



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO**

---

---



**DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA  
ELECTROQUÍMICO DE ALUMINIO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA  
APLICADA A UN SISTEMA DE RIEGO DE HORTALIZAS ORGÁNICAS BAJO  
CONDICIONES DE INVERNADERO”**

# **T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES**

PRESENTA:

MTRO. JOSÉ ADRIÁN SILIS CANO

TUTORES:

TUTOR ACADÉMICO: DR. CARLOS EDUARDO BARRERA DÍAZ

TUTOR ADJUNTO: MOISÉS TEJOCOTE PÉREZ

**TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO**

**ENERO, 2022**

A mis padres y tutores.

# Contenido

|  |           |
|--|-----------|
| <b>INTRODUCCIÓN.....</b>   | <b>6</b>  |
| <b>1 ANTECEDENTES .....</b>  | <b>7</b>  |
| 1.1 HORTALIZAS .....   | 7         |
| 1.2 PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS A NIVEL MUNDIAL .....   | 10        |
| 1.3 ESTADO ACTUAL DE LAS HORTALIZAS EN MÉXICO .....  | 11        |
| 1.4 CONSUMO DE HORTALIZAS EN MÉXICO .....  | 12        |
| 1.5 PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS ORGÁNICAS .....   | 13        |
| 1.6 PRODUCCIÓN DE HORTALIZA ORGÁNICA EN INVERNADERO .....                                  | 15        |
| 1.7 JITOMATE .....   | 15        |
| 1.8 GEOGRAFÍA DEL ESTADO DE MÉXICO.....  | 16        |
| 1.8.1 Hidrología de Ixtapan de la Sal.....   | 18        |
| 1.9 CONTAMINACIÓN DE AGUA A NIVEL MUNDIAL .....  | 19        |
| 1.10 PROBLEMAS DE CONTAMINACIÓN DE AGUA EN MÉXICO.....                                     | 20        |
| 1.11 PROBLEMAS DE CONTAMINACIÓN DE AGUA EN ESTADO DE MÉXICO .....                          | 23        |
| 1.12 RIEGO DE HORTALIZAS .....   | 24        |
| 1.13 TIPOS DE RIEGO PARA INVERNADERO .....   | 26        |
| 1.13.1 Riego por surcos .....  | 27        |
| 1.13.2 Riego por goteo .....   | 28        |
| 1.14 RIESGOS SANITARIOS AL UTILIZAR AGUA SIN TRATAMIENTO PARA RIEGO DE HORTALIZAS .....    | 28        |
| 1.15 ENFERMEDADES EN HUMANOS PRODUCTO DE AGUA CONTAMINADA .....                            | 29        |
| 1.16 TRATAMIENTO DE AGUA CONTAMINADA .....   | 30        |
| 1.16.1 Tratamiento preliminar .....  | 31        |
| 1.16.2 Tratamiento primario .....  | 31        |
| 1.16.3 Tratamiento secundario .....  | 32        |
| 1.16.4 Tratamiento avanzado o terciario .....  | 32        |
| 1.17 ELECTROCOAGULACIÓN .....  | 33        |
| <b>2 JUSTIFICACIÓN .....</b>   | <b>37</b> |
| <b>3 HIPÓTESIS.....</b>  | <b>38</b> |
| <b>4 OBJETIVOS .....</b>   | <b>39</b> |
| 4.1 GENERAL .....  | 39        |
| 4.2 ESPECÍFICOS .....  | 39        |
| <b>5 MÉTODO.....</b>   | <b>40</b> |
| 5.1 DISEÑO DE REACTOR ELECTROQUÍMICO DE MALLA ELECTROSOLDADA .....                         | 40        |
| 5.2 CONSTRUCCIÓN DE REACTOR ELECTROQUÍMICO EN ESTANQUE DE MALLA ELECTROSOLDADA EN CAMPO 41 |           |
| 5.3 EVALUACIÓN DE EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO .....   | 42        |
| 5.3.1 pH.....  | 42        |
| 5.3.2 Turbidez.....  | 42        |
| 5.3.3 Color.....   | 42        |
| 5.3.4 Demanda química de oxígeno (DQO) .....   | 42        |
| 5.3.5 Conductividad.....   | 43        |

|           |   |                                     |
|-----------|---|-------------------------------------|
| 5.3.6     | <i>Espectroscopia Uv</i> .....                            | 43                                  |
| 5.4       | CARACTERIZACIÓN BIOLÓGICA DEL FRUTO DE LOS CULTIVOS ..... | 43                                  |
| 5.4.1     | <i>Biomasa Vegetal de los cultivos</i> .....              | 43                                  |
| 5.5       | CONCENTRACIÓN DE CLOROFILA A, B, TOTAL.....               | 43                                  |
| 5.6       | CONCENTRACIÓN DE CAROTENOS.....                           | 44                                  |
| <b>6</b>  | <b>RESULTADOS</b> .....                                   | <b>45</b>                           |
| 6.1       | CARTAS DE ACEPTACIÓN Y ENVÍO DE ARTÍCULO.....             | <b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b> |
| 6.2       | MANUSCRITOS ENVIADOS.....                                 | 48                                  |
| 6.2.1     | <i>Resultados complementarios</i> .....                   | 148                                 |
| <b>7</b>  | <b>DISCUSIÓN GENERAL</b> .....                            | <b>156</b>                          |
| <b>8</b>  | <b>CONCLUSIONES</b> .....                                 | <b>158</b>                          |
| <b>9</b>  | <b>PERSPECTIVAS</b> .....                                 | <b>161</b>                          |
| <b>10</b> | <b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....                                 | <b>162</b>                          |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Principales tipos de hortalizas y periodicidad (Alpuente 2015). .....                           | 8  |
| Figura 2. Chinampas y huertos prehispánicos (Ibáñez 2010).....  | 9  |
| Figura 3. Algunos sitios de producción orgánica en México (Muñoz-Ledo, 2004).....                         | 14 |
| Figura 4. Ubicación geográfica del Estado de México (Urbano 2009).....                                    | 17 |
| Figura 5. Reacciones en un sistema de electrocoagulación de aluminio (Roa-Morales, et al., 2014)<br>..... | 35 |
| Figura 6. Vista tridimensional de diseño del sistema electroquímico, componentes y dimensiones.           | 41 |
| Figura 7. Vista lateral de diseño del sistema electroquímico, componentes y dimensiones .....             | 41 |
| Figura 8. Vista superior de diseño y componentes del sistema electroquímico .....                         | 41 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Parámetros de distintas NOM para evaluar calidad de agua para su uso ..... | 22 |
| Tabla 2. Parámetros de distintas NOM para evaluar calidad de agua para su uso ..... | 23 |

## Introducción

Las aguas subterráneas constituyen un recurso hídrico limitado en las zonas con alta densidad de población y alta explotación agrícola (Zamora, et al., 2009), una alternativa para satisfacer las demandas del recurso es el uso de agua de escurrimiento natural de lluvia y manantial, misma que es comúnmente aprovechada para el riego de hortalizas, sin embargo en el trayecto esta puede llegar a combinarse en algunos puntos con agua de río, una problemática para productores de hortaliza orgánica de la zona de Ixtapan de la Sal, Estado de México, ya que esta comúnmente está contaminada por diversos agentes biológicos y químicos, provocando que se eleven los contenidos de materia orgánica y microorganismos coliformes en el cauce (Khanum *et al.*, 2017). Debido a ello, es necesario el tratamiento de esta para asegurar la calidad del fruto que será destinado al consumo humano local y nacional, empleando parámetros como el contenido de sales, presencia de elementos potencialmente tóxicos, presencia de microorganismos patógenos, la concentración de metales, micronutrientes y compuestos orgánicos.

El uso de este tipo de agua en la producción agrícola puede incrementar el contenido de materia orgánica y de nutrientes en los suelos cultivados, lo cual contribuye a mantener o mejorar la fertilidad del suelo, pero también puede causar efectos nocivos que deterioran su calidad. La dinámica de la materia orgánica en el suelo desempeña un papel importante, en virtud de que la descomposición de la misma, controla la disponibilidad de nutrientes e influye en la liberación de moléculas orgánicas e inorgánicas enlazadas a la materia orgánica, que da como consecuencia la proliferación de microorganismos patógenos dentro de los cultivos (Zamora, et al., 2009).

El empleo de agua de ríos contaminada sin tratamiento previo, provoca un panorama complejo para la producción de cultivos orgánicos que pueden ocasionar un riesgo de salud pública por la presencia de coliformes fecales, *Salmonella* y otros consorcios bacterianos (Sarabia-Meléndez, et al., 2011).

Debido a esto, es importante diseñar, construir y evaluar un sistema de tratamiento avanzado que resuelva las necesidades de los cultivos de hortalizas y que facilite la incorporación de

nuevas tecnologías de riego para los productores del Estado de México, de esta manera, se contribuye con el mejoramiento de la calidad de los alimentos, especialmente los de tipo orgánico, el fomento de la cultura de prevención y sanidad del agua de cultivo para prevenir enfermedades gastrointestinales en el consumidor y afectaciones en el suelo.

## **1 Antecedentes**

### **1.1 Hortalizas**

Las hortalizas son un conjunto de plantas cultivadas generalmente en huertas o regadíos, que se consumen como alimento, ya sea de forma cruda o preparada. Dentro de las hortalizas se distinguen las verduras, cuya parte comestible está constituida por sus órganos verdes (hojas, tallos, flores); las legumbres verdes, como los frutos y semillas no maduras de las hortalizas leguminosas y las hortalizas de fruto. El consumo diario de productos vegetales, en cantidad suficiente y en una alimentación bien equilibrada, ayuda a evitar enfermedades graves, como las cardiopatías, los accidentes cardiovasculares, la diabetes y el cáncer, de igual manera ayudan a combatir deficiencias importantes de micronutrientes y vitaminas (Schwentenius y Gómez-Cruz, 2000).

Los productos obtenidos de las hortalizas, algunas de ellas mostradas en la figura 1 aportan pocas calorías y dado que es posible consumir un volumen elevado, estas brindan saciedad. La importancia del consumo de hortalizas se centra en el alto contenido de hidratos de carbono de absorción lenta, fibra, vitaminas, minerales, fitoquímicos y antioxidantes. El consumo mundial de frutas y hortalizas está muy por debajo de los 400 gramos diarios por persona. Esto se debe a que en los últimos 50 años ha disminuido el consumo de cereales y leguminosas y estos se han visto reemplazados por los aceites vegetales, el azúcar y la carne. Se estima que en todo el mundo la gente sólo consume entre el 20% y el 50% del mínimo recomendado (OMS y FAO, 2007).



**Figura 1. Principales tipos de hortalizas y periodicidad (Alpuente 2015).**

Los tipos de hortalizas se clasifican de la siguiente manera: de raíz (betabel, nabo, rábano, zanahoria); de flor/col (alcachofa, brócoli, coliflor); de hoja (acelga, apio, espinaca, lechuga, perejil y repollo); de tallos/bulbos (ajo, cebolla y papa), y de frutos (ajíes, arveja, berenjena, haba, pepino, pimentón y tomate), por mencionar algunos (SIAP y SAGARPA, 2016).

La práctica de la horticultura es tan antigua que ha llegado a considerarse una de las bases del sedentarismo humano, gracias al paso de la recolección a la cosecha, se dio origen a la invención de la agricultura como primera gran revolución de la humanidad, para garantizar la producción hortícola permanente, el hombre tuvo que aprender los secretos de la poda, el injerto y la fertilización artificial (Childe, 1997). El sedentarismo humano se origina durante el pleistoceno, cuando los grupos humanos comenzaron a permanecer en un lugar por temporadas cada vez más largas, consumiendo los recursos provistos por la naturaleza que después domesticaron y hasta llegar a producirlos por sí mismos (Doolittle, 2004).

Existen también estudios sobre la agricultura en la antigua Mesoamérica que centran a los huertos como una parte integral del abasto de alimentos (Rosenswig, 2006), existen vestigios de este tipo de sistema agrícola en zonas de Belice y Guatemala así como en estados de la república como Chiapas y Yucatán.

En el oeste de Inglaterra se llevaron a cabo exploraciones arqueológicas que demuestran que durante la Edad de Bronce existían pequeños campos de cultivo adyacentes a las casas, en los que crecían plantas silvestres y cultivadas por el hombre (Johnston, 2005), este tipo de sistemas también se encontraron en África, estudios arqueológicos en la cuenca del río Thukela, demostraron que existieron huertos al interior de las casas durante la temprana Edad de Hierro, entre el 420 y el 1050 d.C (Green-eld, Fowler, y Van Shalkwyk, 2005).



Según José Luis de Rojas y quien retoma a Fray Bernardino de Sahagún, en el México prehispánico, o por lo menos el inmediato anterior a la conquista española, la relevancia de los huertos interiores era muy pequeña comparada con el sistema de chinampas (figura 2), quizá debido a las condiciones ecológicas de la propia ciudad (Gómez Serrano, 2015). Lo anterior no significa ausencia de la horticultura, ya que el propio Sahagún menciona a dos tipos de agricultores: los tlachihuiqui, o labradores y los quilchihuiqui u hortelanos (Sánchez-Rodríguez y Rodríguez-Alfaro, 2013). Es probable que la situación haya cambiado poco después de la llegada de los españoles.



**Figura 2. Chinampas y huertos prehispánicos (Ibáñez 2010)**

A la conquista y destrucción de Tenochtitlan le siguió la traza y construcción de la ciudad de México. Dirigida por el Cabildo, la nueva ciudad comenzó a ser repartida en solares y huertas, dando un plazo perentorio para su ocupación a los nuevos pobladores; en las calzadas de Tacuba y Chapultepec se repartieron las primeras huertas. Durante la etapa inicial de construcción de la ciudad de México (1524-1526) el Cabildo otorgó 234 solares y 201 huertas para producción de biomasa (Mier y Terán, 2005) .

El acaparamiento del suelo por distintas órdenes religiosas y por importantes hacendados fue una constante en el territorio novohispano. Aún en áreas geográficas donde las características de la tierra y la disponibilidad de agua no eran muy favorables para el cultivo de importantes volúmenes de biomasa, los pobladores tendieron a aprovechar los terrenos sembrando árboles frutales y hortalizas para consumo propio y para la comercialización de los productos al interior de los espacios (Mier y Terán, 2005).

## 1.2 Producción de hortalizas a nivel mundial

La producción de hortalizas en el mundo, desde 1980 al menos hasta el 2005, creció de 324 millones a 881 millones de toneladas, lo que representa una tasa promedio anual de 4.1%. Este importante crecimiento se debió principalmente al aumento de la producción de China (Borbón and Arvizu Armenta, 2015), que creció a un ritmo del 8.6% anual; la producción de este país representa casi el 50% de la producción mundial (Pérez-Hurtado, 2012). Otros países, como los de la Unión Europea (UE) tuvieron una muy escasa tasa de crecimiento, por ejemplo, Francia con 0.6% anual, mientras que África, América Central y el Caribe y Rusia tuvieron un crecimiento moderado de aproximadamente el 3% por año.

Las especies de mayor crecimiento en el período 2000-2005 fueron: espárrago (7.8%), espinaca (6.5%), ajo (5.5%), hongos comestibles (5.2%) y lechuga (4.1%). En lo que respecta al consumo, China es el mercado más grande del mundo, con 378 millones de toneladas consumidas por año, seguido por India con 78 millones, Estados Unidos con 39.6 millones, Turquía con 23.4 millones, Rusia con 15.2 millones, Japón con 14.8 millones, Egipto con 13.7 millones, Irán 13.1 millones y Corea 11.4 millones de toneladas (Ferrato y Mondino, 2008).

El intercambio de frutas y hortalizas se produce entre 3 grandes regiones geográficas: UE, NAFTA (Tratado de Libre Comercio de América del Norte) y Asia del Este (China y Japón). Tradicionalmente estas áreas eran abastecidas por países cercanos (intercambio intrarregional), con similares patrones de demanda e ingreso. Sin embargo, estas tendencias han ido cambiando en los últimos años, con mayores importaciones de hortalizas provenientes de países en desarrollo. Ello ha sido favorecido por la mejora en los transportes y por acuerdos de comercio internacional. El aumento de las importaciones a nivel mundial (2000-2004) fue del 6.2% anual y el mayor importador fue la UE (57% del total), seguido por el NAFTA y en tercer lugar Asia del Este. La UE importa el 80% de sus hortalizas de países de la UE, de igual manera, el 90% de sus exportaciones están destinadas a países de la misma región (Ferrato y Mondino, 2008).

Otros países como China e India, si bien tienen un porcentaje bajo de las importaciones mundiales, la tasa de crecimiento anual ha llegado a ser del 39% y hasta el 50% respectivamente, Argentina importa muy pocas hortalizas, del orden de 5 a 10 millones de dólares. La hortaliza más comercializada en el mundo para el año 2004 fue tomate (14.9% del comercio mundial), luego pimiento (9.6%), legumbres secas (9.3%), cebollas, ajo y (7.9%), papa (7.6%) y vegetales congelados (6.2%)(Ferrato y Mondino, 2008).

La hortaliza más consumida en los Estados Unidos es la papa con aproximadamente 8 millones de toneladas por año, seguida por lechuga con 2.5 millones de toneladas), cebolla 2.1 millones, tomate 1.8 millones y melón con 1.5 millones de toneladas (Pérez-Hurtado, 2012).

### **1.3 Estado actual de las hortalizas en México**

Existen distintos objetivos que se buscan cumplir cuando se habla de la agricultura, buscamos obtener altos rendimientos de productos agroalimentarios, inocuos, con calidad, y de costo accesible para la población. También se busca sustentar y fomentar el desarrollo industrial mediante el abastecimiento de materia prima de bajo costo, generar divisas mediante la exportación de productos de alto valor económico y sumar a la generación de empleos, todo esto evadiendo la participación en el deterioro del ambiente (Sánchez del Castillo, 2007). En México, la agricultura se enfrenta a diversos problemas entre los que predominan: topografía accidentada y otras limitantes del suelo (salinidad, plagas y enfermedades), deforestación, precipitación insuficiente y errática, heladas tempranas o tardías, predios y parcelas pequeñas (Moreno-Pérez, 2007), no obstante México se posicionó en el lugar 9 como productor de hortalizas en el mundo, al alcanzar una producción de 14.1 millones de toneladas de una amplia variedad de especies de este alimento que se desarrolla a lo largo y ancho del territorio nacional. Las cinco principales hortalizas por volumen de producción que se cultivan en México son: jitomate, chile verde, cebolla, elote y pepino, que en conjunto aportaron cerca de 9.1 millones de toneladas (SIAP y SAGARPA, 2016).

En México, la horticultura protegida está en un periodo de crecimiento y desarrollo. En el año de 1980 se reportaron alrededor de 300 ha productivas de invernadero y en 2008 más de

10,000 ha. Este sistema de producción ha presentado un elevado crecimiento en los últimos años (entre 20 y 25% anual). Los estados que concentran la mayor cantidad de hectáreas de cultivo en invernadero son: Sinaloa (22%), Baja California (14%), Baja California Sur (12%) y Jalisco (10%); estas cuatro entidades aportan más del 50 por ciento de la producción total de cultivos protegidos (Juárez-López, et al., 2012).

#### **1.4 Consumo de hortalizas en México**

Las Hortalizas son de gran importancia para la alimentación y buena nutrición de la familia, sus hojas, frutos, raíces, tallos y flores son consumidos para satisfacer las necesidades de nuestro organismo, por su alto contenido de minerales, vitaminas y proteínas que contribuyen a mejorar y mantener la buena salud.

Las frutas y hortalizas como cualquier alimento están sujetas a alteraciones y modificaciones provocadas por ciertos agentes (químicos, físicos o biológicos) que son los principales responsables de su deterioro. Sin embargo, estas escasean en ciertas épocas del año, por lo que cuando abundan en el huerto o en el mercado tengan un precio muy bajo, conviene darles un tratamiento o transformación e incrementar su valor económico (Ayala Garay and Carrera Chávez, 2012), y así puedan guardarse por un período largo, para poder consumirlos en épocas de escasez. Las ventajas del procesamiento y conservación de frutas y hortalizas son aprovechar los excedentes de productos, evitar pérdidas o desperdicios, y utilizar las técnicas adecuadas para la obtención de productos de alta calidad de manera que se afectan conceptos como la demanda y oferta y se evita el uso excesivo del vital líquido, así como se aprovechado el utilizado. En estos casos también la rotación de cultivos es una de las técnicas que ayudan a ampliar la producción durante todo el año.

No obstante, las personas de bajos estratos en ocasiones se enfrentan a barreras para acceder a una dieta variada: en la república mexicana estos estratos perciben a los alimentos saludables como frutas y hortalizas más caras de lo que en realidad son a pesar de que en ocasiones ellos son los productores. (Giskes, et al., 2002). Otro factor que influye en la adquisición de alimentos es la variedad y tipo de alimentos que se ofrecen en los establecimientos, y en el caso de los comercios pequeños la variedad es restringida,

limitándose principalmente a alimentos con mayor valor energético, pero no necesariamente más beneficiosos (French, Story, y Jeffery, 2001).

La producción orgánica toma en cuenta los efectos a mediano y a largo plazo de las intervenciones agrícolas en el agroecosistema. Se propone producir alimentos a la vez que se establece un equilibrio ecológico para proteger la fertilidad del suelo o evitar problemas de plagas (Vega García and Pérez Nieto, 2016). La agricultura orgánica asume un planteamiento activo en vez de afrontar los problemas conforme se presenten lo que podría abaratar los costos de las cosechas haciéndolas más accesibles para todos los sectores de la población.

### **1.5 Producción de hortalizas orgánicas**

La agricultura orgánica ha adquirido importancia dentro del sistema agroalimentario en más de 154 países; existen alrededor de 67 millones de hectáreas certificadas en forma orgánica, por lo menos 560 000 unidades de producción atendidas por 1.4 millones de productores (Willer y Kilcher, 2010), en el ámbito mundial, México ocupa la posición 16 respecto a la superficie orgánica, el tercero con respecto al número de productores y es el país con mayor diversidad de cultivos producidos orgánicamente, con alrededor de 81 cultivos.

En México, la agricultura orgánica adquiere una dimensión particular; la geografía de su producción está estrechamente ligada a la geografía de la pobreza y la biodiversidad, la agricultura orgánica en nuestro país se vincula en mayor medida a pequeños agricultores caracterizados por su estado de pobreza y de marginación (de 128 862 productores orgánicos ubicados, 99.9% son pequeños agricultores, 82.7% pertenece a algún grupo indígena y el 34.6% son mujeres) (Gómez-Cruz et al., 2010).

Son diversos factores de carácter ambiental, social, económico, cultural y político, los que han motivado el interés por el desarrollo de la agricultura orgánica, reconociéndose como una alternativa económicamente eficiente, socialmente justa y ecológicamente sostenible con potencial para atenuar los impactos negativos atribuidos a la agricultura convencional (Gómez-Cruz et al., 2010). El aspecto más conocido de la producción orgánica de alimentos es la sustitución del uso de agroquímicos por prácticas menos contaminantes y agresivas

con el medio, más naturales, y por ello llamadas biológicas, ecológicas u orgánicas (Muñoz-Ledo, 2004).

