

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

EFFECTO DE SEIS TRATAMIENTOS EN LA ACELERACIÓN DEL PROCESO
GERMINATIVO EN SEMILLA DE PAPA (*Solanum tuberosum*), EN INTIBUCÁ.

POR:

MIGUEL ANGEL REYES SANCHEZ

INFORME FINAL DE TESIS



CATACAMAS, OLANCHO HONDURAS, C. A.

JUNIO, 2026

EFECTO DE SEIS TRATAMIENTOS EN LA ACELERACIÓN DEL PROCESO
GERMINATIVO EN SEMILLA DE PAPA (*Solanum tuberosum*), EN INTIBUCÁ.

POR:

MIGUEL ANGEL REYES SANCHEZ

JOSÉ ANDRÉS PAZ DÍAZ M. Sc.

Asesor Principal

TESIS PRESENTADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA
COMO REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO

CATACAMAS, OLANCHO HONDURAS, C. A.

JUNIO, 2026

ACTA DE SUSTENTACIÓN

Los suscritos miembros del Comité Evaluador del Informe Final de la tesis de investigación certificamos que:

El estudiante **MIGUEL ANGEL REYES SANCHEZ** del IV año de Ingeniería Agronómica presentó su informe intitulado:

“EFECTO DE SEIS TRATAMIENTOS EN LA ACELERACIÓN DEL PROCESO GERMINATIVO EN SEMILLA DE PAPA (*Solanum tuberosum*), EN INTIBUCÁ.”

El cual, a criterio de los evaluadores, _____ el presente trabajo de investigación como requisito previo para optar al título de Ingeniero Agrónomo.

Dado en la ciudad de Catacamas, Departamento de Olancho, a los ____ días del mes de junio del año dos mil veintiséis.

M. Sc. JOSÉ ANDRÉS PAZ DÍAZ

M. Sc. KEVIN ISRAEL RODAS BACA

M. Sc. EDWAR JOSUE RIVERA SOLIS

DEDICATORIA

A Dios, por darme la vida, la fortaleza y la sabiduría necesaria para culminar esta etapa tan importante de mi formación profesional.

A mi madre, Mayra Lizeth Sanchez Cantarero, por su amor incondicional, sus sacrificios y por ser mi mayor apoyo en todo momento. Gracias por creer siempre en mí.

A mi padre, Miguel Eusebio Reyes Reyes, por sus enseñanzas, su esfuerzo y por motivarme a seguir adelante con determinación.

A mi hermano, Abner Doniery Reyes Sanchez, por su compañía, apoyo y por ser parte importante de este camino.

A mi novia, Aude Berenice Espinoza Ferrera, por su amor, paciencia y por brindarme aliento en los momentos más difíciles.

A mi familia, por su apoyo constante, sus consejos y por estar presentes a lo largo de este proceso, siendo un pilar fundamental en mi vida.

Y a todas las personas que, de una u otra forma me apoyaron durante mis años de estudio.

Con gratitud y cariño, dedico este logro que representa el resultado de mi esfuerzo, constancia y dedicación.

AGRADECIMIENTO

A Dios nuestro señor por darme la oportunidad de llegar a este momento tan importante de mi vida.

A la Universidad Nacional de Agricultura como Alma mater y a los docentes que con su conocimientos y paciencia contribuyen a la formación de grandes profesionales.

A mis asesores, por su orientación, apoyo y por compartir sus conocimientos, los cuales fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

A la Estación Regional de la Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (DICTA), por facilitar los recursos, el espacio y la colaboración necesaria para la realización de esta investigación.

A todas las personas que me apoyaron durante este proceso por su colaboración, consejos y acompañamiento a lo largo de este camino.

A todos ellos, mi más sincero agradecimiento.

CONTENIDO

	Pág.
ACTA DE SUSTENTACIÓN.....	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABLAS	viii
LISTA DE CUADROS	ix
LISTA DE ANEXOS.....	xi
RESUMEN	xiii
I. INTRODUCCIÓN	5
II. OBJETIVOS	5
2.1. Objetivo General.....	5
2.2. Objetivos Específicos.....	5
III. REVISIÓN DE LITERATURA	6
3.1. Origen de <i>S. tuberosum</i>.	6
3.2. Información Taxonomía	7
3.3. Semilla de papa y su calidad.....	7
3.4. Fisiología de la dormancia y la germinación en la semilla de papa	8
3.4.1. Estado de dormancia o reposo	9
3.4.2. Estado de dominancia apical	10
3.4.3. Estado de brotación múltiple	11
3.4.4. Estado de senectud.....	11
3.4.5. Factores que afectan la germinación	12
3.5. Regulación hormonal de la dormancia y la brotación	13
3.6. Tratamientos para acelerar la germinación	14

3.6.1 Ácido giberélico (<i>GA3</i>)	14
3.6.2. Benciladenina (6-BA O BAP)	14
3.6.3. Etileno	15
3.6.4. Aserrín	15
3.6.5. Sumersión en dosis cloradas (Hipoclorito)	15
3.7. Vigor fisiológico de los brotes	15
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
4.1. Localización y periodo de duración del experimento.....	17
4.2. Factor bajo estudio	18
4.3 Manejo Agronómico de la parcela experimental	18
4.4 Materiales	19
4.4.1. Material vegetal	19
4.4.2. Materiales para tratamientos químicos y físicos.....	19
4.4.3. Material para preparación y desinfección.....	19
4.4.4. Materiales de apoyo.....	20
4.4.5. Equipo de protección personal	20
4.4.6. Instrumentos para recolección de datos	20
4.5 Método	21
4.6 Diseño experimental	21
4.7 Modelo estadístico	21
4.8 Tratamientos	22
4.9 Unidad experimental	23
4.10 Variables a medir	24
4.11 Análisis estadístico	25
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
5.1 Tiempo de germinación	27
5.2 Porcentaje de germinación	29
5.3 Número de brotes.....	31
5.4 Longitud de brotes (mm)	35
5.5 Diámetro de brotes (mm)	39

5.6 Análisis económico de los tratamientos pregerminativos	42
VI. CONCLUSIONES	44
VII. RECOMENDACIONES	45
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	46
ANEXOS	50

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Planta de <i>S. tuberosum</i> (Wikimedia 2010).	6
Figura 2. Tubérculos de papa utilizados como semilla.	8
Figura 3. Foto de <i>Rhizoctonia solani</i>	8
Figura 4. Foto de semilla de papa en dormancia	10
Figura 5. Foto de brotación apical de la semilla de papa	10
Figura 6. Foto de brotación múltiple de la semilla de papa.....	11
Figura 7. Foto de senectud de la semilla de papa	11
Figura 8. Ubicación del departamento.....	17
Figura 9. Croquis del experimento bajo un Diseño Completamente al Azar (Propio)..	24
Figura 10. Tiempo promedio de germinación de tubérculos-semillas sometidos a diferentes tratamientos.....	28
Figura 11. Porcentaje de germinación evaluados a los siete y 14 días después de la aplicación.....	30
Figura 12. Interacción ente tratamiento y tiempo sobre el número de brotes evaluados a los 20, 40 y 60 días.	34
Figura 13. Interacción ente tratamiento y tiempo sobre longitud de brotes evaluados a los 20, 40 y 60 días.	37
Figura 14. Interacción ente tratamiento y tiempo sobre el diámetro de brotes evaluados a los 20, 40 y 60 días.	41

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Descripción de los tratamientos a evaluados.	22
Tabla 2. Aleatorización para la evaluación de seis tratamientos para acelerar el proceso germinativo en semilla de papa (<i>S. tuberosum</i>), en Intibucá.....	23
Tabla 3. Análisis estadístico de variables.....	26

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Análisis de varianza y estadístico de ajustes para la variable de tiempo de germinación de tubérculos-semillas sometidos a diferentes tratamientos.....	27
Cuadro 2. Comparación de medias para la variable tiempo de germinación de tubérculos sometidos a diferentes tratamientos.....	28
Cuadro 3. Análisis de varianza y estadísticos de ajuste para el porcentaje de germinación evaluados a los siete y 14 días después de la aplicación.	29
Cuadro 4. Comparación de medias para el porcentaje de germinación evaluado a los siete y 14 días después de la aplicación.....	30
Cuadro 5. Estadístico de ajuste y evaluación de sobredispersión del modelo lineal generalizado (PROC GLIMMIX) con distribución Poisson para el número de brotes..	32
Cuadro 6. Criterios de información para la selección de la estructura de covarianza del modelo para medidas repetida del número de brotes evaluados a los 20, 40 y 60 días..	32
Cuadro 7. Resultados del modelo para medidas repetidas (PROC MIXED) del número de brotes evaluados a los 20, 40 y 60 días.....	33
Cuadro 8. Resultados del modelo lineal generalizado (PROC GLIMMIX) con distribución Poisson para el número de brotes evaluados a los 20, 40 y 60 días.	33
Cuadro 9. Media de mínimos cuadrados (LSMEANS) del número de brotes por tratamiento y tiempo (20, 40 y 60 días).....	33
Cuadro 10. Verificación de supuestos del modelo para longitud de brotes.....	35
Cuadro 11. Criterios de información para la selección de la estructura de covarianza en el modelo de medidas repetida para longitud de brotes evaluados a los 20, 40 y 60 días.	36
Cuadro 12. Resultados del modelo para medidas repetidas (PROC MIXED) de longitud de brotes evaluados a los 20, 40 y 60 días.....	36
Cuadro 13. Media de mínimos cuadrados (LSMEANS) de longitud de brotes por tratamiento y tiempo (20, 40 y 60 días).....	37

Cuadro 14. Verificación de supuestos del modelo para diámetro de brotes.....	39
Cuadro 15. Criterios de información para la selección de la estructura de covarianza en el modelo de medidas repetida para diámetro de brotes evaluados a los 20, 40 y 60 días.	39
Cuadro 16. Resultados del modelo para medidas repetidas (PROC MIXED) del diámetro de brotes evaluados a los 20, 40 y 60 días.	40
Cuadro 17. Media de mínimos cuadrados (LSMEANS) del diámetro de brotes por tratamiento y tiempo (20, 40 y 60 días).....	40
Cuadro 18. Análisis económico de los tratamientos pregerminativos evaluados en semilla de papa	42

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Semana del 9 al 15 de febrero: acondicionamiento del área de trabajo y adquisición materiales.	50
Anexo 2. Semana del 16 al 22 de febrero: preparación de bandejas de germinación, aplicación y distribución de tratamientos	50
Anexo 3. Semana del 23 de febrero al 01 de marzo: toma de datos del porcentaje de germinación (7 DDA), monitoreo de germinación y plagas	50
Anexo 4. Semana del 02 al 08 de marzo: toma de datos del porcentaje de germinación (14 DDA), monitoreo de germinación y plagas	51
Anexo 5. Semana del 09 al 15 de marzo: toma de datos de longitud, diámetro y número de brotes (20 DDA), monitoreo de germinación y plagas.....	51
Anexo 6. Semana del 16 al 22 de marzo: monitoreo de germinación y plagas.....	51
Anexo 7. Semana del 23 al 29 de marzo: Toma de datos de longitud, diámetro y número de brotes (40 DDA), monitoreo de germinación y plagas.....	52
Anexo 8. Semana del 30 de marzo al 05 de abril: monitoreo de germinación y plagas	52
Anexo 9. Semana del 06 al 12 de abril: monitoreo de germinación y plagas	52
Anexo 10. Semana del 13 al 19 de abril: toma de datos de longitud, diámetro y número de brotes (60 DDA), monitoreo de germinación y plagas.....	52
Anexo 11. Hoja de toma de datos de las variables a evaluar para acelerar el proceso germinativo en la semilla de papa (<i>S. tuberosum</i>), en Intibucá.....	53
Anexo 12. Hoja de registro para la toma de datos por unidad experimental del experimento para acelerar el proceso germinativo en la semilla de papa (<i>S. tuberosum</i>), en Intibucá	54

Anexo 13. Bitácora de actividades	55
Anexo 15. Salida estadística del modelo de medidas repetidas (PROC MIXED) del número de brotes evaluados a los 20, 40 y 60 días.....	56

RESUMEN

La presente investigación se realizó con el objetivo de evaluar el efecto de seis tratamientos pregerminativos químicos y físicos sobre la ruptura de la dormancia, la aceleración del proceso germinativo y el vigor fisiológico de los tubérculos-semilla de papa (*S. tuberosum*), en Intibucá. El estudio se realizó en la estación regional de la Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (DICTA), bajo un Diseño completamente al azar (DCA), con seis tratamientos y cuatro repeticiones, utilizando un total de 240 tubérculos-semilla. Las variables evaluadas fueron tiempo de germinación, porcentaje de germinación, número de brotes, longitud y diámetro de brotes.

