

EFFECTO DE LA RADIACIÓN SOLAR SOBRE LA RELACIÓN SODIS-*Artemisia
annua* PARA LA DESINFECCIÓN DE AGUA

DIANA CAROLINA GUZMÁN ORTIZ



UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
POPAYÁN
2012

EFFECTO DE LA RADIACIÓN SOLAR SOBRE LA RELACIÓN SODIS-*Artemisia
annua* PARA LA DESINFECCIÓN DE AGUA

DIANA CAROLINA GUZMÁN ORTIZ

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA
AMBIENTAL

DIRECTOR:
Dr. NESTOR JAIME AGUIRRE
UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

CODIRECTOR:
M.Sc. JUAN CARLOS CASAS ZAPATA
UNIVERSIDAD DEL CAUCA

CODIRECTOR:
M.Sc. ROBERTO MEJÍA RUÍZ
UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA



UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
POPAYÁN
2012

El presente trabajo de grado hizo parte del proyecto del Comité para el Desarrollo de la Investigación (CODI): Efecto microbicida de la radiación solar (SODIS) combinado con *Artemisia annua* cuya investigadora principal es la profesora María Cecilia Escobar Restrepo, del grupo de Investigación en Gestión y Modelación Ambiental - GAIA de la Escuela Ambiental, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia. El proyecto fue cofinanciado por IfbV-Luxemburg y contó con la asesoría y apoyo del Dr. Pierre Lutgen.

DEDICATORIA

A Dios, a la Virgen María y a mi abuelita Hermencia quienes desde el cielo me guiaron y acompañaron para que pudiese cumplir mi sueño de obtener el título de Ingeniera Ambiental.

A mis padres, Hermencia Ortiz y Lorenzo Guzmán, a mi hermano Cristian Camilo Guzmán Ortiz, por su apoyo incondicional en el transcurso de la carrera, quienes no desfallecieron nunca, para que pudiese cumplir mi sueño.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, a mis padres Hermencia Ortiz y Lorenzo Guzmán, a mi hermano Cristian Camilo Guzmán Ortiz, por apoyarme en el sueño de continuar estudiando.

Agradezco a la Universidad del Cauca, a la Facultad de Ingeniería Civil y el Programa Ingeniería Ambiental por permitir el desarrollo de mi trabajo de grado en la Universidad de Antioquia.

AL grupo de investigación GAIA de la Universidad de Antioquia.

Al profesor Pierre Lutgen de IfbV-Luxemburg.

A los profesores Juan Carlos Casas, Néstor Aguirre y Roberto Mejía, por brindarme la oportunidad de formar parte de esta investigación, por su tiempo, dedicación y la confianza que me dieron para el desarrollo del proyecto.

A las profesoras María Cecilia Escobar y Yamilet Arcos Arango, investigadoras principales del proyecto SODIS–*Artemisia annua* quienes me apoyaron y colaboraron en los momentos de dificultad que se presentaron en el desarrollo de la investigación.

Al profesor Orlando Caicedo, del Laboratorio de Hidrobiología de la Universidad de Antioquia, quien me brindó su amistad y apoyo.

A Sara Correa, por brindarme su amistad, colaboración y apoyo.

A mis tías Blanca Lilia Guzmán y Romalda Ortiz, por estar apoyándome durante el transcurso de mi carrera.

A James Mauricio Martínez Lasso, por su apoyo incondicional en el transcurso del desarrollo del proyecto.

A Sergio Diomedes Jiménez, por brindarme su apoyo y amistad en todo el proceso de la carrera.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	9
1. ANTECEDENTES	14
2. MARCO TEÓRICO	15
2.1 CALIDAD DE AGUA.....	15
2.2 RADIACIÓN SOLAR	16
2.3 DESINFECCIÓN DEL AGUA POR RADIACIÓN SOLAR SODIS	16
2.3.1 Ventajas y desventajas de SODIS. En la Tabla 1, se presentan las ventajas y desventajas del método SODIS.	17
2.3.2 Formas de inactivación de patógenos por SODIS.....	18
2.3.3 Efecto de la radiación UV-A y de la temperatura.....	18
2.3.3.1 Efectos de la radiación UV.....	18
2.3.3.2 Efectos de la temperatura (radiación infrarroja).....	19
2.4 <i>Artemisia Annu</i> a.....	19
2.4.1 Generalidades de <i>Artemisia annua</i>	20
3. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	21
4. HIPÓTESIS	21
5. OBJETIVOS.....	22
5.1 OBJETIVO GENERAL	22
5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	22
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
6.1 MATERIALES	23
6.2 FASE DE LABORATORIO	23
6.3 INFUSION DE <i>Artemisia annua</i>	24
6.4 PREPARACIÓN DE BOTELLAS.....	24

6.5 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO	26
6.6 ANÁLISIS FISICOQUÍMICO	26
6.7 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	26
6.8 ANÁLISIS DE DATOS.....	28
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
7.1 NORMALIDAD	29
7.2 ESTADÍSTICOS DE TENDENCIA CENTRAL Y DE DISPERSIÓN	31
7.3 COMPORTAMIENTO DE VARIABLES FISICOQUÍMICAS EN EL TIEMPO	31
7.4 COMPARACIÓN DE VARIABLES FISICOQUÍMICAS DE LOS TRATAMIENTOS SODIS, SODIS- <i>Artemisia annua</i> y <i>Artemisia annua</i> CON RESPECTO AL CONTROL DE CRECIMIENTO PARA <i>E-coli</i> y <i>Salmonella</i>	43
7.5 REMOCION DE <i>E-coli</i> y <i>Salmonella</i> DURANTE EL TRATAMIENTO SODIS PARA CADA CORRIDA DE EXPERIMENTAL	49
7.6 REMOCION DE <i>E-coli</i> y <i>Salmonella</i> DURANTE EL TRATAMIENTO SODIS- <i>Artemisia annua</i> PARA CADA CORRIDA DE EXPERIMENTAL	52
7.7 REMOCION DE <i>E-coli</i> y <i>Salmonella</i> DURANTE EL TRATAMIENTO <i>Artemisia annua</i> PARA CADA CORRIDA DE EXPERIMENTAL.....	54
7.8 VARIACIÓN DEL CRECIMIENTO DE <i>E-coli</i> y <i>Salmonella</i> EN LAS CORRIDAS EXPERIMENTALES	57
8. CONCLUSIONES	59
9. RECOMENDACIONES	60
BIBLIOGRAFÍA.....	61

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Ventajas y desventajas de SODIS	17
Tabla 2. Resistencia de microorganismos	19
Tabla 3. Equipos para evaluar variables fisicoquímicas	23
Tabla 4. Prueba t-student para evaluar si existen diferencias significativas de temperatura del agua del tratamiento SODIS con respecto al control de crecimiento de <i>E-coli</i>	45
Tabla 5. Prueba T-student para evaluar si existen diferencias significativas de temperatura del agua del tratamiento <i>Artemisia annua</i> con respecto al control de crecimiento de <i>E-coli</i>	45
Tabla 6. Prueba de mediana Kruskall-Wallis para evaluar los tratamientos con mayor variación respecto al control de crecimiento de <i>E-coli</i>	46
Tabla 7. Prueba t-student para evaluar si existen diferencias significativas de turbiedad del tratamiento SODIS con respecto al control de crecimiento de <i>E-coli</i>	46
Tabla 8. Prueba t-student para evaluar si existen diferencias significativas de turbiedad del tratamiento SODIS- <i>Artemisia annua</i> con respecto al control de crecimiento de <i>E-coli</i>	47
Tabla 9. Prueba t-student para evaluar si existen diferencias significativas de conductividad eléctrica del tratamiento SODIS con respecto al control de crecimiento de <i>E-coli</i>	47
Tabla 10. Prueba de mediana Kruskall-Wallis para evaluar el comportamiento de la temperatura de los tratamientos SODIS y SODIS- <i>Artemisia annua</i> con respecto al control de crecimiento de <i>Salmonella</i>	48
Tabla 11. Prueba t-student para evaluar si existen diferencias significativas de turbiedad del tratamiento SODIS con respecto al control de crecimiento de <i>Salmonella</i>	49

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Presentación de <i>Artemisia annua</i>	20
Figura 2. Infusión de <i>Artemisia annua</i>	24
Figura 3. Muestras de sistemas a evaluar.....	25
Figura 4. Montaje de exposición de los sistemas SODIS y SODIS – <i>Artemisia annua</i>	25
Figura 5. Diseño experimental	27
Figura 6. pH Vs Hora para <i>E-coli</i> en los diferentes tratamientos evaluados	32
Figura 7. pH Vs Hora para <i>Salmonella</i> en los diferentes tratamientos evaluados	33
Figura 8. Temperatura del agua vs hora para <i>E-coli</i> en los diferentes tratamientos evaluados	34
Figura 9. Temperatura del agua vs hora para <i>Salmonella</i> en los diferentes tratamientos evaluados	35
Figura 10. Oxígeno disuelto vs hora para <i>E-coli</i> en los diferentes tratamientos evaluados	36
Figura 11. Oxígeno disuelto vs hora para <i>Salmonella</i> en los diferentes tratamientos evaluados	37
Figura 12. Turbiedad vs hora para <i>E-coli</i> en los diferentes tratamientos evaluados	39
Figura 13. Turbiedad vs hora para <i>Salmonella</i> en los diferentes tratamientos evaluados	40
Figura 14. Conductividad eléctrica vs hora para <i>E-coli</i> en los diferentes tratamientos evaluados	42
Figura 15. Conductividad eléctrica vs hora para <i>Salmonella</i> en los diferentes tratamientos evaluados	43
Figura 16. Radiación solar presentada en los tratamientos SODIS y SODIS- <i>Artemisia annua</i>	49
Figura 17. Remoción de <i>E-coli</i> con el tratamiento SODIS	50
Figura 18. Remoción de <i>Salmonella</i> con el tratamiento SODIS	51
Figura 19. Remoción de <i>E-coli</i> con el tratamiento SODIS- <i>Artemisia annua</i>	52
Figura 20. Remoción de <i>Salmonella</i> con el tratamiento SODIS- <i>Artemisia annua</i>	53
Figura 21. Remoción de <i>E-coli</i> con el tratamiento <i>Artemisia annua</i>	55
Figura 22. Remoción de <i>Salmonella</i> con el tratamiento <i>Artemisia annua</i>	56
Figura 23. Control de crecimiento de <i>E-coli</i>	57

LISTA DE ANEXOS

Pág.

Anexo 1. Normalidad de datos de pH en los tratamientos aplicados a <i>E-coli</i>	65
Anexo 2. Normalidad de temperatura del agua en los tratamientos aplicados a <i>E-coli</i>	66
Anexo 3. Normalidad de oxígeno disuelto en los tratamientos aplicados a <i>E-coli</i>	67
Anexo 4. Normalidad de turbiedad en los tratamientos aplicados a <i>E-coli</i>	68
Anexo 5. Normalidad de conductividad en los tratamientos aplicados a <i>E-coli</i>	69
Anexo 6. Normalidad de radiación solar en los tratamientos aplicados a <i>E-coli</i>	69
Anexo 7. Normalidad de Log (N/No) en los tratamientos aplicados a <i>E-coli</i>	70
Anexo 8. Normalidad de pH en los tratamientos aplicados a <i>Salmonella</i>	71
Anexo 9. Normalidad de temperatura del agua en los tratamientos aplicados a <i>Salmonella</i>	72
Anexo 10. Normalidad de oxígeno disuelto en los tratamientos aplicados a <i>Salmonella</i> ..	73
Anexo 11. Normalidad de turbiedad en los tratamientos aplicados a <i>Salmonella</i>	74
Anexo 12. Normalidad de conductividad eléctrica en los tratamientos aplicados a <i>Salmonella</i>	75
Anexo 13. Normalidad de radiación solar en los tratamientos aplicados a <i>Salmonella</i>	75
Anexo 14. Normalidad de Log(N/No) en los tratamientos aplicados a <i>Salmonella</i>	76
Anexo 15. Estadística de tendencia central y de dispersión para el pH en los diferentes tratamientos aplicados a <i>E-coli</i>	77
Anexo 16. Estadística de tendencia central y de dispersión para la temperatura del agua en los diferentes tratamientos aplicados a <i>E-coli</i>	78
Anexo 17. Estadística de tendencia central y de dispersión para el oxígeno disuelto en los diferentes tratamientos aplicados a <i>E-coli</i>	79
Anexo 18. Estadística de tendencia central y de dispersión para la turbiedad en los diferentes tratamientos aplicados a <i>E-coli</i>	80
Anexo 19. Estadística de tendencia central y de dispersión para la conductividad eléctrica en los diferentes tratamientos aplicados a <i>E-coli</i>	81
Anexo 20. Estadística de tendencia central y de dispersión para la radiación solar en los diferentes tratamientos aplicados a <i>E-coli</i>	82

Anexo 21. Estadística de tendencia central y de dispersión para Log (N/No) en los diferentes tratamientos aplicados a <i>E-coli</i>	82
Anexo 22. Estadística de tendencia central y de dispersión de pH en los diferentes tratamientos aplicados a <i>Salmonella</i>	83
Anexo 23. Estadística de tendencia central y de dispersión de temperatura del agua en los diferentes tratamientos aplicados a <i>Salmonella</i>	84
Anexo 24. Estadística de tendencia central y de dispersión de oxígeno disuelto en los diferentes tratamientos aplicados a <i>Salmonella</i>	85
Anexo 25. Estadística de tendencia central y de dispersión de turbiedad en los diferentes tratamientos aplicados a <i>Salmonella</i>	86
Anexo 26. Estadística de tendencia central y de dispersión de conductividad eléctrica en los diferentes tratamientos aplicados a <i>Salmonella</i>	87
Anexo 27. Estadística de tendencia central y de dispersión de radiación solar en los diferentes tratamientos aplicados a <i>Salmonella</i>	88
Anexo 28. Estadística de tendencia central y de dispersión de Log(N/No) en los diferentes tratamientos aplicados a <i>Salmonella</i>	88

INTRODUCCIÓN

La vida surgió en el agua, ella es esencial para el mantenimiento de todo tipo de vida en nuestro planeta. Ningún proceso metabólico ocurre sin su acción directa o indirecta. El agua disuelve rocas, erosiona terrenos y arrastra sedimentos a lagos, ríos y océanos. Cubre el 71% de la superficie de la tierra y es el medio natural para muchas formas de vida. La interacción entre el agua y la atmósfera constituye el principal factor determinante del clima. El ecosistema acuático al igual que el terrestre, es el resultado de la interacción entre el agua, la atmósfera, la tierra y los organismos vivos (Roldán y Ramírez, 2008, p. 15).

El abastecimiento público de agua para consumo humano en países en desarrollo a menudo no se lleva a cabo de manera segura. Por tanto la provisión de agua potable en muchos casos, se ha convertido en una tarea en los hogares. El tratamiento de agua en el lugar de consumo es una opción para mitigar la alta incidencia de enfermedades diarreicas, además puede tener un impacto positivo en la economía del hogar, en cuanto a los recursos financieros utilizados para la atención médica (Schmid, *et al.*, 2008).

Una porción significativa de enfermedades transmitidas por el agua no son detectables, principalmente debido a que los síntomas de enfermedades gastrointestinales (nauseas, diarrea, vómito, dolor abdominal) son usualmente leves y finalizan luego de unos pocos días o semanas; esta situación conlleva a que el problema sea actualmente subestimado (Restrepo, *et al.*, 2007).

Los efectos de la exposición a patógenos no son los mismos para todos los individuos, ni para todas las poblaciones; la inmunidad varía considerablemente por factores tales como niños, ancianos, mujeres embarazadas, quienes presentan procesos infecciosos más severos. Los microorganismos emergentes son patógenos responsables de enfermedades infecciosas que han aparecido, incrementando su ocurrencia durante las pasadas dos décadas; sus niveles de incidencia cambiaron con el tiempo y sus brotes se han conectado con procesos de agricultura intensiva, con migraciones humanas y cambios climáticos (OECD and WHO, 2003)

La falta de acceso a agua de consumo de buena calidad constituye un riesgo elevado de transmisión de enfermedades. Las poblaciones marginadas son las más vulnerables a este riesgo, y principalmente se ubican en localidades rurales (González, *et al.*, 2000, p. 380). Una alternativa para la desinfección del agua en este tipo de comunidades es la radiación solar, la cual ha demostrado ser una

técnica eficiente en la inactivación y destrucción de bacterias patógenas presentes en el agua (McGuigan, 1998).

Los esfuerzos mundiales están en marcha para promover la desinfección solar del agua (SODIS) como una solución simple, ecológicamente sostenible y de bajo costo para la desinfección de agua y su almacenamiento seguro. SODIS es promovido actualmente en más de 30 países y en al menos siete países de América Latina a través de la Fundación SODIS en particular en Bolivia (Mausezahl, *et al.*, 2009).

Para optimizar el método SODIS, en zonas cuyo clima es poco favorable, debido a los problemas de nubosidad, menor intensidad solar, se están llevando a cabo investigaciones sobre la planta *Artemisia annua*, una hierba de origen chino utilizada desde hace más de 2000 años, que ha sido redescubierta hace unos 30 años como un remedio poderoso contra las diferentes formas de la malaria. Se sabe que el té de *Artemisia annua* no solo cura la malaria, sino otras muchas enfermedades de origen viral y microbiano (Lutgen and Michels, 2008; Lutgen and Bernard, 2008; Lutgen, 2009).

En este sentido, se hace importante conocer si se puede potencializar el método SODIS para desinfectar el agua contaminada microbiológicamente con *E-coli* y *Salmonella* y observar las variaciones que se presentan de pH, temperatura del agua, oxígeno disuelto, turbiedad, conductividad eléctrica y radiación solar.

1. ANTECEDENTES

La falta de agua potable es un problema que afecta la población mundial, como consecuencia del consumo de agua contaminada, se generan enfermedades. Entre ellas las enfermedades diarreicas que son causa de mortalidad en países en desarrollo, por tanto es necesario aplicar métodos sencillos, eficaces y de bajo costo para la producción de agua libre de microorganismos patógenos (Reed, 1996).

La desinfección es de importancia incuestionable en los sistemas de suministro de agua para consumo, la destrucción de patógenos microbianos es esencial y comúnmente involucra el uso de agentes químicos o radiaciones (Restrepo, *et al.*, 2007).

El tratamiento de agua segura a través de la desinfección por medio de la exposición a luz solar intensa (SODIS) es ahora un sistema establecido y técnica ya probada (Joyce *et al.*, 1996). El agua a tratar se coloca en una botella de plástico de polietileno transparente de tereftalato (PET) que luego se coloca en la luz directa del sol durante al menos seis horas antes del consumo (McGuigan *et al.*, 1998).

La exposición del agua para beber en botellas PET a la luz solar, inactiva bacterias entéricas presentes en el agua. Las dos causas principales para la inactivación bacteriana en este método son el calor y la luz UV-A (Berney *et al.*, 2006). En este sentido el Grupo de Investigación en Gestión y Modelación Ambiental (GAIA), de la Universidad de Antioquia, aplicó en la comunidad del municipio de Ayapel, Córdoba-Colombia, el método SODIS, para mejorar la calidad microbiológica del agua de consumo humano, debido que este método es sencillo y económico (Jaimes, 2006).

Con respecto a lo antes planteado, se llevó a cabo el estudio: “Evaluación de las condiciones socio-ambientales para la aplicación del método SODIS en el municipio de Ayapel-Córdoba”, se presentó una guía dirigida a los habitantes del mismo municipio y a todas aquellas comunidades cercanas que presentan condiciones similares de calidad de agua para consumo humano y carecieran o presentaran deficiencias en los tratamientos de potabilización de aguas (Jaimes *et al.*, 2007)

Teniendo en cuenta que en algunas zonas las condiciones climáticas no favorece el método SODIS, se busca optimizarlo con la planta *Artemisia annua*, miembro de la familia *Asteraceae* la cual se descubrió desde la antigüedad en China para el tratamiento de las fiebres, por tanto es utilizada contra la malaria. El principal metabolito de *Artemisia annua*, es la artemisinina que es biológicamente activa y actualmente tiene uso clínico (Rimada, 2009).

2. MARCO TEÓRICO

2.1 CALIDAD DE AGUA

La Tierra, con sus diversas y abundantes formas de vida, que incluyen a más de 6.000 millones de seres humanos, se enfrenta en este comienzo del siglo XXI con una grave crisis de sus recursos hídricos. La cual tiene efecto sobre la vida cotidiana de las poblaciones de escasos recursos, que sufren el peso de las enfermedades relacionadas con el agua, viviendo en entornos degradados y a menudo peligrosos, luchando por conseguir una educación para sus hijos, ganarse la vida y solventar necesidades básicas de alimentación (UNESCO, 2003).

El acceso al abastecimiento de agua y el saneamiento es una necesidad fundamental y un derecho humano. Es vital para la dignidad y la salud de todos los pueblos. De especial importancia para las personas de escasos recursos son el ahorro de tiempo, la comodidad y la dignidad que representa la mejora del abastecimiento de agua y el saneamiento. El acceso de agua potable para las comunidades es un factor importante para mejorar la economía y la salud, por tanto este se convierte en un componente indispensable para mitigar la pobreza (OMS, 2000).

En América Latina, las estimaciones de la cobertura basadas en los datos correspondientes al 99%, recogido como parte de la Evaluación 2000, sugieren que los niveles de servicio son relativamente altos. Por ejemplo, la cobertura total del abastecimiento de agua es de cerca del 85% de la población, mientras que la cobertura total del saneamiento básico es ligeramente más baja, el 78%. Se observan grandes disparidades entre zonas urbanas y rurales: se estima que el acceso a saneamiento básico para la zona urbana y rural es del 87% y 49% respectivamente (OMS, 2000).

Colombia anualmente presenta una oferta de agua que supera los 59 L/s·km², teniendo un volumen de agua disponible por habitante de 50.000 metros cúbicos al año, estas cifras expresadas en L/s·km² clasifican a Colombia como uno de los países con mayor oferta hídrica natural en el mundo, la cual es afectada por la heterogénea distribución espacial y temporal de dicho recurso. Diversos problemas de contaminación y agotamiento giran en torno a las aguas subterráneas del país, muchos de ellos aún poco entendidos a pesar de que este recurso representa la única fuente de agua para más de cuarenta municipios del país, y es reserva de agua para muchos núcleos urbanos del territorio nacional (INFORME DEFENSORIAL No. 39 - B, 2009).

2.2 RADIACIÓN SOLAR

El sol es un gigantesco reactor nuclear de fusión, convenientemente situado a unos 150 millones de kilómetros de la tierra. La radiación emitida por el sol atraviesa el espacio que nos separa del sol sin ninguna modificación, pero al pasar por la atmósfera sufre algunos cambios. Parte es absorbida por los componentes de la atmósfera, parte es reflejada de vuelta al espacio y parte es dispersada por polvo y las nubes (Restrepo, *et al.*, 2007).

