

TRATAMIENTO ELECTRO-HIDROPONICO DE MAIZ Y SU INFLUENCIA EN LA CINEMATICA DE CRECIMIENTO

Julio Antonio Méndez Berlanga¹

RESUMEN

Se describe y justifica el funcionamiento y la aplicación práctica de una nueva técnica de tratamiento electro-hidropónico, como un medio de selección y control de la cinemática de crecimiento, evaluada en maíz, por medio de un análisis físico y estadístico. Esta técnica tiene importancia para fines de investigación y en la producción agrícola a nivel invernadero y campo.

El sistema hidropónico tipo solución, se constituyó de tal manera, que formase un condensador electrolítico de placas planas paralelas, una superior en la superficie de la solución nutritiva, y la otra inferior en el fondo del recipiente, en donde la solución y las raíces constituyen el electrólito del condensador. En las placas se aplican 3 tipos de voltajes eléctricos con 8 volts efectivos y 60 hertz, durante 10 días a partir de la siembra en invernadero, con un consumo medio de 0.05 miliwatts por hora. El voltaje fundamental tiene la forma de onda alterna senoidal y los otros 2 se derivan de él, mediante la rectificación de media onda con polaridades invertidas, aparte se considera un testigo. Después del tratamiento eléctrico se efectúa el transplante en el campo.

Del análisis físico estadístico se concluye que, la forma y polaridad de la onda afectan significativamente la cinemática de crecimiento. Las ondas positiva y negativa, generan respectivamente un pH alcalino y ácido que des-

¹ Lic.M.C. Maestro Investigador del Depto. Agrofísica, Div. Ingeniería, UAAAN.

acelera el crecimiento durante el tratamiento, para luego acelerarlo en el campo. La onda alterna genera un pH neutro y provoca efectos cinemáticos similares al testigo, superándolo en la velocidad de crecimiento; en ambos casos, la velocidad se mantiene constante durante el tratamiento y en el campo.

Este trabajo es parte de un programa sobre Diseño, Construcción y Evaluación de Equipo para Ionización y Magnetización Agrícola, iniciado en 1978 por el Departamento de Agrofísica de la UAAAN.

INTRODUCCION

Este artículo describe parte de una tesis de maestría sobre Aplicación de la Estadística y la Física en el Estudio de varios Efectos de la Energía Eléctrica sobre el Medio Hidropónico y Desarrollo del Maíz, la que, a su vez, forma parte de un subprograma de investigación del Departamento de Agrofísica que se inició en 1978, referente a la Aplicación e Influencia de la Energía Eléctrica sobre los Cultivos agrícolas y su Medio, el cual forma parte de un programa dedicado al Diseño, Construcción y Evaluación de Equipo para Ionización y Magnetización Agrícola. Con el fin de desarrollar tecnología propia, basada en el campo electromagnético como un medio de diagnóstico, selección y control, para lograr el óptimo aprovechamiento de los recursos energéticos disponibles en el lugar donde las semillas se conservarán, o germinarán y se nutrirán las plantas para disminuir, en la medida de lo posible, la contaminación ambiental y el uso irracional de energéticos.

En el presente estudio se describe una nueva técnica, práctica y eficiente, para la aplicación de energía eléctrica en el medio hidropónico tipo solución, con el fin de generar cambios en la cinemática de crecimiento del maíz, aun cuando la técnica puede ser de uso generalizado a diversos cultivos agrícolas. Se realiza una tabulación de valores de altura (Y) contra tiempo (t) durante los tratamientos eléctricos para el intervalo de tiempo; $0 \leq t \leq 10$ días y, posteriormente, desde el transplante hasta los 45 días, es decir, $10 < t \leq 45$ días. Se efectúan análisis de varianza para estimar estadísticamente diferencias entre efectos asociados a tratamientos y los modelos de altura $Y(t)$. Para cada tratamiento se le asignan 3 modelos $Y(t)$, de los cuales se selecciona uno a partir de un criterio establecido por el autor. De cada modelo $Y(t)$, se derivan los modelos respectivos para la velocidad $V(t)$ y la aceleración $a(t)$.

La aplicación de energía eléctrica a los cultivos agrícolas y su medio se justifica, debido a que el agua constituye una parte importante de los materiales que forman los seres vivos y en particular el de los vegetales, ahora bien, el agua posee propiedades eléctricas particulares debido a la estructura

misma de la molécula formada por un par de dipolos eléctricos. Además, las membranas celulares se pueden considerar como condensadores eléctricos, sobre las que actúa un potencial electrogénico realizando trabajo sobre el sistema. Debido a que el medio extracelular e intracelular de los organismos vivos es, en gran parte, de naturaleza electrolítica y en consecuencia los fenómenos iónicos desempeñan un papel fundamental en numerosos procesos biológicos. Las macromoléculas biológicas, en solución coloidal, muestran propiedades importantes de tipo electrolítico. De forma similar sucede con el suelo y la solución nutritiva. Por otra parte, el fenómeno fotosintético está directamente relacionado con el fenómeno fotoeléctrico.

Está demostrado que la energía eléctrica es factible de transformarse, con mínima contaminación, en muchas otras formas de energía, con una eficiencia muy grande, aparte de ser susceptible de controlarla en el tiempo y el espacio con una alta precisión. Además es, hasta el momento, la de menor costo por kilowatt hora, comparado con las demás formas de energía para consumo social.

En general, se puede establecer la hipótesis de que la influencia de la aplicación de energía eléctrica sobre los cultivos agrícolas y su medio, dependerá de la forma, polaridad, intensidad y frecuencia de la onda aplicada a la semilla, planta, medio de nutrición o de conservación, en interacción con las variables: luz, concentración de CO₂, temperatura, humedad y fertilidad del medio. En consecuencia, se admite la posibilidad de aplicar la energía eléctrica, como un medio de conservación y control de la producción agrícola en forma intensiva, a nivel invernadero tipo hidropónico o suelo y en el campo directamente. En particular, en este estudio se demuestra que la forma y polaridad de la onda eléctrica influye sobre la cinemática de crecimiento del maíz, y afecta la altura, la velocidad y la aceleración de la planta, en forma tal que se puede aplicar como un medio de control del crecimiento vegetal.

REVISION DE LITERATURA

Zaderej A. y C. Corson, (1977), citan que durante el siglo XVIII, varios hombres distinguidos, trabajando experimentalmente en forma independiente, concluyeron que la electricidad es un factor de control importante en el ciclo biológico. Los resultados de algunas investigaciones fueron conocidos 300 años después de efectuados. El estudio de los electrocultivos (como los llama la ciencia) empieza con los experimentos básicos efectuados en Inglaterra en 1746 y en Francia en 1748.

Lemstrom (1904), en la introducción de su libro "Electricidad en la Agricultura y la Horticultura", advierte que para la interpretación de estos

fenómenos se requieren, al menos, de conocimientos básicos sobre Física, Botánica y Agronomía; pero resulta que la electrocultura no es de interés particular para los especialistas en esas áreas. En el siglo XX se tendrá la necesidad de recurrir a no menos de 7 campos diferentes de la ciencia y la técnica, en relación con la electrocultura.

En respuesta a la advertencia de Lemstrom, los científicos contemporáneos encontrarán la explicación natural, de por qué la electricidad es el factor más importante en el desarrollo de los sistemas biológicos.

En la atmósfera terrestre existe un campo eléctrico de gran intensidad, cuyo valor medio es de 1 V/cm. Según Neda Marinesco (1932), este campo (que a 1 m ya es de + 100V) interviene como factor acelerador en la ascensión electrosmótica de la savia. ¿Cómo se conducen, desde el punto de vista del crecimiento, las plantas sustraídas a esa influencia?