Los resultados demostraron diferencias significativas entre tratamientos en todas las variables evaluadas. Los tratamientos con ácido giberélico al 5% y 10% presentaron los menores tiempos de germinación, con un promedio de 12 días, mostrando una respuesta más rápida en comparación con los demás tratamientos. En cuanto al porcentaje de germinación, el tratamiento con ácido giberélico al 10% mostró el mejor desempeño durante las evaluaciones realizadas a los días siete y 14. Asimismo, los tratamientos con ácido giberélico destacaron en las variables de número, longitud y diámetro de brotes, siendo el tratamiento con ácido giberélico al 10% el de mejor respuesta. Se concluyó que el uso de ácido giberélico al 10% se presentó como una alternativa eficiente para acelerar la germinación y mejorar el vigor fisiológico de la semilla de papa bajo las condiciones evaluadas.

I. INTRODUCCIÓN

La papa (*S. tuberosum*) es uno de los cultivos más importantes a nivel mundial, ocupando el cuarto lugar en producción después del maíz, el trigo y el arroz. Este tubérculo constituye una fuente fundamental de carbohidratos, vitaminas, minerales y proteínas de alta calidad lo que la convierte en un alimento básico para millones de personas. Además, representa un rubro agrícola de alto valor económico y social especialmente en regiones de clima templado y de altura, donde su cultivo genera miles de empleos y de ingresos para familias productoras (FAO, 2025).

En Honduras el cultivo de papa se concentra principalmente en los departamentos de Intibucá, Ocotepeque, La Paz, también se siembran en otros departamentos de Francisco Morazán y El Paraíso. En lugares donde las condiciones agroecológicas como la altitud es superior a 1500 m.s.n.m., con temperaturas promedias de 10 a 25 °C, suelos francos y francos arenosos que favorecen su desarrollo (DICTA, 2016).

El proceso de germinación en la semilla de papa depende de factores intrínsecos como ser el estado fisiológico del tubérculo, dormancia, contenido de humedad y reserva de carbohidratos, también factores extrínsecos como la temperatura, luz, humedad y ventilación. Durante el periodo de dormancia, los tubérculos permanecen metabólicamente inactivos, lo que retrasa la emisión de brotes y, por consiguiente, el establecimiento del cultivo (Luis, 2015). Por esta razón, la aplicación de tratamientos para acelerar el proceso de germinación se ha convertido en una práctica esencial.

La evaluación del efecto de estos tratamientos permitió determinar cuál resultó más eficiente para acelerar el proceso de germinación sin comprometer la viabilidad de los

tubérculos. Esto contribuyó a mejorar el manejo pregerminativo de la semilla de papa reduciendo el tiempo necesario para la emisión de brotes

Para abordar esta necesidad, el presente estudio evaluó la eficacia de seis tratamientos pregerminativos para inducir la ruptura de la latencia en la semilla de papa. Se trabajó con tubérculos en reposo fisiológico, con el fin de analizar la respuesta metabólica frente a distintos tratamientos que favorecen el crecimiento de los brotes. Mediante la comparación de los efectos inmediatos o retardados de los tratamientos sobre la brotación, el estudio generó información técnica valiosa que contribuye a mejorar el manejo de pre-siembra en Intibucá.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Evaluar el efecto de seis tratamientos pregerminativos físicos y químicos en la ruptura de la dormancia, la aceleración del proceso germinativo y el vigor fisiológico de la semilla de papa (*S. tuberosum*), en Intibucá.

2.2. Objetivos Específicos

- 2.2.1 Comparar la precocidad de germinación entre los seis tratamientos pregerminativos aplicados en la semilla de papa.
- 2.2.2 Determinar el porcentaje de germinación en dos momentos de evaluación posteriores a la aplicación de cada tratamiento.
- 2.2.3 Evaluar el vigor fisiológico de los brotes producidos bajo cada tratamiento mediante parámetros morfológicos como número, longitud y diámetro.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Origen de *S. tuberosum*.

La papa proviene de Sudamérica, específicamente de la cordillera de los andes. Su origen se remonta al año 8000 a. c. cerca del lago Titicaca entre Bolivia y Perú. La población que se había asentado empezó a domesticar este tubérculo que era abundante en los alrededores, la población Inca mejoró la agricultura de las de las anteriores agriculturas, convirtiendo la papa en un alimento indescriptible. Tras la conquista española la civilización Inca desapareció. Sin embargo, la papa continuó siendo uno de los alimentos más importantes en estas tierras. Los conquistadores españoles fueron los primeros en tener conocimiento de este tubérculo. Este cultivo de papa se extendió por todo el mundo en un tiempo relativamente corto desde allí se convirtió en alimento básico a nivel mundial (Aragón, JD. 2018).



Figura 1. Planta de *S. tuberosum* (Wikimedia 2010).

3.2. Información Taxonomía

Según USDA Plants Database (2026) la semilla de papa pertenece a la clasificación taxonómica:

Reino: *Plantae*

División: *Magnoliophyta*

Clase: *Magnoliopsida*

Orden: *Solanales*

Familia: *Solanaceae* Juss.

Género: *Solanum*.

Especie: *Solanum tuberosum*.

3.3. Semilla de papa y su calidad

Según Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras (2024) La calidad de la semilla de papa constituye uno de los factores más importantes para el éxito del cultivo, ya que influye directamente en la velocidad de germinación, el vigor inicial de las plantas y su rendimiento final. Una semilla de buena calidad tiene que tener las siguientes características:

- a) **Calidad genética (pureza varietal)**, la pureza varietal está definida como un estándar de calidad genética, que garantiza la uniformidad de los tubérculos de semilla, como se muestra en la **Figura 2**. La evaluación de este parámetro permite verificar que los tubérculos utilizados presentan características fenológicas similares en cuanto a morfología, así como su estructura vegetal homogénea. Esta uniformidad favorece la

expresión de las características propias de la variedad y contribuye al cumplimiento de los objetivos del cultivo.



Figura 2. Tubérculos de papa utilizados como semilla.

- b) **Calidad física (sin daños físicos)**, se refiere al grado de constitución física, apariencia del tubérculo, tamaño, color, uniformidad y pureza sin mezcla con otras variedades, así como sin daños mecánicos y otros factores que lo mantienen aptos para su uso como semilla.
- c) **Calidad sanitaria (estado fitosanitario)**, es el estado fitosanitario de la semilla de papa que es muy importante y determinante en la calidad y productividad del cultivo. Este aspecto se encuentra determinado por la presencia de enfermedades que pueda presentar los tubérculos, así como se muestra la **Figura 3**.



Figura 3. Foto de *Rhizoctonia solani*

- d) **Calidad fisiológica (edad fisiológica)**, la calidad fisiológica de la semilla de papa está determinada por la edad fisiológicas del tubérculo, en la que cada etapa identifica características particulares de su estado.

3.4.Fisiología de la dormancia y la germinación en la semilla de papa

Según Luis (2015) durante el desarrollo fisiológico el tubérculo pasa a través de los estados de reposo o dormancia, dominancia apical, brotamiento múltiple y senectud. El periodo de reposo es una característica que depende de la variedad, ya que pasan por un periodo de relativa inactividad antes de emitir brotes. La duración de este periodo es un factor determinante para definir el momento más oportuno para la siembra, tales como ser:

- a) **Dormancia total:** comprendido desde la fecha de inicio de la tuberización en las plantas, hasta el término de la dormancia.
- b) **Dormancia poscosecha:** comprendido desde el momento de la cosecha hasta el fin de la dormancia.

La duración de ambos periodos determina el inicio de brotamiento. El concepto de dormancia total es más preciso pero difícil de determinar y por tal razón se usa la dormancia poscosecha para fines prácticos.

3.4.1. Estado de dormancia o reposo

Según Luis (2015) el estado de dormancia o reposo del tubérculo es el estado en el cual la semilla no brota, así como se muestra en la **Figura 4** a pesar de que existen condiciones favorables para su germinación y crecimiento de los brotes, esto debido a que está asociada con el balance hormonal relacionado con la disminución en la concentración de ácido abscísico y aumento de ácido giberélico. Los tubérculos inmaduros tienen también un reposo más largo que los maduros. Durante este periodo, la semilla de papa puede permanecer en reposo por varios meses dependiendo de la variedad, en el que no ocurre ningún crecimiento de los brotes, ni siquiera cuando los tubérculos son puestos bajo condiciones ideales para el crecimiento.



Figura 4. Foto de semilla de papa en dormancia

3.4.2. Estado de dominancia apical

Según Luis (2015) al finalizar el estado de dormancia, la semilla de papa comienza a sintetizar hormonas que favorecen el desarrollo de brotes y este se pasa gradualmente de un estado de dormancia a un estado de dominancia apical, así como se muestra en la **Figura 5**, determinado por el crecimiento activo de brotes. Este crecimiento acelera cuando la temperatura se eleva por sobre los 10 °C. Las yemas en los ojos del tubérculo comienzan a crecer y a formar brotes. Normalmente, la yema apical brota primero, marcando el comienzo del estado de dominancia apical, frenando el desarrollo de las yemas laterales. La duración de la dominancia apical difiere considerablemente entre variedades y es afectada por el manejo del almacenamiento y por el desbrotamiento.

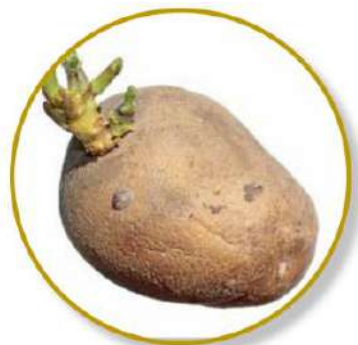


Figura 5. Foto de brotación apical de la semilla de papa

3.4.3. Estado de brotación múltiple

Según Luis (2015) al concluir el estado de dominancia apical, comienzan a desarrollar brotes adicionales y por lo tanto comienza el estado de brotación múltiple, así como se muestra en la **Figura 6**. Generalmente, este es el estado adecuado para sembrar la semilla de papa. La semilla de papa en este estado, dan lugar a plantas con varios tallos y por consiguiente a mayor producción. El objetivo de exponer la semilla de papa a luz indirecta o luz difusa, es con el fin de promover y prolongar una lenta brotación múltiple y que la mayoría de las yemas tengan la misma oportunidad de generar brotes.



Figura 6. Foto de brotación múltiple de la semilla de papa

3.4.4. Estado de senectud

Según Luis (2015) el estado de senectud de la semilla de papa se caracteriza por varios síntomas: Excesiva ramificación de los brotes, producción de brotes largos y débiles, conocidos como “brotes ahilados”, producción de papas diminutas en los brotes, ya sean antes de la siembra o durante la emergencia, así como se muestra en la **Figura 7**. En este estado los tubérculos-semillas ya no producen plantas productivas. Las plantas provenientes de tubérculos-semilla fisiológicamente viejos desarrollan rápidamente su rendimiento potencial, sin embargo, el cultivo madura tempranamente y el rendimiento total es reducido.



Figura 7. Foto de senectud de la semilla de papa

3.4.5. Factores que afectan la germinación

Según Di *et al.* (2024) la germinación depende de múltiples factores internos y externos, los cuales interactúan y determinan la velocidad de brotación, uniformidad y vigor. Tales como ser:

Factores intrínsecos:

- a) **Estado fisiológico del tubérculo:** los tubérculos jóvenes presentan dormancia más prolongada, mientras que los almacenados por más tiempo germinan con mayor facilidad.
- b) **Contenido de humedad:** influye en la respiración y en la movilización de reservas energéticas.
- c) **Reservas de carbohidratos:** los tubérculos con mayores niveles de almidón producen brotes más vigorosos
- d) **Balance hormonal:** la interacción entre ABA, GA y citoquinas determina el momento preciso de la brotación.

Factores extrínsecos:

- a) **Temperatura:** el rango óptimo para la brotación es de 15-20 °C. disponibilidad excesiva de frío o calor prolonga la dormancia.
- b) **Luz y ventilación:** la iluminación moderada favorece brotes cortos y fuertes, la ventilación reduce la humedad excesiva y pudriciones.

- c) **Humedad relativa:** condiciones entre 80-90% permiten un equilibrio entre deshidratación y sanidad.
- d) **Sanidad del tubérculo:** patógenos como hongos y bacterias retrasan o inhiben la germinación.

3.5.Regulación hormonal de la dormancia y la brotación

Según Rodríguez y Moreno (2010) el periodo de dormancia del tubérculo está regulado por las concentraciones de relativa de inhibidores y promotores de crecimiento, lo cual hace compleja la interpretación de la interacción hormonal. A esto se suma el hecho de que los tejidos de los tubérculos presentan sensibilidad diferencial a las hormonas, la cual además cambia según la edad fisiológica y el tiempo transcurrido después de la cosecha, y estas hormonas son las siguientes:

- a) **Ácido abscísico:** suele estar implicado en mantener la dormancia. En muchos tubérculos, niveles elevados de ABA se correlacionan con la imposibilidad de brotar.
- b) **Giberelinas (GA):** son importantes para romper la dormancia y estimular el brote. Estudios han demostrado que la aplicación exógena de GA puede reducir significativamente el tiempo de dormancia.
- c) **Citoquinas:** tiene un rol clave en la activación de brotes por dividir células, en algunos estudios, la aplicación de citoquinas acelera la salida de brotes en tubérculos que estaban latentes.
- d) **Etileno:** también participa en la dormancia. Según algunos estudios, el etileno puede inhibir o modificar la germinación dependiendo del estado fisiológico del tubérculo y de su interacción con otras hormonas.