La radiación solar en el trópico es mucho menos variable a lo largo del año que en las regiones del planeta donde hay estaciones marcadas. Por tanto esto reduce los costos de utilizar procesos de tratamiento de agua. La temperatura ambiente, en los países tropicales es regularmente constante durante todo el año, por lo cual los procesos de depuración de aguas es continuo durante el transcurso del año (Restrepo, *et al.*, 2007).

Cuando se habla de radiación ultravioleta frecuentemente se utiliza la siguiente clasificación (Instituto de Salud de Chile, 2007):

UVA 315 nm a 400 nm

UVB 280 nm a 315 nm

UVC 180 nm a 280 nm

La radiación solar nativa, tiene componentes en todas estas longitudes de onda, pero las distintas capas atmosféricas solo permiten que llegue a la superficie del planeta radiaciones en el rango del UVA (90%) y UVB (10%) (Instituto de Salud de Chile, 2007).

La intensidad de la radiación solar es muy variable y es afectada por la posición del sol, que se relaciona con el momento del día y la época del año, también es afectada por la latitud en la que nos encontramos, la nubosidad presente, la altitud, la concentración del ozono y finalmente por la presencia de elementos reflectantes o absorbentes (Instituto de Salud de Chile, 2007).

2.3 DESINFECCIÓN DEL AGUA POR RADIACIÓN SOLAR SODIS

SODIS es una tecnología que utiliza los rayos ultravioletas (UV) presentes en la radiación solar para destruir e inactivar los microorganismos patógenos presentes en ella. Es una alternativa económica y fácil de implementar a nivel de la vivienda rural, especialmente en zonas donde hay amplia actividad solar. Mejora la calidad del agua para consumo humano la cual debe tener como condición previa una baja turbiedad y preferiblemente haber sido sometida a un proceso de filtración o clarificación. La región donde se vaya a recomendar este procedimiento requiere condiciones de radiación solar favorables y debe estar asistido en forma permanente por un promotor de saneamiento básico rural para verificar que el agua tratada de esta manera sea apta para consumo humano (RAS, 2000).

El tratamiento consiste básicamente en llenar botellas plásticas transparentes con agua filtrada y exponerlas a pleno sol entre 5 y 10 horas aproximadamente dependiendo del estado de actividad solar. Se recomienda para la preparación de alimentos; pero el tratamiento tiene formas de almacenamiento para consumo humano, por lo cual es necesario proceder con la rigurosidad recomendada para esta técnica de desinfección (RAS, 2000).

2.3.1 Ventajas y desventajas de SODIS. En la Tabla 1, se presentan las ventajas y desventajas del método SODIS.

Tabla 1. Ventajas y desventajas de SODIS

SODIS	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • SODIS mejora la calidad microbiológica del agua para consumo humano. • SODIS puede servir como un punto de entrada para la educación en salud e higiene. • Los sistemas públicos de abastecimiento de agua en los países en desarrollo frecuentemente no garantizan el suministro de agua segura para el consumo humano. • 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. SODIS reduce esta carga, pues es necesario obtener menos 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. • Se reducen los gastos en fuentes tradicionales de energía, como gas, kerosén y leña. Sólo se requieren recursos limitados para la adquisición de botellas plásticas transparentes; por lo tanto, personas de escasos recursos pueden tener acceso a SODIS. 	<ul style="list-style-type: none"> • SODIS requiere suficiente radiación solar; por lo tanto, depende de las condiciones climáticas. • SODIS requiere que el agua no esté turbia. • SODIS no mejora la calidad química del agua. • SODIS no es útil para tratar grandes volúmenes de agua.

Fuente: EAWAG/SANDEC, 2002.

2.3.2 Formas de inactivación de patógenos por SODIS. Según Oates *et al.*, (2003) la radiación UV-A, rojo e infrarrojo del sol pueden inactivar los patógenos a través de tres mecanismos:

En primer lugar, la radiación UV-A absorbida por el ADN puede causar timina continuamente y formar dímeros de timina, que antes de tiempo puede terminar la replicación del ADN. Además, la reparación incorrecta de dímeros de timina también puede causar mutaciones.

En segundo lugar, la materia orgánica disuelta absorbe los rayos UV para inducir a reacciones fotoquímicas que forman especies altamente reactivas como superóxidos (O_2), peróxidos (H_2O_2) y radicales hidroxilo (OH^*). Estos pueden destruir microorganismos mediante la oxidación de componentes.

Tercero, el agua absorbe fuertemente la luz roja e infrarroja que crea calor. Temperaturas superiores a las de máximo crecimiento de microorganismos puede causar desnaturalización impidiendo la naturalización de la proteína posiblemente provocando la muerte de organismos.

2.3.3 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 $70-75^{\circ}C$. El uso combinado de la radiación UV-A y del calor produce un efecto de sinergia que incrementa la eficacia del proceso (EAWAG/SANDEC, 2002).

2.3.3.1 Efectos de la radiación UV. La radiación solar directa que llega a los ríos y lagos varía con la altura angular de la radiación, la hora del día, la estación y la latitud. La calidad y cantidad de la luz también varía con la transparencia molecular de la atmósfera y la distancia que viaja la luz a través de ella. Por tanto esta varía con la altitud y las condiciones meteorológicas (Wetzel y Likens, 2000, p. 15-24).

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 (EAWAG/SANDEC, 2002).

2.3.3.2 Efectos de la temperatura (radiación infrarroja). La mayor fuente de calor en el agua es la radiación solar por absorción directa. Algo de transferencia de calor del aire y los sedimentos se produce, pero esta es generalmente pequeña en comparación con absorción directa de la radiación solar, los compuestos orgánicos disueltos y las partículas en suspensión (Wetzel y Likens, 2000, p. 15-24).

Otro aspecto de la luz solar es la radiación de onda larga, denominada infrarroja. Esta radiación no la puede ver el ojo humano, pero se siente el calor producido por la luz con una longitud de onda superior a 700 nm. La radiación infrarroja absorbida por el agua es responsable de su calentamiento (EAWAG/SANDEC, 2002).

Los microorganismos son sensibles al calor. En la Tabla 2 presenta la temperatura y el tiempo de exposición necesarios para eliminar microorganismos. Se puede observar que el agua no tiene que hervir para destruir el 99.9% de los microorganismos, el calentamiento del agua a 50-60°C durante una hora presenta el mismo efecto (EAWAG/SANDEC, 2002).

Tabla 2. Resistencia de microorganismos

Microorganismos	Temperatura para una desinfección al 100%		
	1 min	6 min	60 min
Enterovirus			62°C
Rotavirus			63°C por 30 min
Coliformes fecales			
<i>Salmonella</i>		62°C	58°C
<i>Shigella</i>		61°C	54°C
<i>Vibrio cholerae</i>			45°C
Quistes de <i>Entamoeba histolytica</i>	57°C	54°C	50°C
Quistes de <i>Giardia</i>	57°C	54°C	50°C
Huevos y larvas de gusano ganchudo		62°C	51°C
Huevos de <i>Ascaris</i>	68°C	62°C	57°C
Huevos de <i>Squistosoma</i>	60°C	55°C	50°C
Huevos de Tenia	65°C	57°C	51°C

Fuente: EAWAG/SANDEC, 2002.

2.4 *Artemisia Annua*

En los años 70, científicos descubrieron que la *Artemisia annua* puede ser un remedio eficaz contra la malaria (Allahdín, 2008). Esta planta se distribuye geográficamente de manera amplia en zonas de clima templado, fresco y zonas subtropicales (sobre todo en Asia) de todo el mundo. Se originó en China y crece principalmente en el centro, el este y el sur de Europa y en la mitad norte, y partes de Asia oriental. Sin embargo, también crece en la región del Mediterráneo y los

países del norte de África, así como en Asia del sur y suroeste. Además, tras su asentamiento en América del Norte desde el norte de Asia. Su crecimiento es mayor en Canadá y en los Estados Unidos (WHO, 2006).

Artemisa annua es una planta anual, aromática, de color verde. Tallo erguido, estriado, de color marrón o violeta-marrón, crece naturalmente a 30-100 cm de alto (las plantas cultivadas pueden alcanzar los 200 cm de altura) (WHO, 2006).

En cuanto al material vegetal de *Artemisa annua* presenta hojas frágiles y de color verde o marrón-verde en forma de polvo, con un aroma característico. Tiene un sabor ligeramente amargo y refrescante (WHO, 2006).

2.4.1 Generalidades de *Artemisa annua*

Figura 1. Presentación de *Artemisa annua*

- Reino: Plantae
- División: Fanerógama Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Orden: Asterales
- Familia: *Asteraceae*
- Subfamilia: Asteroideae
- Tribu: Anthemideae
- Subtribu: Artemisiinae
- Género: *Artemisia*
- Especie: *Artemisa annua*



Artemisa annua químicamente se compone de constituyentes volátiles y no volátiles. Los componentes volátiles se deben principalmente a los aceites esenciales con el contenido de este último 0,2-0,25% (WHO, 2006). Los compuestos principales, que representan alrededor del 70% de los aceites esenciales, parece ser canfeno, β -canfeno, cetona isoartemisia, 1-alcanfor, β -cariofileno y β -pineno. Además, otros ingredientes menores, tales como la artemisia cetona, 1,8-cineol, el hidrato de canfeno, y cuminal también se encuentran en las partes volátiles de *Artemisa annua* (WHO, 2006).

3. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo se relaciona la temperatura y la radiación solar, con los tiempos de exposición solar en ensayos de interacción SODIS-*Artemisia annua* para la descontaminación del agua con respecto a *E-coli* y *Salmonella*?

¿Cómo es el comportamiento de las variables pH, oxígeno disuelto, turbiedad, conductividad eléctrica en el sistema de SODIS-*Artemisia annua*?

4. HIPÓTESIS

La radiación solar y la temperatura influirán sobre el tiempo de exposición del sistema SODIS-*Artemisia annua*. La sinergia de la radiación solar y la temperatura como agentes que inactivaran las bacterias *E-coli* y *Salmonella*, reduciendo el tiempo de exposición cuando se combinan con el extracto de *Artemisia annua*. Este funcionaría como un agente que potencializa el efecto bactericida de SODIS, debido a su capacidad para inactivar microorganismos.

Se espera que en los ensayos SODIS-*Artemisia annua* en botellas PET, las variables pH y conductividad eléctrica no se alteren de manera significativa, mientras que la turbiedad estará ligeramente afectada por el decrecimiento de microorganismos y por el sustrato de *Artemisia annua*. En cuanto al oxígeno disuelto, se disminuirá debido al incremento de temperatura y la demanda de oxígeno por parte de los microorganismos.

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar el efecto de la relación SODIS-*Artemisia annua*, sobre la desinfección de agua.

5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Evaluar si el sistema SODIS-*Artemisia annua* mejora la condición del agua contaminada con respecto a *E-coli* y *Salmonella*.
- Evaluar si *Artemisia annua* tiene efecto descontaminante sobre las bacterias *E-coli* y *Salmonella*.
- Evaluar si SODIS tiene efecto descontaminante sobre las bacterias *E-coli* y *Salmonella*.
- Determinar y analizar el comportamiento de los variables fisicoquímicas: pH, temperatura del agua, oxígeno disuelto, turbiedad, conductividad eléctrica durante el proceso del sistema SODIS-*Artemisia annua*.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 MATERIALES

Para el diseño experimental se seleccionaron los siguientes elementos de trabajo:

- Bacterias: *Escherichia coli* (ATCC 25922) y *Salmonella typhimurium* (ATCC 14028) obtenidas a partir de un vial criopreservado con glicerol a -20°C.
- Medios de cultivo: se utilizaron agar Luria Bertani (Merck) para *E. coli* y agar nutritivo (Merck) para *Salmonella typhimurium*.
- Agua destilada y esterilizada.
- Botellas PET de 500 mL de volumen previamente estériles.
- *Artemisia annua*, traída de Luxemburgo, donada por el profesor Pierre Lutgen de IfbV-Luxemburg.
- Colector solar: teja de zinc con una inclinación aproximada de 20°.
- Equipos utilizados para la medición de las diferentes variables en el experimento se describen en la Tabla 3, con sus respectivas referencias y unidad de medida.

Tabla 3. Equipos para evaluar variables fisicoquímicas

Equipo	Referencia	Variables medidas	Unidad
pHmetro	PH-2000	pH	Unidad de pH
Oxímetro	HACH HQ40d mult	Temperatura y Oxígeno disuelto	°C y mg/L
Turbidímetro	HACH 2100Q	Turbiedad	NTU
Conductímetro	HACH sension5	Conductividad eléctrica	µs/cm
Cuantómetro	LI-1400dataLOGGER	Radiación solar	µmol/m ² s

Los equipos fueron previamente calculados, cada día de muestreo siguiendo el protocolo del manual de cada uno de ellos.

6.2 FASE DE LABORATORIO

Para la exposición de las botellas PET al sol, se utilizó la terraza del Laboratorio de Procesos Biológicos, de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de

Antioquia, al igual que las mediciones de las variables fisicoquímicas. En cuanto a la medición del crecimiento de microorganismos se llevó a cabo en el Laboratorio de Microbiología, de la Escuela de Microbiología de la Universidad de Antioquia.

6.3 INFUSION DE *Artemisia annua*

La infusión de *Artemisia annua*, fue preparada siguiendo la metodología propuesta por Allahdín *et al.*, 2008 y Mueller *et al.*, 2000, se tomaron 5 g de la planta seca y se adicionaron en 250 mL de agua destilada a punto de ebullición después de 10 minutos de contacto se filtró la infusión en membranas de 0,45 μm , obteniendo la presentación del té (Figura 2).

Figura 2. Infusión de *Artemisia annua*



6.4 PREPARACIÓN DE BOTELLAS

Para llevar a cabo el desarrollo del proyecto y evaluar si *Artemisia annua* potencializa el método SODIS, se evaluaron cuatro sistemas, los cuales se pueden apreciar en la Figura 3:

- SODIS: Se utilizó una botella PET de 500 mL de volumen, con 400 mL de agua destilada estéril, para ser expuesta al sol.
- SODIS + *Artemisia annua*: Se utilizó una botella PET 500 mL de volumen, con 360 mL de agua destilada estéril y 40 mL de la infusión de *Artemisia annua* (10% v/v), con exposición al sol.
- *Artemisia annua*: Se utilizó una botella PET 500 mL de volumen, con 400 mL de la infusión de *Artemisia annua*, sin exposición al sol.

- Control de crecimiento de la bacteria evaluada: Para cada una de las bacterias evaluadas, se utilizó una botella PET de 500 mL de volumen, con 400 mL de agua destilada estéril, sin exposición a la luz del sol, para ver el comportamiento de los microorganismos en condiciones ambientales.

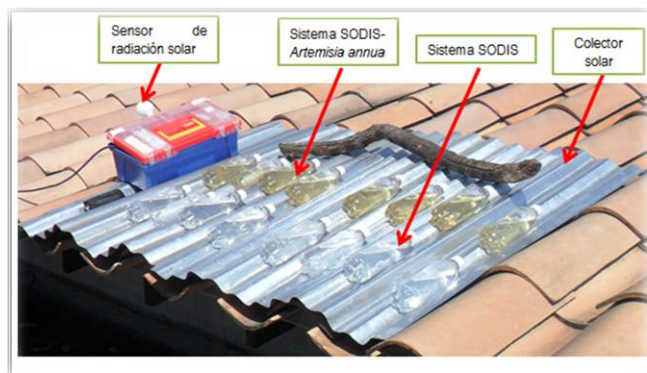
Figura 3. Muestras de sistemas a evaluar



El procedimiento anteriormente mencionado se llevó a cabo para cada periodo de muestreo (cero, media, una, dos, cuatro y seis horas), para evitar posibles contaminaciones en cuanto al análisis microbiológicos.

Las botellas PET, con los diferentes sistemas a evaluar fueron inoculadas aproximadamente con 1×10^6 UFC/mL con las bacterias. Posteriormente, las botellas se llevaron a exposición a la luz solar en la terraza del Laboratorio de Procesos Biológicos, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia, utilizando como colector la teja de zinc y el sensor de radiación solar del cuantómetro, (Figura 4).

Figura 4. Montaje de exposición de los sistemas SODIS y SODIS – *Artemisia annua*



6.5 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Para verificar el crecimiento microbiano y saber la efectividad de los diferentes sistemas, se realizaron siembras por duplicado en los periodos de tiempo establecidos para el muestreo (cero, media, una, dos, cuatro y seis horas), en agar Luria Bertani para *E-coli* y agar nutritivo para *Salmonella typhimurium*, estas muestras se incubaron durante 24 horas a $35 \pm 0,5$ °C debido que son condiciones adecuadas para el crecimiento de estos microorganismos y el recuento se realizó por el método estándar de conteo en placa, en el Laboratorio de Microbiología de la Escuela de Microbiología de la Universidad de Antioquia.

El procedimiento anteriormente mencionado se llevó a cabo por parte de los estudiantes de Microbiología Ambiental e Industrial, del grupo de investigación Biomicro bajo la dirección de las profesoras María Cecilia Escobar Restrepo, del grupo de investigación GAIA de la Escuela Ambiental y Yamilet Arcos Arango del grupo de Investigación GAIA y Biomicro de la Universidad de Antioquía.

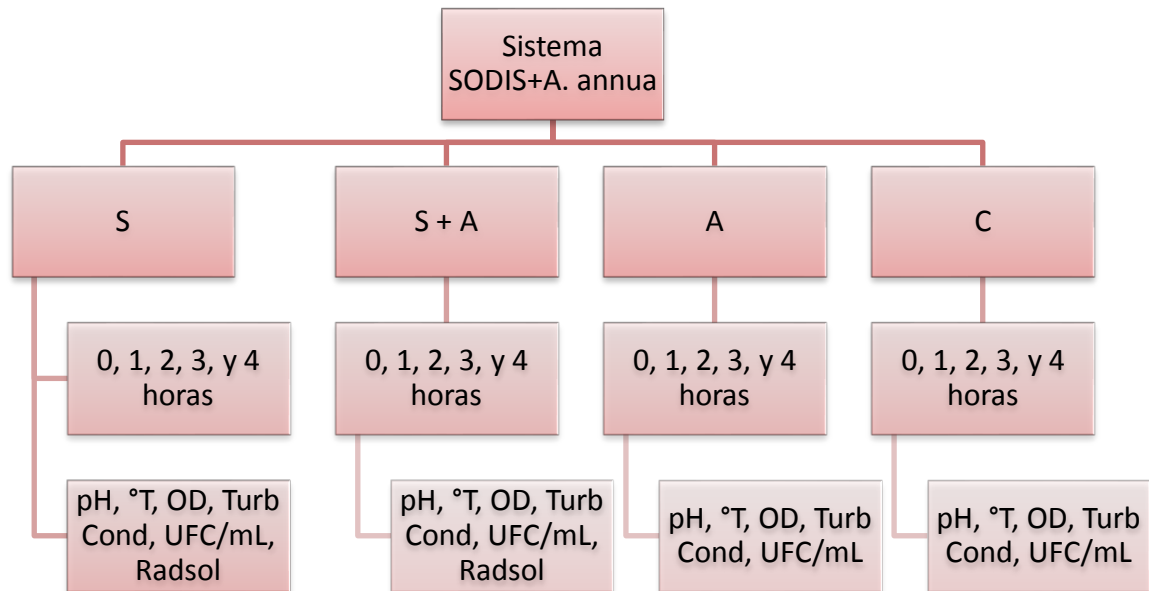
6.6 ANÁLISIS FISICOQUÍMICO

Para el análisis de las variables: pH, temperatura del agua, oxígeno disuelto, turbiedad, conductividad eléctrica y radiación solar se obtuvieron muestras de las botellas expuestas al sol, en los periodos evaluados: cero, media, una, dos, cuatro horas y se realizaban las mediciones con los equipos mencionados, previamente calibrados (Tabla 3). Se efectuaron lecturas de las muestras por triplicado.

6.7 DISEÑO EXPERIMENTAL

Para dar cumplimiento al objetivo general se realizó la siguiente matriz experimental (Figura 5).

Figura 5. Diseño experimental



S: SODIS; S + A: SODIS + *Artemisia annua*; A: *Artemisia annua*; C: Control de crecimiento de bacteria; 1: cero horas; 2: treinta minutos; 3: una hora; 2: dos horas; 4: cuatro horas; °T: Temperatura del agua; OD: oxígeno disuelto; Turb: turbiedad; Cond: conductividad eléctrica; UFC/mL: Unidad Formadora de Colonias por mililitro y Radsol: Radiación solar.

Factores de muestreo: Bacteria, el día de muestreo, tratamiento, hora y la réplica.

Variable respuesta: Bacterias (*E-coli* y *Salmonella*), oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, turbidez, pH, temperatura del agua y radiación solar.

Variables independientes: Temperatura del agua, radiación solar, bacterias (*E-coli* y *Salmonella*).

Variables exógenas: Condiciones ambientales (Temperatura y radiación solar).

Unidad experimental: Las muestras fueron preparadas previamente en el Laboratorio de Microbiología, de la Escuela de Microbiología de la Universidad de Antioquia.

Campañas de muestreo: Se realizaron tres muestreos para cada una de las bacterias evaluadas: *E-coli*: 28 de agosto, 10 y 11 de septiembre de 2011; *Salmonella*: 10, 17 y 18 de septiembre de 2011.

6.8 ANÁLISIS DE DATOS

Para determinar la normalidad de los datos registrados en el experimento, se aplicó la prueba Shapiro–Will.

Se llevó a cabo un análisis exploratorio y descriptivo de los datos utilizando la media y la mediana como medida de tendencia central y como medidas de dispersión: desviación estándar, varianza y coeficiente de variación, de acuerdo con los resultados de normalidad. También se determinaron los valores mínimos, máximos y rangos en cada sistema estudiado tanto para *E-coli* como para *Salmonella*.

Se llevó a cabo el análisis del comportamiento de las variables fisicoquímicas (pH, temperatura del agua, oxígeno disuelto, turbiedad y conductividad eléctrica) durante el tiempo de muestreo, se utilizó la prueba t-student y Kruskal-Wallis para analizar el comportamiento de las variables fisicoquímicas de los tratamientos SODIS, SODIS-*Artemisia annua* y *Artemisia annua* con respecto al control de crecimiento tanto para *E-coli* como *Salmonella*

Se realizó el análisis de remoción de *E-coli* y *Salmonella* para los tratamientos SODIS, SODIS-*Artemisia annua* y *Artemisia annua*.

Para el análisis de datos se utilizó el programa Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) versión 16.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 NORMALIDAD

Para la comprobación de la hipótesis de normalidad se empleó la prueba de Shapiro-Wilk. Para saber si los datos obtenidos tienen un comportamiento normal, se planteó lo siguiente:

La hipótesis nula **H₀**: “el conjunto de datos sigue una distribución normal”. Y La hipótesis alternativa **H₁**: “el conjunto de datos no sigue una distribución normal”.

