

**APLICACIÓN DE CARGAS ELÉCTRICAS A SEMILLAS DE MAIZ (*Zea mays*
L.) Y SU EFECTO EN LA CALIDAD FISIOLÓGICA**

GREGORIO MARTÍNEZ MIGUEL

TESIS

**Presentado como Requisito Parcial para
Obtener el grado de**

**MAESTRO EN TECNOLOGIA
DE GRANOS Y SEMILLAS**



**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

Saltillo, Coahuila, México. Diciembre de 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO

APLICACIÓN DE CARGAS ELÉCTRICAS A SELILLAS DE MAIZ (*Zea mays* L.) Y SU EFECTO EN LA CALIDAD FISIOLÓGICA

TESIS

POR:

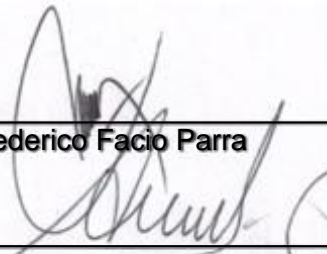
GREGORIO MARTÍNEZ MIGUEL

Elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y aprobada como requisito parcial para optar al grado de:

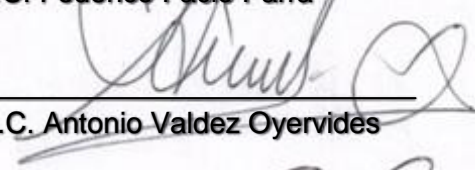
MAESTRO EN TECNOLOGÍA DE GRANOS Y SEMILLAS

COMITÉ PARTICULAR

Asesor Principal:


M.C. Federico Facio Parra

Asesor:


M.C. Antonio Valdez Oyervides

Asesor:


M.P. María Alejandra Torres Tapia

Asesor:


M.C. Luis Antonio García Trujillo

Dr. Alberto Sandoval Rangel

Subdirector de Postgrado

Saltillo, Coahuila, México. Diciembre de 2014

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por brindarme el apoyo con la beca y que hizo posible concluir una etapa de mi profesión.

Al M.C. Federico Facio Parra por la enseñanza, apoyo y dedicación para lograr este proyecto de investigación.

Al M.C. Antonio Valdés Oyervides por el tiempo y orientación que me proporcionó para realizar un buen trabajo de investigación.

A la M.P. Ma. Alejandra Torres Tapia por las recomendaciones y la disponibilidad en el desarrollo de este trabajo de tesis.

Al M.C. Luis Antonio García Trujillo y al Dr. Raúl Ochoa Valiente, por su colaboración para llevar a cabo este trabajo de investigación.

A todos los maestros del Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Granos y Semillas por contribuir en mi formación profesional con sus consejos y conocimientos, apoyo y disponibilidad.

A todos los compañeros de la maestría que tuve el honor de conocer y por la convivencia durante mi estancia en la Universidad.

DEDICATORIA

A mi madre, Flora Miguel Cruz, que además de darme la vida, y ser mi motor principal para seguir adelante, es la persona que más admiro por su lucha y entrega, que en los momentos difíciles siempre supo enfrentar la situación y sacar adelante a mis hermanos y a mí. Muchas gracias por todo.

Al Ángel guardián que siempre me acompaña desde el cielo, ilumina mi camino y me acompaña en todo el recorrido a mi Papá (†).

A mis queridos hermanos, Hermelinda, Salvador, Rufino y Santa. Con quienes compartí mi niñez y has sido un pilar importante en mi desarrollo como persona y profesional. Muchas gracias.

A mis sobrinos, José Roberto, Manuel Domingo, Azul Yetlanezi, Juan Ángel, Esmeralda, Salvador y Alan Josué y a mi cuñada Rosalinda, por formar parte de mi vida.

A mis amigos, Marcelo Bautista, Mario López, Dagoberto Vásquez, Wilder M. Ramirez, Orsai González, Luis A. Aquino, Rubier Pozo, Jorge Bartolomé, Maria del Rosario y Doña Murrís, gracias por el apoyo y por formar parte de este camino y fueron una parte muy importante para el logro de mis metas. Gracias por ser mis amigos y brindarme el apoyo necesario.

A todos mis familiares y amigos que admiro y respeto, con quienes compartí buenos momentos y me brindaron su apoyo. Gracias siempre estarán en mi corazón.

COMPENDIO

APLICACIÓN DE CARGAS ELÉCTRICAS A SEMILLAS DE MAÍZ (*Zea mays* *L.*) Y SU EFECTO EN LA CALIDAD FISIOLÓGICA

POR:

GREGORIO MARTINEZ MIGUEL

MAESTRÍA

EN TECNOLOGÍA DE GRANOS Y SEMILLAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

M.C. Federico Facio Parra -Asesor-

Palabras clave: Maíz (*Zea mays L.*), Calidad fisiológica, Cargas eléctricas, Calidad de semillas.

La calidad de las semillas, básicamente la germinación y vigor, son factores muy importantes para los agricultores y para las áreas productoras de semillas, ya que es fundamental e influye directamente en lograr una buena producción y comercialización. Por otro lado la diversidad en el uso de los tratamientos pregerminativos han sido las principales tendencias que se han optado para

mejorar los procesos de fisiológicos de las semillas, de las cuales tenemos un sinfín de compuestos químicos, en menor proporción productos orgánicos y tratamientos físicos. Por ello este proyecto de investigación se plantea el uso de las cargas eléctricas como un tratamiento físico, para estimular semillas de maíz (*Zea mays L.*) como un primer desarrollo, teniendo como objetivos: determinar el efecto en la calidad (germinación y vigor), tomando en cuenta la intensidad de la carga y el tiempo de exposición de la misma. Para desarrollar el proyecto de investigación, se realizó el diseño de un prototipo para la aplicación de las cargas eléctricas, basado en la corriente alterna de frecuencia de 60Hz y 127 Volts. El prototipo consiste en el diseño de un circuito eléctrico donde se puede tener un control manual de la intensidad eléctrica aplicada, este en un extremo conecta al depósito de semillas y en el otro extremo va conectado a la corriente. Se aplicaron cargas eléctricas de 20, 40, 60, 80, 100, 120 y 140 Miliampers y tiempos de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 minutos y el testigo solo se imbibió en los tiempos antes mencionados, también se tienen referencias de las semillas sin imbibición que tiene los siguientes valores: plántulas normales en el primer conteo con 72.25%, germinación con 85 %, plántulas anormales con 9 % y 5.25 % en semillas sin germinar. Las características evaluadas fueron: plántulas normales en el primer conteo, germinación, plántulas anormales, semillas sin germinar y peso seco. Los datos obtenidos se analizaron bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial con tres repeticiones. El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) en la aplicación de las cargas eléctricas para capacidad de germinación de las semillas de maíz (*Zea mays L.*) para la

variable germinación las cargas que tuvieron mejores resultados son las de 100 y 120 mA que tuvieron 90%, 80 mA con un valor de 89.55 % y el testigo con 88.88 % y que estadísticamente son iguales, y para plántulas anormales la carga las de 100 y 120 mA obtuvieron 6 %, 80 mA tuvo 6.22 % y testigo con 7.11%. Para las variables de vigor, las plántulas normales en el primer conteo la carga de 120 mA fue la que más sobre salió con 86.22 % y en el peso seco de plántula tuvo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) para la carga de 80 mA obtuvo el mejor valor con 80.23 mg/P. Mientras que para el efecto carga eléctrica-tiempo, tuvieron diferencias altamente significativos en el vigor, la variable plántulas normales en el primer conteo en las interacciones cargas eléctricas de 80 y 140 mA con 81.16 % en un tiempo de 36.52 minutos, también las cargas de 40 y 120 mA 90.67 % con tiempo de 42.01 minutos y finalmente las cargas de 80 y 120 mA 88.46 % en un tiempo de 55.55 minutos.

ABSTRACT

APPLICATION OF ELECTRIC LOADS TO SEEDS OF CORN (*Zea Mays* L.) AND ITS EFFECT ON PHYSIOLOGICAL QUALITY

BY:

GREGORIO MARTÍNEZ MIGUEL

MASTER

TECNOLOGÍA DE GRANOS Y SEMILLAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

M.C. Federico Facio Parra -Asesor-

Keywords: Corn (*Zea mays* L.) Physiological quality, electric charges, seeds quality

The quality of seeds, germination and vigor basically, are very important factors for farmers and seed producing areas, because it is fundamental and directly influences to achieve a good production and marketing. Furthermore diversity in the use of pregerminative treatments have been the main trends that have

chosen to enhance the physiological processes of seeds, which have a myriad of chemical compounds, to a lesser extent organic products and physical treatments. Therefore in this research project we use electric charges as a physical treatment to stimulate seed corn (*Zea mays* L.) as a first development, having as objectives: to determine the effect on quality (germination and vigor) taking into account the intensity of charge and exposure time of it. To develop the research project, the design of a prototype for the application of electrical charges, based on the alternating current frequency of 60 Hz and 127 Volts was performed. The prototype consists of designing an electric circuit where you can have a manual control of electric current applied, with one end connected to the seed deposit and the other end connected to the electric current. Electrical charges of 20, 40, 60, 80, 100, 120 and 140 Milliamps and times 10, 20, 30, 40, 50 and 60 minutes were applied and the control treatment only was embedded at times before mentioned. Also there are references for seeds without imbibition having the following values: normal seedlings in the first count with 72.25%, with 85% germination, abnormal seedlings with 9% and 5.25% in ungerminated seeds. The characteristics evaluated were: normal seedlings in the first count, germination, abnormal seedlings, seeds without germinating and dry weight. The data obtained were analyzed under a completely randomized design and factorial arrangement with three replications. The analysis of variance showed highly significant differences ($P < 0.01$) in the application of electric charges for germination capacity of seeds of maize (*Zea mays* L.); for germination variable the charges with better results were 100 and 120 mA with 90%, treatment 80 mA with a value of 89.55% and 88.88% to the control and they are statistically

equal, and to abnormal seedlings charges 100 and 120 mA obtained 6%, 80 mA was 6.22% and control with 7.11%. For variables of vigor, normal seedlings in the first count the 120 mA charge was highest with 86.22% and the seedling dry weight had significant differences ($P < 0.05$) for charge 80 mA getting best value with 80.23 mg / W. While for the electrical charge-time effect, were highly significant differences in vigor, the variable normal seedlings at the first count in interactions of electrical charges 80 and 140 mA with 81.16% in a time of 36.52 minutes, also the charges 40 and 120 mA with 90.67% in a time of 42.01 minutes and finally the charges 80 and 120 mA with 88.46% and a time of 55.55 minutes.

