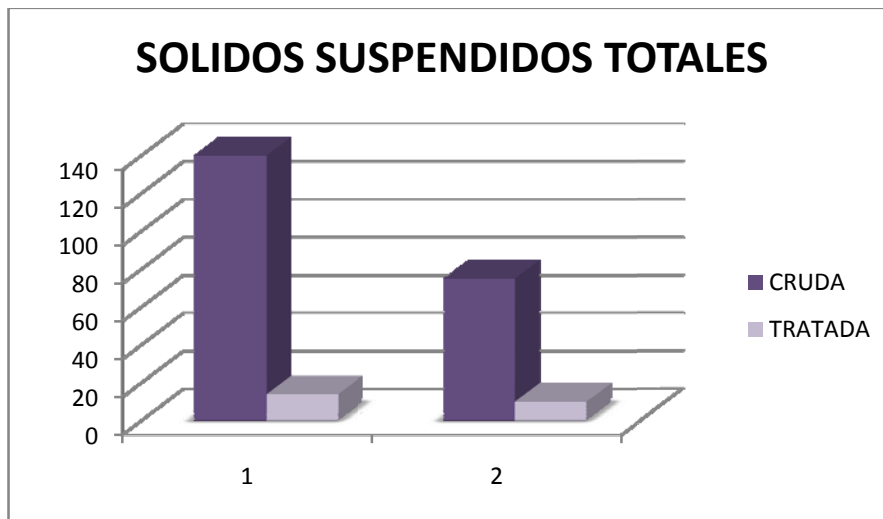
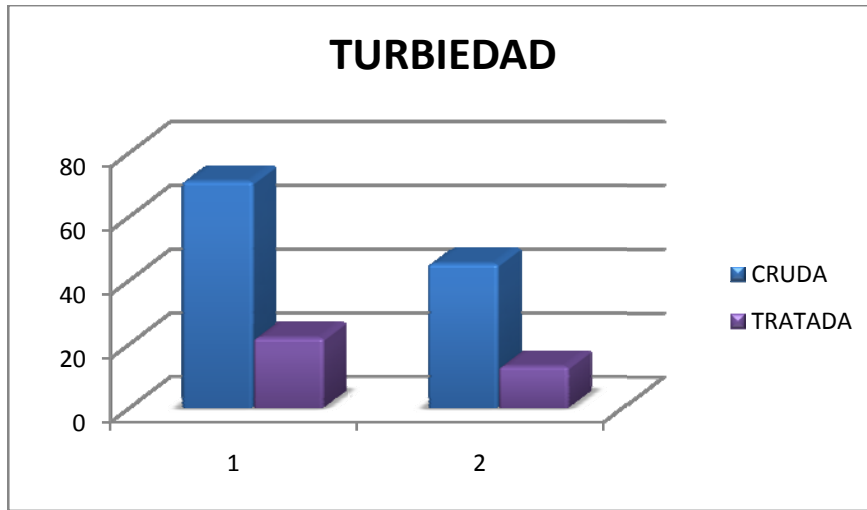
#### 7.1.3. AV. 12 DE ABRIL (FRENTE A CARLOS CUEVA)



PARAMETRO	3 Agua cruda Puente del Vado	3 Agua tratada Puente del Vado	3 Agua cruda Puente del Vado	3 Agua tratada Puente del Vado	OBSERVACIONES UNIDADES
HORA	10:46H		10:05H		
TEMPERATURA	12		11		in situ
COLOR APARENTE	300	134	207	106	U.C. (Pt-Co)
COLOR REAL	74	47	65	59	U.C. (Pt-Co)
TURBIEDAD	71	22	45.2	13	NTU (FTU)
CONDUCTIVIDAD	59.4	59.2	58.3	66.6	uS/cm
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	140	14	75	10	mg/l
PH	7.04	7.03	7.00	6.90	
COLIFORMES TOTALES	240000	1100000	280000	17000	NMP/100ML
E. COLI.	140000	330000	280000	0	NMP/100ML