3.6.Tratamientos para acelerar la germinación

En esta sección se presentan y analizan los tratamientos a utilizar para acelerar la germinación de los tubérculos de papa.

3.6.1 Ácido giberélico (GA_3)

El GA_3 exógeno se ha usado ampliamente para romper la dormancia de los tubérculos. Por ejemplo, una revisión sobre su efecto en papa indica que sumergir los tubérculos en soluciones de giberelinas puede reducir el periodo de reposo fisiológico (Geletaw Kebede Asalfew, 2016).

Un estudio recientemente optimizo la concentración y el tiempo de exposición, 150 ppm de GA_3 con 24 horas de inmersión la cual dio una germinación de 98%. El mecanismo de GA estimula la síntesis de enzimas que descomponen las reservas de almidón, dando energía para el brote (Qayyum *et al.* 2025).

3.6.2. Benciladenina (6-BA O BAP)

Cuando se aplica junto con GA_3 , la 6-BA ha demostrado tener un efecto sinérgico, ya que no solo ayuda a romper la dormancia, sino promueven el crecimiento de brotes más vigorosos. La hormona citocininas induce a la división celular, lo que favorece la formación de brotes efectivos. Además, el análisis transcriptómico en microtubérculos ha mostrado que la relación de citocininas y GA cambia cuando se rompe la dormancia (Zhang *et al.* 2023).

3.6.3. Etileno

Aunque no siempre se usa directamente como tratamiento para germinación, el etileno está relacionado con la regulación de dormancia y brotación. Algunos estudios sugieren que puede inhibir el brote en ciertos momentos dependiendo de su interacción con ABA y GA. Además, el etileno puede influir en el metabolismo de carbohidratos, lo que podría modificar la dinámica de brotación (Zhang *et al.* 2023). Se puede sugerir realizar una aplicación controlada para acelerar la germinación ya en las condiciones establecidas.

3.6.4. Aserrín

Se basa en la idea de crear un entorno favorable para el crecimiento de las yemas de los tubérculos antes de la siembra. Este método consiste en colocar las papas sobre una capa de aserrín húmedo y luego cubrirlas con más aserrín, para así mantener el sustrato con un porcentaje de humedad favorable para el desarrollo de los brotes.

3.6.5. Sumersión en dosis cloradas (Hipoclorito)

Este tratamiento tiene un objetivo dirigido a la desinfección, al sumergir los tubérculos en una solución de cloro, pero esta puede reducir la carga de patógenos que podrían afectar la germinación. Al obtener menos patógenos podría traducirse en brotes más sanos y una germinación más rápida, que los tubérculos estarían gastando menos recursos para defenderse o repararse (Li *et al.* 2024)

3.7. Vigor fisiológico de los brotes

Según SNICS (2017) el vigor de las semillas determina el desempeño de una germinación aceptable en un amplio rango de ambientes. El vigor no es una propiedad individual ya que describe varias características asociadas con los siguientes aspectos:

- a) Tasa de uniformidad de la germinación de las semillas y crecimiento de las plántulas.
- b) Capacidad de las semillas para emerger en condiciones ambientales desfavorables.
- c) Desempeño después del almacenamiento, particularmente la retención de la capacidad para germinar.
- d) Un lote de semillas vigoroso es potencialmente capaz de desarrollarse bien aun en condiciones ambientales que no son óptimas para la especie en particular.

Para medir el vigor fisiológico de los brotes de semilla de papa, los parámetros morfológicos exactos que se evalúan según la literatura técnica liderada por el CIP (*s.f*). Son los siguientes: Longitud del brote, diámetro del brote, número de brotes por tubérculo.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Localización y periodo de duración del experimento

La investigación se realizó en la estación regional de Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (DICTA) en Santa Catarina, Intibucá, ubicada a 1 km de la ciudad de La Esperanza, carretera de La Esperanza-Marcala en el municipio de La Esperanza, Intibucá. Está ubicada entre los 14°18'33.0" latitud norte y los 88°09'05.3" longitud oeste a una altitud de 1,650 msnm (14.309167, -88.151472). El experimento tuvo una duración de 600 horas de evaluación y seguimiento.

El experimento se desarrollo bajo las condiciones ambientales propias de la estación regional de DICTA en La Esperanza, Intibucá. Debido a que el objetivo del estudio se centró en la evaluación de tratamientos pregerminativos, variables como temperatura, humedad relativa y fotoperiodo no fueron consideradas factores experimentales ni registradas durante la investigación.

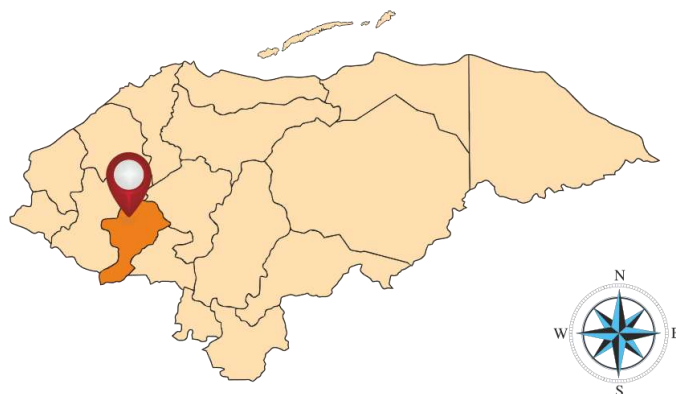


Figura 8. Ubicación del departamento

4.2. Factor bajo estudio

El principal factor bajo estudio en la presente investigación correspondió al tipo de tratamiento pregerminativo que fue evaluado en la semilla de papa (*S. tuberosum*) con el objetivo de acelerar el proceso de germinación y mejorar la uniformidad y el vigor de los brotes.

4.3 Manejo Agronómico de la parcela experimental

Preparación de bodega de germinación de semillas: este proceso inició con la limpieza y desinfección completa de la bodega de germinación, incluyendo mesas y bandejas que se utilizaron para la germinación de las semillas. Posteriormente, se colocó el papel manila dentro de las bandejas, con el fin de asegurar condiciones óptimas para el proceso germinativo.

Selección de semilla: este proceso inició con la selección de semillas homogéneas en tamaño, libres de daños mecánicos y sin síntomas visibles de enfermedad, con el objetivo de garantizar un adecuado desarrollo durante la germinación.

Preparación de la semilla: este proceso inició con la aplicación de los tratamientos correspondientes. En el tratamiento químico, las semillas se sumergieron en la solución preparada durante el tiempo establecido; posteriormente, se almacenaron en bolsas amarillas, asegurando sus condiciones adecuadas, y finalmente se colocaron en las bandejas de germinación.

En el caso del tratamiento físico con aserrín, el procedimiento fue diferente. Se colocó una primera capa de aserrín con una humedad del 50%-60% dentro de las bandejas, sobre la cual se distribuyeron las semillas. Posteriormente, se cubrieron con otra capa de aserrín, y se procedió a su almacenamiento.

Monitoreo de plaga: el monitoreo de plagas se realizó día por medio, con el objetivo de detectar oportunamente la presencia de insectos o patógenos que pudieran afectar el proceso de germinación. No fue necesaria la aplicación de productos químicos.

Monitoreo de germinación: este monitoreo se llevó a cabo diariamente durante todo el proceso germinativo, con el fin de evaluar y asegurar un adecuado desarrollo de los brotes.

4.4 Materiales

4.4.1. Material vegetal

Tubérculos-semilla de papa (*S. tuberosum*) de la variedad DICTA-Purén, seleccionados por presentar uniformidad en tamaño, estado fisiológico adecuado y ausencia de daños mecánicos o síntomas visibles de enfermedades.

4.4.2. Materiales para tratamientos químicos y físicos

- Ácido giberélico 5%.
- Ácido giberélico 10%.
- Etefón (liberador de etileno).
- Benciladenina.
- Aserrín.
- Solución clorada a razón de 6 gotas/L de agua.

4.4.3. Material para preparación y desinfección

- Agua destilada, para preparación de soluciones y enjuagues.
- Alcohol 70%, para desinfección de instrumentos.
- Detergente neutro, para lavado previo.

4.4.4. Materiales de apoyo

- Bandejas de germinación.
- Papel manila.
- Bolsas plásticas amarillas.
- Recipientes o baldes para sumersiones.
- Varilla para mezclar.
- Vasos graduados-probetas, para preparar soluciones (en caso de ser necesario).
- Pipetas-gotero y jeringas para dosificaciones. (en caso de ser necesario).
- Calibrador Vernier, para medir longitudes.
- Etiquetas plásticas.
- Marcadores indelebles.
- Celular para registro fotográfico.

4.4.5. Equipo de protección personal

- Botas.
- Caja de guantes látex
- Caja de mascarillas.

4.4.6. Instrumentos para recolección de datos

- Cuaderno o bitácoras de campo.
- Formato impreso para recolección de datos diarios.

- Hoja de Excel para respaldar datos.
- Calculadora.

4.5 Método

El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con un diseño experimental, con el objetivo de evaluar la eficacia de diversos tratamientos para acelerar el proceso de germinación en la semilla de papa. Para ello, se aplicaron 6 tratamientos pregerminativos a tubérculos-semilla de la variedad DICTA-Purén en estado de dormancia fisiológica.

Los tratamientos incluyeron la aplicación de sustancias químicas y métodos físicos con potencial para inducir la ruptura de la dormancia y favorecer la brotación. Posteriormente los tubérculos fueron sometidos a evaluaciones periódicas para registrar la emergencia de brotes, el porcentaje de germinación y las características morfológicas asociadas al vigor fisiológico.

La información obtenida fue registrada y analizada mediante herramientas estadísticas, con el propósito de comparar la respuesta de los tratamientos y determinar cuáles presentaron mayor eficacia en la aceleración del proceso germinativo.

4.6 Diseño experimental

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA), que constó de seis tratamientos y cuatro repeticiones. Cada unidad experimental fue conformada por 10 tubérculos-semilla de papa por repetición, para un total de 240 tubérculos.

4.7 Modelo estadístico

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = variable de respuesta.

μ = Promedio general.

τ_i = efecto del i - ésimo tratamiento.

ϵ_{ij} = error experimental asociado a la ij ésima unidad experimental

4.8 Tratamientos

En la **tabla 1** se muestra la descripción de los tratamientos evaluados en el ensayo para acelerar el proceso germinativo de la semilla de papa en la zona de Intibucá.

Tabla 1. Descripción de los tratamientos a evaluados.

N	Código	Nombre del producto	IA	Dosis	Método de Aplicación	Tiempo
1	T1	Ácido Giberélico	Ácido Giberélico 5%	5g/100L	Sumersión de los tubérculos	30 min
2	T2	Ácido Giberélico	Ácido Giberélico 10%	10g/100L	Sumersión de los tubérculos	30 min
3	T3	Benciladenina	Benciladenina	5g/1L	Sumersión de los tubérculos	10 seg
4	T4	Etefón	Etileno	400ml/100L	Sumersión de los tubérculos	10 min
5	T5	Sumersión en Dosis Clorada	Hipoclorito	200ml/667L	Sumersión de los tubérculos	30 min
6	T6	Aserrín	-	-100% aserrín	Cobertura de los tubérculos	15-30 días

(Fuente: Propio)

4.9 Unidad experimental

La unidad experimental estuvo constituida por una parcela de 1m², con dimensiones de 1m de largo por 1m de ancho, En cada bandeja se colocaron los tubérculos-semilla correspondiente a cada tratamiento, para favorecer condiciones adecuadas durante el proceso germinativo, los tubérculos fueron acondicionados en bolsas amarillas dentro de las bandejas. Debido a la naturaleza del ensayo no se establecieron distanciamientos entre tubérculos. El experimento estuvo conformado por seis tratamientos con cuatro repeticiones, para un total de 24 unidades experimentales, ocupando un área total 24m².

- ✓ A continuación, en la **Tabla 2** se muestra la aleatorización de los seis tratamientos para acelerar el proceso germinativo en la semilla de papa (*S. tuberosum*), en la zona de Intibucá.

Tabla 2. Aleatorización para la evaluación de seis tratamientos para acelerar el proceso germinativo en semilla de papa (*S. tuberosum*), en Intibucá.

