

Efectos de la aplicación de agua activada electroquímicamente en un cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum*) bajo invernadero

Pablo W. Arévalo M.

Introducción

El tomate es una fruta nativa de América, en el siglo XVI las semillas fueron llevadas a Europa y favorablemente aceptadas en los países mediterráneos y con el tiempo se ha incorporado en la dieta mundial. Conociendo de antemano que nuestro país posee una diversidad de regiones aptas para el cultivo hortícola, en general, y del tomate, en particular, se sabe que su producción, en determinadas épocas del año, no llega a abastecer la demanda interna del producto, obligando a adquirir bienes semielaborados en el mercado externo. A pesar del incremento de la superficie cultivable, su producción se ha visto disminuida especialmente por el ataque de patógenos que impide el desarrollo normal de la planta (Zárate, 2008).

Uno de los métodos que más se utilizan para contrarrestar estos males es el uso de agroquímicos. Estos productos representan un papel muy importante en la reducción de los daños económicos en los cultivos. Sin embargo, los microorganismos causantes de enfermedades fitopatógenas, en muchos casos, generan resistencia y consecuentemente se incrementan las dosis de los agroquímicos. La toxicidad elevada de algunos de ellos, su persistencia en el medio y su mal uso, han llevado a un replanteamiento de las estrategias del control de plagas. Por ello, actualmente se desarrollan nuevos agentes para este fin, como es el uso de productos de control biológico y sustancias químicas que combinan su poder biocida y la inocuidad para con el entorno y la población.

En años recientes, fue introducida en procesos de desinfección médica e industrial la solución llamada agua potencialmente oxidativa (APO) o agua activada electroquímicamente (ECA). Esta solución de naturaleza electrolítica como consecuencia de las reacciones que se generan en el proceso, se produce una mezcla de productos oxidantes como son cloro, óxidos de cloro, peróxidos de hidrogeno, oxígeno, ozono y radicales, presentando características importantes: un pH 2.3-2.7, un potencial óxido reducción (REDOX) mayor a 1.100 mV (Gaitán y González, 2009).

Se han realizado varias investigaciones sobre la eficiencia de desinfección, en aguas naturales alcanzando resultados positivos para destruir las bacterias presentes, utilizando ECA, en concentraciones de 0.75%, dando como resultado un 6% de las bacterias presentes en relación al número inicial, mientras que al utilizar una concentración del 1% da lugar a una eliminación total de bacterias (Donatoni, 2007).

En relación de la eficacia del ECA para la inactivación de los diferentes tipos de patógenos (*Escherichiacoli* O157:H7, *Listeria monocytogenes* y *Bacillus cereus*), se produjo dentro de los 30 s después de la aplicación. La inactivación de los microorganismos Gram-positivos y negativos se produjo a los 10 s después de la aplicación (Chyer, 2000).

Siendo la ECA un agente que contiene cloro, es igual a otras sustancias usadas para la desinfección y que contienen cloro como agente activo. La actividad desinfectante del anolito neutro (AN) y del anolito, catodito neutro (ACN) sobre cultivos puros de diversos grupos morfo-fisiológicos de microorganismos se evidencia su eficacia en concentraciones más bajas de 2 mg/l (Donatoni, 2007).

Otros hallazgos revelan que ECA es un método eficaz para reducir significativamente la presencia de microorganismos patógenos en las superficies de tomates, sin afectar a sus características organolépticas (Deza, Araujo y Garrido, 2003). Se ha aplicado en otras áreas como en la descontaminación de instrumentos y equipos médicos teniendo excelentes resultados (Malchesky y Fricker, 2004), como en el campo odontológico (Gaitán y González, 2009).

Considerando lo expuesto anteriormente nos despertó el interés de determinar los efectos de aplicar ECA en un cultivo de tomate bajo invernadero, en los años 2010 y 2011 para lo cual se diseñó un experimento completamente al azar estableciendo como factor de entrada la aplicación de ECA implantando tres niveles, un testigo con tres replicas. Se instituyó como factores de respuesta la altura de las plantas, porcentaje de afectación de oídium, la producción del cultivo.

