



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN FITOSANITARIA

**El plasma de aire como factor de
cambio en el porcentaje de
germinación de semillas de jícama
(*Pachyrhizus erosus* L. urban)**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
INGENIERA EN FITOSANITARIA

PRESENTA

ÁNGELES JAQUELIN PALMA ZUÑIGA

DIRECTOR: DR. FIDEL BENJAMÍN ALARCÓN HERNÁNDEZ

CODIRECTOR: ING. BARTOLO JAHEN MUÑOZ

AYALA, MORELOS

2024

DEDICATORIA

A mis padres

Blas palma Plascencia y María Esther Zúñiga Arizpe

Por darme un buen ejemplo de honradez, calidad humana y sencillez, durante toda mi vida. Por estar ahí en los momentos difíciles y nunca dejarme sola, por depositar en mí su amor, confianza y cuyos esfuerzos, sacrificios y sabios consejos, supieron encaminarme hacia mi más grande meta, mi formación como persona y como profesional. Mi más grande respeto, amor, admiración y agradecimiento para toda la vida.

A mis hermanos

Irinea Yesenia palma Zúñiga y Santiago palma Zúñiga por ser un pilar muy importante para lograr concluir mis estudios porque de no haber sido por sus sacrificios, amor, confianza y fe en mi este momento nunca habría llegado.

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por haberme permitido vivir hasta este día, haberme guiado a lo largo de mi vida, por ser mi apoyo, mi luz y mi camino. Por haberme dado la fortaleza para seguir adelante en aquellos momentos de debilidad.

A mis padres **Blas Palma Plascencia y María Esther Zúñiga Arizpe**

En primer lugar, les agradezco a mis padres porque siempre me han apoyado de manera incondicional para poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos. Ellos son los que con sus consejos y amor me han impulsado siempre a perseguir mis metas y nunca abandonarlas frente a las adversidades. También son los que me han brindado el soporte material y económico para poder concentrarme en mis estudios y nunca abandonarlos.

A mi director de tesis **Dr. Fidel Benjamín Alarcón Hernández**. Le agradezco muy profundamente por su dedicación y paciencia, sin sus palabras y correcciones precisas no hubiese podido lograr llegar a esta instancia tan anhelada. Gracias por su guía, por la confianza que deposito en mí y por todos sus consejos, los llevaré grabados para siempre en la memoria en mi futuro profesional.

A mi codirector de tesis el **Ing. Bartolo Jahen Muños** por su valiosa dirección en la realización del presente experimento, por el tiempo que me dedico, por su amistad y confianza.

Al **M.C. Jesús Manuel Vázquez Sánchez (QEPD)** por todos sus consejos, por el apoyo incansable, por su valiosa amistad y confianza depositada en mí desde el inicio de mi carrera.

A mis **docentes** son muchos los docentes que han sido parte importante de mi camino universitario y a todos ellos les quiero agradecer por transmitirme los conocimientos necesarios para hoy poder estar aquí. Sin ustedes los conceptos serían solo palabras.

A los **revisores** de mi tesis **Dra. Jesica Flor Cervantes Adame, Dra. María del Carmen Fuentes Albarrán** y el **Dr. David Antonio Moreno Medina** ya que sin sus consejos y correcciones acertadas no habría podido concluir la tesis.

Al productor **Leonardo Valencia Valle** por su colaboración en la obtención del material de estudio y el espacio para realizar el proyecto y sobre todo por brindarme toda su ayuda y su amplio conocimiento.

A mi tía **Marcelina Arizpe Mexicano** quien aportó su granito de arena para poder hacer de este sueño una realidad

A mis hermanos **Irinea y Santiago** por tener fe en mí y apoyarme en los momentos más difíciles y sobre todo por nunca desanimarme e impulsarme a lograr mis metas

A mis abuelos **Alfonso Palma Plascencia (QEPD)** y **Josefa Arizpe Cortes** porque después de mis padres son quienes más amor, comprensión, y apoyo me brindaron.

INDICE GENERAL

	Página
INDICE DE CUADROS.....	9
ÍNDICE DE FIGURAS	10
I. INTRODUCCIÓN	11
II. ANTECEDENTES.....	13
2.1 Mejoramiento genético.....	13
2.2 Mejora de producción	14
2.3 Mejora de fijación de nitrógeno.....	14
III. JUSTIFICACIÓN.....	16
IV. MARCO TEÓRICO Y CONTEXTUAL	17
4.1 Origen y distribución de (<i>Pachyrhizus erosus</i> L. Urb.).....	17
4.2.1 Generalidades de la jícama (Clasificación taxonómica)	17
4.3 Morfología y desarrollo	18
4.4.2 Raíces.....	18
4.4.3 Tallos.....	18
4.4.4 Hojas.....	19
4.4.5 Racimos florales	19
4.4.6 Flores	19
4.4.7 Tubérculo.....	19
4.5 Aspectos agronómicos	19
4.5.1 Densidad de siembra.....	21
4.5.2 Eliminación de flores	21
4.5.3 Cosecha	21
4.6 Enfermedades que pueden afectar al cultivo	22
4.6.1 Virus.....	22
4.6.2 Bacterias	22
4.6.3 Hongos.....	23
4.7 Importancia económica.....	23
4.8 Germinación	24
4.8.1 Calor	24
4.8.2 Campo magnético	25

4.8.3 Luz ultravioleta (UV).....	25
4.8.4 Escarificación mecánica.....	25
4.9 Tecnología del plasma.....	26
4.9.1 El plasma.....	26
4.10 La germinación y el plasma de aire	27
4.11 Ubicación del experimento	27
4.11.1 Condiciones climáticas	28
V. HIPÓTESIS.....	28
VI. OBJETIVOS.....	29
6.1 Objetivo general.....	29
6.1.1 Objetivos específicos.....	29
VII. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	30
7.1 Dispositivo experimental.....	30
7.2 Germoplasma	31
7.3 Hidrofobicidad.....	32
7.4 Siembra.....	33
7.5 Trasplante.....	35
7.6 Prácticas culturales durante el experimento	35
7.6.1 Modo de siembra	35
7.6.2 Control de malezas.....	35
7.6.3 Fertilización	35
7.6.4 Desflore	37
7.7 Análisis estadístico	37
VIII. RESULTADOS	38
8.1 Hidrofobicidad.....	38
8.1.2 Variables agronómicas	42
8.1.2.1 Porcentaje de germinación	42
8.1.2.2 Emergencia.....	45
8.1.2.3 1ra hoja trifoliada	47
8.1.2.4 2da hoja trifoliada	49
8.1.2.5 3ra hoja trifoliada	50
.....	50

8.1.2.6 Ramificaciones secundarias	52
8.1.2.7 Días a floración	54
IX. CONCLUSIONES.....	57
X. PERSPECTIVA Y/O RECOMENDACIONES	59
XI. REFERENCIAS	60

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Cronograma de actividades desarrolladas en el cultivo de jícama en el año 2022.....	30
Cuadro 2. Características de los tratamientos.....	31
Cuadro 3. Aplicación de fertilizante y riegos.....	36
Cuadro 4. Comparación de medias de Tukey para porcentaje de germinación.....	43
Cuadro 5. Comparaciones de medias de Tukey para días de emergencia.....	46
Cuadro 6. Comparación de medias de Tukey para la primera hoja trifoliada.....	48
Cuadro 7. Comparación de medias de Tukey para la segunda hoja trifoliada.....	50
Cuadro 8. Comparación de medias de Tukey para la tercera hoja trifoliada.....	51
Cuadro 9. Comparación de medias Tukey para ramificaciones secundarias.....	53
Cuadro 10. Comparación de medias de Tukey para días a floración.....	55
Cuadro 11. Cuadrados medios de variables cuantitativas en el proceso de tratamiento de plasma en semilla de jícama I.....	56
Cuadro 12. Cuadrados medios de variables cuantitativas en el proceso de tratamiento de plasma en semilla de jícama II.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localización del lugar de estudio (Google maps 2023).....	28
Figura 2: Esquemas. a) Dispositivo experimental b) Reactor de plasma.	30
Figura 3: Ángulo de contacto de la gota de agua. a): sin tratamiento de plasma. b): después del tratamiento con plasma.	32
Figura 4: Hidrofobicidad de una superficie. a) Superficie hidrófoba con un ángulo menor a 90° y b) Superficie hidrófila con un ángulo mayor a 90°	33
Figura 5: Semillas tratadas con plasma. a) Empaquetado b) Germinación de las semillas.	34
Figura 6: Distribución de cada tratamiento dentro de las charolas.	34
Figura 7: Prueba de hidrofobicidad en semillas.....	38
Figura 8: Resultados de la prueba de hidrofobicidad de los tratamientos 1 y 2 del día 1 al día 23.	38
Figura 9: Resultados de la prueba de hidrofobicidad de los tratamientos 3 y 4 del día 1 al día 23.	39
Figura 10: Resultados de la prueba de hidrofobicidad de los tratamientos 5 y 6 del día 1 al día 23.	39
Figura 11: Resultados de la prueba de hidrofobicidad de los tratamientos 7 y 8 del día 1 al día 23.	39
Figura 12: Resultados de la prueba de hidrofobicidad de los tratamientos 9 y 10 del día 1 al día 23.	40
Figura 13: Resultados de la prueba de hidrofobicidad del tratamiento 11 del día 1 al día 23.	40
Figura 14: Grafica general de ángulos externos de la gota después de la exposición al plasma para cada tratamiento después de: 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21 y 23 días.	41
Figura 15: Porcentaje de germinación a los 8 días posteriores a la siembra.....	42
Figura 16: Días de germinación promedio del 50% mas 1.	44
Figura 17: Días de emergencia de cada tratamiento cuando se alcanzo el 50% de semillas germinadas.	45
Figura 18. Comportamiento del avance vegetativo respecto a la 1er hoja trifoliada.....	47
Figura 19: Comportamiento del avance vegetativo respecto a la 2da hoja trifoliada	49
Figura 20: Comportamiento del avance vegetativo con respecto a la 3ra hoja trifoliada	50
Figura 21: Comportamiento promedio de las ramificaciones secundarias.....	52
Figura 22: Días promedio en que se alcanzó el 50% de floración por cada tratamiento.	54

I. INTRODUCCIÓN

Las semillas, como las leguminosas y los cereales, juegan un papel fundamental en la nutrición humana. Son una fuente vital de proteínas, almidón, reservas de aceite y minerales esenciales. Estos componentes proporcionan nutrientes esenciales en las primeras etapas de la germinación, el crecimiento y el desarrollo de las semillas. Los cambios climáticos y ambientales cada vez más inestables afectan la germinación, el crecimiento, el desarrollo y el rendimiento de las semillas. Para hacer frente a estas condiciones desfavorables, se están desarrollando nuevas tecnologías agrícolas respetuosas con el ambiente para mejorar la germinación y el crecimiento de las semillas y al mismo tiempo reducir el uso de plaguicidas, fertilizantes y otros agroquímicos que afectan al ambiente. Una de esas nuevas tecnologías es el tratamiento de semillas con plasma de aire no térmico (Staric, *et al.*, 2022).

La jícama es una leguminosa tuberosa que pertenece al género (*Pachyrizus*) es un cultivo poco valorado ya que muchas veces se desconoce los beneficios que esta planta proporciona no solo en la alimentación humana, sino también en otras áreas. Las raíces de la jícama están compuestas principalmente por agua (87%), almidón (10.7%), fibra (1.4%) y proteínas (1.3%) bajas en sodio y calorías, pero son una buena fuente de potasio y de ácido ascórbico (González-Vázquez *et al.*, 2022). También se ha mencionado que poseen un contenido de nitrógeno de tres a cinco veces más alto que el de la papa, yuca, camote y malanga (Lynd y Purcino, 1987).

Bajo condiciones de campo Grum *et al.* (1990), encontraron que la producción de proteína cruda de las raíces es casi el doble que la del camote cuando crecen en igualdad de condiciones. Estos beneficios hacen que esta planta se pueda aprovechar en su totalidad: las raíces tuberosas son consumidas como alimento crudas o cocinadas, las partes aéreas de la planta se utilizan como abono verde, de las raíces se puede extraer almidón de buena calidad, los tallos son fuente de fibra natural y de las semillas se pueden hacer insecticidas y aceites. Este cultivo también posee propiedades medicinales y tiene la capacidad de fijar nitrógeno ambiental enriqueciendo el suelo donde crece (Tamayo y Verdezoto, 2022).

En la actualidad la carencia de alimentos ha sido uno de los mayores problemas a nivel mundial, por lo que sustentar la alimentación de millones de personas es un reto. Para enfrentar y superar estos retos, la tecnología es un aliado clave, debido al avance de esta, hoy en día es más fácil contar con información precisa sobre todos los factores que pueden afectar un cultivo, gracias a lo cual los agricultores cuentan con nuevas herramientas que los pueden guiar en sus procesos de producción. Otros elementos clave para entender la

importancia de la tecnología en el campo es el impacto que tiene en ella el cambio climático, la urbanización, entre otros factores, estas son algunas de las circunstancias que influyen en la producción de alimentos (De la Rosa *et al.* 2021).

Por ello la tecnología del plasma podría resultar de gran interés en el sector agroalimentario debido a que si se busca la modificación superficial de semillas esta podría traducirse a la mejora de captación de agua y de contenido nutricionales y de esta manera lograr una mayor organización en estos procesos, con el mínimo uso de recursos contaminantes y con tratamientos relativamente cortos a comparación de otras tecnologías emergentes. Los plasmas no térmicos constituyen una tecnología rápida, económica y ecológica que no solo reduce la presencia de hongos si no que mejorar la germinación y el crecimiento de plantas de diferentes especies sin provocar cambios en la estructura genética de las semillas, aparte de esterilizar la superficie de las mismas buscando eliminar bacterias y patógenos (Randeniya y Groot, 2015).

En este sentido, la propuesta de emplear los plasmas como tratamiento de semillas antes de la siembra resulta muy prometedora. Razón por la cual se realizó la presente investigación y de igual manera generar más información sobre el cultivo de jícama ya que esta es muy escasa en las fuentes de información.

Considerando lo anterior, en el presente trabajo se evalúa el efecto del plasma de aire no térmico para generar cambios en el porcentaje de germinación de semillas de jícama (*Pachyrhizus erosus* L. Urban). La investigación se centra en el análisis de la capacidad del plasma para mejorar el rendimiento de los cultivos y crecimiento de las plántulas, a partir del tratamiento de semillas a diferentes tiempos de exposición. Para ello, se exponen semillas a un plasma de aire a presión atmosférica y de las cuales se evalúa el porcentaje de germinación, la emergencia, las etapas vegetativas (primero, segundo y tercer par de hojas, ramificaciones secundarias) y la floración de cada uno de los tratamientos.

II. ANTECEDENTES

2.1 Mejoramiento genético

En la actualidad, la jícama resulta un cultivo de interés tanto nacional como internacional (Sorensen, 1990) esto probablemente a las bondades que presenta el cultivo, el rendimiento por hectárea, y que no requiere de tierras fértiles, ni de control de plagas ya que es mínimo el daño en la planta (Zinsou, 1992). Desde el punto de vista agronómico *Pachyrhizus spp.* poseen una estabilidad productiva relativamente alta, es fácil de cultivar y se le conocen pocos enemigos naturales. Su amplia variabilidad genética, evidencia sus grandes posibilidades para el mejoramiento, es excepcional que sea un cultivo tuberoso, auto polinizado y propagado sexual y asexualmente, ya que ninguno de los cultivos más importantes del mundo presenta esta combinación de características (Grum, 1990).

El mejoramiento genético utilizando la selección de líneas puras, ha sido muy exitoso en México, ya que permitió duplicar la producción de raíces. No obstante, para incrementar la capacidad productiva de los materiales, en las etapas subsiguientes del mejoramiento se recomendó utilizar hibridaciones (Grum, 1990). Esta estrategia ya se está empleando, mediante el uso de un "método alternativo de mejoramiento" que involucra reproducción asexual y sexual (Heredia, 1993). El método consiste en hacer autofecundaciones y cruzamientos cruzados entre materiales seleccionados, pertenecientes a generaciones F4, F5 y F6 provenientes de cruza interespecíficas, y en establecer parcelas para la selección de raíces a partir de materiales segregantes.

Una revisión hecha por Heredia (1996) menciona que, en Nayarit donde las superficies de cultivo son mayores, se utilizan variedades mejoradas, cuya producción está destinada principalmente para el mercado de exportación, sistema que genera gran cantidad de empleos por las labores culturales propias del cultivo. Cada uno de estos sistemas se realiza en una proporción de 1 a 1. Como se citó en Sorensen (1990), la variación genérica es ciertamente considerable, la diferencia entre las plantas va desde tallos débiles rastreros o trepadores hasta pequeños arbustos erguidos, la temporada de crecimiento va desde los cinco meses hasta más de un año. Algunas plantas producen múltiples tubérculos, en cultivos mejorados genéticamente, producen un solo tubérculo de calidad, con un contenido de materia seca (menor de 10 %).

2.2 Mejora de producción

Grum y Sorensen (1993) mencionan que algunos genotipos de *P. erosus* han mostrado un gran potencial de producción. Así, por ejemplo, en Guanajuato, México, sin la adición de ningún químico se han alcanzado producciones bajo riego de más de 150 t ha⁻¹, y en Tonga bajo condiciones de precipitación, una producción de más de 100 t ha⁻¹. En otra evaluación realizada por Morera *et al.* (2016) se obtuvo bajo las condiciones de la Estación Experimental Fabio Baudrit en Alajuela distrito de Costa Rica, un promedio de producción de las 10 introducciones evaluadas de 100 t ha⁻¹, con un máximo de 126 t ha⁻¹ para la introducción EC-523 y un mínimo de 52 t ha⁻¹ para la EC-534. Bajo las condiciones más lluviosas de Turrialba, las variedades tuvieron producciones inferiores.