INDICE DE CONTENIDO

COMPENDIO	v
ABSTRACT	viii
INDICE DE CUADROS	xii
INDICE DE FIGURAS	xiii
INTRODUCCIÓN	1
Objetivos.....	4
Objetivos específicos.....	4
Hipótesis	4
REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
Calidad fisiológica	6
Germinación.....	8
Vigor	8
Tratamientos pregerminativos.....	9
La electricidad como estimulante de la germinación.....	11
MATERIALES Y MÉTODOS	14
Localización	14
Material genético.....	14
Equipo para aplicación de cargas eléctricas.....	15
Dispositivo Eléctrico.....	15
Tratamientos	19
Variables evaluadas.....	20
Capacidad de Germinación	20
Vigor	21
Análisis estadístico.....	22
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
CONCLUSIONES.....	34
LITERATURA CITADA.....	36
ANEXO I	40
(Descripción del dispositivo eléctrico).....	40
APÉNDICE (Ap)	49

INDICE DE CUADROS

Cuadro 3.1 Identificación de los tratamientos aplicados a las semillas de maíz mediante cargas eléctricas y tiempos de exposición **¡Error! Marcador no definido.**

Cuadro 4.1. Comportamiento de las temperaturas de acuerdo a la carga eléctrica y tiempo de aplicación 24

Cuadro 4.2. Cuadrados medios del análisis de varianza para las pruebas de calidad fisiológica de semillas de maíz 25

Cuadro 4.3. Comparación de medias para las pruebas de calidad fisiológica de semillas de maíz en la aplicación de cargas eléctricas **¡Error! Marcador no definido.**30

Cuadro 4.4. Puntos de interacción en la aplicación de cargas eléctricas por tiempos de exposición a semillas de maíz 33

INDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Representación del voltaje CA de 127V proporcionado por la CF..	16
Figura 3.2. diagrama del circuito electrónico del control de la aplicación de la corriente. Ochoa-García	17
Figura 3.3 Funcionamiento del equipo utilizado.....	18
Figura A.1. Representación del voltaje AC de 127V _{AC} proporcionado por la CFE	46
Figura A.2. Electrónica de Control	46
Figura A.3. Señal de voltaje AC recortada en su ciclo de trabajo	47
Figura Ap.1. Interacción de la carga 80 mA (T4) y carga 140 mA (T7) con los tiempos de 20 minutos (t2) y 60 minutos (t6)	50
Figura Ap.2. Interacción de la carga 40 mA (T2) y carga 120 mA (T6) con los tiempos de 30 minutos (t3) y 50 minutos (t5)	50
Figura Ap.3. Interacción de la carga 80 mA (T4) y carga 120 mA (T6) con los tiempos de 50 minutos (t5) y 60 minutos (t6)	51

INTRODUCCIÓN

El maíz (*zea mays* L.) es uno de los cereales más importantes utilizados por su importancia en la alimentación y a nivel industrial. A nivel mundial se producen cerca de 600 millones de toneladas por año con una producción promedio de más de 4 t/ha.

El maíz es originario de México como punto de partida para fijar la labor agrícola en Mesoamérica entre los años 5000 y 9000, esta información es con base en los hallazgos encontrados en Tehuacán, Puebla (Vázquez, 2004). Esta gramínea es de vital importancia en el mundo ya que es usado en diferentes formas, más que cualquier otro cereal; como alimento humano, animal y de uso industrial (Financiera Rural, 2011).

Los principales países productores, son Estados Unidos con cerca del 40 % del total mundial, seguido de China con el 18,2 %, por lo que corresponde los países de la UE-27 participan con el 7,8 % del total; Brasil contribuye con el 6 %, México y Argentina con 3 % cada uno (SIAP-SAGARPA 2010/11).

Como se mencionaba anteriormente México participa con el 3 %, que corresponde a la producción de poco más de 8 millones de hectáreas, con un rendimiento promedio de 2.8 t/ha, para sembrar esta superficie, considerando una densidad de siembra de 30 kg/ha, se requeriría 240,000 toneladas de semilla mejorada (SIAP, 2010).

Sin embargo el problema de México, es que no es autosuficiente a los requerimientos de semillas y la producción corresponde a grandes empresas multinacionales, privadas nacionales y dependencias de investigación pública. Siendo el sector privado el que acapara el 94 % del mercado nacional (USDA, 2008). Esto lleva a la falta de competitividad y eleva los costos de adquisición de este insumo, por lo que únicamente los grandes productores tienen acceso a ella, quedando los pequeños productores.

En un estudio realizado por Donnet *et al.* (2012), mencionan que México tiene un desafío clave para desarrollar el sector semillero, y es que la mayoría de los productores de maíz son pequeños productores y de bajos ingresos, que producen para el mercado y para su propio consumo; muchos usan el mismo grano como semilla y otros lo adquieren sin saber la calidad y el origen, lo que trae como consecuencia bajos rendimientos, poca capacidad germinativa y bajo vigor.

Turrent (2009), señala que una semilla mejorada contribuye hasta con un 60 % del rendimiento final, lo cual indica que es un insumo fundamental para lograr una buena producción, ya que la calidad fisiológica influye directamente en la germinación y vigor de la semilla.

Cuando una semilla adolece de calidad fisiológica, se refleja en bajas poblaciones en campo, además de estar expuestos de plagas y enfermedades, lo cual repercute en los rendimientos. Para solucionar en parte lo anteriormente mencionado se han desarrollado técnicas, como ejemplo indirectamente el tratamiento de semillas, hormonas, micorrizas, ácidos giberélicos, auxinas, y citoquininas, entre otras.

Actualmente se han empleado métodos como el uso de la electricidad sobre los sistemas vivientes y materiales biológicos principalmente; también campos magnéticos en los rangos superiores al campo magnético de la tierra (Ueno, 1996).

La aplicación de la electricidad es método físico, alternativo a los métodos químicos como tratamiento de las semillas, que es un método que previene al ataque de hongos e insectos principalmente y en algunos casos se agregan vigorizantes, por lo que la aplicación de cargas eléctricas presenta la ventaja de no ser invasivos y tóxicos para las semillas (Hernández *et al.* 2011).

En base a lo anterior, se llevó a cabo la presente de investigación con el propósito de evaluar de evaluar el efecto en la calidad de la germinación y el vigor, y así desarrollar una metodología para aplicar cargas eléctricas asemillas de maíz.

Objetivos

- ❖ Determinar el efecto de aplicaciones de diferentes cargas eléctricas y tiempos de exposición en la germinación y vigor de semillas de maíz.

Objetivos específicos

- ❖ Determinar el efecto de aplicación de cargas eléctricas a diferentes intensidades en la germinación y vigor.
- ❖ Determinar el efecto de la aplicación de cargas eléctricas a diferentes tiempos de exposición en la germinación y vigor.

Hipótesis

- ❖ Las cargas en diferentes rangos y tiempos de exposición, tendrá efecto positivo en la germinación y vigor de las semillas de maíz.
- ❖ Al menos una carga eléctrica tendrá influencia en la actividad metabólica de la semilla de maíz, que acelere el proceso de germinación y tenga mayor vigor.
- ❖ El tiempo de exposición de la semilla de maíz bajo carga eléctrica tiene influencia en el proceso de germinación y vigor.

REVISIÓN DE LITERATURA

En México el maíz es un cultivo que tiene un gran valor cultural, representando el origen de la vida en muchas de las cosmologías de los grupos indígenas de México y otros países de América Central (Vázquez, 2004). Sin embargo, aún y cuando se han tenido avances en el mejoramiento genético sobre el maíz, en el año 2009 en México se sembraron aproximadamente 8 millones de hectáreas de maíz de las cuales se estima que 6.5 millones se sembraron con semilla nativa de polinización libre y 1.5 millones con semilla híbrida (SIAP, 2010). La mayor parte de la superficie de siembra son pequeños propietarios, que usan semilla de baja calidad fisiológica y esto los ha llevado obtener bajos rendimientos de grano, que solo les alcanza para el autoconsumo y como semilla para el siguiente ciclo de siembra y, cuando no se tiene un buen ciclo y carecen de semilla, lo consiguen con los conocidos o vecinos sin saber si quiera la calidad en la que se encuentra y mucho menos la procedencia.

Para darle solución al problema de la falta de semillas mejoradas, Luna *et al.* (2012), mencionan que es importante promover esta producción en empresas pequeñas que garanticen la competencia en la distribución del insumo. Por el fuerte déficit nacional y la existencia de importaciones, que acentúan la dependencia hacia el exterior en materia de maíz, se recomienda fomentar la participación del Gobierno mediante programas que permitan incentivar e incrementar la producción de semilla mejorada.

Calidad fisiológica

La calidad de las semillas es un factor que influye en el rendimiento de la producción. Araya *et al.* (2007), por hacen mención que la calidad fisiológica juega un papel muy importante para el establecimiento de la planta en campo, y esta se logra con una oportuna fiscalización de su producción y cosecha en el campo, de un apropiado beneficio o proceso de la semilla, más un análisis de laboratorio.

Giraldo *et al.* (2000), hacen referencia que la madurez fisiológica de una semilla, llega cuando esta tiene la máxima cantidad de peso seco, máxima germinación, máximo vigor, sanidad y tienen un alto contenido de humedad y a partir de ese momento inicia un proceso irreversible de deterioro.

Herrera *et al.* (2006), por su parte, consideran que la calidad de la semilla depende fuertemente de las condiciones ambientales que prevalecen durante la formación de la misma, de la cosecha y el almacenamiento, en estas etapas sufren daños fisiológicos y genéticos que son los que interactúan en forma compleja y dinámica en el tiempo, afectando la capacidad de la semilla para germinar y su vigor.

Además las alteraciones bioquímicas que ocurren como consecuencia del deterioro de las semillas se traducen a reducción en el número de plantas normales, menor velocidad de germinación y emergencia en el campo un aumento en la susceptibilidad de las plántulas a factores ambientales adversos y la pérdida de vigor se manifiesta con mayor rapidez que el descenso de la germinación (Herrera *et al.* 2006).

Así mismo Ramakrishna *et al.* (1989), señalan que el vigor y la germinación son dos factores de calidad fisiológica que están muy relacionados y permiten hacer comparaciones entre semillas. El vigor mide con mayor eficiencia la capacidad que tiene una semilla de producir una plántula normal bajo condiciones de estrés, mientras que la germinación estima la capacidad de la semilla de producir plántulas normales bajo condiciones apropiadas para su desarrollo.

Germinación

García *et al.* (2006), definen a la germinación como el proceso principal de recuperación de la actividad biológica de la semilla, para que tenga lugar, es necesario que se den una serie de condiciones ambientales favorables como son: disponibilidad de agua, suficiente oxígeno que permita la respiración aerobia y, temperatura adecuada para los distintos procesos metabólicos y desarrollo de la plántula.