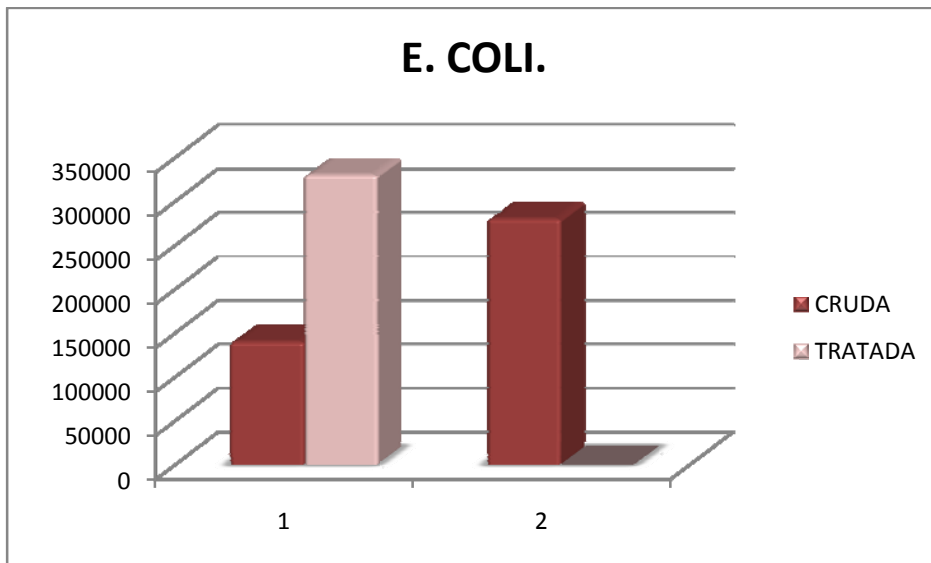
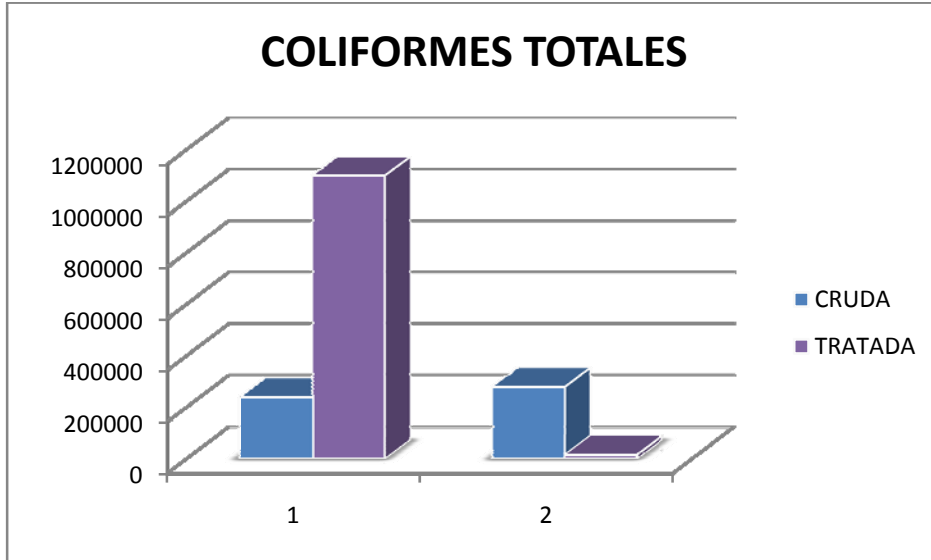
### 7.1.3.1. Características Físico-Químico