Aleatorización de tratamientos en las unidades experimentales					
1	2	3	4	5	6
T1R1	T2R1	T3R1	T4R1	T5R1	T6R1
T4R2	T3R2	T2R2	T5R2	T6R2	T1R2
T5R3	T6R3	T1R3	T3R3	T2R3	T4R3
T6R4	T1R4	T5R4	T4R4	T3R4	T2R4

(Fuente: Propio)

- ✓ En la **Figura 9** se muestra el croquis del experimento bajo un diseño completamente al Azar (DCA)

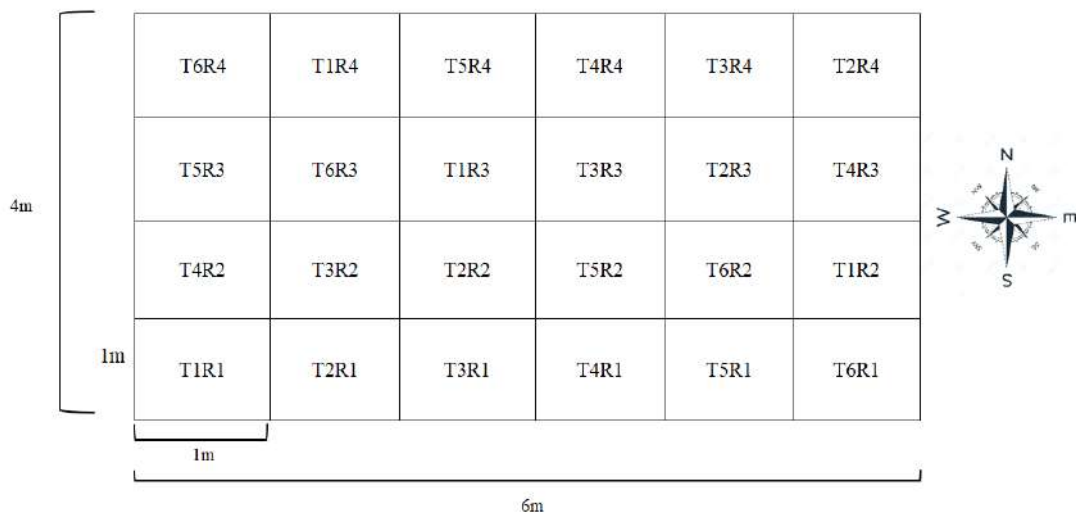


Figura 9. Croquis del experimento bajo un Diseño Completamente al Azar (Propio)

4.10 Variables a medir

En el siguiente estudio se evaluaron las siguientes variables relacionadas con el proceso germinación de la semilla de papa, las cuales serán:

a) Tiempo de germinación (Días)

El tiempo de germinación se contabilizó a partir de la aplicación del tratamiento y se consideró alcanzado cuando el 50% de los tubérculos presentaron al menos un brote de dos mm.

b) Porcentaje de germinación.

Estos datos se registraron a los días siete y 14 después de la aplicación en cada tratamiento y repetición, con el fin de calcular el porcentaje de germinación.

c) Número de brotes por tubérculo.

Se contabilizó el número de brotes por tubérculos a los 20, 40, y 60 días, después de la aplicación registrando únicamente los brotes que estén bien definidos en cada bandeja.

d) Longitud y diámetro de los brotes.

Con la ayuda de un calibrador Vernier se midió la longitud de los brotes mayores de dos mm. Para la toma de datos se consideró el brote principal de cada tubérculo-semilla, definido como aquel que presento mayor desarrollo durante el periodo de evaluación. Asimismo, se determinó el diámetro a los 20, 40, y 60 días, después de la aplicación.

e) Análisis económico de los tratamientos

Se realizó un análisis económico comparativo de los tratamientos evaluados, considerando el costo de adquisición de los insumos utilizados y la respuesta obtenida en las variables de tiempo de germinación, porcentaje de germinación, número, longitud y diámetro de brotes. Esta evaluación permitió determinar la alternativa más eficiente y económicamente viable para los productores de papa.

4.11 Análisis estadístico

El análisis de los datos experimentales se realizó mediante un análisis de varianza (ANOVA) para la variable tiempo de germinación y porcentaje de germinación.

Para la variable de número de brotes se analizó mediante un modelo lineal generalizado (GLM) con distribución Poisson, dado a la naturaleza de sus datos.

Para las variables de longitud y diámetro de brotes, que fueron medidas en distintos momentos, se empleó un modelo con medida repetidas en el tiempo, considerando el tratamiento como fijo y la unidad experimental como sujeto de medición.

La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey al 5% de significancia. Los análisis se realizaron utilizando el programa de SAS studio y Minitab Statistical software 22.

Además, se realizó un análisis económico descriptivo mediante la comparación de los costos de los tratamientos y los resultados obtenidos en las variables evaluadas, con el fin de identificar la alternativa de mayor factibilidad para su implementación en sistemas de producción de papa.

Tabla 3. Análisis estadístico de variables

N	Variables	Prueba estadística				Análisis descriptivo
		ANOVA	GLM	Modelo con Medidas Repetidas	Tukey 5%	
1	Tiempo de germinación	✓	-	-	✓	-
2	Germinación	✓	-	-	✓	-
3	Número de brote/tubérculo	-	✓	-	✓	-
4	longitud y diámetro de los brotes	-	-	✓	✓	-
5	Análisis económico	-	-	-	-	✓

(Fuente: Propio)

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Tiempo de germinación

El tiempo de germinación se evaluó para determinar el efecto de los tratamientos sobre la brotación de los tubérculos. La variable fue analizada mediante un análisis de varianza de un solo factor (ANOVA).

Cuadro 1. Análisis de varianza y estadístico de ajustes para la variable de tiempo de germinación de tubérculos-semillas sometidos a diferentes tratamientos

a)					
Fuente	GL	SC	MC	Valor F	p valor
Tratamiento	5	1216.9	243.375	38.51	< 0.001
Error	18	113.7	6.319		
Total	23	1330.6			
GL: Grados de libertad; SC: Suma de cuadrados; MC: Media cuadrática					
b)					
S	R ²	R ² Ajust		R ² pred	
2.51385	91.45%	89.08%		84.80%	

El cuadro 1 evidenció que el análisis de varianza mostró diferencias significativas entre tratamiento para la variable tiempo de germinación ($F = 38.51$; $p < 0.001$), indicando el efecto de los tratamientos sobre el inicio de la brotación.

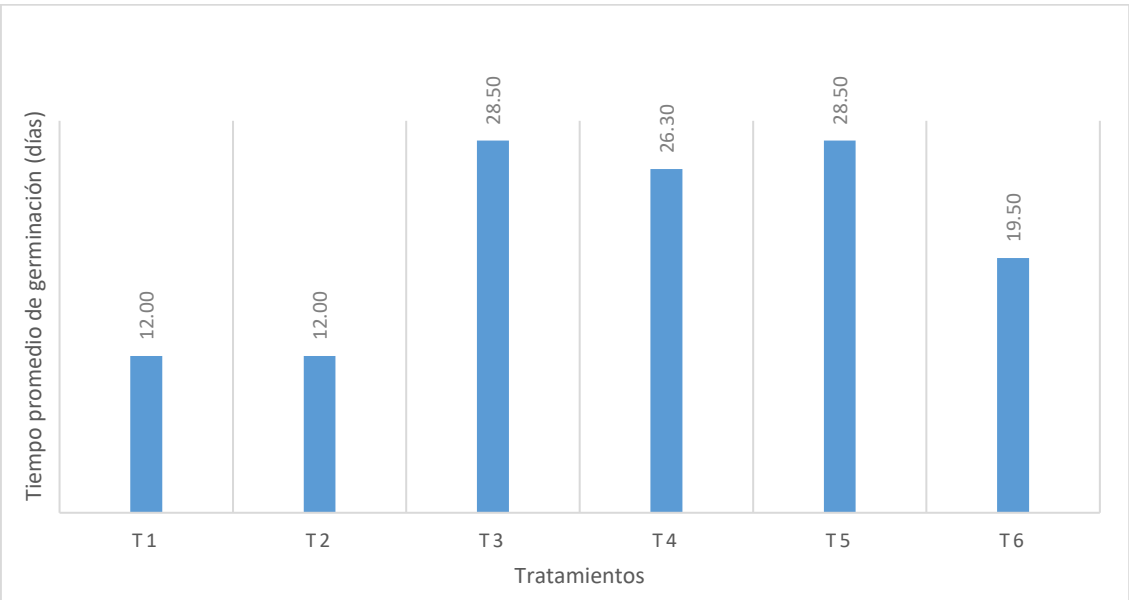
El modelo presentó un R^2 de 91.45%, lo que indica que gran parte de la variabilidad observada en el tiempo de germinación fue explicada por los tratamientos evaluados.

Cuadro 2.Comparación de medias para la variable tiempo de germinación de tubérculos sometidos a diferentes tratamientos

Tratamiento	Media (Días)	Agrupación
5	28.50	A
3	28.50	A
4	26.25	A
6	19.50	B
2	12.00	C
1	12.00	C

El cuadro 2 evidenció que la comparación de medias mostró diferencias entre tratamientos para la variable tiempo de germinación. Los tratamientos 5,3 y 4 presentaron los mayores valores promedios de días (28.50, 28.50 y 26.25 días), agrupándose estadísticamente en la categoría A. Por otro lado, los tratamientos 1 y 2 presentaron los menores tiempos de germinación (12.00 días), ubicándose en la categoría C, destacándose como los tratamientos más eficientes para acelerar la germinación

Figura 10. Tiempo promedio de germinación de tubérculos-semillas sometidos a diferentes tratamientos



La figura 10 muestra diferencias en el tiempo promedio de germinación entre tratamientos. Los tratamientos 1 y 2 presentaron el menor tiempo promedio de

germinación, evidenciando una respuesta más rápida en comparación a los demás tratamientos.

Discusión

Tomando como tratamiento testigo el ácido giberélico al 5% (T1), se observó que el tratamiento con ácido giberélico al 10% (T2) presentó un comportamiento similar al registrar el mismo tiempo promedio de germinación. En contraste, los tratamientos con benciladenina, etileno, dosis clorada y aserrín requirieron un mayor número de días para brotación. Biológicamente, este comportamiento puede atribuirse a la acción de las giberelinas en la ruptura de la dormancia mediante la activación de las enzimas responsables de la movilización de reservas energéticas almacenadas en el tubérculo. Desde el punto de vista agronómico, una reducción en el tiempo de germinación permite una emergencia más uniforme y un mejor establecimiento del cultivo. Estos resultados coinciden con lo reportado por Qayyum *et al.* (2025), quienes indican que la aplicación de ácido giberélico reduce significativamente el periodo de reposo fisiológico en tubérculos de papa.

5.2 Porcentaje de germinación

El porcentaje de germinación fue registrado a los siete y 14 días después de la aplicación de los tratamientos. La variable fue analizada mediante un análisis de varianza de un solo factor (ANOVA).

Cuadro 3. Análisis de varianza y estadísticos de ajuste para el porcentaje de germinación evaluados a los siete y 14 días después de la aplicación.

a)

Fuente	GL	SC (D7)	SC (D14)	MC (D7)	MC (D14)	Valor F (D7)	Valor F (D14)	Valor p
Tratamiento	5	25.28	200.83	5.0417	40.167	24.20	39.08	< 0.001
Error	18	3.75	18.5	0.2083	1.028			
Total	23	28.958	219.33					

GL: Grados de libertad; SC: Suma de cuadrados; MC: Media cuadrática

b)

S (D7)	S (D14)	R ² (D7)	R ² (D14)	R ² Ajust (D7)	R ² Ajust (D14)	R ² pred (D7)	R ² pred (D14)
0.456435	2.51385	87.05%	91.57%	83.45%	89.22%	76.98%	85.01%

El cuadro 3 evidenció que el análisis de varianza presentó diferencias significativas entre tratamientos para el porcentaje de germinación tanto a los siete días ($F = 24.20$; $p < 0.001$) como a los 14 días ($F = 39.08$; $p < 0.001$), indicando el efecto de los tratamientos sobre la variable en ambos periodos de evaluación.

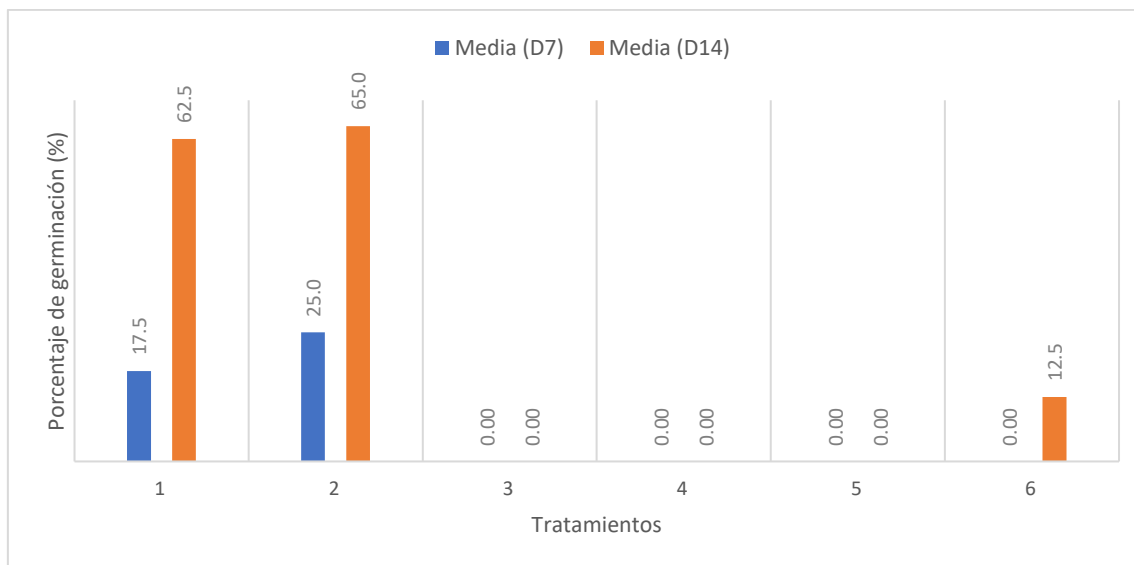
Asimismo, los valores de R^2 fueron de 87.05% para los siete días y 91.57% para los 14 días, evidenciando un adecuado ajuste del modelo a los datos.