Breazeale J.F. (1923), menciona que algunos experimentadores, comparando el crecimiento en conexión con el suelo, o bien aislando macetas de cultivo, han observado que la supresión del campo eléctrico terrestre no perjudica, sino que, por el contrario, favorece el desarrollo de los vegetales. Con la influencia de un potencial eléctrico se aumenta el tránsito de cationes en la planta.

Breazeale L.E. *et al.* (1951), establece evidencias experimentales que fundamentan la teoría de que la absorción de nutrientes por la planta, es un fenómeno eléctrico. Prueba que la absorción de cationes está en función del potencial eléctrico específico del ion. Los iones son absorbidos y transportados dentro de la planta, como una respuesta a un impulso eléctrico creado por un impulso vital. La técnica experimental "Fisher electropode" puede ser utilizada en el estudio de la absorción de iones por las plantas.

Zaderej A. y C. Corson (1977), citan que las plantas son seres independientes en muchos modos y que no necesariamente muestran patrones de producción uniformes. Electrónicamente hablando, siendo organismos vivos, las especies utilizan la energía contenida en la unión del fosfato, del trifosfato de adenosina (ATP) para impulsar las reacciones, las cuales controlan el mantenimiento y crecimiento de las células, tejidos, etc. Este (ATP) se produce del difosfato de adenosina (ADP) por procesos involucrados en la respiración aeróbica, fermentación y los constituyentes bionucleares electromagnéticos de la fotosíntesis. En muchos casos, las plantas son semi-conductores orgánicos y aparentemente partes del sistema de transporte de electrones, los cuales, en las mitocondrias de las plantas superiores, son exactamente los mismos que para las mitocondrias animales, un camino para generar enzimas.

Menciona Lawrence (1969), que probablemente el descubrimiento y la utilización de los fertilizantes químicos, fue lo que inhibió el desarrollo de la ingeniería de los electrocultivos. Hoy, sin embargo, se está en una situación en que la polución por la utilización de los nitratos, está contaminando no sólo el abastecimiento del agua, sino el panorama ecológico entero. Esta situación hace que el resurgimiento de la electrocultura, sea no solamente deseable, sino inminentemente necesaria.

Lawrence L.G. (1973), cita en relación con la electrocultura, un incremento verídico en la producción del 45%, es lo que se puede esperar de un campo bien cultivado. Las diferencias en la producción se determinan comparando los resultados contra campos en iguales condiciones, pero sin electrocultivos. Algunas plantas responden negativamente al tratamiento y dan muy baja producción, como es el caso de los chícharos y zanahorias. Además, el tratamiento eléctrico deberá ser suspendido si los días son calurosos y soleados. Un simple circuito de relay fotoeléctrico, conectado en serie con el abastecimiento de corriente, provee un control adecuado para este propósito. Se puede utilizar un fertilizante orgánico para proveer los nutrientes básicos para la planta.

Lawrence (1973), dice que, sin embargo, tomados conjuntamente todos los resultados, la ciencia sólo tiene una idea vaga del porqué las plantas reaccionan a la aplicación de la electrocultura. El campo es amplio y abierto para la experimentación, ciertamente tiene excepcionales esperanzas para el futuro.

Más recientemente, científicos de diversas áreas como: Zaderej, A. y C. Corson (1977), Nelson, S.O. *et al.* (1964, 1970 y 1976), Stetson, L.E. (1976), Murr, L.E. (1976), y otros, han contribuido con la corporación Unitrón para el desarrollo de la electrogénica, en cuanto a la construcción de una máquina para tratar semilla, la cual es impregnada con fertilizante y enzimas, para que luego sea bombardeada con iones negativos y calentada con radiofrecuencia, que hace aumentar el potencial biológico de las semillas.

Leyva A.M. (1974), estableció varias hipótesis sobre la electrostática en la naturaleza y su influencia en la vida animal y vegetal, sometiénolas a prueba por medio de experimentos con árboles y plantas, afectados por electrodos en el suelo y antenas cerca de las yemas, utilizando ácido sulfúrico para aumentar la conductividad eléctrica del suelo. Generadores electrostáticos con jaulas de Faraday y electroscopios, fueron utilizados para medir el efecto de la descarga eléctrica por las puntas de las hojas y su relación con la radiación solar y la precipitación pluvial.

En el departamento de Agrofísica de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, a partir de 1978, se han efectuado trabajos sobre "La Aplica-

ción e Influencia de la Energía Eléctrica sobre los Cultivos Agrícolas y su Medio Ambiente", por: Méndez, B.J.A. (1981, 1983, 1984), Méndez, B.J.A. y A. Arredondo (1979-1981), Méndez, B.J.A., A. Arredondo, O. y F.J. Torres (1979-1981), Méndez, B.J.A., D. Loyola, L. y H. González, F. (1979-1981), Alvarado, M.T.E. y J.A. Méndez, B. (1983), Alvarez J.P. y J.A. Méndez B. (1982), Camarillo, M.J.F. y J.A. Méndez, B. (1985), Luna, D.E. y J.A. Méndez, B. (1984), Pérez, G.H. y J.A. Méndez, B. (1984), y Regalado, N.J.C. y J.A. Méndez, B. (1985), y han llegado a la conclusión de que la energía eléctrica aplicada a la semilla, planta y suelo, bajo condiciones de laboratorio, invernadero y campo, influye sobre la absorción de agua y asimilación de nutrientes, con diversos tipos de voltaje y frecuencia, en todas las etapas fenológicas; afecta el tropismo y desarrollo radical y foliar, y repercute en cambios metabólicos significativos observados en el rendimiento, calidad y velocidad de maduración del fruto, en los cultivos de tomate, chile, pepino, rábano, frijol y maíz. Se han establecido algunas técnicas prácticas y económicas, para la aplicación de energía eléctrica con fines didácticos, de investigación y producción agrícola. La técnica más reciente aplica la energía eléctrica al suelo y la planta, utilizando diversos medios de locomoción, como el tractor, tracción animal y manualmente.

MATERIALES Y METODOS

Las hipótesis sujetas a prueba son:

1. Es posible diseñar una técnica electro-hidropónica que sea práctica y eficiente, que permita establecer un control sobre la cinemática de crecimiento del maíz.
2. La forma y polaridad de la onda electromagnética afecta la cinemática de crecimiento del maíz.
3. La onda semirrectificada con polaridad positiva, provoca una desaceleración máxima, por generar un medio alcalino.
4. La onda semirrectificada con polaridad negativa, provoca una desaceleración menor que la positiva, por generar un medio ácido.
5. La onda alterna genera un medio neutro y provoca efectos cinemáticos similares al testigo, superándolo en la velocidad de crecimiento.

Los tratamientos eléctricos se establecieron de tal manera que el tratamiento de onda alterna denominado T₄, fuese igual a la unión de los tratamientos T₂ y T₃; es decir, la onda semirrectificada positiva, unión la onda semirrectificada negativa, genera la onda alterna; además, se considera un tra-

tamiento testigo T_1 , sin aplicación de energía eléctrica (Figura 1). La distribución de las líneas de campo eléctrico, está en función de la geometría de los electrodos y de la polaridad y forma de onda, se eligió cónico el electrodo superior para que la intensidad de campo eléctrico aumentase, a medida que se reduce el diámetro del mismo (Figura 2).

El experimento se inició el 17 de mayo de 1978 y se estableció en los terrenos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Las coordenadas geográficas son: Altitud 1743 msnm, Latitud: 25°22' Norte y Longitud: 101°22' Oeste. Se utilizó, durante 10 días, un invernadero con equipo de control automático de clima. Posteriormente, el 27 de mayo, se transplató al campo situado en el bajo de la Universidad.

