

**Evaluación de diferentes técnicas de escarificación en semilla de Sacha inchi**  
*(Plukenetia volubilis L.)*

Guillermo Castaño Muñoz

Asesor

Claudia Parra Cortes

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA

Agronomía

2023

---

Claudia Parra Cortes

---

Jurado

---

Jurado

## **Dedicatoria**

A todos los que han anhelado esta página, a los que han sumado en mayor y en menor medida, a ti padrecito que, aunque no lo puedas leer, estoy convencido de que este paso te hará sentir orgulloso.

## **Agradecimientos**

A mis padres Cecilia y Guillermo y a los padres de ellos (mis abuelos) pues en cada generación nuestra hubo y habrá un ápice de superación, a mis hijos Manuela y Matias que son mis dos (2) grandes súper héroes y mis dos (2) más grandes jurados, a los que trasnocharon, a los que ofrecieron una taza de café, un plato de comida, una simple voz de aliento y a la ingeniera MsC. Claudia Parra Cortes dado que su aporte fue relevante y definitivo y a los que callaron, también gracias, todo resulto sumando. Les agradezco profundamente, *grazie mille*.

## Resumen

El Sasha inchi (*Plukenetia volubilis L.*) es un cultivo promisorio por su alto contenido de omega 3, 6 y 9, ácidos grasos responsables de las funciones neurocognitivas; también contribuye a controlar el colesterol y cuenta con propiedades antienvjecimiento, debido a la presencia de antioxidantes, características que hoy ubican la producción de esta planta como uno de los agro negocios más promisorios en Colombia. Son pocas las investigaciones realizadas sobre la especie, al partir de la evaluación de la calidad sobre las semillas de Sasha inchi según su origen comercial (*Plukenetia volubilis.*) o la que manejan los agricultores del municipio de Anolaima de (*Plukenetia huayllabambana*) no se encuentra información detallada y precisa sobre cual o cuales son las mejores técnicas para la germinación sea efectiva y eficaz. El objetivo principal es determinar dentro de los ocho (8) tratamientos propuestos de escarificación cuál es el más eficaz en función del porcentaje de germinación con la semilla manejada por los agricultores del municipio de Anolaima presuntamente (*Plukenetia huayllabambana*) reafirmando que la escarificación mecánica incide positivamente en la germinación de la Sasha inchi. Para determinar la técnica más efectiva de escarificación para la especie Sacha inchi nuevamente se siguieron las Normas Internacionales para los Ensayos de Semillas (ISTA) para cada uno de los ocho (8) métodos seleccionados con técnicas de escarificación combinadas con escarificación mecánica con lija N° 80, escarificación hídrica semilla en agua por 48 horas, aplicando *Trichoderma sp.*, dosis aplicada 1g/L y una escarificación mecánica total la cual consistió en realizar el retiro total de cutícula. Se logró determinar que el tratamiento combinado de escarificación que obtuvo mejores resultados fue el número uno (1) EM Escarificación mecánica + A Hidratación por 48 horas + T *Tricoderma*, obteniendo una diferencia significativa basados

en el análisis estadístico de Tukey. Se demostró también que la escarificación total resulto afectando negativamente la germinación y promoviendo la presencia de un patógeno.

***Palabras claves:*** Dormancia, Escarificación, Germinación, Maní inca, Semillas oleaginosas, Viabilidad.

## Abstract

Sasha inchi (*Plukenetia volubilis L.*) is a promising crop due to its high content of omega 3, 6 and 9, fatty acids responsible for neurocognitive functions; it also contributes to controlling cholesterol and has anti-aging properties, due to the presence of antioxidants, characteristics that today place the production of this plant as one of the most promising agribusinesses in Colombia. Little research has been carried out on the species, from the evaluation of the quality of Sasha inchi seeds according to their commercial origin (*Plukenetia volubilis L.*) or that of the farmers of the Anolaima (*Plukenetia huayllabambana*), there is no detailed and precise information on which are the best techniques for effective and efficient germination. The main objective is to determine which of the eight (8) proposed scarification treatments is the most effective in terms of the percentage of germination with the seed handled by farmers in the municipality of Anolaima presumably (*Plukenetia huayllabambana*), reaffirming that mechanical scarification has a positive effect on the germination of Sasha inchi. To determine the most effective scarification technique for the Sacha inchi species, the International Seed Testing Standards (ISTA) were again followed for each of the eight (8) methods selected with scarification techniques combined with mechanical scarification with sandpaper No. 80, hydric scarification seed in water for 48 hours, applying *Trichoderma sp*, dose applied 1g/L and a total mechanical scarification which consisted of carrying out the total removal of cuticle. It was determined that the combined scarification treatment that obtained the best results was number one (1) EM Mechanical Scarification + A Hydration for 48 hours + T *Trichoderma*, obtaining a significant difference based on Tukey's statistical analysis. It was also demonstrated that total scarification resulted in negatively affecting germination and promoting the presence of a pathogen.

**Keywords:** Dormancy, Scarification, Germination, Inca peanut, Oilseed, Viability.

## Tabla de Contenido

Introducción .....	13
Descripción del Problema .....	15
Formulación del Problema .....	17
Justificación .....	16
Objetivos .....	17
Objetivo General .....	17
Objetivos Específicos .....	17
Marco de Referencia .....	18
Estado del Arte .....	18
Marco Teórico .....	24
Escarificación .....	25
<i>Trichoderma Sp.</i> .....	25
Métodos .....	26
Fase I .....	26
Fase II .....	27
Tipo de Estudio .....	28
Resultados .....	29
Primer Resultado .....	29
Segundo Resultado .....	33

Conclusiones .....	37
Recomendaciones .....	38
Referencias Bibliográficas .....	39
Apéndices .....	41

**Lista de Tablas**

<b>Tabla 1</b> <i>Descripción de los tratamientos fase I</i> .....	26
<b>Tabla 2</b> <i>Tratamientos empleados fase II</i> .....	27
<b>Tabla 3</b> <i>Numero de semanas y fechas</i> .....	28
<b>Tabla 4</b> <i>Valores promedio de medidas morfológicas de semillas de dos variedades de Sacha inchi</i> .....	29
<b>Tabla 5</b> <i>Comportamiento porcentaje de germinación</i> .....	30
<b>Tabla 6</b> <i>Análisis Tukey</i> .....	35

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Semillas de Sacha inchi utilizadas en los ensayos de descripción y calidad de semilla</i> .....	31
<b>Figura 2</b> <i>Porcentaje de germinación de semillas de sachá inchi con aplicación de tratamientos para inducir la germinación a los (20dds)</i> . ....	32
<b>Figura 3</b> <i>Semillas germinadas de sachá inchi a los 20 días después de la siembra (20dds)</i> .....	33
<b>Figura 4</b> <i>Comportamiento porcentaje de germinación fase II</i> .....	36

## Lista de Apéndices

<b>Apéndice A</b> <i>Bandejas con los tratamientos el primer día del montaje lunes 20 de marzo 2023.</i> .....	41
<b>Apéndice B</b> <i>Distribución por bandejas 1 y 2 de cada tratamiento</i> .....	43
<b>Apéndice C</b> <i>Distribución por bandejas 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 de cada tratamiento</i> .....	44
<b>Apéndice D</b> <i>Distribución por bandejas 11, 12, 13 y 14 de cada tratamiento</i> .....	45
<b>Apéndice E</b> <i>Recursos, herramientas y materiales empleados</i> .....	45

## Introducción

El Sacha inchi es un cultivo promisorio de la Amazonía que gracias a las excepcionales propiedades nutricionales que exhiben sus semillas ha adquirido una importancia económica significativa para la industria aceitera a nivel local e internacional. A pesar de la creciente importancia económica de esta especie, algunos aspectos de su cultivo son todavía poco conocidos, existiendo aun vacíos de información en cuanto a sus requerimientos nutricionales (Balta *et al.*, 2015, p.124)

El Sacha inchi es una planta con hábito de crecimiento indeterminado, trepadora, voluble, semileñosa; sus hojas son acorazonadas de 10 a 12 cm de largo y de 8 a 10 cm de ancho, alternas, con margen aserrado, elípticos y con pecíolos de 2 a 6 cm de largo. Las nervaduras nacen del centro orientándose al ápice (Tasso *et al.*, 2013, p.12).