Para la verificación de las hipótesis planteadas anteriormente se tiene en cuenta que se cumplan los siguientes criterios:

Si la significancia es inferior a 0,05 entonces se da cumplimiento a la hipótesis **H₀** y si la significancia es superior a 0,05 se daría cumplimiento a la hipótesis alternativa **H₁**.

Con lo anteriormente mencionado se aceptó la hipótesis nula de que los datos presentan un comportamiento normal para el pH (Anexo 1) en los diferentes tiempos de muestreo, para el tratamiento SODIS y SODIS-*Artemisia annua* (con un 95% de confianza (Significancia $\geq 0,05$)) a pesar de que el valor de significancia para el tratamiento SODIS a las cero y a la cuarta hora y para el tratamiento SODIS-*Artemisia annua* a la primera y cuarta hora fue menor a 0,05, mientras que en el tratamiento *Artemisia annua* y el control de crecimiento de *E-coli* se aceptó la hipótesis alternativa puesto que los datos no siguen una distribución normal.

En cuanto a la temperatura del agua (Anexo 2) se aceptó la hipótesis nula de que los datos presentan un comportamiento normal para el tratamiento SODIS, *Artemisia annua* y control de crecimiento de *E-coli* (con un 95% de confianza (Significancia $\geq 0,05$)) a pesar de que el valor de significancia para el tratamiento SODIS a las cero horas, para el tratamiento *Artemisia annua* a las cero y una horas y para el control de crecimiento de *E-coli* a las cero horas fue menor a 0,05. En cuanto al tratamiento SODIS-*Artemisia annua* se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa: el conjunto de datos no sigue una distribución normal.

En el Anexo 3, se encontró que en los datos para el oxígeno disuelto la significancia es inferior a 0,05 por tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta que los datos no presentan un distribución normal (Hipótesis nula).

Respecto a la turbiedad (Anexo 4), se aceptó la hipótesis nula, que los datos presentan una distribución normal para el tratamiento SODIS, SODIS-*Artemisia*

annua y el control de crecimiento de *E-coli* a pesar de que el valor de significancia para el tratamiento SODIS a la cuarta hora y para el control de crecimiento de *E-coli* a las cero y una hora fue menor al 0,05, y para el tratamiento *Artemisia annua* no se cumple la hipótesis nula, por tanto se acepta la hipótesis que los datos no cumplen una distribución normal.

Los datos de conductividad eléctrica para el tratamiento SODIS y el control de crecimiento de *E-coli* (Anexo 5) muestran que se cumple que la significancia es mayor al 0,05 por tanto se acepta la hipótesis nula (el conjunto de datos de datos cumple con una distribución normal) a pesar de que el valor de significancia para el tratamiento SODIS a la primera y segunda hora y para el control de crecimiento para *E-coli* en la primera y cuarta hora no fue superior a 0,05. En cuanto al tratamiento SODIS-*Artemisia annua* y *Artemisia annua* no se cumple la hipótesis nula por tanto se acepta la hipótesis alternativa (el conjunto de datos no cumple una distribución normal).

Finalmente tanto para radiación solar (Anexo 6) y los datos Log(N/No) (Anexo 7), no se cumple con la hipótesis de distribución normal del conjunto de datos, por tanto se acepta la hipótesis alternativa (el conjunto de datos no presenta una distribución normal).

Respecto a los datos de las variables fisicoquímicas y microbiológicas medidas para *Salmonella* se presentó condiciones similares a las de *E-coli* (Anexos 8-14), puesto que no todas las variables fisicoquímicas y microbiológicas cumplieron una tendencia de datos normal.

Lo mencionados anteriormente posiblemente ocurrió por problemas de calibración de los equipos, la medición de las variables evaluados no se manejó en el tiempo adecuado lo que pudo influir en que los microorganismos evaluados presentaran de alguna manera un cambio en los resultados de las mediciones, las condiciones del lugar donde se realizaron las mediciones no fueron similares por lo cual los microorganismos pudieron presentar comportamientos distintos y alterar las mediciones de las variables fisicoquímicas y microbiológicas en cada día de muestreo.

En cuanto a los datos de radiación solar no se presentó normalidad en la distribución de datos, puesto que esta información es fácilmente variable debido a factores como la velocidad del viento, la nubosidad, la hora en la que se dio inicio el muestreo, lo que generó cambios en segundos sobre las mediciones realizadas en cada periodo de muestreo y en consecuencia provocó que los tres datos tomados en cada hora de muestreo fueran muy diferentes.

7.2 ESTADÍSTICOS DE TENDENCIA CENTRAL Y DE DISPERSIÓN

En el Anexo 19, se encontraron coeficientes de variación de conductividad eléctrica para *E-coli* en el tratamiento SODIS de 92,49%, 76,05% y 63,12% en la primera, segunda y cuarta hora de muestreo respectivamente, y en *Salmonella* se presentaron altos coeficientes de variación en la conductividad eléctrica del control de crecimiento en la segunda y cuarta hora de muestreo con coeficientes de variación de 105,73% y 128,69% (Anexo 26) lo que probablemente fue consecuencia de alguna falla mecánica del equipo utilizado para la medición de la variable, errores en la manipulación de los tiempos de muestreo, o el recipiente en el cual se tomaban las respectivas muestras contenía algún residuo de sal que generó el aumento de conductividad eléctrica, aunque en los demás sistemas no se encontraron coeficientes de variación altos.

7.3 COMPORTAMIENTO DE VARIABLES FISICOQUIMICAS EN EL TIEMPO

En la Figura 6 (a), se encontró mayor variación de datos de pH en el tratamiento SODIS aplicado a *E-coli* durante la primera hora de muestreo con un coeficiente de variación del 15,55% (Anexo 15) el cual es el más alto con respecto a los otros coeficientes de variación encontrados y que en las demás horas de muestreo los datos de pH se encuentran dentro de este rango de dispersión, se infiere que existe una tendencia de los datos a ser constante en el muestreo.

Sin embargo se halló que el pH en el tratamiento SODIS se encuentra dentro del rango de pH del agua potable establecido por el Decreto 475 de 1998 (pH entre 6,5 y 9,0).

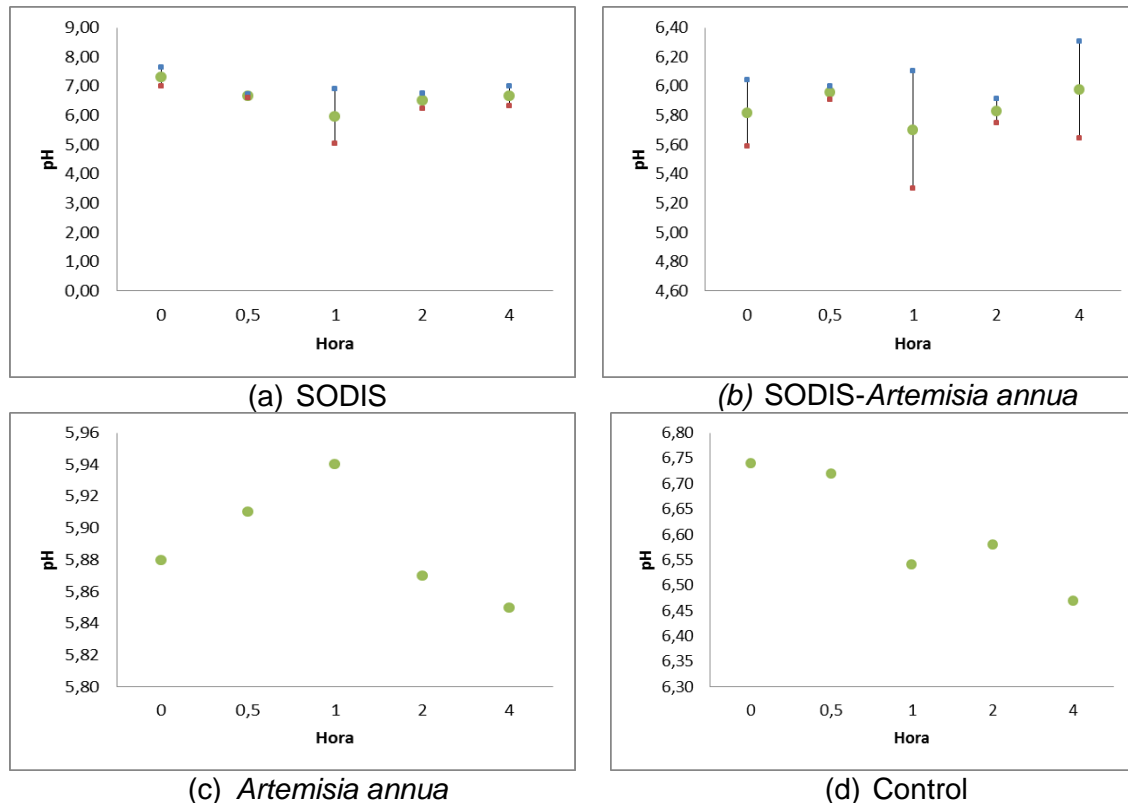
El pH en el tratamiento SODIS-*Artemisia annua* (Figura 6 (b)) presentó un comportamiento constante durante el muestreo, puesto que el coeficiente de variación más alto fue de 7,02% (Anexo 15) en la primera hora de muestreo y los demás coeficientes de variación se encuentran dentro de este rango, pero en este caso el pH no cumple con el pH con el rango exigido para agua potable según el Decreto 475 de 1998. Sin embargo estadísticamente se acepta la hipótesis planteada en la investigación.

El pH presentado en el tratamiento *Artemisia annua* (Figura 6 (c)) no cumple con el pH para agua potable en el Decreto 475 de 1998, puesto que las medianas de pH son inferiores a 6,5 unidades de pH.

El pH presentado para el tratamiento SODIS-*Artemisia annua* y *Artemisia annua* pudo ser alterado probablemente por los compuestos químicos de la planta.

El comportamiento de las medianas de pH en el control de crecimiento de *E-coli* (Figura 6 (d)) se encontró dentro del rango de pH establecido por el Decreto 475 de 1998.

Figura 6. pH Vs Hora para *E-coli* en los diferentes tratamientos evaluados



En la Figura 7 (a), se encontró mayor variación de datos de pH en el tratamiento SODIS aplicado a *Salmonella* durante la cuarta hora de muestreo con un coeficiente de variación del 24,11% (Anexo 22) el cual es el más alto con respecto a los otros coeficientes de variación encontrados, y los datos en las diferentes horas de muestreo se encuentran dentro de este rango, por tanto, se infiere que existe una tendencia constante de los datos.

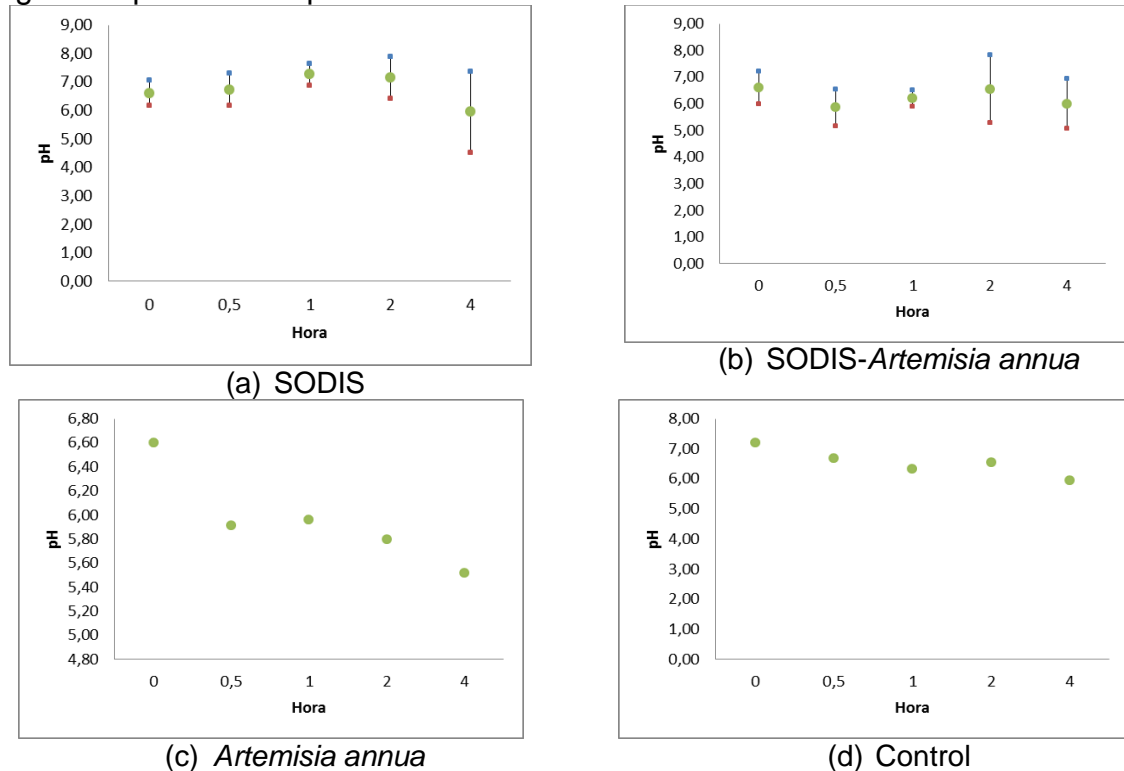
Sin embargo se halló que el pH en el tratamiento SODIS aplicado a *Salmonella* cumplió del rango de pH del agua potable establecido por el Decreto 475 de 1998 (pH entre 6,5 y 9,0).

El pH en el tratamiento SODIS-*Artemisia annua* (Figura 7 (b)) presentó un comportamiento de tendencia de datos constante, puesto que el coeficiente de variación más alto fue de 19,24% (Anexo 22) durante la segunda hora de muestreo y los demás coeficientes de variación se encuentran dentro de este rango, en este caso el pH se encontró dentro del rango de pH establecido para agua potable en el Decreto 475 de 1998. Sin embargo estadísticamente se acepta la hipótesis planteada en la investigación.

El pH presentado en el tratamiento *Artemisia annua* (Figura 7 (c)) no cumplió con el pH para agua potable en el Decreto 475 de 1998, puesto que las medianas de pH son inferiores a 6,5 unidades de pH.

El comportamiento del pH en el control de crecimiento de *E-coli* (Figura 7 (d)) se encontró dentro del rango de pH establecido por el Decreto 475 de 1998.

Figura 7. pH Vs Hora para *Salmonella* en los diferentes tratamientos evaluados

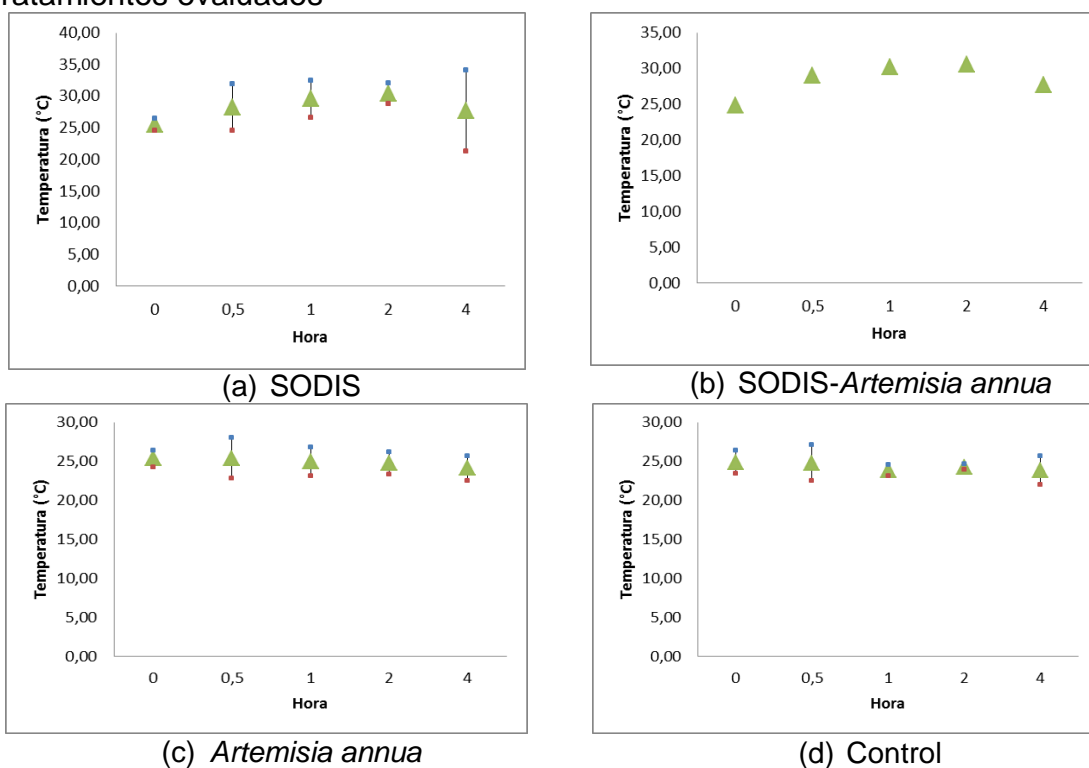


En la Figura 8 (a), se encontró mayor variación de datos de temperatura del agua en el tratamiento SODIS aplicado a *E-coli* durante la cuarta hora de muestreo con un coeficiente de variación del 22,96% (Anexo 16) el cual es el más alto con respecto a los otros coeficientes de variación encontrados, teniendo en cuenta esta información, se infiere que existe una tendencia de datos lineal, puesto que la temperatura del agua fue afectada por la radiación solar y esta aumentaba a medida que transcurría el tiempo.

La temperatura del agua en el tratamiento SODIS-*Artemisia annua* (Figura 6 (b)) un comportamiento similar en cuanto a las medianas de temperatura de agua presentadas en cada hora de muestreo al encontradas en el tratamiento SODIS, puesto que se sometió a las mismas condiciones de radiación solar.

La temperatura del agua encontrada en el tratamiento *Artemisia annua* (Figura 8 (c)) presentó un comportamiento constante durante el periodo de muestreo, puesto que su coeficiente de variación más alto (C.V.: 10,12%) durante los primeros treinta minutos, y se observó que durante las demás horas de muestreo los datos se encuentran dentro de este mismo coeficiente de variación. Similar sucedió en el control de crecimiento de *E-coli*, puesto que sus coeficientes de variación fueron muy similares en cada hora de muestreo (Anexo 16).

Figura 8. Temperatura del agua vs hora para *E-coli* en los diferentes tratamientos evaluados



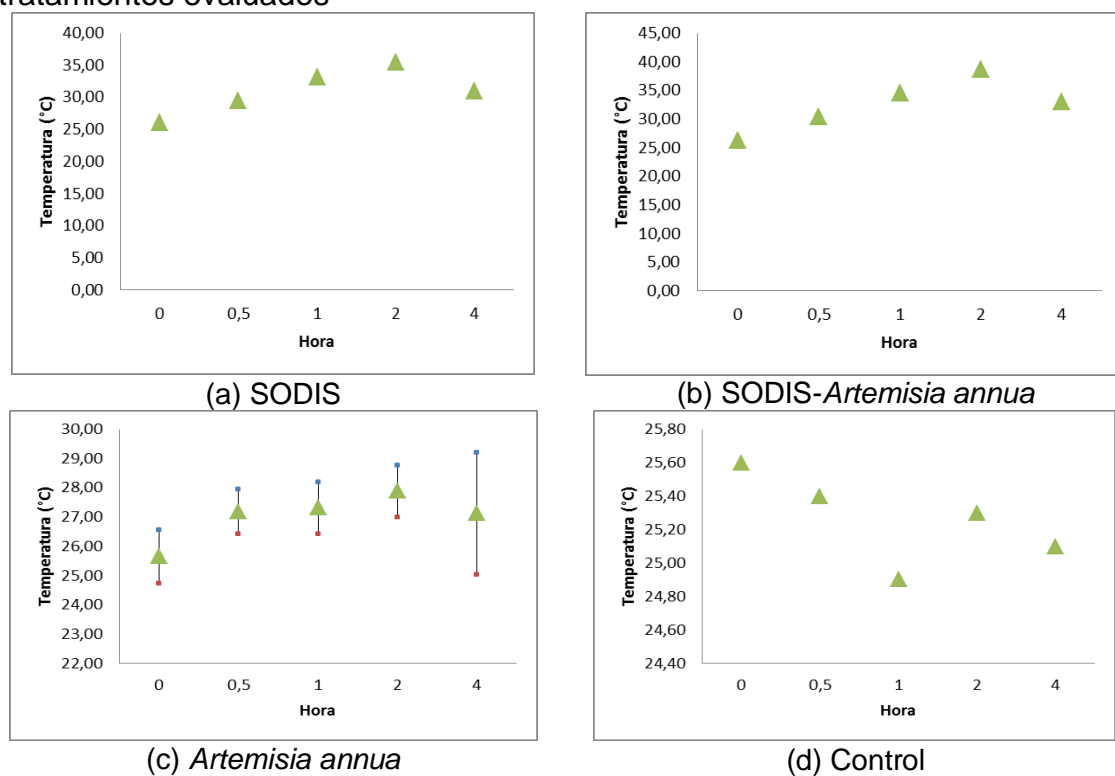
En la Figura 9 (a), se encontró la temperatura del agua en el tratamiento SODIS aplicado a *Salmonella* presentó un incremento de temperatura (Anexo 23) con un comportamiento de las medianas lineal, puesto que la temperatura del agua fue afectada por la radiación solar y esta aumentaba a medida que transcurría el tiempo. De manera similar ocurrió con la temperatura del tratamiento SODIS-*Artemisia annua* (Figura 9 (b)), ya que se sometió a las mismas condiciones de radiación solar.

La temperatura del agua del tratamiento *Artemisia annua* (Figura 9 (c)), presentó un coeficiente de variación de 7,70% y teniendo en cuenta que los datos en el transcurso de tiempo se encuentran dentro de este rango, se infiere

que la temperatura del agua se mantuvo constante durante el tiempo de muestreo.

En la Figura 9 (d), se encontró la temperatura del agua en el control de crecimiento de *Salmonella* presentó variación de las medianas de temperatura del agua (Anexo 23) y su comportamiento fue variado, lo que posiblemente se debió a un incremento de temperatura por los mecheros utilizados para obtener las muestras y llevar a cabo la medición de variables fisicoquímicas sin contaminar la muestra de agua.