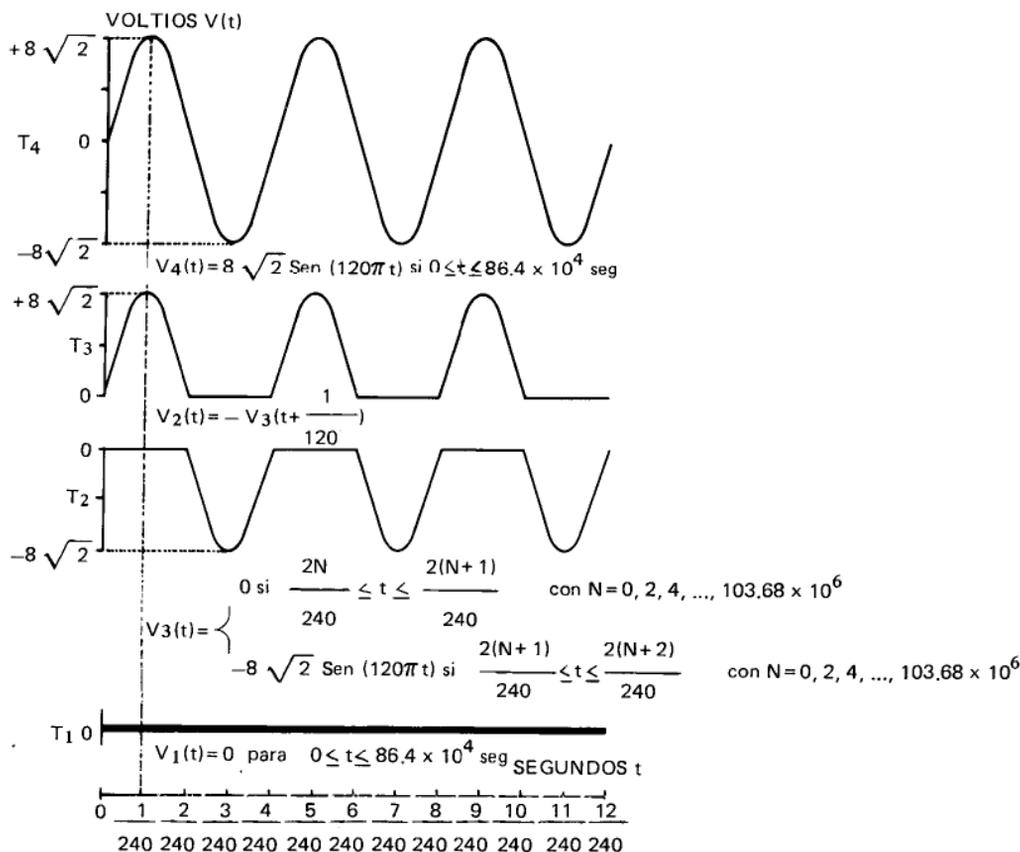


Figura 1. Gráficas y modelos matemáticos que describen los tratamientos eléctricos (T_1 , T_2 , T_3 y T_4) en voltaje contra tiempo.

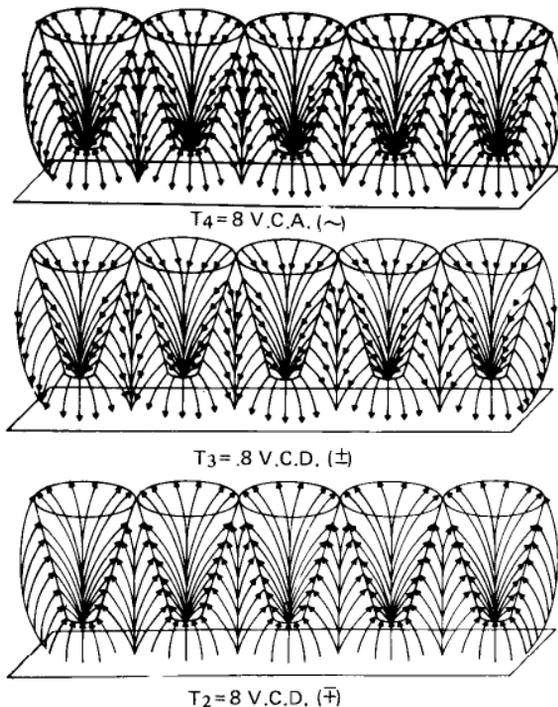


Figura 2. Forma aproximada de las líneas de campo eléctrico, para cada uno de los tratamientos eléctricos T_2 , T_3 y T_4 para un instante de tiempo.

Se utilizaron 380 semillas de maíz cruz simple (S_5-10-1) x (S_5-32-1) = C_1 , denominada como hembra del Tehuano H-6 y 380 semillas de maíz cruz simple ($SSE-232-1-1$) x ($SSE-255-1-1$) = C_2 , denominada como hembra del AN-360; ambas de la cosecha de 1977. Las semillas fueron seleccionadas considerando que estuviesen aproximadamente iguales en tamaño, color y libres de daños mecánicos. Se sembraron a 2 cm de profundidad con el embrión apuntando hacia el suelo y con la cara hacia el oriente; se utilizó un diseño experimental completamente aleatorio para cada material, con 5 repeticiones de 18 plantas por unidad experimental.

El medio hidropónico está formado por vermiculita como material para sembrar la semilla y sostener la plántula y 2.4 litros de solución nutritiva concentrada, la cual se diluye en 123.6 litros de agua potable (Cuadros 1 y 2 y Figura 4).

Cuadro 1. Solución nutritiva empleada en el experimento (Lab. de Calidad de aguas, UAAAN).

Componente	Fórmula	mgr/lit*
Nitrato de amonio	$NH_4 NO_3$	457.5
Fosfato de amonio	$NH_4 H_2 PO_4$	231.25
Sulfato de potasio	$K_2 SO_4$	0.70
Sulfato de magnesio	$MgSO_4$	206.25
Sulfato de fierro	$FeSO_4$	2.0625
Acido Bórico	$H_3 BO_3$	1.125
Sulfato de zinc	$ZnSO_4$	0.0625
Sulfato de cobre	$CuSO_4$	0.0625

* Agua destilada

Volumen de los recipientes utilizados 70 x 45 x 10 cm = 31.5 lt. Se disolvieron 0.6 lt de solución nutritiva en 30.9 lt de agua potable para cada tratamiento

Cuadro 2. Análisis del agua en la que se disolvió la solución nutritiva y se reestableció el nivel de los recipientes durante 10 días (Lab. de Calidad de aguas, UAAAN).

pH	7.95
C.E. Micromhos/cm	0.8
HCO_3^- meq/lit	5.0
Ca^{++} meq/lit	3.0
Mg^{++} meq/lit	1.5
Cl_2^- meq/lit	1.81
SO_4 meq/lit	0.12
Na^{++} meq/lit	---
B ppm	0.20
K ppm	---

La solución nutritiva diluída, se vierte en 4 recipientes de acrílico (polimetacrilato de metilo) color negro en forma de paralelepípedo, de dimensiones 70 x 45 x 10 cm³ = 31,5 litros. Como electrodos se usó papel de aluminio marca Reynolds Warp uno de forma plana de 70 x 45 cm² de área, colocado en el fondo de cada recipiente, y el otro formado por 180 conos truncados, interconectados eléctricamente y colocados en cada charola de poliestireno con 180 celdas para siembra de forma cónica con 3.5 cm de diámetro superior; 7 cm de profundidad y 1 cm de diámetro inferior para el desplazamiento radicular (Figuras 3, 4 y 5).

Para aplicar los tratamientos eléctricos se requiere de una fuente de energía eléctrica (construida por el autor) con voltaje reducido a 8 volt efectivos a 60 hertz, con 3 tomas de energía: una alterna y 2 semirrectificadas con polaridades opuestas (Figura 3).