7.1.3.2. Características Bacteriológicas







## CAPITULO VIII

### 8. CONCLUSIONES

- El método de desinfección solar SODIS es muy utilizado a nivel mundial por su eficiencia en la remoción de patógenos, a si como también por considerarse como un método sustentable tanto ambiental como económico.
- En los análisis realizados al agua del rio Tomebamba se puede apreciar que las características Físico-Químico de todas las muestras tuvieron mejoras con la aplicación del método de desinfección solar SODIS.
- En el análisis bacteriológico se puede observar que gran cantidad de Coliformes y de E. Coli fueron removidas, lo que confirma la validez del método a pesar de que el clima en los días de muestreo no fue el más favorable para la aplicación del mismo.
- Se puede notar en los resultados obtenidos que E. Coli es más susceptible al método de SODIS ya que en esta se da un mayor nivel de remoción.
- En lo que respecta al color, se mejoro las características permitiendo un mejor aspecto visual de la nuestra, lo que aumenta la confianza para el consumo de las personas.
- La turbiedad tuvo niveles altos de remoción lo que permite mejorar la calidad del agua debido a sus efectos microbiológicos.
- Por lo expuesto y basado en los resultados obtenidos y bajo las condiciones indicadas se recomienda el uso de este método, lo que beneficiara en las condiciones sanitarias en comunidades que viven en condiciones precarias y que no pueden acceder a el agua potable, o para hogares que por diversas circunstancias consumen agua que no pasa por un correcto tratamiento o se considera desconfiable.



## CAPITULO IX

### 9. RECOMENDACIONES

- A nivel de la ciudad de Cuenca es la primera investigación que se realiza sobre la aplicación de SODIS, por lo que se debería considerar investigaciones más extensas en las que se pueda abarcar las diferentes condicionantes que se pueden presentar como la variabilidad tanto climatológica como de la fuente de la que se pretende analizar.
- Realizar campañas de publicidad del método de desinfección solar SODIS, para que la gente que no tiene acceso a agua de características satisfactorias pueda intentar aplicarlo ya que no se requiere de altas inversiones económicas y se lo realice con una mínima capacitación.
- Se recomienda aplicar el método de desinfección solar en época de verano puesto que se registra temperaturas más altas y por ende es más efectivo el método, para esta condiciones es suficiente seis horas de exposición solar (procurando que esta sea en la hora de mayor intensidad recomendable de 9:00 a 15:00) sin embargo para días en los que el cielo está nublado más del 50% se recomienda que el tiempo de exposición sea de 48H.
- Se recomienda realizar un pre tratamiento al agua antes de ser sometida al método SODIS, este puede consistir en una filtración utilizando telas como filtros caseros esto ayudara a mejorar las características del agua para posteriormente ser sometidas al método SODIS.



## CAPITULO X

### 10. REFERENCIAS

- EAWAG/SANDEC y Fundación Sodis (2005) Desinfección Solar del Agua: Guía de la Aplicación. Chacha bamba: Artes Gráficas Sagitario Cbba.
- Litter, M. (2002). Desinfección Solar de Aguas en Unidades Individuales. Comisión Nacional de Energía Atómica, Centro Atómico Constituyentes, Unidad de Actividad Química. Argentina.
- Tórrico, C. y Fuentes, I. (2004) Influencia de los parámetros físicos sobre la desinfección solar de conformes termo tolerantes en el agua. (Tesis) Universidad Mayor de San Simón.
- Wegelin, M. (2002). Método SODIS, Disponible en: <http://www.sodis.ch/>
- Organización Mundial de la Salud, Guías para la calidad del agua potable, PRIMER APÉNDICE A LA TERCERA EDICIÓN, Volumen 1, Recomendaciones
- Fundación SODIS (2001) Materiales de Difusión [www.sodis@supernet.com.bo](http://www.sodis@supernet.com.bo)
- Red SODIS– América Latina Una Buena Elección. Número 3 Mayo 2002
- Marín Rivas, Carlos et al. Evaluación Proyecto: Mejoramiento del Agua de Consumo Humano en Ocho Comunidades Rurales de Waslala. Noviembre 2002 (Trabajo de Módulo) Maestría en Salud Pública 2001- 2003. Centro de Investigaciones y Estudios para la Salud.24.
- Ulloa Verónica et al. Evaluación de la Desinfección Solar del Agua (SODIS) en Ocote Dudú, Waslala. Junio 2003. (Trabajo de Módulo) Maestría en Salud Pública 2001-2003. Centro de Investigaciones y Estudios para la Salud.
- Fundación SODIS , Guía de aplicación [www.sodis.ch/methode](http://www.sodis.ch/methode)

## CAPITULO XI

### 11. ANEXOS