La AOSA (1983), indica que realizar una prueba de germinación o porcentaje de plántulas normales es importante en los programas de certificación de semillas como un indicador de la calidad fisiológica de los lotes, pues esta permite la máxima expresión del potencial de germinación.

Por su parte, Kameswara *et al.* (2007), mencionan que la prueba de germinación se realiza para determinar la proporción de las semillas de una accesión germinativa en condiciones favorables y producirá plántulas.

Vigor

La CATIE (2000), define al vigor como la suma total de aquellas propiedades que determinan el nivel de actividad y desempeño de la semilla durante la germinación y emergencia de plántulas. Las semillas que se

desempeñen bien son catalogadas como de alto vigor y aquellas que se desempeñan en forma pobre son llamadas de bajo vigor.

Jara (1996), señala que el vigor está relacionado con el rango de condiciones ambientales bajo las cuales germina una semilla que no está en latencia. Una semilla con poco vigor germina y la plántula se puede establecer solamente dentro de un rango reducido de condiciones ambientales o bajo condiciones ambientales especiales favorables. Mientras que una semilla de mucho vigor germinará en un amplio rango de condiciones y en las condiciones más desfavorables.

Sin embargo, Miranda y colaboradores (2002), afirman que muchas de las semillas no pueden germinar debido a distintos factores, tales como la impermeabilidad de su cubierta protectora, la inmadurez del embrión, la presencia de agentes inhibidores o la ausencia de luz y calor.

Tratamientos pregerminativos

Los tratamientos pregerminativos han sido utilizados para la vigorización de las semillas, acelerar y uniformar la germinación e incrementar el rendimiento de los cultivos.

Al respecto Cordero *et al.* (2003), comentan que para algunas especies el porcentaje de vigor y de germinación se mejora con un tratamiento

pregerminativo de la semilla, a la vez, se reduce el tiempo necesario para el inicio de la germinación. Para algunas especies, este tratamiento es indispensable para que haya germinación. Este proceso busca facilitar el ingreso de humedad para que empiece más rápidamente o promueva la germinación de la semilla.

Velarde (2010), especifica que existen en el mercado un sin número de productos sintéticos y compuestos similares a las hormonas naturales producidas por las plantas, así como algunos extractos de origen vegetal y marino que son empleados para aplicaciones exógenas.

Salinas *et al.* 1996), por su parte, asumen que el ácido giberélico, sólo o en combinación con otros reguladores de crecimiento vegetal ha sido empleado como promotor de la germinación y vigor en diversas semillas. Su aplicación se ha efectuado tanto en soluciones acuosas, como de otros solventes orgánicos (acetona, etanol, tolueno, entre otros).

Dentro del método químico se plantea la aplicación de varias sustancias químicas que neutralizan o eliminan los inhibidores de la germinación. Dentro de ellos el agua, el alcohol y la acetona permiten desechar los inhibidores que bloquean al metabolismo en las semillas, aumentando significativamente el porcentaje de germinación.

Dentro de las hormonas y estimulantes químicos pueden también romper la dormancia de las semillas; ellos quizás destruyen los efectos de algunos inhibidores. Todo este tipo de sustancias se emplean a diferentes concentraciones y tiempos de remojo, dependiendo de la especie de que se trate.

La electricidad como estimulante de la germinación

Jara (1996), describe a la prueba de conductividad en las semillas como una prueba que mide la integridad de las membranas celulares. Si las membranas están algo dañadas, ocurrirá una pérdida de los contenidos de la célula (como iones y carbohidratos) a la imbibición. Esto se manifiesta al incrementar la conductividad eléctrica del agua absorbida. Esta pérdida de los contenidos de la célula debilita la semilla y se crea un sustrato favorable para patógenos externos.

Actualmente existen estudios innovadores para el tratamiento de semillas, dentro de ellas podemos clasificar el uso de la electricidad, que es una forma de energía. La estructura del átomo consta de tres partículas fundamentales: el electrón el cual es la corteza y se compone de cargas eléctricas negativas (-), el protón y el neutrón conforman el parte del núcleo siendo el protón carga eléctrica positiva (+), junto a ella aparecen los neutrones que son partículas neutras; no poseen carga eléctrica, pero su masa es del mismo orden que del protón (Hermosa, 2005).

La corriente eléctrica se puede manejar como corriente alterna (CA) que se caracteriza porque su sentido de circulación va cambiando periódicamente, debido a que su polaridad se va alternando continuamente, es una corriente bidireccional. Y la corriente directa (CD) que se caracteriza porque su sentido de circulación no varía; es una corriente unidireccional (Hermosa, 1999).

Hill *et al.* (2006), indica que las membranas celulares tienen propiedades de resistencia eléctrica y capacitancia, lo que les permite mantener un voltaje (potencial de membrana) y regular el flujo de corriente a través de ellas. Las células tienen potenciales de membrana en reposo negativos en el interior. Las propiedades eléctricas pasivas de las membranas determinan como cambian los potenciales de membrana con el tiempo.

Aguilar (2001), menciona que la electricidad en los seres vivos está presente en todos los tejidos vivos y pueden ser seguras a 9 mA para hombres y 6 mA para mujeres, esto en el exterior del cuerpo (sobre la piel), considerándose que se pueden aplicar mayores cargas eléctricas en lugares específicas del cuerpo para la estimulación de músculos. Sus usos son diversos en la medicina humana como el marcapasos que se conectan a los músculos del corazón y aplican pulsos eléctricos, sincronización del disparo de células del corazón sustituyendo a los naturales, para estimular los músculos de las piernas; aunque en algunos casos se usan corrientes eléctricas altas, éstas sólo duran unos milisegundos.

Hilming *et al.* (2007), trabajaron con semillas de diferentes cultivares de maíz provenientes de 12 lotes adquiridos en distintos años, se estudió la relación entre la conductividad eléctrica y el pH del agua de remojo y la germinación y crecimiento de plántulas en invernadero. La altura de la planta, el peso seco del vástago y de las raíces mostraron diferencias significativas entre los lotes estudiados. La conductividad eléctrica se relacionó con los porcentajes de germinación de semillas sometidas a envejecimiento (la conductividad eléctrica sólo se usó como una determinación de la calidad de semillas), éstas conducen poca electricidad, mientras que para el pH no influyó en la germinación.

Se puede decir que actualmente la electricidad se está utilizando en diferentes áreas de investigación sobre todo en la medicina, para la estimulación de zonas específicas del cuerpo, ya que las proteínas que están en las membranas celulares tienen como función dar paso a moléculas con carga eléctrica, es decir, funcionan como conductores biológicos. Tomando en cuenta que las cargas eléctricas funcionan como estimulantes y para el caso de las semillas se usa como prueba de viabilidad. Se realizó el presente proyecto de investigación con el objetivo de evaluar el efecto que esta causa en la calidad fisiológica del maíz al aplicar diferentes rangos de electricidad y tiempos de exposición se la semillas a estas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo de investigación consistió en evaluar diferentes cargas eléctricas como promotores de germinación y vigor en semillas de maíz.

Localización

El presente trabajo se realizó en los laboratorios del Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Semillas (CCDTS) del Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, localizada a 25° 22' 41" latitud Norte, a una longitud Oeste de 101° 03' 00" y a una altitud de 1,743 msnm.

Material genético

Se utilizó semillas de maíz (*Zea mays* L.) variedad *Cafime*, proporcionada por el Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología en Granos y Semillas de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Equipo para aplicación de cargas eléctricas

El dispositivo para estimulación eléctrica para germinación de semilla de maíz se basa en la regulación del ciclo de trabajo de la señal senoidal proporcionada por la corriente alterna casera. El cuál fue diseñado por la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas de la Universidad Autónoma de Coahuila, la cual se hizo este trabajo en coordinación con ellos y participan en este trabajo.

Dispositivo Eléctrico

El sistema diseñado para la estimulación eléctrica para germinar semilla de maíz está basado en los siguientes requerimientos:

- ❖ Corriente eléctrica diseñada para un rango de 100 mA.
- ❖ Capacidad de manejar cargas variables de impedancia.

Y para su desarrollo se tomaron en cuenta consideraciones técnicas en base a la ley de Ohm (ley que vincula diferencia de potencial, intensidad de corriente y resistencia eléctrica), y con ello se observaron los requerimientos de voltaje, corriente y potencia necesarios para el diseño del prototipo.

El funcionamiento del circuito (figura 3.2) es el siguiente:

- ❖ La electrónica de control lee la señal de la línea para obtener una señal de sincronía.

- ❖ La señal de sincronía da el tiempo a un circuito que regula el tiempo de encendido de la señal. Este circuito enciende y apaga un dispositivo semiconductor conocido como TRIAC (tríodo de corriente alterna), que permite el paso de la corriente alterna.
- ❖ La salida se conecta a la celda con semilla.
- ❖ Se monitorea la corriente consumida hasta el valor deseado. Eso se hace con un multímetro comercial.
- ❖ Una simulación se presenta en la Figura 3.1, donde se observa el voltaje de (CA) donde se corta su ciclo de trabajo a la mitad. La señal en negro indica un voltaje con un ciclo de operación a la mitad. El ajuste de este ciclo de trabajo se logra ajustando una resistencia variable (R5 en el diagrama), y de esta manera se monitorea el valor de corriente requerido.