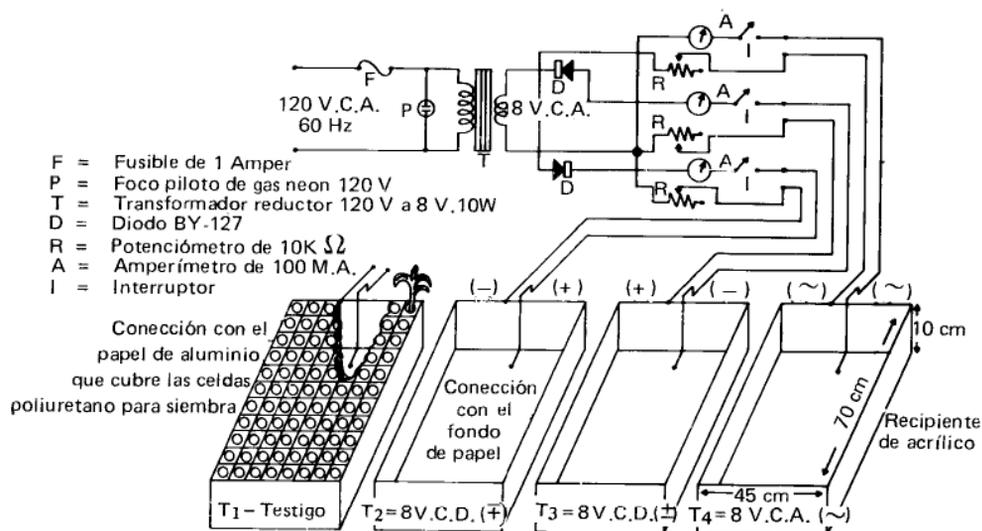


Figura 3. Diagrama del circuito utilizado en los tratamientos eléctricos al maíz.

Colocados los electrodos, se procede a verter la solución y rellenar las celdas cónicas con vermiculita, situando de forma flotante las charolas en los recipientes, para luego sembrar y conectar los electrodos a la fuente de energía eléctrica (Figuras 3 y 4), manteniendo los tratamientos durante 10 días para luego transplantar en el campo.

La altura de la planta, durante los 10 días de tratamiento eléctrico, se midió en todas las plantas de cada unidad experimental, con una regla métrica de 30 cm graduada en milímetros, que se colocó sobre la base de la charo-

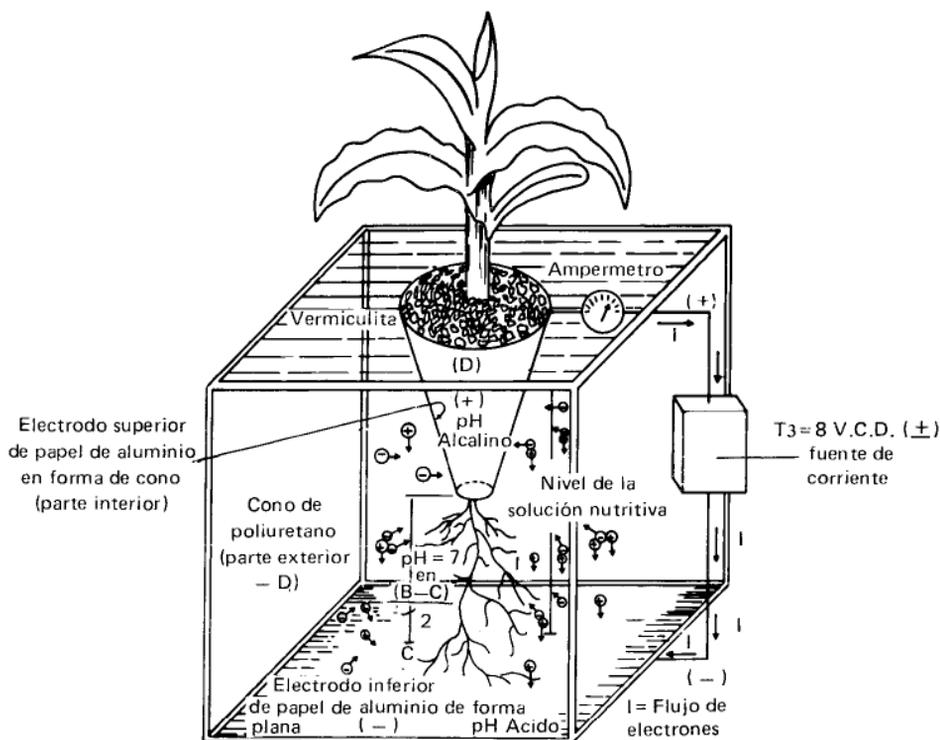


Figura 4. Disposición esquemática del tratamiento T₃ = 8 V.C.D. (±) e ilustración del efecto eléctrico sobre la distribución del potencial nitrógeno pH.

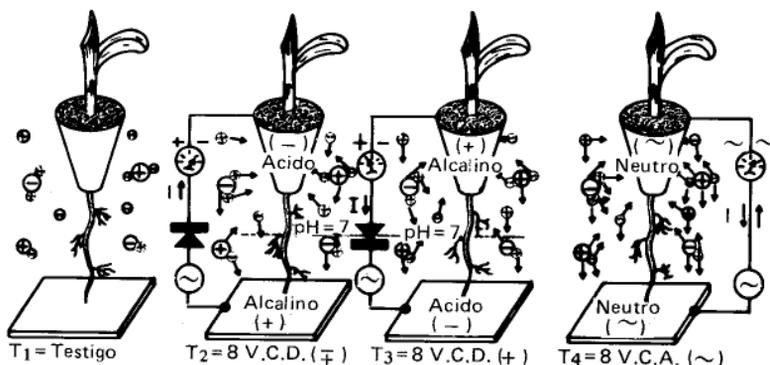


Figura 5 Acción de las fuerzas eléctricas en cada uno de los 4 tratamientos sobre los iones de la solución nutritiva y efecto sobre la distribución del potencial nitrógeno (pH).

la de siembra y tocando la hoja bandera, para obtener un valor medio por repetición (Figura 6 y Cuadro 6). Posteriormente se efectuó un análisis químico del estado final de la solución nutritiva (Cuadro 3) y finalmente se trasplantó en suelo (Cuadro 4), bajo un diseño experimental en bloques completos al azar, con 4 repeticiones de 10 plantas por unidad experimental, para cada uno de los 2 materiales de maíz. La altura de planta se continuó midiendo en el campo bajo el mismo criterio que en el invernadero.

Se efectuaron análisis de varianza para cada cruza de maíz por separado y para cada tiempo 5, 7, 9, 30 y 45 días, y se estimaron las diferencias porcentuales entre efectos de tratamientos eléctricos, comparados con el testigo; para esto se utilizó la prueba de F-Snedecor y se calculó la probabilidad de rechazo máxima (Cuadro 5). Además, se estiman 3 modelos estadísticos polinomiales de grados 1, 2 y 3 para representar matemáticamente la altura de planta (Y), en función del tiempo (t), para cada tratamiento y de los 3 se selecciona el más significativo en base al criterio del máximo de $S = (1 - P(R)/r^2)$ establecido por el autor, donde: P(R) es la probabilidad máxima de rechazo del modelo polinomial, y r^2 es el coeficiente de determinación (Cuadros 9, 10, 11 y 12).

Los modelos para la velocidad V(t) y la aceleración a(t) del crecimiento, se derivan de forma indirecta, a partir de la primera y segunda derivada temporal de Y(t) respectivamente (Cuadros 7 y 8). En base a V(t) y a(t), para cada cruza de maíz y cada tratamiento, se realiza un análisis cinemático sobre los valores críticos y los intervalos de tiempo en que se acelera y en los que se desacelera el crecimiento, como se muestra en el Cuadro 8. Se da, además, una interpretación biofísica a criterio del autor, sobre los tiempos complejos que generan valores críticos en la velocidad de crecimiento.