En México, los principales estados productores de alimentos orgánicos son Chiapas, Oaxaca, Michoacán, Chihuahua y Guerrero (figura 3), que concentran 82.8% de la superficie orgánica total. Tan sólo Chiapas y Oaxaca cubren 70% del total. En el país se cultivan más de 45 productos orgánicos, de los cuales el café es el más importante por superficie cultivada, con 66% del total (70 838 ha) y una producción de 47 461 ton; en segundo lugar se ubica el maíz azul y blanco, con 4.5% de la superficie (4 670 ha) y una producción de 7 800 ton, y en tercer lugar está el ajonjolí, con 4% de la superficie (4 124 ha) y una producción de 2 433 ton; a estos cultivos les siguen en importancia las hortalizas con 3 831 ha; el agave, con 3 047 ha las hierbas, con 2 510 ha; el mango con 2 075 ha; la naranja, con 1 849 ha; el frijol, con 1 597 ha; la manzana, con 1 444 ha; la papaya, con 1 171 ha, y el aguacate con 911 ha. También, aunque en menor superficie, se produce soya, plátano, cacao, vainilla, cacahuete, piña, jamaica, limón, coco, nuez, lichi, garbanzo, maracuyá y durazno (Willer y Kilcher, 2010)



**Figura 3. Algunos sitios de producción orgánica en México (Muñoz-Ledo, 2004).**

## **1.6 Producción de hortaliza orgánica en invernadero**

La producción de hortalizas orgánicas certificadas en invernadero es posible; permite aumentar los rendimientos considerablemente respecto a campo, además, se puede obtener producción durante todo el año además de mejorar la calidad de los productos y facilitar el cumplimiento de estándares de inocuidad alimentaria (Cano, et al., 2005); no obstante, para evitar el tiempo de reconversión de tres a cinco años, hay que producir en un sustrato, que cumpla con los estándares de las certificadoras, o bien, poner el invernadero en un terreno virgen o que no se haya cultivado en los últimos diez años. En el caso de los sustratos, estos pueden ser inertes y/o químicamente activos, o bien, una mezcla de ambos. El sustrato, además de sostén, deberá aportar cantidades considerables de elementos nutritivos que satisfagan las demandas del cultivo (Márquez, et al., 2009).

## **1.7 Jitomate**

El jitomate (*Solanum lycopersicum*) pertenece a la familia de las Solanáceas junto con el tabaco, el chile y la papa. Su nombre proviene del náhuatl, xictlitomatl, o “tomate de ombligo”, también es conocido como tomate, coatomate o tomate bola (Agronegocios, 2010). Es una planta herbácea con hojas alternas y flores en forma de estrellas amarillas o blancas. Los frutos rojos son desde muy pequeños hasta de 750 gramos (Bonilla-Barrientos *et al.*, 2014).

La especie es originaria de Sudamérica, pero su domesticación se llevó a cabo en México. Actualmente el jitomate se considera el segundo vegetal más importante en el mundo después de la papa. Las principales variedades comerciales son: tomate bola, cherry, saladette, pera, beef, marmande, vemone, moneymaker, muchamiel, pometa tardío, san marzano, cocktail, ramillete y liso.

Los principales países productores son China, Estados Unidos, India, Turquía y Egipto. México se encuentra en el décimo lugar con alrededor de 2 millones de toneladas anuales. Los principales estados productores son Sinaloa, Baja California, Estado de México, San Luis Potosí y Michoacán (de-los-Ángeles Martínez-Vázquez *et al.*, 2016).

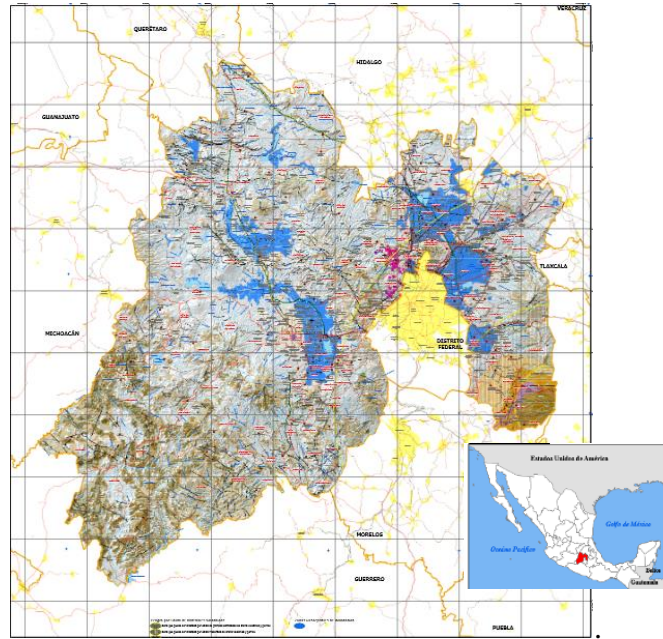
El jitomate contiene una mezcla balanceada de minerales, vitamina C y E, carotenos y flavonoides. Su uso como remedio medicinal está registrado desde el código Florentino. Actualmente sigue siendo utilizado para bajar inflamaciones de anginas, dolores de riñón, entre otros. Se ha demostrado su acción antiviral, antifúngica y antihistamínica.

En México el tomate en 2012 ocupó una superficie de 55,888 hectáreas con una producción de 2,838,369 toneladas. El cultivo del tomate en México tiene una trascendencia social muy importante, puesto que una parte considerable de la población de campo económicamente activa se encuentra relacionada directa o indirectamente con el cultivo del tomate. El cultivo del tomate es una importante fuente de empleo para un considerable número de familias en México. Se estima que para la producción de 75,000 hectáreas de tomate se emplean a 172 mil trabajadores de campo. La exportación de tomate representa para nuestro país una importante fuente de divisas (Álvarez-Hernández, Cortez-Madrigal and García-Ruiz, 2009).

## **1.8 Geografía del Estado de México**

El Estado de México se localiza en la zona central de la República Mexicana, 18° 21' y 20° 17' de latitud norte y 98° 36' y 100° 36' de longitud oeste, a una altura de 2,683 msnm, en su planicie más alta que es el valle de Toluca. Colinda al norte con los estados de Querétaro e Hidalgo, al sur con Guerrero y Morelos, al este con Puebla y Tlaxcala y al oeste con Guerrero y Michoacán, así como, con el Distrito Federal, al que rodea al norte, este y oeste como se puede observar en la figura 4. El Estado tiene una extensión de 22,351 km<sup>2</sup>, por ello ocupa el lugar 25 a nivel nacional lo cual representa 1.1 % de la superficie del país. Tiene un total de 125 municipios, cuenta con una población de 15'175,862 habitantes que representa el 13.5% del total de país, el estado aporta en actividades económicas de los sectores de agricultura, ganadería, aprovechamiento forestal, pesca y caza 1.6% del PIB estatal. En cuanto al uso del suelo aproximadamente 38.1% es de uso agrícola, 34.9% forestal, 16.7% pecuario y 10.3% industrial y urbano; en materia de tenencia de la tierra, el 40.32 % es ejidal (INEGI 2011).





**Figura 4. Ubicación geográfica del Estado de México (Urbano 2009).**

Hidrológicamente el estado está comprendido en tres grandes cuencas: Lerma, ocupa el 23.9% de la superficie estatal; el Balsas 42% y el Pánuco 35.5%.

El Río Lerma tiene una extensión aproximada de 125 kilómetros, nace en el municipio de Almoloya del Río y pasa por San Antonio la Isla, Tianguistenco, Texcalyacac, Atizapán de Santa Cruz, Capulhuac, San Mateo Atenco, Metepec, Lerma, Toluca, Oztolotepec, Temoaya, Almoloya de Juárez, Ixtlahuaca, Jocotitlán, Atlacomulco y Temascalcingo. Por el margen derecho recibe las aguas de los ríos Tianguistenco, la Ciénega de Texcaltenango, el Ocoyoacac, el Amealco, el Atarasquillo, el San Pedro, el Caparrosa, el Temoaya, el Solano, los manantiales de Jocotitlán y el Sila; y por el izquierdo, el Verdiguél, el Calixtlahuaca, el Almoloya de Juárez, el Santa María del Monte y el Mineral del Oro. Toda la región sur del estado forma parte de la cuenca del río Balsas, el Ocuilan o Chalma (con sus afluentes Malinalco, Zumpahuacán, Zempoala y Zarcas) se une al Amacuzac ya en el estado de Morelos; el río Tenango pasa subterráneamente por las grutas de Cacahuamilpa y llega al Estado de Guerrero, en la figura 7 se muestra la ubicación a lo largo del Estado de México de la cuenca alta del río Lerma.

Desde el punto de vista climatológico, en el estado se han identificado que los climas templados que ocupan la mayor parte de la superficie del estado, con una temperatura media anual que oscila entre 12 °C y 18 °C y una precipitación mayor a los 700 milímetros, ocupando el 68 % de la superficie estatal. El clima semicálido se localiza en el suroeste de la entidad, tiene una temperatura media anual que oscila entre los 18 °C y 22 °C y una precipitación media anual de 800 a 1,500 milímetros ocupando el ocho por ciento del territorio.

El clima cálido se localiza en la parte sur del estado con una temperatura media anual mayor a los 22° C y una precipitación superior a los 1,000 mm; ocupa el 5% de la superficie estatal. El clima seco se localiza en los límites con los estados de Tlaxcala e Hidalgo y registra una temperatura media anual inferior a los 18° C y una precipitación total entre 500 y 700 mm, ocupa 5 % de la superficie estatal. El clima frío se localiza en las cumbres altas del Nevado de Toluca, Popocatepetl e Iztaccíhuatl, principalmente; se caracteriza por tener un régimen térmico medio que oscila entre los 6.5° C y por debajo de los 0° C; la precipitación pluvial total fluctúa entre los 1,000 y 1,400 mm; ocupa el 1 % de la superficie total del estado.

### **1.8.1 Hidrología de Ixtapan de la Sal**

El municipio de Ixtapan de la Sal se encuentra en la zona en sureste en el Estado de México. La superficie territorial de dicho municipio es de 115.37 kilómetros cuadrados. Se encuentra a una altura mínima de 1,924 y máxima de 2,020 metros sobre el nivel del mar. Colinda al norte con los municipios de Villa Guerrero y Coatepec Harinas, al sur con Tonatico, Zacualpan y el estado de Guerrero, al oriente también colinda con Villa Guerrero y Zumpahuacán y al poniente con los municipios de Coatepec Harinas y también con Zacualpan.

Ixtapan de la Sal presenta una distancia de unos 84 kilómetros de la capital del estado. El mapa de México señala que el municipio de Ixtapan de la Sal se encuentra situado entre las coordenadas geográficas 80° 50' 28" latitud norte y 90° 10' 40" longitud oeste. El nombre del municipio "Ixtapan de la Sal" significa "en aguas blancas". El Instituto Nacional de Estadística y Geografía señaló que los resultados del conteo de población del 2010 en el municipio de Ixtapan de la Sal mostraron que cuenta con una población total de 33,546.

Varios ríos cruzan el territorio municipal que en épocas de sequías se transforman en arroyos; el Calderón y el Nenezingo ubicadas en las barrancas del mismo nombre se unen dando origen al Ixtapan, el cual cambia su nombre por el San Gerónimo. El Malinaltenango al perderse en un precipitado llamado El Abra, el cual atraviesa interiormente las grutas de Cacahuamilpa, aparece nuevamente en Dos Bocas y se une al Amacuzac. En la cabecera encontramos el arroyo Los Aguacates y el río Salado. Uno de los manantiales que brota al pie del cerro del Pollo en las faldas del Nevado de Toluca, sigue su cauce por la barranca de Tlacomulco y el otro en el cerro de la Rabia, pasa por la Joya del Diablo y la barranca de los Jazmines, ambos se unen en Tequimilpa, desde donde por un canal de mampostería es enviado al municipio para el consumo humano, pero a su paso se benefician las comunidades de El Abrojo, Santa Ana Xochuca, Llano de la Unión, Yervas Buenas, San José del Arenal y Tecomatepec siendo utilizada para el regadío.

Por las características de la ubicación territorial, el clima predominante es el semicálido, subhúmedo con lluvias en verano, con una temperatura media anual de 17.9° C y una mínima de 1° C.

### **1.9 Contaminación de agua a nivel mundial**

El agua cubre aproximadamente tres cuartas partes de la superficie total de la Tierra; sin embargo, existen diferentes factores que limitan la cantidad de agua disponible para el consumo humano (Barrera-Díaz, 2014), entre ellos se encuentran las propiedades físicas, químicas, biológicas y bacteriológicas. Debido a sus propiedades fisicoquímicas, el agua se comporta como un disolvente universal de compuestos orgánicos e inorgánicos; de manera que existen una gran cantidad de sustancias sólidas, líquidas y gaseosas que modifican las propiedades y la calidad del agua (Raggio y Moro de Raggio, 2006). La alteración de la calidad del agua puede ser provocada por efectos naturales y por la actividad humana (Oller, Malato, y Sánchez-Pérez, 2011), esta contaminación pueden generar efectos adversos en el ser humano.

En diversas partes del mundo los efectos a la salud son originados por la contaminación del agua la cual se atribuye a como se manejan los recursos hídricos. A la fecha los programas de monitoreo determinan que una de cada tres personas de todo el mundo, equivalente a 2,4 mil millones, todavía carecen de acceso a instalaciones de saneamiento y que 946 millones

de ellas defecan al aire libre, lo cual indica que las condiciones de vida en varios de los países de América Latina y el mundo se encuentran en condiciones no favorables para la salud poblacional y el desarrollo social. La disminución de agua dulce, debido al crecimiento demográfico, urbanización y calentamiento global ha dado lugar al uso creciente de aguas residuales, por lo que la OMS ha propuesto guías sobre el uso seguro de aguas residuales en agricultura y acuicultura, repercutiendo significativamente en su reúso racional (Sánchez-Martínez, 2017).

### **1.10 Problemas de contaminación de agua en México**

México cuenta con un marco de políticas bien desarrollado para la gestión de recursos hídricos, y con diversas instituciones e instrumentos de políticas, sin embargo la implementación de dichas políticas aún es desigual: los consejos de cuenca no funcionan del todo a 20 años de su creación, el marco regulatorio para los servicios de agua potable y saneamiento se encuentra optimizado, entre múltiples actores (Gurría, 2012). La organización que se tiene actualmente en cuanto a la administración ha rebasado la demanda, por lo que es urgente optimizar los servicios, las instituciones gestoras y el saneamiento del agua potable, pues el acelerado crecimiento demográfico que acontece en nuestro país en unos años más traerá graves sequías y enfermedades a la sociedad.

La necesidad de proveer agua potable a las poblaciones y de que no produzcan problemas de salud impulsa a la generación de las normas de calidad (Pacco *et al.*, 2014). Adoptan estas normas de calidad distintos organismos gubernamentales (NOM-001-SEMARNAT-1996; NOM-002-SEMARNAT-1996; NOM-003-ECOL-1997, NOM-033-ECOL-1997). En México, la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. La Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996 establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, y la Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997 establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reutilicen en servicios públicos. Para el abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales y otras; para lo cual se requiere establecer

límites permisibles en cuanto a sus características organolépticas, físicas, químicas, microbiológicas y radiactivas, con el fin de asegurar y preservar la calidad del agua en los sistemas hasta la entrega al consumidor (Barrera-Díaz, 2014).

Por tal razón centraremos el grueso de los límites permisibles en la Norma Oficial Mexicana NOM-033-ECOL-1997 que propone la Secretaría de Salud que establece las condiciones bacteriológicas para el uso de aguas residuales de origen urbano o municipal o de la mezcla de estas con la de los cuerpos de agua en el riego de hortalizas y productos hortofrutícolas con la finalidad de establecer un eficaz control sanitario del agua que se somete a tratamientos de potabilización, a efecto de hacerla apta para el riego de hortalizas y productos hortofrutícolas. Los distintos parámetros que deben tenerse en cuenta para establecer la calidad de agua para riego se muestra en la tabla 1 y 2, estas se tomaran en cuenta aunados a los requerimientos citados en la NOM-033-ECOL-1997 (Bonilla *et al.*, 2015) .

**Tabla 1. Parámetros de distintas NOM para evaluar calidad de agua para su uso**

| Parámetro                       | Límite máximo permisible | Unidades          | Referencia           |
|---------------------------------|--------------------------|-------------------|----------------------|
| <b>Organolépticas y físicas</b> |                          |                   |                      |
| Olor                            | Agradable                | Adimencional      | NMX-AA-083-1982      |
| Sabor                           | Agradable                | Adimencional      | SM2160B1992          |
| Color                           | 20                       | Pt-Co             | NOM-201-SSA1-2002    |
| Turbiedad                       | 5                        | UTN               | NOM-201-SSA1-2002    |
| <b>Fisicoquímicas</b>           |                          |                   |                      |
| Aluminio                        | 0.2                      | mg/L              | NOM-117-SSA1-1994    |
| Arsénico                        | 0.025                    | mg/L              | NOM-117-SSA1-1994    |
| Bario                           | 0.7                      | mg/L              | NOM-117-SSA1-1994    |
| Cadmio                          | 0.005                    | mg/L              | NOM-117-SSA1-1994    |
| Cianuros                        | 0.07                     | mg/L              | NOM-201-SSA1-2002    |
| Cloro libre residual            | 0.20-1.50                | mg/L              | NOM-201-SSA1-2002    |
| Cloruros                        | 250                      | mg/L              | NMX-F-532-1994       |
| Cobre                           | 2                        | mg/L              | NOM-201-SSA1-2002    |
| Cromo total                     | 0.05                     | mg/L              | NOM-201-SSA1-2002    |
| Dureza total                    | 500                      | mg/L como         | NMX-F-517-1992       |
| Fenoles                         | 0.3                      | CaCO <sub>3</sub> | NMX-AA-050-SCFI-2001 |
| Hierro                          | 0.3                      | mg/L              | NOM-117-SSA1-1994    |
| Fluoruros                       | 1.5                      | mg/L              | NOM-201-SSA1-2002    |
| Manganeso                       | 0.15                     | mg/L              | NOM-117-SSA1-1994    |
| Mercurio                        | 0.001                    | mg/L              | NOM-117-SSA1-1994    |
| Zinc                            | 5                        | mg/L              | NOM-117-SSA1-1994    |
| Nitrógeno de nitratos           | 10                       | mg/L              | NOM-201-SSA1-2002    |
| Nitrógeno de nitritos           | 1                        | mg/L              | NOM-201-SSA1-2002    |

**Tabla 2. Parámetros de distintas NOM para evaluar calidad de agua para su uso**

| Parámetro                       | Límite máximo permisible | Unidades   | Referencia           |
|---------------------------------|--------------------------|------------|----------------------|
| Nitrógeno amoniacal             | 0.5                      | mg/L       | NMX-AA-026-SCFI-2001 |
| pH <i>in situ</i>               | 6.5-8.5                  |            | NMX-F-534-1992       |
| Plomo                           | 0.01                     | mg/L       | NOM-117-SSA1-1994    |
| Sodio                           | 200                      | mg/L       | SM 3500 Na-D-1992    |
| Sólidos disueltos totales       | 1000                     | mg/L       | NMX-F-527-1992       |
| Sulfatos                        | 400                      | mg/L       | NMX-F-518-1992       |
| Detergentes (SAAMS)             | 0.5                      | mg/L       | NOM-201-SSA1-2002    |
| Trihalometanos totales          | 0.2                      | mg/L       | S.M. 6232 D          |
| <b>Plaguicidas</b>              |                          |            |                      |
| Dieldrin                        | 0.03                     | µg/L       | EPA-508              |
| Aldrin                          | 0.03                     | µg/L       | EPA-508              |
| Clordano                        | 0.2                      | µg/L       | EPA-508              |
| DDT                             | 1                        | µg/L       | EPA-508              |
| Gamma-HCH (Lindano)             | 2                        | µg/L       | EPA-508              |
| Hexaclorobenceno                | 1                        | µg/L       | EPA-508              |
| Heptacloro                      | 0.03                     | µg/L       | EPA-508              |
| Metoxicloro                     | 20                       | µg/L       | EPA-508              |
| Epoxido de Heptacloro           | 0.03                     | µg/L       | EPA-508              |
| 2.4-D                           | 30                       | µg/L       | EPA-615              |
| <b>Hidrocarburos aromáticos</b> |                          |            |                      |
| Benceno                         | 10                       | µg/L       | C.G.                 |
| Etilbenceno                     | 300                      | µg/L       | C.G.                 |
| Tolueno                         | 700                      | µg/L       | C.G.                 |
| Xileno                          | 500                      | µg/L       | C.G.                 |
| <b>Microbiológicos</b>          |                          |            |                      |
| Coliformes totales              | Ausencia o N.D.          | NMP/100 mL | NOM-112-SSA1-1994    |
| Coliformes fecales              | Ausencia o N.D.          | NMP/100 mL | NOM-112-SSA1-1994    |

### 1.11 Problemas de contaminación de agua en Estado de México

Los usuarios del agua en el Estado de México son más vulnerables y lo serán más en las próximas décadas, en especial en las cuencas de los ríos Lerma. Para solucionar esto se requiere, en parte, mejorar la calidad de los ríos, lagos y acuíferos, así como establecer una cultura de cuidado y ahorro. Hasta ahora, México ha cumplido con los objetivos de Desarrollo del Milenio concernientes al agua y saneamiento, pero necesita adoptar mayores medidas a fin de garantizar que el agua abastecida sea segura para su consumo (de la Peña,

Ducci and Zamora, 2013), Actualmente 91.3% de la población tiene acceso al agua potable y el 89.9% a servicios de saneamiento (Gurría, 2012). El agua además de ser un líquido vital para la salud humana, se considera un excelente medio para la transmisión de microorganismos patógenos causantes de grandes epidemias y causa de muertes. Por lo que el mayor impacto que se tiene es a través de las fuentes de abastecimiento de donde la población consume directamente el recurso hídrico, a través del transporte de agentes contaminantes que causan enfermedades intestinales al hombre y los animales, alterando desde luego las funciones cotidianas de la población (Sabogal, 2000).

México necesita resolver algunas brechas regulatorias para mejorar el acceso de la población a servicios de agua potable y saneamiento seguros, eficientes y sostenibles (Gurría, 2012). La descentralización de los sistemas de agua potable ha creado burocracias locales, que debilitan las instituciones comunitarias creadas por los usuarios y por lo tanto los sistemas de tratamiento para dicho recurso (Galindo-Escamilla y Emmanuel Palerm-Viqueira, 2007). Por lo que es fundamental difundir medidas profilácticas para prevenir futuras repercusiones en la salud de la población. Así mismo, es necesario realizar rutinariamente pruebas de calidad microbiológica para evaluar el grado de contaminación biológica que puede presentarse en las fuentes de abastecimiento antes y después del período de desinfección, así como las variables asociadas a la prevalencia de ciertos organismos infecciosos de fácil transmisión por agua, causantes de parasitosis.

### **1.12 Riego de hortalizas**

El agua es el recurso fundamental que asegurar una buena producción de hortalizas y cualquier planta en general, el riego es la acción de proporcionar a la planta la cantidad suficiente del líquido en el momento oportuno, el estrés que puede llegar a sufrir un ejemplar es muchas veces derivado de un mal riego, lo que propicia una detención en la producción de biomasa. Así mismo por no contar con agua de buena calidad podemos poner en riesgo la integridad orgánica de nuestra producción e inclusive ser focos de transmisión de enfermedades a consumidores (Mogollón and Chirinos, 2017).