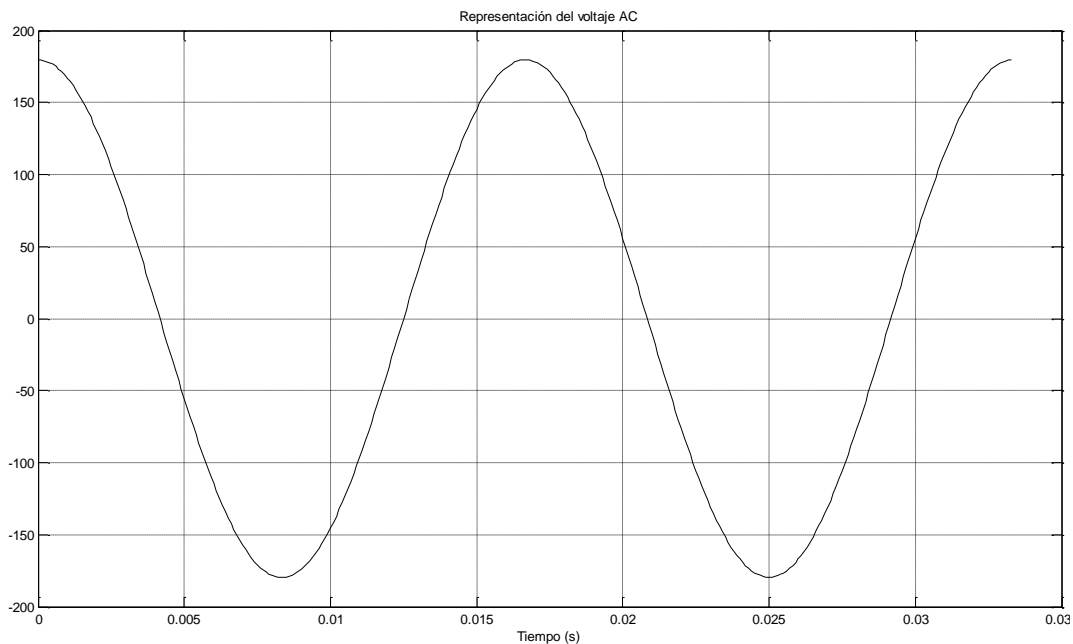


Figura 3.1. Representación del voltaje CA de 127V proporcionado por la CFE

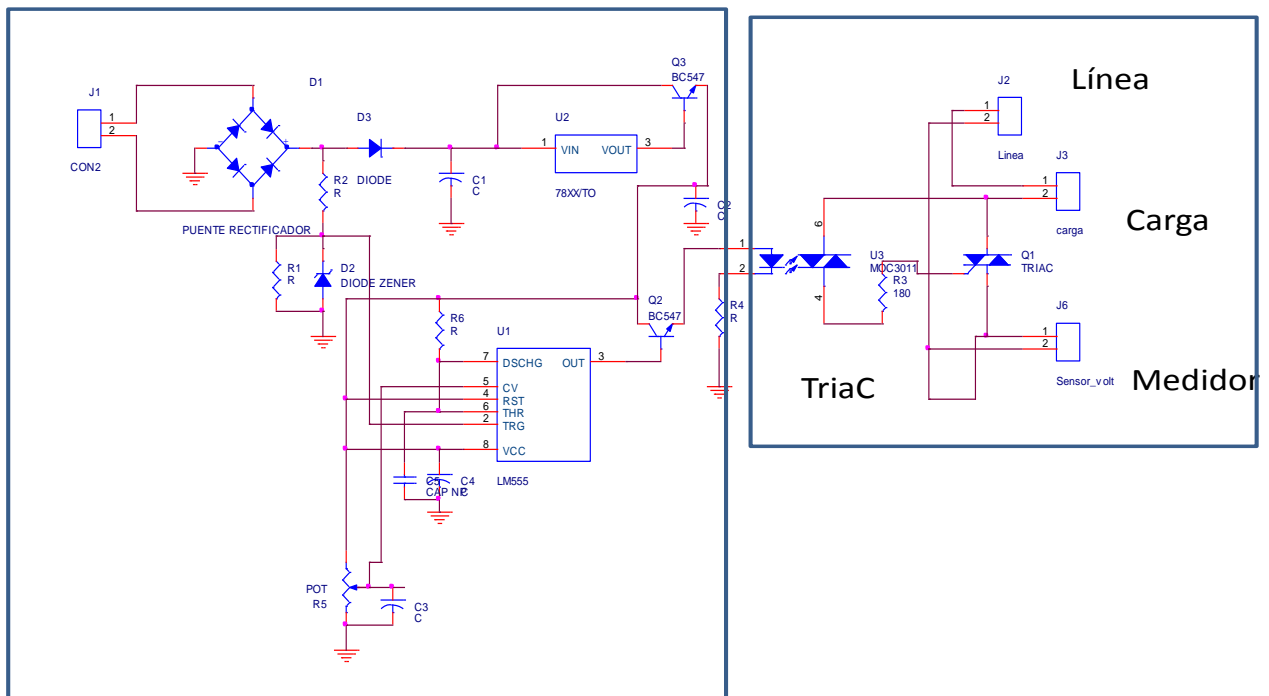


Figura 3.2. Diagrama del circuito electrónico del control de la aplicación de la corriente. Ochoa-García. 2024.

Funcionamiento del equipo utilizado: el cable de conexión a la corriente alterna va conectada al circuito eléctrico de 110V y 60 Hz, conectado un transformador (aparato eléctrico que por inducción electromagnética transfiere energía de uno o más circuitos, a uno o más circuitos a la misma frecuencia, aumentando y disminuyendo los valores de tensión y corriente eléctrica) para reducir el voltaje a 9 V, a partir del circuito necesario para obtener el control de las intensidades de cargas eléctricas aplicadas. El depósito de semillas, que es de plástico y en el fondo se le puso una lámina en donde se conecta la corriente positiva; en la parte superior del depósito se le colocó una tapa (móvil

por donde se depositaron las semillas, así también el llenado de agua) que también tiene una lámina suspendida a una distancia de 5cm de la tapa para que pueda hacer contacto con el agua y aquí se conecta la corriente negativa. En medio de la tapa lleva un orificio por donde se estuvo monitoreando la temperatura con un termómetro y la corriente de salida a las semillas se midió con un multímetro de uso comercial (figura 3.3).

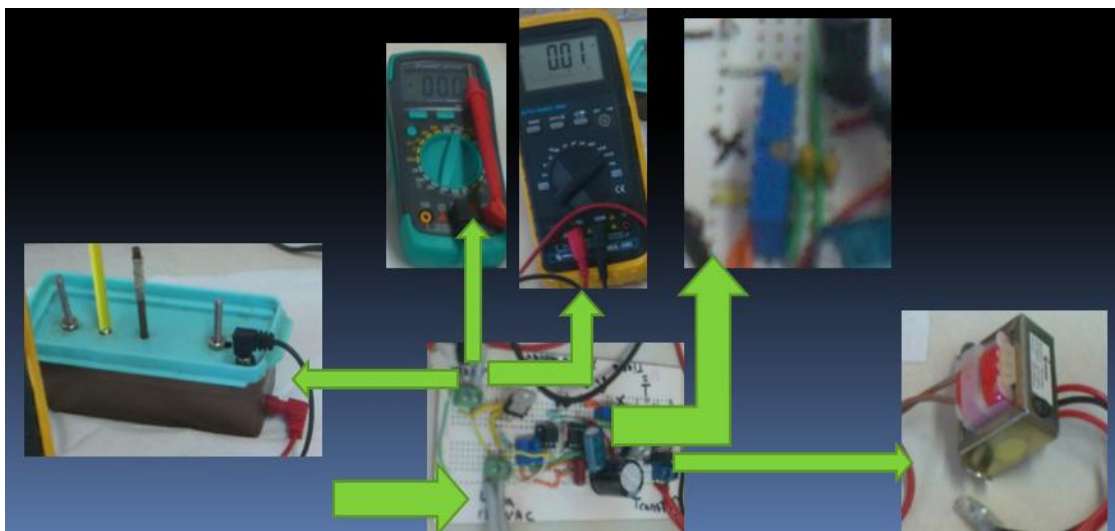


Figura 3.3 Funcionamiento del equipo utilizado.

En el anexo I, se describe las características técnicas que se tomaron en cuenta para el diseño del circuito eléctrico que se utilizó para la aplicación de las cargas eléctricas a semillas de maíz.

Tratamientos

Para establecer los rangos de las cargas eléctricas y los tiempos, se realizaron pruebas preliminares, aplicando diferentes intensidades de cargas eléctricas y diferentes tiempos de exposición a semillas de maíz, posteriormente se realizaron pruebas de germinación estándar a las semillas tratadas y se realizaron las evaluaciones correspondientes. De esta manera se pudo definir las cargas eléctricas y los tiempos de exposición evaluados (cuadro 3.1).

Cuadro 3.1 Identificación de los tratamientos aplicados a las semillas de maíz mediante cargas eléctricas y tiempos de exposición.

Identificación de las cargas	Valor de Cargas (miliAmpers mA)	Identificación de los tiempos	Tiempo de exposición (minutos)	Repeticiones
*T	0	t1	10	3
T1	20	t2	20	3
T2	40	t3	30	3
T3	60	t4	40	3
T4	80	t5	50	3
T5	100	t6	60	3
T6	120			3
T7	140			3
TOTAL	8		6	3

T= testigo; T1, T2, T3 T4 T5 T6 T7= cargas eléctricas; t= tiempo de exposición.

*El testigo se imbibió en agua destilada en los respectivos tiempos.

Variables evaluadas

Se evaluaron las respuestas y efectos de los diferentes tratamientos a través de la prueba de capacidad de germinación basada en los principios de una prueba de germinación estándar establecida en las reglas internacionales (ISTA, 2004); dentro de la prueba de capacidad de germinación se determinaron las variables: porcentajes de Plántulas Normales (PN), Plántulas Anormales (PA), Semillas sin Germinar (SSG), plántulas normales de Primer Conteo (PC) y Peso Seco (PS) de las plántulas normales consideradas estas últimas como vigor.

Capacidad de Germinación

Se sembrando tres repeticiones con 25 semillas por cada carga y tiempo de exposición eléctrica; considerando un testigo por tratamiento. La siembra se realizó sobre una hoja de papel de germinación “Anchor” previamente humedecido de 37.5 x 25.5 cm, posteriormente se cubrió con un segundo de igual condición se procedió a enrollar en forma de taco y se colocaron aleatoriamente en bolsas de polietileno dentro de una canasta y finalmente a una cámara germinadora marca Barnstead Lib-Line a una temperatura de 25° C ± 1 por siete días; donde se evaluaron el número de Plántulas Normales (PN), Plántulas Anormales (PA), Semillas sin Germinar (SSG) y se reportaron los resultados en porcentajes.

Vigor

Para la evaluación de vigor mediante las plántulas normales de Primer Conteo (PC), se determinó en la misma prueba de capacidad de germinación haciendo un primer conteo a los cuatro días después de siembra considerando aquellas plántulas que presentaron todas sus estructuras esenciales para ser una plántula normal y se reportó en porcentaje.

En la variable de Peso Seco (PS), se determinó una vez que se realizó la evaluación de la prueba de capacidad de germinación, las plántulas normales obtenidas se les eliminaron los restos de la semilla y se coloraron en bolsas de papel estraza por repetición, luego fueron llevadas a una estufa marca Shel Lab a 70 °C por 24 horas, una vez secas se enfriaron en un desecador por 15 minutos y se pesaron en una balanza analítica de 0.0001 g de precisión marca END HR-200 y el resultado se reportó en miligramos por plántula normal.

De las plántulas normales (PN) obtenidas en el ensayo de germinación se determinó el peso seco, en bolsas de papel en una estufa a 70 °C por 24 horas y el resultado se reportó en miligramos por plántula.