Cuadro 3. Análisis químico del estado final de la solución nutritiva en cada tratamiento a los 10 días de iniciada la aplicación de energía eléctrica.

Variable química	Tratamientos			
	T ₁ = 0V	T ₂ = 8V(∓)	T ₃ = 8V(±)	T ₄ = 8V(~)
pH	7.0	6.8	8.65	7.3
C.E. milimhos/cm	3300	3200	2800	3300
Potasio ppm	1150	1000	1150	1150
Fósforo ppm	3.5	2.5	3.3	2.0
Ca ⁺⁺ meq/lit	2.0	2.0	2.0	2.0
Mg ⁺⁺ meq/lit	6.0	7.0	3.0	4.0
Cl ₂ ⁻ meq/lit	2.5	5.0	5.0	2.5
SO ₄ ⁼ meq/lit	18.12	20.86	15.33	19.62
Nitrógeno %	0.04446	0.04144	0.04144	0.04466

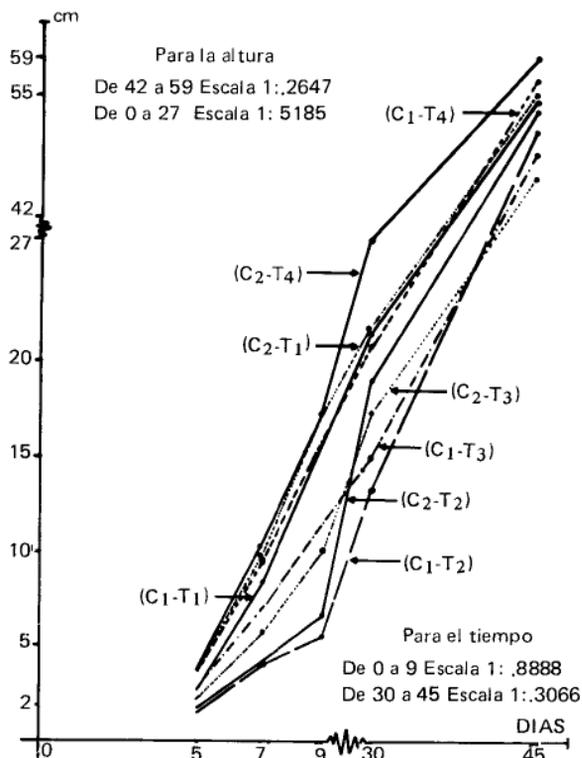


Figura 6. Gráfica de altura en función del tiempo, para cada una de las cruces simples C₁ (hembra del Tehuano H-6) y C₂ (hembra del AN-360) en cada tratamiento eléctrico T₁ = Testigo, T₂ = 8 V.C.D. (±), T₃ = 8 V.C.D. (∓) y T₄ = 8 V.C.A. (~).

Cuadro 4. Análisis del suelo donde se estableció el experimento en cuanto a fertilidad, salinidad y textura. Depto. Suelos, División de Ingeniería, UAAAN.

Determinación	Contenido	Dictamen
Materia orgánica %	2.4	Medianamente rico
Nitrógeno aprov. kg/ha	57.6	Rico
Fósforo aprov. kg/ha	40.5	Mediano
Potasio intercambiable kg/ha	900	Ext. rico
Reacción (pH) 1:2	7.2	Muy ligero alcalino
Carbonatos totales %	5.1	Bajo
C.E. (milimhos/cm)	0.22	No salino
Arena %	56.0	
Limo %	33.2	Migajón arenoso
Arcilla %	10.8	

Cuadro 5. Diferencia porcentual ($\Delta\%$) y probabilidad de rechazo $P(K)$, entre valores medios de porcentaje de nacencia y altura de la planta en maiz, 2 hembras: la del An-360 y la del Tehuano H-6 causados por los tratamientos eléctricos comparados con el testigo (T_1).

Variable observada	$T_2 = 8V.C.D. (\mp)$		Tratamientos eléctricos		$T_4 = 8 V.C.A. (\sim)$	
	$\Delta \%$	$P(K)$	$T_3 = 8 V.C.D. (\pm)$	$P(K)$	$\Delta \%$	$P(K)$
% de nacencia a los 5 días a los 7 días a los 9 días a los 30 días a los 45 días	-10.60	0.020000*	-15.30	0.002560**	+4.70	0.170000
	-51.70	0.000003**	-34.40	0.000003**	+1.10	0.420000
	-57.13	4×10^{-12} **	-40.37	1.1×10^{-7} **	+5.80	0.118000
	-62.00	10^{-10} **	-42.40	9.9×10^{-10} **	+0.40	0.540000
	-12.50	0.011238*	-20.45	0.000744**	+21.59	0.000522**
	-3.18	0.371943	-15.45	6.8×10^{-6} **	+7.27	0.001555**
(hembra del Tehuano H-6)						
% de nacencia a los 5 días a los 7 días a los 9 días a los 30 días a los 45 días	-7.95	0.020000*	-1.10	0.334000	$+2 \times 10^{-3}$	0.494000
	-45.00	2×10^{-7} **	+2.70	0.286000	+24.40	0.000055**
	-52.20	3×10^{-12} **	-15.50	0.000190**	+11.80	0.001790**
	-64.90	7.49×10^{-8} **	-26.50	7.0×10^{-10} **	+1.70	0.222000
	-39.08	6.8×10^{-6} **	-31.06	4.2×10^{-5} **	-2.30	0.314535
	-20.27	8.0×10^{-7} **	-10.60	0.000138**	+3.68	0.038276**

Cuadro 6. Tabulaciones de altura media (Y) en cm, versus tiempo (t), días postsiembra, para cada uno de los 4 tratamientos eléctricos T₁, T₂, T₃ y T₄, en 2 cruza simples de maíz, C₁ (hembra del Tehuano H-6) y C₂ (hembra del AN-360).

T ₁ = 0 Volt		T ₂ = 8 V.C.D. (∓)		T ₃ = 8 V.C.D. (±)		T ₄ = 8 V.C.A. (~)	
C ₁ (hembra del Tehuano H-6)							
t	y	t	y	t	y	t	y
5	2.808	5	1.544	5	2.886	5	3.494
7	8.450	7	4.038	7	7.142	7	9.448
9	15.660	9	5.490	9	11.504	9	15.924
30	21.750	30	13.250	30	15.000	30	21.250
45	54.250	45	43.250	45	48.500	45	56.250

C ₂ (hembra del AN-360)							
t	y	t	y	t	y	t	y
5	3.706	5	1.790	5	2.432	5	3.746
7	9.858	7	4.226	7	5.878	7	10.430
9	17.508	9	6.650	9	10.090	9	17.578
30	22.000	30	19.250	30	17.500	30	26.750
45	55.000	45	53.250	45	46.500	45	59.000

Cuadro 7. Modelos polinomiales de mayor significancia y probabilidad de rechazo P(H₁), que explican el crecimiento de maíz en cada tratamiento eléctrico. Altura (Y) en cm versus tiempo (t) en días con 5 ≤ t ≤ 45.

Tratamiento	Modelo polinomial	P(H ₁)
(C ₁ , T ₁)	Y(t) = .0920181 + 1.07686t	.017403*
(C ₁ , T ₂)	Y(t) = 6.85508 + 2.1643t - .10272t ² + .00176374t ³	.007837**
(C ₁ , T ₃)	Y(t) = -16.1008 + 4.81007t - .227329t ² + .00338532t ³	.019444*
(C ₁ , T ₄)	Y(t) = .262414 + 1.09431t	.021425*
(C ₂ , T ₁)	Y(t) = 1.35372 + 1.05524t	.021748*
(C ₂ , T ₂)	Y(t) = -7.79009 + 2.36511t - .101536t ² + .00175825t ³	.006172*
(C ₂ , T ₃)	Y(t) = -1.83104 + .9537t	.014293*
(C ₂ , T ₄)	Y(t) = .969904 + 1.17348t	.011332*

Cuadro 8. Velocidad $V(t)$ y aceleración $a(t)$ para $0 \leq t \leq 45$ días del crecimiento de las cruces simples de maíz C_1 y C_2 respectivamente, sujetas a 4 tratamientos eléctricos T_1, T_2, T_3 , y T_4 , bajo condiciones de hidroponía.