Por otra parte, el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) en Costa Rica ha realizado 8 experimentos para evaluar el rendimiento y caracterizar genotipos de *P. erosus* y de otras especies, en estos experimentos se obtuvo mucha variación en los rendimientos (63 t ha⁻¹), debido en parte, a las diferencias entre localidades y distancias de siembra usadas (Morera, 2016). En una evaluación de 6 variedades locales y de 10 cultivares mexicanos realizada en este país, se encontró que algunos de los materiales mexicanos poseían un potencial mayor de producción (10 cv con más de 10.4 t/ha⁻¹) y maduraban entre los 180 y 200 días, mientras que ninguno de los locales superaba el límite de producción de los 9.5 t ha⁻¹ y maduraban entre los 225 y los 250 días (Singh *et al.*, 1981).

2.3 Mejora de fijación de nitrógeno

Existen evidencias en *Pachyrhizus*, de que la fijación de nitrógeno se puede mejorar considerablemente, lo cual redundaría en un incremento de la producción y de la sostenibilidad de los sistemas agrícolas que incluyen jícama entre sus componentes (Castellanos *et al.*, 2009). No obstante, hay poca indicación directa si esto es más factible lograrlo mediante la selección de aislamientos de *Rhizobium* o seleccionando mejores plantas hospederas. De igual manera Angeles-Núñez *et al.* (2017) estudiaron las interacciones existentes entre aislamientos de *Rhizobium* y tipos de suelo y su efecto sobre la simbiosis con *P. erosus*, encontrando que la fijación de nitrógeno era pobre en suelos ácidos (pH 4.6).

Castellanos *et al.* (2009) estudiaron el efecto de la fertilidad del suelo sobre la fijación de nitrógeno y encontraron que el P, Ca y K eran elementos importantes para este proceso. Debido a su alto potencial productivo y su bajo costo de producción, hacen de las jícamas un conveniente cultivo de exportación para pequeños agricultores en los países en vías de desarrollo y un producto barato para los consumidores locales. Este cultivo también presenta poco impacto sobre el ambiente debido al limitado uso de fertilizantes y plaguicidas, y su capacidad para utilizar el nitrógeno atmosférico y reciclarlo mediante los

residuos de cosecha, las convierte en el cultivo casi ideal para la agricultura sostenible (Grum y Sorensen, 1993).

Por otro lado, en los últimos años, las aplicaciones de plasma están siendo consideradas por los investigadores en el campo de las ciencias biológicas. En particular se ha observado que la exposición de semillas a un plasma de aire a baja presión puede actuar esterilizando la superficie de estas buscando eliminar bacterias y patógenos, modificar las propiedades de absorción de agua, mejorar el porcentaje de germinación, así como acelerar el crecimiento de las plántulas sin ningún aparente efecto negativo (De la Rosa *et al.*, 2021). Por ejemplo, Sera *et al.* (2010) verificaron que las partículas activas que conforman los plasmas fríos podrían penetrar a través de las capas de semillas e interactuar con las células del interior.

Estas interacciones pueden dar lugar a la estimulación de señales como factores de crecimiento. Un estudio realizado por Dhayal, Lee y Park (2006) demuestran que la tecnología de plasmas fríos se considera adecuada para el tratamiento de semillas, proporcionando tratamientos uniformes. La función de las semillas no se destruye, no requiere productos químicos y no permanecen contaminantes en el ambiente después de los tratamientos. Además, las semillas tratadas de nuevo se pueden almacenar si no se utiliza para la germinación.

III. JUSTIFICACIÓN

Investigaciones previas muestran los beneficios que en la actualidad brinda el uso de los plasmas en las ciencias biológicas, de los cuales se destaca su aplicación como tratamiento de semillas, la versatilidad de esta tecnología, su naturaleza no térmica, no destruye las funciones de las semillas, influye de manera positiva en la germinación al igual que en los procesos fisiológicos de las plantas, es económica y respetuosa con el ambiente. El plasma ofrece ventajas únicas sobre las tecnologías de procesamiento tradicionales. Sin embargo, esta tecnología todavía está en su forma naciente y necesita más investigación para alcanzar su máximo potencial.

Al ser la jícama un cultivo de interés nacional e internacional gracias a las bondades que representa, de los cuales se destaca los altos rendimientos por hectárea, es una fuente de almidón, fibra, aceite, agua y alimento, sirve como abono verde, insecticida y posee propiedades medicinales al igual tiene la capacidad de realizar simbiosis en el suelo con bacterias fijadoras de nitrógeno de los géneros *Rhizobium* y *Bradyrhizobium*. Estas bacterias proveen a la planta una fuente de nitrógeno que evita la necesidad de aplicar fertilizante nitrogenado adicional. En contraste con muchas otras leguminosas de grano, una parte sustancial del nitrógeno fijado retorna al suelo si se deja en el campo las porciones vegetativas aéreas.

En tal sentido este cultivo puede llegar a formar parte integral de un sistema sostenible de uso de la tierra, tanto desde el punto de vista ecológico como socioeconómico. Debido al potencial que ofrece este cultivo, es menester desarrollar trabajos de investigación que propicien el incremento del rendimiento, sobre todo a partir de la germinación. La importancia de esta investigación es el aporte de información técnica para mejorar los procesos fisiológicos del cultivo de jícama. Razón por la que se realizó el presente estudio, en el cual se sometieron a tratamientos de plasma de aire no térmico semillas de cultivo de jícama, variedad (cristalina); de las cuales se realizó una evaluación durante un periodo de 140 días aproximadamente hasta su floración, en condiciones controladas y de campo.

IV. MARCO TEÓRICO Y CONTEXTUAL

4.1 Origen y distribución de (*Pachyrhizus erosus* L. Urb.)

La jícama es una planta herbácea cuyo uso principal es el consumo de la raíz tuberosa como hortaliza fresca *Pachyrhizus erosus* es originaria de México y América Central donde se encuentra ampliamente distribuida, fue cultivada por la mayoría de las civilizaciones prehispánicas de México. El nombre de la jícama es derivado de la palabra náhuatl "Xicamatl" que significa "raíz acuosa de ombligo" (Burciaga, 2001). En México el cultivo de jícama se lleva a cabo en varios estados, principalmente en Michoacán, Morelos, Nayarit, Veracruz, Puebla y Guerrero. Actualmente la jícama se encuentra distribuida en los trópicos de todo el mundo en donde ha tenido éxito. En México se le encuentra abundantemente en los mercados y es una especie de importancia comercial, debido a su alto consumo local, así como por sus exportaciones a Estados Unidos (Rawat. y Vimal., 2023).

4.2.1 Generalidades de la jícama (Clasificación taxonómica)

Taxonomía de la Jícama (*Pachyrhizus erosus* L.)

Reyno	<i>Plantae</i>
Filo	<i>Tracheophyta</i>
Subfilo	<i>Angiospermae</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Fabales</i>
Familia	<i>Fabaceae</i>
Subfamilia	<i>Faboideae</i>
Tribu	<i>Phaseoleae</i>
Subtribu	<i>Glycininae</i>
Genero	<i>Pachyrhizus</i>
Especie	<i>Pachyrhizus erosus</i> (L.) urb.

Fuente: INaturalist, 2021.

El género *Pachyrhizus* (del griego *pachys*=grueso y *rhiza*=raíz) pertenece a la familia *Fabaceae* (anteriormente llamada *Leguminosae*), Basado en un estudio más exacto y detallado del género, Sorensen (1988) propuso una nueva clasificación del género, que actualmente es la más aceptada. Esta clasificación es consistente ya que documentó la morfología distintiva del polen de las especies propuestas. Con base a esta clasificación, se reconocen tres especies cultivadas: *P. erosus*, *P. tuberosus* y *P. ahipa* y dos especies

silvestres: *P. ferrugineus* y *P. panamensis*, *P. erosus* y *P. tuberosus* se cultivan por sus raíces engrosadas, suculentas, azucaradas y de buen contenido.

4.3 Morfología y desarrollo

Según Sorensen (1990), algunas de las características morfológicas son importantes para la identificación de *P. erosus*, dentro de las que se puede mencionar: la ausencia de pelos en sus pétalos; la longitud de la inflorescencia, la cantidad de flores en las inflorescencias laterales; el color y tamaño de las vainas; la cantidad reducida de pelos en las vainas maduras y el color y forma de las semillas. Esta planta es generalmente propagada por semilla, pero ocasionalmente cuando se usa una variedad multituberosa, se siembran raíces brotadas obtenidas de la anterior plantación. Existe poca información con respecto a material genético disponible para las siembras.

En Guanajuato, México, (Arguelles, (1979) y (Heredia, (1985) recomiendan el uso de semilla de las variedades Agua Dulce y Cristalina cuyo rendimiento alcanza de 60 a 80 t ha⁻¹, y las raíces son de mayor tamaño y calidad que la variedad criolla. La planta es una enredadera rastrera o trepadora y una de las leguminosas de crecimiento más rápido y vigoroso. Posee tallos delgados muy ramificados de color verde a negro azulado y de dos a seis metros de largo. Los tallos son espiralmente estriados y están cubiertos en las partes jóvenes de una pubescencia fina y ferrugínea. Todas las variedades tienen hábito de crecimiento indeterminado y más o menos postrado, por lo que son muy afectadas por la longitud del día, siendo más erectas y determinadas bajo condiciones de día corto (Santosh *et al.*, 2015).

4.4.2 Raíces

Las raíces son tuberosas y están formadas por uno (variedades cultivadas) o por varios seudotubérculos (variedades silvestres), los cuales varían considerablemente de forma y tamaño, los hay ovales, piriformes y achatados globosos, no obstante, los más corrientes y apreciados son aquellos con forma de trompo, de base más o menos plana y ápice obtuso, los cuales miden desde cinco hasta 20 cm de ancho. Las raíces tienen una corteza delgada y fácilmente desprendible, cuyo color va desde café claro a café oscuro, en su interior son de color blanco translúcido (Stevens *et al.*, 2001).

4.4.3 Tallos

Los tallos usualmente es una liana herbácea pequeña rastrera o trepadora, con tallos muy ramificados, hasta de cinco metros de largo; las plantas se propagan más o menos parecido al camote, sin soporte para las guías y a menudo en camas elevadas (Soto, 2008).

4.4.4 Hojas

Las hojas son verde pálido, trifoliadas, delgadas y de tamaño muy variable. Al igual que las otras especies, *P. erosus* posee gran diversidad en las formas de los foliolos. El foliolo central es generalmente ovalado con el ápice comúnmente agudo, pero aún en la misma planta hay variación de esa forma, por la presencia de dientes o lóbulos que en algunos casos forman un foliolo palmeado con recortes muy profundos e irregulares. Los foliolos laterales son muy asimétricos (Stevens *et al.*, 2001).

4.4.5 Racimos florales

Stevens *et al.* (2001) mencionan que los racimos florales son flojos y hasta de 50 cm de largos; tienen un pedúnculo recto de hasta 45 cm de longitud. Las flores se producen en grupos de 4 a 11, abriéndose sucesivamente de abajo hacia arriba. El pedicelo es muy corto, de dos a cinco mm de largo.

4.4.6 Flores

La flor tiene un cáliz campanulado, pubescente y verdoso, dividido en cinco lóbulos irregulares. La floración ocurre de 2 a 2.5 meses después de la germinación, pero debido a la sensibilidad de la especie a los días cortos el tiempo de floración varía con la longitud del día. Se ha observado especímenes floreciendo en todos los meses excepto en enero, pero la mayoría lo hace de julio a octubre (Hoof y Sorensen, 1989).

4.4.7 Tubérculo

El tubérculo es una vaina oblonga, acuminada y de leve a profundamente contraída entre las semillas (Sorensen, 1988). Las vainas miden de 6 a 13 cm de largo por 0,8 a 2 cm de ancho generalmente son pubescentes cada vaina contiene 6-10 semillas planas y lisas vagamente cuadrangulares o redondeadas y con una testa de color verde oliva, café o café rojizo. El peso de 100 semillas es de aproximadamente 20 g, su germinación dura de 5-12 días y pueden permanecer viables por 3 o 4 años.

4.5 Aspectos agronómicos

Los suelos que el cultivo prefiere son los ligeros (aluviales) y bien drenados ya que estos se mantienen sueltos después de la lluvia o irrigación, los suelos pesados no son deseables debido a su mal drenaje y porque también pueden deformar las raíces (Sorensen, 1996), la preparación del suelo debe ser completa para asegurar una germinación pareja y para evitar

ataques de hongos los campos deben ser arados a una profundidad de 25 a 30 cm y rastreados para lograr una buena cama.

Preparación del Suelo

(Santosh *et al.*, 2015) Generalmente, *P. erosus* prospera mejor en lugares ligeros y suelos franco-arenosos o aluviales en zonas de moderada tasa de precipitación es decir aproximadamente 1500 mm y drenaje adecuado. Este cultivo tolerará suelos arcillosos bien drenados, por otra parte, una buena preparación del suelo es muy importante para obtener cosechas rentables por esta razón se recomienda realizar las siguientes prácticas (Santosh *et al.*, 2015).

Arada

Se realiza un paso de arado, reja o de discos, a una profundidad de 25 a 30 cm. Si hay problemas de malas hierbas conviene hacer un segundo paso de arado (llamado "cruza") en forma perpendicular al primero. En México esta práctica se realiza en los meses de noviembre y diciembre (Heredía, 1985).

Rastreo

Se hace con el propósito de deshacer los terrones grandes de 15 a 29 días después de realizada la arada se recomienda dar uno, dos o más pasos de rastra hasta lograr el objetivo deseado (Sorensen, 1990).

Limpieza del terreno

Se realiza antes de nivelar y de surcar el terreno se recomienda eliminar los restos del cultivo anterior para facilitar la siembra, la germinación de las semillas y la emergencia de las plántulas. También se recomienda que el suelo esté libre de malezas (Singh *et al.*, 1981).

Nivelación

Es de gran importancia hacer una buena nivelación del suelo para facilitar los riegos en caso de que sean necesarios y así evitar problemas de encharcamientos que generalmente provocan mala germinación, mal desarrollo de las plantas y el ataque de enfermedades radiculares. La práctica puede hacerse con niveladora, escrepa o con un simple tablón pesado (Heredía, 1985).

Surcado

Se hace dejando una separación de 80 cm entre surcos puede realizarse con arado de tracción mecánica o de tracción animal.

4.5.1 Densidad de siembra

Se siembra de junio a julio y florece en los meses de octubre y noviembre, para cosecharse en enero y febrero (Sorensen, 1996) y es durante los meses de noviembre, diciembre y enero, cuando se realiza la mayor venta de jícama, las variedades más cultivadas son cristalina, criolla y agua dulce.

Arguelles (1979) sugiere que la cantidad de semilla para siembra va a depender al tamaño de jícama que se quiera obtener, para la obtención de jícamas grandes se necesitan 30 kg de semilla por ha y se siembra a doble hilera sobre surcos distanciados a 92 cm con una distancia entre hileras de 25 cm y depositando una semilla cada 20 cm. Para obtener jícamas pequeñas o "piñatera" se necesitan 40 kg de semillas por ha, recomiendan la siembra a doble hilera, sobre surcos distanciados a 76 cm y a una distancia entre plantas de 5 a 7 cm, también puede ser sembrado en 5 de oros (o sea se colocan cuatro semillas formando un cuadrado y la quinta en el centro de este) sobre el lomo del surco.

4.5.2 Eliminación de flores

Santosh *et al.* (2015) mencionan que el desflore es una práctica obligada en el cultivo de la jícama, ya que si no se eliminan las flores el rendimiento se reduce a la mitad o menos y la calidad de las raíces desmerece por la formación de fibra y de jícamas en forma de trompos perdiendo valor comercial. Durante la etapa de floración se recomienda tres desfloreos a mano muy bien realizados. El primero se efectúa, cuando haya floración total, el segundo un mes después aproximadamente, y el tercero al siguiente.

Tan pronto como aparecen las flores estas tienen que ser cortadas para que los nutrientes que deberían alimentarlas se concentren a las raíces, a fin de que estas engrosen y tengan un mejor sabor (Santosh *et al.*, 2015). Por otro lado, algunos autores han señalado que con el uso de esta práctica los rendimientos pueden incrementarse hasta en 10 veces. Por el contrario, al evaluar el efecto de la desfloración en 34 introducciones de *Pachyrhizus spp.*, se encontró que en promedio la producción de raíces se incrementaba únicamente en un 25 %, lo cual atribuyó a que las plantas crecieron bajo la influencia de días cortos.

4.5.3 Cosecha

Generalmente la cosecha de los tubérculos se realiza de manera manual, pero en explotaciones grandes es necesario el uso de arado. Castellanos *et al.* (2009) sugieren que la cosecha se realice de los 180 a los 195 días después de la siembra y la señal más práctica es cuando el suelo se raja alrededor de las raíces en ese momento nos indica que la jícama

está madura o completamente desarrollada y se encuentra en condiciones de ser cosechadas de los 5 y medio a los 6 meses después de la siembra, en ocasiones principalmente en explotaciones grandes se realizan cosechas tempranas (3-5 meses después de la siembra) con el objeto de obtener raíces de menor tamaño las cuales tienen mayor demanda en México.