Análisis estadístico

Los datos se analizaron mediante un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial, 8 x 6 (7 cargas eléctricas y 6 tiempos de exposición) y el testigo. Se realizaron tres repeticiones por tratamiento.

El modelo es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + r_i + C_j + T_k + CT_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

Y_{ijk}=respuesta de la unidad experimental

μ=media general

r_i=repetición

C_j=carga eléctrica

T_k=tiempo de exposición eléctrica

CT_{jk}= carga eléctrica x tiempo de exposición

ε_{ijk}=error experimental

Los datos fueron analizados con el programa estadístico "R" versión 3.1.1. (2014). La comparación de medias se realizó por medio de la prueba de Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al aplicar cargas eléctricas a las semillas de maíz en los tiempos establecidos, se observaron variaciones de la temperatura del agua en donde se encontraban las semillas, esta variación se dio de acuerdo a la intensidad de la carga y el tiempo de exposición, las cargas con mayor intensidad y con más tiempo de exposición tuvieron valores más altos de temperatura (cuadro 4.1).

García *et al.* (2006), mencionan que la temperatura es un factor decisivo en el proceso de germinación, ya que influye sobre las enzimas que regulan la velocidad de las reacciones bioquímicas que ocurren en las semillas después de la rehidratación. Esta actividad se da entre un máximo y mínimo de temperatura, teniendo un intermedio óptimo. Cuando la temperatura es por encima de la máxima se puede anular el proceso de germinación. Si la temperatura rebasa los 40 °C las semillas se desnaturalizan (Posada, 2005).

Cuadro 4.1. Comportamiento de las temperaturas de acuerdo a la carga eléctrica y tiempo de aplicación.

Tratamiento	Cargas eléctricas (miliAmpers mA)	Tiempos de exposición en minutos											
		10		20		30		40		50		60	
		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
T	0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
T1	20	20	21	20	21	20	23	20	23	20	25	20	26
T2	40	20	22	20	22	20	23	20	24	20	25	20	27
T3	60	20	23	20	24	20	25	20	26	20	28	20	32
T4	80	20	24	20	27	20	28	20	29	20	31	20	35
T5	100	20	25	20	29	20	32	20	35	20	36	20	39
T6	120	20	25	20	32	20	35	20	36	20	41	20	41
T7	140	20	28	20	36	20	39	20	44	20	45	20	45

A=temperatura inicial y B= temperatura final.

Un estudio realizado por, Sharma (1976), observó los efectos interactivos de temperatura (5-40 °C) con potencial matricial y osmótica en las características de germinación de tres especies de plantas semiáridas, las potenciales MATRIC se simularon por soluciones acuosas de polietilenglicol (mol. En peso. 20000) y sus efectos fueron comparados con los de potencial osmótico creado por soluciones de cloruro de sodio. El estudio obtuvo que las tasas de germinación de las especies disminuyeron a medida que disminuye el potencial de agua, también aumentaron con el aumento de la temperatura, pero las germinaciones finales fueron más altas a temperaturas medias de 20 a 25 °C.

En los resultados del análisis de varianza (cuadro 4.2), tuvieron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para la fuente de variación cargas eléctricas en la variable PN (germinación), plántulas anormales (PA), plántulas normales en el primer conteo (PC) y significativas ($P \leq 0.05$) en peso seco (PS). Para la fuente de variación cargas eléctricas por tiempo de exposición se encontraron diferencias altamente significativas en la variable plántulas normales en el primer conteo (PC).

Cuadro 4.2. Cuadrados medios del análisis de varianza para las pruebas de calidad fisiológica de semillas de maíz.

Fuente de Variación	G.L.	CAPACIDAD DE GERMINACIÓN			VIGOR	
		PN (%)	PA (%)	SSG (%)	PC (%)	PS (mg/P)
Carga	7	158.19**	154.63**	55.82 NS	158.48**	96.40*
Tiempo	5	4.96 NS	24.64 NS	25.58 NS	59.16 NS	60.48 NS
Carga*tiempo	35	82.70 NS	49.66 NS	91.22 NS	82.31**	38.61 NS
Error	96	55.02 NS	54.31	60.88	40.01	47.67
Total	143	300.87	283.26	233.52	340.00	243.17
C.V %		10.52	49.88	80.43	9.99	9.00

*, **= Niveles de significancia al 0.05, 0.01 respectivamente; NS = No significativo; GL = Grados de libertad; PC= Plántulas normales al primer conteo; PN = Plántulas normales al segundo conteo; PA = Plántulas anormales; SSG = Semillas sin germinar; PS = Peso seco de plántula (mg/Plántula).

En los resultados de la comparación de medias (cuadro 4.3) entre las cargas aplicadas en la prueba de capacidad de germinación, la variable plántulas normales, tuvieron diferencias significativa, los mejores resultados lo tuvieron las cargas T5 y T6 con valores de 90 % respectivamente y T4 con 89.55 %, estas fueron numéricamente superiores al testigo que tuvo 88.88 % pero estadísticamente iguales. Los valores más bajos lo tuvieron T7 con 84 % y T1 con 83.11%. Lo que se puede considerar que la carga más baja aplicada de 20 mA, (T1) no es un valor que estimula adecuadamente la germinación, mientras que la de mayor intensidad eléctrica inhibe este proceso y muestra que si se tiene efecto en la aplicación de las cargas eléctricas.

En la variable plántulas anormales (cuadro 4.3), se tienen diferencias entre las cargas, T5 y T6 tuvieron 6 % y T4 6.22 % estos forman el grupo que mejor se comportó y superaron numéricamente al testigo; los peores resultados se encuentran en el grupo T1 que tiene 12.66 % de plántulas anormales. Por lo que T1 se puede descartar para posteriores estudios ya que no muestra efecto positivo para la evaluación de la capacidad de germinación.

Similar a lo estudiado por, Moon-Chung (2000), al evaluar la germinación en semillas de tomate (*Lycopersicon esculentum*) aplicando corriente alterna para generar campos eléctricos de 4 kV/cm, 6 kV/cm, 8 kV/cm, 10kV/cm y 12 kV/cm L.) por un periodo de tiempo de 15, 30, 45, 60, 75 y 90 segundos. Los resultados que obtuvieron fueron que las cargas de mayor intensidad tuvieron mejores resultados en los periodos cortos de de exposición (15 y 30 segundos)

y los de menor intensidad mostraron mejores resultados para tiempos de exposición de 45 y 60 segundos, mientras que la más alta evaluada, presenta la mejor germinación en 15 segundos y posteriormente decae, lo que se considera que las intensidades mayores a 12 kV/cm inhiben la germinación.

Murr (1965) menciona, que la influencia fisiológica del crecimiento de las plantas en el entorno de un campo eléctrico prevalece en todo momento y en todas partes. Esta comunicación muestra que suficientemente altos campos eléctricos tienen un efecto definitivo en el crecimiento vegetal y la respuesta de crecimiento.

Blackman (1924), estudio por 6 años la aplicación de cargas de alta tensión de 0.5 y 1.0 miliamperios a cultivares de trigo, cebada y trébol-heno en campo, colocando alambres finos estirados encima del cultivo a una altura de 7 pies con una tensión de 40 a 80 kV aplicando 6 horas por día, tres en la mañana y tres en la tarde. Observó que tuvo que el modo de acción de la corriente eléctrica se daba en un aumento de del crecimiento del cultivo y varios de los cultivos de campo electrificados presentaron un tinte de verde más profundo que las de control.

Para la variable semillas sin germinar no tuvo diferencias significativas, esto prueba que los rangos evaluados no afectan la actividad metabólica de las semillas durante el proceso de germinación.

Como se puede observar las cargas eléctricas de 80, 100 y 120 mA fueron superiores al testigo en dos de las tres variables evaluadas en capacidad de germinación, lo cual indica que si hay un efecto positivo en la aplicación de las cargas eléctricas.

En la comparación de medias de la prueba de vigor, en la variable plántulas normales en el primer conteo, se puede observar que la carga T6 obtuvo 86.22 %, siendo el mejor estadísticamente, seguido por los grupos T4 con 85.55 % y T5 con 84.88 %, estos tratamientos superaron al testigo, lo que se puede ver el efecto que causa la aplicación de las cargas eléctricas aplicadas, los peores valores obtenidos los encontramos en T1 que tuvieron 76.88 % (cuadro 4.3).

Para la otra variable de vigor, peso seco (cuadro 4.3), la carga T4 fue el tuvo mejor valor con 80.23 mg/P, seguido numéricamente por T5 que tuvo 78.05 mg/P, estos dos tratamientos superaron al testigo que tiene 76.59 mg/P, el peor valor obtenido se encuentra en la carga T6 con 72.70 mg/P. Confirmando las diferencias que existen a consecuencia de la aplicación de la cargas eléctricas.

Difiere a lo obtenido por Okumura *et al.* (2013), al estudiar semillas de rábano (*Raphanus sativus*) aplicando corriente continua y sin campos eléctricos, tuvieron que las plantas tratadas, mejoraron la tasa de germinación,

aumentaron la longitud y el peso fresco de la muestra, sin embargo el peso final no beneficia a la plántula ya que después de la eliminación del agua, el peso fue menor a la de la muestra no sometida a campos eléctricos. Lo que indica que solo aumenta la elongación y absorción de agua y fomenta el consumo de las sustancias almacenadas de las semillas.

Esto puede llevar a tener un efecto positivo en campo ya que al quedarse sin nutrientes de la semilla rápidamente las raíces empezarían a alimentarse de los nutrientes que le proporciona el suelo.

Tanto en la evaluación de la capacidad de germinación, como en la evaluación del vigor, las cargas de 80, 100 y 120 mA presentaron valores constantes que superaron numéricamente al testigo, marcando claramente el efecto que tiene la aplicación de las cargas eléctricas.

Cuadro 4.3. Comparación de medias para las pruebas de calidad fisiológica de semillas de maíz en la aplicación de cargas eléctricas.

CARGA	CAPACIDAD DE GERMINACION			VIGOR	
	PN %	PA %	SSG %	PC %	PS mg/P
T	88.88 a	7.11 ab	4.00 a	84.66 ab	76.59 ab
T1	83.11 b	12.66 a	4.44 a	76.88 c	78.72 ab
T2	86.88 ab	8.22 ab	4.66 a	80.22 abc	75.87 ab
T3	85.55 ab	8.88 ab	5.55 a	78.88 bc	76.293 ab
T4	89.55 a	6.22 b	4.22 a	85.55 ab	80.23 a
T5	90.00 a	6.00 b	4.00 a	84.88 abc	78.05 ab
T6	90.00 a	6.00 b	4.00 a	86.22 a	72.70 b
T7	84.00 b	9.11 ab	6.88 a	79.77 abc	75.20 ab
Media	87.25	8.02	4.72	82.13	76.70
DMS	7.66	7.61	8.05	6.53	7.13

Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey α 0.05 %); PNPC= Plántulas normales al primer conteo; G = Germinación = Plántulas normales; PA = Plántulas anormales; SSG = Semillas sin germinar; PS = Peso seco de plántula (miligramos por plántula).