Cuadro 4. Comparación de medias para el porcentaje de germinación evaluado a los siete y 14 días después de la aplicación.

Tratamiento	Media (D7)	Agrupación (D7)	Media (D14)	Agrupación (D14)
2	25.0	A	65.0	A
1	17.5	A	62.5	A
6	0.00	B	12.5	B
3	0.00	B	0.00	B
4	0.00	B	0.00	B
5	0.00	B	0.00	B

El cuadro 4 muestra diferencias entre tratamientos para el porcentaje de germinación en ambos periodos de evaluación. Los tratamientos 2 y 1 presentaron los mayores porcentajes de germinación a los siete y 14 días, siendo el tratamiento 2 el de mayor respuesta. Por otro lado, los tratamientos 3, 4, y 5 no presentaron germinación, mientras que el tratamiento 6 presentó una respuesta baja únicamente a los 14 días.

Figura 11. Porcentaje de germinación evaluados a los siete y 14 días después de la aplicación.



La figura 11 muestra diferencias en el porcentaje de germinación entre tratamientos en ambos periodos de evaluación. Los tratamientos 1 y 2 presentaron los mayores porcentajes de germinación, destacando el tratamiento 2 como el de mejor comportamiento, mientras que los tratamientos 3, 4, 5 no mostraron germinación durante el periodo de evaluación. Por otro lado, el tratamiento 6 presentó una germinación mínima a los 14 días.

Discusión

Al comparar los tratamientos con el testigo T1, se observó que el tratamiento con ácido giberélico (T2) presentó los mayores porcentajes de germinación durante las evaluaciones realizadas. Por el contrario, los tratamientos con benciladenina, etileno y dosis clorada mostraron una respuesta nula, mientras que el aserrín presentó una germinación baja. Biológicamente, las giberelinas favorecen la activación metabólica de las yemas y estimulan los procesos de división y elongación celular promoviendo una germinación más uniforme. Agronómicamente, un mayor porcentaje de germinación permite un mayor aprovechamiento de la semilla y una mayor uniformidad del cultivo. Lo anterior coincide con lo reportado por Gómez *et al.* (2023), quienes indican que las giberelinas promueven significativamente la germinación de los tubérculos y reducen el periodo de reposo fisiológico.

5.3 Número de brotes

El número de brotes fue evaluado a los 20, 40 y 60 días después de la aplicación de los tratamientos. Debido a la naturaleza de conteo de la variable, se utilizaron modelos lineales generalizados y modelos para medidas repetidas para su análisis.

Cuadro 5. Estadístico de ajuste y evaluación de sobredispersión del modelo lineal generalizado (PROC GLIMMIX) con distribución Poisson para el número de brotes

Criterios	Valor
AIC	259.58
AICC	260.87
BIC	273.24
CAIC	279.24
HQIC	265.02
Chi-cuadrado de Pearson	57.24
Chi-cuadrado de Pearson/DF	0.87

AIC: Criterio de información de Akaike; AICC: Criterio de información de Akaike corregido; BIC: Criterio de información Bayesiano; CAIC: Criterio de información Akaike consistente; HQIC: Criterio de información de Hannan-Quinn.

En el cuadro 5 se presentan los estadísticos de ajuste del modelo lineal generalizado con distribución Poisson. La razón entre Chi-cuadrado de Pearson y los grados de libertad fue de 0.87, valor cercano a 1, lo que indica ausencia de sobredispersión y un adecuado ajuste del modelo a los datos.

Cuadro 6. Criterios de información para la selección de la estructura de covarianza del modelo para medidas repetida del número de brotes evaluados a los 20, 40 y 60 días.

Estructuras de covarianza	Tipo	AIC	AICC	BIC
Simetría compuesta	CS	151.9	168.3	175.4
No estructurada	UN	144.3	169.8	172.6
Autorregresiva de primer orden	AR (1)	150.6	167.1	174.2

AIC: Criterio de información Akaike; AICC: Criterio de información Akaike mejorada; BIC: Criterio de información Bayesiano.

En el cuadro 6 se evaluaron tres estructuras de covarianza: simetría compuesta (CS), no estructurada (UN) y autorregresiva de primer orden (AR (1)). La selección se realizó mediante los criterios de información AIC, AICC y BIC, donde los valores menores indican un mejor ajuste. La estructura de covarianza no estructurada (UN) presentó los menores valores de AIC (144.3) y BIC (172.6), por lo que fue seleccionada como la más adecuada para modelar la correlación entre mediciones en el tiempo. Con esta estructura se ajustó el modelo mediante PROC MIXED.

Cuadro 7. Resultados del modelo para medidas repetidas (PROC MIXED) del número de brotes evaluados a los 20, 40 y 60 días.

El cuadro 7 presenta el modelo ajustado mediante PROC MIXED, que evidenció efectos altamente significativos del tratamiento ($F = 35.7$; $p < 0.0001$), del tiempo ($F = 172.77$; $p < 0.0001$), y de la interacción tratamiento*tiempo ($F = 11.74$; $p < 0.0001$). Esto indica que el número de brotes varía entre tratamientos, a lo largo del tiempo y que el efecto de los tratamientos no es constante en los diferentes momentos de evaluación.

El detalle de los estadísticos de ajuste y de las pruebas de efectos fijos correspondientes al modelo PROC MIXED se presenta en el [Anexo 15](#).

Cuadro 8. Resultados del modelo lineal generalizado (PROC GLIMMIX) con distribución Poisson para el número de brotes evaluados a los 20, 40 y 60 días.

a)

Criterio Valor	
AIC	217.38
AICC	230.29
BIC	238.59

AIC: Criterio de información Akaike; AICC: Criterio de información Akaike mejorada; BIC: Criterio de información Bayesiano.

b)

Efecto	DF Num	Den DF	Valor F	PR > F
Tratamiento	5	18	261.01	<.0001
Tiempo	2	36	459.22	<.0001
Tratamiento*tiempo	7	36	0.81	0.5864

DF Num: Grados de libertad del numerador; Den DF: Grados de libertad del denominador

En el cuadro 8 se presenta el modelo ajustado mediante PROC GLIMMIX, asumiendo distribución Poisson, que mostró efectos altamente significativos del tratamiento ($F = 261.01$; $p < 0.0001$) y del tiempo ($F = 459.22$; $p < 0.0001$). Sin embargo, la interacción tratamiento*tiempo no resultó significativa ($F = 0.81$; $p = 0.5864$), lo que indica que el efecto de los tratamientos se mantiene constante a lo largo del tiempo evaluado.

Debido a que la variable número de brotes corresponde a datos de conteo, la interpretación de resultados se realizó con base en el modelo PROC GLIMMIX con distribución Poisson, dada la naturaleza discreta de sus datos.

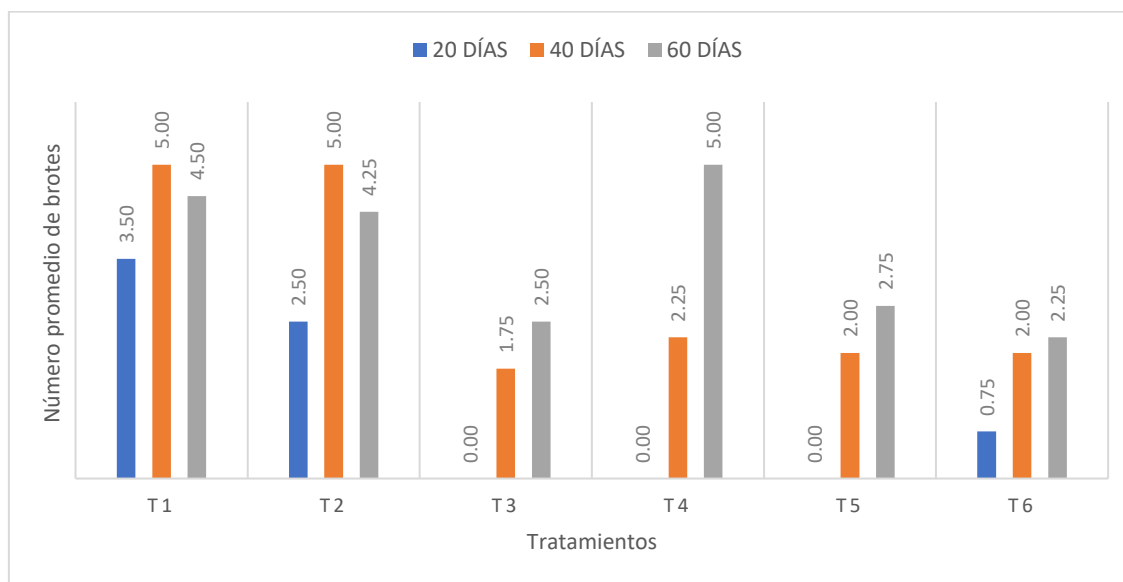
Cuadro 9. Media de mínimos cuadrados (LSMEANS) del número de brotes por tratamiento y tiempo (20, 40 y 60 días)

Tratamiento	Tiempo/EE					
	20 días	EE	40 días	EE	60 días	EE
1	3.50	0.29	5.00	0.41	4.50	0.50
2	2.50	0.29	5.00	0.41	4.25	0.25
3	0.00	0.00	1.75	0.25	2.50	0.29
4	0.00	0.00	2.25	0.25	5.00	0.58
5	0.00	0.00	2.00	0.41	2.75	0.48
6	0.75	0.25	2.00	0.00	2.25	0.25

EE: Error estándar

En el cuadro 9 se presentan las medias de mínimos cuadros muestran un incremento general en el número de brotes a lo largo del tiempo. A los 20 días los valores fueron bajos en la mayoría de los tratamientos. A los 40 días, se observó un aumento generalizado, destacando los tratamientos 1 y 2. A los 60 días, el tratamiento 4 presentó el mayor número de brotes, seguido por los tratamientos 1 y 2. En general, se evidencian diferencias en la respuesta de los tratamientos a lo largo del tiempo.

Figura 12. Interacción ente tratamiento y tiempo sobre el número de brotes evaluados a los 20, 40 y 60 días.



La figura 12 evidenció diferencias en el comportamiento de los tratamientos a través del tiempo. Los tratamientos 1 y 2 mostraron una respuesta favorable, mientras que el tratamiento 4 destacó al final del periodo evaluado.

Discusión

Los resultados evidenciaron diferencias significativas en el número de brotes entre tratamientos y a través del tiempo de evaluación. Los tratamientos con ácido giberélico al 5% y 10% presentaron una respuesta favorable desde las primeras evaluaciones, mientras que el tratamiento con etefón mostro un incremento importante en etapas posteriores. Aunque el modelo PROC MIXED detectó una interacción significativa entre tratamiento y tiempo, el modelo PROC GLIMMIX con distribución Poisson no evidencio dicha interacción. Debido a que la variable número de brotes corresponde a datos de conteo y no presento problemas de sobredispersión, se consideró más apropiada la interpretación de los resultados obtenidos mediante PROC GLIMMIX. Los resultados sugieren que las giberelinas favorecen a la activación de las yemas y estimulan la formación de brotes, mientras que el etefón puede influir positivamente en etapas más avanzadas del desarrollo fisiológico. Tomando como referencia el tratamiento testigo T1 (ácido giberélico al 5%) el tratamiento T2 (ácido giberélico al 10%) presento una respuesta superior en el número de brotes, mientras que los demás tratamientos mostraron valores inferiores. Estos hallazgos coinciden parcialmente con lo reportado por Rivera (2018) y Zhang *et al.* (2023), quienes destacan la participación de las giberelinas, citoquininas y etileno en la regulación de la brotación y el desarrollo inicial de los tubérculos de papa.

5.4 Longitud de brotes (mm)

La longitud de brotes fue evaluada a los 20, 40 y 60 días después de la aplicación de los tratamientos. Debido a la naturaleza continua de la variable, se utilizaron modelos para medidas repetidas mediante PROC MIXED para su análisis. Para la toma de datos, se consideró el brote principal de cada tubérculo-semilla, seleccionando aquel que presentó mayor desarrollo durante el periodo de evaluación.