Materiales y métodos

Producción del ECA

En este estudio se ha utilizado la solución activada electrolíticamente, obtenida con un equipo con capacidad para producir 100 litros por *batch* de anolito neutro (ANK). El equipo consiste en una célula electrolítica especial, con cátodo cilíndrico de titanio, ánodo concéntrico de carbón, en el interior de una membrana cerámica selectiva, a través de la cual pasa el agua mineralizada previamente con cloruro potásico comercial (0.3-0.5%). A la cual se le aplica un voltaje de 24 V. (corriente continua) y un amperaje de 30 A. Durante el experimento se procedió periódicamente a producir 100 l de ECA, pesando 700 gr de muriato de potasio comercial (0.0.70) el mismo que se disolvió en 4 litros de agua potable para proceder a filtrar, luego se ajustaba el volumen para alcanzar los 100 litros, se procede a medir el pH, si es superior a 3.5 se procede a bajar adicionando HCl analítico de una riqueza de 37%. Se sumergía el electrodo en la solución y se procedía a la activación química del agua por 17 horas. Transcurrido el tiempo se mide el pH, si este es superior a 6.5 se adiciona HCl analítico de una riqueza del 37% hasta alcanzar un pH de 6.5, inmediatamente se procede a determinar la concentración de Cl libre por el método de "yodimetría" alcanzando concentraciones del Cl libre de 1000 ppm, con esta solución procedo a preparar soluciones de 200, 400 y 600 ppm.

Cultivo de tomate de mesa

Se procedió a preparar el terreno iniciando con la arada medio de un tractor en donde la profundidad del arado fue alrededor de unos 30 cm, la cual nos ayudó a remover el suelo, a eliminar todo tipo de malezas para realizar el deshierbe manual. Se levantó camas con taludes a los lados, para evitar el desmoronamiento de la misma. El número de camas es de 18, las cuales tienen las siguientes dimensiones: 8 m de largo, 0.8 m de ancho y 0.3 m de alto; con un camino de 0.9 m. Considerando la estructura del suelo con el que se disponía que contaba con un bajo contenido de materia orgánica de acuerdo al análisis de laboratorio se tuvo que incorporar materia orgánica adicionando abonaza y humus para ello se utilizó una relación 1:1.

La desinfección se la hizo en forma manual a lo largo de toda la cama en un promedio de 50 l, por cama. Los productos utilizados fueron: Vitavax: 1.5 gr/l, Terraclor: 1.5 gr/l, Furadan 4F: 1.25 cc/l. Para la siembra, previo al realizar el trasplante del tomate de la variedad Nemoneta, se procedió a humedecer las camas y a sacar las plántulas de las bandejas de germinación. Durante la realización del trasplante se procedió a realizar hoyos pequeños a lo largo de la cama a una distancia de 24 cm y se hizo la siembra colocando la planta, compactando con el suelo para tener un total de 34 plantas por cama, cada cama representa una réplica y cada tratamiento tenía cuatro camas.

Con respecto al riego se procedió a realizarlo en una fase inicial de 20-60 cc/día/planta, en la etapa de floración fue de 200 cc/día/planta, etapa de cuajado de 600-800 cc/día/planta y finalmente en la etapa de fructificación 800-1.200 cc/planta/día. En relación al deshierbe se lo hizo en forma manual cada vez que el cultivo lo requería, para que de esa manera mantener al cultivo libre de malezas que impidan el normal crecimiento.

La rafia se colocó 25 días después del trasplante, cuando la planta está a una altura de 25 a 30 cm de altura. Para ello primero se amarró la base de la planta más o menos en la segunda hoja y luego se coloca la cinta por encima del alambre y se procedió a templar la cinta para hacer el lazo de amarre; quedando así sujeta la planta. La poda se la realizó cuando el brote (chupones) tuvo un tamaño de 5 cm aproximadamente o cuando existieron hojas viejas. La fertilización se la realizó mediante un Venturi el cual lleva la solución preparada y se la mezcla con el agua de riego para ser distribuida por medio de los goteros a la planta considerando el crecimiento de las plantas y el aforo de 36 cm³/min.