Se obtuvieron resultados altamente significativas para la fuente de variación carga por tiempo en la variable plántulas normales en el primer conteo y con los valores obtenidos (cuadro 4.4) se calculó el punto de interacción mediante la igualdad de las ecuaciones de las rectas obtenidas y así se obtuvo el valor exacto.

La primera interacción se da en 81.16 % de plántulas normales PC en 36.52 minutos (cuadro 4.4). A partir del punto de interacción se puede observar (figura A.1) que para la carga T4 se puede considerar más tiempo de estimulación con cargas eléctricas, mientras que para T7 es necesario disminuir el tiempo de exposición, esto se le puede atribuir a la temperatura ya que entre más alta sea la intensidad eléctrica y mayor el tiempo de exposición, la temperatura aumenta considerablemente (cuadro 4.1).

El segundo punto de interacción involucra las cargas T2 y T6 que coinciden en el valor de las plántulas normales PC a 90.67 % en un tiempo de 42.01 minutos (cuadro 4.4), en ninguna de las cargas afecta los valores de plántulas normales en el PC (figura A. 2) lo que da un margen más amplio en el tiempo de estimulación y se puede observar que la temperatura está en función de la intensidad de la carga aplicada y el tiempo de exposición.

El tercer punto de interacción se da entre las cargas T4 y T6 con 88.46 % de plántulas normales en el PC y 55.65 minutos (cuadro 4.4), para la carga T4 se observa un claro efecto positivo en las plántulas normales en el PC, caso contrario con la carga T6 que decae.

El efecto negativo observado en las interacciones puede ser debido a que las cargas eléctricas con mayor Amperaje tienden a requerir mayor potencia para ser generadas (Scherz P. 2006), esto se convierten en calor (Cuadro 4.1) y es un factor que afecta directamente a las propiedades de la semilla. O como

antes se mencionó por ser de altas intensidades eléctricas y aplicarlas por más tiempo inhiben el proceso de germinación.

Resultados similares a los obtenidos por Moon-Chung (2000), que al aplicar campos eléctricos de 4 kV/cm, 6 kV/cm, 8 kV/cm, 10kV/cm y 12 kV/cm por un periodo de tiempo de 15, 30, 45, 60, 75 y 90 segundos a semillas de tomate (*Lycopersicon esculentum* L.), las evaluaron a los 4, 5, 6, 7, 8 y 9 días y observaron que al cuarto día la germinación empezó a aumentar gradualmente, sin embargo la mayor germinación se dio entre los días 5-7 cuando aplicaron campos eléctricos de 4 y 6 kV/cm en un tiempo de 30 segundos, los campos eléctricos de 8 y 10 kV/cm tuvieron la mejor germinación a los 30 y 45 segundos

En general las cargas a partir de las cargas de 80 100 y 120 mA, son las que se tuvieron mayores efectos, aunque se puede observar que las cargas de mayor intensidad eléctrica presenta mejores resultados en los en tiempos de exposición bajos, mientras que para las de menor intensidad, presentaron mejores resultados en tiempos de exposición altos. Esto puede estar relacionado con la temperatura (cuadro 4.1), ya que las primeras, aunque tuvieron mejores resultados en tiempos bajos de exposición, éstos son relativamente bajos con respecto a las de menor intensidad.

Lo anterior se puede mejorar introduciendo al diseño de aplicación de cargas eléctricas un sistema de enfriamiento como lo hicieron Jiménez *et al.* (2013), para la germinación de semillas de ají (*Capsicum sinense*) estimuladas electromagnéticamente, con un sistema de refrigeración con agua para regular la temperatura durante el proceso de estimulación.

Cuadro 4.4. Puntos de interacción en la aplicación de cargas eléctricas por tiempos de exposición a semillas de maíz.

CARGA	TIEMPO	PC %	PC % - TIEMPO (minutos)
T4	t2-t6	70.67-96.00	81.16 % - 36.52
T7	t2-t6	86.67-73.33	
T2	t3-t5	90.67-90.67	90.67 % - 42.01
T6	t3-t5	82.67-96.00	
T4	t5-t6	78.67-96.00	88.46 % - 55.65
T6	t5-t6	96.00-82.67	

CONCLUSIONES

Este es un proyecto inicial que, además de obtener información sobre los efectos causados en la aplicación de las cargas eléctricas a las semillas de maíz, con estudios preliminares se buscó establecer un rango en las cuales no se vieran afectadas las semillas. Se encontró poca información con respecto al tema, pero se lograron los objetivos planteados.

La estimulación con cargas eléctricas a semillas de maíz tiene efecto en la capacidad de germinación y vigor, mostrando diferencias significativas para 4 de las 5 variables evaluadas. Por lo que de acuerdo a los resultados obtenidos se puede recomendar un rango de estimulación de 80 a 120 mA, por ser las cargas que mejores resultados tuvieron y fueron más constantes.

El tiempo de exposición de las cargas eléctricas a semillas de maíz, no tuvo influencia en ninguna de las variables evaluadas. Sin embargo, para las interacciones se pudo observar que las cargas de mayor intensidad a mayor tiempo de exposición reduce la calidad de germinación de las semillas.

Se recomienda realizar un sistema de enfriamiento para poder trabajar por más tiempo con las cargas eléctricas antes recomendadas ya se observó que a mayor carga eléctrica genera mayor calor. Lo que afecta a la semilla en el proceso de germinación.

LITERATURA CITADA

Aguilar M. 2001. Bioelectromagnetismo: Campos Eléctricos y Magnéticos y Seres Vivos. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid, España. 148 p.

Araya R. y Hernández J. 2007. Protocolo para la producción local de semilla de frijol. Alajuela, Costa Rica. Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno. 42 p.

ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS (AOSA). 1983. Seed vigour testing handbook. Contribution No. 32 to the handbook on seed testing. 88 p.

CATIE, Turrialba. 1996. Proyecto Semillas Forestales. Biología de semillas forestales. Costa Rica Materiales de Enseñanza (CATIE), (36)

Blackman, V. H. 1924. Field experiments in electro-culture. The Journal of Agricultural Science. Vol. 14, No.2. pp. 240-267.

CATIE, Turrialba. 2000. Proyecto de Semillas Forestales. Danida Forest Seed Centre, Turrialba. Costa Rica. Técnicas para la germinación de semillas forestales. Serie Técnica. Manual Técnico (CATIE), (39).

Cordero, J. y Boshier, D. 2003. Arboles de Centroamérica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. pp. 298.

Donnet L., López D., Arista J., Carrion F., Hernandez V. y González A. 2012. El potencial de mercado de semillas mejoradas de maíz en México. México. CIMMYT. 21 p.

Financiera Rural. 2011. Monografía de los Subproductos de la Molienda de Maíz (Gluten, Germen, Fibra). Dirección General Adjunta de Planeación Estrategia y Análisis Sectorial. 9 p.

García F., Caselles J. y Santamarina M. 2006. Introducción al funcionamiento de las plantas. Ed. UPV. Valencia, España. pp. 163-164.

García S. J. A. y Ramírez J. R. 2014. El mercado de la semilla mejorada de maíz (*Zea mays* L.) en México: análisis del saldo comercial por entidad federativa. Revista fitotecnia mexicana, Vol.37 Num.1. pp. 69-77.

Giraldo G., Méndez M. y Franco J. 2000. Manual para el Manejo Pre y Poscosecha de Semilla producida de manera Artesanal bajo los Modelos de Pequeñas Empresas de Semilla. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Tegucigalpa Honduras. 59p.

Hermosa, A. 1999. Principios de Electricidad y Electrónica II. Ed Marcombo. Barcelona, España. pp. 120-122.

Hermosa, A. 2005. Principios de Electricidad y Electrónica I (2a Edición). Marcombo. Barcelona, España. pp. 17-21.

Hernández M. y Michtchenko A. 2011. Efectos de Activación e Inhibición en el Crecimiento del Coleoptilo y del Sistema Radicular de Semillas de Trigo Provocados por Radiación Láser Ultravioleta. Información tecnológica, Vol. 23, Núm. 2. pp. 93-98.

Herrera J., Alizaga R., Guevara E. y Jiménez V. 2006. Germinación y crecimiento de la planta. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. pp. 36-39.

Hilming V. y Méndez, J.R. 2007. Relación de la calidad fisiológica de semillas de maíz con pH y conductividad eléctrica. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo, Vol. 39, Núm. 2. pp. 91-100.

Hill, W. R., Gordon, A. y Anderson, M. 2006. Fisiología Animal. Ed. Médica Panamericana. Madrid, España. pp. 330-340.

International Seed Testing Association (ISTA). 2004. International Rules for Seed Testing. International Seed Testing Association, Zurich, Switzerland. 243 p.

Jiménez C., Méndez C., Daza M. y Zúñiga O. 2013. Germinación de semillas de ají (*Capsicum sinense*) estimuladas electromagnéticamente. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, Vol. 7, Núm.1. pp. 46-54.

Luna B., Hinojosa Ma. A, Ayala O., Castillo F. y Mejía A. 2012. Perspectivas de desarrollo de la industria semillera de maíz en México. Revista Fitotecnia Mexicana Vol. 35, núm. 1. pp. 1-7.

Miranda, J. M., Sebastián, J. L., Sierra, M. y Margineda, J. 2002. Ingeniería de Microondas. Técnicas experimentales. Pearson educación. Madrid, España. pp. 14-15.

Moon, J. D., & Chung, H. S. 2000. Acceleration of germination of tomato seed by applying AC electric and magnetic fields. Journal of electrostatics. Vol. 48, No. 2. pp. 103-114.

Moreno, E. 1984. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. UNAM. México, D.F. pp. 240-242.

Murr L.E. 1965. Plant growth response in electrostatic field. Nature 207 . pp1177-1178.

Paliwal, R. L., Granados, G., Lafitte, H. R., Violic, A. D. y Marathée, J. P. 2001. El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción. No. 28. Food & Agriculture Org.

Okumura, T.; Muramoto, Y.; Shimizu, N. 2013. Polarity effect on growth acceleration of arabidopsis thaliana by DC electric field. Solid Dielectrics (ICSD), IEEE International Conference. pp. 591 – 594.