El fruto del Sacha inchi tiene forma de estrella, varía cuatro hasta ocho su número de lóbulos. Estos frutos se dividen cuando está madura y se diferencia, endureciendo sus paredes. Cuando el fruto se encuentra maduro, dentro del fruto, se hallan las semillas que son de color marrón oscuro, corrugadas y venadas, de forma lenticular y con 1.5 a 2 cm de diámetro (Gómez, 2004, p.8).

La propagación sexual es la más usada en esta especie, siendo la siembra directa, la mayormente empleada en las plantaciones comerciales, por lo que se hace necesario tener un protocolo de siembra idóneo. El uso de escarificación es importante en esta especie con el objetivo de acelerar su proceso de germinación en campo; ya que la semilla de Sacha inchi presenta una cutícula o capa externa muy gruesa y dura que necesita ablandarse o crear fisuras para que la semilla logre absorber agua y sea capaz de germinar. Por lo anterior, se requiere del proceso de escarificación el cual puede ser mecánico, mediante agua, calor en seco o químico.

En el sistema de cultivo del Sacha inchi no existen protocolos para la producción de semillas de calidad. No obstante, en términos generales la calidad es un concepto basado en la evaluación de diferentes características morfo fisiológicas y sanitarias (poder germinativo, pureza físico-botánica y varietal, viabilidad, determinación en número de semillas no deseables, sanidad, contenido de humedad peso por volumen y pureza, etc.), los cuales mejoran el establecimiento de la planta en campo (Coronado, 2018, p. 5).

La prueba de germinación es el procedimiento más común para evaluar parámetros como la calidad fisiológica de un lote de semillas. No obstante, esta prueba se realiza bajo condiciones óptimas para cada especie, en la práctica ha demostrado sobreestimar el comportamiento de las semillas y, además, resulta deficiente para discriminar lotes de semillas en relación con la rapidez y uniformidad de germinación (García *et al.*, 2014, p.129).

El objetivo del presente estudio fue evaluar la calidad de dos tipos de semilla de sachá inchi empleando varias técnicas escarificación.

## **Descripción del Problema**

El Sasha inchi (*Plukenetia volubilis L.*) es un cultivo promisorio por su alto contenido de omega 3, 6 y 9, ácidos grasos responsables de las funciones neurocognitivas; también contribuye a controlar el colesterol y cuenta con propiedades antienvjecimiento, debido a la presencia de antioxidantes, características que hoy ubican la producción de esta planta como uno de los agro negocios más promisorios en Colombia.

En Colombia, son pocas las investigaciones realizadas en esta especie. Se ha identificado que la des uniformidad en la siembra causando pérdidas; siendo un factor limitante la testa dura de su semilla, por lo que es necesario la realización de este estudio sobre cual o cuales son las mejores técnicas de escarificación que permitan tener una germinación efectiva y eficaz.

## **Formulación del Problema**

¿Cuál es el mejor método de escarificación para la semilla de Sacha inchi (*Plukenetia volubilis L.*)?

## **Justificación**

En el Huila existe una diversidad agroclimática que favorecen el cultivo de Sacha inchi (*Plukenetia volubilis L.*) la cual es una planta con potencial agroindustrial por sus ácidos grasos insaturados, al contiene omega 3, 6 y 9.

El fomento del cultivo de Sacha inchi, puede ser un potencial agro negocio de la región, por lo tanto, es necesario conocer y evaluar el comportamiento agronómico del cultivo, comenzando con el proceso de germinación.

Mediante esta investigación, se evaluó, diferentes métodos de estratificación con el objetivo de mejorar el proceso de germinación en campo.

Los resultados obtenidos se presentan como una alternativa, en el proceso de germinación. Que puede ser aplicado por los productores por su bajo costo, reduciendo los índices de perdida, al homogenizando los periodos de germinación.

## Objetivos

### Objetivo General

Evaluar la calidad de la semilla de Sacha inchi (*Plukenetia volubilis L.*) empleando varias técnicas de escarificación.

### Objetivos Específicos

Realizar descripción morfológica, tal como: Color, Forma, Presencia de nervaduras, Tamaño y Peso promedio.

Calcular el porcentaje de germinación y pureza de dos tipos de semilla de Sacha

Seleccionar la técnica de escarificación más efectiva para la especie en mención dentro de los ocho (8) tratamientos propuestos.

Establecer la relación entre la escarificación mecánica, hidratación y la aplicación del hongo *Trichoderma*.

Determinar el efecto del hongo *Trichoderma* en la germinación de la especie en mención.

## Marco de Referencia

### Estado del Arte

En experimentos realizados por Hartmann y Lester (1971), se destaca la importancia de la escarificación mecánica en el proceso de germinación de semillas. Aunque durante el proceso de cosecha, extracción y limpieza de las semillas es posible que ocurra cierta escarificación natural, dadas las características de la Sacha inchi esta escarificación natural es casi nula, en la mayoría de las semillas con cubiertas duras, la germinación se beneficia de un tratamiento artificial adicional, bien sea mecánico o químico. La escarificación mecánica tiene como objetivo ablandar las cubiertas duras e impermeables de las semillas, lo que facilita la germinación de esta.

Al eliminar las cubiertas de las semillas aumenta la germinación del embrión. Este proceso involucra raspar la cubierta con lijas, limas o romperla usando herramientas como martillos o pinzas. En el caso de grandes cantidades de semillas, se pueden emplear métodos más eficientes, como una hormigonera con grava o arena en su interior, o un tambor con material abrasivo (como lija o cemento) o discos abrasivos giratorios. Un ejemplo reportado por Cabello y Camelia (1996) logró una germinación del 81% mediante este tratamiento mecánico pre germinativo.

Al considerar los resultados parciales presentados en este estudio, es pertinente el uso de la escarificación mecánica, la cual permite una mayor germinación esto debido a que la testa de *P. Volubilis* al ser tan gruesa, impediría el flujo necesario de agua y oxígeno para la germinación. Se sugiere hacer más ensayos para determinar el tiempo apropiado de imbibición”. (Castaño *et al.* 2022, p.13).