En los lineamientos nacionales se establece que el operador orgánico debe contar con un programa de manejo y conservación del agua, orientado a la preservación del recurso,



evitando su desperdicio y contaminación, buscando que haya un equilibrio a nivel regional para evitar afecciones a terceros. Es importante, también tener en cuenta que el exceso de humedad provoca el desarrollo de algas sobre la superficie y la falta de oxígeno en el sistema radical al mismo tiempo, la escasez de humedad provoca el incremento de la concentración de las sales que pueden ser tóxicas en la mayoría de los cultivos (Aguilar, 2011). Los problemas más comunes según los cuales se evalúan los efectos de la calidad del agua son los relacionados con la salinidad, la velocidad de infiltración del agua en el suelo, la toxicidad de elementos específicos entre otros. Existen problemas de salinidad cuando las sales se acumulan en la zona radicular, en una concentración tal que ocurren pérdidas de la producción. Parte de estas sales que se encuentran en el suelo pueden ser desplazadas de la zona radicular, aplicando una mayor cantidad de agua que supere las necesidades de las plantas durante su ciclo vegetativo (Aguilar, 2011).

Los problemas de toxicidad surgen cuando ciertos elementos absorbidos por las plantas (contaminantes) y acumulados en los tejidos, en concentraciones lo suficientemente altas, provocan daños y reducen los rendimientos. Estos se manifiestan como quemaduras en el borde de las hojas y aspecto de clorosis. Los iones de mayor importancia son el sodio, los cloruros y el boro. La magnitud de los daños depende del tiempo, concentración, tolerancia del cultivo y volumen de agua transpirada.

El estado de desarrollo del cultivo representa un aspecto importante en el momento de entregar las cantidades de agua que las plantas necesitan. En este sentido, los máximos valores, por ejemplo, en el caso del jitomate, se han obtenido en la fase de floración-fructificación y menores en la fase de establecimiento y maduración- cosecha. Para los vegetales de hojas, en los días posteriores al trasplante, es necesario garantizar una buena humedad, sin que el suelo o sustrato se sobre humedezca y así evitar altas mortalidades. Más tarde, durante la fase de crecimiento rápido, necesita abundante cantidad de agua. En este sentido, para el caso especial de la lechuga, cultivada en la época de calor, es necesario realizar numerosos riegos cortos, varias veces al día, sin que esto implique aumento de la cantidad total de agua diaria (la misma cantidad de agua, pero fraccionada) (Aguilar, 2011).

Al respecto de la calidad de agua con la que se riega, los lineamientos técnicos para la operación orgánica establecen que: “En la producción, preparación y/o procesamiento, bajo métodos orgánicos, queda prohibido el uso de: aguas residuales provenientes de cañería doméstica, urbana, industrial y de agricultura convencional, incluyendo los residuos sólidos, semisólidos o líquidos generados durante el tratamiento de aguas residuales, y así como el uso de biosólidos obtenidos por el tratamiento de agua contaminada”. Las aguas residuales tratadas de origen urbano o industrial contienen: microorganismos patógenos para el hombre que podrían causar problemas de salud si esa agua se usara para regar hortalizas; metales pesados que se acumulan en el suelo sin posibilidad de que se eliminen; de fósforo y nitrógeno disueltos, cuyo uso en fertilización en esta forma está prohibido y de boro, cloro y otros elementos que en exceso son tóxicos y que provienen normalmente de los productos de limpieza de uso doméstico (Aguilar, 2011).

Los estudios para determinar la toxicidad de las moléculas en agua son diversos, desde irrigaciones de benceno, diésel y gasolina a plantas de tomate, siendo de las más extremas (Martel Valles *et al.*, 2017) hasta el estudio de la reutilización de aguas residuales tratadas en la agricultura (SILVA-LEAL, TORRES-LOZADA and MADERA-PARRA, 2013) pasando por la aplicación de agua residual tratada con ozono para su reuso agrícola (Rojas-Valencia, 2005) por mencionar algunos, la mayoría de la literatura converge en un común denominador, la necesidad de mejorar la calidad del agua para prevenir afectaciones en el suelo y ser humano.

Por ello es fundamental, conocer la fuente de la cual proviene el agua que emplearemos, así como tener los análisis correspondientes para el agua antes y después de su paso por el reactor electroquímico y las trampas adecuadas para el aluminio desprendido en la reacción.

### **1.13 Tipos de riego para invernadero**

Para poder cumplir con su ciclo fenológico, los cultivos dependen fuertemente del agua, cuyo consumo está controlado por la energía radiante proveniente del sol y la energía del viento que favorece los cambios de estado de líquido a vapor (Santibañez, 1994). Por otra parte se toma en cuenta también, la fuente de agua que se encuentra en el suelo, a partir del cual las

plantas extraen el agua según sus requerimientos, de esta manera se establece así un flujo suelo-planta-atmósfera (Kremer y Seguel, 2015) el cual requiere de un balance de agua y energía para entender el estado hídrico y las necesidades de agua del vegetal (Evet, 1999).

Los componentes del balance energético son la radiación solar neta, la cual es absorbida o reflejada por las superficies como una radiación de onda corta, la emisión y recepción de radiación de onda larga, el flujo de calor en el suelo por difusión y por convección, el calor latente, y el calor sensible (Evet, 1999).

Por su parte, el balance de agua en el suelo requiere de una sección de control, determinada por la superficie del suelo y la profundidad de enraizamiento, dentro del cual existen cambios en el contenido de agua del suelo ( $\Delta S$ ) en función de la precipitación (P) y el riego (R), las ganancias o pérdidas de agua por escorrentía superficial ( $E_s$ ), las ganancias o pérdidas por ascenso capilar o percolación profunda (F) y la Evapotranspiración, la que es común con el balance energético al manifestarse como calor latente (LE). Se establece así una capacidad del suelo para almacenar agua ( $\Delta S$ ), pero a la vez una capacidad del suelo para conducir el agua hacia las raíces de las plantas ( $J_w$ ) (Evet, 1999).

En condiciones de invernadero resulta un poco más fácil controlar los distintos parámetros, de manera que se puede calcular de acuerdo con la superficie y condiciones del terreno el mejor tipo de riego que se le debe de aplicar al cultivo, los principales tipos de riego son descritos a continuación

### **1.13.1 Riego por surcos**

Es un tipo de riego gravitacional que consiste en escurrir una lámina de agua en el sentido de la pendiente por canalículos longitudinales y paralelos. La eficacia del riego por surco se basa en que el agua debe estar escurriendo en el surco el tiempo necesario para que la altura de agua de déficit infiltre al suelo. Su principal problema es la erosión, en general se recomiendan pendientes optimas que van de 0,2 a 1% con valores máximos de un 2%, estos valores están asociados a la erodabilidad del suelo siendo más susceptibles a la erosión los suelos arenosos y los menos los arcillosos. Otro factor que incide en la erosión es el caudal

utilizado en el surco, a mayor caudal más riesgo de erosión. Lo anterior genera una contradicción desde que uno de los principales objetivos del riego por surco para mejorar su eficiencia de aplicación y uniformidad de riego es llegar lo más rápido posible con el agua desde la cabecera del surco a la cola de este, objetivo que se logra más fácilmente con altos caudales (Kremer y Seguel, 2015).

### **1.13.2 Riego por goteo**

El riego por goteo se caracteriza como un riego localizado de alta frecuencia ya que su diseño agronómico e hidráulico está concebido para devolver al suelo en forma localizada el consumo diario de agua desde el suelo por el cultivo. Este consumo está íntimamente relacionado con la demanda atmosférica por agua y el contenido de agua del suelo. Lo atractivo de su uso radica en su alta eficiencia de riego cercano al 90%, lo que se traduce en un humedecimiento parcial de la superficie del suelo, elimina el escurrimiento superficial, y reduce al mínimo la percolación profunda. Además, permite el uso de aguas y suelos marginales junto con aumentar la eficiencia de los fertilizantes al poder ser aplicados junto con el agua de riego. Sin embargo, existen algunas desventajas que son principalmente su alta inversión inicial, costos de operación (energía), desarrolla una zona o bulbo que limita el crecimiento y expansión de las raíces, y finalmente los emisores (goteros) son susceptibles a taponamiento. Todos los aspectos negativos son superados especialmente los de mantenimiento del equipo con los cuidados apropiados y los de operación si el diseño agronómico e hidráulico del equipo de riego es el adecuado (Kremer y Seguel, 2015).

### **1.14 Riesgos sanitarios al utilizar agua sin tratamiento para riego de hortalizas**

Actualmente la escasez del agua para riego y la contaminación de mantos freáticos en distintas regiones del territorio nacional, genera la necesidad de utilizar como fuente principal de riego, aguas negras o residuales tratadas, factor que conduce a la población a una exposición a diversos patógenos, sobre todo intestinales (Flores, 2006). Este riesgo se ha incrementado en los países en desarrollo, donde aún no existen regulaciones adecuadas para los límites máximos permisibles de cierto tipo de contaminantes presentes en estas aguas

(Martijn y Redwood, 2005). La sobrevivencia de microorganismos enteropatógenos presentes en el agua de riego puede fluctuar de días a años, siendo diseminados en diferentes formas hasta alcanzar cuerpos de agua superficiales o subterráneos.

Los peligros para la salud asociados con el uso de este tipo de agua pueden ser directos e indirectos, impactando desde las personas que trabajan en la tierra regada, que viven cerca de la tierra donde se desarrolla el riego, llegando hasta los consumidores que pueden llegar a incorporar diversos contaminantes al fruto producto del agua utilizada para su producción.

En la guía para reúso del agua en agricultura, de la Organización Mundial de la Salud, se consideran tres enfoques para elaborar directrices sobre la calidad microbiológica de aguas residuales tratadas reutilizadas en la agricultura. Dichos enfoques apuntan a resultados como la ausencia de organismos indicadores fecales en las aguas residuales, ausencia de exceso medible de casos de enfermedades entéricas en la población expuesta y un riesgo estimado de modelos generados por debajo de un riesgo aceptable definido (Blumenthal, et al., 2000).

En México se riegan aproximadamente 28 mil hectáreas con aguas negras, lo cual conlleva además de los riesgos mencionados, infiltraciones que contaminan los acuíferos y excedentes de riegos que llegan a otros cuerpos de agua. Es necesario que en el momento de diseñar un proyecto de riego con aguas residuales tratadas se tomen en cuenta aspectos técnicos, sanitarios y legales. (Flores, 2006).

### **1.15 Enfermedades en humanos producto de agua contaminada**

El agua potable no solo se contamina de forma natural por microorganismos y excretas, sino también por diferentes sustancias o por otras vías que involucran actividades humanas. El agua se contamina naturalmente por algunas sustancias o por elementos libres como el sodio, el potasio, el cobre, el hierro, el calcio y el selenio de manera natural. Las sustancias introducidas por las actividades humanas incluyen sales, residuos de hidrocarburos derivados del petróleo, solventes provenientes de la industria y la agricultura, así como lixiviados de depósitos de basura, letrinas y pozos negros (Monge y Mora, 2007).

El riesgo de la contaminación del agua por plaguicidas se presenta principalmente en zonas de agricultura extensiva; sin embargo, la mayoría de los expertos en salud están de acuerdo con que los mayores riesgos en el suministro de alimentación y agua potable no son los residuos de plaguicidas, las dioxinas o los alérgenos, sino los diferentes patógenos causantes de enfermedades mediante diversas variantes de hongos, bacterias (Rojas-Aedo *et al.*, 2013) y virus que, distribuidos y adaptados en el mundo, producen a diario enfermedades incluso resultando en muertes para la población humana.

De acuerdo con lo anterior, es necesario que los programas de salud pública tengan un alcance mucho más amplio que implique no solo el tratamiento de enfermedades producto de la calidad del agua, sino la prevención, así como el planteamiento de programas de manejo y control de sustancias en aguas superficiales para el desarrollo de una política pública relacionada con la prevención y el control de actividades contaminantes. De igual manera el análisis de riesgos naturales, tal como la infiltración de las aguas residuales a fuentes formales de suministro del recurso hídrico (Sánchez-Martínez, 2017).

### **1.16 Tratamiento de agua contaminada**

Actualmente existe la tendencia de agrupar los métodos de tratamiento en dos grandes grupos, en el primer caso predomina la aplicación de principios físicos y en el segundo la actividad química o biológica. En el pasado, los procesos y las operaciones unitarias se agrupaban bajo la denominación de tratamiento primario, secundario y terciario. En el tratamiento primario se agrupaban las operaciones del tipo físico, en el secundario los procesos biológicos de asimilación de la materia orgánica y el término terciario o tratamiento avanzado se ha aplicado a las operaciones y procesos utilizados para eliminar contaminantes no removidos por el tratamiento primario o secundario. La selección del proceso de tratamiento depende del uso al cual se le destinará al efluente tratado, la naturaleza del agua contaminada, la compatibilidad de las distintas operaciones y procesos, los medios disponibles de evacuación de los contaminantes finales y la posibilidad económica de las distintas combinaciones (Rojas, 2002).

La reutilización del agua tratada constituye actualmente una actividad consolidada y cotidiana en muchas partes del mundo, especialmente en países donde la escasez de agua es un problema latente. El objetivo principal es conseguir que los recursos hídricos convencionales se dediquen a cubrir aquellas demandas que exigen una calidad más elevada del agua. Actualmente, son numerosos los usos que se da a las aguas residuales tratadas, tales como riego agrícola, reutilización industrial, recarga de acuíferos, riego de zonas verdes y agrícolas, lucha contra incendios, uso sanitario, uso medio ambiental, entre otros sin embargo existen diversos tratamientos para aplicar a este tipo de agua antes de su disposición final, por ejemplo:

#### **1.16.1 Tratamiento preliminar**

Está destinado a la preparación o acondicionamiento de las aguas residuales con el objetivo específico de proteger las instalaciones, el funcionamiento de las obras de tratamiento y eliminar o reducir sensiblemente las condiciones indeseables relacionadas principalmente con la apariencia estética de las plantas de tratamiento.

#### **1.16.2 Tratamiento primario**

Tiene como objetivo la remoción por medios físicos o mecánicos de una parte sustancial del material sedimentable o flotante, es decir, el tratamiento primario normalmente es capaz de remover una fracción importante de la carga orgánica que puede representar entre el 25% y el 40 % de la DBO y entre el 50 % y el 65 % de los sólidos suspendidos. Entre los tipos de tratamiento primario destacan sedimentación primaria, flotación, precipitación química, oxidación química, coagulación, floculación, sedimentación, y filtración.

### **1.16.3 Tratamiento secundario**

La reducción de los compuestos orgánicos presente en el agua contaminada, acondicionada previamente mediante tratamiento primario, se realiza exclusivamente por procesos biológicos. Este proceso reduce o convierte la materia orgánica finamente dividida y/o disuelta, en sólidos sedimentables que puedan ser separados por sedimentación en tanques de decantación. Los procesos biológicos más utilizados son los lodos activados y filtros percoladores. Son muchas las modificaciones de estos procesos que se utilizan para hacer frente a los requerimientos específicos de cada tratamiento (Rojas, 2002). Asimismo, dentro de este grupo se incluyen a las lagunas de estabilización y aireadas, así como el tratamiento biológico empleando oxígeno puro y el tratamiento anaeróbico. Los tratamientos biológicos de esta categoría tienen una eficiencia de remoción de la DBO entre 85% y 95%, y están compuestos por: Filtración biológica (baja capacidad (filtro clásicos), alta capacidad (biofiltros, filtros comunes, aerofiltros), lodos activados (convencional, alta capacidad, contacto estabilización), Lagunas (estabilización, aireadas) y otros como los discos rotatorios.

### **1.16.4 Tratamiento avanzado o terciario**

Tiene como objetivo complementar los procesos anteriormente indicados para lograr efluentes más puros, con menor carga contaminante y que pueda ser utilizado para diferentes usos como recarga de acuíferos, recreación, agua industrial, etc. Las sustancias o compuestos comúnmente removidos son: fosfatos y nitratos, sustancias tensoactivas, sólidos totales y disueltos, etc.

El tratamiento propuesto para abordar la situación de la contaminación producto de industrias acuícolas en este trabajo es la electrocoagulación.



### 1.17 Electrocoagulación

La electrocoagulación es una tecnología limpia emergente que se conoce desde principios del siglo XX y ha sido aplicada en el tratamiento de diversas aguas residuales. Pese a ello, esta tecnología no se ha desarrollado ampliamente y aún falta mucho por investigar sobre sus procesos y mecanismos (Mejía, Ruiz, y Giraldo, 2006).

En su forma más sencilla un reactor de electrocoagulación es una celda electrolítica constituida por un ánodo y un cátodo. Cuando los electrodos se conectan a una fuente de poder externa, el material del ánodo será electroquímicamente corroído por oxidación y el cátodo estará sujeto a reducción. Sin embargo, se han probado arreglos más eficientes como por ejemplo un par de ánodos y un par de cátodos conectados en serie o en paralelo lo que disminuye la pasivación de los electrodos (Soberanis, et al., 2011).

Los iones liberados durante la electrocoagulación forman largas cadenas de poli hidróxidos, los cuales son diferentes a los formados en la coagulación convencional cuando se añaden sales químicas, debido a que tienen diferente estructura hidratada. Esta situación permite retirar, retener y desecar con mayor facilidad los lodos residuales. Los flocs formados de esta forma son menos hidratados, conteniendo menos agua ligada y por lo tanto se compactan más fácilmente. Durante la formación de los hidróxidos metálicos, la generación de los iones está acompañada de la concentración electroforética de partículas alrededor del electrodo, las cuales neutralizan su carga coagulando. La corriente aplicada obliga a los iones  $\text{OH}^-$  a migrar hacia el ánodo, por lo que el pH en la capa límite es más alto que en el resto de la solución, lo que favorece la formación de hidróxidos del metal del electrodo.

El hidróxido formado remueve los contaminantes presentes en el agua por complejación o atracción electrostática. Adicionalmente, en la proximidad de los electrodos el aumento de la concentración de los hidróxidos con carga positiva atrae aniones como los bicarbonatos y los sulfatos que propician la precipitación del calcio y el magnesio, originando así un ablandamiento parcial del agua. Los mecanismos de remoción en electrocoagulación incluyen oxidación, reducción, coagulación, absorción, adsorción, precipitación y flotación.

Los iones  $\text{Al}^{3+}$  son coagulantes muy eficientes para la floculación de partículas, por lo que en la electrocoagulación son frecuentemente utilizados electrodos de hierro o de aluminio.

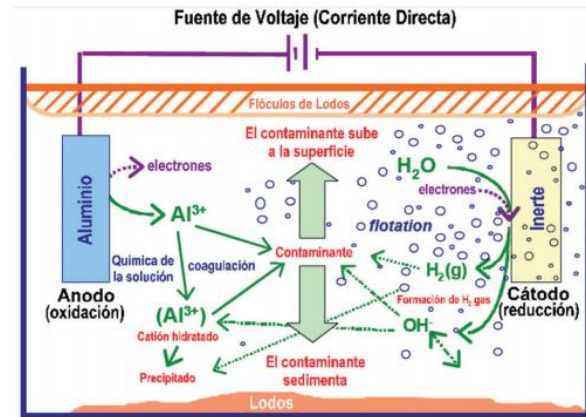
Los iones de aluminio hidrolizado pueden formar largas cadenas de  $\text{-HO-Al-O-Al-OH-Al-}$  las cuales pueden adsorber químicamente una gran cantidad de contaminantes. Los electrodos empleados para este trabajo serán de aluminio.

La figura 5 muestra el sistema de electrocoagulación para el caso en el que se utilizan electrodos de aluminio, el aluminio cumple la función de ánodo, liberando iones  $\text{Al}^{+3}$  y actúa como electrodo de sacrificio, esto es, sufre un desgaste a medida que pasa la corriente eléctrica a través del medio acuoso.

Entre las principales ventajas de la EC sobre el método de coagulación química se reportan las siguientes:

- La EC requiere equipos relativamente simples, es fácil de utilizar y su operación es flexible.
- Durante el tratamiento el líquido no es enriquecido con aniones y el contenido de sales no incrementa, como en el caso del tratamiento químico convencional.
- Se produce hasta un 50 % menos de lodos, así como un agua con menor concentración de sólidos disueltos (turbiedad), haciendo más factible su reutilización.
- Los flocs formados por EC son similares a los flocs producidos por coagulación química, excepto que los primeros tienden a ser mucho más largos, contienen menos agua superficial, son ácido-resistentes y son más estables, por ello pueden ser separados más rápido por otros métodos.
- La EC tiene la ventaja de remover las partículas coloidales más pequeñas, debido a que el campo eléctrico aplicado incrementa su movimiento facilitando la coagulación.
- El proceso de EC evita el uso de agentes químicos, eliminando así el problema de neutralizar el exceso de químicos y por lo tanto la posibilidad de una contaminación secundaria provocada por los mismos, cuando la coagulación química es utilizada.
- El fácil manejo, infraestructura simple y ventajas económicas y ambientales hacen de la electrocoagulación una tecnología atractiva y con un gran potencial de aplicación
- Sin embargo, a pesar de las ventajas que esta tecnología nos aporta, existen también desventajas para su aplicación entre las que se encuentran:
- Es necesario reponer los electrodos.

- Los lodos contienen altas concentraciones de hierro y aluminio, dependiendo del material del electrodo de sacrificio utilizado.
- Puede ser un tratamiento costoso en regiones en las cuales el costo de la energía eléctrica sea alto.
- El óxido formado en el ánodo puede, en muchos casos, formar una capa que impide el paso de la corriente eléctrica, disminuyendo de esta forma la eficiencia del proceso.



**Figura 5. Reacciones en un sistema de electrocoagulación de aluminio (Roa-Morales, et al., 2014)**

La electrocoagulación ha sido empleada en una gran variedad de contaminantes con resultados satisfactorios autores como (Emamjomeh y Sivakumar, 2009) han realizado una amplia revisión bibliográfica para conocer los tipos de contaminantes removidos y su eficiencia mediante procesos de electrocoagulación y electrocoagulación-floculación entre los que destacan agua contaminada con aceite, agua de desecho de la industria textil (colorantes), compuestos fenólicos, aguas residuales municipales e industriales, metales pesados en aguas residuales, turbiedad y metales pesados en agua potable, nitratos, nitritos, amoníaco y fluoruros. Aunado a ello, varios trabajos de investigación han sido exitosos para la eliminación de diversos contaminantes del agua mediante sistemas de electrocoagulación.

Se trataron aguas residuales de una de las zonas industriales de Nueva Delhi y se obtuvo que la demanda química de oxígeno, carbono orgánico total, sólidos disueltos totales y sulfatos se retiraron hasta 83.9, 46.9, 74.1 y 83.6 %, respectivamente empleando un electrodo de aluminio (Yadav, et al., 2012). En un estudio elaborado por Arsand et al. 2013 se buscó

eliminar Dexametasona, un antiinflamatorio ampliamente usado de un agua de desecho de hospital, obteniendo la eliminación de Dexametasona hasta en un 38.1 % (Arsand, et al., 2013). Es importante también destacar que la electrocoagulación ha sido reportada como una técnica de alta eficacia para la eliminación de fosfatos en soluciones acuosas (Bektaş, et al., 2004).