Figura 9. Temperatura del agua vs hora para *Salmonella* en los diferentes tratamientos evaluados



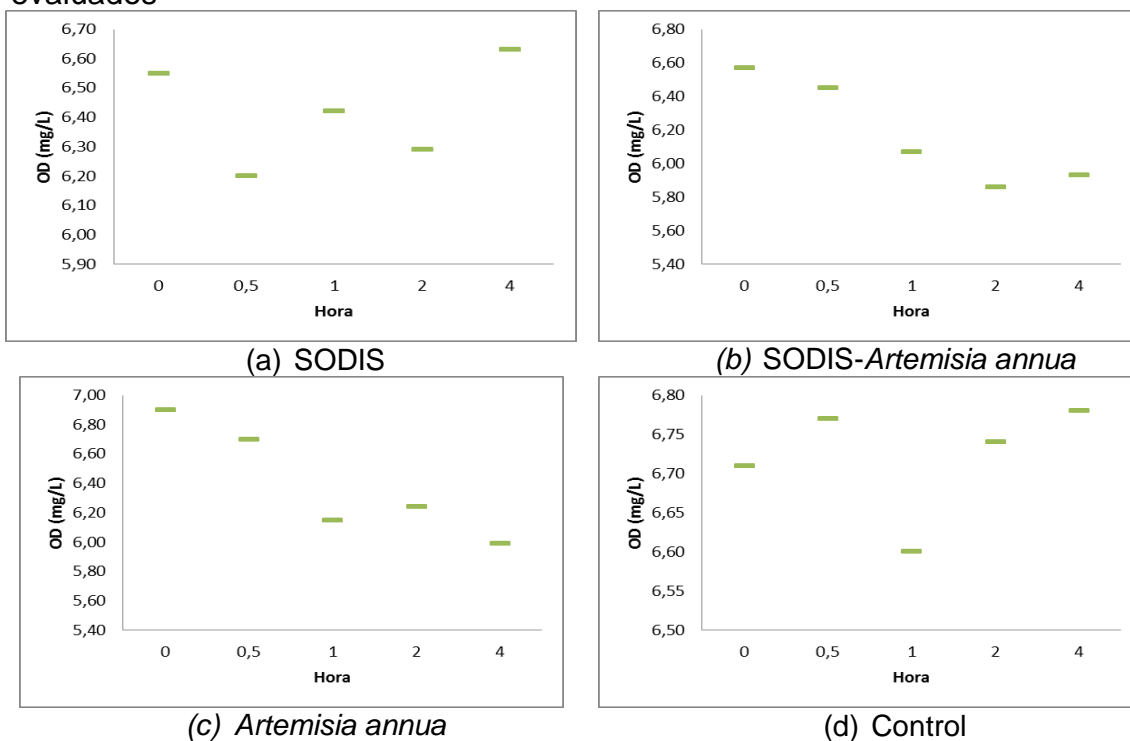
En la Figura 10 (a) el comportamiento de las medianas de oxígeno disuelto para *E-coli* se mantuvo en un mismo rango (Anexo 17) sin embargo la tendencia fue disminuir en el periodo de muestreo, lo que posiblemente se debió al incremento de temperatura y algo de consumo de oxígeno disuelto por parte de los microorganismos.

El comportamiento de las medianas del oxígeno disuelto en el tratamiento SODIS-*Artemisia annua* (Figura 10 (b)) disminuyó en el tiempo, lo que se debió al incremento de temperatura al cual fue expuesto, esta disminución probablemente se incrementó por el crecimiento microbiano el cual fue favorecido por las pequeñas partículas de la planta estudiada ya que pudieron

ser una forma de protección de los microorganismos permitiendo su replicación y en consecuencia se presentó mayor demanda oxígeno disuelto, y probablemente esta misma situación a excepción del incremento de temperatura se presentó en el tratamiento *Artemisia annua* (Figura 10 (c)). Sin embargo estadísticamente se acepta la hipótesis planteada en la investigación.

El control de crecimiento de *E-coli* (Figura 10 (d)) presentó poca variación en las medianas de oxígeno disuelto, lo que pudo presentarse debido a la demanda de oxígeno por parte de los microorganismos.

Figura 10. Oxígeno disuelto vs hora para *E-coli* en los diferentes tratamientos evaluados



En la Figura 11 (a) el comportamiento del oxígeno disuelto para *Salmonella* fue poco variable pues su máximo coeficiente de variación de 6,99% se presentó en la primera hora de muestreo (Anexo 24) sin embargo la tendencia fue disminuir en el periodo de muestreo dentro de este mismo rango de variación, lo que posiblemente se debió al incremento de temperatura y algo de consumo de oxígeno disuelto por parte de los microorganismos.

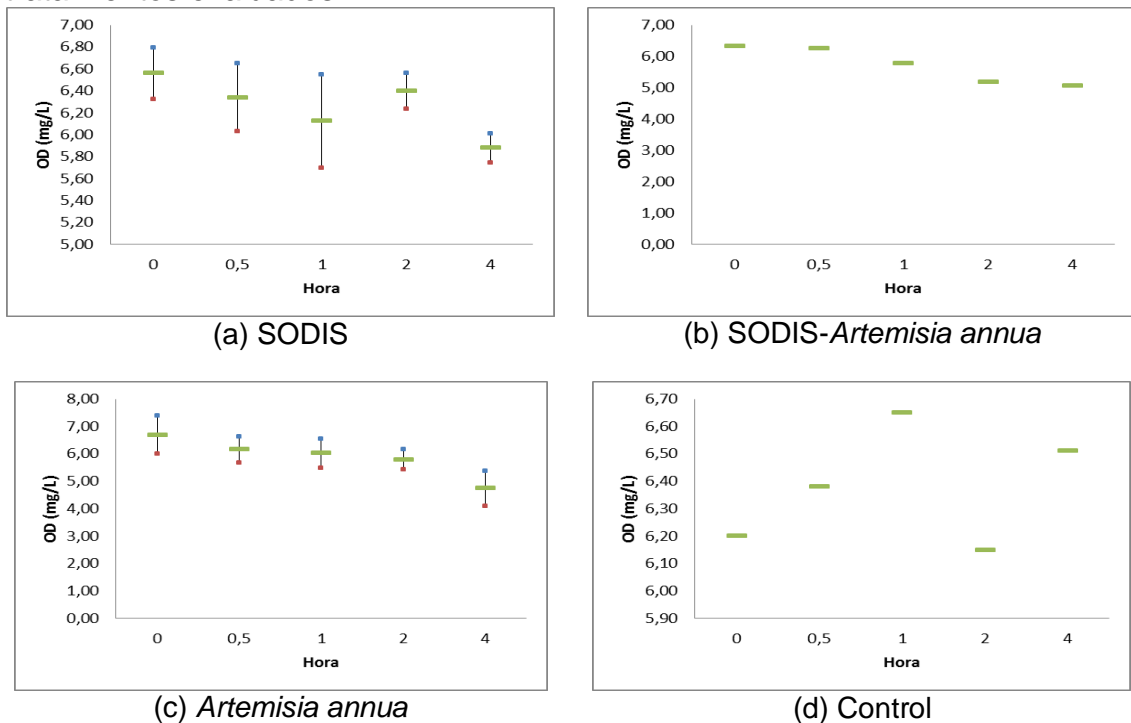
El comportamiento de las medianas de oxígeno disuelto en el tiempo de muestreo en el tratamiento SODIS-*Artemisia annua* (Figura 11 (b)) disminuyó en el tiempo, lo que se debió al incremento de temperatura al cual fue expuesto, esta disminución probablemente también se incrementó por el crecimiento microbiano el cual fue favorecido por las pequeñas partículas de la

planta estudiada ya que pudieron ser una forma de protección de los microorganismos permitiendo su replicación y en consecuencia se presentó mayor demanda oxígeno disuelto. Por tanto estadísticamente se acepta la hipótesis planteada en la investigación.

En el tratamiento *Artemisia annua* (Figura 11 (c)), el oxígeno disuelto se encontró dentro del coeficiente de variación de 10,40% en las cero hora de muestreo y se encontró que el oxígeno disuelto de la cuarta hora de muestreo no se encuentra dentro del rango de variación de la primera hora de muestreo, lo que posiblemente se debió a un error humano en la medición, pero la tendencia en general del oxígeno disuelto fue mantenerse constante en el tiempo de muestreo.

El control de crecimiento de *E-coli* (Figura 11 (d)) presentó variación en las medianas de oxígeno disuelto, lo que pudo presentarse debido al comportamiento de los microorganismos o a cambios en el ambiente como la temperatura.

Figura 11. Oxígeno disuelto vs hora para *Salmonella* en los diferentes tratamientos evaluados



En la Figura 12 (a), se encontró mayor variación de datos de turbiedad en el tratamiento SODIS aplicado a *E-coli* durante la cuarta hora de muestreo con un coeficiente de variación del 28,52% (Anexo 18) el cual es el más alto con respecto a los otros coeficientes de variación encontrados, teniendo en cuenta

esta información, se infiere que existe una tendencia constante de los datos, puesto que en las otras horas de muestreo los datos de turbiedad se encuentran dentro del rango de variación.

Sin embargo se halló que la turbiedad presentada en el tratamiento SODIS aplicado a *E-coli* cumplió del rango de turbiedad (≤ 5 NTU).del agua potable establecido por el Decreto 475 de 1998

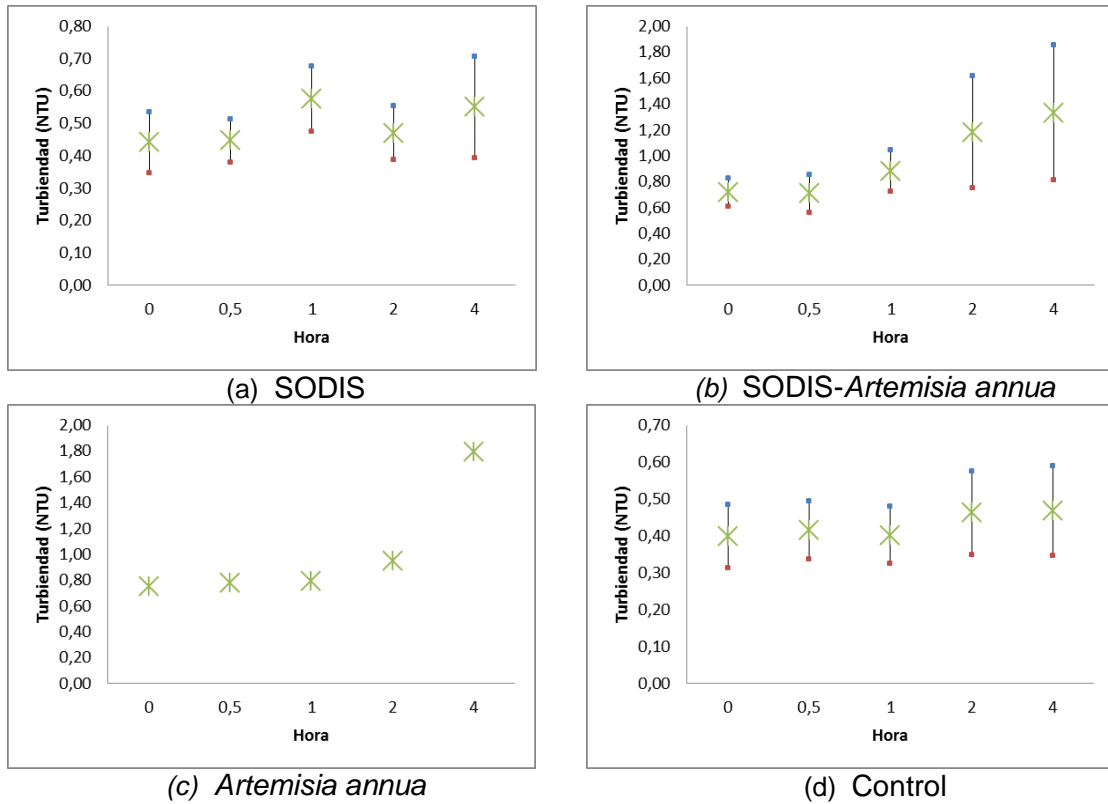
La turbiedad en el tratamiento SODIS-*Artemisia annua* (Figura 12 (b)) presentó un comportamiento estadísticamente constante en el tiempo, con un coeficiente de variación más alto fue de 39,21% (Anexo 18), y su rango de variación se encontró dentro del valor de turbiedad establecido para agua potable en el Decreto 475 de 1998. Sin embargo estadísticamente se acepta la hipótesis planteada en la investigación.

La turbiedad que se presentó en el tratamiento *Artemisia annua* (Figura 12 (c)), presentó un comportamiento de medianas similar, sin embargo en la cuarta hora de muestreo alcanzó un turbiedad de 1,79 NTU, lo que probablemente ocurrió por las partículas de *Artemisia annua* en la muestra, sin embargo las medianas de turbiedad fueron inferiores con respecto a la turbiedad exigida en el Decreto 475 de 1998 para agua potable.

El comportamiento la turbiedad en el control de crecimiento de *E-coli* (Figura 12 (d)) y su comportamiento fue constante en el tiempo debido que los rangos de variación se mantuvieron en el coeficiente de variación de 25,89% y se encontró dentro del rango de turbiedad establecido por el Decreto 475 de 1998.

La turbiedad en los tratamientos SODIS-*Artemisia annua* y *Artemisia annua* fue mayor con respecto al tratamiento SODIS y el control de crecimiento probablemente debido a que el té de *Artemisia annua* a pesar de que fue filtrado por una membrana de $0,45\mu\text{m}$ quedaron pequeñas partículas de la planta en las muestras de agua estudiadas, además el incremento de la turbiedad pudo ser también favorecido por el crecimiento microbiano.

Figura 12. Turbiedad vs hora para *E-coli* en los diferentes tratamientos evaluados



En la Figura 13 (a), se encontró mayor variación de datos de turbiedad en el tratamiento SODIS aplicado a *Salmonella* durante la primera hora de muestreo con un coeficiente de variación del 5,73% (Anexo 25) el cual es el más alto con respecto a los otros coeficientes de variación encontrados, teniendo en cuenta esta información, se infiere que existe una tendencia poco variable de los datos, puesto que en las otras horas de muestreo los datos de turbiedad presentaron coeficientes de variación inferiores al anteriormente mencionado, lo que probablemente se debe al comportamiento de microorganismos.

Sin embargo se halló que la turbiedad presentada en el tratamiento SODIS aplicado a *Salmonella* cumplió del rango de turbiedad del agua potable establecido por el Decreto 475 de 1998.

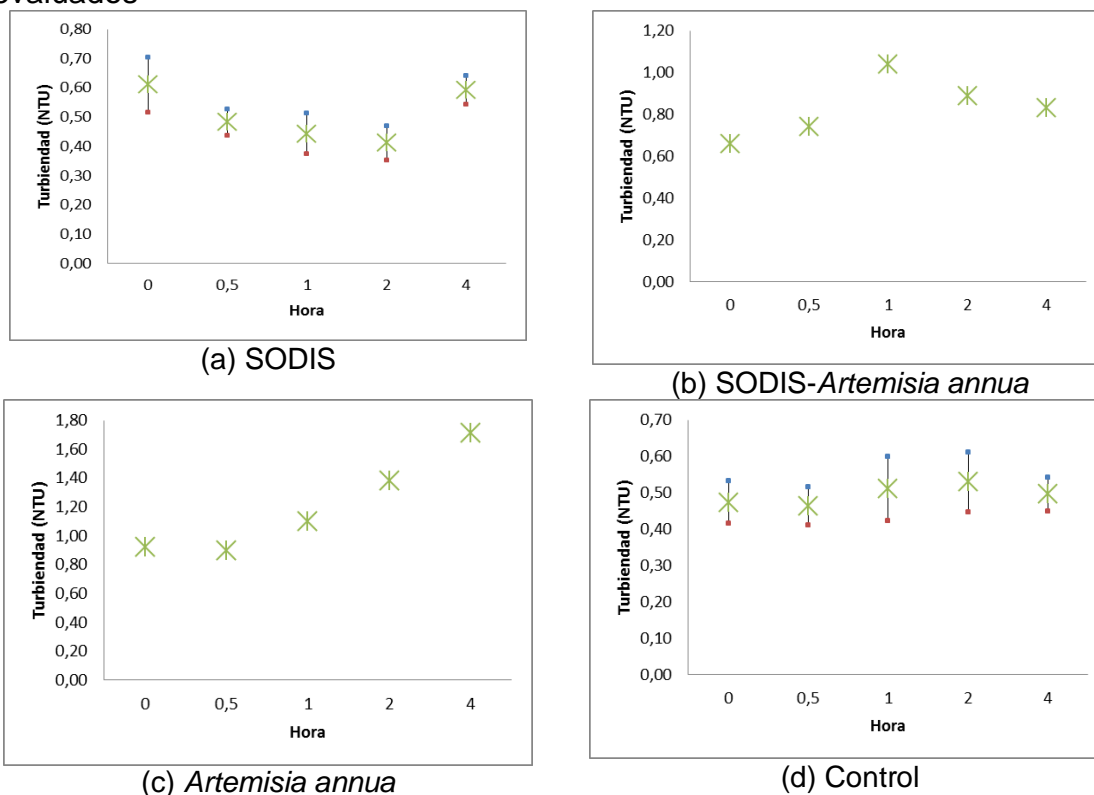
La turbiedad en el tratamiento SODIS-*Artemisia annua* (Figura 13 (b)) presentó un comportamiento de las mediana, (Anexo 18), y sin embargo este comportamiento probablemente se presentó por las partículas de la planta *Artemisia annua*, debido que al adicionar la muestra para llevar a cabo el análisis de turbiedad en el turbidímetro, la cantidad de partículas es diferente en cada muestreo. Sin embargo las medianas encontradas (Anexo 25) fueron inferiores al valor de turbiedad establecido para agua potable en el Decreto 475

de 1998. Sin embargo estadísticamente se acepta la hipótesis planteada en la investigación.

La turbiedad que se presentó en el tratamiento *Artemisia annua* (Figura 13 (c)) fue inferior a la turbiedad agua potable exigida en el Decreto 475 de 1998, puesto que las medianas de turbiedad fueron valores inferiores a 5 NTU y el comportamiento presenta una tendencia de incremento en el tiempo probablemente debido a que el té de *Artemisia annua* a pesar de que fue filtrado por una membrana de 0,45µm quedando pequeñas partículas de la planta en las muestras de agua estudiadas, además el incremento de la turbiedad pudo ser también favorecido por el crecimiento microbiano.

El comportamiento la turbiedad en el control de crecimiento de *Salmonella* (Figura 13 (d)) fue constante en el tiempo debido que su coeficiente de variación máximo de 4,49% (Anexo 25) y los demás coeficientes de variación se encuentran dentro del mismo rango de variación y se encontró que la turbiedad cumplió con la turbiedad establecida por el Decreto 475 de 1998.

Figura 13. Turbiedad vs hora para *Salmonella* en los diferentes tratamientos evaluados



En la Figura 14 (a), se encontró mayor variación de datos de conductividad eléctrica en el tratamiento SODIS aplicado a *E-coli* durante la primera hora de muestreo con un coeficiente de variación del 92,49% (Anexo 19) el cual es el más alto con respecto a los otros coeficientes de variación encontrados,

teniendo en cuenta esta información, se infiere que existe una tendencia constante de los datos, puesto que en las otras horas de muestreo los datos de conductividad eléctrica presentaron coeficientes de variación inferiores al anteriormente mencionado y los datos se encuentran dentro de los mismos rangos de variación, sin embargo el coeficiente de variación de 92,49% probablemente se presentó por alguna error de medición, puesto que los coeficientes de variación en las otras horas de muestreo fueron inferiores.

Sin embargo se halló que la conductividad eléctrica presentada en el tratamiento SODIS aplicado a *E-coli* cumplió del rango de turbiedad del agua potable establecido por el Decreto 475 de 1998.

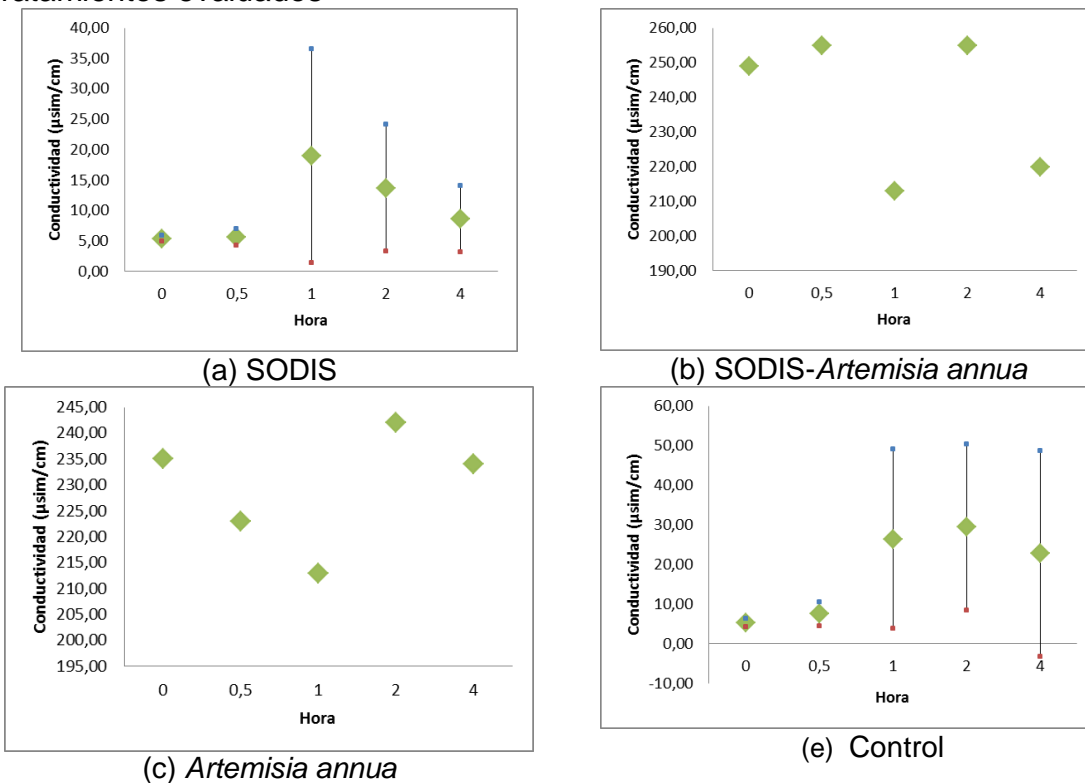
La conductividad eléctrica en el tratamiento SODIS-*Artemisia annua* (Figura 14 (b)) presentó un comportamiento de medianas variable, (Anexo 19). Sin embargo estadísticamente se acepta la hipótesis planteada en la investigación. Las medianas de conductividad eléctrica cumplieron con la conductividad para agua potable establecida en el Decreto 475 de 1998.

El comportamiento de las medianas de conductividad eléctrica que se presentó en el tratamiento *Artemisia annua* (Figura 14 (c)) fue variable, probablemente por error en la medición de la variable.