4.6 Enfermedades que pueden afectar al cultivo

Son pocas las enfermedades que han sido reportadas en *Pachyrhizus spp.*, lo que probablemente se debe, a que este género no se siembra de manera intensiva en muchas áreas y a que la especie posee mecanismos de defensa como lo describe Grum, (1990). En términos generales se debe evitar los excesos de humedad para prevenir las enfermedades, sobre todo las pudriciones de la raíz (Phillips-Mora *et al.*, 1993).

4.6.1 Virus

El virus "mosaico de la jícama" es sin duda la enfermedad más seria en este cultivo, hasta el momento está restringida a algunos cultivares de *P. erosus* y a material silvestre en el lejano oriente, pero se ha encontrado que es capaz de infectar a todas las otras especies con excepción de *P. ferrugineus*. En Filipinas es muy común este virus en jícamas cultivadas y silvestres, pero este no infecta al frijol común (Parvatha, 2015). Otra enfermedad viral que se presenta en el cultivo de jícama es la "escoba de bruja de las vainas" informada por (Parvatha, 2015). Esta enfermedad es aparentemente muy esporádica solo una planta fue infectada sus síntomas son una excesiva ramificación, enanismo o atrofia de las hojas y deformación de las flores.

No puede ser transmitida por medio de sabia infectada, pero existen algunas indicaciones que podría ser transmitida por insectos como el *Orosius argentatus*.

4.6.2 Bacterias

La "mancha bacteriana de la hoja" o "tizón común" (*Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola*) ocasiona pequeñas manchas circulares color café rodeadas por un halo clorótico similares a las que causa la bacteria en el frijol común, en México la bacteria ha causado daños variables que han sido de leves a severos, en el estado de Guanajuato es la enfermedad más frecuente y que no es controlada por los agricultores porque "por experiencia saben que no ocasiona reducciones significativas del rendimiento" (National Academy of Sciences, 1979).

4.6.3 Hongos

Se ha informado que varios hongos causan daños graves en *P. erosus*, por ejemplo, se ha registrado una alta tasa de mortalidad en plantas jóvenes como resultado de “ataques a las raíces” por *Pythium spp.*, *Corticium spp.* y *Macrophomina spp.* en ensayos de campo multilocalizados en Senegal.

En China, *Pythium aphanidermatum* es el causante de la pudrición de raíz en *P. erosus* de igual manera se informó sobre una enfermedad grave de la mancha foliar observada en Bhubaneswar, India y lograron identificar el hongo como *Cercospora canescens*.

En México, la enfermedad bacteriana llamada tizón del halo del frijol, causada por *Pseudomonas syringae* pv. *faseolicola*, ha sido observado en varias ocasiones sobre *P. erosus* (Parvatha, 2015).

4.7 Importancia económica

En cuanto al valor económico de la jícama es la utilización del tubérculo como alimento, el uso en la medicina es de pequeña importancia. Las resinas de los cotiledones tienen valor como insecticida, cualidad conocida en México y América Central en tiempos precolombinos. El valor socioeconómico está dado en base a que muchas familias de escasos recursos económicos se dedican al cultivo de esta leguminosa, es una buena fuente de trabajo debido a sus labores culturales que en su mayoría son hechas a mano: siembra, deshierbes, poda, desflore, cosecha, selección del tubérculo (Molina., 2021).

En México la producción de jícama tiene gran participación para la generación de ingresos y la economía tanto para mercado local, por su buena aceptación en el país, y para exportación. Según SIAP (2018), la producción nacional para 2018 fue de 205,531 t con una superficie cosechada de 6,799 ha. Este organismo menciona que los principales estados productores de jícama fueron Nayarit, Guanajuato y Veracruz, con más del 67% de la producción nacional. La jícama se cultiva tradicionalmente intercalada con cultivos como maíz (*Zea mays* L.) y frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) y en monocultivo en producciones a gran escala (Sorensen, 1996). Los aportes de la jícama a través de la fijación de nitrógeno a los suelos es una alternativa que puede brindar beneficios en la producción agrícola sostenible.

De esta forma lo plantean Castellanos *et al.* (2009) al hacer énfasis en que la jícama resulta ser un cultivo interesante para usar en prácticas de rotación de cultivos en producciones agrícolas orgánicas. La jícama también cuenta con considerables cantidades de rotenona, que pueden ser extraídas para el desarrollo de insecticidas naturales para los cultivos (Kim *et al.*, 2009). Sin embargo, el efecto de insecticida que tiene el cultivo, no se debe únicamente a la rotenona ya que también posee dos compuestos que poseen el mismo efecto erosona y pachyrhizida. De esta forma, la innovación de productos derivados

mediante la producción, consumo e investigación abre las puertas a desarrollar el potencial en el mercado local o de exportaciones para el mercado internacional para sus distintos usos.

4.8 Germinación

La germinación es el proceso fisiológico mediante el cual emergen y desarrollan las semillas este se inicia con una variedad de actividades anabólicas y catabólicas como la respiración, la síntesis de proteínas y la movilización de las reservas después de la entrada de agua en las semillas (imbibición) y finaliza con el comienzo de la elongación de la radícula, el vigor de las semillas es su potencial biológico para el establecimiento rápido y uniforme en condiciones incluso desfavorables de las plantas en el campo (Gonzales *et al.*, 2008). Los factores externos como la temperatura, agua, oxígeno y luz, influyen directamente en la germinación de las semillas.

La emergencia de una plántula depende entonces de las características fisiológicas y bioquímicas de las semillas, de su reacción a las condiciones externas a ella y de la eficiencia al usar sus reservas durante la germinación (Morales-Santos *et al.*, 2017).

Existen diferentes tecnologías emergentes que han brindado un impacto positivo a las semillas, estas tecnologías se han utilizado con el fin de obtener una mejor tasa de germinación por ejemplo métodos físicos como el calor, tratamiento magnético, luz ultravioleta y escarificación mecánica. Aunque estos métodos pueden promover la germinación hasta cierto punto, requieren mucho tiempo y trabajo. (De Souza *et al.*, 2014).

A continuación, se presenta una breve explicación de cada método y su efecto.

4.8.1 Calor

El efecto de la temperatura sobre la germinación estaría relacionado con las enzimas que regulan la velocidad de las reacciones bioquímicas que ocurren en la semilla tras su rehidratación (Rajjou *et al.*, 2012). Además, la germinación de una semilla se produce dentro de un rango determinado de temperatura, donde es posible identificar: temperatura base, óptima y máxima de germinación, las que pueden ser determinadas experimentalmente. La temperatura base es el límite inferior sobre la cual se produce la germinación; en general las temperaturas base, óptima y máxima pueden ser muy variables entre especies e incluso entre cultivares de una misma especie (Finch-Savage, 2004).

En especies pertenecientes a la familia *Fabaceae*, como es el caso de la soya (*Glycine max* L.), las semillas responden a una temperatura base inicial de crecimiento de 10 °C (Pascale y Damario, 2010), aunque en la actualidad existen cultivares que pueden germinar a menor temperatura. En el caso del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), la temperatura mínima para que

ocurra su germinación es de 8 °C. A su vez, para cacahuete (*Arachis hypogaea* L.) se indican temperaturas base para la emergencia entre 8 a 11.5 °C. (Prasad *et al.*, 2009). Desde el punto de vista agronómico la temperatura del suelo determina el momento de establecimiento de un cultivo. Es decir, conociendo la temperatura mínima requerida para la germinación se puede estimar por ejemplo la fecha óptima de siembra para cacahuete, de modo que permita obtener el mayor rendimiento y calidad de grano posibles (Giayetto *et al.*, 2006).

4.8.2 Campo magnético

El campo magnético es la fuerza con la capacidad de magnetizar un cuerpo, su estudio para organismos biológicos como plantas, comienza a partir de la segunda mitad del siglo XIX. Un tratamiento con campo magnético podría llegar a cambiar los iones, cargas eléctricas y radicales libres ya sea alterando el perfil químico de la semilla debido a que las membranas de estas sean permeables (Iqbal *et al.*, 2016). Su aplicación en la agricultura ha logrado ser un método eficaz para conseguir una estimulación en la planta biológica, acelerar la liberación de un estado latente, aumentar la germinación y vigor de las semillas, crecimiento y su rendimiento. Hasta entonces, el tratamiento del campo magnético ha impactado no solo a los científicos, sino a los agricultores y a las diferentes áreas tales como en alimentos y medicina (Ren *et al.*, 2021).

4.8.3 Luz ultravioleta (UV)

La radiación ultravioleta o luz UV es una radiación electromagnética que está dividida en tres componentes: UVA que comprende entre 320 a 400 nm, UV-B que va desde 280 a 320 nm y UV-C que va desde 200 a 280 nm. Se informa que la radiación UV-C es excelente para estimular la germinación de algunas semillas tales como las de maíz, sin embargo, la irradiación UV-C también es empleado para mejorar la germinación de semillas (Lazim y Ramadhan, 2020). El UV-B ha demostrado que afecta el crecimiento y la morfología de las plantas esta tecnología no solamente busca generar seguridad en alimentos, si no también mejorar su calidad para el beneficio de la salud humana (Koutchma, 2021) así como originar la inactividad de bacterias, parásitos, esporas bacterianas, entre otros.

4.8.4 Escarificación mecánica

El empleo de métodos de escarificación previos a la siembra favorece la emergencia y germinación (Enríquez y Quero, 2006). La escarificación es el proceso mediante el cual se raspa el epispermo, ya sea con una herramienta o con ácido, para inducir las semillas a germinar (Solomon *et al.*, 2013). Entre las técnicas más comunes se encuentran los tratamientos físicos, mecánicos y biológicos, tales como: el calor seco, el rompimiento de

testa, el remojo y las soluciones químicas. Se le conoce como escarificación al tratamiento que destruye o reduce la impermeabilidad de la testa, o una parte de ella, para promover la imbibición e iniciar la germinación (Ramírez-Padilla y Valverde, 2005).

4.9 Tecnología del plasma

El plasma, conocido como el cuarto estado de la materia es un gas ionizado compuesto de fotones, iones y electrones libres, así como átomos en sus estados fundamentales o excitados con una carga neutra neta (Pankaj y Keener, 2017; Rifna *et al.*, 2019). Este término fue utilizado por primera vez en 1928 cuando Langmuir lo describió como “una región que contiene cargas equilibradas de iones y electrones” (Ojha *et al.*, 2021).

Sin embargo, el plasma está presente en una variedad de entidades como las estrellas, tecnología de iluminación, espacio interestelar, reactores de investigación de fusión nuclear, descargas estáticas, disyuntores de energía eléctrica, entre otros (Pedrow *et al.*, 2019).

Actualmente el plasma es una tecnología emergente que ha demostrado un gran potencial en una amplia diversidad de aplicaciones como lo es en la industria alimentaria (Chaple *et al.*, 2020), tecnologías microelectrónicas, campo de la medicina, potencia de fusión e implantación de iones hasta modificación de materiales, entre otras (Ling *et al.*, 2015).

4.9.1 El plasma

El plasma no es una sustancia específica; sino cierto estado particular de la materia en el que en conjunto el material es eléctricamente neutro, pero que contiene iones y electrones libres capaces de moverse en forma independiente (Alarcón *et al.*, 2020). La generación de plasma es obtenida en la mayoría de los casos por una diferencia de potencial establecida entre dos terminales eléctricas (dependiendo del gas donde se forme, en este caso es aire) con capacidad de degradación, purificación y/o modificación de propiedades físicas. Estos son compuestos capaces de eliminar bacterias, virus y parásitos (De la Rosa *et al.*, 2021).

Los plasmas se clasifican en calientes o fríos dependiendo de su temperatura. Los calientes, tienen el mismo valor de velocidad en sus electrones y especies pesadas (átomos, iones, moléculas), llegando a alcanzar millones de grados Celsius (como el Sol). Los fríos, se caracterizan porque la temperatura de las especies pesadas es cercana a la temperatura ambiente (25-100 grados Celsius) y además se pueden generar a presión atmosférica, cualidades que permiten que sean fáciles de manejar (Webmaster *et al.*, 2022).

4.10 La germinación y el plasma de aire

(Muños *et al.*, 2022) El plasma frío atmosférico (PFA) ha generado gran interés en el área industrial y en la comunidad científica, puesto que presenta valiosas propiedades, como lo son su simplicidad operativa, su bajo costo de funcionamiento, y su respeto por el ambiente. El PFA se puede generar a partir de varios gases (aire, nitrógeno, helio, argón) y por diferentes métodos. Sus aplicaciones abarcan múltiples áreas, como medicina, electrónica, ciencia de alimentos y agricultura, entre otros. Una de las principales características del PFA, es su capacidad de eliminar microorganismos patógenos, a través de la generación de radicales libres, los cuales disrumpen las membranas de las células y generan su apoptosis (Muños *et al.*, 2022).

Debido a esto, diversos investigadores han determinado los efectos de tratamientos con PFA sobre diferentes productos alimentarios, de origen vegetal y animal, contaminados con microorganismos patógenos. En general, se ha encontrado que PFA reduce significativamente la carga microbiológica de diferentes alimentos, sin afectar en la mayoría de los casos sus propiedades nutricionales y calidad. Lo que demuestra que el PFA es una herramienta innovadora y eficaz en la utilización para la inactivación de microorganismos en productos alimentarios (Muñoz y Concha-Meyer, 2022).

El procedimiento de exposición a un plasma de algún material se puede implementar eficientemente en casi toda configuración, pues es posible controlar sus diferentes variables, así como el límite de exposición para estimular procesos biológicos en diferentes organismos. En particular, se ha observado que la exposición de semillas a un plasma de aire a baja presión puede actuar como un fungicida, modificar las propiedades de absorción de agua, la latencia de ruptura, variar el porcentaje de germinación, así como acelerar el crecimiento de las plántulas sin ningún aparente efecto negativo (Alarcón, Fuentes y Gadea, 2020).

4.11 Ubicación del experimento

El presente estudio se localiza en campo el pochote ejido de Zacapalco, Municipio de Tepalcingo, Estado de Morelos, México.

Latitud: 18.65096

Longitud: -98.95179

La localidad se encuentra a una altitud de 1100 metros sobre el nivel del mar.

Cuenta con un tipo de suelo franco-arenoso.

4.11.1 Condiciones climáticas

En el ejido Zacapalco, durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 12 °C a 34 °C y rara vez baja a menos de 9 °C o sube a más de 37 °C.

La temporada de calor dura 2 meses, del 22 de marzo al 23 de mayo, y la temperatura máxima promedio, diaria es más de 33 °C. El mes más cálido del año es mayo, con una temperatura máxima promedio de 33 °C y mínima de 19 °C.

La temporada fresca dura 5.6 meses, del 14 de agosto al 3 de febrero, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 30 °C. El mes más frío del año es enero, con una temperatura mínima promedio de 12 °C y máxima de 29 °C.

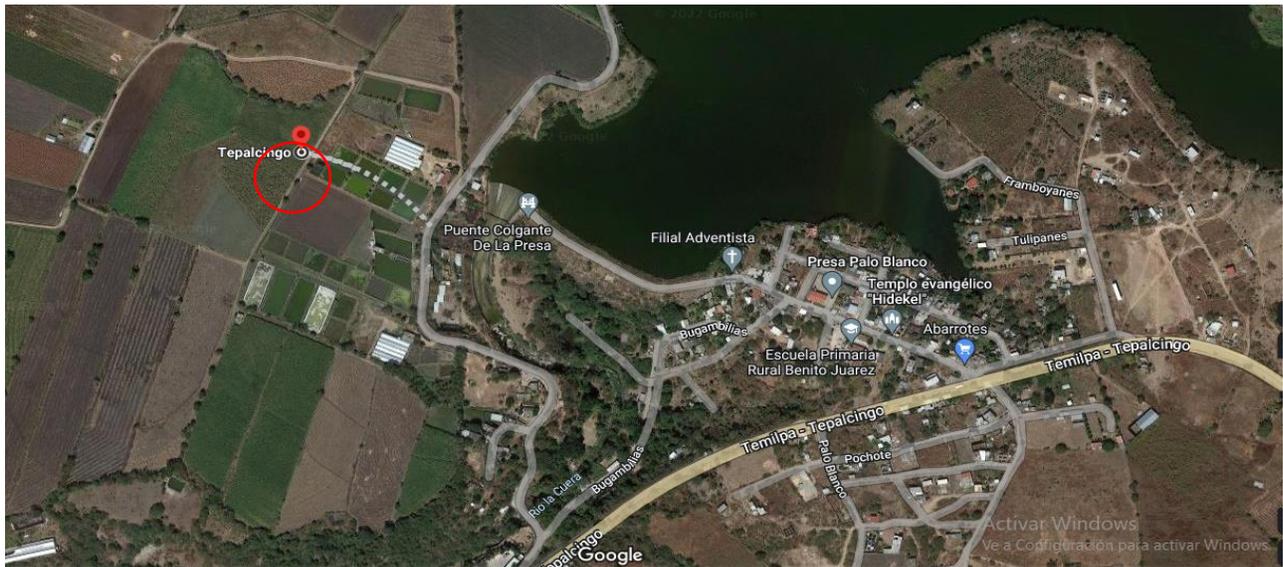


Figura 1: Mapa de localización del lugar de estudio (Google maps 2023).

V. HIPÓTESIS

La exposición de semillas de jícama (*Pachyrhizus erosus* L. Urban) ante un plasma de aire no térmico genera cambios en su germinación.