Cuadro 10. Verificación de supuestos del modelo para longitud de brotes

a)

Supuesto	Prueba	Estadístico (W)	p valor
Normalidad	Shapiro-Wilk	0.984781	0.5368

b)

Supuesto	Prueba	Tiempo	Valor F	p valor
Homogeneidad	Levene	1	1.29	0.3105
Homogeneidad	Levene	2	9.41	0.0002
Homogeneidad	Levene	3	2.44	0.0741

El cuadro 10 presenta la verificación de supuestos del modelo para longitud de brotes, en cuanto, a la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk se mostró un valor estadístico (W) de 0.9848 y un p valor de 0.5368, indicando que los residuos presentan una distribución normal.

Por otro lado, a la homogeneidad de varianzas, la prueba de Levene mostró homogeneidad en los tiempos 1 ($F = 1.29$; $p = 0.3105$) y 3 ($F = 2.44$; $p = 0.0741$), mientras que en el tiempo 2 ($F = 9.41$; $p = 0.0002$), se observaron diferencias significativas entre varianzas.

Cuadro 11. Criterios de información para la selección de la estructura de covarianza en el modelo de medidas repetida para longitud de brotes evaluados a los 20, 40 y 60 días.

Estructuras de covarianza	Tipo	AIC	AICC	BIC
Simetría compuesta	CS	265.4	281.8	288.9
No estructurada	UN	266.1	291.6	294.4
Autorregresiva de primer orden	AR (1)	263.5	279.9	287.0

AIC: Criterio de información Akaike; AICC: Criterio de información Akaike mejorada; BIC: Criterio de información Bayesiano.

En el cuadro 11 se evaluaron tres estructuras de covarianza: simetría compuesta (CS), no estructurada (UN) y autorregresiva de primer orden (AR (1)). La selección se realizó mediante los criterios de información AIC, AICC y BIC, donde los valores menores indican un mejor ajuste. La estructura autorregresiva de primer orden (AR (1)) presentó los menores valores de AIC (263.5), AICC (279.9) y BIC (287.1) en comparación a las estructuras de simetría compuesta (SC) y no estructurada, indicando un mejor ajuste del modelo para los datos evaluados.

Cuadro 12. Resultados del modelo para medidas repetidas (PROC MIXED) de longitud de brotes evaluados a los 20, 40 y 60 días.

a)

Estadísticas de ajuste	
AIC	263.5
AICC	279.9
BIC	287.0

AIC: Criterio de información Akaike; AICC: Criterio de información Akaike mejorada; BIC: Criterio de información Bayesiano.

b)

Efecto	DF Num	Den DF	Valor F	PR > F
Tratamiento	5	18	100.30	<.0001
Tiempo	2	36	394.4	<.0001
Tratamiento*tiempo	10	36	17.55	<.0001

DF Num: Grados de libertad del numerador; Den DF: Grados de libertad del denominador

El cuadro 12 representa los resultados del modelo para medidas repetidas (PROC MIXED) utilizando la estructura de covarianza autorregresiva de primer orden (AR (1)), seleccionada previamente por presentar los menores criterios de información. Se observaron efectos altamente significativos para tratamiento ($F = 100.30$; $p < .0001$), tiempo ($F = 394.4$, $p < .0001$) y la interacción tratamiento tiempo ($F = 17.55$, $p < .0001$), indicando diferencias en la longitud de brotes entre tratamientos y periodos de evaluación.

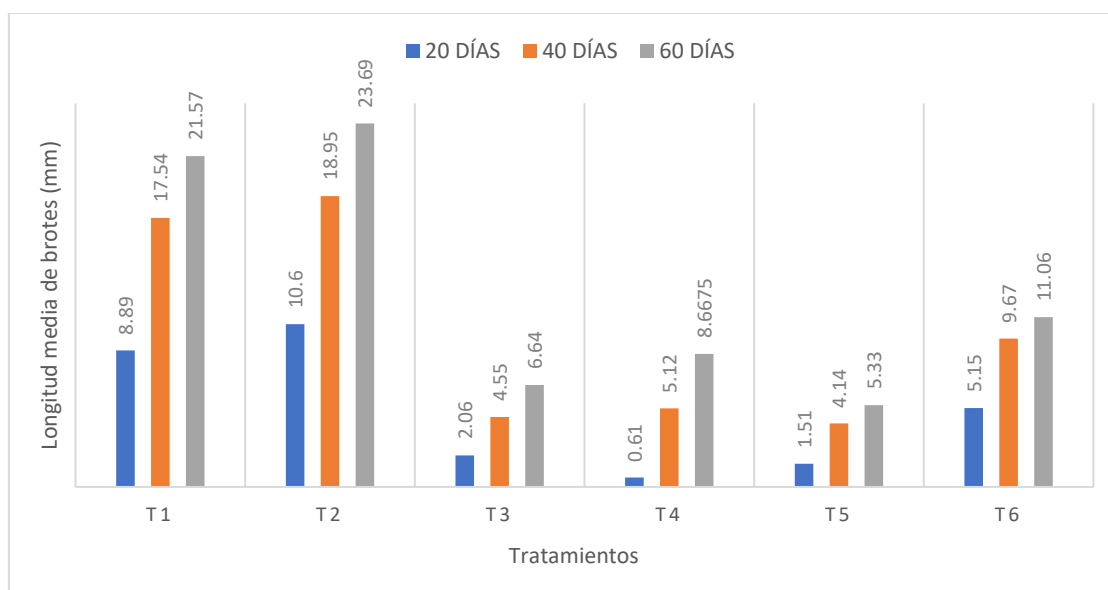
Cuadro 13. Media de mínimos cuadrados (LSMEANS) de longitud de brotes por tratamiento y tiempo (20, 40 y 60 días)

Tratamiento	Tiempo			EE
	20 días	40 días	60 días	
1	8.89	17.54	21.57	0.81
2	10.60	18.95	23.69	0.81
3	2.06	4.55	6.64	0.81
4	0.61	5.12	8.6675	0.81
5	1.51	4.14	5.33	0.81
6	5.15	9.67	11.06	0.81

EE: Error estándar

El cuadro 13 presenta las medias de mínimos cuadrados (LSMEANS) para la longitud de brotes evaluados. Se observaron incrementos en la longitud de los brotes conforme avanzó el tiempo de evaluación. Los tratamientos 1 y 2 presentaron las mayores longitudes durante los tres periodos evaluados, destacando el tratamiento 2 con el mayor crecimiento al final de la evaluación. Mientras que el tratamiento 6 mostro una respuesta intermedia en comparación con los demás tratamientos. Por otro lado, los tratamientos 3, 4 y 5 presentaron las menores longitudes de brotes durante el estudio, aunque también mostrando un incremento conforme transcurrió el tiempo.

Figura 13. Interacción ente tratamiento y tiempo sobre longitud de brotes evaluados a los 20, 40 y 60 días.



La figura 13 muestra la interacción entre tratamiento y tiempo sobre la longitud de brotes. Se observó un incremento progresivo en la longitud de los brotes conforme avanzó el tiempo de evaluación. Los tratamientos 1 y 2 presentaron el mayor crecimiento durante el periodo evaluado, destacando el tratamiento 2 por el registrar el mayor crecimiento, mientras que el tratamiento 6 mostró un comportamiento intermedio. Mientras que los tratamientos 3, 4 y 5 registraron las menores longitudes de brotes en comparación con los demás tratamientos.

Discusión

Los resultados evidenciaron diferencias significativas en la longitud de los brotes entre tratamientos y a través del tiempo de evaluación. Los tratamientos con ácido giberélico al 5% y 10% presentaron las mayores longitudes durante los tres periodos evaluados, destacando el tratamiento con ácido giberélico al 10% por registrar el mayor crecimiento al final del estudio. El tratamiento con aserrín mostró una respuesta intermedia, mientras que los tratamientos con etefón e hipoclorito presentaron las menores longitudes de brotes. El incremento progresivo observado en todos los tratamientos indica que el crecimiento de los brotes estuvo influenciado tanto por el efecto de los tratamientos como por el tiempo transcurrido después de la aplicación. Estos resultados sugieren que las giberelinas favorecen a un mayor crecimiento de los brotes al estimular la elongación celular y la movilización de reservas energéticas del tubérculo. Tomando como referencia el tratamiento testigo T1 (ácido giberélico al 5%), el tratamiento T2 (ácido giberélico al 10%) presentó una mayor longitud de brotes durante los periodos de evaluación mientras que los demás tratamientos mostraron valores inferiores. Este comportamiento confirma el efecto positivo de una mayor concentración de giberelinas sobre el crecimiento y desarrollo de los brotes. Los resultados obtenidos coinciden con lo reportado por Qayyum

et al. (2025), quienes indican que la aplicación de ácido giberélico promueve significativamente el crecimiento y desarrollo inicial de los brotes en tubérculos de papa.

5.5 Diámetro de brotes (mm)

El diámetro de brotes fue evaluado a los 20, 40 y 60 días después de la aplicación de los tratamientos. Debido a la naturaleza continua de la variable, se utilizaron modelos para medidas repetidas mediante PROC MIXED para su análisis. Para la toma de datos, se consideró el brote principal de cada tubérculo-semilla, seleccionando aquel que presentó mayor desarrollo durante el periodo de evaluación.

Cuadro 14. Verificación de supuestos del modelo para diámetro de brotes

a)

Supuesto	Prueba	Estadístico (W)	p valor
Normalidad	Shapiro-Wilk	0.9719	0.1075

b)

Supuesto	Prueba	Tiempo	Valor F	p valor
Homogeneidad	Levene	1	1.00	0.4450
Homogeneidad	Levene	2	8.66	0.0003
Homogeneidad	Levene	3	0.85	0.5344

El cuadro 14 presenta la verificación de supuestos del modelo para diámetro de brotes la prueba de Shapiro-Wilk mostró un estadístico (W) de 0.9719 y valor p de 0.1075, indicando que los residuos de normalidad presentaron una distribución normal.

En relación con la homogeneidad de varianzas, la prueba de Levene mostró diferencias entre los tiempos evaluados. En el tiempo 1 ($F = 1.00$; $p = 0.4450$) y en el tiempo 3 ($F = 0.85$; $p = 0.5344$), evidenciando homogeneidad de varianza entre tratamientos, sin embargo, en el tiempo 2 se registró ($F = 8.66$; $p = 0.0003$), indicando diferencias significativas entre varianzas

Cuadro 15. Criterios de información para la selección de la estructura de covarianza en el modelo de medidas repetida para diámetro de brotes evaluados a los 20, 40 y 60 días.

Estructuras de covarianza	Tipo	AIC	AICC	BIC
Simetría compuesta	CS	74.6	91.1	98.2
No estructurada	UN	50.6	76.1	78.9
Autorregresiva de primer orden	AR (1)	70.4	86.9	94.0

AIC: Criterio de información Akaike; AICC: Criterio de información Akaike mejorada; BIC: Criterio de información Bayesiano.

En el cuadro 15 se evaluaron tres estructuras de covarianza: simetría compuesta (CS), no estructurada (UN) y autorregresiva de primer orden (AR (1)). La selección se realizó mediante los criterios de información AIC, AICC y BIC, donde los valores menores indican un mejor ajuste. La estructura de covarianza no estructurada (UN) presentó los menores valores de AIC (50.6), AICC (76.1) y BIC (78.9) en comparación a las estructuras de simetría compuesta (SC) y autorregresiva de primer orden, indicando un mejor ajuste del modelo para los datos evaluados.

Cuadro 16. Resultados del modelo para medidas repetidas (PROC MIXED) del diámetro de brotes evaluados a los 20, 40 y 60 días.

a)

Estadísticas de ajuste	
AIC	50.6
AICC	76.1
BIC	78.9

AIC: Criterio de información Akaike; AICC: Criterio de información Akaike mejorada; BIC: Criterio de información Bayesiano.

b)

Efecto	DF Num	Den DF	Valor F	PR > F
Tratamiento	5	18	31.40	<.0001
Tiempo	2	18	87.87	<.0001
Tratamiento*tiempo	10	18	3.21	0.0140

DF Num: Grados de libertad del numerador; Den DF: Grados de libertad del denominador

El cuadro 16 presenta los resultados del modelo para medidas repetidas PROC MIXED, que evidenció efectos altamente significativos del tratamiento ($F = 31.40$; $p < 0.0001$) y el tiempo de evaluación ($F = 87.87$; $p < 0.0001$) sobre el diámetro de brotes. Por otro lado, la interacción de tratamiento*tiempo presentó diferencias significativas ($F = 3.21$; $p = 0.0140$), indicando que la respuesta de los tratamientos varió de acuerdo con el tiempo de evaluación.