Los tratamientos SODIS-*Artemisia annua* y *Artemisia annua* presentaron una conductividad eléctrica superior a 200,00 $\mu\text{sim/cm}$, lo que probablemente indica que la planta *Artemisia annua* generó algunos compuesto químicos como sales que en consecuencia aumentaron la conductividad eléctrica.

El comportamiento de la conductividad eléctrica en el control de crecimiento de *E-coli* (Figura 14 (d)), presentó altos coeficientes de variación (Anexo 19), lo que probablemente se debe a la posible presencia de algún tipo de sal que se encontrara como residuo en el recipiente de muestreo, o probablemente surgió un error en la calibración del equipo.

Figura 14. Conductividad eléctrica vs hora para *E-coli* en los diferentes tratamientos evaluados



En la Figura 15 (a), se encontró variación en las medianas de conductividad eléctrica en el tratamiento SODIS en las cero y cuarta hora de muestreo (Anexo 26) lo que probablemente se debió a la presencia de algún tipo de sal que se encontrara como residuo en el recipiente de muestreo, o probablemente surgió un error en la calibración del equipo. Sin embargo se halló que la conductividad eléctrica presentada en el tratamiento SODIS aplicado a *E-coli* cumplió el rango de conductividad eléctrica del agua potable establecido por el Decreto 475 de 1998.

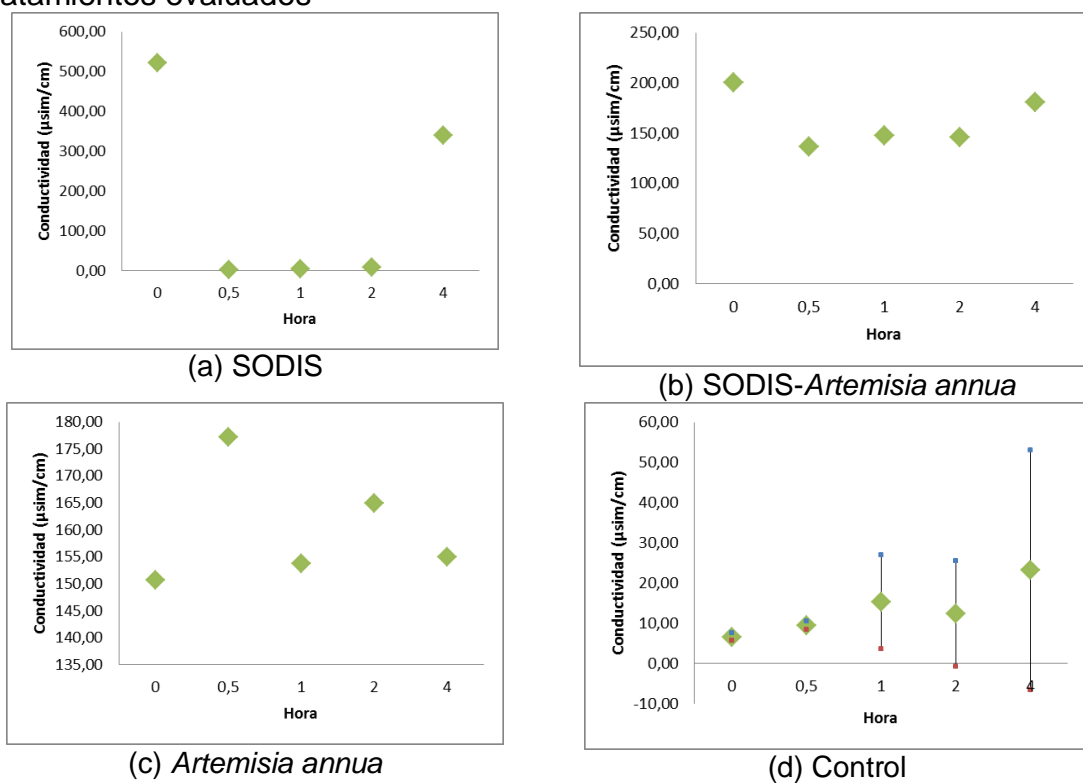
La conductividad eléctrica en el tratamiento SODIS-*Artemisia annua* (Figura 15 (b)) y *Artemisia annua* (Figura 15 (c)) presentaron medianas muy variables lo que probablemente se debe a la posible presencia de algún tipo de sal que se encontrara como residuo en el recipiente de muestreo, o probablemente surgió un error en la calibración del equipo. Sin embargo estadísticamente se acepta la hipótesis planteada en la investigación y la conductividad eléctrica cumplió el rango de conductividad eléctrica del agua potable establecido por el Decreto 475 de 1998.

Los tratamientos SODIS-*Artemisia annua* y *Artemisia annua* presentaron una conductividad eléctrica superior a 200,00 µsim/cm, lo que probablemente indica

que la planta *Artemisia annua* generó algunos compuesto químicos como sales que en consecuencia aumentaron la conductividad eléctrica.

El comportamiento de la conductividad eléctrica en el control de crecimiento de *E-coli* (Figura 15 (d)), presentó altos coeficientes de variación en la primera, segunda y cuarta hora de muestreo (Anexo 26), lo que probablemente se debe a la posible presencia de algún tipo de sal que se encontrara como residuo en el recipiente de muestreo, o probablemente surgió un error en la calibración del equipo.

Figura 15. Conductividad eléctrica vs hora para *Salmonella* en los diferentes tratamientos evaluados



7.4 COMPARACIÓN DE VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS DE LOS TRATAMIENTOS SODIS, SODIS-*Artemisia annua* y *Artemisia annua* CON RESPECTO AL CONTROL DE CRECIMIENTO PARA *E-coli* y *Salmonella*

Prueba t-student

La prueba t-Student se utiliza para contrastar hipótesis sobre medias en poblaciones con distribución normal.

Esta prueba compara las medias de los niveles.

Hipótesis nula: No existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias con un nivel de confianza del 95%.

Hipótesis alterna: Existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias con un nivel de confianza del 95%.

Prueba De Kruskal-Wallis

Al tratarse de un sistema abierto expuesto a un sin número de factores que puede influir en los datos, la alternativa no paramétrica que se utiliza de manera más habitual es la prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes, entre otras. Esta prueba compara las medianas de los niveles.

Hipótesis nula: No existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas con un nivel de confianza del 95%.

Hipótesis alterna: Existen diferencias estadísticamente significativas entre las medianas con un nivel de confianza del 95%.

En los casos en que la significancia es menor que 0,05, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna o alternativa.

Con respecto a lo anteriormente mencionado se procede a realizar el estudio de la prueba t-student para datos normales y Kruskal-Wallis para datos no normales y de esta manera establecer si existen diferencias estadísticamente significativas entre las variables fisicoquímicas con respecto al control de crecimiento para *E-coli* y *Salmonella*.

Análisis inferencial de pH del tratamiento *Artemisia annua* con respecto al control de crecimiento de *E-coli*. Para una confiabilidad del 95% la prueba Kruskal-Wallis determinó que si existen diferencias significativas (significancia 0,00) entre el pH del tratamiento *Artemisia annua* y el pH del control de crecimiento de *E-coli*, lo que probablemente se debió a que los compuestos de la planta *Artemisia annua* presentaron un comportamiento ácido y de esta manera disminuyó el pH del agua para el tratamiento *Artemisia annua*.

Análisis inferencial de temperatura del agua del tratamiento SODIS con respecto al control de crecimiento de *E-coli*. Para una confiabilidad del 95% la prueba t-student (Tabla 4) estableció que existen diferencias entre las medias de temperatura del agua del tratamiento SODIS y el control de crecimiento de *E-coli* (Diferencia de medias: 3,97), esta diferencia de medias fue causada porque la muestra para el tratamiento SODIS fue expuesta a la radiación solar, por tanto la temperatura del agua aumentó a medida que transcurría el tiempo, mientras que el control de crecimiento de *E-coli* se mantuvo bajo techo en condiciones de temperatura inferiores.

Tabla 4. Prueba t-student para evaluar si existen diferencias significativas de temperatura del agua del tratamiento SODIS con respecto al control de crecimiento de *E-coli*

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
									Inferior	Superior
Temperatura (°C)	Se han asumido varianzas iguales	31,62	0,00	6,41	88	0,00	3,97	0,62	2,74	5,20
	No se han asumido varianzas iguales			6,41	57,14	0,00	3,97	0,62	2,73	5,21

Análisis inferencial de temperatura del agua del tratamiento *Artemisia annua* con respecto al control de crecimiento de *E-coli*. Para una confiabilidad del 95% la prueba t-student (Tabla 5) se estableció que existen diferencias entre las medias de temperatura del agua del tratamiento *Artemisia annua* y el control de crecimiento de *E-coli* (Diferencia de medias: 0,59), lo que probablemente se debió a la medición de temperatura del tratamiento *Artemisia annua* o del control de crecimiento haya sido afectada por el aumento de temperatura provocado por los mecheros utilizados para obtener las muestras de agua y llevar a cabo las mediciones fisicoquímicas sin afectar las mediciones microbiológicas.

Tabla 5. Prueba T-student para evaluar si existen diferencias significativas de temperatura del agua del tratamiento *Artemisia annua* con respecto al control de crecimiento de *E-coli*

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
									Inferior	Superior
Temperatura (°C)	Se han asumido varianzas iguales	3,33	0,07	1,70	88	0,09	0,59	0,34	-0,097	1,27
	No se han asumido varianzas iguales			1,70	86,26	0,09	0,59	0,34	-,098	1,27

Análisis inferencial de oxígeno disuelto de los tratamientos SODIS, SODIS-*Artemisia annua* y *Artemisia annua* con respecto al control de crecimiento de *E-coli*. Para una confiabilidad del 95% la prueba Kruskal-Wallis determinó que si existen diferencias significativas (significancia 0,00)

entre el oxígeno disuelto de los diferentes tratamientos estudiados con respecto al comportamiento del oxígeno disuelto del control de crecimiento de *E-coli*.

Empleando la prueba de medianas de Kruskall-Wallis (Tabla 6), para el oxígeno disuelto se encontró que esta variable en el tratamiento SODIS presentó mayor variación con respecto al control de crecimiento de *E-coli* lo que se debió a que el tratamiento SODIS por ser expuesto a la radiación solar, en consecuencia provocó la reducción del oxígeno disuelto, mientras que el control de crecimiento mantuvo una temperatura poco variable, además de la demanda de oxígeno presentada por parte de los microorganismos.

Tabla 6. Prueba de mediana Kruskall-Wallis para evaluar los tratamientos con mayor variación respecto al control de crecimiento de *E-coli*.

		Frecuencias			
		Tratamiento			
		SODIS	SODIS- <i>Artemisia annua</i>	<i>Artemisia annua</i>	Control
OD (mg/L)	> Mediana	21	13	20	34
	<= Mediana	24	32	25	11

Análisis inferencial de turbiedad del tratamiento SODIS con respecto al control de crecimiento de *E-coli*. Para una confiabilidad del 95% la prueba t-student (Tabla 7) se estableció que existen diferencias entre las medias de turbiedad del tratamiento SODIS y el control de crecimiento de *E-coli* (Diferencia de medias: 0,07), lo que probablemente se debió al comportamiento del crecimiento microbiológico, puesto que este fue afectado en el tratamiento SODIS por su exposición a la luz solar.

Tabla 7. Prueba t-student para evaluar si existen diferencias significativas de turbiedad del tratamiento SODIS con respecto al control de crecimiento de *E-coli*

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
								Inferior	Superior	
Turbiedad (NTU)	Se han asumido varianzas iguales	0,06	0,81	3,00	88	0,004	0,07	0,02	0,02274	0,11193
	No se han asumido varianzas iguales			3,00	85,82	0,004	0,07	0,02	0,02272	0,11194

Análisis inferencial de turbiedad del tratamiento SODIS-*Artemisia annua* con respecto al control de crecimiento de *E-coli*. Para una confiabilidad del 95% la prueba t-student (Tabla 8) se estableció que existen diferencias entre las medias de turbiedad del tratamiento SODIS-*Artemisia annua* y el control de crecimiento de *E-coli* (Diferencia de medias: 0,54), lo que probablemente se debió al comportamiento del crecimiento microbiológico y la presencia de partículas de *Artemisia annua* que quedaron suspendidas en el té después de haber sido filtrado por una membrana de 0,45µm.

Tabla 8. Prueba t-student para evaluar si existen diferencias significativas de turbiedad del tratamiento SODIS-*Artemisia annua* con respecto al control de crecimiento de *E-coli*

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
									Inferior	Superior
Turbiedad (NTU)	Se han asumido varianzas iguales	39,11	0,00	8,75	88	0,00	0,54	0,06	0,41397	0,65714
	No se han asumido varianzas iguales			8,75	49,25	0,00	0,54	0,06	0,41263	0,65848

Análisis inferencial de conductividad eléctrica del tratamiento SODIS con respecto al control de crecimiento de *E-coli*. Para una confiabilidad del 95% la prueba t-student (Tabla 9) se estableció que existen diferencias entre las medias de conductividad eléctrica del tratamiento SODIS y el control de crecimiento de *E-coli* (Diferencia de medias: -7,77), lo que probablemente se debió al comportamiento del crecimiento microbiológico, o posiblemente a algún tipo de error humano en la medición de la variable.

Tabla 9. Prueba t-student para evaluar si existen diferencias significativas de conductividad eléctrica del tratamiento SODIS con respecto al control de crecimiento de *E-coli*

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
									Inferior	Superior
Conductividad Eléctrica (µsim/cm)	Se han asumido varianzas iguales	22,24	0,00	-2,31	88	0,02	-7,77	3,36	-14,45	-1,09
	No se han asumido varianzas iguales			-2,31	66,41	0,02	-7,77	3,36	-14,48	-1,06

Análisis inferencial de pH del tratamiento *Artemisia annua* con respecto al control de crecimiento de *Salmonella*. Para una confiabilidad del 95% la prueba Kruskal-Wallis determinó que si existen diferencias significativas (significancia 0,00) entre el pH del tratamiento *Artemisia annua* y el pH del control de crecimiento de *Salmonella*, lo que probablemente se debió a que los compuestos de la planta *Artemisia annua* presentaron un comportamiento ácido y de esta manera disminuyó el pH del agua para el tratamiento *Artemisia annua*.

Análisis inferencial de temperatura del agua de los tratamientos SODIS y SODIS-*Artemisia annua* con respecto al control de crecimiento de *Salmonella*. Para una confiabilidad del 95% la prueba Kruskal-Wallis determinó que si existen diferencias significativas (significancia 0,00) entre temperatura del agua de los tratamientos SODIS y SODIS-*Artemisia annua* y la temperatura del agua para el control de crecimiento de *Salmonella*, lo que sucedió por la exposición a la luz solar para los tratamientos SODIS y SODIS-*Artemisia annua*. En la Tabla 10, se encontró que el tratamiento SODIS-*Artemisia annua* presentó mayor diferencia de temperatura del agua con respecto al control de crecimiento de *Salmonella*.

Tabla 10. Prueba de mediana Kruskal-Wallis para evaluar el comportamiento de la temperatura de los tratamientos SODIS y SODIS-*Artemisia annua* con respecto al control de crecimiento de *Salmonella*

		Frecuencias		
		Tratamiento		
		SODIS	SODIS- <i>Artemisia annua</i>	Control
Temperatura (°C)	> Mediana	30	36	0
	<= Mediana	15	9	45

Análisis inferencial de oxígeno disuelto del tratamiento SODIS-*Artemisia annua* respecto al control de crecimiento de *Salmonella*. Para una confiabilidad del 95% la prueba Kruskal-Wallis determinó que si existen diferencias significativas (significancia 0,00) entre el oxígeno disuelto del tratamiento SODIS-*Artemisia annua* y el oxígeno disuelto del control de crecimiento de *Salmonella*, lo cual se debió a que el tratamiento SODIS-*Artemisia annua* por el incremento de temperatura debido a la exposición a la luz solar a la cual fue sometido, sin embargo en el tratamiento SODIS-*Artemisia annua* y el control de crecimiento de *Salmonella* el oxígeno disuelto disminuyó probablemente debido a la demanda de oxígeno por parte de los microorganismos.

Análisis inferencial de turbiedad del tratamiento SODIS con respecto al control de crecimiento de *Salmonella*. Para una confiabilidad del 95% la prueba t-student (Tabla 11) se estableció que existen diferencias entre las medias de turbiedad del tratamiento SODIS y el control de crecimiento de

Salmonella (Diferencia de medias: 0,014), lo que probablemente se debió al comportamiento del crecimiento microbiológico fue muy poco en el tratamiento SODIS debido que fue expuesto a la luz solar.

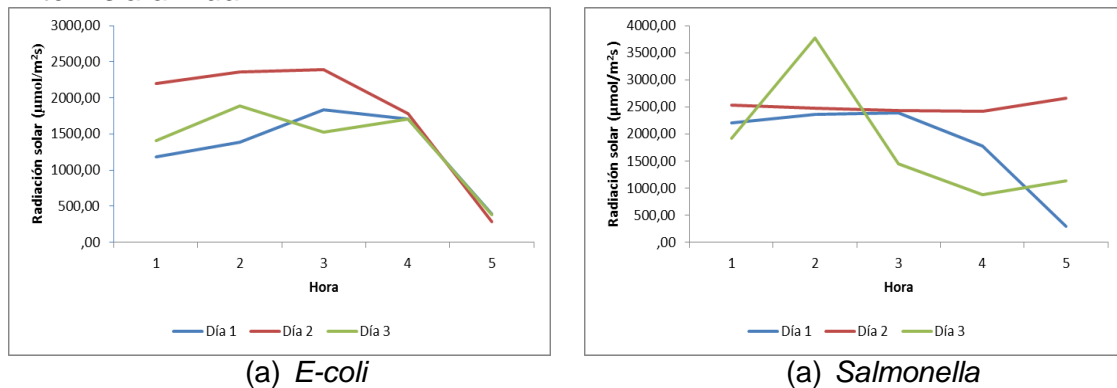
Tabla 11. Prueba t-student para evaluar si existen diferencias significativas de turbiedad del tratamiento SODIS con respecto al control de crecimiento de *Salmonella*

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error tip. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
									Inferior	Superior
Turbiedad (NTU)	Se han asumido varianzas iguales	4,839	0,030	0,74	88	0,46	0,014	0,018	-0,02283	0,04994
	No se han asumido varianzas iguales			0,74	76,92	0,46	0,014	0,01831	-0,02290	0,05001

7.5 REMOCION DE *E-coli* y *Salmonella* DURANTE EL TRATAMIENTO SODIS PARA CADA CORRIDA DE EXPERIMENTAL

En la Figura 16 se muestra la radiación solar presentada en los tratamientos SODIS y SODIS-*Artemisia annua* durante los días de muestreos tanto para *E-coli* como para *Salmonella*.

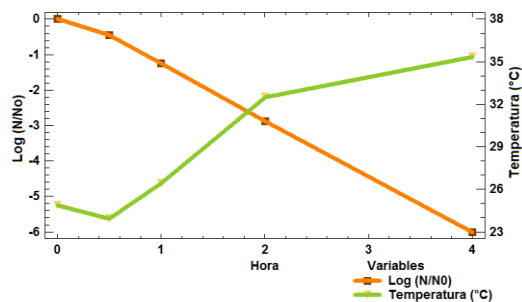
Figura 16. Radiación solar presentada en los tratamientos SODIS y SODIS-*Artemisia annua*



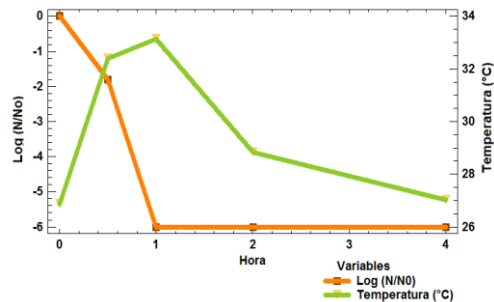
En la primera corrida experimental a una temperatura promedio de 32,50°C y radiación solar de 1831 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ (398,04 $\text{W}/\text{m}^2\text{s}$) (Figura 16(a)) se encontró 100% de remoción de *E-coli* después de transcurridas dos horas de muestreo, (Figura 17 (a)); en la segunda corrida experimental a una temperatura

promedio de 33,13°C y radiación solar de 2387,66 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ (Figura 16 (a)) se encontró una reducción del 100% de *E-coli* después de transcurrida una hora de muestreo (Figura 17 (b)) y en la tercera corrida experimental con una temperatura promedio de 30,03°C, y radiación solar de 1888,33 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ (410,51 W/m^2) la remoción de *E-coli* fue del 85% (Figura 17 (c)).

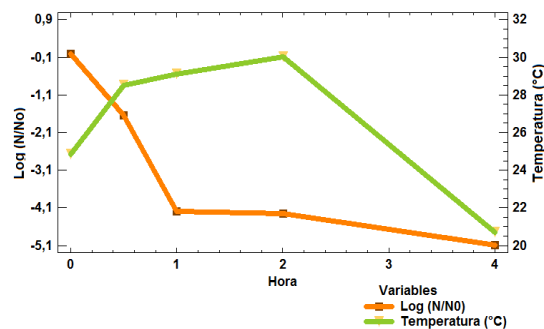
Figura 17. Remoción de *E-coli* con el tratamiento SODIS



(a) 28 de agosto de 2011



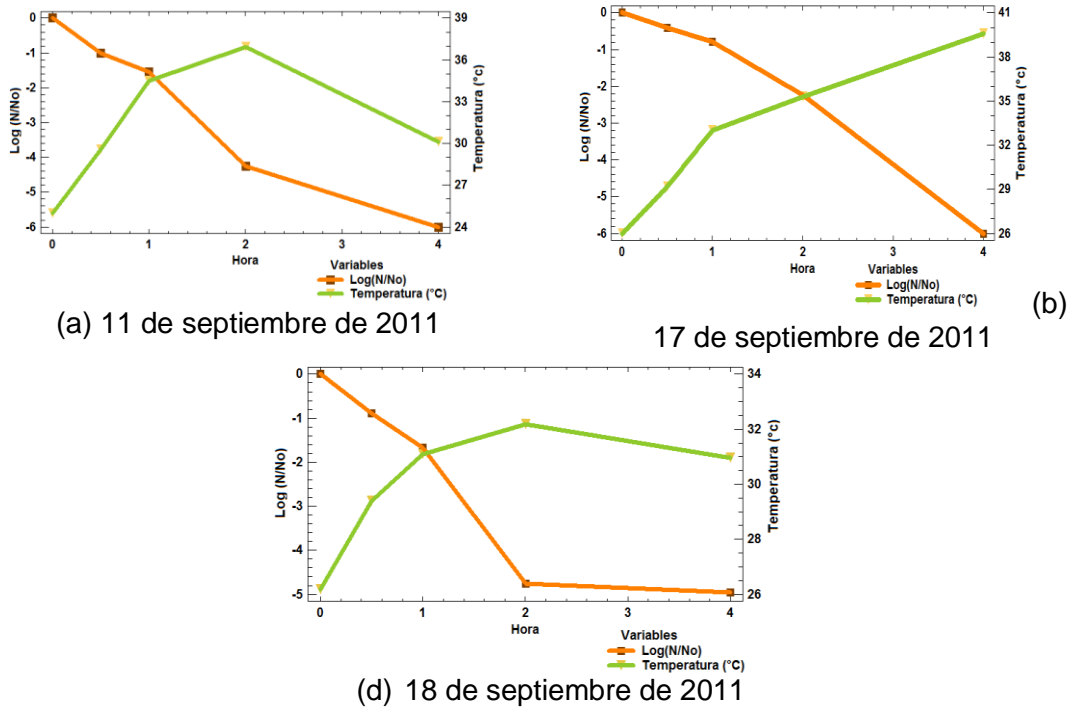
(b) 10 de septiembre de 2011



(c) 11 de septiembre de 2011

En la primera corrida experimental a temperatura promedio máxima de 36,93°C, y radiación solar de 2387,66 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ (519,06 W/m^2) (Figura 16 (b)) se encontró 100% de remoción de *Salmonella* después de transcurridas cuatro horas de muestreo (Figura 18 (a)); en la segunda corrida experimental con una temperatura promedio máxima de 39,57°C, y con una radiación solar de 2656 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ (577,39 W/m^2) (Figura 16 (b)) se presentó una remoción del 100% de *Salmonella* después de transcurridas cuatro horas de muestreo, (Figura 18 (b)) y en la tercera corrida experimental con una temperatura promedio máxima de 32,17°C, y con una radiación solar de 3769 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ (819,49 W/m^2) se removió el 100% de *Salmonella* después de transcurridas cuatro horas de muestreo (Figura 18 (c)).