VI. OBJETIVOS

6.1 Objetivo general

Evaluar el efecto del plasma de aire no térmico en la germinación de *Pachyrhizus erosus* L. Urban

6.1.1 Objetivos específicos

1. Someter semillas de jícama (*Pachyrhizus erosus* L. Urban) a tratamientos de plasma de aire no térmico a baja presión (once tratamientos).
2. Cuantificar el cambio promedio de hidrofobicidad en las semillas de jícama (*Pachyrhizus erosus* L. Urban) tras exponerse a tratamientos de plasma de aire no térmico a baja presión.
3. Depositar para germinar el cincuenta por ciento del número de semillas de jícama (*Pachyrhizus erosus* L. Urban) expuestas al plasma, mediante el uso de la técnica de toallas húmedas y cuantificar el porcentaje de germinación.
4. Sembrar directamente al suelo el cincuenta por ciento restantes del número de semillas de jícama (*Pachyrhizus erosus* L. Urban) expuestas al plasma y cuantificar el porcentaje de germinación, velocidad de etapas vegetativas y tiempo de floración para el análisis estadístico.

VII. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Cuadro 1: Cronograma de actividades desarrolladas en el cultivo de jícama en el año 2022.

ACTIVIDADES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Someter semillas a plasma						X						
Medir hidrofobicidad						X	X					
Germinación							X					
Preparación del terreno			X		X	X						
Trasplante								X				
Fertilización								X	X	X		
Riegos									X	X		X
Labores culturales									X	X	X	
Registro de observaciones			X		X	X	X	X	X	X	X	

E= enero F= febrero M= marzo A= abril M= mayo J= junio J= julio A= agosto S= septiembre O= octubre N= noviembre D= diciembre

7.1 Dispositivo experimental

El sistema del reactor utilizado para generar el plasma de aire en el presente experimento consta de una cámara de vidrio con tapa móvil de sello hermético, la cual en cada extremo contiene dos electrodos de aluminio. Se utilizó un medidor de vacío, una fuente de alto voltaje (SPELLAN SL600). Y una bomba de vacío (LABCONCO 117).

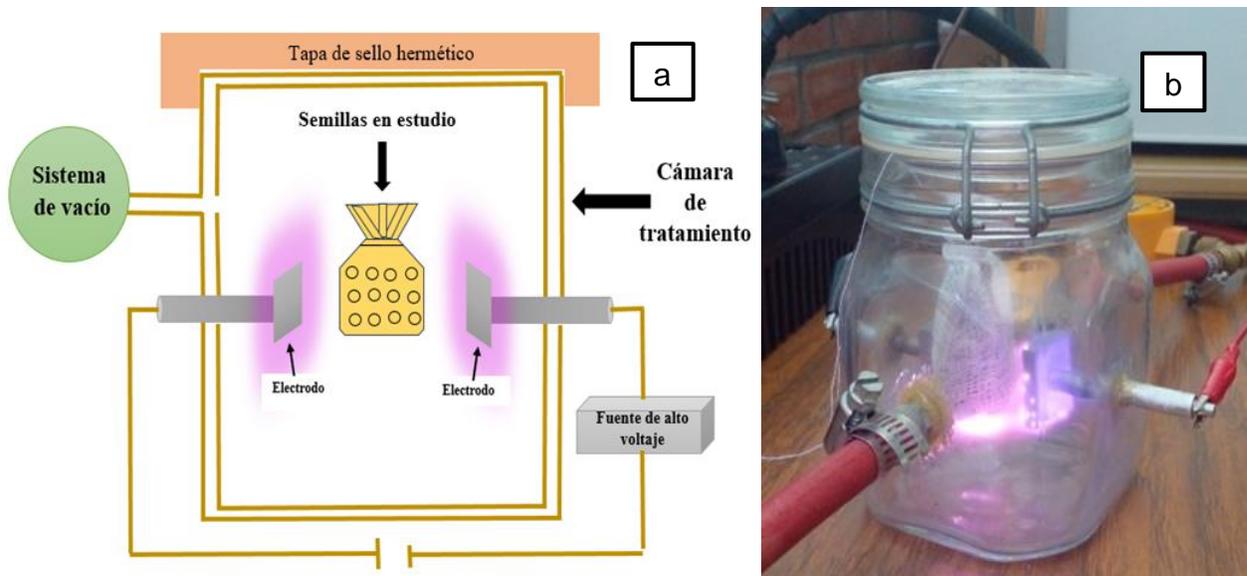


Figura 2: Esquemas. a) Dispositivo experimental b) Reactor de plasma.

Para la exposición de las semillas al plasma se procedió a ajustar los electrodos a una distancia de 5 cm, en medio de los electrodos se colocó la bolsa de algodón con las semillas a tratar. Una vez cerrada la cámara, se generó el plasma, este se obtuvo al conectar el equipo y ajustando los parámetros correspondientes (15 mA y 2 kV). Esto se realizó para los 22 tratamientos establecidos en el diseño experimental.

7.2 Germoplasma

Para realizar el presente estudio se utilizaron 720 semillas de *Pachyrhizus erosus* L. Urban, en arreglos de 30 semillas por tratamiento (0s, 1s, 2s, 3s, 4s, 5s, 10s, 20s, 30s, 50s, 60s, 180s).

Cuadro 2. Características de los tratamientos.

Especie: <i>Pachyrhizus erosus</i> L. Urban		
Tratamiento	Arreglo de semillas	Tiempo de exposición (segundos)
TESTIGO	30 semillas	0
T1	30 semillas	1
T2	30 semillas	2
T3	30 semillas	3
T4	30 semillas	4
T5	30 semillas	5
T6	30 semillas	10
T7	30 semillas	20
T8	30 semillas	30
T9	30 semillas	50
T10	30 semillas	60
T11	30 semillas	180

7.3 Hidrofobicidad

Para realizar el estudio de hidrofobicidad, se consideraron 30 semillas por cada uno de los tratamientos (tiempos de exposición) de 0 s, 1s, 2s, 3s, 4s, 5s, 10s, 20s, 30s, 50s 60s y 180s. De cada tratamiento de 30 semillas ya tratadas, se tomaron 10 semillas al azar para medir la hidrofobicidad en términos del ángulo de contacto de gota de agua, esto se hizo a periodos de tiempo diferentes (1d, 3d, 5d, 7d, 9d, 11d, 13d, 15d, 17d,19d, 21d, 23d y 25d) después de la exposición a plasma, respectivamente.

En el estudio de hidrofobicidad se utilizó un microscopio digital (Colling Tech, Digital Microscope), una computadora portátil, una jeringa y una base de metal para colocar las semillas. Mediante el Software del microscopio se determinó el ángulo que se forma entre la superficie de la semilla y una gota de agua destilada. Las semillas se fueron colocando (una a una) sobre la base de metal y en cada semilla con ayuda de una jeringa se colocó una gota de agua, a su vez se enfocó el microscopio para así poder tomar la foto de la gota y determinar el ángulo de inclinación de esta. para esto se utilizó un programa especial previamente instalado en una computadora portátil.

La hidrofobicidad es la capacidad que tiene un material de repeler el agua de su superficie, mientras que la hidrofiliidad es la propiedad de atraer el agua. Esta propiedad (hidrofobicidad) normalmente se mide colocando una gota de agua de un volumen determinado sobre la superficie en la que se quiere medir, y observando el ángulo que forma la gota con la superficie. Si la gota presenta un ángulo menor de 90° (mojado parcial), se parecerá a una gota esférica, teniendo un comportamiento hidrófobo. Si por el contrario la gota tiene un ángulo de contacto mayor de 90° (mojado total), será una gota muy plana y se esparcirá por la superficie, presentando un comportamiento hidrófilo (Staric *et al.*, 2020).

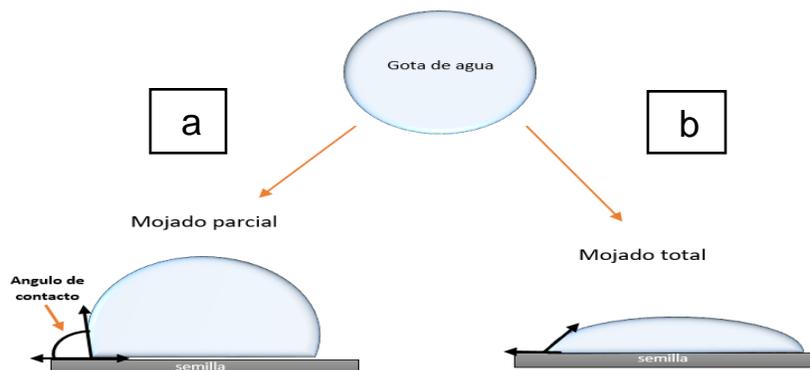


Figura 3: Ángulo de contacto de la gota de agua. a): sin tratamiento de plasma. b): después del tratamiento con plasma.

En la presente investigación para la prueba de hidrofobicidad, se tomó en cuenta el ángulo externo de la gota como se muestra en la **Figura 4**. Al observar el comportamiento de la gota se pudo notar que el líquido formaba un ángulo de contacto menor a 90° (Figura 4, recuadro a), se dice en estos casos que la superficie es hidrófoba. En el caso opuesto (Figura 4, recuadro b), para los casos donde se presenta un ángulo de contacto con la superficie mayor de 90° , se le conoce como una superficie hidrófila (Staric *et al.*, 2020).

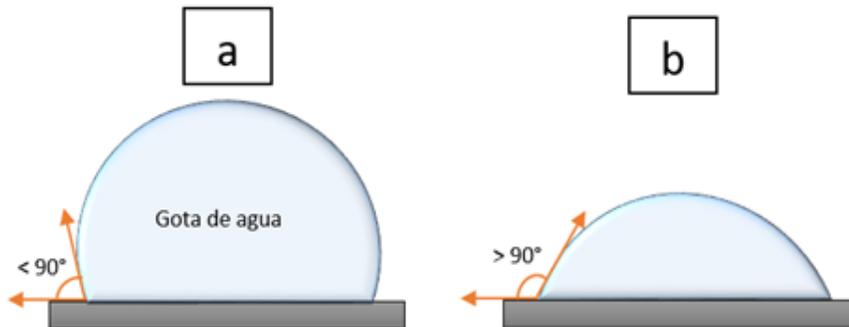


Figura 4: Hidrofobicidad de una superficie. a) Superficie hidrófoba con un ángulo menor a 90° y b) Superficie hidrófila con un ángulo mayor a 90° .

7.4 Siembra

El proceso de siembra se llevó a cabo el día 28 de junio del 2022, lo anterior se llevó a cabo de dos maneras que a continuación se describen.

Para los primeros 12 tratamientos se realizó la prueba estándar entre papel absorbente. Una vez planteadas las variables a evaluar (porcentaje de germinación, velocidad de etapas vegetativas (1°, 2° y 3° par de hojas, ramificaciones secundarias) y floración, posteriormente se realizó la siembra.

Cada tratamiento se germinó en dos bases de papel absorbente previamente humedecido, posteriormente se organizaron las semillas en hileras dejando espacios entre cada una de aproximadamente 2 cm.

En cada toalla se colocaron 3 hileras de 5 semillas, enseguida se cubrieron con otra hoja de papel humedecida y se enrollaron para después ser colocados dentro de una bolsa de polietileno previamente etiquetadas para poder ser identificadas al momento de su evaluación, al finalizar, las bolsas se colocaron dentro de una caja de cartón.

Cada bolsa contenía 2 rollos que completaban un tratamiento de (30 semillas) (**Figura 5**).

A partir del día 4 se realizó la primera evaluación de germinación; en ese momento se revisaron diariamente cada uno de los tratamientos. Una vez que las semillas estaban pregerminadas se fueron colocando en 5 charolas de 72 cavidades a una profundidad aproximada de 2 cm (**Figura 6**) y se observó su emergencia durante los siguientes 20 días.



Figura 5: Semillas tratadas con plasma. a) Empaquetado b) Germinación de las semillas.

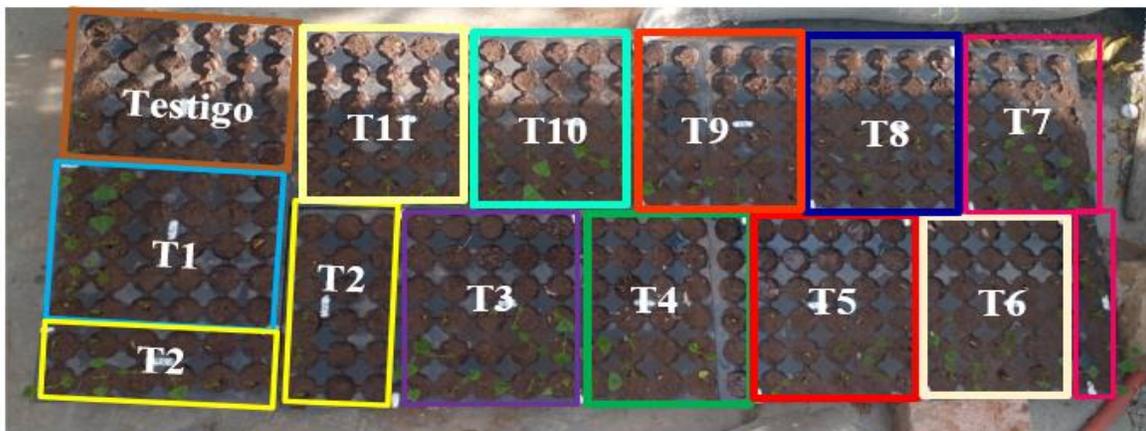


Figura 6: Distribución de cada tratamiento dentro de las charolas.

7.5 Trasplante

El trasplante se realizó el 25 de agosto, una vez que emergieron el 50% de las plantas por cada tratamiento y estas ya tenían un tamaño considerable. Las plantas se llevaron a campo para ser trasplantadas y posteriormente evaluar su desarrollo vegetativo.

A la par de la siembra en papel absorbente, los 12 tratamientos restantes se sembraron de manera tradicional directamente al suelo.

7.6 Prácticas culturales durante el experimento

Preparación del terreno. Se efectuó un barbecho de 30 cm de profundidad, para preparar y remover el suelo. Posteriormente se realizó un rastreo con el fin de desmenuzar bien los terrones grandes de tierra y se eliminaron los restos del cultivo anterior, dejando listo el terreno para la siembra. Los surcos se trazaron con una separación de 95 cm entre el lomo de cada surco, se utilizó un arado mecanizado.

7.6.1 Modo de siembra

La siembra se realizó de manera manual en surcos de 95 cm de ancho por 28 metros de largo, depositando una semilla a doble hilera con espacios de 10 cm cada una, a una profundidad de aproximadamente 8 cm.

7.6.2 Control de malezas

Las malezas se controlaron de manera manual durante todo el ciclo del cultivo, para esto se realizaron tres deshierbes; el primero el 6 de septiembre del 2022, el segundo el 19 de septiembre y el último el 18 de octubre del mismo año.

7.6.3 Fertilización

Para obtener plantas de alta calidad, es necesario realizar fertilización química para de esta manera no castigar tanto a la planta.

Se realizaron 3 aplicaciones durante el experimento a todas las plantas, las tratadas con plasma y las plantas testigo.

Cuadro 3. Aplicación de fertilizante y riegos.

Fecha	Actividad	Modo
30 de agosto 2022	1° aplicación de fertilizante SUPER-FOL (Fertilización foliar) 1 kg para 200 Litros. Formula de fertilización: 20-30-10. ADHER PLAN (aderente) 1 Litro.	Aspersión, aplicación manual
30 de agosto 2022.	Aplicación preventiva Carbendazim (fungicida) 1kg. Dimetoato 950 ml (insecticida y/o acaricida).	Aspersión, aplicación manual
20 de septiembre 2022	1° riego	Gravedad
24 de septiembre 2022.	2° aplicación de fertilizante Super-K (fertilizante foliar) 1 kg. Formula de fertilización: 0-40-53	
24 de septiembre 2022.	Aplicación preventiva Cipermetrina 250 ml (insecticida piretroide). Manzate 200 1kg (fungicida agrícola).	Aspersión, aplicación manual
11 de octubre 2022.	2° riego	Gravedad
27 de octubre 2022.	3° aplicación de fertilizante TECALCIO (fertilizante líquido) 1 litro. AKUOS NKS (fertilizante) 3 kg. ADHER PLAN (aderente) 1 Litro.	Aspersión, aplicación manual
27 de octubre 2022.	aplicación preventiva Manzate 200 ½ kg (fungicida agrícola). Combat 20 ½ litro (plaguicida).	Aspersión, aplicación manual
01 de diciembre	3° riego	Gravedad

Durante el experimento se realizaron tres riegos, uno pesado para asentar y dos ligeros para así evitar pudrición del tuberculo o la aparición de hongos.

7.6.4 Desflore

Se realizó únicamente un desflore manual el 03 de noviembre 2022.

7.7 Análisis estadístico

Las variables agronómicas se analizaron con un diseño experimental completamente al azar con 11 tratamientos y 3 repeticiones. posterior al estudio ANOVA, se hizo una prueba de comparación de medias por Tukey con significancia del 5 % ($P < 0.05$). Para dichos análisis se utilizó el software System Analyses Statistical (SAS versión 9.4).

VIII. RESULTADOS

8.1 Hidrofobicidad

En la **Figura 7** se puede observar que los ángulos de cada una de las semillas son diferentes. Esto es el resultado de la variación de los tiempos de exposición de las semillas al plasma. Es probable que el plasma afecte la testa de la semilla aumentando de esta forma la permeabilidad de la superficie de está volviéndola más hidrofílica.



Figura 7: Prueba de hidrofobicidad en semillas.