Posada J. O. S. 2005. Fundamentos para el establecimiento de pasturas y cultivos forrajeros. Universidad de Antioquia. Colombia. pp 132-133.

Ramakrishna B. y Díaz A. 1989. La tecnología del cultivo de soya: Manejo de suelos, evaluación de genotipos y producción de semillas. Boletín Técnico Núm. 4. IICA-BID-PROCANDINO. Quito, Ecuador. 80p.

Salinas Y. y Molina J. 1996. Efecto del ácido giberélico y de la temperatura sobre la calidad fisiológica de semillas de maíz. Información Tecnológica, Vol., Núm. 2. 43 p.

Sharma, M. L. 1976. Interaction of Water Potential and Temperature Effects on Germination of Three Semi-arid Plant Species. Agron. J. 68: pp. 390–394.

SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2010). Estadísticas de Producción de Semilla del Año Agrícola 2009. Disponible en: http://www.siap.gob.mx/aagricola_siap/icultivo/index.jsp (agosto 2014).

SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2011. Cierre de la producción agrícola por cultivo. Disponible en: http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=215 (Mayo 2013).

Turrent, F.A. 2009. El potencial productivo del maíz. Ciencias, Vol. 92, Núm. 93. pp. 126-129.

Ueno S. 1996. Biological Effects of Magnetic and Electromagnetic Fields. A division for plenum Publishing Corporation. New York, USA. pp 26-31.

Vázquez, M., Gómez, C. y Lugo, C. 2004. Historia de México: de la época prehispánica a la actualidad: enseñanza básica. Ed. Limusa . pp. 41-42.

Velarde B. 2010. Germinación de semillas de cítricos con hormonas vegetales y sintéticas. Tesis, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán, México. 47p.

ANEXO I
(Descripción del dispositivo eléctrico)

Descripción del sistema de estimulación eléctrica para germinación de semilla de maíz.

Dr. Raúl Ochoa Valiente. M. C. Luis Antonio García Trujillo.

F. C. F. M. UAdeC.

Introducción:

Se presenta un reporte del funcionamiento de un dispositivo para estimulación eléctrica para germinación de semilla de maíz. Este se basa en la regulación del ciclo de trabajo de la señal senoidal proporcionada por la corriente alterna casera. Se explica el funcionamiento y desarrollo teórico del dispositivo que se encuentra en funcionamiento en la colaboración con la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Dispositivo Eléctrico:

El sistema diseñado para la estimulación eléctrica para germinar semilla de maíz está basado en los siguientes requerimientos:

- ❖ Corriente eléctrica de 100 mA.
- ❖ Capacidad de manejar cargas variables de impedancia.

El desarrollo del dispositivo requirió las siguientes consideraciones técnicas.

En base de la ley de Ohm descrita en la siguiente ecuación:

$$V = IR \quad (1)$$

donde V [volt] es el potencial eléctrico, conocido como voltaje, I [ampere] es la corriente eléctrica y R [Ohm] la resistencia eléctrica, es posible determinar la corriente a la cual se somete una carga (R) bajo un potencial. (V), de la forma $I = V / R$. En principio, el desarrollo de una fuente de corriente es imposible debido a que es un elemento teórico de la teoría de circuitos 0. Para que exista corriente, es necesario que un circuito sea cerrado, mientras que, una diferencia de potencial puede existir sin que esta condición sea necesaria. Físicamente, existen fuentes de voltaje de corriente directa (DC) y de corriente alterna (AC). Como ejemplo de fuentes de corriente directa se tienen las baterías comerciales o de automóvil, mientras que, el voltaje de corriente alterna se presenta en las tomas comerciales caseras (enchufes).

Una medida de la capacidad de las fuentes es la potencia que pueden manejar. La potencia P se calcula como:

$$P = IV \quad (2)$$

donde las unidades están dadas en Watts [W]. Estas unidades indican la capacidad de la fuente para realizar trabajo. En teoría, si a una fuente de 10 Volts se le colocara una carga de 1 Ohm (Ω), se podría considerar que hay una corriente de 10 amperes, y un consumo de 10 Watts. En términos reales, una fuente de voltaje que tenga una capacidad similar puede encontrarse en el acumulador de un automóvil, y tal cantidad de potencia es una cantidad muy grande, en términos prácticos. Si se conectara un elemento de acuerdo esas cantidades, es posible que disipe una cantidad de calor muy grande, y el elemento resistivo se quemara.

Para el germinador de semilla de maíz, se midió inicialmente una celda húmeda con 75 semillas de maíz, indicando una impedancia o resistencia de 531 Ω . Considerando un requerimiento de 100 mA de corriente, el voltaje para lograr el propósito sería

$$V = 100mA \times 531\Omega = 53100mA \cdot \Omega = 53.1V \quad (3)$$

De esta manera, se observó que se requeriría una fuente de esa capacidad de voltaje y corriente, con una potencia de 5.31 Watts. Esta capacidad de potencia es muy difícil de lograr utilizando baterías comerciales.

La alternativa propuesta es utilizar corriente alterna y alterar su ciclo de funcionamiento.

El voltaje con corriente alterna proporcionado por la Comisión Federal de Electricidad se indica en 110 – 127 V_{AC}, dependiendo de las condiciones de las líneas, y se indica que tiene una corriente de 30 amperes, suficiente para la iluminación y funcionamiento de múltiples aparatos en hogar e industria. La potencia máxima suministrada es de 3.81 kiloWatts. El valor de 127 Volts indicado es el voltaje rms (root mean square, por sus siglas en inglés). Esto quiere decir que es un voltaje de AC equivalente a un voltaje DC.

El cálculo del voltaje rms se calcula como 0:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (V_{AC})^2 dt} \quad (4)$$

donde T es el período de la señal de corriente alterna en segundos y V_{AC} es el voltaje de corriente alterna. La electricidad proporcionada tiene una frecuencia de 60 Hz. El periodo de una señal es el inverso de su frecuencia, por lo que

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{60Hz} = 0.01666s \quad (5)$$

La función V_{AC} puede ser representada entonces como:

$$V_{AC} = V_p \cos(2\pi(60Hz)t) \quad (6)$$

Al sustituir en la ecuación (4)

$$\begin{aligned}
 V_{rms} &= \sqrt{60\text{Hz} \int_0^{0.0166\text{s}} V_p^2 \cos^2(120\text{Hz}\pi t) dt} = \sqrt{60\text{Hz} V_p^2 \int_0^{0.0166\text{s}} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos(240\text{Hz}\pi t) \right) dt} = \\
 &= \sqrt{60\text{Hz} V_p^2 \left(\frac{t}{2} - \frac{240\text{Hz}\pi}{2} \sin(240\text{Hz}\pi t) \right) \Bigg|_0^{0.0166\text{s}}} = \\
 &= \sqrt{60\text{Hz} V_p^2 \left(\frac{0.0166\text{s}}{2} - 0 - \left(\frac{240\text{Hz}\pi}{2} (\sin(240\text{Hz}\pi(0.0166\text{s})) - \sin(0)) \right) \right)} = \\
 &= \sqrt{60\text{Hz} V_p^2 \left(\frac{0.0166\text{s}}{2} \right)} = \sqrt{\frac{V_p^2}{2}} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} = \\
 &= 0.7071 V_p
 \end{aligned}$$

(7)

El voltaje pico real para una línea de 127 V_{AC} es en realidad V_p = 179.6

Volts como se presenta en la siguiente figura.

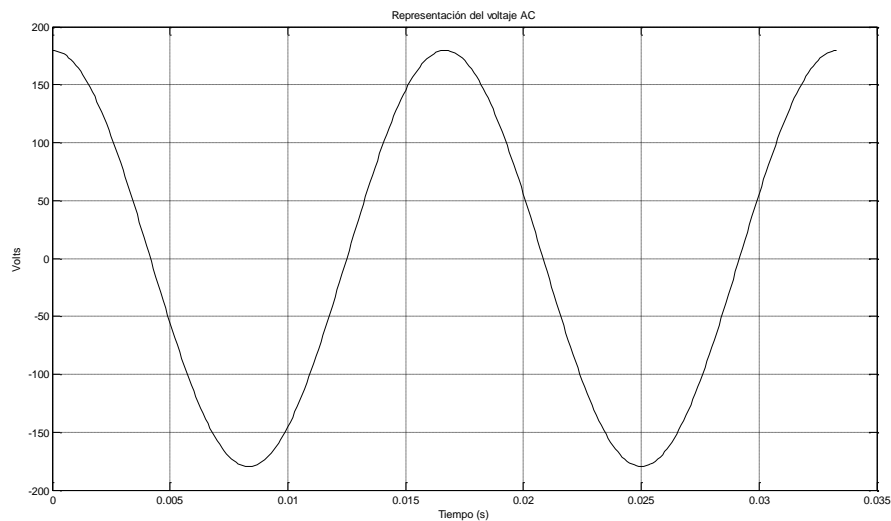
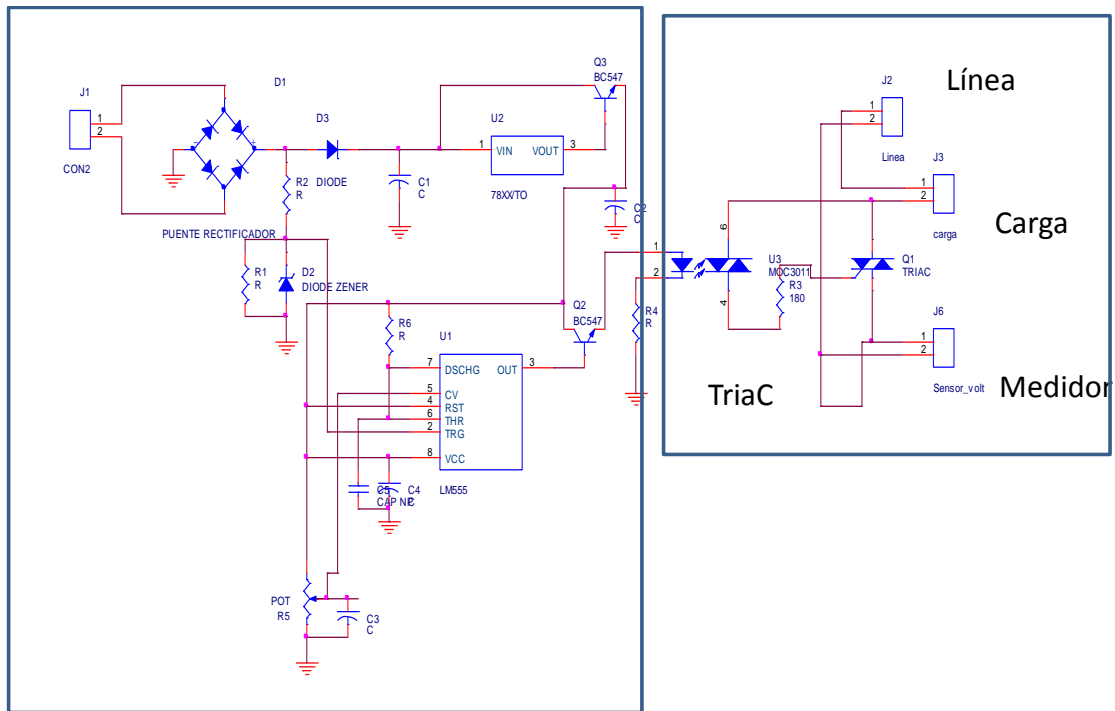


Figura A.1. Representación del voltaje AC de 127V_{AC} proporcionado por la CFE.