Según lo expuesto en la evaluación de la viabilidad de semillas de Sasha inchi ejecutada por expuesto por Fredesvinda C. *et al.*, (2021) conservadas a 4° centígrados definió tres (3) parámetros que influyeron en los resultados de su estudio. El primero fue el tipo de sustrato utilizado este nos indicó que conservando las semillas en cámaras frías durante ocho (8) años en sobres de poliéster laminado con rango de humedad que oscilo entre el 4,0% y el 7,5% estas mantuvieron su calidad fisiológica y por ende su viabilidad. El segundo parámetro fue la escarificación, dado que este influyo disminuyendo el tiempo de germinación de veinte (20) a

doce (12) días y con un porcentaje entre el 80 y el 100%. El tercer y último parámetro fue el contenido de humedad, según lo expuesto por Fredesvinda C. *et al*, (2021) el contenido de humedad de la especie no intervino en el porcentaje de germinación. En conclusión, para los autores de la anterior evaluación definen que la semilla de Sasha inchi tiene un comportamiento conforme a la resistencia a la desecación y si son conservadas a bajas temperaturas bajo condiciones específicas (recipientes herméticos) estas conservaran su viabilidad puesto que la temperatura logra disminuir su metabolismo presentando un proceso de latencia inducida.

En el estudio realizado por Mariuxi D. y F. Ortiz en el 2020 se analizó germinación de las semillas de la especie en moción, también se analizaron factores como la masa por cada tratamiento y se logró interpretar la curva de cinética en germinación de las semillas de *Plukenetia volubilis L.* por cada tratamiento propuesto por los investigadores. La masa de las semillas varió entre 602,68 y 702,74 semillas/kg, observándose diferencias significativas entre las muestras evaluadas, con lo que podemos inferir que posiblemente trabajaron con semillas de diferentes tamaños alterando así la masa promedio resultante en cada tratamiento. Sin que se pueda indicar o descartar que posiblemente trabajaron con semillas subespecies de Sasha inchi.

Se emplearon cuatro (4) tratamientos los cuales fueron distribuidos en (T1) y (T2) que fueron mecánicos el (T1) por medio de incisión y el (T2) por medio de raspado. Los tratamientos (T3) y (T4) fueron escarificados por medios químicos, principalmente por ácidos en los que en (T3) se empleó ácido sulfúrico y en (T4) ácido clorhídrico. La curva de cinética en la germinación mostró que el testigo (T1) y el tratamiento pre germinativo mecánico (T4) tuvieron un comportamiento similar, mientras que el tratamiento térmico (T2) presentó menor germinación que el testigo. El tratamiento químico (T3) no mostró germinación, indicando una pérdida total de viabilidad debido a la concentración del 80% de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.) La germinación ocurrió logarítmicamente entre los días 10 a 21 y luego se mantuvo estable hasta el final del estudio. El tratamiento (T2) mostró valores de germinación más bajos que el testigo (T1), lo que sugiere que el tratamiento de pre germinación fue desfavorable y la temperatura aplicada en (T2) afectó la viabilidad de las semillas (Mariuxi y Ortiz , 2020).

El estudio también evaluó el porcentaje de germinación de *Plukenetia volubilis L.* y los resultados mostraron diferencias en dichas cifras en la germinación entre los cuatro (4) tratamientos. El tiempo de germinación varió entre 11 y 14 días, observándose diferencias

significativas en el porcentaje de germinación siendo similares los resultados del porcentaje de germinación con los tratamientos pre germinativos (T1), (T2) y (T4), siendo (T4) el que obtuvo mayor porcentaje. Los tratamientos (T1), (T2) y (T4) no presentaron diferencias significativas en el inicio, medio y final de la germinación, lo que indica que los tratamientos pre germinativos no tuvieron un efecto determinante en estos parámetros. El tratamiento (T4) tuvo el mayor poder germinativo, mientras que el (T2) tuvo el menor. El vigor y energía de germinación no difirió significativamente entre los tratamientos (Mariuxi y Ortiz , 2020).

En conclusión, el estudio de Mariuxi y Ortiz (2020) sugiere que diferentes tratamientos previos a la germinación influyen en la curva cinética de germinación y la viabilidad de las semillas de *Plukenetia volubilis L.* Los resultados indican que el tratamiento mecánico previo a la germinación (T4) fue el más efectivo para promover la germinación, mientras que el tratamiento químico (T3) inhibió completamente la germinación.

Otro estudio realizado por José de Jesús Núñez Rodríguez, Julio César Carvajal Rodríguez y Luisa Lorena Ramírez Novoa de la Universidad de Santander, Colombia presentaron la influencia de las variaciones climáticas en la producción de Sasha inchi. Los efectos del cambio climático sobre la agricultura es una verdad innegable, pues el efecto de este cambio afecta toda la biosfera terrestre, según lo expuesto por Nuñez *et al* (2021) en la Convención del marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), manifiesta que este cambio de clima es acusado directa e indirectamente a las actividades humanas. De tal manera que la influencia de este cambio no deja a un lado a la producción de la especie Sasha inchi.

Influencia de las Variaciones Climáticas en el Sacha Inchi en tres (3) diferentes etapas fisiológicas; germinación, crecimiento y reproducción. En la germinación la almendra sacha inchi germina de forma óptima entre los 25° C y los 30 °C, con una mínima de 20° C y una máxima de 35° C. Las temperaturas superiores a 35 °C pueden ser letales para las semillas según Silva *et al.* (2016). Para Cardozo (2015) sugiere utilizar sustratos de vermiculita, luz continua y una temperatura de 30 °C para la germinación de estas. Las altas temperaturas durante la germinación pueden provocar una germinación precoz del embrión sin la humedad adecuada del suelo, lo que provoca la muerte inducida por el estrés de las plántulas recién germinadas. Las lluvias inoportunas pueden conducir a la germinación seguida de humedad insuficiente, lo que

resulta en la muerte de las plántulas debido a un desarrollo inadecuado. La lluvia y las temperaturas intensas también pueden fomentar el crecimiento de microorganismos dañinos en el suelo, afectando negativamente la viabilidad de las semillas y por ende su germinación.

Para la etapa de crecimiento la especie de Sacha inchi está influenciado por la temperatura, prosperando en climas tropicales o subtropicales con temperaturas que oscilan entre los 10 °C y los 26 °C. Las altas temperaturas suelen tener un impacto negativo en su ciclo de crecimiento al acelerar la transpiración según lo expuesto por Antonioli y Arfini (2013), lo que lleva al marchitamiento, la reducción de la fotosíntesis y el agotamiento de los carbohidratos. Las altas temperaturas pueden dar como resultado flores pequeñas y frutos caídos, lo que provoca un crecimiento atrofiado y una producción de aceite reducida. Sacha inchi requiere entre los 1000 a los 1200 mm/año de lluvia para un crecimiento óptimo Santillán (2018) de tal manera que un cambio en este rango puede afectar negativamente su crecimiento y por ende su producción. El sombreado intenso puede prolongar el ciclo de crecimiento, reduciendo la floración y disminuyendo la producción de aceite en las almendras Calram Sac, (2008). La gestión adecuada del recurso hídrico y de la exposición solar es crucial para un desarrollo ideal, así como la disponibilidad de nutrientes para la planta y así propender la producción de aceite omega.

En la reproducción la especie Sacha inchi se caracteriza por un crecimiento y fructificación continuos, comenzando alrededor de los 7,5 meses después del trasplante o la siembra Baldovino *et al* (2018). Estos patrones al ser constantes hacen que la planta requiera condiciones uniformes para que su proceso reproductivo sea óptimo pues es sensible a las fuertes alteraciones climáticas. Las altas temperaturas pueden provocar la caída de flores y frutos, especialmente en los frutos recién formados según lo presentado por Peña y Cancelado, (2018); Antonioli y Arfini, (2013); Campos, (2012); Calram Sac, (2008); Arévalo, (1996). La sequía extrema combinada con aumentos drásticos de temperatura, afectan negativamente la mayoría procesos fisiológicos y reproductivos, lo que conduce a un desarrollo y a una madurez deficientes de los órganos reproductivos y dificulta la polinización.