Se presentan los valores promedio de los ángulos medidos para las pruebas de hidrofobicidad realizadas en las semillas para cada tratamiento de plasma y como función del tiempo de almacenamiento de las semillas.

En estos gráficos se puede observar la evolución del cambio de ángulo mediante la prueba de la gota sésil de cada tratamiento, desde el día 1 hasta el día 23 en comparación con el testigo.

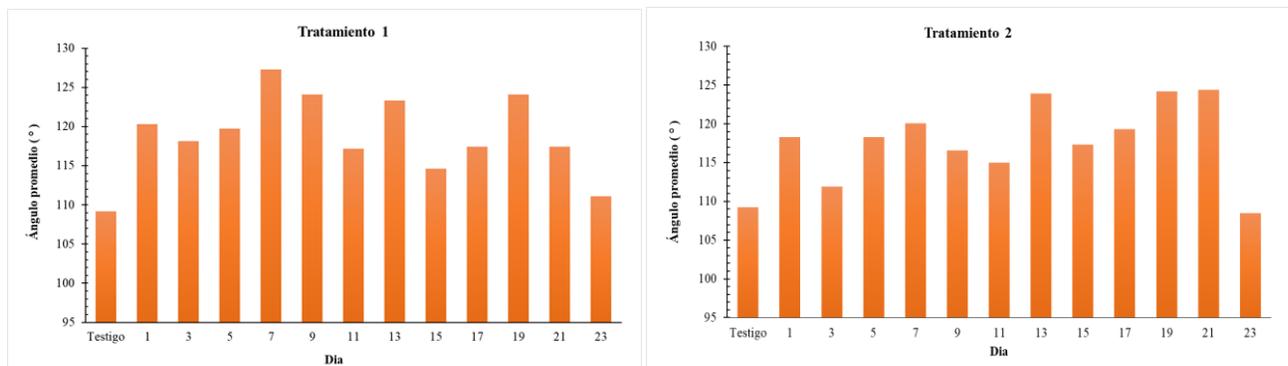


Figura 8: Resultados de la prueba de hidrofobicidad de los tratamientos 1 y 2 del día 1 al día 23.

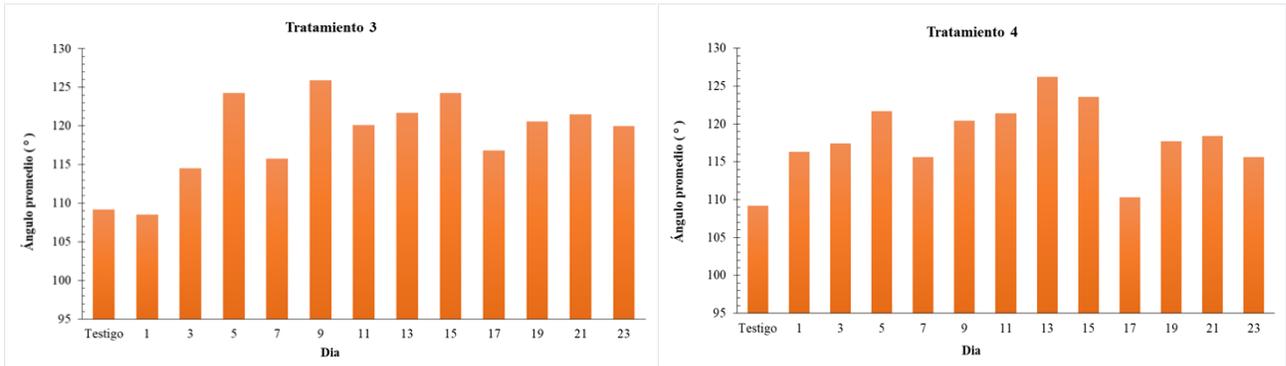


Figura 9: Resultados de la prueba de hidrofobicidad de los tratamientos 3 y 4 del día 1 al día 23.

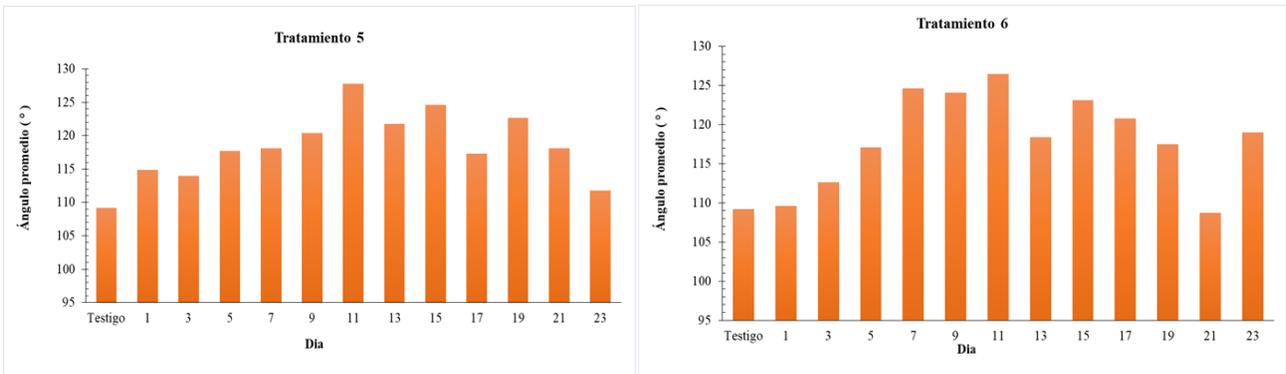


Figura 10: Resultados de la prueba de hidrofobicidad de los tratamientos 5 y 6 del día 1 al día 23.

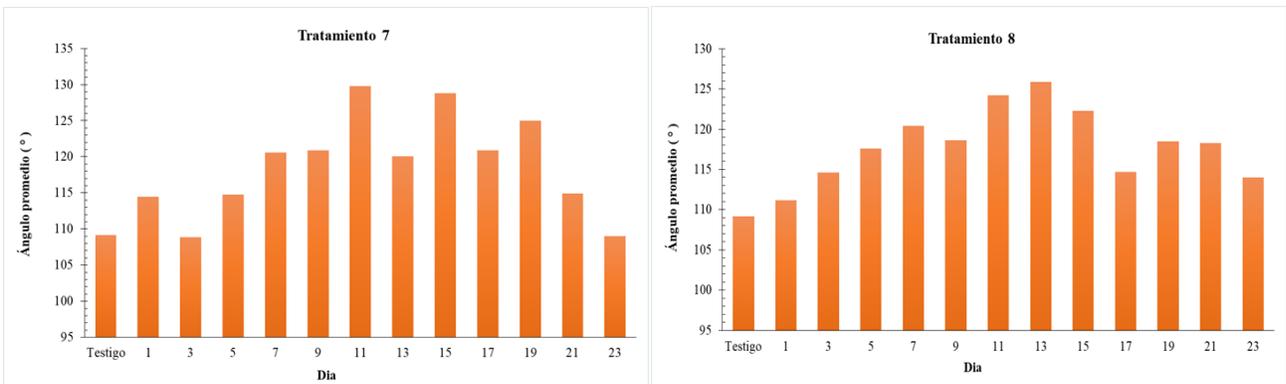


Figura 11: Resultados de la prueba de hidrofobicidad de los tratamientos 7 y 8 del día 1 al día 23.

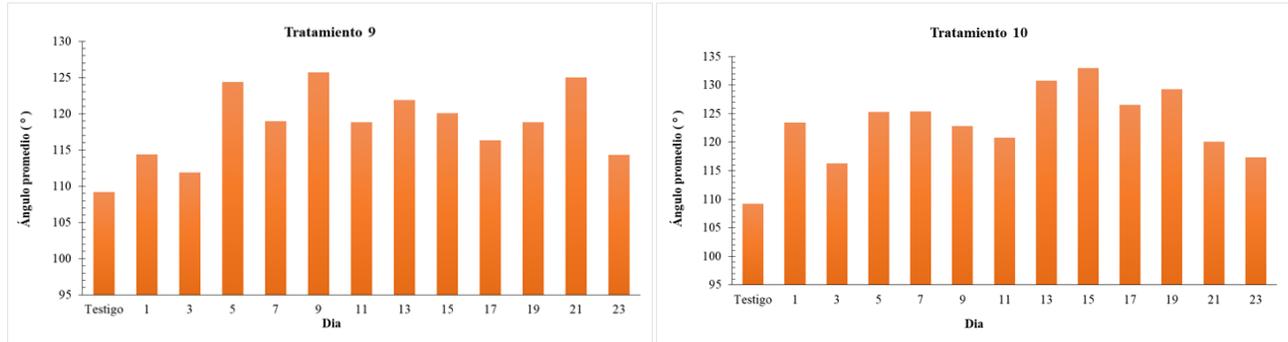


Figura 12: Resultados de la prueba de hidrofobicidad de los tratamientos 9 y 10 del día 1 al día 23.

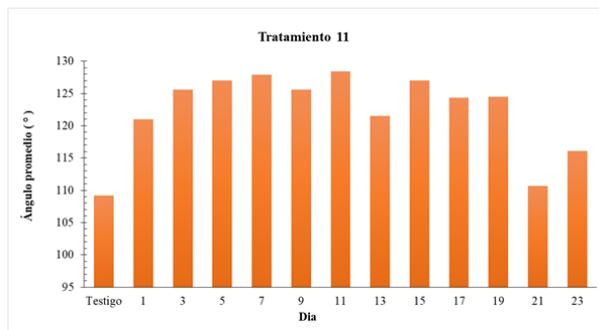


Figura 13: Resultados de la prueba de hidrofobicidad del tratamiento 11 del día 1 al día 23.

De la **Figura 8** a la **Figura 13**, se puede observar que el testigo presenta cierta hidrofobicidad (ángulo promedio de 109.2°), la cual permanece relativamente constante durante todos los días de medición. Esto se debe a que es una superficie poco permeable y no homogénea y porque no fue sometida a ningún tratamiento que modificara su superficie.

Las semillas expuestas mayor tiempo a plasma presentaron una disminución en la hidrofobicidad en la mayoría de los tratamientos (T7:129.8°, T8:125.9° (**Figura 11**), T9:125.7°, T10:133° (**Figura 12**)). Por lo que se tiene como resultado que los ángulos externos aumentan considerablemente junto con la capacidad hidrofílica de la superficie, es decir; las semillas se hacen más afines al agua.

Por otra parte, en lo que respecta a las medidas de hidrofobicidad en función del tiempo de almacenamiento, se observa que estas muestran un comportamiento de aparente retorno a los valores originales. Para el tratamiento T2, de 109.2° disminuye a 108.5° (**Figura 8**) y para el tratamiento T7 de 129.8° retorna a 109.2° (**Figura 11**). Siendo estos tratamientos los que mostraron el mayor y menor cambio respectivamente. Todos los demás se encuentran entre los valores de 111° a 120°.

Con esto se podría decir que el tiempo de exposición y el tiempo de almacenamiento representan un papel importante en la disminución de la hidrofobicidad y un aumento del contacto de la gota de agua en la superficie de la semilla.

En contraste con estos resultados, Zahoranová *et al.* (2018) no observaron ningún daño superficial en la cubierta de la semilla y solo una superficie ligeramente más blanda en las semillas de maíz. Es evidente que la morfología alterada de la cubierta de la semilla depende de la morfología inicial de la cubierta de la semilla y de los parámetros utilizados por otro lado.

(Bormashenko *et al.*, 2012). encontraron una disminución de la hidrofobicidad en el ángulo de contacto con el agua después de 15 segundos de tratamiento con plasma de aire en semillas de frijol. Al mismo tiempo, no se detectaron cambios morfológicos durante el análisis. Esto indica que el cambio en el ángulo de contacto con el agua puede atribuirse a cambios químicos que ocurren durante el tratamiento con plasma no térmico en la superficie de la semilla, convirtiendo la cubierta de la semilla normalmente hidrofóbica en una hidrofílica.

Prácticamente, entre más tiempo se mantengan almacenadas las semillas, se va perdiendo esta particularidad adquirida con el plasma, pero no al grado de volver a sus valores iniciales dentro del intervalo de tiempo considerado en la presente investigación. Lo cual se puede observar en la **Figura 14**.

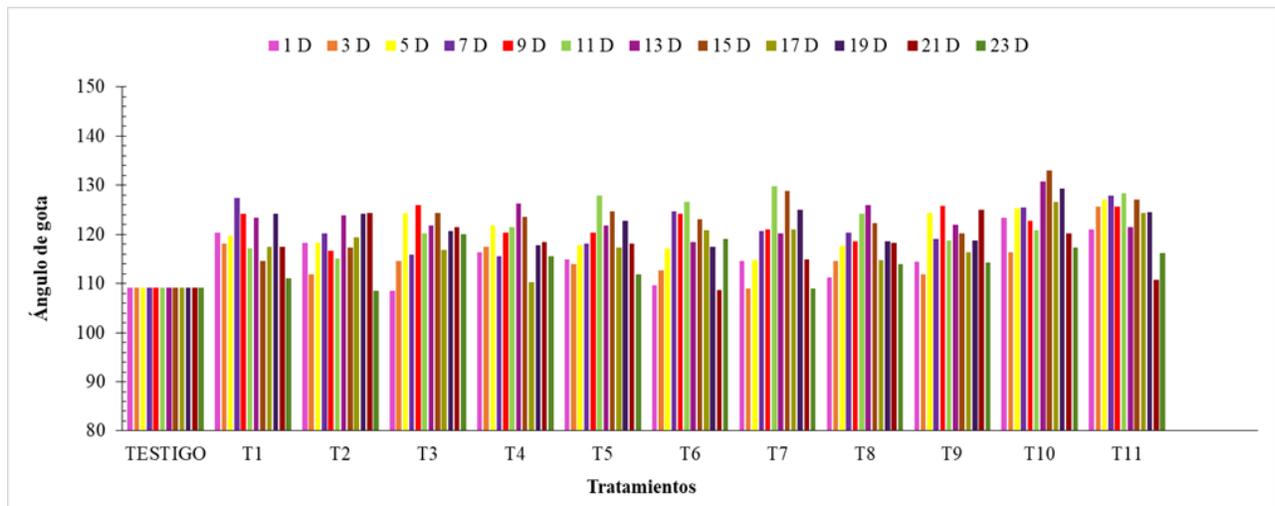


Figura 14: Grafica general de ángulos externos de la gota después de la exposición al plasma para cada tratamiento después de: 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21 y 23 días.

8.1.2 Variables agronómicas

Antes de la realización del experimento se determinaron las variables agronómicas a evaluar. Se realizaron comparaciones de medias por Tukey, para verificar la existencia o ausencia de diferencias significativas, utilizando el software SAS 9.4. Los valores considerados para hacer el análisis estadístico de las variables agronómicas, está centrado en las medidas realizadas de las semillas sembradas de manera tradicional directamente al suelo.

El análisis del porcentaje de germinación y emergencia se realizó en las semillas germinadas mediante la técnica de toallas húmedas, esto se llevó a cabo así para tener un control claro del número de semillas germinadas.

8.1.2.1 Porcentaje de germinación

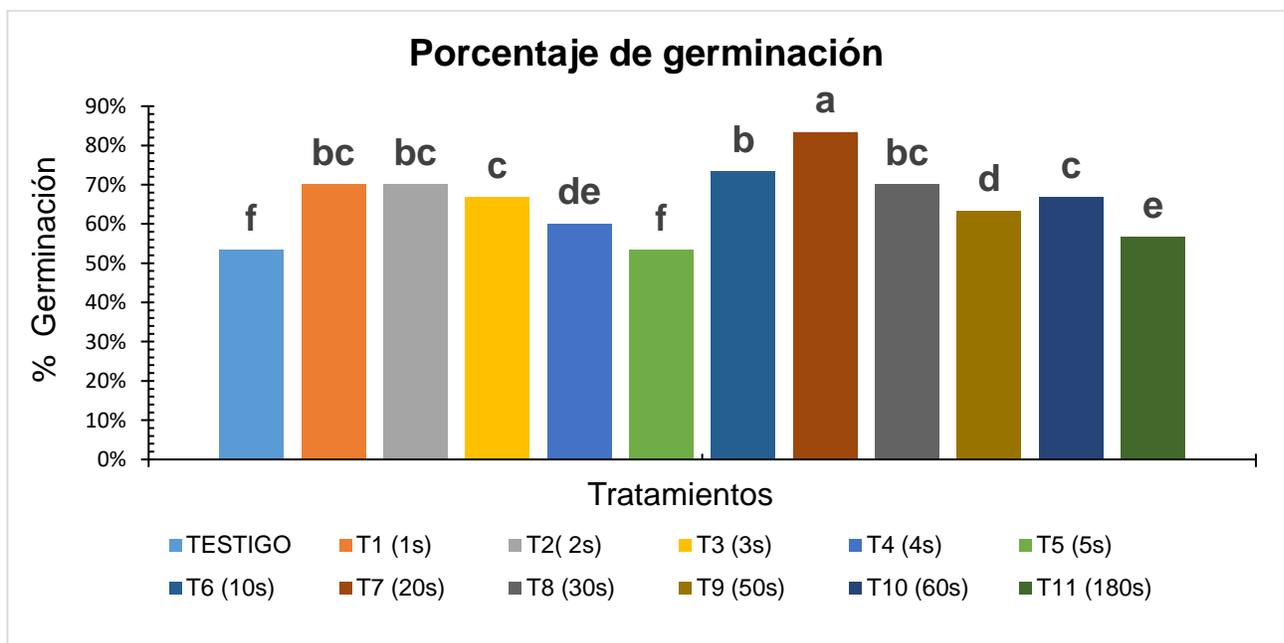


Figura 15: Porcentaje de germinación a los 8 días posteriores a la siembra.