## 2 Justificación

Debido a que el sector hortícola del Estado de México aporta un 27.4% de la producción nacional anual, los productores mexiquenses han implementado el uso de sistemas de cultivo orgánico en hortalizas que mejoran la calidad del producto y les permite competir en mercados internacionales. Para ello, deben hacer uso de sistemas de riego que cuenten con un tratamiento eficiente agua en donde disminuya la materia orgánica y la densidad de microorganismos coliformes; dando como resultado un riego con agua de mayor calidad (Ayala, et al., 2012), (FAO-FAOSTAT, 2017). Debido a esto, es importante implementar nuevas técnicas de tratamiento de agua que les permita a los productores alcanzar estos requerimientos hídricos, en este sentido, la electrocoagulación ha demostrado ser eficiente para la remoción de materia orgánica disuelta (García-Cárdenas y Arévalo-Moscoso, 2016; Aguilar, 2015; Ruíz, 2014; Morales-Posada y Acosta-Niño, 2011). Por estas razones, se plantea por primera vez, el diseño, construcción y evaluación de un reactor electroquímico de aluminio, en batch, de 25m<sup>3</sup>, para mejorar la calidad del agua destinada a una unidad de riego de hortalizas orgánicas cultivadas a nivel invernadero dentro de los espacios de cultivo intensivo de un productor del municipio de Ixtapan de la Sal, Estado de México. El diseño y evaluación del reactor considera los parámetros mecánicos, fisicoquímicos y biológicos necesarios, ajustados al tipo de agua, requerimientos de calidad del cultivo y condiciones físicas del espacio, todos apegados a la normatividad vigente (Ramcharan y Bissessur, 2017; An, et al., 2016; Yadav, et al., 2012; Zaiied y Bellakhal, 2009; Emamjomeh & Sivakumar, 2009; Gonzalo, 2002). Como propuesta ambiental, de innovación y aplicación agroalimentaria, se convierte en la primera actividad que escala un sistema electroquímico a un nivel productivo, resuelve una problemática y otorga beneficios ambientales, institucionales, productivos y tecnológicos para los productores de hortalizas del Estado de México.

### **3 Hipótesis**

Al implementar un sistema de tratamiento electroquímico, con electrodos de aluminio, al agua de la unidad de riego del cultivo de hortalizas orgánicas a nivel invernadero, se obtendrá una remoción de al menos, 80% de materia orgánica y microorganismos presentes, contribuyendo al mejoramiento de la calidad del agua y de los parámetros biológicos del cultivo.

## **4 Objetivos**

### **4.1 General**

Diseñar, construir y evaluar un sistema electroquímico de aluminio para el tratamiento de agua aplicada a un sistema de riego de hortalizas orgánicas bajo condiciones de invernadero

### **4.2 Específicos**

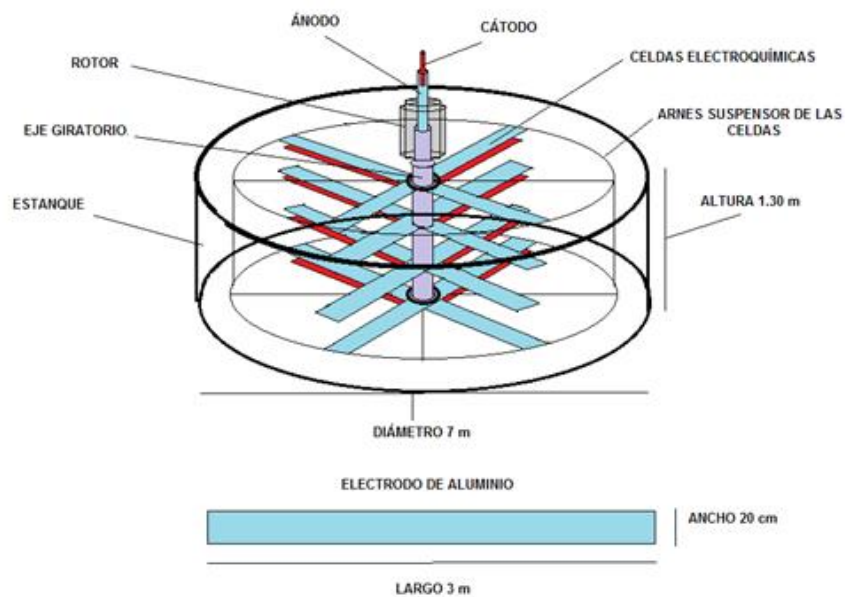
1. Realizar un diseño de reactor electroquímico circular, con rotor y celdas de aluminio en batch, para tratar un volumen de 25m<sup>3</sup> de agua de riego procedente de ríos utilizado para riego.
2. Construir el reactor electroquímico de aluminio bajo las condiciones mecánicas necesarias utilizando malla electrosoldada y geomembranas para mejorar las condiciones de volumen y mezclado.
3. Evaluar los parámetros de monitoreo y operatividad del reactor electroquímico para determinar las condiciones más eficientes bajo diferentes diseños experimentales.
4. Evaluar la eficiencia del sistema mediante las variables fisicoquímicas y microbiológicas del agua tratada, dentro del sistema de riego y en un cultivo orgánico, así como los parámetros biológicos de las plantas y de los productos (biomasa, biomarcadores, clorofilas, y disminución de problemas de plagas en suelo)

## 5 Método

### 5.1 Diseño de reactor electroquímico de malla electrosoldada

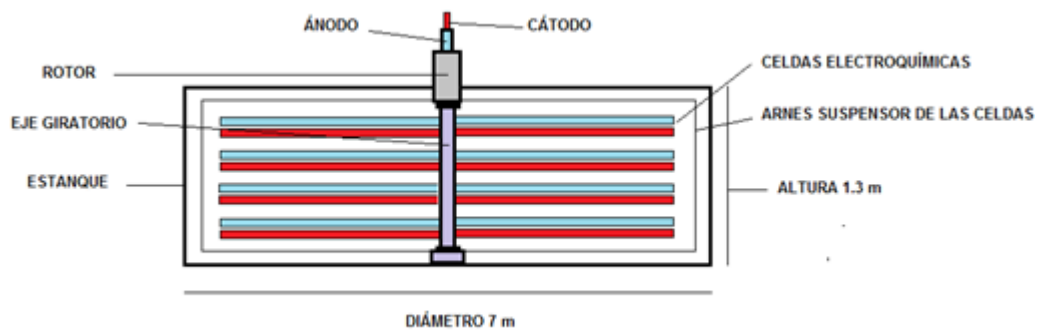
El suministro de corriente a un sistema de electrocoagulación determina la cantidad de iones de  $Al^{3+}$  liberados. Para el aluminio, la masa equivalente electroquímica es  $335.6 \text{ mgAh}^{-1}$ . Para que el sistema de electrocoagulación opere por un largo periodo de tiempo sin mantenimiento se sugiere que la densidad de corriente se mantenga entre  $20\text{-}25 \text{ A/m}^2$  (Roa-Morales, et al., 2014) razón por la cual se propone el siguiente sistema de tratamiento empleando materiales y medidas que mantengan la corriente eléctrica entre  $20\text{-}25 \text{ A/m}^2$ .

El reactor tipo batch se construirá para un volumen aproximado de  $25 \text{ m}^3$  de agua, considerando una forma geométrica cilíndrica. El diseño se realizará tomando como referencia las aportaciones de (Tejocote-Pérez, et al., 2010) y (Tejocote-Pérez, et al. 2012) para sistemas electroquímicos con capacidad de escalamiento industrial. Para tener un prototipo, se representa en las figuras 6-8 el diseño básico y parte de sus componentes sobre el cual se trabajarán los ajustes y modificaciones.

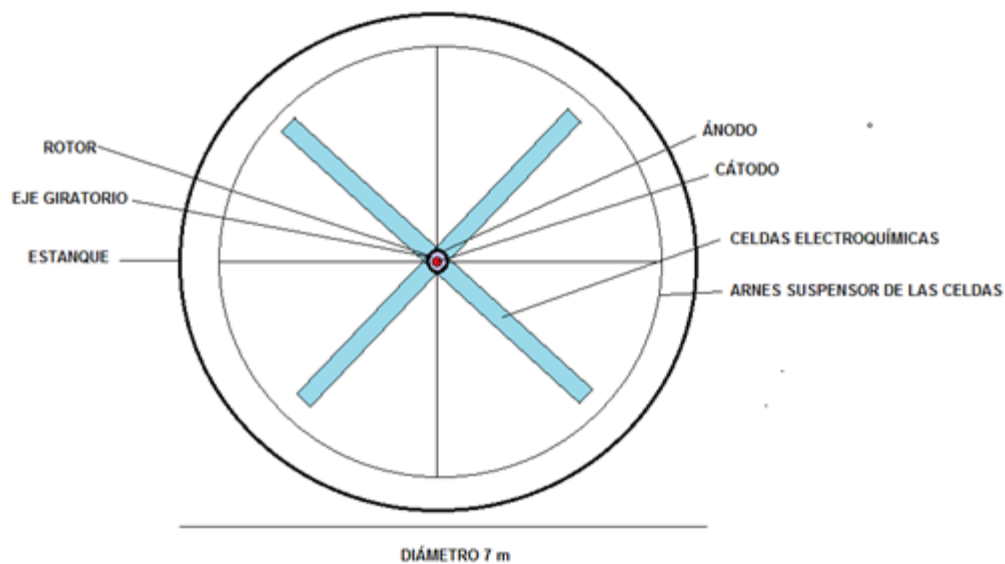




**Figura 6. Vista tridimensional de diseño del sistema electroquímico, componentes y dimensiones.**



**Figura 7. Vista lateral de diseño del sistema electroquímico, componentes y dimensiones**



**Figura 8. Vista superior de diseño y componentes del sistema electroquímico**

## 5.2 Construcción de reactor electroquímico en estanque de malla electrosoldada en campo

La construcción del sistema se realizará mediante el uso y manufactura de material de hierro y aluminio como ángulos, tubulares, cuadrangulares, solera, lámina, uniones, abrazaderas, material plastificado, aislantes, ejes, engranes, diversos tipos de tornillos, tuercas y rondanas, así como material eléctrico como rotores con gradiente de velocidad, controladores, circuitos

y cableado, aislantes, mezcladoras, paletas, bombas de aireación, bombas de reflujo, conectores, tubos CPVC, mangueras, llaves, válvulas y material hidráulico básico para el acoplamiento con el sistema de riego.

### **5.3 Evaluación de eficiencia del tratamiento**

Se evaluará la eficiencia del tratamiento del sistema electroquímico en el agua destinada al riego de las hortalizas, haciendo uso de la caracterización fisicoquímica del agua antes y después del sistema. Los parámetros básicos para la evaluación de la eficiencia serán la demanda química de oxígeno (DQO), la turbidez, el color, el pH, la conductividad y el aluminio residual. Para complementar los análisis fisicoquímicos, se realizará una caracterización microbiológica del agua tomando en cuenta el número total de coliformes fecales y el número más probable de coliformes (NMP) con base a la normatividad vigente.

#### **5.3.1 pH**

Se medirá el estado del agua conforme a un gradiente ácido o básico, según el origen del agua evaluando sus niveles antes y después del tratamiento. Para ello se utilizará un potenciómetro marca OAKTON modelo 1230.

#### **5.3.2 Turbidez**

Se comparará la intensidad de la luz dispersada por la muestra con una suspensión de referencia antes y después del tratamiento en unidades FAU. Para ello se utilizará un espectrofotómetro HACH DR-4000.

#### **5.3.3 Color**

La técnica se basa en la medición del color verdadero y/o aparente en una muestra de agua mediante su comparación y apreciación visual con una escala estandarizada de platino-cobalto. Dicha unidad es la que se produce al disolver 1mg de platino/L en forma de ion cloroplatinato, el color se evaluará antes y después del tratamiento. Para ello se utilizará un espectrofotómetro HACH DR-4000.

#### **5.3.4 Demanda química de oxígeno (DQO)**

Se medirá la cantidad de materia orgánica e inorgánica oxidada con ácido sulfúrico y ácido crómico a ebullición y una disolución de dicromato de potasio en equipo HACH Box,

después de la digestión se cuantificará por espectrofotometría la cantidad de dicromato no reducido para determinar la cantidad consumida y calcular la materia oxidable en términos de oxígeno equivalente, la DQO se evaluará antes y después del tratamiento. Para ello se utilizará un espectrofotómetro HACH DR-4000.

### **5.3.5 Conductividad**

Este parámetro se utilizará para medir la cantidad de sales o iones presentes en el agua, tales como  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{2+}$  y  $\text{HCO}_3^-$  con la finalidad de identificar el efecto reductor sobre algunos contaminantes antes y después del tratamiento. Para ello se utilizará un conductímetro marca OAKTON modelo 1230.

### **5.3.6 Espectroscopia Uv**

Se usará un espectrofotómetro UV-Vis Perkin Elmer (900-200 nm) para realizar barridos en los que se evalúe la disminución de la concentración de contaminantes antes y después del tratamiento, esto se obtiene mediante las propiedades de absorción de radiación electromagnética que tienen algunos contaminantes orgánicos en los efluentes industriales, estos procedimientos son recomendados por (Barrera-Díaz, et al., 2006) y (Tejocote-Pérez, et al., 2010).

## **5.4 Caracterización biológica del fruto de los cultivos**

Se realizará la caracterización biológica del fruto con agua tratada y sin tratar tomando en cuenta parámetros como: Biomasa vegetal, clorofila a, b y carotenos y tasa de respiración fotosintética.

### **5.4.1 Biomasa Vegetal de los cultivos**

Para evaluar la biomasa vegetal serán considerados los parámetros de longitud del tallo, número de hojas, área foliar, número de raíces y longitud de raíces, circunferencia del fruto.

## **5.5 Concentración de clorofila a, b, total**

Este parámetro se evalúa directamente a las hojas de las plántulas aplicadas a los tratamientos con agua tratada, para ello se aplicará la técnica de cuantificación de clorofila a, b y carotenos de (Val, Heras, y Monge, 1985) y (Cambrón-Sandoval, et al., 2011) ajustada por (Tejocote-Pérez, et al., 2010) con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Cl a } (\mu\text{g/mL}) = 10.81 (\text{Abs } 662) - 0.75 (\text{Abs } 645) \quad [1]$$

$$\text{Cl b } (\mu\text{g/mL}) = 19.02 (\text{Abs } 645) - 3.98 (\text{Abs } 662) \quad [2]$$

$$\text{Cl total } (\mu\text{g/mL}) = 6.83 (\text{Abs } 662) + 18.27 (\text{Abs } 645) \quad [3]$$

### **5.6 Concentración de carotenos**

Este parámetro se evalúa directamente a las hojas de las plántulas aplicadas a los tratamientos con agua tratada, para ello se aplicará la técnica de cuantificación de (Val, et al., 1985) y (Cambrón-Sandoval, et al., 2011) ajustada por (Tejocote-Pérez *et al.*, 2010) con la siguiente ecuación:

$$\text{Carotenos } (\mu\text{g/mL}) = 3.775 (\text{Abs } 479) - 0.21 (\text{Cl b}) \quad [4]$$

## **6 Resultados**

Los resultados obtenidos en este proyecto se encuentran incluidos en un artículo de investigación de la revista: **Desalination and Water Treatment** titulado: Runoff water treatment with high organic matter load through a scalable prototype electrocoagulation system with a rotary axis design, la revisión titulada: Electrocoagulation: An effective approach for wastewater treatment in Latin America enviada a la revista: **Biotechnology Advances**. Además, se envió el artículo titulado Water quality improvement for irrigation of organic vegetables through a full-scale electrocoagulation reactor with rotary axis a la revista **International Journal of Water**.



## Runoff water treatment with high organic matter load through a scalable prototype electrocoagulation system with a rotary axis design

J.A. Silis-Cano<sup>a</sup>, M. Tejocote-Pérez<sup>b,\*</sup>, O. Monroy-Vilchis<sup>b</sup>, A.E. Alcántara-Valladolid<sup>c</sup>,  
C.E. Barrera-Díaz<sup>a</sup>, L.A. Vaje-Romero<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Centro Conjunto de Investigación en Química Sustentable, UAEMex-UNAM, Carretera Toluca-Atlaconulco Km 14.5, 50200, Toluca, Mexico, Tel. (+52) 722-276-66-10; emails: adrian.silis07@gmail.com (J.A. Silis-Cano), cb40044@gmail.com (C.E. Barrera-Díaz)

<sup>b</sup>Centro de Investigación en Ciencias Biológicas Aplicadas, UAEMex, Carretera Toluca-Atlaconulco Km 14.5, 50200, Toluca, Mexico, Tel. (+52) 462-85-85; emails: moytej@yahoo.com.mx (M. Tejocote-Pérez), tavomonroyvilchis@gmail.com (Monroy-Vilchis), lasvaje@gmail.com (L.A. Vaje-Romero)

<sup>c</sup>Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua, UAEMex, Carretera Toluca-Atlaconulco Km 14.5, 50200, Toluca, Mexico, Tel. (+52) 722-180-61-91; email: aealcantara@uaemex.mx (A.E. Alcántara-Valladolid)

Received 4 November 2019; Accepted 1 April 2020

### ABSTRACT

The removal accomplished by an electrocoagulation method in a 2.5 L cylindrically shaped batch electrochemical reactor, made of plastic, wood, and aluminum, was assessed with runoff water used for crop irrigation. Aluminum electrodes were employed; there was no supporting electrolyte so as to maintain the sample as unaltered as possible. The removal efficiencies accomplished are as follows: turbidity removal about 91.3%; color of about 90.2%; the chemical oxygen demand removal achieved was 23.8%, not negligible since no supporting electrolyte was used to avoid adding extra chemicals to the water. As for free chlorine, phosphates, phosphorus, nitrates, and sulfates, the removal percentages achieved are 66.7%, 69.9%, 92.13%, 99.99%, and 33.3%, respectively. Also, microbial consortia were targeted with this method, according to the most probable number technique, a 97.8% removal of fecal coliforms was achieved in irrigation water.

*Keywords:* Electrocoagulation; Water treatment; Runoff water

### 1. Introduction

Groundwater is a limited water resource in areas with high population density and heavy agricultural exploitation [1], an alternative to meet the demands of this resource is the use of natural runoff water, commonly destined for the irrigation of vegetables. However, over its journey and in case it is stored, runoff water can come into contact, at some points, with all sorts of pollutants scattered in the region; a problem for vegetable producers, since this water is commonly contaminated by various biological and chemical agents, causing a rise in the contents of organic matter and

coliform microorganisms in the channel [2]. The reason for treatment to be necessary is to ensure the quality of the fruit that will be consumed by humans either locally, nationally or internationally; as well as taking care of runoff water parameters such as the content of salts, the presence of potentially toxic elements and pathogenic microorganisms, metal concentrations, micronutrients, and organic compounds.

Using this sort of water in agricultural production can increase the content of organic matter and nutrients in cultivated soils, which helps maintain or improve their fertility, but can also cause harmful effects that deteriorate their quality. The dynamics of organic matter in the soil play a vital

\* Corresponding author.

## Biotechnology Advances

### Electrocoagulation: An effective approach for wastewater treatment in Latin America. --Manuscript Draft--

|                              |  |
|------------------------------|--|
| <b>Manuscript Number:</b>    | JBA-D-21-00087   |
| <b>Article Type:</b>         | Review Article   |
| <b>Keywords:</b>             | electrocoagulation; wastewater; iron; aluminum   |
| <b>Corresponding Author:</b> | Moisés Tejocote-Pérez<br>Universidad Autonoma del Estado de México<br>Toluca, Estado de México MEXICO  |
| <b>First Author:</b>         | Moisés Tejocote-Pérez  |
| <b>Order of Authors:</b>     | Moisés Tejocote-Pérez<br>J. A. Silis-Cano, Dr<br>Moisés Tejocote Pérez, Dr<br>Ana Elisa Alcántara Valladolid<br>Carlos Eduardo Barrera Díaz, Dr  |
| <b>Abstract:</b>             | Electrocoagulation (EC) has been a popular alternative for wastewater treatment for some years now, it has been widely studied in almost every country in the world with promising results. Its usefulness for a wide range of wastewater types, its adaptability, ease of installation and the ability to couple to solar energy sources has allowed this technology to present a constant evolution. This document has reviewed essential studies on the history and engineering of the process, as well as some of the advantages and disadvantages of this technology. A wide section on the types of wastewater and the success rates in which electrocoagulation has been tested is also present, from the textile industry, the food industry, the paper industry to its applications in wastewater produced by the refinery. Some more specific uses such as metal removal, microbial consortia, emerging pollutants, and domestic waters are also addressed. This research lists some of the most promising hybrid CE processes, as well as some articles of interest to recent technological advances. Overall, these lines discuss how the EC method has great potential to treat the different types of effluents humans discharge when carrying out daily activities. |
| <b>Suggested Reviewers:</b>  | <p>Leonie Asfora Sarubbo D.R., D.R.<br/>Research, Federal Rural University of Pernambuco: Universidade Federal Rural de Pernambuco<br/>leonie@unicap.br<br/>Her work on wastewater treatment</p> <p>Megharaj Mallavarapu, D.R.<br/>Research, Information Centre for Aerospace Science and Technology: National Aerospace Laboratories CSIR<br/>megh.mallavarapu@newcastle.edu.au<br/>His work in Nutrient removal and biomass production: advances in microalgal biotechnology for wastewater treatment</p> <p>Joanna Burgess, DR.<br/>Research, Cranfield University<br/>joanna.burgess@cranfield.ac.uk<br/>His review in Developments in odour control and waste gas treatment<br/>biotechnology: a review</p> <p>Jan Vymazal, DR.<br/>Research, Czech University of Life Sciences in Prague Faculty of Forestry and Wood Sciences: Ceska Zemedelska Univerzita v Praze Fakulta lesnicka a drevarska<br/>vymazal@knc.czu.cz<br/>His work on constructed wetlands</p> <p>Qilin Li, DR.</p>  |

Powered by Editorial Manager® and Prodxion Manager® from Aries Systems Corporation

Thank you for submitting your article entitled "Water quality improvement for irrigation of organic vegetables through a full-scale electrocoagulation reactor with rotary axis." (Submission code: IJW-336072) for the International Journal of Water (IJW).

Your article has been processed to be refereed.

You can track the progress of your article by logging in at the following Web page:

URL: <http://www.inderscience.com/ospeers/login.php>

Username: mtguaemex

Temporary Password: cicba2021

This is a temporary password that you are requested to change at your earliest convenience. You must change your password before you can receive review reports from our review committee.

How long will take to review your article?

This depends on the journal. You should directly contact the editor of the journal if you haven't received any communication from the editor after six months of submission. If you do not receive a satisfactory reply from the journal editor, please contact [submissions@inderscience.com](mailto:submissions@inderscience.com)

There are no charges for publishing with Inderscience, unless you require your article to be Open Access (OA). If you receive an email requesting payment in relation to your article (for example for editing or reviewing services), then you should ignore and delete the email as it is not a legitimate Inderscience email. If you are unsure, you can check with us at [submissions@inderscience.com](mailto:submissions@inderscience.com)

If you are considering publishing an Open Access article with us, remember that we will never request payment before your paper has been accepted.

Thank you for your interest in our journal.

Best regards,

pp. IJW Editor

Inderscience Publishers Ltd.