En otro estudio realizado en el Perú por La Rosa, y Quijada, J. (2013) determinaron en su investigación denominada: “Germinación del Sacha inchi, *Plukenetia volubilis* L. (McBride, 1951) (*Malpighiales, Euphorbiaceae*) bajo cuatro diferentes condiciones” Esta investigación se centró en encontrar las condiciones ideales para la germinación y el desarrollo de estas semillas.

En ella se realizaron cuatro tratamientos; Uno con musgo fino como sustrato (**T1**), otro con arena fina, tierra agrícola y humus (**T2**), otro con arena, aserrín y papel filtro (**T3**), y el último bajo condiciones *in vitro* (**T4**). Se usaron 40 semillas del departamento de Ucayali y 40 de la ciudad de Tarapoto de la región de San Martín ambos ubicados en Perú. Para cada tratamiento se utilizó la mitad con testa intacta y mitad sin ella. Se evaluaron los porcentajes de germinación, de contaminación y el índice en la velocidad de la germinación. Los mejores resultados se obtuvieron en el primer tratamiento para semillas con y sin testa, y en el cuarto tratamiento para semillas sin testa. La germinación mejoró en semillas con testa removida. Se observaron efectos negativos de la testa en la germinación, ya que obstaculiza la absorción de agua e intercambio de gases.

En este estudio el material vegetal utilizado fue obtenido de las semillas maduras de *P. Volubilis* fueron recolectadas en Ucayali y Tarapoto, Perú, desinfectadas con hipoclorito de sodio y remojadas en agua durante 72 horas. Se usaron 40 semillas de cada ubicación para cuatro tratamientos: tres *in vivo* y uno *in vitro*, cada uno con y sin extracción total de la testa.

Para la germinación *in vivo*, se emplearon recipientes plásticos transparentes de 9x14 cm, con capacidad para 4 semillas. En el primer tratamiento (**T1**), se usó musgo fino estéril como sustrato. En el segundo (**T2**), se mezcló tierra agrícola, arena de río y humus estéril en proporción 2:2:1. En el tercer tratamiento (**T3**), se utilizó arena de río estéril, nivelada y cubierta con papel filtro, con una capa de aserrín estéril y papel filtro encima. Las semillas se sembraron a 2 cm de profundidad en (**T1**) y (**T2**), y en la superficie en (**T3**). Los recipientes se humedecieron con agua destilada y se cubrieron con plástico adherente, manteniéndolos a  $26^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  y  $47\% \pm 2\%$  de humedad relativa.

En este experimento de germinación de semillas de la planta *P. Volubilis* en diversas condiciones *in vitro* e *in vivo*. Además, se realizaron pruebas de germinación en condiciones *in vitro* con semillas de *P. Volubilis* utilizando diferentes tratamientos. Los tratamientos se numeraron como (**T1**), (**T2**), (**T3**) y (**T4**).

- **T1**: Semillas con testa, germinación *in vivo*.
- **T2**: Semillas con testa, germinación *in vivo* en sustrato con drenaje deficiente.
- **T3**: Semillas con testa, germinación *in vivo* en sustrato con alta humedad.

- **T4:** Semillas sin testa, germinación *in vitro* en solución nutritiva hidropónica.

Se utilizó una solución nutritiva hidropónica A y B, junto con suplementos como sucrosa, tiamina - HCl, carbón activado y agar-agar, en un medio de cultivo con un pH de 5.5. Las semillas fueron desinfectadas y sembradas en condiciones controladas. Se evaluaron variables como el porcentaje de germinación (PG) y el índice de velocidad de germinación (IVG), así como el porcentaje de contaminación (PC) por hongos.

Los resultados mostraron que el tratamiento (**T4**) (germinación *in vitro* sin testa) tuvo un inicio más temprano de germinación, mientras que los demás tratamientos comenzaron más tarde. Los porcentajes de germinación variaron según los tratamientos y las procedencias de las semillas, pero en general, los tratamientos sin testa obtuvieron mejores resultados en la germinación.

El IVG fue más alto en el tratamiento (**T4**) para las semillas de ambas procedencias. Hubo un porcentaje significativo de contaminación en ciertos tratamientos, especialmente en aquellos con alta humedad. También se encontró una correlación positiva entre los valores de IVG y PG de *P. Volubilis* en ambos lugares de procedencia, lo que indica que las diferencias en la procedencia de las semillas no afectaron significativamente el proceso de germinación.

Resumiendo, la discusión del trabajo de investigación realizado por: Rafael La Rosa & Jane Quijada en el 2013, señalan que la testa gruesa de las semillas podría haber afectado el flujo de agua y oxígeno para la germinación. Además, mencionan que el contenido de azúcares en el medio de cultivo estimuló la germinación en el tratamiento sin testa (**T4**) indicando la importancia de un buen drenaje y de la desinfección previa de las semillas, de esta manera se demostró cómo los diferentes tratamientos afectaron la germinación *in vitro* de semillas de *P. Volubilis*, destacando la importancia de la testa y las condiciones del medio en el proceso de germinación.

## Marco Teórico

El Sacha inchi es conocido como el “maní de inca o maní de monte”, un fruto en forma de estrella con granos en su interior que se da en la selva amazónica y, con relevancia en el mercado por su alto contenido de omega 3, el cual brinda grandes beneficios para la salud. Según la OMS, mejora el funcionamiento neurocognitivo, tiene efectos antidepresivos, antiinflamatorios, ayuda a disminuir los triglicéridos y el colesterol. Lo que se alinea a la tendencia de consumo actual hacia productos nutracéuticos que brindan salud, belleza y bienestar (Procolombia, 2021).

Minagricultura estima que en el país existen alrededor de 2.300 productores de sachá inchi en cerca de 2.000 unidades productivas, ubicados en 22 departamentos del territorio colombiano, entre los que se encuentran: Caquetá, Córdoba, Arauca, Antioquia, el Eje Cafetero, Huila y Tolima (Procolombia, 2021). Allí se recoge la materia prima que actualmente es comercializada en tres (3) presentaciones: aceite de Sacha inchi, snack como granos tostados, bolsa de polvo proteico y torta (subproducto de la elaboración del aceite) que se puede emplear para alimento animal.

A nivel regional, el departamento del Putumayo se consolida como el mayor productor de sachá inchi, el departamento del Huila tiene potencial para este cultivo; ya que tienes condiciones agroclimáticas apropiadas para el desarrollo del cultivo, hasta el momento se tiene conocimientos de plantaciones en los municipios de Pitalito, La plata y Garzón.

El Sacha inchi pertenece a la familia *Euphorbiaceae* donde se encuentran plantas de importancia ornamental, medicinal, alimentaria e industrial, que se caracterizan principalmente por la presencia de una sustancia lechosa, tipo látex y frutos tricapsulares. El Sacha inchi es del género *Plukenetia*. En América del Sur se reportó *Plukenetia volubilis* Linneo, registrándose en la Amazonia Peruana, Bolivia y las Indias Occidentales. Sin embargo, también reportes de producción en Brasil, Colombia, Ecuador, Venezuela.