En la **Figura 15** se observa que, a los ocho días de siembra, el porcentaje de germinación de cada tratamiento es igual o mayor que el porcentaje de germinación del testigo. Encontrándose diferencia estadística, con $\alpha = 0.1$, como se observa en el **cuadro 4**. Donde en particular, el tratamiento T7 de 20 segundos de exposición alcanzó el 83% de germinación bajo las condiciones presentes. Por otra parte, el testigo y el tratamiento T5

con un 53% fueron los que presentaron el porcentaje de germinación más bajo de todos los tratamientos.

En otra investigación Li *et al.* (2014) estudiaron los efectos del tratamiento de plasma frío en la germinación de semillas de soja. Las semillas fueron pretratadas con 60, 80, 100 y 120 W de potencia durante 15 segundos. Los resultados mostraron que los tratamientos con plasma tuvieron efecto positivo sobre la germinación de semillas y el crecimiento de plántula, además, el tratamiento a 80 W tuvo el efecto estimulante más alto. Los índices de germinación y vigor aumentaron significativamente un 14.66 y 63.33 %, respectivamente. La captación de agua de la semilla mejoró un 14.03 %. Estos resultados indicaron que el tratamiento con plasma frío podría promover el crecimiento incluso el rendimiento de la soja.

Cuadro 4. Comparación de medias de Tukey para porcentaje de germinación

TR	Tukey Agrupamiento		Media	N
7		A	83.000	3
6		B	73.333	3
1	C	B	70.000	3
8	C	B	70.000	3
2	C	B	70.000	3
3	C		67.000	3
10	C		67.000	3
9		D	63.000	3
4	E	D	60.000	3
11	E		57.000	3
5		F	53.000	3
testigo		F	53.000	3

N= repeticiones, TR= tratamientos

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

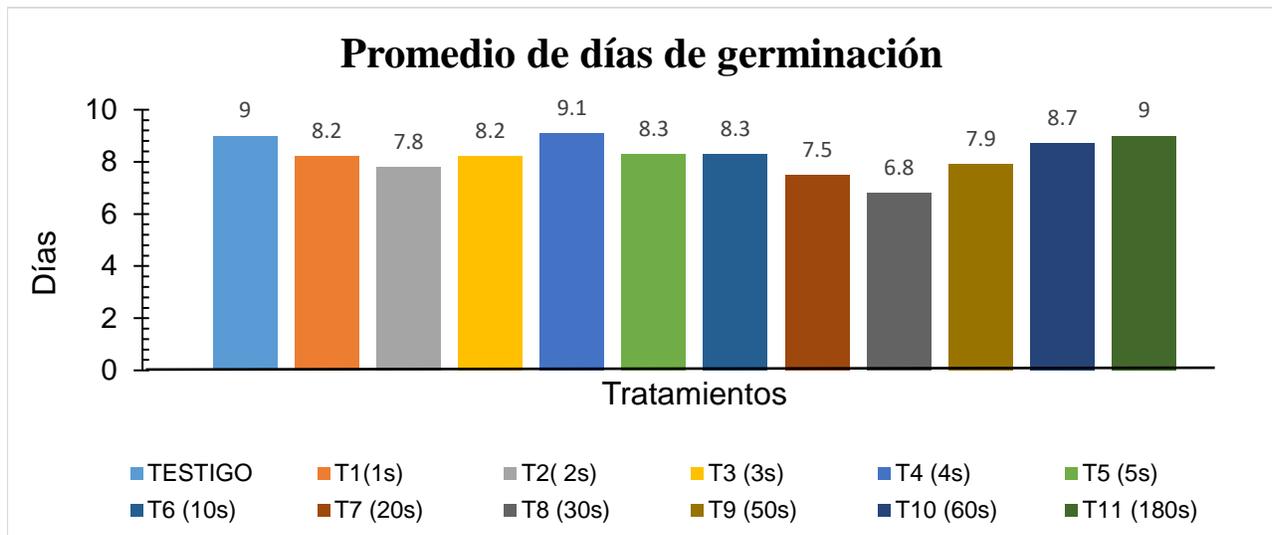


Figura 16: Días de germinación promedio del 50% mas 1.

En la **Figura 16** se puede observar los días que tardaron cada uno de los tratamientos en alcanzar una germinación del 50% de las semillas más una.

Del comportamiento de la germinación de semillas para cada tratamiento se encuentra que el tratamiento T8 presentó el tiempo de germinación más rápido de todos los tratamientos tardando un promedio de 6.8 días en germinar el 50% de las semillas. Mientras que el testigo, el tratamiento T4 y el T11 presentan un promedio de 9 días de germinación respectivamente siendo estos los que tardaron mayor tiempo en germinar. De manera general se puede decir que el tratamiento con plasma con un tiempo de exposición de 20 a 30 segundos favorece el porcentaje de germinación de la jícama.

8.1.2.2 Emergencia

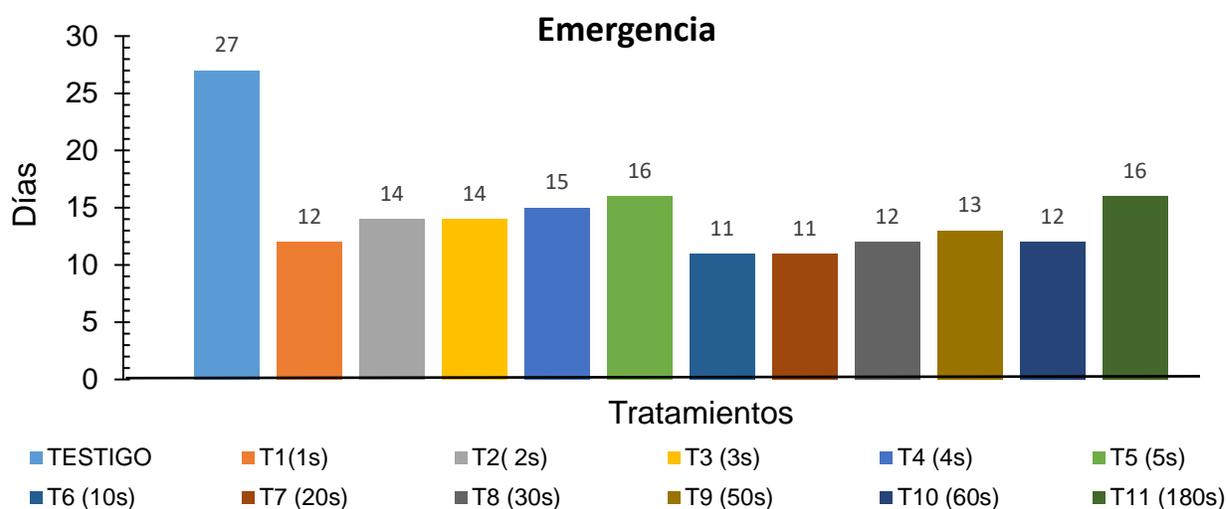


Figura 17: Días de emergencia de cada tratamiento cuando se alcanzó el 50% de semillas germinadas.

En la **Figura 17** se observa que, para todos los tratamientos, el número de días de emergencia se redujo considerablemente. Encontrándose diferencias estadísticas significativas con $\alpha = 0.1$, como se puede observar en el **cuadro 5**. Los tratamientos emergieron entre 11 y 16 días. Destacan el T6 y T7, de los cuales la emergencia fue de solo 11 días, le siguen el T1, T8 y T10 que tardaron 12 días, y hasta el final se encuentra el testigo con 27 días para la emergencia. Podría suponerse que el tratamiento de plasma afecta en cierta medida a los nutrientes del endospermo, para lo cual es necesario realizar estudios al respecto.

Mutasim Billah *et al.* (2021) mencionan que el tratamiento con plasma cambia la cubierta exterior de la semilla de arroz, lo que es la razón para mejorar las tasas de germinación y crecimiento de las plántulas de arroz. Los tratamientos con plasma tienen la capacidad potencial de absorber agua, adelgazar la cubierta de la semilla, ensanchar los micrópilos y mejorar la adsorción, la difusión y las especies reactivas de oxígeno y nitrógeno en la cubierta de la semilla para romper la latencia de la semilla.

Cuadro 5. Comparaciones de medias de Tukey para días de emergencia.

TR	Tukey Agrupamiento		Media	N	
7		A	11.0000	3	
6		B	11.0000	3	
8		B	12.0000	3	
1	C	B	12.0000	3	
10	C	B	12.0000	3	
9	C	B	D	13.0000	3
2	C	B	D	14.0000	3
3	C	B	D	14.0000	3
4	C		D	15.0000	3
11	C		D	16.0000	3
5			D	16.0000	3
testigo			D	27.0000	3

N= repeticiones, TR= tratamientos

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

8.1.2.3 1ra hoja trifoliada

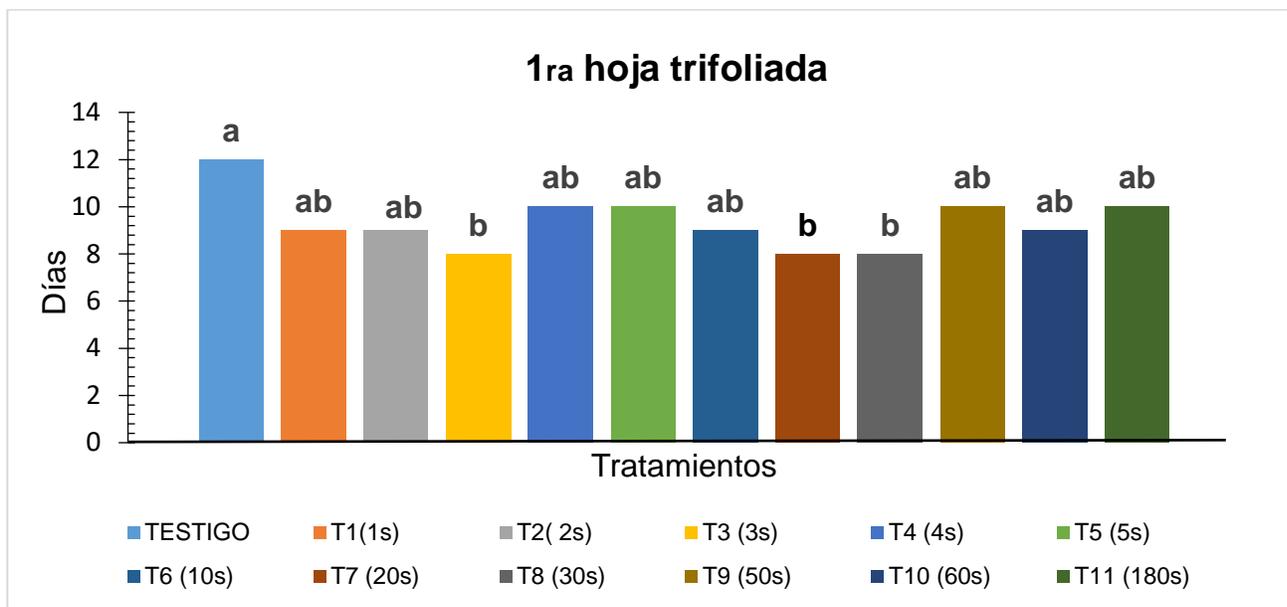


Figura 18. Comportamiento del avance vegetativo respecto a la 1er hoja trifoliada.

En la **Figura 18** se puede observar el comportamiento de los días promedio que tardó en aparecer la primera hoja trifoliada de cada tratamiento, de los cuales se encontraron diferencias estadísticas significativas como se puede observar en el **cuadro 6** de la comparación de medias de Tukey. Aparentemente el tratamiento que presenta la media más grande es el T9 con una media de 10.00. Sin embargo, no supera al testigo que presentó una media de 12.00; por otro lado, las medias más bajas las presentaron los tratamientos T7, T3 y T8 con un valor de 8.00 respectivamente. Por lo tanto, podría decirse que el plasma si influye en la incidencia de la primera hoja trifoliada

Cuadro 6. Comparación de medias de Tukey para la primera hoja trifoliada.

TR	Tukey Agrupamiento	Media	N
testigo	A	12.0000	3
9	B	10.0000	3
11	B	10.0000	3
4	B	10.0000	3
5	B	10.0000	3
2	B	9.0000	3
1	B	9.0000	3
6	B	9.0000	3
10	B	9.0000	3
7	B	8.0000	3
3	B	8.0000	3
8	B	8.0000	3

N= repeticiones, TR= tratamientos

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

8.1.2.4 2da hoja trifoliada

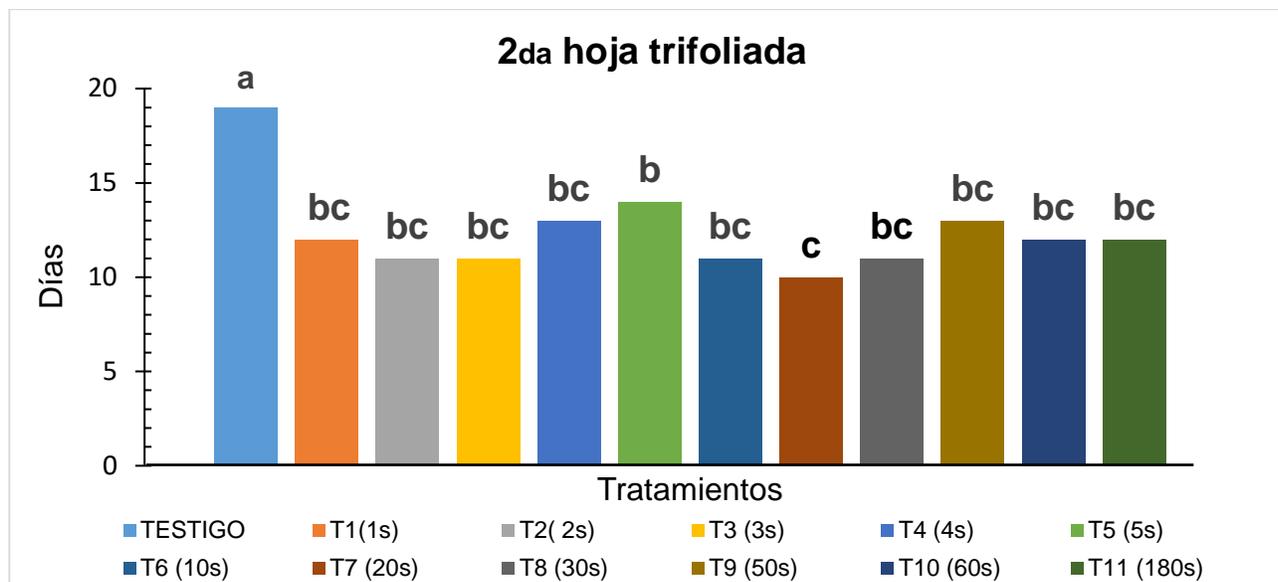


Figura 19: Comportamiento del avance vegetativo respecto a la 2da hoja trifoliada

En la **Figura 19** se observa el comportamiento de los días que tardó en aparecer la segunda hoja trifoliada para cada tratamiento en los cuales se encontraron diferencias significativas. Aparentemente destaca el tratamiento T5 con una media de 14.00 siendo este el que obtuvo la media más alta de todos los tratamientos de plasma. Sin embargo, no está por encima de la media del testigo el cual presenta un valor de 19.00. Por otro lado, se observa que el tratamiento que tiene la media más baja fue el tratamiento T7 con un valor de 10.00 esto referente al **cuadro 7**. Lo cual muestra que el plasma si afecta significativamente el comportamiento de la segunda hoja trifoliada.

Cuadro 7. Comparación de medias de Tukey para la segunda hoja trifoliada.

TR	Tukey Agrupamiento	Media	N
testigo	A	19.0000	3
5	B	14.0000	3
9	C	13.0000	3
4	C	13.0000	3
11	C	12.0000	3
10	C	12.0000	3
1	C	12.0000	3
6	C	11.0000	3
3	C	11.0000	3
2	C	11.0000	3
8	C	11.0000	3
7	C	10.0000	3

N= repeticiones, TR= tratamientos

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

8.1.2.5 3ra hoja trifoliada

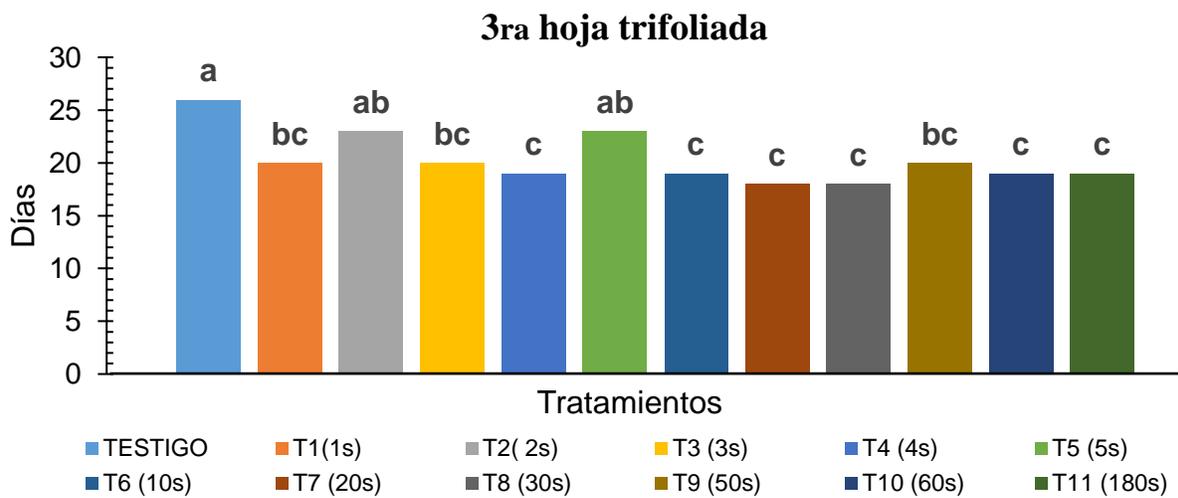


Figura 20: Comportamiento del avance vegetativo con respecto a la 3ra hoja trifoliada

En la **Figura 20** se observa el comportamiento promedio de aparición de la tercera hoja trifoliada para cada tratamiento. Para dicha variable se encontraron diferencias estadísticas en base a lo que se observa en el **cuadro 8**. Cabe destacar que ninguno de los tratamientos de plasma obtuvo valores mayores a los del testigo ya que este presentó la media más grande con un valor de 26.00. Por otra parte, los tratamientos que presentaron las medias más bajas son el tratamiento T7 y T8 con un valor de 18.00 para cada uno.