[news@inderscience.com](mailto:news@inderscience.com)

Activar Windows

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]



[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[REDACTED]

[REDACTED]

[Redacted text block containing approximately 21 lines of obscured content]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

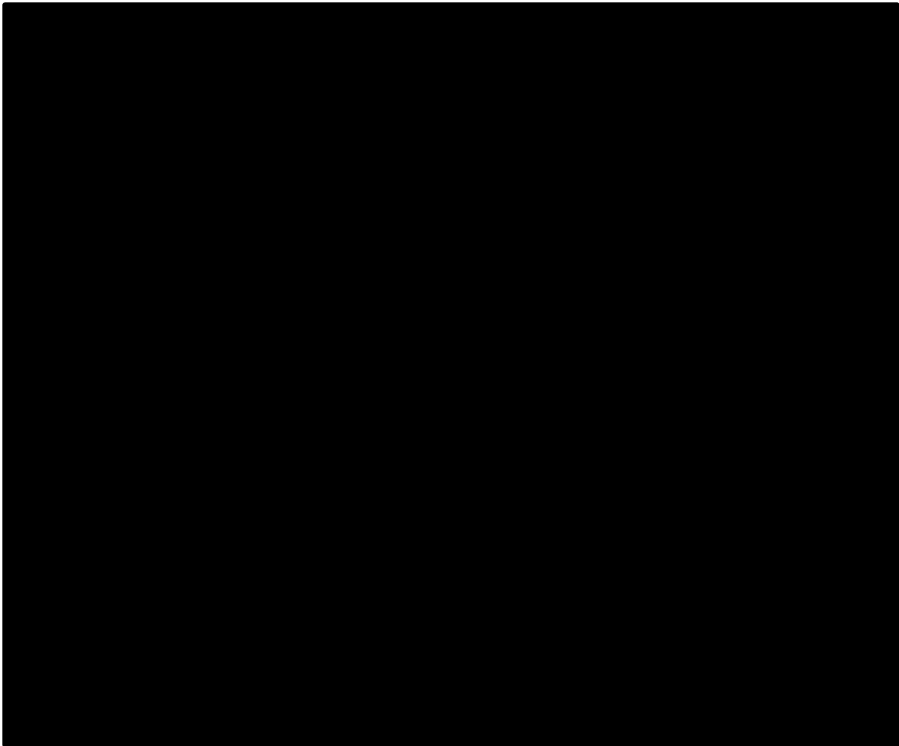
[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted text block]



[Redacted text line]

[Redacted text line]

[Redacted text block]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

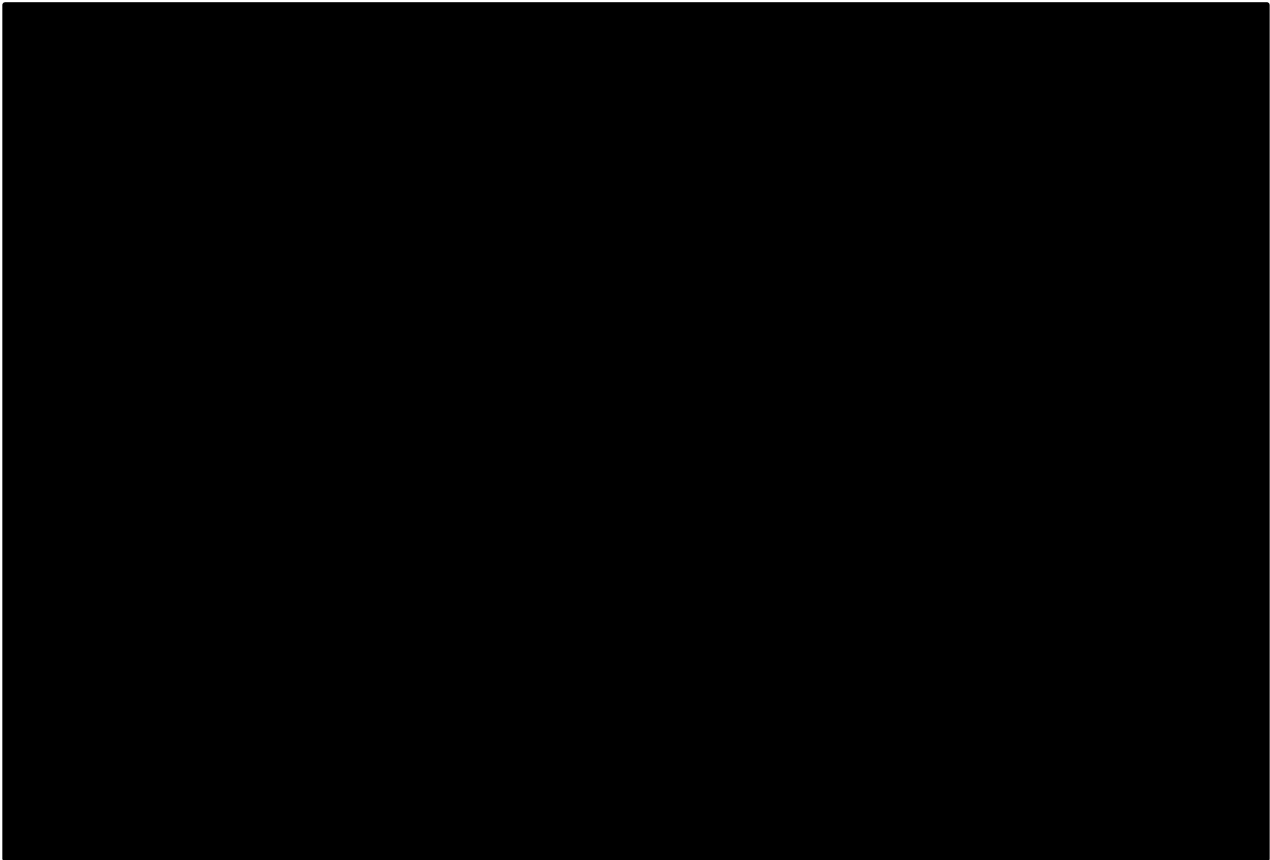
[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]



[Redacted line of text]

[Redacted line of text]

[Redacted line of text]

[Redacted line of text]

[Redacted line of text]

[Redacted line of text]

[Redacted line of text]

[Redacted line of text]

[Redacted line of text]



[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

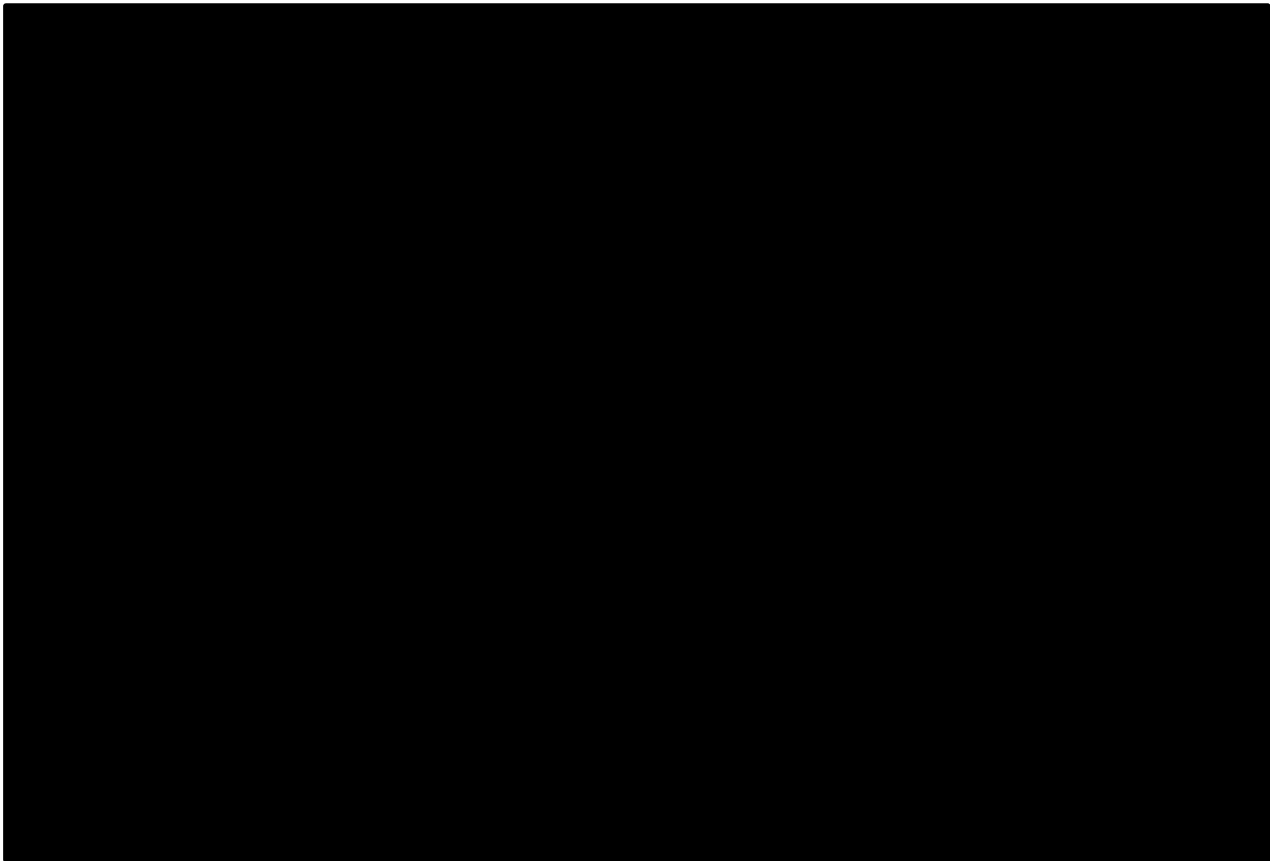
[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted text block containing multiple lines of blacked-out content]



[Redacted line of text]

[Redacted line of text]

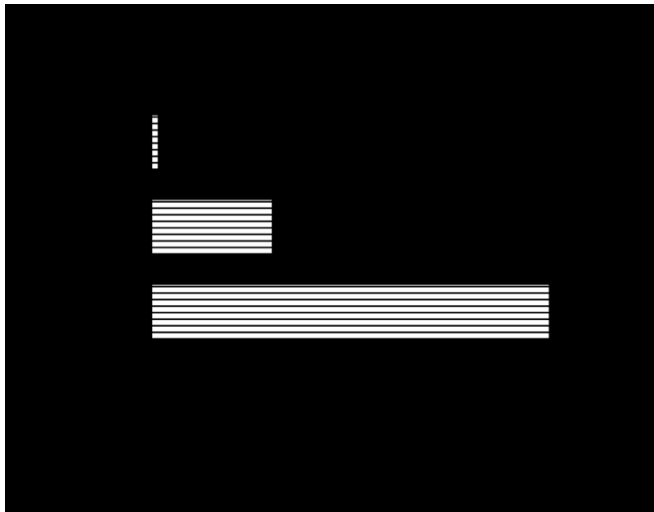
[Redacted line of text]

[Redacted line of text]

[Redacted line of text]

[Redacted line of text]

[Redacted line of text]



[Redacted text line]

[Redacted text line]

[Redacted text line]

[Redacted text line]

[Redacted text line]

[Redacted text line]

[Redacted text line]

[Redacted text line]

[Redacted text line]

[Redacted text line]

[Redacted text line]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]



[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

Water quality improvement for irrigation of organic vegetables through a full-scale electrocoagulation reactor with rotary axis.

[Redacted]

[Redacted] [adrian.silis07@gmail.com](mailto:adrian.silis07@gmail.com)

[cbd0044@gmail.com](mailto:cbd0044@gmail.com)

[Redacted] [moytej@yahoo.com.mx](mailto:moytej@yahoo.com.mx)

[mtp@uaemex.mx](mailto:mtp@uaemex.mx)

[Redacted] [aealcantara@uaemex.mx](mailto:aealcantara@uaemex.mx)

[Redacted] [pavonrs@uaemex.mx](mailto:pavonrs@uaemex.mx)

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted] ver time, surface water, and groundwater have been

[Redacted] constantly contaminated due to anthropogenic activities and natural processes. T

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted] anthropogenic contamination causes the

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]





[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]



[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

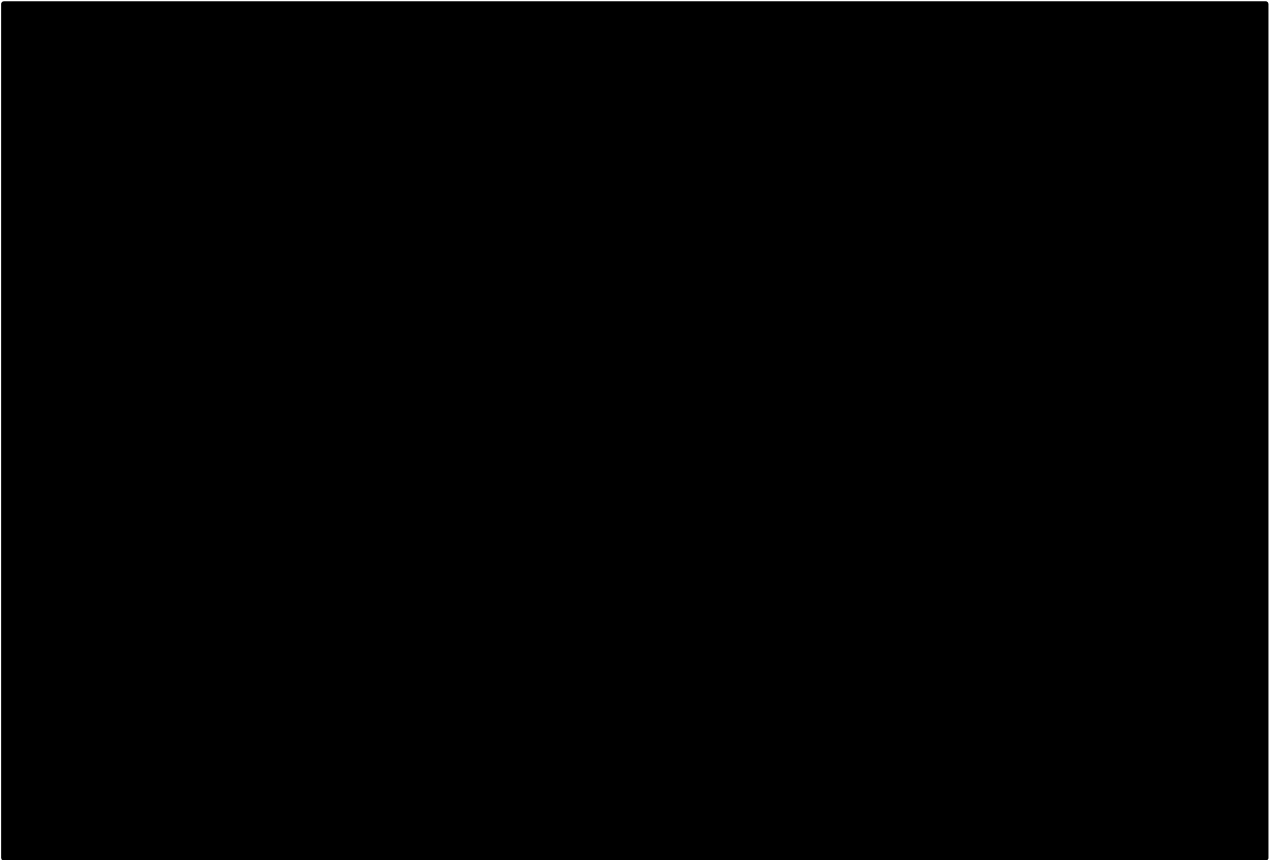
[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]



[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted text block containing multiple paragraphs of obscured content]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]



[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted] [adrian.silis07@gmail.com](mailto:adrian.silis07@gmail.com)

[cbd0044@gmail.com](mailto:cbd0044@gmail.com)

[Redacted]

[Redacted] [moytej@yahoo.com.mx](mailto:moytej@yahoo.com.mx)

[tavomonrovilchis@gmail.com](mailto:tavomonrovilchis@gmail.com)

[Redacted]

[Redacted] [aealcantarav@uaemex.mx](mailto:aealcantarav@uaemex.mx)

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[Redacted text block containing multiple lines of blacked-out content]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]



[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted text block]

[REDACTED]



|            |            |            |            |            |            |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] |
| [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] |
| [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] |
| [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] |
| [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] |
| [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] |

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

|            |            |            |            |            |            |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] |
| [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] |
| [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] |
| [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] |
| [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] |
| [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] |
| [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] |
| [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] |
| [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] |





[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]



[REDACTED]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[REDACTED]

[REDACTED]

| [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] |
| [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] |
| [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] |
| [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] |
| [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] |
| [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] |
| [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] |
| [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] |
| [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] |
| [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] |
| [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] | [REDACTED] |

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]





[REDACTED]

[Redacted text block]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]



[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted text block consisting of approximately 20 lines of blacked-out content]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]



[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted text block containing approximately 24 lines of blacked-out content]

[Redacted text block containing multiple lines of obscured content]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]



[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted text block containing multiple lines of blacked-out content]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted text block containing multiple lines of obscured content]



[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

**6.2.1 Resultados complementarios**

Con los resultados obtenidos en el primer artículo publicado se construyó un reactor cilíndrico de electrocoagulación en polietileno de alta densidad, vigas metálicas, malla electrosoldada galvanizada, perfiles tubulares galvanizados y materiales de aluminio para ánodos y cátodos con una capacidad aproximada de 25 m<sup>3</sup>, el reactor mide 2.5 m de radio y una altura de 1.3 m, se instalaron 8 pares de electrodos horizontales de aluminio (8 ánodos y 8 cátodos) que miden 2 m de largo y 20 cm de ancho su espesor es de aproximadamente 0,5 cm, separados en siete secciones por 20 cm con un espacio de 5 cm entre cátodos y ánodos. Asimismo, un sistema rotativo se apoya sobre una base de viga metálica de 2,9 m de largo y 15 cm de ancho suspendida a una altura de 1,5 m. El sistema rotatorio está compuesto por un Mezclador de entrada Superior Lightnin 2HP Modelo 14Q2 de 125 rpm, los electrodos fueron

soldados a un diámetro de 5.08 cm y eje de aluminio de 2.3 m de largo lo mismo para ayudar a la homogeneización del agua tratada, el sistema rotativo permite una mejor distribución de la corriente eléctrica que para este experimento es de aproximadamente 85,33 mA / cm<sup>2</sup>, además, un arnés de suspensión de madera de 1,8 m de largo mantiene los electrodos en su lugar evitando una carga inadecuada para el rotor. El agua tratada con este reactor se utilizó para todo un ciclo productivo de aguacate en invernadero, un total de 60 plantas fueron regadas desde el trasplante hasta la cosecha, se evaluaron parámetros de biomasa en jitomate, así como análisis microbiológicos en suelo aunados a los parámetros de calidad del agua descritos en secciones anteriores de este trabajo de investigación.

#### **6.2.1.1 Muestras de agua**

Los parámetros físico-químicos evaluados fueron: 1) pH, basado en las normas oficiales mexicanas para el análisis de agua de medición de pH en aguas residuales naturales, residuales y tratadas, 2) conductividad, basado en las normas oficiales mexicanas para el análisis de agua - determinación de la conductividad electrolítica - método de prueba, 3) color, basado en las normas oficiales mexicanas para la determinación del color platino-cobalto en natural, aguas residuales y de riego, 4) turbidez, con base en las normas oficiales mexicanas directrices para la determinación de la turbidez, 5) DQO con base en las normas oficiales mexicanas para el análisis del agua - determinación de la demanda química de oxígeno en el agua natural, residual y residual tratada.

Estos parámetros se evaluaron por triplicado antes y después del tratamiento de electrocoagulación. El pH se evaluó con un potenciómetro 1230 marca OAKTON, para la evaluación de la turbidez se utilizó un espectrofotómetro HACH DR-4000, igual para el

color. Para la demanda química de oxígeno (DQO) se determinó la cantidad de materia oxidada orgánica y no orgánica con ácido sulfúrico y ácido crómico hasta el punto de ebullición aplicando dicromato de potasio, después de la digestión, para conocer la cantidad de dicromato no reducido y la cantidad consumida de materia oxidable en términos de oxígeno equivalente. Las muestras se cuantificaron por espectrofotometría empleando también el equipo HACH DR-4000. El amoníaco, el cloro libre, los fosfatos, el fósforo, los nitratos y los sulfatos se evaluaron con el fotómetro de mesa multiparámetro Hanna HI83200.

Para los parámetros biológicos, se empleó la técnica del número más probable (NMP), La técnica NMP es un método estadístico para examinar la turbidez de las bacterias en una prueba muestra. Este método no proporciona la información real sobre los organismos de ensayo de la muestra, sino que especifica la información sobre el número aproximado de la población microbiana de una muestra. Se realizaron pruebas de presunción y confirmación y se incubaron a  $35 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$  y  $45 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$  respectivamente durante 48 horas.

#### **6.2.1.2 Muestras de vegetales**

Para determinar los efectos del agua tratada en los tomates cosechados, dentro de uno de los invernaderos, en el área de estudio, se seleccionaron sesenta plantas del total de doscientas cuarenta para ser regadas con el agua tratada, mientras que el resto de las hortalizas en el invernadero se trataron con el agua que se utiliza normalmente, el riego incluyó etapas desde la etapa de trasplante hasta la cosecha, se midieron parámetros como peso, volumen, área foliar y biomarcadores para identificar las diferencias que presentan las hortalizas regadas con el agua tratada por el reactor electroquímico.

### **6.2.1.3 Área foliar**

Para la medición de la superficie foliar se utilizó un enfoque no destructivo con el fin de no comprometer la cosecha de las plantas analizadas, se promediaron los resultados de cuatro hojas de las sesenta plantas regadas con agua tratada y sesenta plantas seleccionadas por simple muestreo aleatorio de las ciento ochenta restantes. Se midieron los datos de la longitud de la hoja (Lh) y la anchura máxima de la hoja (Ah). El producto de la longitud por la anchura (LhxAh) fue el valor obtenido para la comparación estadística de las muestras.

### **6.2.1.4 Peso**

Una vez cosechados los tomates de cada planta, se tomaron cuatro tomates de las sesenta plantas regadas con agua tratada, se pesaron y promediaron por planta y por tratamiento (agua tratada y agua convencional). Otras sesenta plantas regadas con agua convencional se seleccionaron a partir de un simple muestreo aleatorio, también se pesaron cuatro tomates de cada planta y se promediaron los pesos para luego promediar los pesos de las 60 plantas seleccionadas del control.

### **6.2.1.5 Volumen**

Cada tomate fue considerado como una esfera perfecta para que la fórmula  $V = \frac{4}{3} \pi r^3$  pudiera ser aplicada para considerar el volumen de cada tomate y cada tratamiento pudiera ser comparado con los demás, se procedió de la misma manera que con el peso y el área foliar midiendo cuatro tomates de sesenta plantas para el tratamiento y el control.

### **6.1.2.6 Biomarcadores**

La concentración de pigmentos es un indicador de la salud de las plantas y de su capacidad fotosintética. Valores bajos de la relación total clorofila/caroteno indicarían un daño en el aparato fotosintético, estrés o senescencia. La concentración de pigmentos fotosintéticos es un parámetro utilizado para evaluar el estado fisiológico de las plantas. Su concentración puede variar debido a diversos factores. La calidad y la cantidad de los nutrientes presentes en el medio ambiente también afectan a la concentración de clorofila, cuya concentración se modifica por encontrarse en ambientes más ricos en nutrientes. Las condiciones de estrés como las enfermedades, los contaminantes o la salinidad también afectan a la concentración de pigmentos en las plantas. Algunas enfermedades afectan al tejido donde se encuentran los cloroplastos, afectando a la concentración de pigmentos, siendo menor en las plantas enfermas que en las resistentes.