Figura 18. Remoción de *Salmonella* con el tratamiento SODIS



Según los resultados encontrados en el tratamiento SODIS se presentó una remoción del 100% de *E-coli* (Figura 17) y de *Salmonella* (Figura 18), después de transcurridas cuatro horas de exposición solar.

Con los resultados anteriores, se relaciona estadísticamente la temperatura con la remoción de *E-coli* y *Salmonella* ($p < 0,05$), según Acra *et al.*, (1980) la temperatura asociada con la radiación UV-A (320-400nm) son absorbidos por el ADN de los microorganismos impidiendo tempranamente su replicación al causar mutaciones.

La inactivación de *E-coli* y *Salmonella* también pudo presentarse debido a que la materia orgánica absorbe los rayos UV para inducir reacciones fotoquímicas que crean especies altamente reactivas como el peróxido de hidrógeno, con el que puede remover los microorganismos debido a la oxidación de compuestos celulares (McGuigan *et al.*, 1998).

Según Wegelin *et al.*, (1994), el mecanismo de acción del método SODIS se basa principalmente en el efecto letal de la radiación ultravioleta que debe ser por lo menos de 550 W/m^2 y el efecto sinérgico que se crea cuando la temperatura supera los 50°C , sin embargo con los resultados se encontró que la remoción tanto de *E-coli* como de *Salmonella* se logró con temperaturas y radiación solar inferiores a las sugeridas en este estudio.

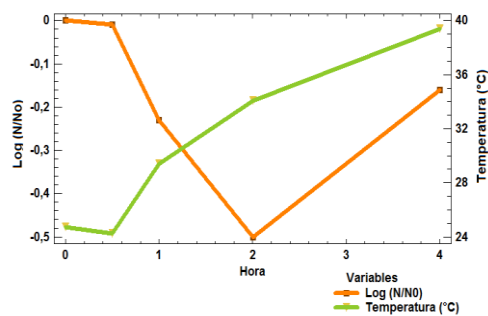
McGuigan *et al.*, (1998), anuncia que al colocar las botellas de PET a la luz directa del sol durante mínimo seis horas se remueven microorganismos del agua, de manera que es segura para consumir, mientras que en los resultados de esta investigación se obtuvo una remoción de *E-coli* y *Salmonella* de 100% durante cuatro horas, mostrando que el método SODIS es muy eficiente.

Sin embargo el rápido efecto de SODIS en las bacterias estudiadas, pudo haberse presentado, debido a que el tipo de agua utilizada fue destilada y esterilizada y las botellas manejadas fueron esterilizadas, para evitar cualquier tipo de contaminación, por tanto el único factor posible en la variación de la turbiedad pudo ser debido al comportamiento de los microorganismos.

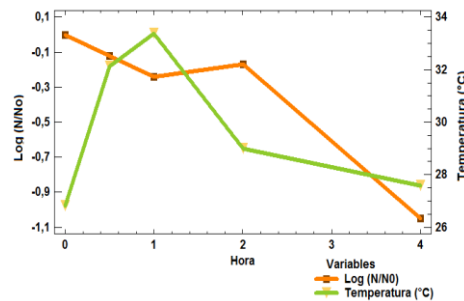
7.6 REMOCION DE *E-coli* y *Salmonella* DURANTE EL TRATAMIENTO SODIS-*Artemisia annua* PARA CADA CORRIDA DE EXPERIMENTAL

En la primera corrida experimental con una temperatura promedio de 39,40°C, y radiación solar de 1831 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ (398,04 W/m^2) (Figura 16 (a)) se removi6 el 3,33% de *E-coli* después de cuatro horas de muestreo, (Figura 19 (a)); en la segunda corrida experimental con una temperatura máxima promedio de 33,37°C, y radiación solar de 2387,67 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ (519,06 W/m^2) (Figura 16 (a)) se presentó una remoción del 17,50% de *E-coli* durante las cuatro horas de muestreo (Figura 19 (b)) y en la tercera corrida experimental con una temperatura promedio máxima de 30,50°C, y radiación solar de 1888,33 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ (410,50 W/m^2) (Figura 16 (a)) se encontró una remoción del 4,33% de *E-coli* después de cuatro horas de muestreo, (Figura 19 (c)).

Figura 19. Remoción de *E-coli* con el tratamiento SODIS-*Artemisia annua*

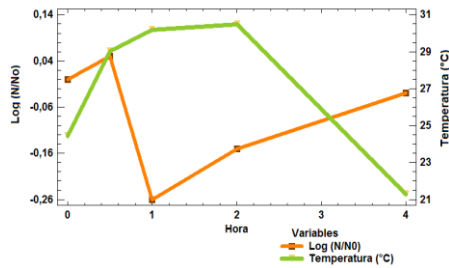


(a) 28 de agosto de 2011



(b) 10 de septiembre de 2011

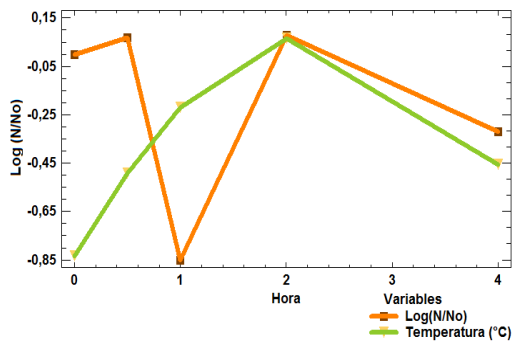
Continúa en la siguiente página



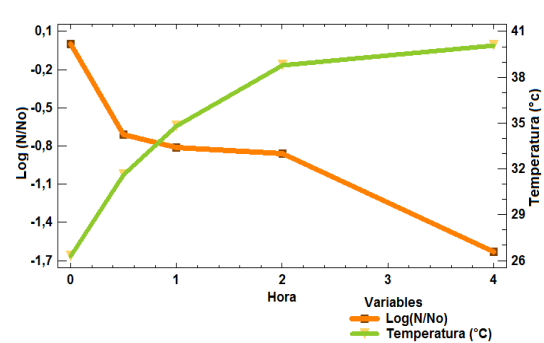
(c) 11 de septiembre de 2011

En la primera corrida experimental con una temperatura promedio máxima de 38,73°C, y con radiación solar de 2387,67 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ (519,06 W/m^2) (Figura 16 (b)) se removi6 el 5,33% de *Salmonella* despu6s de transcurridas cuatro horas de muestreo, (Figura 20 (a)); en la segunda corrida experimental con una temperatura promedio m6xima de 40,10°C, y con radiaci6n solar de 2656 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ (577,39 W/m^2) (Figura 16 (b)) se present6 una remoci6n del 27,17% de *Salmonella* despu6s de transcurridas cuatro horas de muestreo (Figura 20 (b)) y en la tercera corrida experimental con una temperatura promedio m6xima de 32,96°C, y con radiaci6n solar de 3769,67 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ (819,49 W/m^2) (Figura 16 (b)) se observ6 una remoci6n del 5,00% de *Salmonella* despu6s de transcurridas cuatro horas de muestreo (Figura 20 (c)).

Figura 20. Remoci6n de *Salmonella* con el tratamiento SODIS-*Artemisia annua*

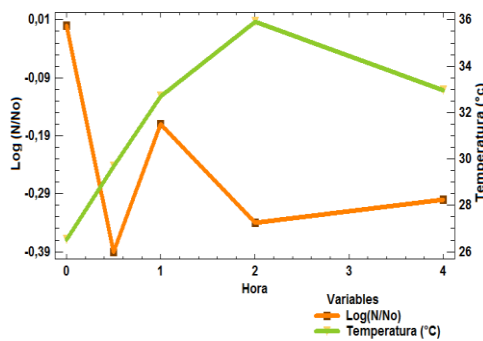


(a) 11 de septiembre de 2011



(b) 17 de septiembre de 2011

Continúa en la siguiente página



(c) 18 de septiembre de 2011

Según los resultados encontrados en el tratamiento SODIS-*Artemisia annua* no se presentó una remoción del 100% de *E-coli* (Figura 19) ni de *Salmonella* (Figura 20), durante las cuatro horas de muestreo.

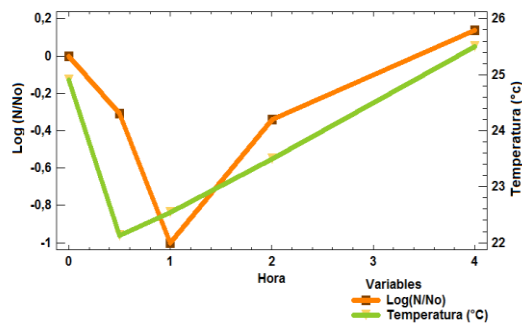
Con lo anteriormente mencionado se infiere que *Artemisia annua* bajo las condiciones de estudio no fue un agente que potencializara el tratamiento SODIS, ya que para *E-coli* y *Salmonella* los porcentajes de remoción en el tiempo establecido fueron inferiores al 100% comparado con el tratamiento SODIS, por tanto se infiere que la planta *Artemisia annua* permite que los microorganismos presenten mayor resistencia, pues al parecer los las partículas del té funcionan como un escudo protector permitiendo que estos se repliquen rápidamente.

Los resultados encontrados coinciden con Gupta *et al.*, (2009) quienes encontraron que la planta *Artemisia annua* cultivada en la India no tuvo efecto sobre *E-coli* y *Salmonella*, adicionalmente concluyeron que en general las bacterias Gram-negativas mostraron menor sensibilidad a la planta debido a que su pared celular presenta una estructura de múltiples capas y de gran complejidad, mientras que las bacterias Gram-positivas se componen de una sola capa. Del mismo modo Juteau *et al.*, (2002), concluyeron que los aceites esenciales extraídos de *Artemisia annua* no fueron letales sobre *E-coli*.

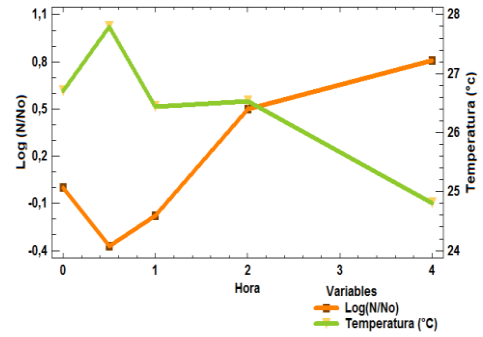
7.7 REMOCION DE *E-coli* y *Salmonella* DURANTE EL TRATAMIENTO *Artemisia annua* PARA CADA CORRIDA DE EXPERIMENTAL

En la primera corrida experimental (Figura 21 (a)) se encontró una remoción de microorganismos durante la primera hora de muestreo del 16,66%, posteriormente se evidenció un crecimiento de microorganismos a 0,14 Log en la cuarta hora de muestreo a temperatura máxima promedio de 25,50°C; en la segunda corrida experimental (Figura 21 (b)) se presentó una disminución de microorganismos en los primeros treinta minutos de muestreo del 6,66% posteriormente se incrementó durante la cuarta hora a 0,81 Log a temperatura máxima promedio de 27,80°C, y en la tercera corrida experimental (Figura 21 (c)) se removió el 21,67% de microorganismos durante las primeras dos horas de muestreo y posteriormente se incrementó a 0,28 Log en la cuarta hora de muestreo a temperatura máxima promedio de 26,30°C.

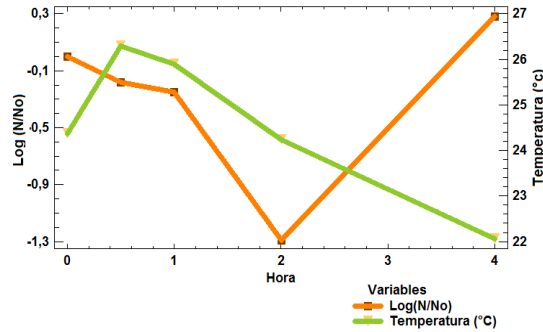
Figura 21. Remoción de *E-coli* con el tratamiento *Artemisia annua*



(a) 28 de agosto de 2011



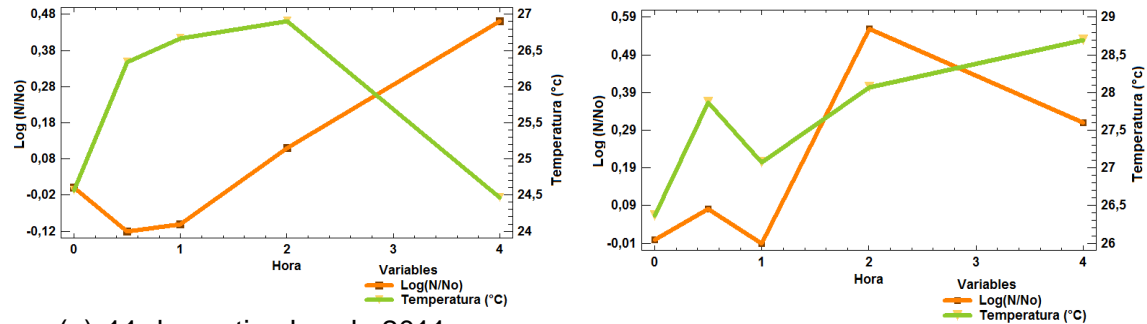
(b) 10 de septiembre de 2011



(c) 11 de septiembre de 2011

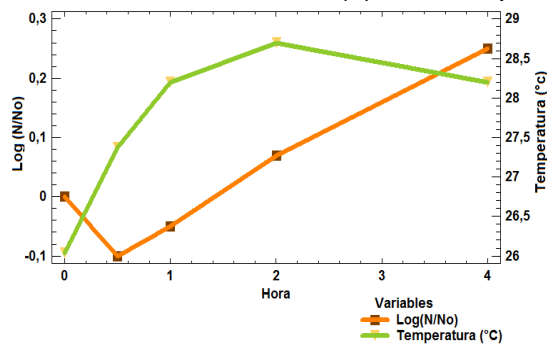
En la primera corrida experimental (Figura 22 (a)), se se una reducción del 1,67% en la primera hora de muestreo, y en la cuarta hora se incremento el crecimineto en 7,67% del valor inicial de microorganismos con una temperatura promedio máxima de 26,90°C; en la segunda corrida experimental (Figura 22 (b)) se presentó un incremento mayor al 100% del valor inicial, en la cuarta hora de tratamiento alcanzó 5,31% del valor inicial de microorganismos con una temperatura promedio máxima de 28,86°C y en la tercera corrida experimental (Figura 22 (c)) también aumentó el crecimiento microbiano alcanzando en la cuarta hora 4,16% más del valor de microorganismos iniciales con una temperatura promedio máxima de 28,70°C.

Figura 22. Remoción de *Salmonella* con el tratamiento *Artemisia annua*



(a) 11 de septiembre de 2011

(b) 17 de septiembre de 2011



(c) 18 de septiembre de 2011

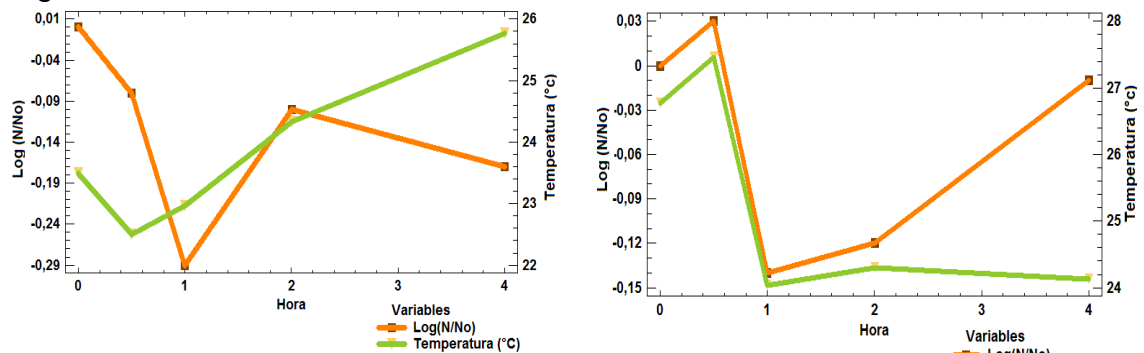
Según los resultados encontrados en el tratamiento *Artemisia annua* no se presentó una remoción del 100% de *E-coli* (Figura 21) y *Salmonella* (Figura 22), durante las cuatro horas de muestreo, por el contrario se incrementó el crecimiento microbiano, estos resultados coinciden con los resultados encontrados por Gupta *et al.*, (2009) y Juteau *et al.*, (2002) similar al tratamiento SODIS–*Artemisia annua*.

No solamente el compuesto químico artemisinina es el agente que remueve los microorganismos, también existen otra serie de compuestos de la planta que contribuyen en el mecanismo. Según Cavar *et al.*, (2011) la composición química de los aceites esenciales de *Artemisia annua* depende del origen geográfico y la etapa de desarrollo de la planta (Verma *et al.*, 2011; Leonardis *et al.*, 2011; Bhakuni *et al.*, 2002; Brown, 2010; Holm *et al.*, 1998), de la concentración en los diferentes compartimientos de la planta (hoja, semilla, flores, raíz), tiempo de cosecha, condiciones agroclimáticas, el follaje (Bhakuni *et al.*, (2001)); Por tanto en el experimento pudo presentarse que la especie de *Artemisia annua* con la cual se llevó a cabo el experimento presentara bajas concentraciones de los compuestos químicos que favorecen la remoción de *E-coli* y *Salmonella*.

7.8 VARIACIÓN DEL CRECIMIENTO DE *E-coli* y *Salmonella* EN LAS CORRIDAS EXPERIMENTALES

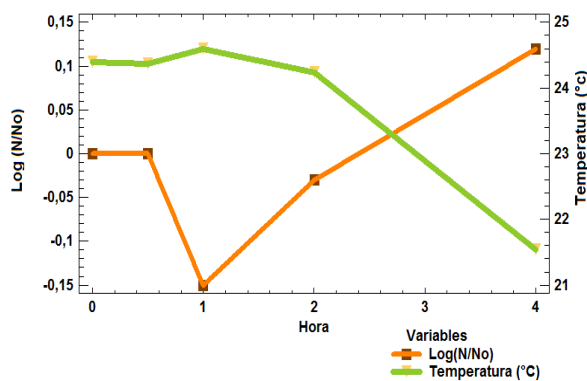
En la primera corrida experimental (Figura 23 (a)) el crecimiento microbiano en la primera hora de muestreo se redujo en 4,83% y en la cuarta hora se incrementó nuevamente a un 2,80% con una temperatura máxima promedio de 25,76°C; en la segunda corrida experimental (Figura 23 (b)) el crecimiento microbiano se redujo en la primera hora en 2,33% y a la cuarta hora se incrementó en 0,16% a temperatura máxima promedio de 27,47°C, y en la tercera corrida experimental (Figura 13 (c)) se encontró que el crecimiento de microorganismos se redujo durante la primera hora en un 2,50%, y en la cuarta hora se incrementó en un 2,00% con una temperatura máxima promedio de 24,60°C.

Figura 23. Control de crecimiento de *E-coli*



(a) 28 de agosto de 2011

(b) 10 de septiembre de 2011

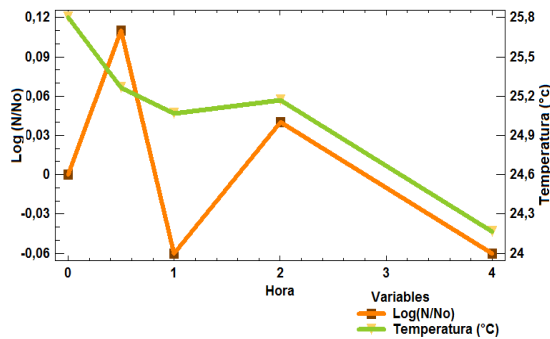


(c) 11 de septiembre de 2011

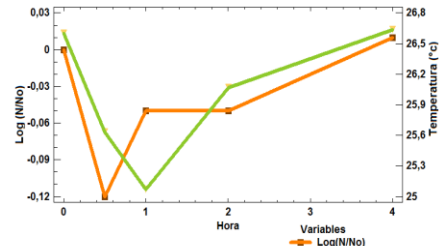
En la primera corrida experimental (Figura 24 (a)) se presentó un incremento de microorganismos en un 1% en la cuarta hora de muestreo con una temperatura máxima promedio de 25,80°C; en la segunda corrida experimental (Figura 24 (b)) el crecimiento microbiano se redujo en un 0,83% durante la segunda hora y en la cuarta hora se incrementó en un 0,16%, con

una temperatura promedio máxima de 26,63°C y en la tercera corrida experimental (Figura 24 (c)) el crecimiento microbiano disminuyó en la primera hora de muestreo en un 2,67% y en la cuarta hora se incrementó (se incrementó en un 0,67% con una temperatura promedio máxima de 25,80°C.