$(C_1, T_1): V(t) = 1.07686 \text{ cm/día}$ y $a(t) = 0 \text{ cm/día}^2$
$(C_2, T_1): V(t) = 1.05524 \text{ cm/día}$ y $a(t) = 0 \text{ cm/día}^2$
$(C_1, T_2): V(t) = .00529122t^2 - .20544t + 2.1643$
$V(t) = 0$ en $t_1 = (19.1 + j 5.67 \text{ días})$ y $t_2 = (19.41 - j 5.67) \text{ días}$
$a(t) = .01158244t - .20544$ causa que $a(t) < 0$, si $0 \leq t \leq 17.74 \text{ días}$, $a(t) = 0$ si $t = 17.74 \text{ días}$, y $a(t) > 0$, si $17.74 < t \leq 45 \text{ días}$.
$(C_2, T_2): V(t) = .00527475t^2 - .233072t + 2.36511$
$V(t) = 0$, si $t_1 = 15.79 \text{ días}$ y $t_2 = 28.39 \text{ días}$
$a(t) = .0105495t - .233072$ causa que $a(t) < 0$, si $0 \leq t \leq 22.09 \text{ días}$, $a(t) = 0$ si $t = 22.09 \text{ días}$, y $a(t) > 0$ si $22.09 < t \leq 45 \text{ días}$.
$(C_1, T_3): V(t) = .01015596t^2 - .454658t + 4.81007$
$V(t) = 0$ si $t_1 = 17.15 \text{ días}$ y $t_2 = 27.62 \text{ días}$
$a(t) = .02031192t - .454658$ causa que $a(t) < 0$ si $0 \leq t \leq 22.38 \text{ días}$, $a(t) = 0$ si $t = 22.38 \text{ días}$, y $a(t) > 0$ si $22.38 < t \leq 45 \text{ días}$.
$(C_2, T_3): V(t) = .9537 \text{ cm/día}$ y $a(t) = 0 \text{ cm/día}^2$
$(C_1, T_4): V(t) = 1.094321 \text{ cm/día}$ y $a(t) = 0 \text{ cm/día}^2$
$(C_2, T_4): V(t) = 1.17348 \text{ cm/día}$ y $a(t) = 0 \text{ cm/día}^2$

Cuadro 9. Análisis de varianza para los polinomios de grado 1, 2 y 3 asociados al crecimiento de maíz en el tratamiento $t_2 = 8$ V.C.D. (\mp), para las cruza simples C_1 (hembra del Tehuano H-6) y C_2 (hembra del AN-360) a partir de los datos del cuadro 6.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F
C_1 hembra del Tehuano H-6)				
De la regresión	1	1035.648	1035.648	21.264
Error	3	146.112	48.704	
Total	4	1181.759		$r = .936142$
$Y(t) = -4.05502 + .915074 t$				con $P(\text{rechazo}) = .019185$
De la regresión	2	1164.939	582.470	69.259
Error	2	16.820	8.410	
Total	4	1181.759		$r = .992858$
$Y(t) = 7.7431 - .888526 t + .370633t^2$				con $P(R) = .014223$
De la regresión	3	1181.715	393.905	8797.262
Error	1	0.045	0.045	
Total	4	1181.759		$r = .999982$
$Y(t) = -6.85508 + 2.1643t - .10272t^2 + .00176374t^3$				con $P(R) = .007837$
C_2 (hembra del AN-360)				
De la regresión	1	1669.478	1669.478	33.106
Error	3	151.283	50.428	
Total	4	1820.761		$r = .957555$
$Y(t) = -5.27383 + 1.16182t$				con $P(\text{rechazo}) = .010430$
De la regresión	2	1804.047	902.024	107.937
Error	2	16.714	8.357	
Total	4	1820.761		$r = .995399$
$Y(t) = 6.76267 - .678218t + .0378122t^2$				con $P(R) = .009179$
De la regresión	3	1820.718	606.906	14186.680
Error	1	0.043	0.043	
Total	4	1820.761		$r = .999988$
$Y(t) = -7.79009 + 2.36511t - .101536t^2 + .00175825t^3$				con $P(R) = .006171$

Observación: $Y(t)$ es la altura media de la planta en cm en función del tiempo (t) en días para $5 \leq t \leq 45$

Cuadro 10. Análisis de varianza para los polinomios de grado 1, 2 y 3 asociados al crecimiento de maíz en el tratamiento $T_3 = 8V.C.D.$ (\pm), para las cruces simples C_1 (hembra del Tehuano H-6) y C_2 (hembra del AN-360) a partir de los datos del cuadro 6.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F
C_1 (hembra del Tehuano H-6)				
De la regresión	1	1102.736	1102.736	15.030
Error	3	220.105	73.368	
Total	4	1322.841		$r = .913023$
$Y(t) = -1.12316 + .944248t$			con $P(\text{rechazo}) = .030387$	
de la regresión	2	1260.730	630.365	20.298
Error	2	62.111	31.055	
Total	4	1322.841		$r = .976241$
$Y(t) = 11.919 - 1.04953t + .0409713t^2$			con $P(R) = .046953$	
De la regresión	3	1322.532	440.844	1428.918
Error	1	0.309	0.309	
Total	4	1322.841		$r = .999883$
$Y(t) = -16.1008 + 4.81007t - .227329t^2 + .00338532t^3$ con $P(R) = .019443$				
C_2 (hembra del AN-360)				
De la regresión	1	1124.923	1124.923	26.386
Error	3	127.898	42.633	
Total	4	1252.822		$r = .947582$
$Y(t) = -1.83104 + .9537t$			con $P(\text{rechazo}) = .014293$	
De la regresión	2	1215.566	607.783	32.627
Error	2	37.256	18.628	
Total	4	1252.822		$r = .985019$
$Y(t) = 8.0475 - .556451t + .031033t^2$			con $P(R) = .029738$	
De la regresión	3	1252.317	417.439	846.990
Error	1	0.505	0.505	
Total	4	1252.822		$r = .999798$
$Y(t) = -13.5597 + 3.96213t - .175865t^2 + .00261056t^3$ con $P(R) = .025555$				

Observación: $Y(t)$ es la altura media de la planta en cm en función del tiempo (t) en días para $5 \leq t \leq 45$

Cuadro 11. Análisis de varianza para los polinomios de grado 1, 2 y 3 asociados al crecimiento de maíz en el tratamiento T₄ = 8 V.C.A. (~), para las cruza C₁ (hembra del Tehuano H-6) y C₂ (hembra del AN-360) a partir de los datos del cuadro 6.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F
C₁ (hembra del Tehuano H-6)				
De la regresión	1	1481.091	1481.091	19.588
Error	3	226.836	75.612	
Total	4	1707.926		r = .931228
Y(t) = .262414 + 1.09431t con P(rechazo) = .021425				
De la regresión	2	1610.330	805.165	16.500
Error	2	97.597	48.798	
Total	4	1707.926		r = .971008
Y(t) = 12.0581 - .708921t + .0370558t ² con P(R) = .057143				
De la regresión	3	1707.114	569.038	700.686
Error	1	0.812	0.812	
Total	4	1707.926		r = .999762
Y(t) = -23.0062 + 6.62386t - .298699t ² + .00423644t ³ con P(R) = .027762				
C₂ (hembra del AN-360)				
De la regresión	1	1703.154	1703.154	31.198
Error	3	163.774	54.591	
Total	4	1866.928		r = .955131
Y(t) = .969904 + 1.17348t con P(rechazo) = .011332				
De la regresión	2	1773.261	886.631	18.932
Error	2	93.667	46.833	
Total	4	1866.928		r = .974591
Y(t) = 9.65769 - .154634t + .0272923t ² con P(R) = .050170				
De la regresión	3	1866.131	622.044	780.244
Error	1	0.797	0.797	
Total	4	1866.928		r = .999786
Y(t) = -24.6901 + 7.0283t - .301601t ² + .00414986t ³ con P(R) = .026309				