Podría decirse que la aplicación de plasma acelera la aparición de la tercera hoja trifoliada y en general afecta de manera significativa el desarrollo de las hojas por planta.

Cuadro 8. Comparación de medias de Tukey para la tercera hoja trifoliada.

TR	Tukey Agrupamiento	Media	N
testigo	A	26.0000	3
5	B	23.0000	3
2	B	23.0000	3
3	B	20.0000	3
1	B	20.0000	3
9	B	20.0000	3
6	C	19.0000	3
4	C	19.0000	3
11	C	19.0000	3
10	C	19.0000	3
7	C	18.0000	3
8	C	18.0000	3

N= repeticiones, TR= tratamientos

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

8.1.2.6 Ramificaciones secundarias

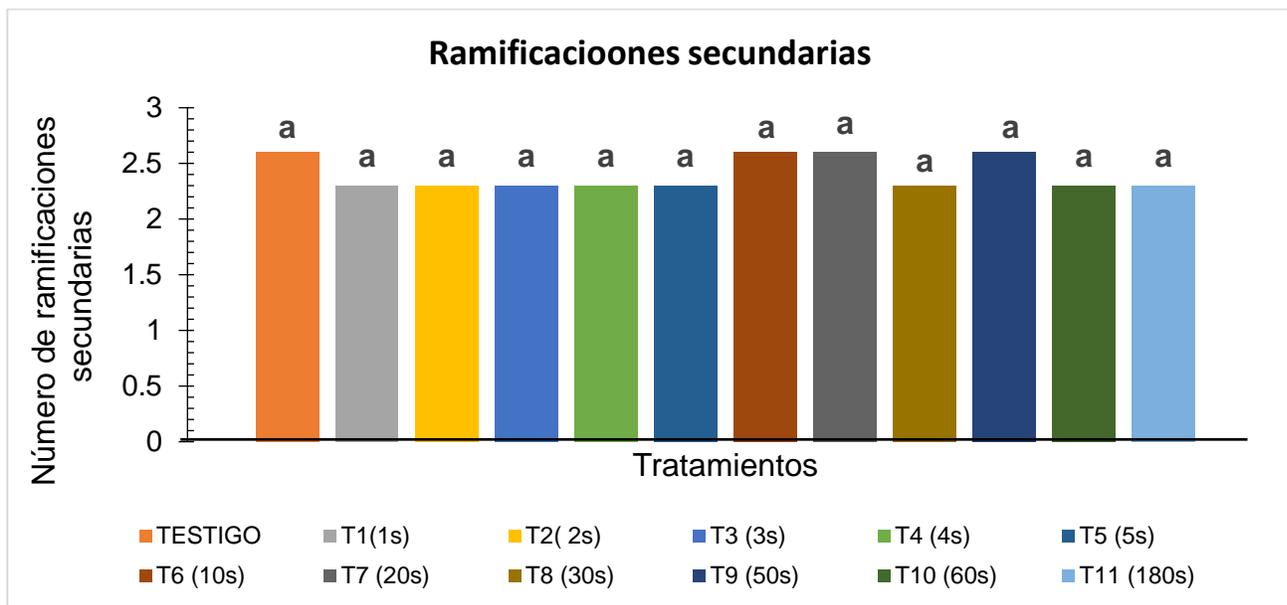


Figura 21: Comportamiento promedio de las ramificaciones secundarias

En la **Figura 21** se puede apreciar el comportamiento de las ramificaciones secundarias de cada tratamiento. No se encontró diferencias estadísticas significativas de la incidencia de estas, esto se observa en la comparación de medias de dicha variable **cuadro 9**, ya que ninguna destaca o es superior al testigo.

Sin embargo, es de destacar que estadísticamente no se encuentran diferencias que muestren que esto es debido a la exposición de las semillas al plasma, es decir; no se encuentran diferencias que muestren que el plasma disminuya la incidencia de ramificaciones laterales.

Cuadro 9. Comparación de medias Tukey para ramificaciones secundarias.

TR	Tukey Agrupamiento	Media	N
9	A	2.6667	3
6	A	2.6667	3
7	A	2.6667	3
Testigo	A	2.6667	3
5	A	2.3333	3
2	A	2.3333	3
3	A	2.3333	3
8	A	2.3333	3
1	A	2.3333	3
10	A	2.3333	3
11	A	2.3333	3
4	A	2.3333	3

N= repeticiones, TR= tratamientos

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

8.1.2.7 Días a floración

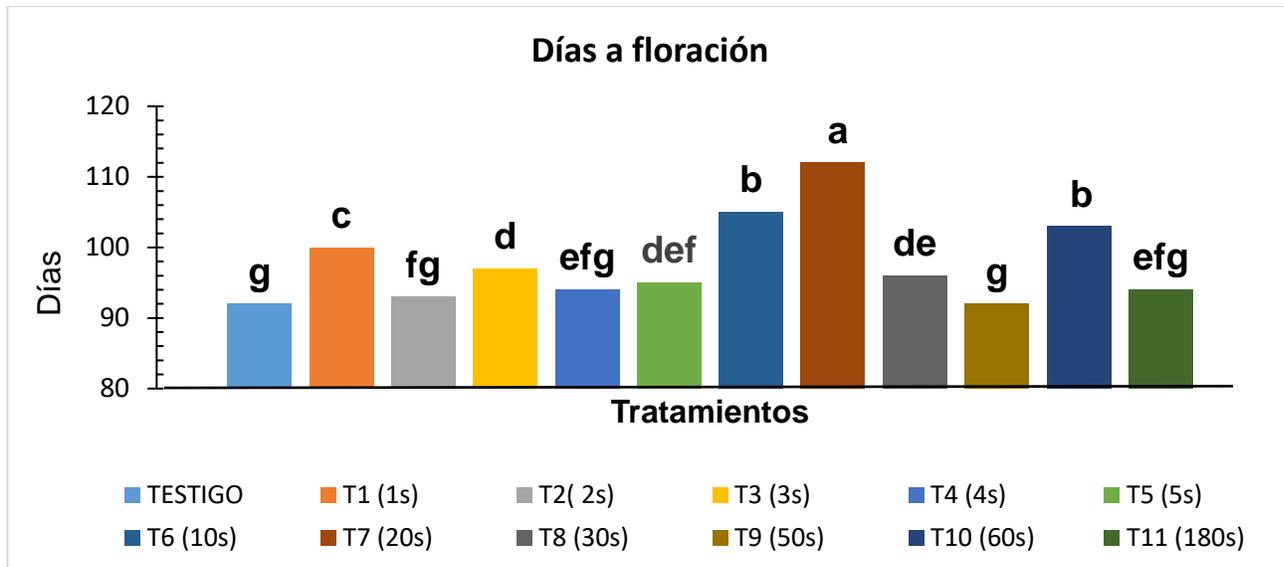


Figura 22: Días en que se alcanzó el 50% de floración por cada tratamiento.

En la **Figura 22** se observa el comportamiento de la aparición de la incidencia floral para cada tratamiento. Encontrándose diferencias estadísticas significativas con un alfa= 0.1, como se observa en el **cuadro 10**. Donde el tratamiento T7 de 20 segundos de exposición a plasma presenta una media alta de 112.00, que representa los días en que se alcanzó el 50% de floración, seguido del tratamiento T6 de 10 segundos de exposición con una media de 105.00 presentando diferencias estadísticas significativas con el testigo ya que este presento una media de 92.00 quedando por debajo del tratamiento T7. En base a los resultados se podría decir que la aplicación de plasma afecta de manera significativa a la incidencia floral de la jícama.

Cuadro 10. Comparación de medias de Tukey para días a floración.

TR	Tukey Agrupamiento		Media	N
7		A	112.0000	3
6		B	105.0000	3
10		B	103.0000	3
1		C	100.0000	3
3		D	97.0000	3
8	E	D	96.0000	3
5	E	D F	95.0000	3
4	E	G F	94.0000	3
11	E	G F	94.0000	3
2		G F	93.0000	3
9		G	92.0000	3
testigo		G	92.0000	3

N= repeticiones, TR= tratamientos

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

De manera general se puede observar en el **cuadro 11**, que se presentan diferencias estadísticas ($P \leq 0.01$) para las fuentes de variación de tratamientos para las variables evaluadas de porcentaje de germinación (**PG**), días de emergencia (**DE**), primera hoja trifoliada (**PHT**), segunda hoja trifoliada (**SHT**), tercera hoja trifoliada (**THT**), promedio de ramificación secundarias (**PRS**) y días de floración (**DF**). Solo para **PHT**, **SHT**, **THT** y **PRS** no se presentaron diferencias significativas de acuerdo con lo observado.

Lo anterior indica que la aplicación de plasma frío a un tiempo de exposición de 20 segundos afecta de manera favorable el porcentaje de germinación (**PG**), los días de emergencia (**DE**) y los días de floración (**DF**) de las plantas de jícama.

Cuadro 11. Cuadrados medios de variables cuantitativas en el proceso de tratamiento de plasma en semilla de jícama I

FV	GL	PG (%)	DE	PHT (días)	SHT (días)
Tratamientos	11	232.94 **	56.43*	4.00 NS	16.61 NS
Error	24	42.67	26.00	30.00	28.00
CV (%)		2.03	7.21	11.97	8.69
Media		65.53	14.41	9.33	12.41
R²		0.98	0.95	0.59	0.86

FV= fuentes de variación, GL= grados de libertad, CV= coeficiente de variación, PG= porcentaje de germinación, DE= días de emergencia, PHT= primera hoja trifoliada, SHT= segunda hoja trifoliada, **= altamente significativo, *= significativo, NS= no significativo.

Cuadro 12. Cuadrados medios de variables cuantitativas en el proceso de tratamiento de plasma en semilla de jícama II

FV	GL	THT (días)	PRS (promedio)	DF (días)
Tratamientos	11	17.63 NS	0.08 NS	113.52**
Error	24	32.00	12.00	24.00
CV (%)		5.67	28.92	1.02
Media		20.33	2.44	97.75
R²		0.85	0.06	0.98

FV= fuentes de variación, GL= grados de libertad, CV= coeficiente de variación, THT= tercera hoja trifoliada, PRS= promedio de ramificaciones secundarias, DF= días a floración, **= altamente significativo, *= significativo, NS= no significativo.

IX. CONCLUSIONES

Se sometieron (720) semillas de jícama (*Pachyrhizus erosus* L. Urban) a tratamientos de plasma de aire no térmico a baja presión (once tratamientos).

El valor promedio de la hidrofobicidad de las semillas se reduce considerablemente con la exposición a plasma. El testigo presenta un valor de ángulo promedio de 109.2°, este valor permaneció relativamente constante durante todos los días de medición. Las semillas expuestas mayor tiempo a plasma presentaron una disminución en la hidrofobicidad en la mayoría de los tratamientos, de los cuales destacan el T7:129.8°, T8:125.9°, T9:125.7° y el T10:133°. Es decir; las semillas se hicieron más afines al agua. Los valores de la hidrofobicidad como función del tiempo de almacenamiento muestran un comportamiento de aparente retorno a los valores originales, por ejemplo; para el tratamiento T2, de 109.2° disminuyó a 108.5° y para el tratamiento T7 de 129.8° retorno a 109.2. El tiempo de exposición y el tiempo de almacenamiento de las semillas representan un papel importante en el cambio de la hidrofobicidad.

Se cuantificó el porcentaje de germinación de semillas de jícama (*Pachyrhizus erosus* L. Urban) expuestas al plasma. Se hizo en semillas sembradas mediante el uso de la técnica de toallas húmedas y en semillas sembradas de manera tradicional directamente al suelo.

Mediante el uso de la técnica de toallas húmedas se cuantificó el porcentaje de germinación de semillas de jícama sometidas a plasma. Los parámetros utilizados en la evaluación del estado de las semillas son su viabilidad y su vigor. Se obtuvo que el 50% utilizado es viable a pesar del tiempo de almacenamiento, ya que el uso del plasma afectó en la germinación acelerando el proceso; en particular, el tratamiento T7 de 20 segundos de exposición alcanzó el 83% de germinación. Mientras que el valor más bajo lo obtuvo el testigo y el tratamiento T5 con un 53%, aún por debajo del resto de los tratamientos.

Se sembró directamente al suelo el cincuenta por ciento del número de semillas de jícama (*Pachyrhizus erosus* L. Urban) expuestas al plasma, de las cuales se cuantificó la velocidad de etapas vegetativas y tiempo de floración. Se obtuvo que el plasma acelera de cierta forma el proceso de emergencia de las semillas; particularmente destacaron el tratamiento T6 y T7 al ser los que emergieron con mayor rapidez, alcanzando el 50% a los 11 días. Por otra parte, el que tardó más tiempo en emerger fue el testigo, con un lapso de 27 días. Es decir que una exposición de 10 a 20 segundos a un tratamiento de plasma afecta significativamente la emergencia de las plantas con respecto al testigo.

Por otra parte, en el cuadro de cuadrados medios no se observan diferencias estadísticas significativas para ninguna de las variables de primera, segunda y tercera hoja trifoliada. De

igual manera sucede para la variable de ramificaciones secundarias. En esta variable el testigo presentó medias por encima de todos los tratamientos.

Cabe resaltar que para la variable de floración si se encontraron diferencias estadísticas significativas, en el cual destaca el tratamiento T7 al ser el que obtuvo el 50% de floración con mayor rapidez, por otro lado; el que tardo más tiempo fue el testigo, quedando por debajo de todos los tratamientos.

X. PERSPECTIVA Y/O RECOMENDACIONES

Principalmente se puede decir que el colocar semillas de jícama en charolas, afecta el desarrollo radicular de las plantas y el rendimiento de estas se ve severamente afectado; ya que el almacigo provoca que el tubérculo no tenga espacio suficiente para el desarrollo de la raíz y por ello surjan deformaciones que se observan con claridad en la cosecha.

Por otra parte, es recomendable para conseguir tubérculos de calidad, eliminar flores cuando estas comiencen a aparecer, y de igual manera cortar una pequeña parte del follaje para lograr que los nutrientes se concentren en la raíz y no en la formación de semillas.

Para mejorar la producción de alimentos resulta de gran importancia incorporar el uso de nuevas técnicas y tecnologías. Con base en los resultados obtenidos, el plasma de aire no térmico representa un método novedoso que favorece el aumento del porcentaje de germinación de semillas de (*Pachyrhizus erosus* L. Urban), la velocidad con la que emergen las plantas, al igual que la aparición de las primeras hojas trifoliadas. Se recomienda continuar con esta investigación haciendo énfasis en la emergencia de las plantas, el rendimiento y el valor nutricional que aporta cada tubérculo para determinar la ausencia o existencia de cambios originados por el tratamiento de plasma.

XI. REFERENCIAS

- Alarcón H., Fuentes A., Gadea P. 2020. *El plasma de aire*. Ciencias aplicadas. Escuela de Estudios Superiores de Xalostoc, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Revista Hypatia, 4 p.
- Angeles-Núñez, J. y Cruz-Acosta, T. 2017. *Aislamiento, caracterización molecular y evaluación de cepas fijadoras de nitrógeno en la promoción del crecimiento de frijol*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 6 (5), 929-942.
- Arguelles, A. D. 1979. *El cultivo de la jícama en el estado de Guanajuato*. Guanajuato, México, Centro de Investigaciones Agrícolas de El Bajío, INIA/SART. Desplegable CIAB 116. 4p.
- Bormashenko, E., Grynyov, R., Bormashenko, Y., Drori, E. 2012. *El tratamiento con plasma frío por radiofrecuencia modifica la humectabilidad y la velocidad de germinación de las semillas de plantas*. Ciencia. Representante 2, 3-10.
- Burciaga, D., H.C. 2001. *Comportamiento físico-químico durante el desarrollo del tubérculo de jícama (Pachyrhizus erosus L. Urban)*. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León, México, 88 p.
- Castellanos, J. Z., Acosta-Gallegos, J., Orozco, N. y Muñoz-Ramos, J. 2009. *Fijación biológica de nitrógeno y rendimiento de la jícama en el centro de México*. Agricultura técnica en México 35, 277-283.
- Chaple S, Sarangapani C, Jones J, Carey E, Causeret L, Genson A, Duffy B y Bourke P. 2020. *Effect of atmospheric cold plasma on the functional properties of whole wheat (Triticum aestivum L.) grain and wheat flour*. Innov. Food Sci. Emerg. Technol. 66,102529.
- Santosh C, Kumar M, Dilip Y, Sushil S, y Neha M. 2015. *yam bean (pachyrhizus erosus L.); a leguminous tuber crop*. Volume 10. 4214-4218.
- De La Rosa-Esteban, A.K., Reyna-Martínez, R., Reyes-Acosta, A.V., Reyes-Acosta, Y.K. 2021. *Non-Thermal Plasma Technology in The Agricultural-Food Industry and a Brief Description of its Possible Effects on Seed Germination: Review*, Volumen 13, No 26. Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila. 10 p.
- Dhayal, M., Lee, S. Y., & Park, S. U. 2006. *Using low-pressure plasma for carthamus tictorium L. seed Surface modification*. Vacuum 80(5):499-506.
- Díaz A, 1978. *El cultivo de la jícama: Guanajuato estado productor de primera importancia*. Panagfa (México) 6 (53):32.