Aplicación del ECA

La investigación se realizó en el invernadero de un área de 300 m² localizado en el Cantón Paute en el que establecieron de 18 camas. En las 16 camas se establecieron los tratamientos T0 (0 ppm ECA), T1 (200 ppm ECA), T2 (400 ppm ECA) y T3 (600 ppm ECA), cada uno de los tratamientos con tres replicas, en 2010. Mientras que en 2011 se procedió a aplicar en las 16 camas los tratamientos T0 (0 ppm ECA), T1 (200 ppm ECA) y T2 (400 ppm ECA) y T3 (600 ppm ECA). En esos años se procedió a realizar la aplicación cada siete días a través de una bomba manual.

Resultados

Estudio del efecto de la aplicación de la ECA en los patógenos en del cultivo

Para evaluar el efecto de la aplicación de la ECA sobre el ataque de patógenos, se tomó una muestra aleatoria de cada tratamiento que correspondía a 24 planta, seis plantas de cada cama de las cuales se realizó el promedio valor que representa a la cama, esta se realizó cada 15 días de acuerdo a un protocolo establecido (tabla 1).

El patógeno que afecto en mayor grado al cultivo de tomate de mesa fue el Oidium con porcentajes del 70% al 50% a la semana 18 del cultivo. Los resultados de este análisis determino que se incrementa el ataque del patógeno con el tiempo, además se establece que el tratamiento T2 es el que fue menos afectado por el patógeno, comparando los resultados del cultivo de 2011 se aprecia un resultado similar.

Tabla 1
Resultados del cultivo

Afección por el Oidium				Aitura de las plantas del cultivo			
Tratamiento	Unidad	Año cultivo		Tratamiento	Unidad	Año cultivo	
		2010	2011			2010	2011
T0	%	54	43.33	T0	cm	139	139
T1	%	50	59.17	T1	cm	140	146
T2	%	57	31.67	T2	cm	138	140
T3	%	54	0	T3	cm	125	0
T0	%	71	53.33	T0	cm	118	140
T1	%	55	34.17	T1	cm	117	118
T2	%	40	23.83	T2	cm	148	160
T3	%	55	0	T3	cm	143	0
T0	%	71	63.33	T0	cm	127	130
T1	%	54	18.33	T1	cm	136	137
T2	%	37.5	43.83	T2	cm	129	131
T3	%	54	0	T3	cm	148	0
T0	%	79	47	T0	cm	144	148
T1	%	66	45.83	T1	cm	129	138
T2	%	50	20	T2	cm	125	132
T3	%	66	0	T3	cm	121	0

Efecto de la aplicación de la ECA en el desarrollo de la planta

Para valorar el desarrollo de la planta se consideró como factor de evaluación la altura de estas, la misma que se fue valorada cada 15 días. Se procedió a tomar una muestra aleatoria de cada cama que contenía 12 plantas de los valores obtenidos se realizaba un promedio que correspondía a la altura de la cama (tabla 1). Como resultados de la semana 18 se aprecia que no existe una diferencia en la altura entre los tratamientos y en los cultivos de los diferentes años.

Efecto de la aplicación del ECA en la producción del cultivo

En relación a la producción de las plantas, se valoraron por pisos de producción considerando para nuestro estudio los primeros cuatro pisos, alcanzando una producción total a la semana 18 similar en todos los tratamientos. Además, no existe una diferencia en la producción de los cultivos de diferente año.

Tabla 2
Producción total por tratamiento

Producción total				Contenido de cloro total en suelo		
Tratamiento	Unidad	Año		Tratamiento	Unidad	Cloro total
		2010	2011			
T0	lbs./cama	90.8	55	T0	mg/kg	110
T1	lbs./cama	116.8	61	T0	mg/kg	80
T2	lbs./cama	112.8	77	T1	mg/kg	130
T3	lbs./cama	63.7	0	T1	mg/kg	110
T0	lbs./cama	92.7	59	T2	mg/kg	110
T1	lbs./cama	65.7	64	T2	mg/kg	120
T2	lbs./cama	57.1	71	T3	mg/kg	80
T3	lbs./cama	94.6	0	T3	mg/kg	110
T0	lbs./cama	61.6	61			
T1	lbs./cama	68	73			
T2	lbs./cama	84.8	73			
T3	lbs./cama	79.6	0			
T0	lbs./cama	60	56			
T1	lbs./cama	90.1	73			
T2	lbs./cama	80.5	71			
T3	lbs./cama	65.5	0			