Esta planta tiene una semilla con una testa cascara dura externa que dificulta su proceso de germinación por lo que se hace necesario hacer un proceso de escarificación para tener uniformidad en la siembra.

## **Escarificación**

La escarificación se utiliza para romper la latencia fisiológica, esta busca promover que la testa se rompa o desprenda para estimular la germinación. Hay diferentes métodos de escarificación física, química y la aplicación de agua fría o caliente.

La escarificación mecánica consiste en la ruptura, rayado o alteración mecánica de las cubiertas de las Semillas (sin afectar el embrión) para hacerlas permeables al agua y permitir el intercambio de gases. Mediante el desgaste o la ruptura de la cubierta o testa de la semilla, se elimina la barrera física que esta constituye. Para lograrlo existen diversos procedimientos que van desde la agitación de las semillas dentro de un recipiente que contenga algún material abrasivo como la arena que actúa como material abrasivo causando raspado. En el mismo sentido se puede realizar efectuando cortes en la cubierta de la semilla, o mediante frotado de las semillas con papel lija, rayarlas con una lima y romper las cubiertas con un martillo, son métodos sencillos y útiles para lotes pequeños de semillas relativamente grandes (Sánchez-Soto *et al.*, 2017).

El mercado cada día exige productos más limpios, los cuales tengan un mínimo impacto al ambiente, en ese sentido se busca técnicas de producción orgánicas, donde le *Trichoderma* es un aliado estratégico, este hongo tienen múltiples beneficios, como promover el crecimiento de las plantas como su protección de patógenos radiculares.

### ***Trichoderma Sp.***

El *Trichoderma Sp.* se caracteriza por tener un crecimiento micelial rápido y una abundante producción de esporas que ayuda a la colonización de diversos sustratos y del suelo. Así mismo pueden producir enzimas extracelulares que le permite ser competidor contra hongos patógenos, promover el crecimiento en plantas, debido a su capacidad para mejorar la solubilidad de los micronutrientes del suelo (Fe, Zn, Cu y Mn) y los macronutrientes (P); también pueden mejorar el enraizamiento mediante la producción de sideróforos, enzimas solubilizadoras de fosfato y fitohormonas (Carrasco *et al.*, 2016). Las especies de *Trichoderma* son hongos colonizadores de raíces; su aplicación a diversos cultivos produce una alteración de varios parámetros morfológicos de las plantas, mejorando la germinación, el enraizamiento y provocando una floración temprana (Sulaiman *et al.*, 2020).

## Métodos

El presente estudio se organizó en dos (2) fases a continuación se menciona la metodología usada en cada fase:

### Fase I

Para llevar a cabo el presente estudio se empleó semilla comercial y semilla del municipio de Anolaima Cundinamarca, a la cual se le realizó una descripción morfológica, tal como: color, forma, presencia de nervaduras, tamaño y peso promedio.

Adicionalmente se determinó la pureza a un lote de 500 gramos de semilla, con ayuda de una lupa separar las impurezas del lote pesado (semillas rotas, vacías, restos de hojas y tallos, etc.) y pesar la semilla pura. Para lo cual, se utilizó la ecuación 1.

$$\% \text{ Pureza} = \frac{\text{Peso semillas puras}}{\text{Peso total de la muestra}} \times 100$$

De igual manera, se cuantifico la cantidad de semilla por unidad de peso en 500 gramos, haciendo uso de la ecuación 2.

$$\text{Cantidad de semilla pura/kg} = \frac{\text{No. de semillas puras en la muestra}}{\text{gr de semillas puras en la muestra}} \times 100$$

Se determinó la germinación en bandejas de propagación con turba y lombricompost en relación 1:1. Se establecieron ocho tratamientos, cuatro primeros con semilla comercial y los últimos cuatro (4) con semilla del municipio de Anolaima.

### Tabla 1

#### *Descripción de los tratamientos fase I*

Tratamiento	Descripción
<b>T1</b>	Semilla comercial con escarificación mecánica con lija N° 80 con remojo en agua por 24 horas.
<b>T2</b>	Semilla comercial con Escarificación mecánica con lija N° 80.
<b>T3</b>	Semilla comercial con Remojo en agua por 24 horas
<b>T4</b>	Semilla comercial sin ningún tratamiento.
<b>T5</b>	Semilla de Anolaima con escarificación mecánica con lija N° 80 con remojo en agua por 24 horas.
<b>T6</b>	Semilla Anolaima con Escarificación mecánica con lija N° 80.
<b>T7</b>	Semilla Anolaima con Remojo en agua por 24 horas
<b>T8</b>	Semilla Anolaima sin ningún tratamiento

*Nota:* Descripción detallada de los ocho (8) tratamientos empleados en la fase I y su titulación.

*Fuente:* Autoría Propia

Por cada tratamiento (ver Tabla 1), se realizaron cuatro (4) réplicas de 100 semillas cada una. Realizando seguimiento diario de la germinación de las semillas por 20 días, cuidando que permanezcan húmedas, para lo cual, se calculó con la ecuación 3.

$$\% \text{ germinación} = \frac{\text{No. semillas germinadas}}{\text{No. total de semillas en la prueba}} \times 100$$

## Fase II

Para ejecutar la fase II de esta investigación se empleó semilla local del municipio de Anolaima, Cundinamarca, dados los resultados describió en la fase I, al presentar precocidad y alto porcentaje de germinación producto de la escarificación mecánica e imbibición.

Se determinó la germinación en bandejas de propagación con tierra negra, sustrato de coco y arena de peña en relación 1:1:1.

Se emplearon las abreviaturas (Tabla 1) para relacionar las combinaciones de tratamientos propuestos: los cuales consistieron:

## Tabla 2

### Tratamientos empleados fase II

Tratamiento
<b>T1</b> EM Escarificación mecánica con lija N° 80 + A Escarificación hídrica semilla en agua por 48 horas + T <i>Trichoderma</i> sp, dosis aplicada 1g/L
<b>T2</b> EM Escarificación mecánica con lija N° 80 + T <i>Trichoderma</i> sp, dosis aplicada 1g/L
<b>T3</b> A Escarificación hídrica semilla en agua por 48 horas + T <i>Trichoderma</i> sp, dosis aplicada 1g/L
<b>T4</b> EM Escarificación mecánica con lija N° 80
<b>T5</b> A Escarificación hídrica semilla en agua por 48 horas
<b>T6</b> Testigo
<b>T7</b> EM Escarificación mecánica con lija N° 80 + A Escarificación hídrica semilla en agua por 48 horas
<b>T8</b> EMT Escarificación mecánica total con lija N° 80 + T <i>Trichoderma</i> sp, dosis aplicada 1g/L

*Nota:* Descripción detallada de los ocho (8) tratamientos empleados en la fase II y su titulación.

*Fuente:* Autoría Propia

La duración del montaje fue de diez (10) semanas tomando como la primera semana la comprendida entre el lunes 20 de marzo y el domingo 26 de marzo y como última semana la que inició el lunes 22 de mayo y el domingo 28 de mayo presente año 2023.