- Enríquez, Q. J. F. y Quero, A. R. C. 2006. *Producción de semillas de gramíneas y leguminosas forrajeras tropicales*. INIFAP, CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, México. Libro Técnico Núm. 11. 109 p.
- Finch-Savage, W.E. 2004. *The use of population-based threshold models to describe and predict the effects of seedbed environment on germination and seedling emergence of crops*. In R.L. Benech-Arnold and R.L. Sánchez (eds.). *Seed physiology: applications to agriculture*. Haworth Press, New York, USA. 51-96 p.
- Giayetto, O., E.M. Fernández, y G. Cerioni. 2006. *El cultivo del maní en Córdoba*. Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Argentina. Fecha y modelos de siembra. 157-168 p.
- González-Vázquez, M., Calderón-Domínguez, G., Mora-Escobedo, R., Salgado-Cruz, MP, Arreguín-Centeno, JH, & Monterrubio-López, R. 2022. *Polisacáridos de interés nutricional en jícama (Pachyrhizus erosus) durante el desarrollo radicular*. *Ciencia de los alimentos y nutrición*, 10, 1146 – 1158. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2746>
- Grum and Sorensen, M. 1993. *Pachyrhizus symbiosis with Bradyrhizobium bacteria: genetic diversity and performance*. In First Biannual Progress Report of the Yam Bean Project. The Yam Bean Project, Copenhagen, Denmark. 170 p.
- Grum M., 1990. *Breeding Pachyrhizus erosus Rich. ex DC.: A review of goals and methods*. Copenhagen, Denmark. Department of Crop Husbandry and Plant Breeding. The Royal Veterinary and Agricultural University. 75 p.
- Heredia Z. A. 1996. *Guía para cultivar jícama en el Bajío*, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y pecuarias Centro de investigación Regional del centro Campo Experimental Bajío., Celaya, Guanajuato. México. 24 p.
- Heredia Z., A 1985. *Guía para producir jícama en al Bajío*. Folleto para productores no. 15. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Centro de Investigaciones Agrícolas del Bajío. Guanajuato, México. 2-11 p.
- Hoof, W.C.H., Sorensen, M. 1989. *Pachyrhizus erosus (L) Urbano In Westphal, E. and Jansen, P.C.M., eds. Plant resources of South-East Asia, a selection*. Wageningen, Netherlands, 213-215 p.
- Iqbal M, Haq Z, Malik A, Ayoub C, y Nisar J. 2016. *Pre-sowing seed magnetic field stimulation: A good option to enhance bitter melon germination, seedling growth and yield chara*. 5, 30-37.
- Koutchma T. 2021. *Global Regulations on Ultraviolet and Pulsed Light Technology for Food Related Applications*. In *Innovative Food Processing Technologies*. K. Knoerzer, K. Muthukumarappan ed. Elsevier, 311-315 p.

- Lazim SK y Ramadhan M. N. 2020. *Effect of microwave and UV-C radiation on some germination parameters of barley seed using mathematical models of Gompertz and logistic: Analysis study*. Basrah J. Agric. Sci. 33: 28–41 p.
- Li L, Jiang J, Li J, Shen M, He X, Shao H y Dong Y. 2014. *Effects of cold plasma treatment on seed germination and seedling growth of soybean*. Sci. Rep. 4: 1–7 p.
- Ling L, Jiangang L, Minchong S, Chunlei Z y Yuanhua D. 2015. *Cold plasma treatment enhances oilseed rape seed germination under drought stress*. Sci. Rep. 5: 1– 10.
- Ling, L, I., Jiangang, L., Minchong, s., Jinfeng, H., Hanliang, S., Yuanhua, d., & Jiafeng, j. 2016. *Improving seed germination and peanut yields by cold plasma treatment*. Plasma Sci. Techno, 18-10 p.
- Manu, V.T.; Ralafihi, M.; Gahoonia, T.S.; Nielsen, N.E.; Stolen, O. and Sorensen, M. 1993. *Biological nitrogen fixation in Pachyrhizus Rich. exDC. Genotypes and its relation to P-mobilization in the rhizosphere*. In First Biannual Progress Report of the Yam Bean Project. The Yam Bean Project, Copenhagen, Denmark. 21 (24), 170 p.
- Molina C.M.A., 2021. *Caracterización de la fenología y efectos de densidades de siembra y podas en la producción hortícola sustentable de jícama [Pachyrhizus erosus (L.) Urb.] zamorano-honduras*. (25) 42 p.
- Mora A., y Morera J., 2016. *Investigación en jícama (Pachyrhizus erosus) y su potencial para el desarrollo agrícola de la Región*. Agronomía Mesoamericana. 6. 01. 10-15 p.
- Morales S.M.E., Peña V., García E., Aguilar A., Benítez G., y Kohashi S.J., 2017. *Características físicas y de germinación en semillas y plántulas de frijol (Phaseolus vulgaris L.) silvestre, domesticado y su progenie*. Agro ciencia, 51(1), 43-62 p.
- Muñoz N., y Concha-Meyer A. 2022. *Plasma frío atmosférico para el control de microorganismos patógenos en sistemas agroalimentarios*. Agro Sur, 50(1), 11–19 p. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2021.v50n1-02>
- Mutasim B., Sumon K., Fahmida B.M., Nazmul H., Rashid, M., Faruk H., Uzzal K.A., y Mamunur R. T. 2021. *Investigation of mechanisms involved in seed germination enhancement, enzymatic activity and seedling growth of rice (Oryza Sativa L.) using LPDBD (Ar+Air) plasma*, Archives of Biochemistry and Biophysics, Volume 698.
- National Academy of Sciences. 1979. *Root Crops: Yam Bean*. In Tropical Legumes: Resources for the future. Washington, USA. pp.21-27, 305-307 p.
- Ojha S, Fröhling A, Durek J, Ehlbeck J, Tiwari BK, Schlüter OK y Bußler S. 2021. *Principles and Application of Cold Plasma in Food Processing*. In: Innovative Food Processing Technologies. Knoerzer, K. Muthukumarappan ed. Elsevier, 519–540.
- Parvatha P. 2015. *Plant protection in tropical root and tuber crops. yam bean, pachyrhizus erosus.*, (chapter 8),267-279.

- Pankaj SK y Keener KM. 2017. *Cold plasma: background, applications and current trends*. Curr. Opin. Food Sci. 16: 49–52 p.
- Pascale, A.J., y E.A. Damario. 2010. *Clasificación por tipos agroclimáticos para el cultivo de la soja*. Rev. Fac. Agron. (B. Aires) 30:1-73 p.
- Pedrow P, Hua Z, Xie S y Zhu MJ. 2019. *Engineering principles of cold plasma*. In Advances in Cold Plasma Applications for Food Safety and Preservation. D. Bermudez-Aguirre ed. Academic Press, Elsevier, 3-48 pp.
- Phillips-Mora, W.; Morera, J.; Sorensen, M. 1993. *Las jícamas silvestres y cultivadas (Pachyrhizus spp.)* Turrialba, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Royal Veterinary and Agricultura. University of Denmark. 85p.
- Prasad, P.V.V., V.G. Kakani, and H.D. Upadhyaya. 2009. *Growth and production of groundnut*. In W.H. Verheye (ed.). Soils, Plant Growth and Crop Production. Encyclopedia of Life Support Systems. Eolss Publishers, Oxford, UK. 1-26 p.
- Rajjou, L., M. Duval, K. Gallardo, J. Catusse, J. Bally, C, Job, and D. Job. 2012. *Seed germination and vigour*. Annual Review of Plant Biology 63:507-33 p.
- Ramírez-Padilla, C.A. y T. Valverde. 2005. *Germination responses of three congeneric cactus species (Neobuxbaumia) with differing degrees of rarity*. Journal of Arid Environments 61, 333– 343 p.
- Randeniya, L. K., & de Groot, G. J. J. B. 2015. *Non-thermal plasma treatment of agricultural sedes for stimulation of germination, removal of Surface contamination and other benefits*, 12(7), 608-623 p.
- Rawat M., Vimal V. 2023. Production Technology of Underutilized Vegetable Crops.
- Ren J, Zhu Z, Qiu Y, Yu F, Ma J y Zhao J. 2021. *Magnetic field assisted adsorption of pollutants from an aqueous solution: A review*. J. 408: 124 p.
- Rifna EJ, Ratish Ramanan K y Mahendran R. 2019. *Emerging technology applications for improving seed germination*. Trends Food Sci. Technol. 86: 95–108 p.
- Será, B., Spatenka, P., Sery, M., Vrchotova, N., & Hruskova, I. 2010. *Influence of plasma treatment on wheat and oat germination and early growth*. IEEE Transaction on plasma science. IEEE Nuclear and plasma sciences society, 38(10), 2963-2968 p.
- Singh, K.P.; Singh, J.R.P. and Ray, P.K. 1981. "RajendraMishrikanda-1" apromising yam bean. Indian Farming 31(9):19-21.
- Solomon, E., Berg, K., Martín D., 2013. *Biología. 9a Edición*. McGraw-Hill Interamericana, México. 1237 p.
- Sorensen M. 1996. *Yam Bean: Pachyrhizus DC.-Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops*. 2. Bioversity International.

- Sorensen, M. 1988. *A taxonomic revision of the genus Pachyrhizus* (Fabaceae-Phaseoleae). *Nordic Journal of Botany* 8:167-192 p.
- Sorensen, M. 1990. *Observaciones on distribution, ecology and cultivation of the tuber-bearing, legume genus Pachyrhizus Rich.* Wageningen Agricultural University Papers (Netherlands) 38 p.
- Staric, P.; Mravlje, J.; Mozetic, M.; Zaplotnik, R.; Šetina Batic, B.; Junkar, I.; Vogel Mikuš, K. 2022. *La influencia del tratamiento con plasma frío resplandor y resplandor en la bioquímica, morfología y fisiología de las semillas de trigo.* En t. *J. Mol. ciencia*, 23, 7369 p.
- Stevens, W. D., C. Ulloa U., A. Pool y O. M. Montiel (eds.), 2001. *Flora de nicaragua. vol 85, tomos I, II Y II* Missouri Botanical Garden Press. St. Louis, Missouri.
- Tamayo N.J., Verdezoto O.P. 2022. *Estudio de osmolalidad de una bebida a base de jícama (Pachyrhizus erosus).* UTC. Latacunga. 169 p.
- Thung, T.R. and Radiwidjaja, T. 1957. *De heksenbezemziekte bij leguminosen.* T. *Pl. ziekten* 58-63 p.
- Webmaster. (n.d.) 2022. *ingeniería ambiental*. Retrieved february 8,2022.
- Zahoranová, A.; Hoppanová, L.; Šimončicová, J.; Tučeková, Z.; Medvecká, V.; Hudecová, D.; Kaliňáková, B.; Kováčik, D.; Černák, M. 2018. *Efecto del plasma a presión atmosférica fría en las semillas de maíz: mejora del crecimiento de las plántulas e inactivación de los microorganismos de la superficie.* *Química del plasma. Proceso de plasma.*, 38, 969–988p.
- Zhang, B., Li, R., & Yan, J . 2018. *Study on activation and improvement of crop sedes by the application of plasma treating sedes equipament.* *Archives of biochemistry and biophysics*, 655, 37-42 p.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS



Ayala, Morelos a 27 de septiembre del 2023.

Asunto: Voto Aprobatorio

DR. GREGORIO BAHENA DELGADO
DIRECTOR DE LA EESX
P R E S E N T E

Por medio del presente, los revisores de la tesis que lleva por título: **“El plasma de aire como factor de cambio en el porcentaje de germinación de semillas de jícama (*Pachyrhizus erosus L. urban*), ”**. Que ha realizado la pasante de la Licenciatura en **Ingeniería en Fitosanidad, Ángeles Jaquelin Palma Zúñiga**, otorgamos nuestro voto de aprobación para su impresión por haberse realizado las correcciones consideradas pertinentes de nuestra parte.

Atentamente
Por una humanidad culta
Una universidad de excelencia

Dr. Fidel Benjamín Alarcón Hernández

Ing. Bartolo Jahen Muñoz

Dra. María del Carmen Fuentes Albarrán

Dra. Dra. Yessica Flor Cervantes Adame

Dr. David Antonio Moreno Medina



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

FIDEL BENJAMIN ALARCON HERNANDEZ | Fecha:2023-09-27 10:25:48 | Firmante

DYHKLx7eyi8hNagwra33EefldjboKdwYWuSZT7ymZO7FousV6WAmEnLTCUhf6qluRbF6ocwyaA9EmAKayc10gsSyA6hKdvpk28V6Pn45TUu+hA8OZnkO/3UI6Se3uJtsb+8+c+foKeLHpH1zZDPudUKUETra5legyTTWj0VifBLYWg2NJIIMgJmt16+CpfYvsAkU6x7rJhidf3VweYeVDKEH6Z6YGM4N+QMm3/i2Y6bk140ardUQYFvtcP6XuPw+bbjy7Nrlu34Hi15zO8RIFOC/VimVz3JYEyE/XcEkJqUglVg9FnuUKLq1JfGMAUlachCEfCaqCz58bqvudqmw==

MARIA DEL CARMEN FUENTES ALBARRAN | Fecha:2023-09-27 10:51:24 | Firmante

YAcg+moSB/PBHoKHesIZYajnXR76sh2uIEPGkkgVoWoD4zVEvoLqwBbAGwbPneXJZFPAAEWaH+kZJi/pBU1Ss5QDI3Ngg2vK8D3sUaHZ1du+oYKQON9dPq05jNqC2OhBAYPv8WeCOKVD7KQWx7PIX05T5XD+WVGlefem3Hg5bFqJkrKOMWml9AGSkR6pXOM9sPg82Yve9KSK2CXczzi1SNb/Rdep6k5kcO9tdp65UDmiT0WE6muD6PuGF1TaA8pJymsn+8lsAijpxBiG/plWmrcqoVnnaXb0i4Ty/R/TZ0Sci+pu84DAHT0Gi5/6jHWzaEscBO0w7HD9vEPNimxQ==

BARTOLO JAHEN MUÑOZ | Fecha:2023-09-27 17:18:40 | Firmante

shyMAJQuSwf/cUJtxqdgD4siHtz7IRTE2FyiKvVv3st79/1qnajyC309EDVnUim4cUjKkD2g7c0OM9/Mir51VN1hrxqQ4EHozpuiQ/MrxBmuDRTna4LMeWeVMAfrT2fvJB/74w+BdSfLnmzMBvKE3AYRMWPrO/SRrwsEO1TCJa897elXy8PepakhWB2+cAhKO15dthstfJBErP1Vj2+usYce79BgGn/apgYTyUHF5bht1GWzYDtU4btfo0cut0yTr9Uken26cjdusane1Elv+P7e1uV9KMIYuDqXIVE3A5Zt8MWQy8AiyEegY1QITYniRbOhGq87/smMyBaZr6w==

DAVID ANTONIO MORENO MEDINA | Fecha:2023-10-16 19:38:24 | Firmante

Avn/xlc0ZXSRYNS6WY8KZsFVN/gY845ryes1TTJTJSdJt3Oh7iJPOgy1+NB+joNtftFYHm4X/vm7xuHcba9Tpv/ripnxFD1r708doq1TEpbxlixaymhFFDdtsgod16XiHMWLF7ExLcq6qnx3gkvf1GUcAKRQeitjkbBe5g0QDcPpadMnc2CwQCWz9jCOuqCnQq80Q1pW/Rdof2cAF72RH02a0DJ2YJMW8xTx3U92FVIs/6Cxi7f9aRKED1YdClzQJtO8z9CdgjkS+Z154GghWUvbrTCrNm4GQb7kt+h/b5TJILSoslTETOPrJm0B1/8UwYRxAbsl2QvFemg==

YESSICA FLOR CERVANTES ADAME | Fecha:2024-01-18 09:13:29 | Firmante

MQ0HD17ZQ0uqXbfiDZOt8gp/Q+0uCFPbk8Gd8hdcTc51GVbG85qZu3mXtqE6B5I1/Zq2+bSeUAVOm5x9QmZGap8nEYgGghGlu5RpV/7UP54Sn6SFtaTAVVFDEWL1pXQI1sPNkDfIt9uBIF8tp+5+ymAIQJJoRW6kP7ZKowtMC221HbxDriBUxrbVfZFnFj2jIbc/cu5gpjmL636pj076QDlwtPZQd2kVHUbh/dAFvUoqS5CoEKny7hHogqktPREaiVOazk+aAxJt3UyzZNL2Qk6R3FAtdBP3m3fnM2xIFybqoW6G7rAitrSkWz9qE2ul1MXfonm2Zm4Ge2Ds4new==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



xoVJIUX76

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/SKv3Qx7yhFrGPegnPFzFEGLSPXZRSK6X>