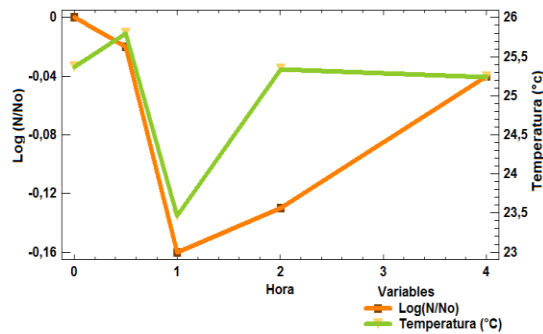
Figura 24. Control de *Salmonella*



(a) 11 de septiembre de 2011



(b) 17 de septiembre de 2011



(d) 18 de septiembre de 2011

Según el comportamiento del control de crecimiento de *E-coli* (Figura 23) y *Salmonella* (Figura 24), presentaron dificultad de crecimiento durante la primera hora de muestreo, y al avanzar el tiempo de muestreo posiblemente a una mejor adaptación a las condiciones del medio por parte de los microorganismos estudiados se incrementó el crecimiento.

8. CONCLUSIONES

El tratamiento SODIS aplicado tanto a *E-coli* como a *Salmonella* no afecta el pH del agua y además cumplió con el rango de pH para agua potable del Decreto 475 de 1998.

Los tratamientos SODIS-*Artemisia annua* y *Artemisia annua* aplicados tanto a *E-coli* como a *Salmonella* afectó el pH del agua, y no cumplen con el rango de pH para agua potable del Decreto 475 de 1998.

Los tratamientos SODIS, SODIS-*Artemisia annua* y *Artemisia annua* aplicados tanto a *E-coli* como a *Salmonella* cumplen con el rango de conductividad eléctrica para agua potable del Decreto 475 de 1998.

Los tratamientos SODIS, SODIS-*Artemisia annua* y *Artemisia annua* aplicado tanto a *E-coli* como a *Salmonella* no afecto la turbiedad del agua, respecto a la turbiedad que se debe presentar en el agua potable de acuerdo con el Decreto 475 de 1998.

Los sistemas SODIS-*Artemisia annua* y *Artemisia annua* no mejoraron las condiciones microbiológicas del agua con respecto a las bacterias *E-coli* y *Salmonella*. Por los resultados obtenidos, se encontró que *Artemisia annua* no funciona como agente que potencializa el tratamiento SODIS, sino como un inhibidor.

El tratamiento SODIS mejoró las condiciones microbiológicas del agua con respecto a *E-coli* y *Salmonella* ($p < 0,05$) durante dos y cuatro horas de exposición solar respectivamente a diferencia de los sistemas SODIS-*Artemisia annua* y *Artemisia annua*.

9. RECOMENDACIONES

Desarrollar investigación con *Artemisia annua* proveniente de Luxemburgo y así obtener mecanismos para extraer sus componentes que contribuyan a la desinfección de agua de manera fácil y sencilla.

Estudiar que compuestos químicos incrementan el crecimiento microbiano e inhiben el tratamiento SODIS.

Evaluar la combinación del tratamiento SODIS con otras especies de *Artemisia annua*, debido que los compuestos químicos de esta planta varían de acuerdo al lugar, condiciones climáticas, etc., por tanto se puede plantear en futuras investigaciones cambiar el método de aplicación de la planta para desinfección de agua, considerando los componentes químicos de la planta.

Evaluar diferentes especies de *Artemisia annua* como agentes que puedan potencializar el tratamiento SODIS.

Llevar a cabo estudios sobre especies colombianas de *Artemisia annua* que pueda potencializar el método SODIS, lo cual tendría una aplicación social importante.

BIBLIOGRAFÍA

- ACRA, A.; KARAHAGOPIAN, Y.; RAFFOUL, Z. y DJANI, R. Disinfection of oral rehydration solution by sunlight. En: The Lancet 316 (8206). 1980. p. 1257 – 1258.
- ALLAHDIN, O.; GOTHARD - BASSEBE, M., C.; BITEMAN, Olga; FOTO, Eric; MABINGUI, Joseph and LUTGEN, Pierre. Essai de désinfection de l'eau de puitsparl' *Artemisia annua*, in République Centrafricaine. En: Revue Technique Luxembourgeoise. Marzo, 2008. p. 165 – 168.
- BHAKUNI, S., JAIN, D. C. and SHARMA, R. P. Phytochemistry of *Artemisia annua* and the development of artemisinin-derived antimalarial agents. En: Wright, C.W. (Ed.), *Artemisia*. Taylor & Francis, London, UK. 2002. p. 211–248.
- BHAKUNI, R. S.; JAIN, D. C. and SHARMA, R. P., Secondary metabolites of *Artemisia annua* and their biological activity. En: Current Science 80, 2001. p. 1- 10.
- BERNEY, M.; WEILENMANN, H-U.; IHSEN, J.; BASSIN, C. and EGLI T. Specific Growth Rate Determines the Sensitivity of *Escherichia coli* to Thermal, UVA, and Solar Disinfection. . En: Applied and Environmental Microbiology. Abril, 2006. vol. 72, no. 4. p. 2586 – 2593
- BROWN, G. D., The biosynthesis of artemisinin (Qinghaosu) and the phytochemistry of *Artemisia annua* L. (Qinghao). *Molecules* 15 (11). 2010.
- CAVAR, S.; MAKSIMOVIĆA, M.; VIDIC. D. and PARIĆ, A. Chemical composition and antioxidant and antimicrobial activity of essential oil of *Artemisia annua* L. from Bosnia. En: Industrial Crops and Products. Julio. p. 1–7
- EAWAG/SANDEC. Instituto Federal Suizo para la Ciencia y la Tecnología Ambiental/Departamento de Agua y Saneamiento en Países en Desarrollo. Desinfección solar del agua, guía de aplicación. 2002. [Citado el 15 de julio de 2010]. Disponible en Internet: http://www.SODIS.ch/methode/anwendung/ausbildungsmaterial/dokumente_material/manual_s.pdf
- GONZALEZ, A.; MARTÍN, A.; Y FONSECA, O. Desinfección solar del agua en México usando concentrador solar de paredes planas. En: RESTREPO, I.; SÁNCHEZ, L. D.; GALVIS, A.; ROJAS, J. y SANABRIA, I. J. Avances en investigación y desarrollo en agua y saneamiento para

el cumplimiento de las metas del milenio. Cali, Colombia. Editorial Universidad del Valle. Octubre, 2007. 578p.

- GUPTA, C.; DUTTA, B.; PANT, D.; JOSHI, P. and LOHAR, D., In vitro antibacterial activity of *Artemisia annua* linn, growing in India. En: Ins. J Green Pharm 3,255-8. 2009.
- HOLM, Y.; LAAKSO, I.; HILTUNEN, R. and GALAMBOSI, B., Variation in the essential oil composition of *Artemisia annua* L. of different origin cultivated in Finland. Flav. Fragr. J. 12 (4), 241–246. 1998.
- INFORME DEFENSORIAL No. 39 - B. Actualización del Informe Defensorial No. 39. Diagnóstico sobre la calidad del agua para el consumo humano en Colombia, en el marco del Derecho Humano al Agua. 2009.
- INSTITUTO DE SALUD DE CHILE. Informe técnico exposición laboral a la radiación ultravioleta de origen solar. Chile. 2007.
- JAIMES, V., Xiomara. Evaluación de las condiciones socio - ambientales para la aplicación del método SODIS en el municipio de Ayapel - Córdoba. Colombia. 2006.
- JAIMES, V. Xiomara.; MEJÍA, R. Roberto.; LUTGEN, Pierre. y AGUIRRE, R. Néstor. J. SODIS. Desinfección solar de agua. Guía de aplicación. Municipio de Ayapel Córdoba – Colombia. 2007.
- JOYCE, T. M.; MCGUIGAN, K.G.; ELMORE-MEEGAN, M. and CONROY, R. Inactivation of fecal bacteria in drinking water by solar heating. Appl. Environ. Microbiol. 62, 399–402. 1996.
- JUTEAU, F.; MASSOTI, V.; BESSIERE, J. M. and VIANO, J., D. M., Antibacterial and antioxidant activities of *Artemisia annua* essential oil. Fitoretapia 73(6), 532-535. 2002.
- LENARDIS, A. E.; MORVILLO, C. M.; GIL, A. and DE LA FUENTE, E. B., Arthropod communities related to different mixtures of oil (*Glycine max* L. Merr.) and essential oil (*Artemisia annua* L.) crops. Ind. Crop. Prod. 34 (2), 1340–1347. 2011.
- LUTGEN, P. and MICHELS, B. Bactericidal properties of *Artemisia annua* tea and dosimetry of artemisinin in water by fluorescence under UV light. 2008.
- LUTGEN, P. and BERNARD M. Memorias 2° congreso “Enfermedades tropicales, aspectos humanitarios y científicos”. Luxemburgo, junio 3 y 4, 2008.

- LUTGEN. P. Memorias 2° congreso “Enfermedades tropicales, aspectos humanitarios y científicos”. Luxemburgo, abril 6 y 7, 2009.
- MAUSEZAHN, D.; CHRISTEN, A.; DURAN, P., G.; ÁLVAREZ, T., F.; IRIARTE, M.; ZAPATA, M.; CEVALLOS, M.; HATTENDORF, J.; DAIGL, C., M.; ARNOLD, B.; SMITH, T. and COLFORD, J. M. Solar drinking water disinfection (SODIS) to reduce childhood diarrhoea in rural Bolivia: A Cluster-Randomized, Controlled Trial. 2009.
- McGUIGAN, K. G.; JOYCE, T. M.; CONROY, R. M.; GILLESPIE, J. B. and ELMORE, M. Solar disinfection of drinking water contained in transparent plastic bottles: characterizing the bacterial inactivation process. *J. Appl. Microbiol.* 84, 1138–1148. 1998.
- MUELLER, M.; KARHAGOMBA, I.; HIRT, H. and WEMAKOR, E., The potential of *Artemisia annua* L. as a locally produced remedy for malaria in the tropics: agricultural, chemical and clinical aspects. *Journal of Ethnopharmacology* 73 (3), 487 - 493. 2000.
- OATES, M., Peter, SHANAHAN, Peter and POLZ F., Martin. Solar disinfection (SODIS): simulation of solar radiation for global assessment and application for point-of-use water treatment in Haiti. 2003.
- OECD and WHO. Organization for Economic Cooperation and Development and World Health Organization. Assessing microbial safety of drinking water. 2003.
- OMS. Informe sobre la calidad de agua en América Latina y el Caribe. [Citado el 20 de julio de 2010]. Disponible en Internet: http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/2000globs8.pdf. 2000.
- RAS 2000. Reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico. Título J.0. Referencia general. 2008. pág. 50.
- REED R. H. Solar inactivation of faecal bacteria in water: the critical role of oxygen. *En: Letters in applied microbiology*. Agosto, 1996. p. 276-280.
- RESTREPO, Inés, SÁNCHEZ, Luis D., GALVIS, Alberto, ROJAS, Jhonny y SANABRIA, Irma J. Avances en investigación y desarrollo en agua y saneamiento para el cumplimiento de las metas del gobierno. Cali, Colombia: Universidad del Valle p. 106,107, 364, 365, 366, 367, 368, 370,371, 380. 2007.
- RIMADA, Rubén S.; GATTI, Walter O.; JEANDUPEUX, René and CAFFERATA, LÁZARO F. R. Isolation, characterization and

quantification of artemisinin by NMR from Argentinean *Artemisia annua* L. En: Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas. Julio, 2009. p. 275-281.

- ROLDÁN, P., G. y RAMÍREZ, J., J. Fundamentos de limnología tropical. 2 ed. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia. 2008. 529p.
- SCHMID, P.; KOHLERB, M.; MEIERHOFER, R.; LUZIC S. and WEGELINC, M. Does the reuse of PET bottles during solar water disinfection pose a health risk due to the migration of plasticisers and other chemicals into the water?. En: Water research. Julio–septiembre, 2008. p. 1-7.
- UNESCO. Organización de Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Informe de Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo: Agua para todos. Agua para la vida. 2003.
- VERMA, R.K., CHAUHAN, A., VERMA, R.S., GUPTA, A.K., Influence of planting date on growth, artemisinin yield, seed and oil yield of *Artemisia annua* L. under temperate climatic conditions. *Ind. Crop. Prod.* 34 (1), 860–864. 2011.
- Wegelin, M., Canonica, S., Mechsner, K., Fleischmann, T., Pesaro, F., Metzler, A., Solar water disinfection: scope of the process and analysis of radiation experiments. *Water SRT - Aqua* 43. 1994.
- WETZEL G., Robert and LIKENS E., Gene. *Limnological analyses*. 3 ed. Unites States of America: McGraw-Hill. 2000. 425p.
- WHO. World Health Organization. Monograph on good agricultural and collection practices (GACP) for *Artemisia annua* L. 2006.

ANEXOS

Anexo 1. Normalidad de datos de pH en los tratamientos aplicados a *E-coli*

Tratamiento	Hora	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
SODIS	0	0,81	9	0,02
	0,5	0,95	9	0,64
	1	0,86	9	0,10
	2	0,92	9	0,43
	4	0,78	9	0,01
SODIS- <i>Artemisia annua</i>	0	0,83	9	0,05
	0,5	0,94	9	0,60
	1	0,74	9	0,00
	2	0,85	9	0,08
	4	0,76	9	0,01
<i>Artemisia annua</i>	0	0,71	9	0,00
	0,5	0,83	9	0,04
	1	0,68	9	0,00
	2	0,69	9	0,00
	4	0,69	9	0,00
Control	0	0,74	9	0,00
	0,5	0,75	9	0,01
	1	0,80	9	0,02
	2	0,69	9	0,00
	4	0,76	9	0,01

Anexo 2. Normalidad de temperatura del agua en los tratamientos aplicados a *E-coli*

Tratamiento	Hora	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
SODIS	0	0,66	9	0,00
	0,5	0,83	9	0,05
	1	0,89	9	0,20
	2	0,85	9	0,08
	4	0,83	9	0,05
SODIS- <i>Artemisia annua</i>	0	0,72	9	0,00
	0,5	0,83	9	0,04
	1	0,76	9	0,01
	2	0,84	9	0,07
	4	0,82	9	0,04
<i>Artemisia annua</i>	0	0,78	9	0,01
	0,5	0,83	9	0,05
	1	0,73	9	0,00
	2	0,84	9	0,06
	4	0,80	9	0,02
Control	0	0,80	9	0,02
	0,5	0,90	9	0,28
	1	0,91	9	0,28
	2	0,86	9	0,10
	4	0,86	9	0,10

Anexo 3. Normalidad de oxígeno disuelto en los tratamientos aplicados a *E-coli*

Tratamiento	Hora	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
SODIS	0	0,69	9	0,00
	0,5	0,65	9	0,00
	1	0,82	9	0,03
	2	0,88	9	0,15
	4	0,84	9	0,06
SODIS- <i>Artemisia annua</i>	0	0,79	9	0,02
	0,5	0,82	9	0,04
	1	0,79	9	0,01
	2	0,88	9	0,17
	4	0,82	9	0,04
<i>Artemisia annua</i>	0	0,82	9	0,03
	0,5	0,84	9	0,06
	1	0,68	9	0,00
	2	0,72	9	0,00
	4	0,91	9	0,32
Control	0	0,75	9	0,01
	0,5	0,83	9	0,04
	1	0,71	9	0,00
	2	0,85	9	0,07
	4	0,83	9	0,05

Anexo 4. Normalidad de turbiedad en los tratamientos aplicados a *E-coli*

Tratamiento	Hora	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
SODIS	0	0,92	9	0,35
	0,5	0,90	9	0,25
	1	0,88	9	0,16
	2	0,89	9	0,22
	4	0,73	9	0,00
SODIS- <i>Artemisia annua</i>	0	0,88	9	0,17
	0,5	0,90	9	0,27
	1	0,90	9	0,24
	2	0,84	9	0,06
	4	0,84	9	0,06
<i>Artemisia annua</i>	0	0,89	9	0,19
	0,5	0,93	9	0,50
	1	0,80	9	0,02
	2	0,78	9	0,01
	4	0,80	9	0,02
Control	0	0,81	9	0,03
	0,5	0,80	9	0,02
	1	0,88	9	0,16
	2	0,93	9	0,44
	4	0,85	9	0,07

Anexo 5. Normalidad de conductividad en los tratamientos aplicados a *E-coli*

Tratamiento	Hora	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
SODIS	0	0,90	9	0,25
	0,5	0,89	9	0,19
	1	0,65	9	0,00
	2	0,80	9	0,02
	4	0,84	9	0,05
SODIS- <i>Artemisia annua</i>	0	0,75	9	0,00
	0,5	0,83	9	0,05
	1	0,83	9	0,04
	2	0,82	9	0,03
	4	0,67	9	0,00
<i>Artemisia annua</i>	0	0,72	9	0,00
	0,5	0,75	9	0,01
	1	0,77	9	0,01
	2	0,79	9	0,02
	4	0,73	9	0,00
Control	0	0,93	9	0,51
	0,5	0,87	9	0,13
	1	0,70	9	0,00
	2	0,84	9	0,06
	4	0,65	9	0,00

Anexo 6. Normalidad de radiación solar en los tratamientos aplicados a *E-coli*

Tratamiento	Hora	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
SODIS SODIS- <i>Artemisia annua</i>	0	0,75	9	0,01
	0,5	0,90	9	0,23
	1	0,81	9	0,03
	2	0,83	9	0,04
	4	0,70	9	0,00

Anexo 7. Normalidad de Log (N/No) en los tratamientos aplicados a *E-coli*

Tratamiento	Hora	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
SODIS	0			
	0,5	0,68	9	0,00
	1	0,81	9	0,03
	2	0,82	9	0,03
	4	0,62	9	0,00
SODIS- <i>Artemisia annua</i>	0			
	0,5	0,80	9	0,02
	1	0,79	9	0,02
	2	0,65	9	0,00
	4	0,69	9	0,00
<i>Artemisia annua</i>	0			
	0,5	0,79	9	0,01
	1	0,67	9	0,00
	2	0,82	9	0,04
	4	0,74	9	0,00
Control	0			
	0,5	0,77	9	0,01
	1	0,66	9	0,00
	2	0,75	9	0,00
	4	0,82	9	0,03

Anexo 8. Normalidad de pH en los tratamientos aplicados a *Salmonella*

Tratamiento	Hora	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
SODIS	0	0,86	9	0,09
	0,5	0,93	9	0,47
	1	0,91	9	0,33
	2	0,85	9	0,08
	4	0,90	9	0,27
SODIS- <i>Artemisia annua</i>	0	0,88	9	0,15
	0,5	0,91	9	0,33
	1	0,86	9	0,09
	2	0,66	9	0,00
	4	0,84	9	0,06
<i>Artemisia annua</i>	0	0,83	9	0,04
	0,5	0,84	9	0,06
	1	0,93	9	0,44
	2	0,78	9	0,01
	4	0,80	9	0,02
Control	0	0,89	9	0,21
	0,5	0,74	9	0,00
	1	0,86	9	0,09
	2	0,83	9	0,04
	4	0,81	9	0,03

Anexo 9. Normalidad de temperatura del agua en los tratamientos aplicados a *Salmonella*

Tratamiento	Hora	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
SODIS	0,00	0,50	9	0,00
	0,50	0,94	9	0,57
	1,00	0,86	9	0,10
	2,00	0,83	9	0,05
	4,00	0,70	9	0,00
SODIS- <i>Artemisia annua</i>	0,00	0,79	9	0,02
	0,50	0,87	9	0,13
	1,00	0,78	9	0,01
	2,00	0,79	9	0,02
	4,00	0,77	9	0,01
<i>Artemisia annua</i>	0,00	0,83	9	0,04
	0,50	0,96	9	0,75
	1,00	0,96	9	0,80
	2,00	0,96	9	0,81
	4,00	0,84	9	0,05
Control	0,00	0,91	9	0,31
	0,50	0,77	9	0,01
	1,00	0,78	9	0,01
	2,00	0,83	9	0,05
	4,00	0,86	9	0,09

Anexo 10. Normalidad de oxígeno disuelto en los tratamientos aplicados a *Salmonella*

Tratamiento	Hora	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
SODIS	0,00	0,81	9	0,03
	0,50	0,88	9	0,17
	1,00	0,89	9	0,19
	2,00	0,92	9	0,41
	4,00	0,85	9	0,08
SODIS- <i>Artemisia annua</i>	0,00	0,73	9	0,00
	0,50	0,88	9	0,15
	1,00	0,94	9	0,62
	2,00	0,79	9	0,01
	4,00	0,86	9	0,10
<i>Artemisia annua</i>	0,00	0,74	9	0,00
	0,50	0,87	9	0,12
	1,00	0,77	9	0,01
	2,00	0,84	9	0,05
	4,00	0,86	9	0,11
Control	0,00	0,76	9	0,01
	0,50	0,77	9	0,01
	1,00	0,94	9	0,53
	2,00	0,81	9	0,03
	4,00	0,88	9	0,14

Anexo 11. Normalidad de turbiedad en los tratamientos aplicados a *Salmonella*

Tratamiento	Hora	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
SODIS	0,00	0,85	9,00	0,08
	0,50	0,94	9,00	0,62
	1,00	0,96	9,00	0,81
	2,00	0,93	9,00	0,46
	4,00	0,64	9,00	0,00
SODIS- <i>Artemisia annua</i>	0,00	0,72	9,00	0,00
	0,50	0,84	9,00	0,06
	1,00	0,84	9,00	0,07
	2,00	0,81	9,00	0,03
	4,00	0,91	9,00	0,30
<i>Artemisia annua</i>	0,00	0,80	9,00	0,02
	0,50	0,81	9,00	0,02
	1,00	0,84	9,00	0,06
	2,00	0,85	9,00	0,08
	4,00	0,75	9,00	0,01
Control	0,00	0,92	9,00	0,39
	0,50	0,96	9,00	0,75
	1,00	0,89	9,00	0,21
	2,00	0,96	9,00	0,78
	4,00	0,92	9,00	0,43

Anexo 12. Normalidad de conductividad eléctrica en los tratamientos aplicados a *Salmonella*

Tratamiento	Hora	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
SODIS	0,00	0,76	9	0,01
	0,50	0,65	9	0,00
	1,00	0,90	9	0,28
	2,00	0,64	9	0,00
	4,00	0,84	9	0,06
SODIS- <i>Artemisia annua</i>	0,00	0,81	9	0,02
	0,50	0,64	9	0,00
	1,00	0,66	9	0,00
	2,00	0,64	9	0,00
	4,00	0,68	9	0,00
<i>Artemisia annua</i>	0,00	0,71	9	0,00
	0,50	0,81	9	0,02
	1,00	0,72	9	0,00
	2,00	0,63	9	0,00
	4,00	0,70	9	0,00
Control	0,00	0,93	9	0,48
	0,50	0,94	9	0,63
	1,00	0,87	9	0,12
	2,00	0,66	9	0,00
	4,00	0,64	9	0,00