**Tabla 3***Numero de semanas y fechas*

#	Inicio	Fin
1	Lunes 20 marzo 2023	Domingo 26 marzo 2023
2	Lunes 27 marzo 2023	Domingo 02 abril 2023
3	Lunes 03 abril 2023	Domingo 09 abril 2023
4	Lunes 10 abril 2023	Domingo 16 abril 2023
5	Lunes 17 abril 2023	Domingo 23 abril 2023
6	Lunes 24 abril 2023	Domingo 30 abril 2023
7	Lunes 01 mayo 2023	Domingo 07 mayo 2023
8	Lunes 08 mayo 2023	Domingo 14 mayo 2023
9	Lunes 15 mayo 2023	Domingo 21 mayo 2023
10	Lunes 22 mayo 2023	Domingo 28 mayo 2023

*Nota:* Cantidad y número de semanas con sus respectivas fechas de inicio y de fin.

*Fuente:* Autoría Propia

Por cada tratamiento se evaluaron 70 unidades en promedio, se determinó el porcentaje de germinación empleando la siguiente fórmula, ecuación 4:

$$\% \text{ de germinación semanal} = \frac{\text{Número de semillas germinadas} * 100}{\text{Número de semillas por tratamiento}}$$

Los tratamientos en la Fase I se sometieron a un diseño experimental completamente al azar. Con los datos obtenidos, se realizó análisis estadístico descriptivo de las variables físicas de cada tipo de semilla, como el cálculo de varianza y desviación estándar, previo a su análisis de calidad; los resultados del comportamiento de la población son expresados en porcentajes; cálculos y gráficas Microsoft Excel

En la fase II se realizó un análisis de varianza con Tukey de 0,5 empleando el programa estadístico Infostat y se efectúan algunas gráficas Microsoft Excel.

### **Tipo de Estudio**

Estudio experimental con tipo de investigación mixta

## Resultados

### Primer Resultado

Según la caracterización fisiológica de las semillas, se pudo establecer que las semillas aportadas por el agricultor son de mayor tamaño, color café claro y nervaduras pronunciadas. Así mismo, se determinó que la semilla comercial corresponde a semilla de menor tamaño y peso y coloración café oscuro a pardo, sin nervaduras pronunciadas (Tabla 4 y Figura 1). Con estos resultados y siguiendo Ayala Martínez (2016, p.25) se puede inferir que la semilla del agricultor se trata de *Plukenetia huayllabambana* y la semilla comercial correspondería a *Plukenetia volubilis*.

**Tabla 4**

*Valores promedio de medidas morfológicas de semillas de dos variedades de Sacha inchi*

Semilla tipo	Peso (g)	Ancho (cm)	Largo (cm)	Grosor (cm)	$\sigma$ Peso	$\sigma$ Ancho	$\sigma$ Largo	$\sigma$ Grosor
Comercial	1,08	1,71	2,03	0,85	0,13	0,06	0,09	0,06
Agricultor	1,45	1,98	2,30	0,85	0,09	0,12	0,18	0,05

*Nota:* Medidas morfológicas de dos variedades de Sasha inchi *Plukenetia huayllabambana* y *Plukenetia volubilis*.

*Fuente:* Autoría Propia

La tabla 5 presenta la prueba T que nos indica las medias entre semillas de diferente origen, la cual indica que no existen diferencias significativas en las variables de peso, ancho y largo. Y nos aclara que la diferencia se encuentra en el grosor de semillas.

**Tabla 5**

*Comparación de medias (t Student) para morfológicas de semillas de dos variedades de sacha inchi*

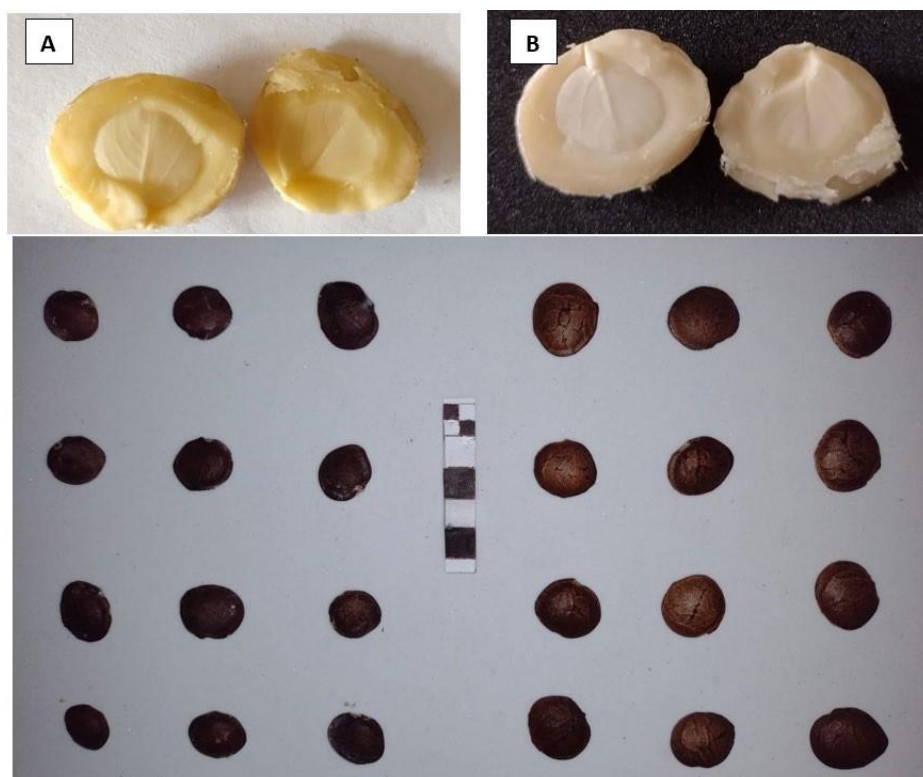
	Peso (g)		Ancho (cm)		Largo (cm)		Grosor (cm)	
	SC	SA	SC	SA	SC	SA	SC	SA
Media	1,086587302	1,4462963	1,71666667	1,98456667	2,03733333	2,30466667	0,85266667	0,85333333
Varianza	0,016624244	0,00744537	0,00306667	0,01438381	0,00792095	0,03114095	0,0041781	0,00276667
Observaciones	15	15	15	15	15	15	15	15
Varianza agrupada	0,012034805		0		0,01953095		0,00347238	
Grados de libertad	28		20		28		28	
Estadístico t	-8,979711976		-7,85736236		-523868198		-0,03098316	
P(T<=t)	4,89668E-10		7,6871E-08		7,22244-06		0,48775138	
Valor crítico de t (una cola)	1,701130934		1,72471824		1,70113093		1,70113093	
P(T<=t)	9,79336E-10		1,5374F-07		1,44455-05		0,97550277	
Valor crítico de t (dos colas)	2,048407142		2,08596345		2,04840714		2,04840714	

*Nota: Comparación de medidas morfológicas de dos variedades de Sasha inchi Plukenetia huayllabambana y Plukenetia volubilis.*

*Fuente: Autoría Propia*

## Figura 1

*Semillas de Sacha inchi utilizadas en los ensayos de descripción y calidad de semilla*



*Nota:* **A:** Semilla comercial. **B:** Semilla productor.

*Fuente:* Autoría Propia.