Observación: Y(t) es la altura media de la planta en cm en función del tiempo (t) en días para 5 ≤ t ≤ 45

Cuadro 12. Análisis de varianza para los polinomios de grado 1,2 y 3 asociados al crecimiento de maíz en el tratamiento $T_1 = 0$ volt, para las cruza simples C_1 (hembra del Tehuano H-6) y C_2 (hembra del AN-360) a partir de los datos del Cuadro 6.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F
C_1 (hembra del Tehuano H-6)				
De la regresión	1	1434.214	1434.214	22.885
Error	3	188.011	62.270	
Total	4	1622.225		$r = .940267$
$Y(t) = -.0920181 + 1.07686t$			con $P(\text{rechazo}) = .017403$	
De la regresión	2	1528.241	764.121	16.261
Error	2	93.984	46.992	
Total	4	1622.225		$r = .970600$
$Y(t) = 9.96929 - .461235t + .0316072t^2$			con $P(R) = .057934$	
De la regresión	3	1620.461	540.154	306.181
Error	1	1.764	1.764	
Total	4	1622.225		$r = .999456$
$Y(t) = -24.2581 + 6.69652t - .296134t^2 + -.00413532t^3$			con $P(R) = .041930$	
C_2 (hembra del AN-360)				
De la regresión	1	1377.226	1377.226	19.370
Error	3	213.307	71.102	
Total	4	1590.533		$r = .930532$
$Y(t) = 1.35372 + 1.05524t$			con $P(R) = .021748$	
De la regresión	2	1478.382	739.191	13.182
Error	2	112.151	56.076	
Total	4	1590.533		$r = .964099$
$Y(t) = 11.7895 - .540087t + .0327835t^2$			con $P(R) = .070512$	
De la regresión	3	1588.658	529.553	282.338
Error	1	1.876	1.876	
Total	4	1590.533		$r = .999410$
$Y(t) = -25.6391 - 7.2871t - 32561t^2 + .00452208t^3$			con $P(R) = .043714$	

Observación: $Y(t)$ es la altura media de planta en cm en función del tiempo (t) en días para $5 \leq t \leq 45$

RESULTADOS Y DISCUSION

Por falta de espacio se omiten los cuadros de concentración de datos y análisis de varianza para cada tiempo, cruza de maíz y tratamiento; en lugar de ello se muestran las gráficas correspondientes. Sin embargo, se presentan los análisis de regresión completos, los resultados condensados de los análisis de varianza y un análisis de la cinemática de crecimiento (Cuadros 5-12).

En la Figura 6 se observa que, al aumentar el tiempo de tratamiento eléctrico con ondas de polaridad positiva y negativa, aumenta también la magnitud de diferencias porcentuales negativas de alturas de ambas cruza de maíz, comparadas con el tratamiento senoidal alterno y con el testigo. Alcanzan las máximas diferencias a los 9 días; es decir, las plantas de maíz experimentan una desaceleración de magnitud creciente en el tiempo de tratamiento eléctrico polarizado comprendido en el intervalo $(5 - \Delta t_1) \leq t \leq (9 + \Delta t_2)$ días (Cuadro 5); luego, se observa que para el intervalo $(10 + \Delta t_3) < t \leq (45 + \Delta t_4)$ días, las plantas se aceleran en forma creciente al aumentar el tiempo, para lo cual tuvieron que pasar por velocidad cero (Cuadro 8).

Al estudiar el análisis cinemático del Cuadro 8, derivado a partir de los datos del Cuadro 6 y de los modelos presentados en el Cuadro 7, se observa que los modelos $Y(t)$ son lineales, para maíz tratado con la onda senoidal alterna y para el testigo, lo cual implica crecimiento con velocidad constante. En cambio, los modelos $Y(t)$ para los tratamientos de onda semirrectificada positiva y negativa, siguen un comportamiento polinomial cúbico, con excepción del modelo para (C_2, T_3) , el cual es lineal. Los modelos cúbicos de $Y(t)$ generan velocidades y aceleraciones variables en el tiempo.

El control de crecimiento se puede efectuar por medio de programas establecidos, a través de una fuente de onda múltiple, un interruptor temporizado y una fotorresistencia positiva y otra negativa, de tal manera que cuando la intensidad de luz sea máxima, la fotorresistencia positiva adquiere un valor óhmico máximo, y reduzca al mínimo el voltaje; esto es para acelerar el crecimiento. Resultando lo contrario si la fotorresistencia es negativa. El interruptor temporizado se emplea, con el fin de programar el tipo de polaridad en cada fase del ciclo vegetativo y, de esa manera, acelerar o desacelerar el crecimiento según se desee. La onda negativa desacelera más intensamente a las plantas que requieren pH alcalino y viceversa. La onda positiva desacelera más intensamente a las plantas que requieren pH ácido y viceversa. La onda alterna acelera más intensamente a los cultivos que requieren pH neutro (Cuadros 1, 3, 5 y 8).

El consumo medio de energía eléctrica para el tratamiento electro-hidropónico, es de 0.05 miliwatts por hora.

Como explicación biofísica referente a las raíces complejas conjugadas del tiempo $t_1 = (19.41 + j5.67)$ días y $t_2 = (19.41 - j5.67)$ días, que aparecen en la solución de $V(t) = 0$ para el maíz C_1 , tratado con la onda positiva (Cuadro 8), se pueden interpretar como vectores biofísicos del tiempo de memoria del programa de vida de las semillas, donde: la parte real del tiempo complejo 19.41 días, denota el tiempo de memoria reactiva que le produce una velocidad de crecimiento de 0.17 cm/día, en tanto que, la parte positiva imaginaria del tiempo complejo 5.67 días, denota el tiempo de memoria magnética, que le produce una velocidad de crecimiento de 1.17 cm/día, y la parte imaginaria negativa del tiempo complejo -5.67 días, denota el tiempo de memoria eléctrico desfasado 180° con respecto al magnético en el círculo temporal de vida de la planta y le produce una velocidad de 3.50 cm/día. La superposición del tiempo reactivo, tratando de disminuir la velocidad de crecimiento, con el tiempo magnético o eléctrico tratando de aumentar la, da como resultado que $t_1 = (19.41 + j5.67)$ días, y $t_2 = (19.41 - j5.67)$ días, hagan cero la velocidad.

En resumen, el tiempo de memoria reactivo actúa sobre la entropía y el de memoria magnética y eléctrica actúan sobre la energía libre o útil de la planta. La suma de los tiempos conjugados complejos, dobla el tiempo reactivo; es decir $(t_1 + t_2) = 2(19.41)$ días. La diferencia $(t_1 - t_2) = j2(5.67)$ o $(t_2 - t_1) = -j2(5.67)$, doblan el tiempo eléctrico o magnético según sea el orden. La raíz cuadrada de la interacción multiplicativa de t_1 y t_2 , da la magnitud del vector biofísico; o sea $|t_1| = |t_2| = 20.22$ días, que produce una velocidad de 0.17 cm/día y una aceleración de 0.03 cm/día^2 . El ángulo cuya tangente es $\pm (19.41/5.67)$, da un valor de $\pm 73.7^\circ$, lo que quiere decir que, t_1 y t_2 se encuentran desfasados un ángulo de 147.4° en el círculo temporal de vida de la planta.