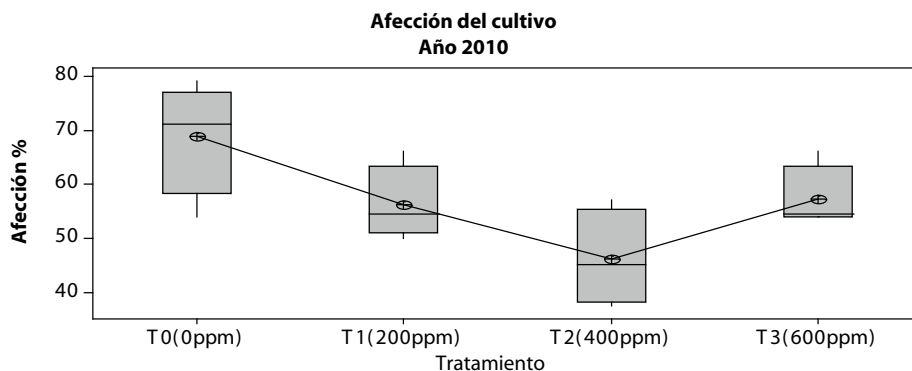
Efecto de la aplicación del ECA en el suelo del cultivo

Para establecer el efecto que puede generar el ECA en el suelo se realizó análisis de cloro total en las diferentes camas del invernadero presentando mínimas variaciones en el contenido de cloro total.

Discusión

En esta investigación se planteó la hipótesis de que los tratamientos con ECA son iguales con el testigo ($H_0=H_{T_0}=H_{T_1}=H_{T_2}=H_{T_3}$) realizando el análisis del ANOVA con los datos de la semana 18 se evidencia que existe una diferencia significativa (valor $p = 0.018$) entre los tratamientos (figura 1), igual resultado presentan los datos de fechas posteriores, lo que determina que la aplicación con el ECA actúa ante la presencia de patógenos. Este aspecto podemos ver con mayor claridad a través del grafico de caja (figura 2) en la que se aprecia que la incidencia del patógeno en los tratamientos con ECA es menor que la del testigo. Aplicando un diseño de bloque completamente al azar para determinar si existe una diferencia entre los cultivos y los tratamientos obtenemos que existe una diferencia significativa entre los tratamiento (valor $p = 0.003$) aplicando el método de Tukey obtenemos que T_2 es diferente del T_0 por tener una diferencia de media $22.54 > 17.88$ valor critico estableciendo que el tratamiento con ECA de 400 ppm es el que presenta menor ataque de patógenos y además una diferencia significativa entre los cultivos (figura 2) de los diferentes años (valor $p = 0.002$), esto puede ser a que factores como las condiciones climáticas de los cultivo en los años 2010 y 2011 son diferentes pero lo interesante es que el tratamiento T_2 es el que presenta menos ataques de los patógenos.

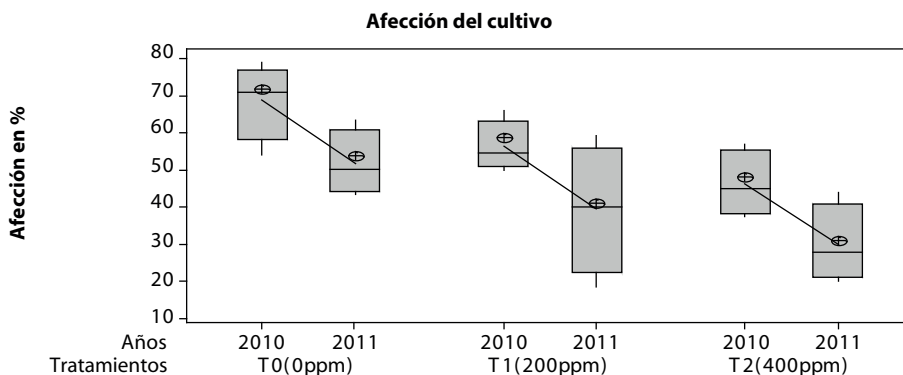
Figura 1
Afección del cultivo por patógeno



En relación al factor de crecimiento establecido con la variable altura que las plantas han alcanzado hasta la semana 18, establece el ANOVA que no existe una diferencia significativa (valor $p = 0.869$) entre los tratamientos, mientras si comparamos los cultivos del años 2011 y 2010 no existe diferencia significativa entre los tratamientos (valor $p = 0.637$) como