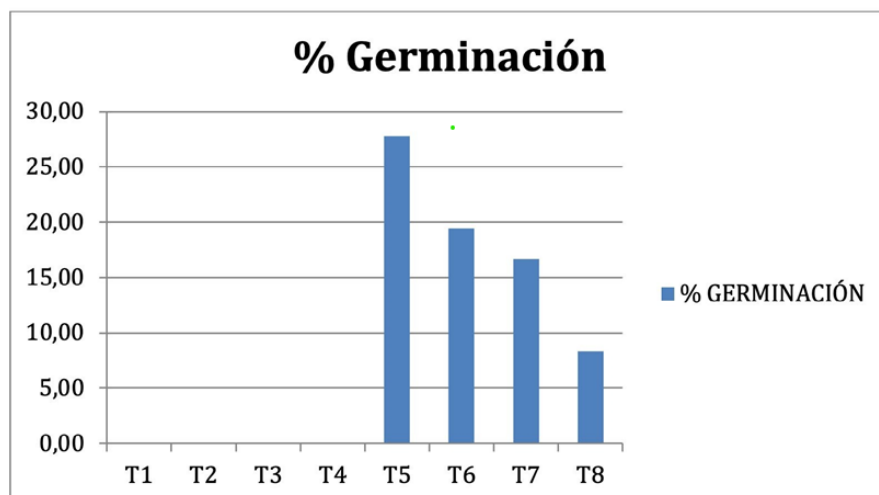
La pureza de las semillas empleadas se determinó en 98.8 % para la semilla comercial y 98.6 para la semilla cosechada por el agricultor, lo cual, nos indica que el ensayo se estableció con semillas en igualdad de condiciones de pureza.

Se estableció que, en cuanto al porcentaje de germinación, la semilla del agricultor presentó una mayor germinación en un tiempo de 20 días después de la siembra (dds). Por ende, la semilla comercial necesita más tiempo para su germinación.

El tratamiento con mayor porcentaje de germinación al cabo de 20 dds, fue el tratamiento cinco (ver tabla 1), donde la semilla del agricultor es sometida a escarificación por abrasión mecánica e imbibición por 24 horas (SA+ES- C+24H), logrando alcanzar 27.7 % (Figura 2).

**Figura 2**

*Porcentaje de germinación de semillas de sachu inchi con aplicación de tratamientos para inducir la germinación a los (20dds)*



*Fuente:* Autoría Propia.

Al comparar los resultados de germinación entre tratamientos (ver tabla 1), se evidencia que los tratamientos aplicados, reducen el tiempo en la obtención de plántulas de Sachu inchi, donde se puede obtener cerca del 19.5% más de germinados al cabo de 20 dds.

Se observa que la mezcla de tratamientos para romper la dormancia es más indicada que al usar tratamientos independientes con un 12% más de semillas germinadas en relación a semillas de la misma procedencia sin tratamiento.

Teniendo en cuenta que, en promedio, las semillas de diferentes variedades de sachu inchi tardan alrededor de 25 a 30 días en germinar, los tratamientos aplicados demuestran que pueden ayudar a reducir 20 días en el proceso de plantulación, lo cual, representa mejor uso de recursos y reducción de costos de producción, haciendo el proceso más competitivo.

El efecto de la testa se pudo evidenciar en ensayos de La Rosa y Quijada (2013, p.13), donde los tratamientos sin testa obtuvieron mejores resultados en la germinación, evidenciando la importancia del proceso de escarificación mecánica.

### Figura 3

*Semillas germinadas de sacha inchi a los 20 días después de la siembra (20dds)*



*Fuente:* Autoría Propia.

### Segundo Resultado

Para la sexta semana comprendida entre el 27 de marzo y el 2 de abril iniciaron a germinar los tratamientos (T1), (T3), (T4), (T5) y (T6). Destacando que dichos tratamientos contaron con algún tipo de escarificación con excepción del tratamiento (T6) que fue el tratamiento testigo. El tratamiento que en la semana sexta (6) presentó una diferencia notable fue el (T1) correspondiente a escarificación mecánica con las siguientes especificaciones; Escarificación mecánica con lija N° 80 EM + Escarificación hídrica semilla en agua por 48 horas A + *Trichoderma sp*, dosis aplicada 1g/L T. Comprobando lo expuesto por diferentes autores; Castillo *et al.* 2010, Peña *et al* 2008 y De la Rosa Jane Q. 2013. Y con el transcurrir de las semanas dicha diferencias entre la primera franja de los tratamientos mencionados continuó incrementándose con valores muy similares en las diferencias porcentuales, para la semana siete (7) casi duplica la diferencia porcentual pasando de 3,55 % de la semana seis (6)

Para la semana sexta inició la germinación con diferencias porcentuales muy pequeñas entre dos grupos de tratamientos, el grupo (T3), (T4), y (T6) y el (T1) y (T5), para estos dos (2) grupos de tratamientos los primeros tuvieron una diferencia promedio entre sus porcentajes de germinación de 3,55% y la segunda 13,51% entre el tratamiento (T1) y (T5). De esa manera se

puede inferir que el tratamiento (T1) técnicamente duplica en su resultado al tratamiento (T5) reafirmando la teoría expuesta por Castillo *et al.* 2010, Peña *et al* 2008 y De la Rosa Jane Q. 2013, en estudios con más recientes que la escarificación acelera el poder de la germinación en la Sasha inchi, dependiente del tipo de escarificación.

Para la semana séptima las diferencias entre los dos grupos de tratamientos siguen marcando dichos grupos, debido a que el grupo de tratamientos (T3), (T4), y (T6) y el (T1) y (T5) comparten características que reafirman lo encontrado por Castillo *et al.* (2010), Daysi M. *et al* (2020) y La Rosa, y Quijada, J. (2013) que la combinación de la escarificación con la hidratación de la semilla (que también se considera un tipo de escarificación hídrica) acelera la curva cinética de en la germinación, podemos apreciar que en el primer grupo de tratamientos anteriormente seleccionados el aumento en la tasa de germinación es de un punto y medio hasta casi los dos, en contraste con el segundo grupo de tratamientos que para el tratamiento (T1) aumenta un poco más que siete puntos porcentuales entre la semana anterior los demás tratamientos del primer grupo aumentan en promedio un poco menos que tres puntos y el tratamiento (T5) escasamente supera los tres puntos porcentuales.

Bajo la misma mirada de dos grupos de tratamientos el primer grupo en durante las siguientes semanas ocho, nueve, diez, once, doce y trece continúan con un ritmo creciente estable sin alteraciones significativas porcentualmente hablando, sin embargo para el segundo grupo de tratamientos en el (T1) alcanza su mayor diferencia en el porcentaje de germinación en la semana nueve con más de once puntos porcentuales pasando de 42,86% a 54,29% una para posteriormente subir siete puntos en la semana diez y ocho para la semana once para continuar así hasta la semana trece en la que todos los tratamientos llegan a una meseta de resultados en la que para la semana catorce se estabilizan y no se presentan más emergencias en las semillas de la especie en mención, dejando como resultado final un 80% de germinación para el tratamiento (T1) y un 36,36 % de germinación para el tratamiento (T5), lo cual reafirma la teoría expuesta por Hartmann y Lester (1971) y De la Rosa Jane Q. 2013 que la escarificación independiente del tipo aumenta el porcentaje de germinación en la especie de la Sasha inchi.