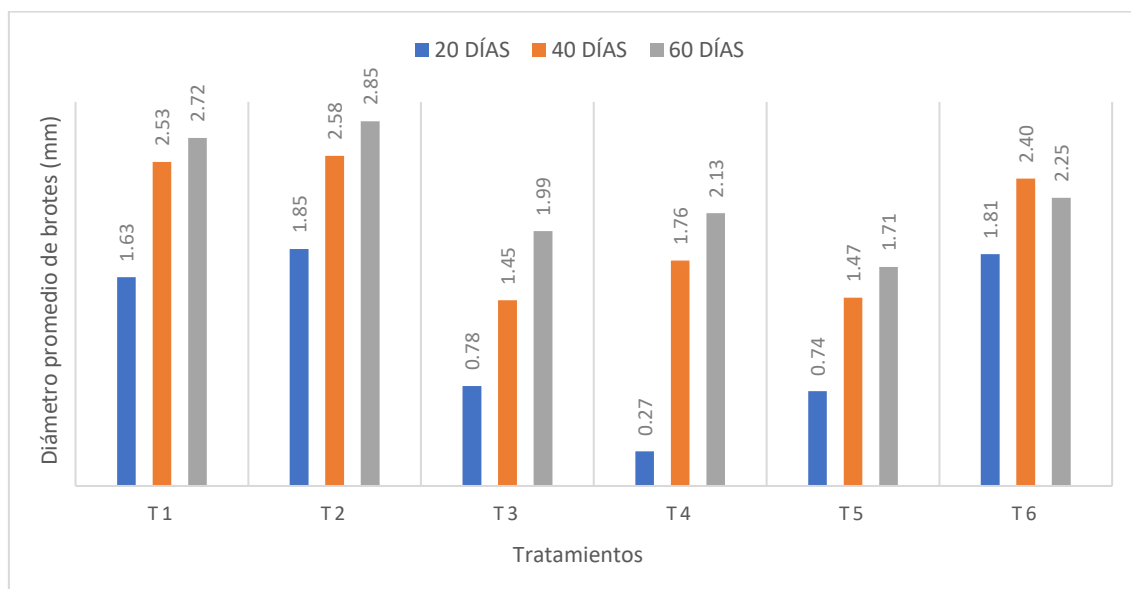
Cuadro 17. Media de mínimos cuadrados (LSMEANS) del diámetro de brotes por tratamiento y tiempo (20, 40 y 60 días)

Tratamiento	Tiempo			EE
	20 días	40 días	60 días	
1	1.63	2.53	2.72	0.18
2	1.85	2.58	2.85	0.18
3	0.78	1.45	1.99	0.18
4	0.27	1.76	2.13	0.18
5	0.74	1.47	1.71	0.18
6	1.81	2.40	2.25	0.18

EE: Error estándar

El cuadro 17 muestra las medias del diámetro de brotes evaluados. Los tratamientos 1 y 2 presentaron los mayores valores durante el periodo evaluado, destacando el tratamiento 2 por registrar el mayor diámetro final. El tratamiento 6 también mostró medias altas, mientras que los tratamientos 3 y 4 presentaron valores intermedios. Por otro lado, el tratamiento 5 registró las menores medias de diámetro de brotes.

Figura 14. Interacción ente tratamiento y tiempo sobre el diámetro de brotes evaluados a los 20, 40 y 60 días.



La figura 14 muestra la interacción entre tiempo y tratamiento y tiempo sobre el diámetro de brotes. En general, se observó un aumento del diámetro de los brotes conforme avanzó el tiempo. Los tratamientos 1 y 2 presentaron los mayores valores durante todo el periodo evaluado, en el que destacó el tratamiento 2 al presentar una mayor respuesta final, mientras que el tratamiento 6 mostró un incremento marcado entre los tiempos de

evaluación. Por otro lado, los tratamientos 3, 4 y 5 presentaron los valores menores para el diámetro de brotes

Discusión

Los resultados evidenciaron diferencias significativas en el diámetro de los brotes entre tratamientos y a través del tiempo de evaluación. Los tratamientos con ácido giberélico al 5% y 10% presentaron los mayores diámetros durante los periodos evaluados, destacando el tratamiento con ácido giberélico al 10% como el de mejor desempeño. Por el contrario, los tratamientos con benciladenina, etileno y dosis clorada registraron los menores valores, mientras que el tratamiento con aserrín presento una respuesta intermedia. El incremento progresivo observado en el diámetro de los brotes conforme avanzó el tiempo de evaluación indica un desarrollo continuo de los tejidos vegetativos. Estos resultados sugieren que la aplicación de ácido giberélico favorece el crecimiento y desarrollo de los brotes, promoviendo una mayor actividad fisiológica y un mejor aprovechamiento de las reservas del tubérculo. Tomando como referencia el tratamiento testigo T1 (ácido giberélico al 5%), el tratamiento T2 (ácido giberélico al 10%) presentó los mayores valores de diámetro de brotes durante los periodos de evaluación, mientras que los tratamientos mostraron respuestas inferiores. Este comportamiento evidencia una mayor capacidad de crecimiento y vigor fisiológico de los brotes bajo una mayor concentración de ácido giberélico. Los resultados obtenidos coinciden con lo reportado por Qayyum *et al.* (2025), quienes indican que las giberelinas participan activamente en los procesos de elongación y desarrollo celular asociados con la brotación de los tubérculos de papa.

5.6 Análisis económico de los tratamientos pregerminativos

El análisis económico de los tratamientos se realizó con el propósito de determinar la viabilidad de su implementación en la producción de semilla de papa. Para ello, se consideraron los costos de adquisición de los insumos utilizados en cada tratamiento y se relacionaron con los resultados obtenidos en las variables de tiempo de germinación, porcentaje de germinación, número, longitud y diámetro de brotes.

Cuadro 18. Análisis económico de los tratamientos pregerminativos evaluados en semilla de papa

Tratamiento		Dosis	Precio (L)	Tiempo de germinación	Porcentaje de germinación	Vigor fisiológico (Número, longitud y diámetro)	Evaluación económica
T1	Ácido Giberélico 5%	5g/100L	L 80.00	Alto desempeño	Alto desempeño	Alto desempeño	Viable
T2	Ácido Giberélico 10%	10g/100L	L 80.00	Alto desempeño	Mejor desempeño	Mejor desempeño	Muy viable
T3	Benciladenina	5g/1L	L 250.00	Bajo desempeño	Bajo desempeño	Bajo desempeño	No viable
T4	Etileno	400ml/100L	L 450.00	Bajo desempeño	Bajo desempeño	Bajo desempeño	No viable
T5	Dosis clorada	200ml/667L	L 6.00	Bajo desempeño	Bajo desempeño	Bajo desempeño	Poco viable
T6	Aserrín	100% aserrín	25/saco	Desempeño intermedio	Desempeño limitado	Desempeño limitado	Moderadamente viable

El tratamiento con ácido giberélico al 10% (T2) presentó la mejor relación biológica debido a que con una inversión L 80.00 obtuvo los porcentajes de germinación y los mejores valores de vigor fisiológico los brotes. Asimismo, aunque el tratamiento testigo T1 tuvo el mismo costo, su desempeño fue inferior al registrado por el T2. Por otra parte, la benciladenina (T3) y el etileno (T4) presentaron costos más elevados (L 250.00 y L 450.00, respectivamente), sin lograr resultados favorables en las variables evaluadas. La dosis clorada (T5) mostró menor costo (L 6.00); sin embargo, su efecto sobre germinación fue limitado. De igual manera, el aserrín (T6) presentó un bajo costo, pero una respuesta inferior a la obtenida con los tratamientos a base de ácido giberélico.

En consecuencia, el tratamiento con ácido giberélico al 10% se considera la alternativa mas viable para los productores de papa, al combinar un costo moderado con el mejor desempeño agronómico. Bajo las condiciones del estudio.

VI. CONCLUSIONES

Los seis tratamientos pregerminativos evaluados influyeron de manera diferente en la ruptura de la dormancia y la aceleración del proceso germinativo de la semilla de papa (*S. tuberosum*), evidenciando respuestas variables entre tratamientos.

Los tratamientos con ácido giberélico al 5% y 10% presentaron la mayor precocidad de germinación, alcanzando un promedio de 12 días, lo que demuestra su efectividad para reducir el periodo de dormancia en comparación con los demás tratamientos evaluados.

El mayor porcentaje de germinación durante los periodos evaluados a los siete y 14 días después de la aplicación se obtuvo con el tratamiento de ácido giberélico al 10%, seguido del tratamiento con ácido giberélico al 5%, evidenciando una respuesta superior en comparación con los demás tratamientos.

El vigor fisiológico de los brotes fue influenciado por los tratamientos aplicados, demostrando mejores resultados en número, longitud y diámetro de brotes en los tratamientos con ácido giberélico, especialmente en la dosis del 10%.

Bajo las condiciones en que se desarrolló el estudio en Intibucá, el tratamiento con ácido giberélico al 10% se identificó como la alternativa más eficiente para acelerar la germinación y favorecer el desarrollo de los brotes con mejores características fisiológicas en tubérculos-semillas de papa.

Desde el punto de vista económico el tratamiento con ácido giberélico al 10% presentó la mejor relación entre costo y respuesta agronómico, por lo que se considera la alternativa más viable para los productores de papa bajo las condiciones evaluadas.

VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda el uso de ácido giberélico al 10% como tratamiento pregerminativo en tubérculo-semilla de papa, debido a que presentó los mejores resultados en la aceleración de la germinación, uniformidad de brotación y vigor fisiológico de los brotes bajo las condiciones evaluadas.

Se recomienda realizar investigaciones futuras evaluando diferentes concentraciones con ácido giberélico y tiempos de exposición, con el fin de optimizar su uso en la aceleración del proceso germinativo.

Se recomienda evaluar estos tratamientos en condiciones de campo para determinar si los efectos observados durante la etapa de germinación se reflejan en el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo.

Se recomienda ampliar la investigación incorporando otras variedades de papa para determinar si la respuesta observada en la variedad DICTA-Purén se mantiene bajo diferentes materiales genéticos durante la etapa de germinación y desarrollo inicial de los brotes.

Se recomienda la utilización del ácido giberélico al 10% como alternativa técnica y económicamente viable para productores de papa, debido a que presentó la mejor respuesta en germinación y vigor fisiológico de los brotes, manteniendo una adecuada relación entre costo y desempeño agronómico bajo las condiciones evaluadas.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Aragón, JD. 2018. *La Solanum tuberosum: la historia de la papa o patata* - Cial. Jimara (en línea). Consultado 15 nov. 2025. Disponible en <https://comercialjimara.es/la-solanum-tuberosum-la-historia-de-la-papa-o-patata/>.

CIP (Centro Internacional de la Papa, PE). s.f. Desarrollo fisiológico de tubérculos-semilla de papa (en línea). Lima, Perú. Consultado 5 feb. 2026. Disponible en <https://cipotato.org/wp-content/uploads/Documentacion%20PDF/Unknown%20-%20Unknown%20-%20Desarrollo%20fisiologico%20de%20tuberculos-semilla%20de%20papa.pdf.pdf>

Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (DICTA). 2016. *El cultivo de papa en Honduras* (en línea). Tegucigalpa, HN, Secretaría de Agricultura y Ganadería. Consultado 12 nov. 2025. Disponible en: <https://repositorio.iica.int/server/api/core/bitstreams/cc13135b-08da-4c0b-ade3-b40ce7525e20/content>

Di, X; Wang, Q; Zhang, F; Feng, H; Wang, X; Cai, C. 2024. Advances in the Modulation of Potato Tuber Dormancy and Sprouting (en línea). International Journal of Molecular Sciences 25(10):5078. Consultado 02 feb. 2026. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1422-0067/25/10/5078>

- Geletaw Kebede Asalfew. 2016. *Review on the Effect of Gibberellic Acid on Potato (Solanum tuberosum L.) Tuber Dormancy Breaking and Sprouting* (en línea). Journal of Biology, Agriculture and Healthcare 6(7):68-79. Consultado 17 nov. 2025. Disponible en <https://www.iiste.org/Journals/index.php/JBAH/article/view/29990>
- Gómez, *et al.* 2023. Efecto del ácido giberélico sobre la brotación y emergencia en tubérculos de papa semilla. Horticultura Argentina. Consultado 7 de may. 2026. Disponible en: <https://www.horticulturaar.com.ar/en/pdf/368/effect-of-gibberellic-acid-on-sprouting-and-emergence-in-seed-potato-tubers.pdf>
- Li, M; Zheng, X; Zhang, X; Tian, S; Chen, J; Li, S; Ge, X; Tian, J. 2024. Inhibitory impact of Chlorine dioxide on Potato tuber sprouting via inducing oxidative stress (en línea). Scientia Horticulturae 330:113102. Consultado 02 feb. 2026. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113102>.
- Luis, J. 2015. *Fisiología y manejo de tubérculos semilla de papa* (en línea). Consultado 12 nov. 2025. Disponible en <https://redepapa.medium.com/fisiologia-y-manejo-de-tuberculos-semilla-de-papa-b84693603380>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2025. *Celebrando la papa: un tesoro mundial para la seguridad alimentaria y la biodiversidad*. (en línea). Consultado 12 nov. 2025. Disponible en <https://www.fao.org/cgrfa/news/news-detail/celebrating-the-potato--a-global-treasure-for-food-security-and-biodiversity/es>.
- Qayyum, *et al.* 2025. *Optimizing gibberellic acid concentration and exposure time for effective dormancy breaking and sprouting enhancement in potato* (en línea). Scientific Reports 15(1). Consultado 17 nov. 2025: Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-13219-5>.