CONCLUSIONES

1. Por primera vez se describe y justifica el funcionamiento y la aplicación práctica de la nueva técnica de tratamiento electro-hidropónico, como un medio de selección y control cinemático del crecimiento, evaluada en maíz.
2. Se comprueba que, el tratamiento electro-hidropónico con onda senoidal alterna T_4 , tiende a aumentar y estabilizar la velocidad de crecimiento de maíz, en tanto que, la onda senoidal semirrectificada positiva T_2 o negativa T_3 , tiende a desacelerar el crecimiento.
3. La onda semirrectificada senoidal positiva, produce una desaceleración mayor comparada con la negativa.

4. La onda senoidal alterna produce un efecto en el crecimiento similar al testigo; ambos producen un crecimiento a velocidad constante en el intervalo de tiempo de 5 a 45 días, en los 2 materiales de maíz C₁ y C₂ respectivamente.
5. El maíz bajo tratamiento alterno, comparado con el testigo, supera su altura en un 24.4% a los 5 días en C₁, y en un 21.6% a los 30 días en C₂.
6. El tratamiento positivo desacelera más a C₁, y el negativo desacelera más a C₂.
7. El maíz C₂ del Bajío, respondió más favorablemente al tratamiento alterno; resultó menos desacelerado con el positivo, y mantuvo una velocidad constante con el negativo, en tanto que el C₁ del Istmo, resultó menos desacelerado con el negativo.
8. Los materiales de maíz hembra del Tehuano H-6, procedente del Istmo de Tehuantepec, y la hembra del AN-360, procedente del Bajío, presentan tolerancias opuestas a la polaridad de la onda senoidal semirrectificada.
9. A los 45 días C₂ mantiene una aceleración cero, en cambio C₁ alcanza una aceleración máxima de 0.46 cm/día², al ser ambos tratados con la onda senoidal semirrectificada negativa, en tanto que, con la onda de polaridad positiva, ambos C₂ y C₁, continúan acelerados con 0.32 cm/día² y 0.24 cm/día² respectivamente.
10. Con el fin de aumentar la precisión, confiabilidad y versatilidad de la técnica de tratamiento electro-hidropónico, se considera necesario adaptar un control fotoeléctrico, que regule el voltaje, polaridad y frecuencia eléctrica, en función de la intensidad y frecuencia de la luz. Además, se sugiere continuar experimentando con otras especies y variedades vegetales, variando la forma de onda, polaridad, voltaje, frecuencia y tiempo de aplicación del tratamiento eléctrico, en función de la intensidad y frecuencia de la luz y las propiedades físico-químicas del medio de nutrición.

BIBLIOGRAFIA

- Alvarado, M.T.E. y J.A. Méndez B. 1983. Influencia de la Ionización Eléctrica del Suelo sobre el Rendimiento de Frijol en Saltillo, Coah. Tesis Licenciatura. Saltillo, México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

- Alvarez, J.P. y J.Á. Méndez B. 1982. Efectos de la Polarización Eléctrica Alterna en el Suelo sobre el Rendimiento de Tomate en Saltillo, Coah. Tesis Licenciatura. Saltillo, México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Breazeale J.F. 1923. Nutrition of plants considered as an electrical phenomenon. Jour. Agr. Res. 24:41-54.
- Breazeale, L.E., W.T. Mc George, and J.F. Breazeale. 1951. Nutrition of plants considered as an electrical phenomenon - a new approach. Soil Sci. 71:371-375.
- Camarillo, M.J.F. y J.A. Méndez B. 1985. Influencia de la Ionización Eléctrica del Suelo sobre el pH, C.E. y Rendimiento en Rábano. Tesis Licenciatura. Saltillo, México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Lawrence, L. George. 1969. Electronics and the Living Plant. Electronics World. Vol. 82. No. 4. p. 25-28.
- , 1973. Electrocultivos Experimentales. Electronic Experimenter's Handbook. pp. 114-119. Traducción por Valle Florencia, H. Del. Chapingo, México. No. 21-22. Enero-Abril de 1980. pp. 45-46.
- Lemstrom, S. 1904. Electricity in Agriculture and Horticulture. D. Van Nostrand. London Printing & Publishing Co. and New York.
- Leyva, A.M. 1974. La Electrostatica en la Naturaleza y su influencia en la Vida Animal y Vegetal. México. Dir. Gral. de Educación Superior. Instituto Tecnológico Regional de Chihuahua.
- Luna, D.E. y J.A. Méndez B. 1984. Aplicación de Diferentes Tipos de Polarización Eléctrica al Suelo y su Efecto en Rendimiento y Contenido de Nitrógeno, Fósforo y Potasio en Fruto de Pepino. Tesis Licenciatura. Saltillo, México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Méndez, B.J.A. 1983. La Electrocultura Aplicada a la Producción Agrícola. Monografía Técnico Científica. Saltillo, México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- , 1984. Aplicación de la Estadística y la Física en el Estudio de Varios Efectos de la Energía Eléctrica sobre el Medio Hiaropónico y Desarrollo del Maíz. Tesis Maestría. Saltillo, México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

- , 1979-1981. Diseño, Construcción y Evaluación de Sensores Transductores y Medidores de Variables Híóricas y Iónicas del Suelo, Planta y Fruto. Saltillo, México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. (Inédito).
- , 1981. Nutrición Vegetal Bajo Control Electrodinámico en el Campo de Cultivo. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. (Inédito).
- y A. Arredondo, O. 1979-1981. Producción y Evaluación Nutritiva de Semilla Hidroionizada en Maíz y Frijol. Saltillo, México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Mimeografiado.
- , A. Arredondo, O. y F.J. Torres, R. 1979-1981. Diseño, Construcción y Evaluación de Electroionizadores de Semilla y Suelo. Saltillo, México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Mimeografiado.
- , D. Loyola, L. y H. González, F. 1979-1981. Selección Vegetal a pH Extremos por medios Electrodinámicos. Saltillo, México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Mimeografiado.
- Murr, L.E. 1967. Physiological Stimulation of Plants Using delayed and Regulated Electric Field Environments. International Journal of Biometeorology. 10(2):147-153.
- Neda Marinesco. 1932. Influencia des Facteurs Electriques sur la Vegetation. Edit. Hermann, 30 p.
- Nelson, S.O. and W. Wolf, W. 1964. Electrical Seed Treatment. Transactions of the ASAE, 7(2):116-119, 122.
- , G.E. Nutile and L.E. Stetson. 1970. Effects of Radiofrequency Electrical Treatment on Germination of Vegetable Seeds. American Society for Horticulture Science. 95(3):359-366.
- , L.A. Ballard, L.E. Stetson and T. Buchwald. 1976. Increasing Legume Seed Germination by VHF and Microwave Dielectric Heating. Transactions of the ASAE, 19(2):369-371.
- Pérez G. H. y J.A. Méndez, B. 1984. Efectos de la Ionización Eléctrica Alternada en los Surcos del Suelo en Relación al Rendimiento de Tomate y Chile. Tesis Licenciatura. Saltillo, México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

- Regalado N.J.C. y J.A. Méndez, B. 1985. Efectos de la Energía Alterna Pulsante sobre el Rendimiento, Contenido Hídrico y Calidad de Rábano *Raphanus sativus* y Diseño de un Implemento para su Aplicación por Tractor. Tesis Licenciatura. Saltillo, México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Stetson, L.E. 1976. Use of Microwave and Lower Frequency RF Energy for improving Alfalfa Seed Germination. Journal of Microwave Power, March, 11.
- Zaderej, A., and C. Corson. 1977. Thesis Electrogenic Application to Plant Growth. Indiana, U.S.A. Unitron Corporation, Elkhart.