Se colocaron muestras de tejido vegetal en 100% acetona durante 24 horas a 4 °C lejos de la luz solar y artificial. Después de este tiempo se midió la absorbancia con un espectrofotómetro UV-visible HACH DR 5000 a 470, 645 y 662 nm que corresponde a las longitudes de luz de la clorofila a (Cl a), la clorofila b (Cl b) y los carotenos (Cx + c). Para determinar las cantidades de clorofila a y b en extractos compuestos de una hoja de cada sujeto ensayado se utilizaron las siguientes ecuaciones, también se obtuvo la cantidad de carotenos, el disolvente utilizado fue la acetona (100% v/v), ya que en los ensayos anteriores se compararon sesenta plantas seleccionadas en muestreos aleatorios con las sesenta que se regaron con el agua tratada en el reactor de electrocoagulación.



$$C_{1a} = 11,75A_{662} - 2,35A_{645}$$

$$C_{1b} = 18,61A_{645} - 3,96A_{662}$$

$$C(x+c) = (1000A_{470} - 2,27C_a - 81,4C_b) / 227$$

### **6.1.2.7 Microorganismos en muestras de suelo**

Las muestras fueron analizadas para el aislamiento e identificación de microorganismos mediante siembra por dilución en placas de medio de cultivo para: bacterias (aislamiento en medio BK en condiciones aeróbicas e inanaeróbicas), bacterias nitrificantes (aislamiento en medio ELMAR), hongos (aislamiento en medio PDA y PDA-AL) y aislamiento de actinomicetos en medio nutritivo de Hagar). La identificación se llevó a cabo mediante la observación de la morfología macroscópica y microscópica, así como la tinción y la exposición a la luz ultravioleta. Para la determinación de microorganismos fitopatológicos se utilizó la extracción de nematodos mediante la técnica del túnel de tamiz de Baerman y su identificación al microscopio, la siembra por dilución en placas de medios de cultivo para hongos (PDA, PDA-Al y Komada, atrapamiento de *Phytium* y *Phytophthora* en materia vegetal y siembra por dilución en placas de medios de cultivo para bacterias (PDA, agar nutritivo, King B y CTT).

La remoción de DQO, turbidez y color se midió a 85,33 mA/cm<sup>2</sup>, esta densidad de corriente permaneció constante durante el experimento, el porcentaje de DQO, turbidez y remoción de color obtenido alcanzó alrededor del 19,1%, 83,1% y 87,3%, respectivamente. Las eficiencias de remoción de color y turbidez observadas son ambas, altas para un

tratamiento a escala real y suficientes para cumplir los objetivos propuestos en este experimento, se considera que las eficiencias alcanzadas se cumplen debido a la moderada contaminación presente en el agua de riego. En este estudio, el pH inicial fue de alrededor de 6,46 este valor no se ajustó, y no se presenta ningún cambio significativo al final del proceso de electrocoagulación, el valor final de pH alcanzó 6,86. Este aumento de pH bastante bajo se debe a la acidez de Lewis de los iones de aluminio, que contrarresta la formación constante de OH<sup>-</sup> en el cátodo. También se midió la conductividad, pero sólo un varió -0,9% entre las condiciones iniciales y las obtenidas tras el tratamiento de sesenta minutos en el reactor de electrocoagulación.

En cuanto a los parámetros biológicos, la técnica de número más probable mostró un porcentaje de eliminación del 97,26% para el total de coliformes fecales en el agua tratada después de 60 minutos de funcionamiento, el comportamiento de la muestra se probó seis veces, una cada diez minutos para mostrar la tendencia de eliminación de los microorganismos, el valor final de la prueba fue de unos 10 coliformes por 100 ml.

El primer parámetro que se evaluó en relación con la especie vegetal fue la superficie foliar presentada por el grupo tratado y el grupo de control. Se analizaron los promedios de las mediciones del producto de Lh x Ah de las cuatro hojas para 60 plantas de la especie tratada y 60 plantas del grupo control. No hay diferencia significativa ( $p = 0,31$ ) entre el área foliar de las plantas regadas con el agua tratada y las que funcionan como control, estos promedios difirieron sólo en un 0,53% de modo que el agua tratada no tiene un efecto directo en las hojas de las plantas. Por otro lado las diferencias entre peso y volumen de los tratamientos son más evidentes. El peso del tomate tiene diferencias significativas ( $p < 0,05$ )

y difiere entre el tratamiento y el control en un 14,91%, en el caso del volumen, un valor de  $p < 0,05$  muestra que hay una diferencia significativa entre los tratamientos, esto con una diferencia del 22,63% entre el volumen de tomates regados con el agua tratada cuenta el control. Esto demuestra que el agua tratada con el reactor electroquímico con sistema de homogeneización y electrodos de aluminio ayuda a obtener un peso y un volumen considerablemente mayor para cada tomate, por lo tanto, esto representa una ganancia monetaria directa para los productores.

Las 60 plantas regadas con agua tratada presentaron un valor  $p$  de  $p < 0,05$ ,  $p = 0,006$ ,  $p < 0,05$  y  $p = 0,011$  para la clorofila a, la clorofila b, la clorofila total y los carotenoides respectivamente cuando se compararon con las plantas que fueron regadas con agua no tratada, esto se determinó utilizando la prueba de la T de student, lo que significa que se logran diferencias estadísticamente significativas. En la figura 3 podemos ver una tendencia de incrementos de  $mg \cdot mg$  para los parámetros del agua tratada frente a los parámetros no tratados, esa diferencia significativa se logra irrigando las plantas de tomate con el agua tratada. Cuanto mayor sea la concentración de biomarcadores presentes en una planta, mayor será la producción de almidón en las partes que son responsables de proporcionar energía a la planta. Esta energía se reflejará en frutos de mayor tamaño y calidad. Por lo tanto, el riego con agua tratada, con una cantidad considerablemente menor de microorganismos nocivos ayudará a aumentar la producción neta en una parcela de producción de tomates.

Se obtuvieron también dos muestras de suelo separadas extrayendo 0,12 kg de muestra de 15 sitios de muestreo aleatorio diferentes para las parcelas en las que se regaban las plantas con agua tratada y para la parcela que se regaba de manera convencional en este experimento,

las muestras se recogieron en un contenedor y se mezclaron bien. Los resultados obtenidos mostraron un incremento en la mayoría de los microorganismos fitobenéficos estudiados, excepto en las dispersiones de actinomicetos que tenían una mayor concentración cuando el suelo se regaba con agua no tratada, en cuanto a las bacterias aeróbicas, anaeróbicas, *pseudomonas* fluorescentes, *bacillus sp*, *trichoderma sp*, *aspergillus sp* y bacterias nitrificantes el recuento de microorganismos se elevó en rangos del 99,0% al 881,5%. La razón principal de esto se debe a que al eliminar un gran número de microorganismos coliformes en el agua tratada con la que se regaba la tierra, la competencia por los nutrientes ayudó a las colonias que tienen una fitoactividad beneficiosa en el suelo a utilizar los nutrientes disponibles para aumentar su número. En otras palabras, la disminución del número de microorganismos no deseados en el agua promueve el crecimiento de colonias beneficiosas para la planta, ya que no habrá competencia por los nutrientes.

## **7 Discusión general**

El presente estudio puede ser abordado desde dos perspectivas distintas tomando en cuenta el tamaño del reactor empleado para el tratamiento del agua de riego (2.5 lts y 25,000 lts), en ambos casos se realizaron análisis de DQO, turbidez y color como se mencionó anteriormente, el análisis microbiológico con el método del número más probable, así como la lectura de iones (cloro, fosfato, fosforo, nitratos, y sulfatos) fueron determinados. La diferencia principal radicó en la evaluación y empleo del agua en los frutos directamente, analizando parámetros físicos como área foliar, peso, volumen antes y después de la aplicación del agua tratada, para el caso del suelo, consorcios microbianos fito benéficos y fito patogénicos fueron evaluados.

La remoción obtenida en el reactor electroquímico tipo batch de 2.5 litros de forma cilíndrica, hecho de plástico, madera y aluminio, empleando electrodos de aluminio como se detalló en la sección de método fue de: turbidez alrededor del 91,3%; color de alrededor del 90,2%; la remoción de DQO lograda fue del 23,8%, no despreciable ya que no se utilizó ningún electrolito soporte para evitar la adición de químicos adicionales al agua. En cuanto al cloro libre, fosfatos, fósforo, nitratos y sulfatos, los porcentajes de remoción alcanzados fueron de 66,7%, 69,9%, 92,13%, 99,9% y 33,3%, respectivamente. Además, con este método se logró eliminar los consorcios microbianos; según la técnica del número más probable, se logró una eliminación del 97,8% de coliformes fecales en el agua de riego.

El diseño bajo el cual se construyó este reactor electroquímico es capaz de tratar los 2,5 L utilizados en el experimento, y este resultado es el que permitió diseñar el reactor capaz de tratar mayores volúmenes de agua (25 m<sup>3</sup>) en poco tiempo (60 minutos), ayudando así a los productores a continuar con el método de riego utilizado durante la mayor parte del día. El tratamiento de electrocoagulación aplicado a este tipo específico de agua produce una alta disminución de la materia orgánica, reduce específicamente los consorcios bacterianos como los coliformes fecales; también se demostró que tanto el pH como la conductividad se mantienen dentro de los rangos aceptables según las directrices nacionales para el cultivo de hortalizas; de esta manera, no se derivarán problemas de suelo en el futuro. Lo que significa que esta tecnología es recomendable si se pretende tratar eficazmente, a un costo relativamente bajo, los excesos de materia orgánica en el agua utilizada para fines agrícolas. Con este novedoso tratamiento de electrocoagulación de eje rotatorio, el cloro libre, los fosfatos, el fósforo, los nitratos y los sulfatos también tuvieron importantes eficiencias de eliminación, evitando así que la microbiota dañina llegara al suelo, limitando también los

nutrientes no deseados que pudieran convertirse en un aumento de la propagación de plagas, mejorando así la calidad de los suelos en los que se utiliza este tipo de agua.

En cuanto al reactor en tamaño real, los resultados no difirieron demasiado del proceso en laboratorio. El agua de escorrentía que fue tratado en el reactor cilíndrico equipado con la innovadora tecnología de homogeneización y electrodos de aluminio detallados en la sección de método fue sometida a las mismas pruebas que el agua tratada en escala laboratorio (DQO, color, NMP para coliformes fecales, conductividad, pH, turbidez, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), además de un par de pruebas más en suelo (microorganismos) y directamente mediciones al producto final (superficie foliar, peso, volumen, biomarcadores). El proceso de electrocoagulación resultó ser también eficiente para las condiciones probadas, los porcentajes de remoción de agua alcanzados van desde 19.10 % a 87.26 % para los parámetros probados, en cuanto al suelo, la bacteria fito benéfica muestra un conteo de elevación en rangos de 99.0% a 881.5% utilizando el agua tratada, para los tomates cosechados, los parámetros físicos alcanzaron porcentajes de ganancia en el área foliar, peso y volumen del tomate de 0.53 %, 14.91 % y 22.63 % respectivamente representando una ganancia monetaria directa.

## **8 Conclusiones**

- Se construyó y acopló de manera satisfactoria un reactor electroquímico de una capacidad de 2.5 L, con un radio de 7.0 cm y una altura de 16.5 cm. El reactor consta de 8 pares de electrodos horizontales (8 ánodos y 8 cátodos), cada uno de 12 centímetros de largo, 4.5 centímetros de ancho y un espesor de 0.2 cm, separados por 0,8 cm, a una distancia de 0.5 centímetros entre los cátodos y los ánodos. Asimismo,

se utilizó un sistema rotativo que se apoyó en una base de madera (30 centímetros de largo, 4 centímetros de ancho) que sostiene el motor de termólisis Barnstead de laboratorio que gira a ocho rpm (en condiciones óptimas) para ayudar a la homogeneización del agua tratada, lo que permite obtener una mejor distribución de la corriente eléctrica, un arnés de suspensión de madera de 18 centímetros de largo y 0.5 centímetros de radio mantienen los electrodos en su lugar evitando el sobrepeso en el rotor. Una fuente de energía variable analógica suministró continuamente una densidad de corriente de 14,08 mA/cm<sup>2</sup>.

- Se construyó y acopló de manera satisfactoria un reactor cilíndrico de polietileno de alta densidad, vigas metálicas, malla electrosoldada galvanizada, perfiles tubulares galvanizados y materiales de aluminio para ánodos y cátodos con una capacidad aproximada de 25 m<sup>3</sup>, con 2.5 m de radio y 1.3 m de altura, 8 pares de electrodos horizontales de aluminio (8 ánodos y 8 cátodos) con dimensiones de 2.0 m de largo y 0.2 m de ancho con su espesor de 0.05 m, separados en siete secciones por 0.2m con un espacio de 0.05 m entre los cátodos y los ánodos. Asimismo, se acopló el sistema rotativo que se apoya en una base de viga metálica de 2.9 m de largo y 0.15 m de ancho suspendida a una altura de 1.5 m. El sistema rotativo está compuesto por un mezclador de entrada Lightning Top de 2HP Modelo 14Q2 de 125 rpm, los electrodos fueron soldados a un eje de aluminio de 0.05 m de diámetro y 2.3 m de largo, la corriente eléctrica para este experimento fue de alrededor de 85.33 mA/cm<sup>2</sup>, además se colocó un arnés de suspensión de madera de 1.8 m de largo para mantener los electrodos en su lugar evitando una carga inadecuada para el rotor.

- Se alcanzaron buenos porcentajes de remoción de contaminantes en agua para el caso de ambos reactores. Para el reactor escala laboratorio la DQO, color y turbidez fueron removidos en 23.8%, 90.2% y 91.3% respectivamente. Para el caso del reactor a escala industrial, se alcanzaron porcentajes de 19.1%, 83.1% y 87.3%, en ambos casos los porcentajes de remoción para iones son del 33.3% al 99.9% para el caso del reactor piloto y del 23.3% al 90.9% para el reactor en escala industrial.
- Se eliminaron también los consorcios microbianos del agua a tratar, específicamente los coliformes fecales disminuyeron en un 97.8% para el reactor escala laboratorio y 97.2% para el reactor escala industrial
- Los organismos vegetales estudiados aumentaron su volumen y peso al ser regados con agua tratada durante todo un ciclo productivo, aumentando su peso en 14.9% para el peso y 22.6% para el volumen.
- Se obtuvo un incremento en la mayoría de los microorganismos fitobenéficos estudiados al regar el suelo con agua tratar, en cuanto a las bacterias aeróbicas, anaeróbicas, *pseudomonas fluorescentes*, *bacillus sp*, *trichoderma sp*, *aspergillus sp* y bacterias nitrificantes el recuento de microorganismos se elevó en rangos del 99,0% al 881,5%.
- El novedoso diseño del reactor electroquímico escala industrial, tiene amplias posibilidades para ser adecuado y utilizado en regiones que se requiera tratar el agua contaminada de moderada a baja, con buenos resultados que pudieran satisfacer las necesidades de mejoramiento de calidad de los interesados.



## 9 Perspectivas

El presente trabajo de investigación abre un amplio panorama para continuar con la investigación en el campo del tratamiento de agua para riego de hortalizas. A continuación, se enumeran las más interesantes y las que pudieran aportar un grado mayor de conocimiento científico que impacte directamente a los productores de la región.

- Alta reproducibilidad del experimento, ajustando las condiciones óptimas de operación para la zona específica a la que se quisiera migrar el experimento
- El experimento permite el desarrollo de una patente en la modalidad de desarrollo tecnológico.
- Con los resultados obtenidos se tiene una base para continuar con cambios y mejoras para el equipo, específicamente la incorporación de un sedimentador acoplado directamente al reactor para facilitar su limpieza y operación.
- Colaboraciones con especialistas en alimentos acerca del análisis nutricional del fruto obtenido con agua tratada vs agua de riego sin tratamiento.
- Acoplamiento a fuentes de energía limpias del sistema como lo son paneles solares.
- Un análisis completo de costos y amortización de inversión para ofrecer este servicio de tratamiento de agua al público en general.

## 10 Bibliografía

- Abas, N. *et al.* (2020) ‘Nature inspired artificial photosynthesis technologies for hydrogen production: Barriers and challenges’, *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(41), pp. 20787–20799. doi: 10.1016/j.ijhydene.2019.12.010.
- Abbasi, S. *et al.* (2020) ‘A novel single continuous electrocoagulation process for treatment of licorice processing wastewater: Optimization of operating factors using RSM’, *Process Safety and Environmental Protection*, 134, pp. 323–332. doi: 10.1016/j.psep.2019.12.005.
- Abdelwahab, O., Amin, N. K. and El-Ashtoukhy, E. S. Z. (2009) ‘Electrochemical removal of phenol from oil refinery wastewater’, *Journal of Hazardous Materials*, 163(2–3), pp. 711–716. doi: 10.1016/j.jhazmat.2008.07.016.
- Adhoum, N. and Monser, L. (2004) ‘Decolourization and removal of phenolic compounds from olive mill wastewater by electrocoagulation’, *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 43(10), pp. 1281–1287. doi: 10.1016/j.cep.2003.12.001.
- Agronegocios, S. de F. a los (2010) *Monografía de tomate rojo*. Mexico, DF: Financiera Rural.
- Aguilar-Ascon, E. (2020) ‘Removal of nitrogen and phosphorus from domestic wastewater by electrocoagulation: Application of multilevel factorial design’, *Journal of Ecological Engineering*, 21(7), pp. 124–133. doi: 10.12911/22998993/125439.
- Aguilar, E. (2015) ‘Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de agua’, *Revista del Instituto de Investigaciones de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 18(35).
- Aguilar, M. Á. E. (2011) ‘Guía para la comprensión de los Lineamientos técnicos para la operación orgánica’, *Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación*.
- Al Aji, B., Yavuz, Y. and Koparal, A. S. (2012) ‘Electrocoagulation of heavy metals containing model wastewater using monopolar iron electrodes’, *Separation and Purification Technology*, 86, pp. 248–254. doi: 10.1016/j.seppur.2011.11.011.
- Akbal, F. and Kuleyin, A. (2011) ‘Decolorization of levafix brilliant blue E-B by electrocoagulation method’, *Environmental Progress and Sustainable Energy*, 30(1), pp. 29–36. doi: 10.1002/ep.10437.
- Al-Raad, A. A. *et al.* (2020) ‘Optimized parameters of the electrocoagulation process using a novel reactor with rotating anode for saline water treatment’, *Environmental Pollution*, 265, p. 115049. doi: 10.1016/j.envpol.2020.115049.
- Aleboyeh, A., Daneshvar, N. and Kasiri, M. B. (2008) ‘Optimization of C.I. Acid Red 14 azo dye removal by electrocoagulation batch process with response surface methodology’, *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 47(5), pp. 827–832. doi: 10.1016/j.cep.2007.01.033.
- Alinsafi, A. *et al.* (2005) ‘Electro-coagulation of reactive textile dyes and textile

wastewater', *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 44(4), pp. 461–470. doi: 10.1016/j.cep.2004.06.010.

Álvarez-Hernández, J. C., Cortez-Madrigal, H. and García-Ruiz, I. (2009) 'Exploración y caracterización de poblaciones silvestres de jitomate (Solanaceae) en tres regiones de Michoacán, México.', *Polibotánica*, 28, pp. 139–159.

An, C. *et al.* (2016) 'Emerging usage of electrocoagulation technology for oil removal from wastewater: A review', *Science of The Total Environment*, 579, pp. 537–556.

Aoudj, S. *et al.* (2010) 'Electrocoagulation process applied to wastewater containing dyes from textile industry', *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 49(11), pp. 1176–1182. doi: 10.1016/j.cep.2010.08.019.

Aronsson, P., Dahlin, T. and Dimitriou, I. (2010) 'Treatment of landfill leachate by irrigation of willow coppice - Plant response and treatment efficiency', *Environmental Pollution*, 158(3), pp. 795–804. doi: 10.1016/j.envpol.2009.10.003.

Arsand, D. R., Kümmerer, K. and Martins, A. F. (2013) 'Removal of dexamethasone from aqueous solution and hospital wastewater by electrocoagulation', *Science of the Total Environment*, 443, pp. 351–357. doi: 10.1016/j.scitotenv.2012.10.100.

Ayala Garay, A. V. and Carrera Chávez, B. (2012) 'La Horticultura En México: Una Primer Aproximación Al Estudio De Su Competitividad', *Inceptum*, 7(12).

Balcioğlu, G. and Gonder, Z. B. (2018) 'Baker's Yeast Wastewater Advanced Treatment Using Ozonation and Membrane Process for Irrigation Reuse', *Process Safety and Environment Protection*.

Baran, W. *et al.* (2018) 'Removal of veterinary antibiotics from wastewater by electrocoagulation', *Chemosphere*, 194, pp. 381–389. doi: 10.1016/j.chemosphere.2017.11.165.

Barrera-Díaz, C. *et al.* (2006) 'Electrochemical Treatment Applied to Food-Processing Industrial Wastewater', *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 45(1), pp. 34–38. doi: 10.1021/ie050594k.

Barrera-Díaz, C. *et al.* (2011) 'Physicochemical aspects of electrocoagulation', *Separation and Purification Reviews*, 40(1), pp. 1–24. doi: 10.1080/15422119.2011.542737.

Barrera Díaz, C. E. (2014) *Aplicaciones Electroquímicas Al Tratamiento De Aguas Residuales*. 1st edn. Mexico, DF: Reverte.

Baudequin, C. *et al.* (2011) 'Purification of firefighting water containing a fluorinated surfactant by reverse osmosis coupled to electrocoagulation-filtration', *Separation and Purification Technology*, 76(3), pp. 275–282. doi: 10.1016/j.seppur.2010.10.016.

Bayramoglu, M. *et al.* (2006) 'Technical and economic analysis of electrocoagulation for the treatment of poultry slaughterhouse wastewater', *Separation and Purification Technology*, 51(3), pp. 404–408. doi: 10.1016/j.seppur.2006.03.003.