Anexo 13. Normalidad de radiación solar en los tratamientos aplicados a *Salmonella*

Tratamiento	Hora	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
SODIS	0,00	0,82	9	0,04
	0,50	0,72	9	0,00
	1,00	0,65	9	0,00
	2,00	0,82	9	0,03
	4,00	0,80	9	0,02

Anexo 14. Normalidad de Log(N/No) en los tratamientos aplicados a *Salmonella*

Tratamiento	Hora	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
SODIS	0			
	0,5	0,63	9	0,00
	1	0,62	9	0,00
	2	0,62	9	0,00
	4	0,62	9	0,00
SODIS- <i>Artemisia annua</i>	0			
	0,5	0,82	9	0,03
	1	0,81	9	0,03
	2	0,66	9	0,00
	4	0,78	9	0,01
<i>Artemisia annua</i>	0			
	0,5	0,76	9	0,01
	1	0,72	9	0,00
	2	0,70	9	0,00
	4	0,68	9	0,00
Control	0			
	0,5	0,77	9	0,01
	1	0,67	9	0,00
	2	0,72	9	0,00
	4	0,82	9	0,04

Anexo 15. Estadística de tendencia central y de dispersión para el pH en los diferentes tratamientos aplicados a *E-coli*

Tratamiento	Hora	Media	Mediana	Varianza	Desv. tip.	Mínimo	Máximo	Rango	C.V. (%)
SODIS	0	7,32	7,42	0,11	0,33	6,87	7,64	0,77	4,48
	0,5	6,65	6,66	0,00	0,06	6,52	6,73	0,21	0,92
	1	5,97	6,35	0,86	0,93	4,24	6,90	2,66	15,55
	2	6,50	6,54	0,07	0,26	6,06	6,80	0,74	4,03
	4	6,66	6,84	0,11	0,34	6,07	6,95	0,88	5,05
SODIS- <i>Artemisia annua</i>	0	5,82	5,91	0,05	0,23	5,48	6,06	0,58	3,89
	0,5	5,96	5,96	0,00	0,05	5,88	6,02	0,14	0,78
	1	5,70	5,92	0,16	0,40	5,16	6,08	0,92	7,02
	2	5,83	5,87	0,01	0,08	5,70	5,92	0,22	1,42
	4	5,98	5,79	0,11	0,33	5,68	6,48	0,80	5,57
<i>Artemisia annua</i>	0	-	5,88	-	-	5,30	5,99	0,69	-
	0,5	-	5,91	-	-	5,42	6,13	0,71	-
	1	-	5,94	-	-	4,95	6,03	1,08	-
	2	-	5,87	-	-	4,93	5,97	1,04	-
	4	-	5,85	-	-	5,25	5,91	0,66	-
Control	0	-	6,74	-	-	5,79	6,89	1,10	-
	0,5	-	6,72	-	-	6,03	6,87	0,84	-
	1	-	6,54	-	-	5,59	6,87	1,28	-
	2	-	6,58	-	-	5,48	6,66	1,18	-
	4	-	6,47	-	-	5,89	6,64	0,75	-

Anexo 16. Estadística de tendencia central y de dispersión para la temperatura del agua en los diferentes tratamientos aplicados a *E-coli*

Tratamiento	Hora	Media	Mediana	Varianza	Desv. típ.	Mínimo	Máximo	Rango	C.V. (%)
SODIS	0	25,52	24,90	1,02	1,01	24,80	26,90	2,10	3,96
	0,5	28,28	28,50	13,47	3,67	23,90	32,50	8,60	12,98
	1	29,56	29,10	8,72	2,95	25,50	33,40	7,90	9,99
	2	30,46	30,20	2,67	1,63	28,80	32,90	4,10	5,37
	4	27,69	27,10	40,42	6,36	20,60	35,60	15,00	22,96
SODIS - <i>Artemisia annua</i>	0	-	24,80	-	-	24,30	26,80	2,50	-
	0,5	-	29,00	-	-	24,20	32,30	8,10	-
	1	-	30,20	-	-	29,30	33,40	4,10	-
	2	-	30,50	-	-	28,70	34,40	5,70	-
	4	-	27,70	-	-	21,20	40,10	18,90	-
<i>Artemisia annua</i>	0	25,32	24,90	1,12	1,06	24,30	26,80	2,50	4,19
	0,5	25,41	26,40	6,62	2,57	22,10	28,60	6,50	10,12
	1	24,96	25,90	3,36	1,83	22,40	26,50	4,10	7,35
	2	24,76	24,30	1,95	1,39	23,40	27,10	3,70	5,63
	4	24,12	24,80	2,52	1,59	22,00	26,00	4,00	6,58
Control	0	24,89	24,40	2,14	1,46	23,40	26,80	3,40	5,88
	0,5	24,78	24,30	5,18	2,28	22,40	29,00	6,60	9,19
	1	23,87	24,10	0,54	0,73	22,70	24,70	2,00	3,07
	2	24,29	24,30	0,16	0,40	23,40	24,80	1,40	1,64
	4	23,81	24,10	3,46	1,86	21,10	25,80	4,70	7,81

Anexo 17. Estadística de tendencia central y de dispersión para el oxígeno disuelto en los diferentes tratamientos aplicados a *E-coli*

Tratamiento	Hora	Mediana	Mínimo	Máximo	Rango
SODIS	0	6,55	6,46	7,30	0,84
	0,5	6,20	6,14	7,71	1,57
	1	6,42	6,00	7,98	1,98
	2	6,29	6,11	6,45	0,34
	4	6,63	6,51	7,05	0,54
SODIS - <i>Artemisia annua</i>	0	6,57	6,42	6,93	0,51
	0,5	6,45	5,90	7,47	1,57
	1	6,07	5,75	7,23	1,48
	2	5,86	5,57	6,20	0,63
	4	5,93	5,40	6,11	0,71
<i>Artemisia annua</i>	0	6,90	6,46	7,08	0,62
	0,5	6,70	6,08	7,66	1,58
	1	6,15	6,04	7,59	1,55
	2	6,24	6,06	7,53	1,47
	4	5,99	4,94	7,30	2,36
Control	0	6,71	6,46	7,72	1,26
	0,5	6,77	6,15	7,87	1,72
	1	6,60	6,40	7,80	1,40
	2	6,74	6,28	7,53	1,25
	4	6,78	6,62	7,25	0,63

Anexo 18. Estadística de tendencia central y de dispersión para la turbiedad en los diferentes tratamientos aplicados a *E-coli*

Tratamiento	Hora	Media	Mediana	Varianza	Desv. típ.	Mínimo	Máximo	Rango	C.V. (%)
SODIS	0	0,44	0,42	0,01	0,09	0,33	0,59	0,26	21,10
	0,5	0,45	0,48	0,00	0,07	0,34	0,53	0,19	15,02
	1	0,58	0,62	0,01	0,10	0,43	0,71	0,28	17,45
	2	0,47	0,46	0,01	0,08	0,38	0,60	0,22	17,64
	4	0,55	0,45	0,02	0,16	0,43	0,80	0,37	28,52
SODIS - <i>Artemisia annua</i>	0	0,72	0,75	0,01	0,11	0,58	0,89	0,31	15,15
	0,5	0,71	0,69	0,02	0,15	0,54	0,92	0,38	20,50
	1	0,88	0,92	0,03	0,16	0,64	1,06	0,42	18,14
	2	1,18	1,18	0,19	0,43	0,67	1,68	1,01	36,69
	4	1,33	1,26	0,27	0,52	0,71	1,91	1,20	39,21
<i>Artemisia annua</i>	0	-	0,75	-	-	0,56	1,14	0,58	-
	0,5	-	0,78	-	-	0,61	0,94	0,33	-
	1	-	0,79	-	-	0,58	1,46	0,88	-
	2	-	0,95	-	-	0,61	2,15	1,54	-
	4	-	1,79	-	-	0,69	2,33	1,64	-
Control	0	0,40	0,36	0,01	0,09	0,32	0,55	0,23	21,73
	0,5	0,42	0,38	0,01	0,08	0,34	0,53	0,19	18,80
	1	0,40	0,39	0,01	0,08	0,32	0,52	0,20	19,21
	2	0,46	0,49	0,01	0,11	0,30	0,61	0,31	24,66
	4	0,47	0,51	0,01	0,12	0,31	0,60	0,29	25,89

Anexo 19. Estadística de tendencia central y de dispersión para la conductividad eléctrica en los diferentes tratamientos aplicados a *E-coli*

Tratamiento	Hora	Media	Mediana	Varianza	Desv. típ.	Mínimo	Máximo	Rango	C.V. (%)
SODIS	0	5,43	5,58	0,26	0,51	4,69	6,02	1,33	9,32
	0,5	5,62	5,95	1,85	1,36	3,05	6,91	3,86	24,21
	1	18,98	7,71	308,05	17,55	6,64	43,00	36,36	92,49
	2	13,72	9,77	108,85	10,43	4,13	29,30	25,17	76,05
	4	8,60	6,29	29,49	5,43	3,35	17,12	13,77	63,12
SODIS - <i>Artemisia annua</i>	0	-	249,00	-	-	240,00	318,00	78,00	-
	0,5	-	255,00	-	-	191,50	311,00	119,50	-
	1	-	213,00	-	-	196,20	238,00	41,80	-
	2	-	255,00	-	-	207,00	276,00	69,00	-
	4	-	220,00	-	-	211,00	315,00	104,00	-
<i>Artemisia annua</i>	0	-	235,00	-	-	224,00	313,00	89,00	-
	0,5	-	223,00	-	-	129,20	249,00	119,80	-
	1	-	213,00	-	-	206,00	237,00	31,00	-
	2	-	242,00	-	-	197,40	351,00	153,60	-
	4	-	234,00	-	-	222,00	291,00	69,00	-
Control	0	5,26	5,39	1,03	1,02	4,06	6,89	2,83	19,29
	0,5	7,47	6,64	9,52	3,08	4,23	12,07	7,84	41,27
	1	26,39	14,14	514,79	22,69	8,28	56,70	48,42	85,97
	2	29,38	28,90	438,58	20,94	4,65	53,70	49,05	71,29
	4	22,69	6,35	673,42	25,95	4,30	57,50	53,20	114,36

Anexo 20. Estadística de tendencia central y de dispersión para la radiación solar en los diferentes tratamientos aplicados a *E-coli*

Tratamiento	Hora	Mediana	Mínimo	Máximo	Rango
SODIS SODIS - <i>Artemisia annua</i>	0	1410,00	1177,00	2199,00	1022,00
	0,5	1885,00	1374,00	2559,00	1185,00
	1	1810,00	1523,00	2389,00	866,00
	2	1774,00	1448,00	1869,00	421,00
	4	375,30	285,30	387,40	102,10

Anexo 21. Estadística de tendencia central y de dispersión para Log (N/No) en los diferentes tratamientos aplicados a *E-coli*

Tratamiento	Hora	Mediana	Mínimo	Máximo	Rango
SODIS	0				
	0,5	-1,65	-1,80	-0,45	1,35
	1	-4,19	-6,00	-1,25	4,75
	2	-4,26	-6,00	-2,89	3,11
	4	-6,00	-6,00	-5,08	0,92
SODIS - <i>Artemisia annua</i>	0				
	0,5	-0,01	-0,12	0,05	0,17
	1	-0,24	-0,26	-0,23	0,03
	2	-0,17	-0,50	-0,15	0,35
	4	-0,16	-1,05	-0,03	1,02
<i>Artemisia annua</i>	0				
	0,5	-0,31	-0,37	-0,18	0,19
	1	-0,25	-1,00	-0,18	0,82
	2	-0,34	-1,29	0,50	1,79
	4	0,28	0,14	0,81	0,67
Control	0				
	0,5	0,00	-0,08	0,03	0,11
	1	-0,15	-0,29	-0,14	0,15
	2	-0,10	-0,12	-0,03	0,09
	4	-0,01	-0,17	0,12	0,29

Anexo 22. Estadística de tendencia central y de dispersión de pH en los diferentes tratamientos aplicados a *Salmonella*

Tratamiento	Hora	Media	Mediana	Varianza	Desv. típ.	Mínimo	Máximo	Rango	C.V. (%)
SODIS	0	6,60	6,70	0,20	0,44	6,02	7,12	1,10	6,73
	0,5	6,74	6,64	0,32	0,56	5,87	7,44	1,57	8,37
	1	7,26	7,33	0,15	0,39	6,77	7,82	1,05	5,38
	2	7,14	6,89	0,54	0,74	6,32	8,20	1,88	10,33
	4	5,95	6,23	2,06	1,43	3,58	7,64	4,06	24,11
SODIS - <i>Artemisia annua</i>	0	6,59	6,75	0,39	0,62	5,80	7,40	1,60	9,44
	0,5	5,85	5,86	0,46	0,68	4,48	6,66	2,18	11,60
	1	6,20	6,21	0,10	0,31	5,83	6,58	0,75	5,02
	2	6,55	5,74	1,59	1,26	5,62	8,35	2,73	19,24
	4	5,99	5,74	0,88	0,94	5,03	7,37	2,34	15,62
<i>Artemisia annua</i>	0	-	6,60	-	-	5,85	6,99	1,14	-
	0,5	-	5,91	-	-	5,26	6,18	0,92	-
	1	-	5,96	-	-	5,59	6,42	0,83	-
	2	-	5,80	-	-	5,44	7,37	1,93	-
	4	-	5,52	-	-	5,12	6,66	1,54	-
Control	0	-	7,20	-	-	6,62	7,65	1,03	-
	0,5	-	6,67	-	-	6,00	6,70	0,70	-
	1	-	6,32	-	-	5,74	7,54	1,80	-
	2	-	6,56	-	-	6,01	7,66	1,65	-
	4	-	5,95	-	-	5,43	7,58	2,15	-

Anexo 23. Estadística de tendencia central y de dispersión de temperatura del agua en los diferentes tratamientos aplicados a *Salmonella*

Tratamiento	Hora	Media	Mediana	Varianza	Desv. típ.	Mínimo	Máximo	Rango	C.V. (%)
SODIS	0	-	26,10	-	-	22,20	26,40	4,20	-
	0,5	-	29,40	-	-	28,90	29,70	0,80	-
	1	-	33,10	-	-	31,00	34,60	3,60	-
	2	-	35,40	-	-	31,90	37,00	5,10	-
	4	-	31,00	-	-	29,90	39,80	9,90	-
SODIS - <i>Artemisia annua</i>	0	-	26,30	-	-	25,10	26,60	1,50	-
	0,5	-	30,40	-	-	29,60	31,80	2,20	-
	1	-	34,60	-	-	32,60	34,90	2,30	-
	2	-	38,60	-	-	35,90	39,50	3,60	-
	4	-	33,00	-	-	30,70	40,30	9,60	-
<i>Artemisia annua</i>	0	25,66	26,20	0,84	0,91	24,10	26,50	2,40	3,56
	0,5	27,19	27,30	0,58	0,76	25,90	28,30	2,40	2,79
	1	27,31	27,50	0,78	0,88	26,10	29,00	2,90	3,23
	2	27,89	28,00	0,79	0,89	26,70	29,40	2,70	3,18
	4	27,12	27,80	4,36	2,09	24,40	29,90	5,50	7,70
Control	0	-	25,60	-	-	25,30	25,90	0,60	-
	0,5	-	25,40	-	-	24,70	27,60	2,90	-
	1	-	24,90	-	-	23,40	25,30	1,90	-
	2	-	25,30	-	-	25,10	26,20	1,10	-
	4	-	25,10	-	-	24,10	26,70	2,60	-

Anexo 24. Estadística de tendencia central y de dispersión de oxígeno disuelto en los diferentes tratamientos aplicados a *Salmonella*

Tratamiento	Hora	Media	Mediana	Varianza	Desv. típ.	Mínimo	Máximo	Rango	C.V. (%)
SODIS	0	6,56	6,62	0,06	0,24	6,25	6,80	0,55	3,60
	0,5	6,34	6,30	0,10	0,31	5,98	6,77	0,79	4,90
	1	6,12	6,15	0,18	0,43	5,53	6,63	1,10	6,99
	2	6,40	6,43	0,03	0,16	6,16	6,61	0,45	2,53
	4	5,88	5,84	0,02	0,14	5,73	6,07	0,34	2,31
SODIS - <i>Artemisia annua</i>	0	-	6,33	-	-	6,14	7,57	1,43	-
	0,5	-	6,25	-	-	5,79	6,66	0,87	-
	1	-	5,78	-	-	5,67	6,03	0,36	-
	2	-	5,18	-	-	5,13	5,53	0,40	-
	4	-	5,06	-	-	4,79	5,70	0,91	-
<i>Artemisia annua</i>	0	6,68	6,29	0,48	0,69	6,10	7,66	1,56	10,40
	0,5	6,16	6,11	0,24	0,49	5,60	6,81	1,21	7,89
	1	6,02	6,31	0,28	0,52	5,33	6,53	1,20	8,72
	2	5,79	5,90	0,14	0,38	5,17	6,16	0,99	6,48
	4	4,74	4,66	0,41	0,64	3,99	5,59	1,60	13,54
Control	0	-	6,20	-	-	6,05	6,75	0,70	-
	0,5	-	6,38	-	-	5,33	6,63	1,30	-
	1	-	6,65	-	-	6,37	6,76	0,39	-
	2	-	6,15	-	-	6,09	6,55	0,46	-
	4	-	6,51	-	-	6,33	6,84	0,51	-

Anexo 25. Estadística de tendencia central y de dispersión de turbiedad en los diferentes tratamientos aplicados a *Salmonella*

Tratamiento	Hora	Media	Mediana	Varianza	Desv. tip.	Mínimo	Máximo	Rango	C.V. (%)
SODIS	0	0,61	0,57	0,01	0,09	0,51	0,76	0,25	5,73
	0,5	0,48	0,48	0,00	0,05	0,42	0,55	0,13	2,21
	1	0,44	0,44	0,00	0,07	0,35	0,57	0,22	3,07
	2	0,41	0,40	0,00	0,06	0,33	0,49	0,16	2,37
	4	0,59	0,58	0,00	0,05	0,56	0,72	0,16	2,96
SODIS - <i>Artemisia annua</i>	0	-	0,66	-	-	0,61	1,10	0,49	-
	0,5	-	0,74	-	-	0,60	0,78	0,18	-
	1	-	1,04	-	-	0,58	1,70	1,12	-
	2	-	0,89	-	-	0,65	1,00	0,35	-
	4	-	0,83	-	-	0,50	1,54	1,04	-
<i>Artemisia annua</i>	0	-	0,92	-	-	0,55	1,07	0,52	-
	0,5	-	0,90	-	-	0,59	1,02	0,43	-
	1	-	1,10	-	-	0,66	2,24	1,58	-
	2	-	1,38	-	-	0,64	2,44	1,80	-
	4	-	1,71	-	-	1,08	3,95	2,87	-
Control	0	0,47	0,49	0,00	0,06	0,38	0,54	0,16	2,74
	0,5	0,46	0,46	0,00	0,05	0,40	0,56	0,16	2,41
	1	0,51	0,55	0,01	0,09	0,39	0,62	0,23	4,49
	2	0,53	0,54	0,01	0,08	0,41	0,65	0,24	4,32
	4	0,50	0,50	0,00	0,05	0,43	0,55	0,12	2,26

Anexo 26. Estadística de tendencia central y de dispersión de conductividad eléctrica en los diferentes tratamientos aplicados a *Salmonella*

Tratamiento	Hora	Media	Mediana	Varianza	Desv. típ.	Mínimo	Máximo	Rango	C.V. (%)
SODIS	0	-	522,00	-	-	8,97	694,00	685,03	-
	0,5	-	3,37	-	-	3,08	22,30	19,22	-
	1	-	5,36	-	-	3,04	6,46	3,42	-
	2	-	8,00	-	-	5,90	573,00	567,10	-
	4	-	339,00	-	-	5,61	562,00	556,39	-
SODIS - <i>Artemisia annua</i>	0	-	200,00	-	-	179,60	243,00	63,40	-
	0,5	-	136,50	-	-	133,70	226,00	92,30	-
	1	-	147,80	-	-	136,00	312,00	176,00	-
	2	-	146,20	-	-	130,60	551,00	420,40	-
	4	-	181,10	-	-	160,30	364,00	203,70	-
<i>Artemisia annua</i>	0	-	150,70	-	-	123,70	311,00	187,30	-
	0,5	-	177,20	-	-	127,00	269,00	142,00	-
	1	-	153,80	-	-	113,80	358,00	244,20	-
	2	-	165,00	-	-	164,60	301,00	136,40	-
	4	-	154,90	-	-	133,20	304,00	170,80	-
Control	0	6,61	6,68	0,95	0,98	5,30	7,89	2,59	14,76
	0,5	9,48	9,07	1,01	1,01	8,09	11,20	3,11	10,62
	1	15,29	11,84	137,03	11,71	2,59	33,10	30,51	76,54
	2	12,39	4,08	171,63	13,10	2,86	30,60	27,74	105,73
	4	23,19	3,79	890,47	29,84	2,41	63,60	61,19	128,69

Anexo 27. Estadística de tendencia central y de dispersión de radiación solar en los diferentes tratamientos aplicados a *Salmonella*

Tratamiento	Hora	Mediana	Mínimo	Máximo	Rango
SODIS	0	2199,00	1916,00	2530,00	614,00
	0,5	2479,00	2263,00	3772,00	1509,00
	1	2388,00	1440,00	2437,00	997,00
	2	1776,00	878,30	2426,00	1547,70
	4	1128,00	285,30	2660,00	2374,70

Anexo 28. Estadística de tendencia central y de dispersión de Log(N/No) en los diferentes tratamientos aplicados a *Salmonella*

Tratamiento	Hora	Mediana	Mínimo	Máximo	Rango
SODIS	0				
	0,5	-0,89	-1,01	-0,40	0,61
	1	-1,54	-1,67	-0,78	0,89
	2	-4,26	-4,75	-2,24	2,51
	4	-6,00	-6,00	-4,95	1,05
SODIS - <i>Artemisia annua</i>	0				
	0,5	-0,39	-0,71	0,07	0,78
	1	-0,81	-0,85	-0,17	0,68
	2	-0,34	-0,86	0,08	0,94
	4	-0,32	-1,63	-0,30	1,33
<i>Artemisia annua</i>	0				
	0,5	-0,10	-0,12	0,08	0,20
	1	-0,05	-0,10	-0,01	0,09
	2	0,11	0,07	0,56	0,49
	4	0,31	0,25	0,46	0,21
Control	0				
	0,5	-0,02	-0,12	0,11	0,23
	1	-0,06	-0,16	-0,05	0,11
	2	-0,05	-0,13	0,04	0,17
	4	-0,04	-0,06	0,01	0,07