Rivera Méndez, N; Estuardo, O; Narcy, C; Pérez Velásquez, D. (2018). CRIA Programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria (online). s.l., s.e. Consultado 7 May 2026. Disponible en: <https://www.icta.gob.gt/publicaciones/Informes%20Finales%20IICA-CRIA%202020/7%20PAPA/Etileno%20para%20semilla-CUSAM-Nehem%C3%ADas%20Rivera/EFEECTO%20DEL%20ETILENO%20GENERADO%20POR%20FRUTOS%20CLIMATERICOS%20EN%20LA%20ESTIMULACION%20DE%20LA%20BROTACION%20DEL%20TUBERC.pdf>.

Rodríguez, LE; Moreno, LP. 2010. *Factores y mecanismos relacionados con la dormancia en tubérculos de papa*. Una revisión (en línea). Agronomía Colombiana 28(2):189-197. Consultado 16 nov. 2025. Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652010000200008.

Rodríguez, LE; Moreno, LP. 2010. *Regulación hormonal de la dormancia y brotación en tubérculos de papa*. Consultado el 7 may. 2026. Disponible en: https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0002-192X2002000400009&script=sci_arttext.

SNICS (Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas). 2017. *¿Qué es el análisis de vigor de la semilla?* (en línea). Ciudad de México, MX, Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. Consultado 19 nov. 2025. Disponible en: <https://www.gob.mx/snics/articulos/que-es-el-analisis-de-vigor-de-la-semilla?idiom=es#:~:text=El%20vigor%20de%20las%20semillas,favorable%20de%20lotes%20de%20semillas>.

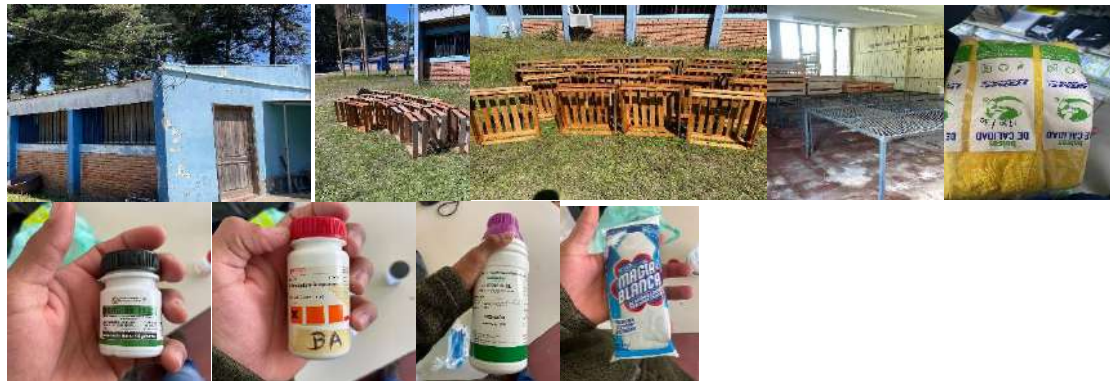
USDA Plants Database. 2026. (en línea). Consultado 2 June 2026. Available at <https://plants.sc.egov.usda.gov/classification/55527>.

Wikimedia Commons. 2010. *Archivo:234 Solanum tuberosum L.jpg* (en línea). Wikipedia, la enciclopedia libre. Consultado 15 nov. 2025. Disponible en https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:234_Solanum_tuberosum_L.jpg.

Zhang, X; Fujino, K; Shimura, H. 2023. *Transcriptomic Analyses Reveal the Role of Cytokinin and the Nodal Stem in Microtuber Sprouting in Potato (Solanum tuberosum L.)* (en línea). International Journal of Molecular Sciences 24(24):17534-17534. Consultado 19 nov. 2025: Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ijms242417534>.

ANEXOS

Anexo 1. Semana del 9 al 15 de febrero: acondicionamiento del área de trabajo y adquisición materiales.



Anexo 2. Semana del 16 al 22 de febrero: preparación de bandejas de germinación, aplicación y distribución de tratamientos



Anexo 3. Semana del 23 de febrero al 01 de marzo: toma de datos del porcentaje de germinación (7 DDA), monitoreo de germinación y plagas



Anexo 4. Semana del 02 al 08 de marzo: toma de datos del porcentaje de germinación (14 DDA), monitoreo de germinación y plagas



Anexo 5. Semana del 09 al 15 de marzo: toma de datos de longitud, diámetro y número de brotes (20 DDA), monitoreo de germinación y plagas



Anexo 6. Semana del 16 al 22 de marzo: monitoreo de germinación y plagas



Anexo 7. Semana del 23 al 29 de marzo: Toma de datos de longitud, diámetro y número de brotes (40 DDA), monitoreo de germinación y plagas



Anexo 8. Semana del 30 de marzo al 05 de abril: monitoreo de germinación y plagas



Anexo 9. Semana del 06 al 12 de abril: monitoreo de germinación y plagas



Anexo 10. Semana del 13 al 19 de abril: toma de datos de longitud, diámetro y número de brotes (60 DDA), monitoreo de germinación y plagas



Anexo 11. Hoja de toma de datos de las variables a evaluar para acelerar el proceso germinativo en la semilla de papa (*S. tuberosum*), en Intibucá

N	Nombre del tratamiento	Código de parcela	Tratamiento	Repetición	Variables											
					Tiempo de germinación	% de brotes germinados		Numero promedio de germinación			Longitud promedio de brotes			Diametro promedio de brotes		
						7 días	14 días	20 días	40 días	60 días	20 días	40 días	60 días	20 días	40 días	60 días
1	Ácido Giberélico 5%	T1R1	1	1												
2		T1R2	1	2												
3		T1R3	1	3												
4		T1R4	1	4												
Promedio																
5	Ácido Giberélico 10%	T2R1	2	1												
6		T2R2	2	2												
7		T2R3	2	3												
8		T2R4	2	4												
Promedio																
9	Benciladenina	T3R1	3	1												
10		T3R2	3	2												
11		T3R3	3	3												
12		T3R4	3	4												
Promedio																
13	Etileno	T4R1	4	1												
14		T4R2	4	2												
15		T4R3	4	3												
16		T4R4	4	4												
Promedio																
17	Sumersión en Dosis Clorada	T5R1	5	1												
18		T5R2	5	2												
19		T5R3	5	3												
20		T5R4	5	4												
Promedio																
21	Aserrín	T6R1	6	1												
22		T6R2	6	2												
23		T6R3	6	3												
24		T6R4	6	4												
Promedio																

Anexo 12. Hoja de registro para la toma de datos por unidad experimental del experimento para acelerar el proceso germinativo en la semilla de papa (*S. tuberosum*), en Intibucá

HOJA DE REGISTRO

Datos generales:

Tema: Efecto de seis tratamientos en la aceleración del proceso germinativo en semilla de papa (*S. tuberosum*).

Lugar: Intibucá.

Código de parcela: _____. **Tratamiento:** _____. **Repetición:** _____.

#	Fecha de aplicación	Fecha de germinación	Tiempo de germinación (días)	Brote presente (Si/No)		Número de brotes/tubérculo			Longitud del brote			Diámetro del brote		
				7 días	14 días	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														

Resumen de tratamiento: _____, **repetición:** _____.

Variable	Resultados		
Número de tubérculos evaluados			
Número de brotes germinados	7 días	14 días	
% de brotes germinados	7 días	14 días	
Tiempo de germinación			
Número promedio de brotes/tubérculo	20 días	40 días	60 días
Longitud promedio de brotes	20 días	40 días	60 días
Diámetro promedio de brotes	20 días	40 días	60 días

Observaciones:

Anexo 13. Bitácora de actividades

Mes 1																
Semana 1								Semana 2								
Días	L1	M2	M3	J4	V5	S6	D7	Días	L8	M9	M10	J11	V12	S13	D14	
Actividades								Actividades								
Presentación e inducción en la empresa DICTA								Acondicionamiento del área de trabajo (preparación de bandejas de germinación)								
Asignación de área de trabajo								Selección de semillas y aplicación de tratamientos (día 0)								
Adquisición de materiales a utilizar								Monitoreo de germinación								
Acondicionamiento del área de trabajo (limpieza, desinfección)								Monitoreo de germinación								
Acondicionamiento del área de trabajo (limpieza, desinfección)								Monitoreo de germinación y plagas								
Acondicionamiento del área de trabajo (limpieza, desinfección y preparación de bandejas de germinación)								Monitoreo de germinación								
Acondicionamiento del área de trabajo (preparación de bandejas de germinación)								Monitoreo de germinación								
Semana 3								Semana 4								
Días	L15	M16	J17	V18	S19	D20		Días	L22	M23	M24	J25	V26	S27	D28	
Actividades								Actividades								
Monitoreo de germinación y plagas								Monitoreo de germinación								
Toma de datos de porcentaje de germinación (7 DDA), y monitoreo de germinación								Toma de datos de porcentaje de germinación (14 DDA), y monitoreo de germinación								
Monitoreo de germinación								Monitoreo de germinación y plagas								
Monitoreo de germinación y plagas								Monitoreo de germinación								
Monitoreo de germinación								Monitoreo de germinación								
Monitoreo de germinación								Monitoreo de germinación y plagas								
Monitoreo de germinación y plagas								Monitoreo de germinación								

Mes 2																
Semana 5								Semana 6								
Días	L29	M30	M31	J32	V33	S34	D35	Días	L36	M37	M38	J39	V40	S41	D42	
Actividades								Actividades								
Toma de datos de longitud, diámetro y número de brotes (20 DDA), y Monitoreo de germinación								Monitoreo de germinación y plagas								
Monitoreo de germinación y plagas								Monitoreo de germinación								
Monitoreo de germinación								Monitoreo de germinación								
Monitoreo de germinación								Monitoreo de germinación y plagas								
Monitoreo de germinación y plagas								Monitoreo de germinación								
Monitoreo de germinación								Monitoreo de germinación								
Monitoreo de germinación								Monitoreo de germinación y plagas								
Semana 7								Semana 8								
Días	L43	M44	M45	J46	V47	S48	D49	Días	L50	M51	M52	J53	V54	S55	D56	
Actividades								Actividades								
Monitoreo de germinación								Monitoreo de germinación								
Monitoreo de germinación								Monitoreo de germinación y plagas								
Monitoreo de germinación y plagas								Monitoreo de germinación								
Monitoreo de germinación								Monitoreo de germinación								
Monitoreo de germinación								Monitoreo de germinación y plagas								
Monitoreo de germinación y plagas								Monitoreo de germinación								
Toma de datos de longitud, diámetro y número de brotes (40 DDA), y Monitoreo de germinación								Monitoreo de germinación								

Mes 3															
Semana 9								Semana 10							
Días	L57	M58	M59	J60	V61	S62	D63	Días	L64	M65	M66	J67	V68	S69	D70
Actividades								Actividades							
Monitoreo de germinación y plagas								Monitoreo de germinación							
Monitoreo de germinación								Monitoreo de germinación							
Monitoreo de germinación								Monitoreo de germinación y plagas							
Monitoreo de germinación y plagas								Monitoreo de germinación							
Monitoreo de germinación								Monitoreo de germinación							
Monitoreo de germinación								Monitoreo de germinación							
Monitoreo de germinación								Toma de datos de longitud, diámetro y número de brotes (60 DDA), y Monitoreo de germinación y plagas							
Monitoreo de germinación y plagas								Organización del área de trabajo							
Semana 11								Semana 12							
Días	L71	M72	M73	J74	V75	S76	D77	Días	L78	M79	M80	J81	V82	S83	D84
Actividades								Actividades							
Entrega del área de trabajo y entrega de evaluación final															

Anexo 14. Salida estadística del modelo de medidas repetidas (PROC MIXED) del número de brotes evaluados a los 20, 40 y 60 días.

a)

Estadísticas de ajuste	
AIC	144.3
AICC	169.8
BIC	172.6

AIC: Criterio de información Akaike; AICC: Criterio de información Akaike mejorada; BIC: Criterio de información Bayesiano.

b)

Efecto	DF Num	Den DF	Valor F	PR > F
Tratamiento	5	18	35.7	<.0001
Tiempo	2	36	172.77	<.0001
Tratamiento*tiempo	10	36	11.74	<.0001

DF Num: Grados de libertad del numerador; Den DF: Grados de libertad del denominador