Bejankiwar, R. S. (2002) 'Electrochemical treatment of cigarette industry wastewater:

- Feasibility study', *Water Research*, 36(17), pp. 4386–4390. doi: 10.1016/S0043-1354(02)00155-0.
- Bektaş, N. *et al.* (2004) 'Removal of phosphate from aqueous solutions by electro-coagulation', *Journal of Hazardous Materials*, 106(2–3), pp. 101–105. doi: 10.1016/j.jhazmat.2003.10.002.
- Bendaia, M. *et al.* (2020) 'Performance of electrocoagulation for food azo dyes treatment in aqueous solution: optimization, kinetics, isotherms, thermodynamic study and mechanisms', *Separation Science and Technology (Philadelphia)*, pp. 1–17. doi: 10.1080/01496395.2020.1806883.
- Bharagava, R. N. and Chandra, R. (2010) 'Biodegradation of the major color containing compounds in distillery wastewater by an aerobic bacterial culture and characterization of their metabolites', *Biodegradation*, 21(5), pp. 703–711. doi: 10.1007/s10532-010-9336-1.
- Blodgett, R. J. (2009) 'Planning a serial dilution test with multiple dilutions.', *Food Microbiol.*, 26, pp. 421–424.
- Blumenthal, U. J. *et al.* (2000) 'Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: recommendations for revising WHO guidelines', *Bulletin of the World Health Organization*, 78(9), pp. 1104–1116.
- Bolong, N. *et al.* (2009) 'A review of the effects of emerging contaminants in wastewater and options for their removal', *Desalination*, 239(1–3), pp. 229–246. doi: 10.1016/J.DESAL.2008.03.020.
- Bonilla-Barrientos, O. *et al.* (2014) 'Diversidad agronómica y morfológica de tomates arriñonados y tipo pimienta de uso local en Puebla y Oaxaca, México.', *Revista fitotecnia mexicana*, 37(2), pp. 129–139.
- Bonilla, M. N. *et al.* (2015) 'Calidad del agua residual no entubada vertida por dos parques industriales en la ciudad de Puebla, México.', *RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 4(7), pp. 1–36.
- Borbón, C. and Arvizu Armenta, M. (2015) 'Contraste empírico de modelos de transferencia de tecnología: Los casos de tres empresas de agricultura protegida en México.', *Nova Scientia*, 7(15), pp. 364–388.
- Boudjema, N. *et al.* (2014) 'Treatment of Oued El Harrach river water by electrocoagulation noting the effect of the electric field on microorganisms', *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 45(4), pp. 1564–1570. doi: 10.1016/j.jtice.2013.10.006.
- Cambrón-Sandoval *et al.* (2011) 'Producción de clorofila en *Pinus pseudostrobus* en etapas juveniles bajo diferentes ambientes de desarrollo.', *Chapingo, Serie Ciencias Forestales*, 17(2), pp. 253–260.
- Cañizares, P. *et al.* (2006) 'Coagulation and electrocoagulation of wastes polluted with dyes', *Environmental Science and Technology*, 40(20), pp. 6418–6424. doi: 10.1021/es0608390.

- Cano, R. *et al.* (2005) 'Producción orgánica de tomate bajo invernadero en la Comarca Lagunera.', in *XVII Semana Internacional de Agronomía, FAZ-UJED*. Gómez Palacio, Durango, pp. 30–54.
- Castañeda, L. F., Rodríguez, J. F. and Nava, J. L. (2020) 'Electrocoagulation as an affordable technology for decontamination of drinking water containing fluoride: A critical review', *Chemical Engineering Journal*, p. 127529. doi: 10.1016/j.cej.2020.127529.
- Chen, G. (2004) 'Electrochemical technologies in wastewater treatment', *Separation and Purification Technology*, 38(1), pp. 11–41. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586603002636>.
- Chen, X., Chen, G. and Yue, P. L. (2000) 'Separation of pollutants from restaurant wastewater by electrocoagulation', *Separation and Purification Technology*, 19(1–2), pp. 65–76. doi: 10.1016/S1383-5866(99)00072-6.
- Childe, G. (1997) *Los orígenes de la civilización, México*. 2a edn. México: Fondo de Cultura Económica.
- Coskun, T. *et al.* (2012) 'Optimization of energy costs in the pretreatment of olive mill wastewaters by electrocoagulation', *Environmental Technology (United Kingdom)*, 33(7), pp. 801–807. doi: 10.1080/09593330.2011.595829.
- Crab, R. *et al.* (2007) 'Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production', *Aquaculture*, 270(1–4), pp. 1–14. doi: 10.1016/j.aquaculture.2007.05.006.
- Daflon, S. D. A. *et al.* (2017) 'Toxicity identification and evaluation (TIE) of a petroleum refinery wastewater', *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 52(9), pp. 842–848. doi: 10.1080/10934529.2017.1312186.
- Daneshvar, N. *et al.* (2007) 'Decolorization of C.I. Acid Yellow 23 solution by electrocoagulation process: Investigation of operational parameters and evaluation of specific electrical energy consumption (SEEC)', *Journal of Hazardous Materials*, 148(3), pp. 566–572. doi: 10.1016/j.jhazmat.2007.03.028.
- de-los-Ángeles Martínez-Vázquez, E. *et al.* (2016) 'Heterosis de cruces entre líneas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) nativo mexicano tipo pimienta y líneas tipo saladette.', *Revista fitotecnía mexicana*, 39(1), pp. 67–77.
- Den, W., Huang, C. and Ke, H. C. (2006) 'Mechanistic study on the continuous flow electrocoagulation of silica nanoparticles from polishing wastewater', *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 45(10), pp. 3644–3651. doi: 10.1021/ie0514410.
- Dhanke, P. and Wagh, S. (2020) 'Treatment of vegetable oil refinery wastewater with biodegradability index improvement', in *Materials Today: Proceedings*. Elsevier Ltd, pp. 181–187. doi: 10.1016/j.matpr.2019.10.004.
- DM, V., Sreekumari, S. and Kannan, V. (2016) *Textbook of biochemistry for medical students*. 18th edn. New Delhi: Jaypee Brothers Medical Publishers.

- Domínguez-Robles, J. *et al.* (2020) ‘Coagulation–Flocculation as an Alternative Way to Reduce the Toxicity of the Black Liquor from the Paper Industry: Thermal Valorization of the Solid Biomass Recovered’, *Waste and Biomass Valorization*, 11(9), pp. 4731–4742. doi: 10.1007/s12649-019-00795-7.
- Doolittle, W. (2004) ‘Gardens are us, we are nature: transcending antiquity and modernity’, *Geographical Review*, 3, pp. 291–404.
- Dubrawski, K. L., Fauvel, M. and Mohseni, M. (2013) ‘Metal type and natural organic matter source for direct filtration electrocoagulation of drinking water’, *Journal of Hazardous Materials*, 244–245, pp. 135–141. doi: 10.1016/j.jhazmat.2012.11.027.
- Durango-Usuga, P. *et al.* (2010) ‘Experimental design approach applied to the elimination of crystal violet in water by electrocoagulation with Fe or Al electrodes’, *Journal of Hazardous Materials*, 179(1–3), pp. 120–126. doi: 10.1016/j.jhazmat.2010.02.067.
- El-Ashtoukhy, E. S. Z. *et al.* (2020) ‘Intensification of a new electrocoagulation system characterized by minimum energy consumption and maximum removal efficiency of heavy metals from simulated wastewater’, *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 154, p. 108026. doi: 10.1016/j.cep.2020.108026.
- El-Naas, M. H. *et al.* (2009) ‘Assessment of electrocoagulation for the treatment of petroleum refinery wastewater’, *Journal of Environmental Management*, 91(1), pp. 180–185. doi: 10.1016/j.jenvman.2009.08.003.
- Elaouani, H. *et al.* (2018) ‘Industrial fish wastewater treatment by electrocoagulation processes powered by solar energy’, in *3rd Renewable Energies, Power Systems and Green Inclusive Economy, REPS and GIE 2018*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 1–6. doi: 10.1109/REPSGIE.2018.8488845.
- Elkacmi, R. *et al.* (2020) ‘Photovoltaic electrocoagulation treatment of olive mill wastewater using an external-loop airlift reactor’, *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 17, p. 100274. doi: 10.1016/j.scp.2020.100274.
- Emamjomeh, M. M. and Sivakumar, M. (2009) ‘Review of pollutants removed by electrocoagulation and electrocoagulation/flotation processes.’, *Journal of environmental management*, 90(5), pp. 1663–79. doi: 10.1016/j.jenvman.2008.12.011.
- Eunice, O. E. *et al.* (2017) ‘Assessment of the Impacts of Refinery Effluent on the Physico-chemical Properties of Ubeji Creek, Delta State, Nigeria’, *Journal of Environmental & Analytical Toxicology*, 07(01). doi: 10.4172/2161-0525.1000428.
- Evet, S. (1999) ‘Energy and water balances at soil-plant-atmosphere interfaces.’, in *Handbook of Soil Science*. Boca Raton, USA: CRC Press, pp. 129–182.
- F.Licciardello *et al.* (2018) ‘Wastewater tertiary treatment options to match reuse standards in agriculture’, *Agricultural Water Management*, Volume 210, pp. 232–242.
- FAO-FAOSTAT (2017) *FAO Statistical Database*, Food and Agriculture Organization of the United Nations.

- Ferrato, J. and Mondino, M. C. (2008) 'Producción, consumo y comercialización de hortalizas en el mundo', *Revista Agro mensajes*, 24(4).
- Flores, M. (2006) 'Aguas residuales utilizadas en la producción agropecuaria en el Valle de Juárez, Chihuahua.', in Salas, J. (ed.) *Nuevos estudios sobre agua y medio ambiente en Ciudad Juárez, Chihuahua*,. Ciudad Juárez, Chihuahua: niversidad Autónoma de Ciudad Juárez, pp. 55–67.
- French, S., Story, M. and Jeffery, R. W. (2001) 'Environmental Influences on Eating and Physical Activity.', *Annual Review of Public Health*, 22, pp. 309–335.
- Galeano, C. B. And Palencia, P. E. (2016) 'Validación De Un Método Analítico Para La Determinación De Aluminio Residual En Agua Potable Mediante Espectrofotometría Visible', *Revista Nova*, 2(2), Pp. 56–65.
- Galindo-Escamilla, Emmanuel Palerm-Viqueira, J. (2007) 'Pequeños sistemas de agua potable: entre la autogestión y el manejo municipal en el estado de Hidalgo, México', *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 4(2).
- Gao, S. *et al.* (2010) 'Electro-coagulation-flotation process for algae removal', *Journal of Hazardous Materials*, 177(1–3), pp. 336–343. doi: 10.1016/j.jhazmat.2009.12.037.
- García-García, A., Martínez-Miranda, V., Martínez-Cienfuegos, I. G., *et al.* (2015) 'Industrial wastewater treatment by electrocoagulation–electrooxidation processes powered by solar cells', *Fuel*, 149, pp. 46–54. doi: 10.1016/j.fuel.2014.09.080.
- García-García, A., Martínez-Miranda, V., Cienfuegos, G., *et al.* (2015) 'Industrial wastewater treatment by electrocoagulation–electrooxidation processes powered by solar cells', *Fuel*, 149(46).
- García Cárdenas, M. I. and Arévalo Moscoso, P. W. (2016) *Tratamiento de lodos residuales procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos para la disminución de la concentración de coliformes fecales y totales*, *Tesis de Grado*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Gengec, E. *et al.* (2012) 'Optimization of baker's yeast wastewater using response surface methodology by electrocoagulation', *Desalination*, 286, pp. 200–209. doi: 10.1016/j.desal.2011.11.023.
- Gheraout, D. (2019) 'Electrocoagulation Process: A Mechanistic Review at the Dawn of its Modeling', *Journal of Environmental Science and Allied Research*, 2(1), pp. 22–38. doi: 10.29199/2637-7063/esar-201019.
- Giskes, K. *et al.* (2002) 'Socioeconomic Differences among Australian Adults in Consumption of Fruit and Vegetables and Intakes of Vitamins A, C and Folate.', *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 15(5), pp. 375–385.
- Gómez Cruz, M. Á. *et al.* (2010) 'Situación y desafíos del sector orgánico de México.', *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 1(4), pp. 593–608.
- Gómez Serrano, J. (2015) 'Remansos De Ensueño."Las Huertas Y La Gestión Del Agua En

- Aguascalientes, 1855-1914', *Historia Mexicana*, 64(3), pp. 1001–1097.
- Gonzalo, G. M. (2002) 'Electrocoagulación de aguas residuales', *Revista colombiana de física*, 34(2), pp. 484–487. Available at: <http://blog.condorchem.com/wp-content/uploads/2011/10/electrocoagulacion-caso-practico.pdf>.
- Green eld, H. J., Fowler, K. D. and Van Shalkwyk, L. O. (2005) 'Where are the gardens? Early Iron Age horticulture in the Thukela River Basin of South Africa', *World Archeology*, 2, pp. 307–328.
- Gurría, Á. (2012) *Hacer Posible La Reforma De La Gestión Del Agua En Mexico. Diagnóstico Y Propuestas*. 1a edn. México D.F: OECD Publishing.
- Hanafi, F., Assobhei, O. and Mountadar, M. (2010) 'Detoxification and discoloration of Moroccan olive mill wastewater by electrocoagulation', *Journal of Hazardous Materials*, 174(1–3), pp. 807–812. doi: 10.1016/j.jhazmat.2009.09.124.
- Ben Hariz, I. *et al.* (2013) 'Treatment of petroleum refinery sulfidic spent caustic wastes by electrocoagulation', *Separation and Purification Technology*, 107, pp. 150–157. doi: 10.1016/j.seppur.2013.01.051.
- Hashim, K. S. *et al.* (2020) 'Electrocoagulation as an Eco-Friendly River Water Treatment Method', in *Lecture Notes in Civil Engineering*. Springer, pp. 219–235. doi: 10.1007/978-981-13-8181-2\_17.
- Hassaan, M. A. and Nemr, A. El (2017) 'Impacts of Dyes: Mini Review', *American Journal of Environmental Science and Engineering*, 1(3), pp. 64–67. doi: 10.11648/j.ajese.20170103.11.
- Heidmann, I. and Calmano, W. (2010) 'Removal of Ni, Cu and Cr from a galvanic wastewater in an electrocoagulation system with Fe- and Al-electrodes', *Separation and Purification Technology*, 71(3), pp. 308–314. doi: 10.1016/j.seppur.2009.12.016.
- Hendaoui, K., MalikaTrabelsi-Ayadi and Ayari, F. (2020) 'Optimization and mechanisms analysis of Indigo dye removal using continuous electrocoagulation', *Chinese Journal of Chemical Engineering*. doi: 10.1016/j.cjche.2020.07.065.
- Holt, P. K., Barton, G. W. and Mitchell, C. A. (2005) 'The future for electrocoagulation as a localised water treatment technology.', *Chemosphere*, 59(3), pp. 355–367.
- Husain, A. A. F. *et al.* (2018) 'A review of transparent solar photovoltaic technologies', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, pp. 779–791. doi: 10.1016/j.rser.2018.06.031.
- Hussin, F. *et al.* (2017) 'Removal of lead by solar-photovoltaic electrocoagulation using novel perforated zinc electrode', *Journal of Cleaner Production*, 147, pp. 206–216. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.01.096.
- Hussin, F., Aroua, M. K. and Szlachtac, M. (2019) 'Combined solar electrocoagulation and adsorption processes for Pb(II) removal from aqueous solution', *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 143, p. 107619. doi: 10.1016/j.cep.2019.107619.



Hutnan, M., Drtil, M. and Kalina, A. (2006) 'Anaerobic stabilisation of sludge produced during municipal wastewater treatment by electrocoagulation', *J. Hazard. Mater.*, 131, pp. 163–169.

Ilhan, F. *et al.* (2008) 'Treatment of leachate by electrocoagulation using aluminum and iron electrodes', *Journal of Hazardous Materials*, 154(1–3), pp. 381–389. doi: 10.1016/j.jhazmat.2007.10.035.

Inan, H. *et al.* (2004) 'Olive oil mill wastewater treatment by means of electrocoagulation', *Separation and Purification Technology*, 36(1), pp. 23–31. doi: 10.1016/S1383-5866(03)00148-5.

INEGI (2011) 'Sistema de Cuentas Nacionales de México. Producto Interno Bruto por entidad federativa. Año base 2003.', p. 357.

Jaafarzadeh, N., Omidinasab, M. and Ghanbari, F. (2016) 'Combined electrocoagulation and UV-based sulfate radical oxidation processes for treatment of pulp and paper wastewater', *Process Safety and Environmental Protection*, 102, pp. 462–472. doi: 10.1016/j.psep.2016.04.019.

Jing, G. *et al.* (2020) 'Electrocoagulation: A promising method to treat and reuse mineral processing wastewater with high COD', *Water (Switzerland)*, 12(2), p. 595. doi: 10.3390/w12020595.

Johnston, R. (2005) 'A Social Archeology of Garden Plots in the Bronze Age of Northern and Western Britain', *World Archeology*, 2, pp. 211–223.

Juárez-López, P. *Et Al.* (2012) 'Horticultura Protegida En Nayarit, México: Situación Actual Y Perspectivas', *Bio Ciencias*, 1(4), Pp. 16–24.

Kabdaşlı, I. *et al.* (2009) 'Effect of dye auxiliaries on color and COD removal from simulated reactive dye bath effluent by electrocoagulation', *Chemical Engineering Journal*, 148(1), pp. 89–96. doi: 10.1016/j.cej.2008.08.006.

Kalivel, P. *et al.* (2020) 'Elucidation of electrocoagulation mechanism in the removal of Blue SI dye from aqueous solution using Al-Al, Cu-Cu electrodes - A comparative study', *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 201, p. 110858. doi: 10.1016/j.ecoenv.2020.110858.

Kalyani, K. P., Balasubramanian, N. and Srinivasakannan, C. (2009) 'Decolorization and COD reduction of paper industrial effluent using electro-coagulation.', *Chemical Engineering Journal*, 151(1), pp. 97–104.

Kalyani, K. S. P., Balasubramanian, N. and Srinivasakannan, C. (2009) 'Decolorization and COD reduction of paper industrial effluent using electro-coagulation', *Chemical Engineering Journal*, 151(1–3), pp. 97–104. doi: 10.1016/j.cej.2009.01.050.

Katal, R. and Pahlavanzadeh, H. (2011) 'Influence of different combinations of aluminum and iron electrode on electrocoagulation efficiency: Application to the treatment of paper mill wastewater', *Desalination*, 265(1–3), pp. 199–205. doi: 10.1016/j.desal.2010.07.052.

- Khandegar, V. and Saroha, A. K. (2012) 'Electrochemical treatment of distillery spent wash using aluminum and iron electrodes', *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 20(3), pp. 439–443. doi: 10.1016/S1004-9541(11)60204-8.
- Khandegar, V. and Saroha, A. K. (2013a) 'Electrochemical Treatment of Effluent from Small-Scale Dyeing Unit', *Indian Chemical Engineer*, 55(2), pp. 112–120. doi: 10.1080/00194506.2013.798889.
- Khandegar, V. and Saroha, A. K. (2013b) 'Electrocoagulation for the treatment of textile industry effluent - A review', *Journal of Environmental Management*, 128, pp. 949–963. doi: 10.1016/j.jenvman.2013.06.043.
- Khandegar, V. and Saroha, A. K. (2014) 'Electrochemical treatment of textile effluent containing acid red 131 dye', *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, 18(1), pp. 38–44. doi: 10.1061/(ASCE)HZ.2153-5515.0000194.
- Khansorthong, S. and Hunsom, M. (2009) 'Remediation of wastewater from pulp and paper mill industry by the electrochemical technique', *Chemical Engineering Journal*, 151(1–3), pp. 228–234. doi: 10.1016/j.cej.2009.02.038.
- Khanum, K. *Et Al.* (2017) 'Heavy Metal Toxicity And Human Health Risk Surveillances Of Wastewater Irrigated Vegetables In Lahore District, Pakistan', *Carpathian Journal Of Earth And Environmental Sciences*, 12(2), Pp. 403–412.
- Khemila, B. *et al.* (2018) 'Removal of a textile dye using photovoltaic electrocoagulation', *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 7, pp. 27–35. doi: 10.1016/j.scp.2017.11.004.
- Kirzhner, F., Zimmels, Y. and Shraiber, Y. (2008) 'Combined treatment of highly contaminated winery wastewater', *Separation and Purification Technology*, 63(1), pp. 38–44. doi: 10.1016/j.seppur.2008.03.034.
- Koby, M. *et al.* (2006) 'Treatment of potato chips manufacturing wastewater by electrocoagulation', *Desalination*, 190(1–3), pp. 201–211. doi: 10.1016/j.desal.2005.10.006.
- Koby, M. and Delipinar, S. (2008) 'Treatment of the baker's yeast wastewater by electrocoagulation.', *Journal of hazardous materials*, 154(3), pp. 1133–1140.
- Koby, M., Demirbas, E. and Sözbir, M. (2010) 'Decolorisation of aqueous reactive dye Remazol Red 3B by electrocoagulation', *Coloration Technology*, 126(5), pp. 282–288. doi: 10.1111/j.1478-4408.2010.00259.x.
- Körbahti, B. K. and Tanyolaç, A. (2008) 'Electrochemical treatment of simulated textile wastewater with industrial components and Levafix Blue CA reactive dye: Optimization through response surface methodology', *Journal of Hazardous Materials*, 151(2–3), pp. 422–431. doi: 10.1016/j.jhazmat.2007.06.010.
- Kremer F, C. and Seguel S, O. (2015) 'riego en hortalizas', *Nodo Hortícola*.
- Krishna, B. M. *et al.* (2010) 'Electrochemical pretreatment of distillery wastewater using aluminum electrode', *Journal of Applied Electrochemistry*, 40(3), pp. 663–673. doi:

10.1007/s10800-009-0041-x.

Kumar, P. R. *et al.* (2004) 'Removal of arsenic from water by electrocoagulation', *Chemosphere*, 55(9), pp. 1245–1252. doi: 10.1016/j.chemosphere.2003.12.025.

de la Peña, M. E., Ducci, J. and Zamora, V. (2013) *Tratamiento de aguas residuales en México*.

Liew, W. L. *et al.* (2015) 'Conventional methods and emerging wastewater polishing technologies for palm oil mill effluent treatment: A review.', *Journal of Environmental Management*, 149(1), pp. 222–235.

Linares-Hernández, I. *et al.* (2016) 'Soft drink wastewater treatment by electrocoagulation-electrooxidation processes', *Environmental technology*, 38(4), pp. 1–34.

M. Yousuf A Mollah *et al.* (2001) 'Electrocoagulation (EC) — science and applications', *Journal of Hazardous Materials*, 84(1), pp. 29–41.

Mamelkina, M. A. *et al.* (2017) 'Removal of sulfate from mining waters by electrocoagulation.', *Separation and Purification Technology*, 182(1), pp. 87–93.

Mamelkina, M. A. *et al.* (2019) 'Systematic study on sulfate removal from mining waters by electrocoagulation', *Separation and Purification Technology*, 216, pp. 43–50. doi: 10.1016/j.seppur.2019.01.056.

Mandeep *et al.* (2019) 'Pulp and paper industry-based pollutants, their health hazards and environmental risks', *Current Opinion in Environmental Science and Health*. Elsevier B.V., pp. 48–56. doi: 10.1016/j.coesh.2019.09.010.

Mandeep, Kumar Gupta, G. and Shukla, P. (2020) 'Insights into the resources generation from pulp and paper industry wastes: Challenges, perspectives and innovations', *Bioresource Technology*. Elsevier Ltd, p. 122496. doi: 10.1016/j.biortech.2019.122496.

Márquez, H. *et al.* (2009) 'Producción en invernadero de tomate orgánico.', in *Simposio nacional sobre producción moderna de melón y tomate*. Torreón, Coahuila.

Martel Valles, J. F. *et al.* (2017) 'Distribución mineral de plantas de tomate irrigadas con agua contaminada con benceno, diésel y gasolina.', *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(10), pp. 21–30.

Martijn, E.-J. and Redwood, M. (2005) 'Wastewater irrigation in developing countries limitations for farmers to adopt appropriate practices', *Irrigation and drainage*, 54(1), pp. 563–570.

Matteson, M. J. *et al.* (1995) 'Electrocoagulation and separation of aqueous suspensions of ultrafineparticles.', *Colloids Surf*, 104, pp. 101–109.

Mejía, A., Ruiz, Á. and Giraldo, L. (2006) 'La Electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas. (Spanish)', *Producción Limpia*, 1(2), pp. 58–77. Available at: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fua&AN=31872356&lang=es&site=e=ehost-live>.