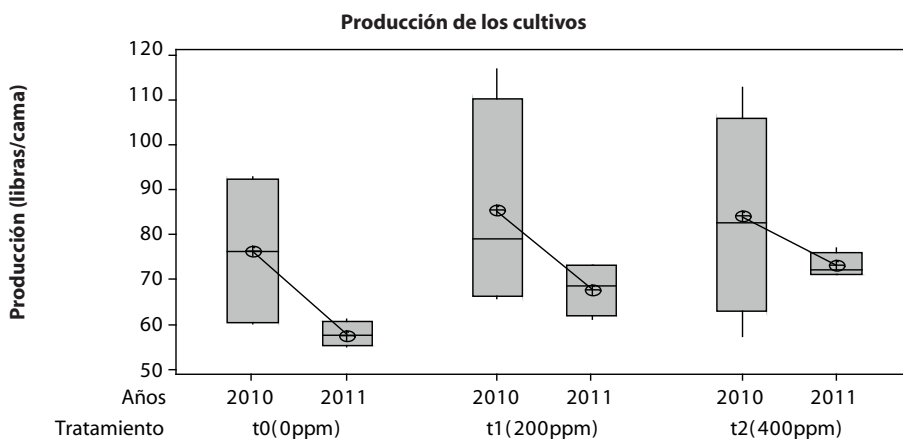
también entre los cultivos (valor-p = 0.215). Podemos decir que los tratamientos con la ECA no aumentan ni disminuye el crecimiento de las plantas.

Figura 2
Comparación de los cultivos de los años 2010-2011



En relación al efecto en la producción del cultivo (figura 3) por la aplicación de ECA, el análisis de varianza establece que no existe una diferencia significativa en la producción de 2010 (valor-p = 0.869) mientras que en la producción del cultivo 2011 existe un diferencia significativa (valor-p = 0.002), luego se utilizó el método de Tukey para determinar que tratamiento es diferente obteniendo un valor de diferencia de medias de $15.24 > 8.75$ siendo diferente el tratamiento $T_2 \neq T_0$ es decir que el tratamiento de mayor producción es el tratamiento T2.

Figura 3
Producción del Cultivo



En relación a las características del suelo se establece luego del análisis estadístico que no existe una diferencia significativa (valor-p = 0.416) en la concentración de cloro total considerando que uno de los componentes activos de ECA es el cloro libre.

Conclusiones

La eficacia del ECA como agente biocida de patógenos como el *Oidium* en un cultivo de tomate queda demostrada con los resultados obtenidos en este trabajo que cumple esta función, presentando mejores resultados la solución de 400 ppm de ECA.

La solución ECA no altera las características de la planta como la altura en el cultivo de tomate como lo establece los resultados logrados de esta investigación. El resultado alcanzado con esta investigación establece que no altera características del suelo en relación a la cantidad de cloro total. Además, esta investigación nos establece nuevas interrogantes en torno al mecanismo de funcionamiento ECA, su capacidad bactericida es general o es específica, su función biocida se debe al cloro libre que está presente en mayor proporción en el ECA.

Referencias

Deza, Araujo y Garrido

2003 "Desinfección de tomates". 30 de septiembre.

Donatoni, M.

2007 "*Reattori e processi elettrochimici per la detossificazione e sterilizzazione di ambienti acquosi* Reattori e processi elettrochimici per la detossificazione e sterilizzazione di ambienti acquosi". Tesis de la Università degli Studi di Ferrara, Química, Ferrara.

Gaitán, C. y González, A. M.

2009 "Efecto antimicrobiano del agua potencialmente oxidativa". *Odontológica Mexicana*, 13 (4): 224-228.

Karen, G.

2005 *Patente n° 2005244556*.

Malchesky, Py Fricker, C.

2004 *Patente n° 2217607*. España.

Zárate, S.

2008 "*Búsqueda de los genes de resistencia Mi-1 Y Mi-3 al nemátodo formador de nudo Meloidogyne Spp en varias especies silvestres de la familia Solanaceae del Ecuador*". Tesis de Escuela Politécnica del Ejército, Ingeniería en Biotecnología, Ecuador.