La propuesta realizada requiere cortar el ciclo de trabajo de una señal de AC utilizando electrónica y dispositivos semiconductores.

El circuito realizado tiene el diagrama presentado en la Figura A. 2 a continuación.



Electrónica de control

Figura A.2. Electrónica de Control.

El funcionamiento del circuito es el siguiente:

- ❖ La electrónica de control sensa la señal de la línea para obtener una señal de sincronía.
- ❖ La señal de sincronía da el tiempo a un circuito que regula el tiempo de encendido de la señal. Este circuito enciende y apaga un dispositivo semiconductor conocido como TRIAC, que permite el paso de la corriente alterna.
- ❖ La salida se conecta a la celda con semilla.

- ❖ Se monitorea la corriente consumida hasta el valor deseado. Eso se hace con un multímetro comercial.

Una simulación se presenta en la Figura A. 3, donde se observa el voltaje de AC donde se corta su ciclo de trabajo a la mitad. La señal en negro indica un voltaje con un ciclo de operación a la mitad. El ajuste de este ciclo de trabajo se logra ajustando una resistencia variable (R5 en el diagrama), y de esta manera se monitorea el valor de corriente requerido.

El valor de corriente se obtiene de integrar esta señal de acuerdo con (4), lo que presenta una disminución del voltaje DC equivalente.

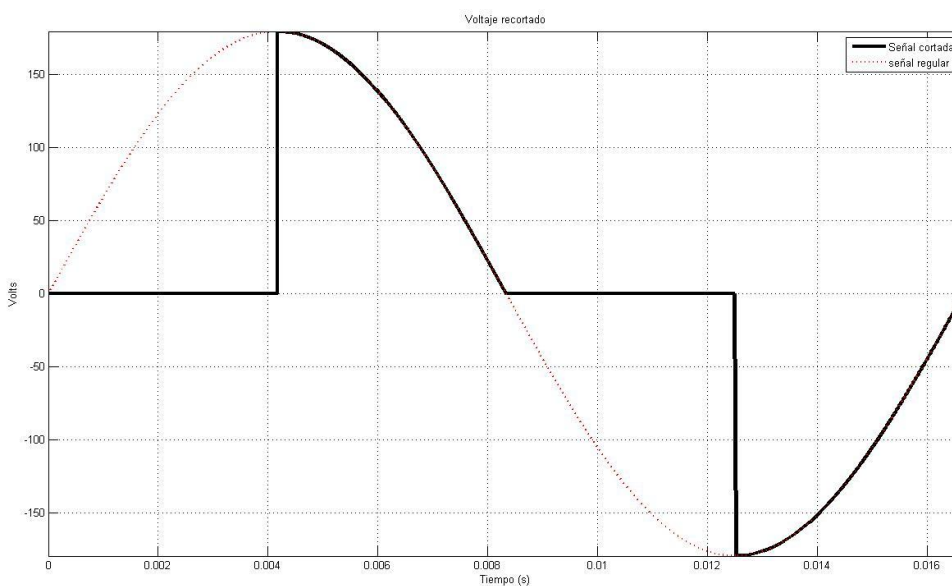


Figura A.3. Señal de voltaje AC recortada en su ciclo de trabajo.

Conclusiones:

Este es un trabajo en desarrollo. El primer prototipo está en funcionamiento y evaluación. Se encuentra en una siguiente etapa de diseño y mejoramiento donde se espera incluir un control automático para cambios en la resistencia que se han reportado.

Bibliografía

[1]. "Análisis de Circuitos en Ingeniería", Hayt, William, Kemmerly Jack E., Durbin Steven M. 6ª edición McGraw Hill.

[2]. "Practical Electronics for Inventors", Scherz Paul. 2ª Edición. McGraw Hill

APÉNDICE (Ap)

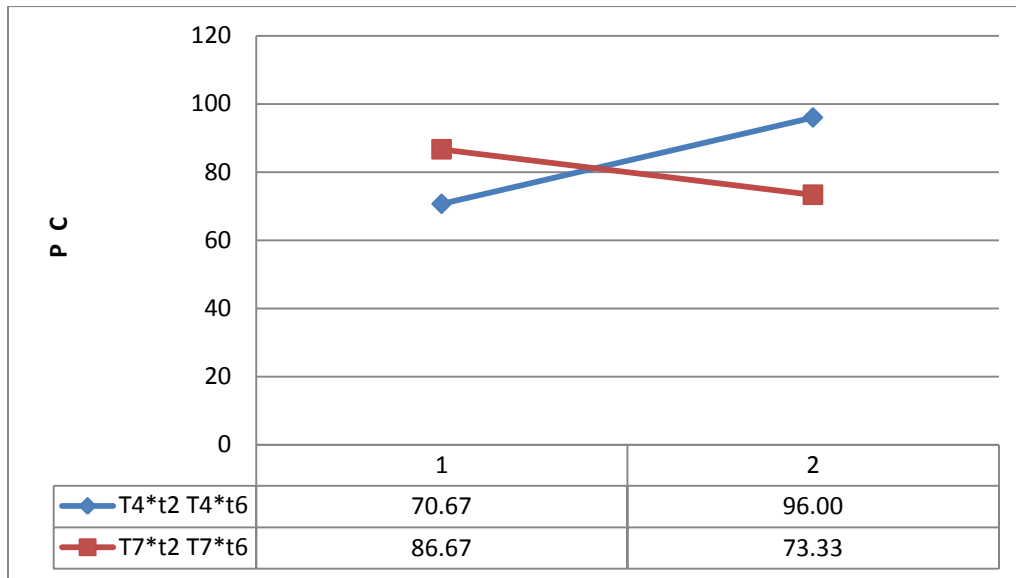


Figura Ap. 1. Interacción de la carga 80mA (T4) y carga 140mA (T7) con los tiempos de 20 minutos (t2) y 60 minutos (t6).

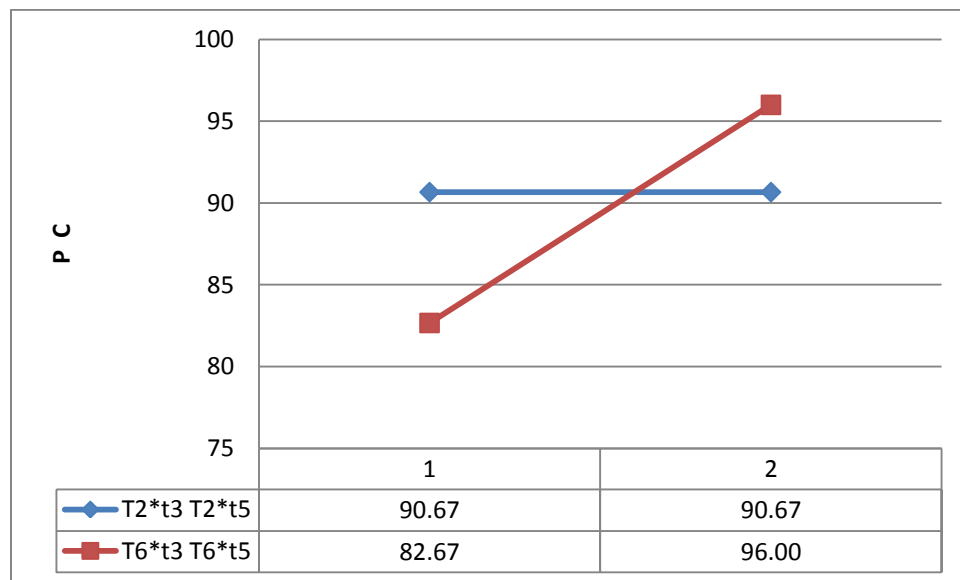


Figura Ap.2. Interacción de la carga 40mA (T2) y 120mA (T6) con los tiempos de 30 minutos (t3) y 50 minutos (t5).

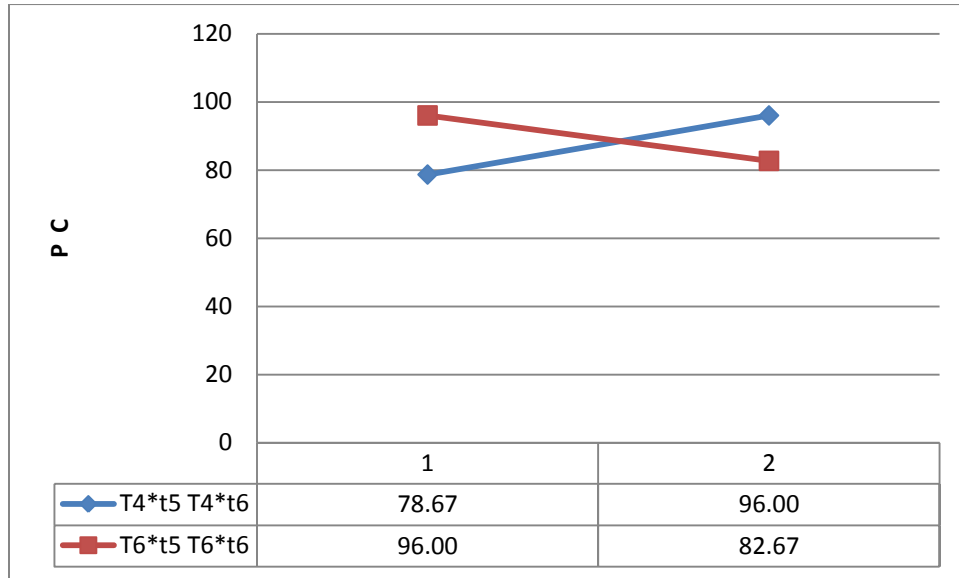


Figura Ap.3. Interacción de la carga 80mA (T4) y 120mA (T6) con los tiempos de 50 minutos (t5) y 60 minutos (t6).