- Merzouk, B. *et al.* (2011) 'Removal of a disperse red dye from synthetic wastewater by chemical coagulation and continuous electrocoagulation. A comparative study', *Desalination*, 272(1–3), pp. 246–253. doi: 10.1016/j.desal.2011.01.029.
- Mier y Terán, L. (2005) *La primera traza de la ciudad de México 1524-1535*. 1a edn. México: Fondo de Cultura Económica.
- Millán, M. *et al.* (2018) 'Towards the sustainable powering of the electrocoagulation of wastewater through the use of solar-vanadium redox flow battery: A first approach', *Electrochimica Acta*, 270, pp. 14–21. doi: 10.1016/j.electacta.2018.03.055.
- Mogollón, J. P. And Chirinos, J. (2017) 'Evaluación De La Calidad Del Agua Subterránea Empleada Para Riego', In *Gestión Del Agua En Latinoamérica Una Visión Multidisciplinaria*,. 1st Edn. Inver-E-Group Venezuela, C.A., Pp. 84–122.
- Moisés, T. P. *et al.* (2010) 'Treatment of industrial effluents by a continuous system: Electrocoagulation-Activated sludge', *Bioresource Technology*, 101(20), pp. 7761–7766. doi: 10.1016/j.biortech.2010.05.027.
- Mollah, M. Y. A. *et al.* (2001) 'Electrocoagulation (EC) — science and applications.', *Journal of Hazardous Materials*, 84(1), pp. 29–41.
- Monge, S. A. and Mora, B. B. (2007) 'Contaminación del agua', *Revista Biocenosis*, 20(1–2), pp. 137–139.
- Morales Posada, N. B. and Acosta Niño, G. E. (2011) 'Empleo de la Electrocoagulación como Método para Remoción de Cromo en Aguas Residuales de Origen Galvánicas', *Revista Facultad de Ciencias Básicas Universidad Militar Nueva Granada*, 7(1).
- Moreno-Pérez, E. (2007) 'Agricultura protegida para la producción de hortalizas', *Segunda Reunión Nacional de Innovación Agrícola y Forestal*. Guadalajara, México.
- Moussa, D. T. *et al.* (2017) 'A comprehensive review of electrocoagulation for water treatment: Potentials and challenges', *Journal of Environmental Management*. Academic Press, pp. 24–41. doi: 10.1016/j.jenvman.2016.10.032.
- Mozumder, M. S. *et al.* (2019) 'Recent developments in multifunctional coatings for solar panel applications: A review', *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 189, pp. 75–102. doi: 10.1016/j.solmat.2018.09.015.
- Muftah, El-Naas, S. and Al-Zuhair (2013) 'Treatment of Petroleum Refinery Wastewater by Continuous Electrocoagulation', *International Journal of Engineering Research & Technology*, 2(10), pp. 2144–2150. doi: 10.1016/j.desal.2010.03.013.
- Muñoz, I. *et al.* (2020) 'Life cycle assessment of wastewater reclamation in a petroleum refinery in Turkey', *Journal of Cleaner Production*, 268, p. 121967. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121967.
- Muñoz Ledo, P. (2004) 'Productos orgánicos mexicanos. El trecho del dicho al hecho', *Biodiversitas*, 55, pp. 8–12.
- Murthy, Z. V. P., Nancy, C. and Kant, A. (2007) 'Separation of pollutants from restaurant

- wastewater by electrocoagulation', *Separation Science and Technology*, 42(4), pp. 819–833. doi: 10.1080/01496390601120557.
- Naje, A. S. *et al.* (2016) 'Electrocoagulation by solar energy feed for textile wastewater treatment including mechanism and hydrogen production using a novel reactor design with a rotating anode', *RSC Advances*, 6(12), pp. 10192–10204. doi: 10.1039/c5ra26032a.
- Nawarkar, C. J. and Salkar, V. D. (2019) 'Solar powered Electrocoagulation system for municipal wastewater treatment', *Fuel*, 237, pp. 222–226. doi: 10.1016/j.fuel.2018.09.140.
- Oh, C. *et al.* (2019) 'Field demonstration of solar-powered electrocoagulation water treatment system for purifying groundwater contaminated by both total coliforms and arsenic', *Environmental Technology (United Kingdom)*, pp. 1–13. doi: 10.1080/09593330.2019.1629634.
- Oller, I., Malato, S. and Sánchez-Pérez, J. a. (2011) 'Combination of Advanced Oxidation Processes and biological treatments for wastewater decontamination-A review', *Science of the Total Environment*, 409(20), pp. 4141–4166. doi: 10.1016/j.scitotenv.2010.08.061.
- OMS and FAO (2007) *Frutas y Hortalizas frescas*. 1a edn. Roma.
- Özyonar, F., Gökkuş, Ö. and Sabuni, M. (2020) 'Removal of disperse and reactive dyes from aqueous solutions using ultrasound-assisted electrocoagulation', *Chemosphere*, 258, p. 127325. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.127325.
- Pacco, H. C. *et al.* (2014) 'Características de tomate producido con agua tratada en interior y exterior de invernadero', *Horticultura Brasileira*, 32(4), pp. 417–425.
- Pajootan, E., Arami, M. and Mahmoodi, N. M. (2012) 'Binary system dye removal by electrocoagulation from synthetic and real colored wastewaters', *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 43(2), pp. 282–290. doi: 10.1016/j.jtice.2011.10.014.
- Parida, B., Iniyar, S. and Goic, R. (2011) 'A review of solar photovoltaic technologies', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 1625–1636. doi: 10.1016/j.rser.2010.11.032.
- Parsa, J. B. *et al.* (2011) 'Removal of Acid Brown 14 in aqueous media by electrocoagulation: Optimization parameters and minimizing of energy consumption', *Desalination*, 278(1–3), pp. 295–302. doi: 10.1016/j.desal.2011.05.040.
- Patel, U. D., Ruparelia, J. P. and Patel, M. U. (2011) 'Electrocoagulation treatment of simulated floor-wash containing Reactive Black 5 using iron sacrificial anode', *Journal of Hazardous Materials*, 197, pp. 128–136. doi: 10.1016/j.jhazmat.2011.09.064.
- Pavón-Silva, T. B. *et al.* (2018) 'Photovoltaic energy-assisted electrocoagulation of a synthetic textile effluent', *International Journal of Photoenergy*, 2018. doi: 10.1155/2018/7978901.
- Pelaza, L. *et al.* (2018) 'Nitrogen removal in domestic wastewater. Effect of nitrate recycling and COD/N ratio Author links open overlay panel', *Chemosphere*, 212, pp. 8–14.
- Pérez-Hurtado, M. (2012) *Plan de negocios derivado de hortaliza de invernadero*,

*generación de empleo en zona rural de Jalisco, Repositorio Institucional del ITESO.* Tlaquepaque, Jalisco.

Pérez, L. S. *et al.* (2016) 'Oil refinery wastewater treatment using coupled electrocoagulation and fixed film biological processes', *Physics and Chemistry of the Earth*, 91, pp. 53–60. doi: 10.1016/j.pce.2015.10.018.

Phalakornkule, C. *et al.* (2010) 'Electrocoagulation of blue reactive, red disperse and mixed dyes, and application in treating textile effluent', *Journal of Environmental Management*, 91(4), pp. 918–926. doi: 10.1016/j.jenvman.2009.11.008.

Phalakornkule, C., Suandokmai, T. and Petchakan, S. (2020) 'A solar powered direct current electrocoagulation system with hydrogen recovery for wastewater treatment', *Separation Science and Technology (Philadelphia)*, 55(13), pp. 2353–2361. doi: 10.1080/01496395.2019.1627371.

Piña-Soberanis, M. *et al.* (2011) 'Revisión de variables de diseño y condiciones de operación en la Electrocoagulación', *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 10(2), pp. 257–271.

Raggio, M. and Moro de Raggio, N. (2006) 'Índice de calidad del agua en la cuenca del río Amajac, Hidalgo, México, Diagnóstico y Predicción', *International Journal of experimental botany*, 75, pp. 7571–7583.

Rahmati, N. O., Chenar, M. P. and Namaghi, H. A. (2017) 'Removal of free active chlorine from synthetic wastewater by MEUF process using polyethersulfone/titania nanocomposite membrane', *Separation and Purification Technology*, 181(30), pp. 213–222.

Ramcharan, T. and Bissessur, A. (2017) 'Treatment of laundry wastewater by biological and electrocoagulation methods.', *Water science technology*, 75(1), pp. 84–93.

Reilly, M. *et al.* (2019) 'Electrocoagulation treatment of dairy processing and slaughterhouse wastewaters', in *Energy Procedia*. Elsevier Ltd, pp. 343–351. doi: 10.1016/j.egypro.2019.02.106.

Ricordel, C. *et al.* (2014) 'Investigations of the mechanism and efficiency of bacteria abatement during electrocoagulation using aluminum electrode', *Desalination and Water Treatment*, 52(28–30), pp. 5380–5389. doi: 10.1080/19443994.2013.807474.

Roa-Morales, G., Linares Hernández, I. and Amaya Chávez, A. (2014) 'Electrocoagulación', in *Aplicaciones electroquímicas al tratamiento de aguas residuales*. México D.F.

Rojas-Aedo, J. F. *et al.* (2013) 'Sociedad de Microbiología de Chile', in *Detection of Salmonella spp and diarrheogenic E.coli in surface water courses in Metropolitan Region (Chile) by Tangential Ultrafiltration*. Maitencillo, Chile.

Rojas-Valencia, M. N. (2005) 'Aplicación del agua residual tratada con ozono y tratamiento primario avanzado más ozono en el reúso agrícola', in *Congreso Científico Internacional CINC*. At Habana, Cuba.

- Rojas, R. (2002) 'Sistema de tratamiento de Aguas residuales', *Memorias del curso internacional Gestión integral de tratamiento de aguas residuales*.
- Rosenswig, R. M. (2006) 'Sedentism and Food Production in Early Complex Societies of the Soconusco, Mexico', *Sedentism in Non-Agricultural Societies*, pp. 330–355.
- Ruíz, Á. A. (2014) 'Tratamiento de aguas residuales mediante electrocoagulación: desarrollo y potencial de aplicación', *Journal of engineering and technology*, 3(1).
- Rusdianasari *et al.* (2017) 'Treatment of landfill leachate by electrocoagulation using aluminum electrodes', *MATEC Web of Conferences*.
- Sabogal, L. (2000) *El riesgo sanitario y la eficiencia de los sistemas de tratamiento en la selección de tecnologías para la potabilización del agua*. Universidad del Valle. Cali, Colombia.
- Sánchez-Sánchez, A. *et al.* (2018) 'Treatment of a textile effluent by electrochemical oxidation and coupled system electrooxidation- salix babylonica', *International Journal of Photoenergy*, 2018. doi: 10.1155/2018/3147923.
- Sánchez del Castillo, F. (2007) *Proyecto Educativo de la Licenciatura Ingeniero Agrónomo en Horticultura Protegida*. Chapingo, México.
- Sánchez Martínez, D. V. (2017) 'Contaminantes biológicos en el agua y riesgo a la salud pública', *Revistas y Boletines Científicos de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, 4(7).
- Sánchez Rodríguez, M. and Rodríguez Alfaro, E. (2013) 'Notas para la historia de la horticultura y el autoabasto urbano en México.', *Sociedad y ambiente*, 1(2), pp. 116–140.
- Sandoval, M. A. *et al.* (2014) 'Fluoride removal from drinking water by electrocoagulation in a continuous filter press reactor coupled to a flocculator and clarifier', *Separation and Purification Technology*, 134, pp. 163–170. doi: 10.1016/j.seppur.2014.07.034.
- Santibañez, F. (1994) 'Balance hídrico y demandas de riego', in *I Curso Interamericano Diseño de Proyectos de Riego y Drenaje*. Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- Sarabia Meléndez, I. F. *et al.* (2011) 'Calidad del agua de riego en suelos agrícolas y cultivos del Valle de San Luis Potosí, México', *Revista internacional de contaminación ambiental*, 27(2).
- Schwentenius, R. and Gómez Cruz, M. Á. (2000) *Internacionalización De La Horticultura*. Mundi-Prensa.
- Secula, M. S., Crežescu, I. and Petrescu, S. (2011) 'An experimental study of indigo carmine removal from aqueous solution by electrocoagulation', *Desalination*, 277(1–3), pp. 227–235. doi: 10.1016/j.desal.2011.04.031.
- Şengil, I. A. and Özacar, M. (2009) 'The decolorization of C.I. Reactive Black 5 in aqueous solution by electrocoagulation using sacrificial iron electrodes', *Journal of Hazardous Materials*, 161(2–3), pp. 1369–1376. doi: 10.1016/j.jhazmat.2008.04.100.

- Shahriari, T., Karbassi, A. R. and Reyhani, M. (2019) 'Treatment of oil refinery wastewater by electrocoagulation–flocculation (Case Study: Shazand Oil Refinery of Arak)', *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(8), pp. 4159–4166. doi: 10.1007/s13762-018-1810-z.
- Shankar, R. *et al.* (2015) 'Removal of Lignin from Wastewater through Electro-Coagulation', in *Ecological Technologies for Industrial Wastewater Management*. Apple Academic Press, pp. 217–231. doi: 10.1201/b18617-16.
- SIAP and SAGARPA (2016) *Atlas Agroalimentario, Sagarpa, Mexico*. doi: 10.1007/s13398-014-0173-7.2.
- Silis-Cano, J. A. *et al.* (2020) 'Runoff water treatment with high organic matter load through a scalable prototype electrocoagulation system with a rotary axis design', *Desalination and Water Treatment*, 5(195), pp. 148–153. doi: 10.5004/dwt.2020.25932.
- Silva-Leal, J. A., Torres-Lozada, P. And Madera-Parra, C. A. (2013) 'Reutilización De Aguas Residuales Tratadas En La Agricultura: Una Oportunidad Para El Sector Cañero', *Investigación, Innovación E Ingeniería*, 2, Pp. 11–24.
- Singh, A. K. and Chandra, R. (2019) 'Pollutants released from the pulp paper industry: Aquatic toxicity and their health hazards', *Aquatic Toxicology*. Elsevier B.V., pp. 202–216. doi: 10.1016/j.aquatox.2019.04.007.
- Soklič, A. *et al.* (2015) 'Deposition and possible influence of a self-cleaning thin TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> film on a photovoltaic module efficiency', *Catalysis Today*, 252, pp. 54–60. doi: 10.1016/j.cattod.2014.10.021.
- Sridhar, R. *et al.* (2011) 'Treatment of pulp and paper industry bleaching effluent by electrocoagulant process', *Journal of Hazardous Materials*, 186(2–3), pp. 1495–1502. doi: 10.1016/j.jhazmat.2010.12.028.
- St-Onge, J. *et al.* (2020) 'Development of a solar electrocoagulation technology for decentralised water treatment', *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Water Management*, 173(1), pp. 46–52. doi: 10.1680/jwama.17.00059.
- Suhan, M. B. K. *et al.* (2020) 'Comparative degradation study of remazol black B dye using electro-coagulation and electro-Fenton process: Kinetics and cost analysis', *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 14, p. 100335. doi: 10.1016/j.enmm.2020.100335.
- Swain, K., Abbassi, B. and Kinsley, C. (2020) 'Combined electrocoagulation and chemical coagulation in treating brewery wastewater', *Water (Switzerland)*, 12(3), pp. 1–12. doi: 10.3390/w12030726.
- Syam Babu, D. *et al.* (2020) 'Industrial wastewater treatment by electrocoagulation process', *Separation Science and Technology*, 55(17), pp. 3195–3227. doi: 10.1080/01496395.2019.1671866.
- Tejada-Tovar, C., Villabona-Órtiz, Á. and Garces-Jaraba, L. (2015) 'Adsorption of heavy metals in waste water using biological materials.', *Tecno Lógicas*, 18(34), pp. 109–123.



- Tejocote-Pérez, M. *et al.* (2010) 'Treatment of industrial effluents by a continuous system: Electrocoagulation – Activated sludge', *Bioresource Technology*, pp. 7761–7766. doi: 10.1016/j.biortech.2010.05.027.
- Terrazas, E. *et al.* (2010) 'EC treatment for reuse of tissue paper wastewater: Aspects that affect energy consumption', *Journal of Hazardous Materials*, 181(1–3), pp. 809–816. doi: 10.1016/j.jhazmat.2010.05.086.
- Tezcan Un, U., Koparal, A. S. and Bakir Ogutveren, U. (2009) 'Electrocoagulation of vegetable oil refinery wastewater using aluminum electrodes', *Journal of Environmental Management*, 90(1), pp. 428–433. doi: 10.1016/j.jenvman.2007.11.007.
- Toczyłowska-Mamińska, R. (2017) 'Limits and perspectives of pulp and paper industry wastewater treatment – A review', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, pp. 764–772. doi: 10.1016/j.rser.2017.05.021.
- True, B., Johnson, W. and Chen, S. (2004) 'Reducing phosphorus discharge from flow-through aquaculture: III: Assessing high-rate filtration media for effluent solids and phosphorus removal', *Aquacultural Engineering*, 32(1), pp. 161–170. doi: 10.1016/j.aquaeng.2004.08.004.
- Uğurlu, M. *et al.* (2008) 'The removal of lignin and phenol from paper mill effluents by electrocoagulation', *Journal of Environmental Management*, 87(3), pp. 420–428. doi: 10.1016/j.jenvman.2007.01.007.
- Val, J., Heras, L. and Monge, E. (1985) 'Nuevas ecuaciones para la determinación de pigmentos fotosintéticos en acetona.', *Annals Aula Dei*, 17(3–4), pp. 231–238.
- Varank, G., Yazici Guvenc, S. and Demir, A. (2018) 'A comparative study of electrocoagulation and electro-Fenton for food industry wastewater treatment: Multiple response optimization and cost analysis', *Separation Science and Technology (Philadelphia)*, 53(17), pp. 2727–2740. doi: 10.1080/01496395.2018.1470643.
- Vasiliev, M., Nur-E-Alam, M. and Alameh, K. (2019) 'Recent developments in solar energy-harvesting technologies for building integration and distributed energy generation', *Energies*, 12(6), p. 1080. doi: 10.3390/en12061080.
- Vega García, M. M. and Pérez Nieto, A. (2016) 'Transformación Y Comercialización De Hortalizas De Productores Agrícolas De La Región Sur Del Estado De Guanajuato', *Jovenes en la ciencia*, 2(1).
- Vepsäläinen, M. *et al.* (2011) 'Removal of toxic pollutants from pulp mill effluents by electrocoagulation', *Separation and Purification Technology*, 81(2), pp. 141–150. doi: 10.1016/j.seppur.2011.07.017.
- Vera, L. *et al.* (2016) 'Desarrollo de materiales sorbentes para la eliminación de metales pesados de las aguas residuales mineras', *Afinidad*, 73(574).
- Vik, E. A. *et al.* (1984) 'Electrocoagulation of potable water.', *Water Res.*, 18, pp. 1355–1360.

- Weber, J. and Stickney, V. C. (1993) 'Hydrolysis kinetics of reactive Blue 19-vinylsulfone', *Water Res*, 27(1), pp. 63–67.
- Willer, H. and Kilcher, L. (2010) *The world of organic agriculture. Statistics and Emerging Trends*. Suiza: IFOAM, FiBL, ITCIFOAM, FiBL, ITC.
- Xiong, Y. *et al.* (2001) 'Treatment of dye wastewater containing acid orange II using a cell with three-phase three-dimensional electrode', *Water Research*, 35(17), pp. 4226–4230. doi: 10.1016/S0043-1354(01)00147-6.
- Xu, L. *et al.* (2002) 'Recovery and utilization of useful by-products from egg processing wastewater by electrocoagulation. ', *Poultry Science*, 81(6), pp. 785–792. Available at: <https://sci-hub.tw/10.1093/ps/81.6.785> (Accessed: 5 August 2020).
- Xu, X. and Zhu, X. (2004) 'Treatment of refractory oily wastewater by electro-coagulation process', *Chemosphere*, 56(10), pp. 889–894. doi: 10.1016/j.chemosphere.2004.05.003.
- Y.S. Yildiz (2008) 'Optimization of bomaplex red CR-L dye removal from aqueous solution by electrocoagulation using aluminum electrodes.', *Journal of Hazardous Materials*, 153, pp. 194–200.
- Yadav, A. K. *et al.* (2012) 'Removal of various pollutants from wastewater by electrocoagulation using iron and aluminium electrode', *Desalination and Water Treatment*, 46(1–3), pp. 352–358. doi: 10.1080/19443994.2012.677560.
- Yang, C. *et al.* (2008) 'Surface display of MPH on *Pseudomonas putida* JS444 using ice nucleation protein and its application in detoxification of organophosphates', *Biotechnology and Bioengineering*, 99(1), pp. 30–37. doi: 10.1002/bit.21535.
- Yasin, N. M. F. M. *et al.* (2020) 'Treatment of palm oil refinery effluent using tannin as a polymeric coagulant: Isotherm, kinetics, and thermodynamics analyses', *Polymers*, 12(10), pp. 1–20. doi: 10.3390/polym12102353.
- Yavuz, Y. *et al.* (2011) 'Treatment of dairy industry wastewater by EC and EF processes using hybrid Fe-Al plate electrodes', *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 86(7), pp. 964–969. doi: 10.1002/jctb.2607.
- Yavuz, Y., Koparal, A. S. and Öğütveren, Ü. B. (2010) 'Treatment of petroleum refinery wastewater by electrochemical methods', *Desalination*, 258(1–3), pp. 201–205. doi: 10.1016/j.desal.2010.03.013.
- Yuksel, E., Eyvaz, M. and Gurbulak, E. (2013) 'Electrochemical treatment of colour index reactive orange 84 and textile wastewater by using stainless steel and iron electrodes', *Environmental Progress and Sustainable Energy*, 32(1), pp. 60–68. doi: 10.1002/ep.10601.
- Yun, M. J. *et al.* (2020) 'Omni-directional light capture in PERC solar cells enhanced by stamping hierarchical structured silicone encapsulation that mimics leaf epidermis', *RSC Advances*, 10(57), pp. 34837–34846. doi: 10.1039/d0ra03378b.
- Zaied, M and Bellakhal, N. (2009) 'Electrocoagulation treatment of black liquor from paper industry.', *Journal of hazardous materials*, 163(2–3), pp. 995–1000. doi:

10.1016/j.jhazmat.2008.07.115.

Zaied, M. and Bellakhal, N. (2009) 'Electrocoagulation treatment of black liquor from paper industry', *Journal of Hazardous Materials*, 163(2–3), pp. 995–1000. doi: 10.1016/j.jhazmat.2008.07.115.

Zamora, F. R. *et al.* (2009) 'Uso de agua residual y contenido de materia orgánica y biomasa microbiana en suelos de la llanura de Coro, Venezuela', *Agricultura técnica en México*, 35(2).

Zhang, S. *et al.* (2013) 'Removal of phosphate from landscape water using an electrocoagulation process powered directly by photovoltaic solar modules', *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 117, pp. 73–80. doi: 10.1016/j.solmat.2013.05.027.

Zhou, Yanbo *et al.* (2019) 'Recent advances for dyes removal using novel adsorbents: A review', *Environmental Pollution*. Elsevier Ltd, pp. 352–365. doi: 10.1016/j.envpol.2019.05.072.

Zodi, S. *et al.* (2011) 'Electrocoagulation as a tertiary treatment for paper mill wastewater: Removal of non-biodegradable organic pollution and arsenic', *Separation and Purification Technology*, 81(1), pp. 62–68. doi: 10.1016/j.seppur.2011.07.002.