Con el avance del tiempo en el montaje el porcentaje de germinación de los tratamientos (T7) y (T8) fueron los únicos que no presentaron ninguna actividad germinativa, posiblemente

debido al no realizar algún proceso de pre germinativo de desinfección a las semillas, el tratamiento (T8) EMT Escarificación mecánica total + T *Trichoderma* presento claros signos de una proliferación de hongos al quedar expuesta completamente la cutícula a agentes patógenos que encontraron las condiciones ideales para poderse desarrollar, demostrando así la necesidad de realizar un estricto proceso de desinfección como bien lo indicaron Daysi M. y O. Freire en el 2020 en su “Evaluación de la germinación de semillas de sachá inchi (*Plukenetia Volubilis L.*) y crecimiento inicial de las plántulas aplicando tratamientos pre germinativos” en el cual aplicaron un producto fungicida denominado Vitavax. En ese orden de ideas, las semillas correspondientes a los tratamientos (T7) y (T8) en la mayoría de los alveolos correspondientes a las bandejas 13 y 14 se observó una pudrición acuosa propia de la degradación de los tejidos de las semillas a causa del patógeno que no se determinó. Por lo que podemos inferir que las semillas correspondientes al tratamiento (T7) con la bandeja 13 posiblemente se infectó con el mismo patógeno de la bandeja (T8) pues presentaron los mismos signos de pudrición acuosa y micelios en la cutícula de la semilla.

**Tabla 6**

*Análisis Tukey*

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=14,58301

Error: 85,8237 gl: 56

Tratamiento	Medias	n	E.E.				
T1	55,89	8	3,28	A			
T5	25,76	8	3,28		B		
T3	17,08	8	3,28		B	C	
T2	12,50	8	3,28		B	C	D
T4	12,31	8	3,28		B	C	D
T6	4,63	8	3,28			C	D
T7	0,00	8	3,28				D
T8	0,00	8	3,28				D

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

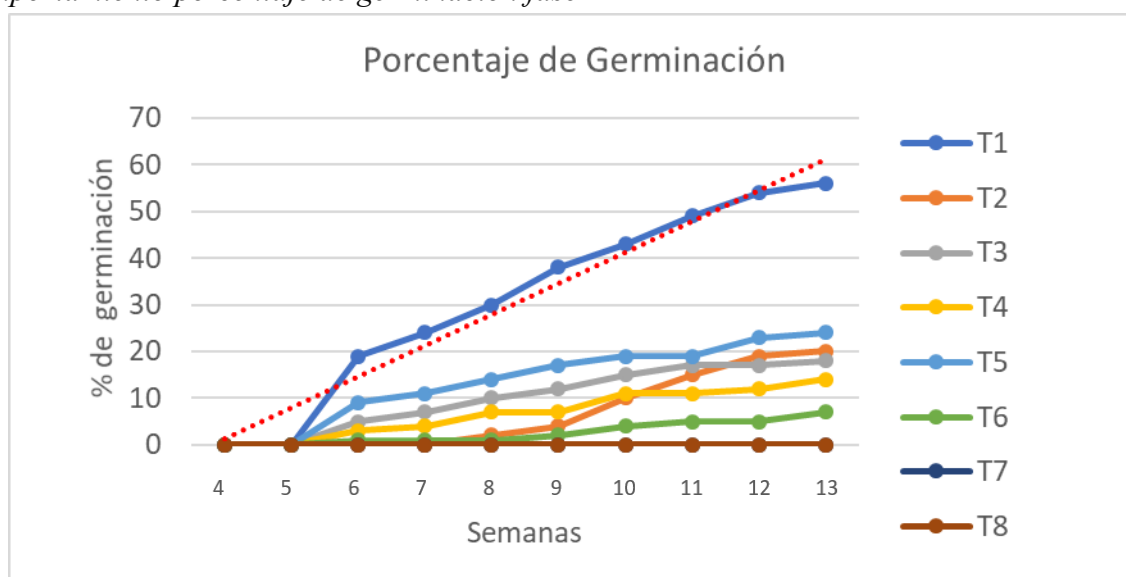
Fuente: Autoría Propia

En la figura cuatro (4) podemos encontrar gráficamente las diferencias entre los tratamientos y la relación con el análisis de Tukey, destacando el comportamiento del tratamiento número uno (T1), el cual lo expresado en el análisis Tukey, es el único tratamiento que adquiere una letra diferente que no comparte con los demás tratamientos, la letra **a**, dentro de los ocho (8) tratamientos, basados en sus resultados y sus diferencias los agrupan en cuatro grupos

diferenciados por letras **a**, **b**, **c** y **d**, con lo cual podemos inferir que los tratamientos con una letra en común no presentan diferencias significativas que resalten la eficacia del tratamiento número uno (**T1**), la incidencia de una contaminación fúngica posiblemente a una infestación fúngica y su repercusión negativa en la germinación de los tratamientos (**T7**) y (**T8**).

**Figura 4**

*Comportamiento porcentaje de germinación fase II*



*Fuente: Autoría Propia.*

## Conclusiones

Al considerar los resultados de la presente evaluación hemos logrado determinar que la especie Sacha inchi para su germinación lo siguiente:

Debido a que la testa de *P. Volubilis* es tan gruesa, impide el flujo necesario de agua y oxígeno para la germinación; por lo que la escarificación mecánica y/o hídrica y su combinación aumenta el porcentaje de germinación significativamente.

La clasificación previa de las semillas incide positivamente en el porcentaje de la germinación y la no desinfección previa de las semillas incide negativamente en el porcentaje de la germinación.

### **Recomendaciones**

Según Castillo *et al.* Desde el (2010) y a la fecha, aún falta información disponible en diversas fuentes fiables y no existen estudios completos sobre el manejo agronómico de la especie Sasha inchi ni en condiciones controladas ni en diversas condiciones agroclimáticas como los pisos térmicos, disponibilidad de luz solar, etc. Por lo cual y debido al evidente cambio climático, se deben de comprender los efectos de la variabilidad climática sobre el cultivo de sacha inchi para conocer su adaptación, crecimiento y desarrollo y cuáles son sus condiciones climáticas ideales en función de lo que se desea obtener; porcentaje de proteína o de aceites o de lo que se desee obtener. Ya que este no es un cultivo resiliente, que pueda soportar y adaptarse a los fuertes cambios climáticos impredecibles y drásticos de nuestros días sin que estos afecten negativamente su desarrollo y reproducción recomendamos analizar el comportamiento bajo diferentes condiciones de pisos térmicos establecido de manera tradicional y preferentemente asociado con otras especies evitando ejecutar el concepto de monocultivo y propendiendo el de permacultura con una fuerte y decidida tendencia a ser sostenible ambiental y ecológicamente contemplando tantas variables como sean posibles, tipos de semillas, métodos de siembra y establecimiento, rendimientos en pos cosecha de porcentajes de proteínas de aceites, tipo más favorable de sustrato, etc.

## Referencias Bibliográficas

- Angela Maria Restrepo Urango, S. V. (02 de 04 de 2014). *Evaluación de la capacidad de germinación de la semilla de la especie Ébano (Caesalpinia ébano) en la subregión de Uraba*. Institutional Repository National Open and Distance University: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/2405>
- Ayala Martínez, G. A. (2016). *Análisis de crecimiento y producción de 3 variedades de sacha inchi (Plukenetia volubilis L.), en el municipio de Tena Cundinamarca*. [Tesis de pregrado, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales] Repositorio Institucional UDCA. <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/487>.
- Balta-Crisólogo, R. A., Rodríguez-del Castillo, Á. M., Guerrero-Abad, R., Cachi- que, D., Alva-Plasencia, e., Arévalo-López, L., Loli, O. (2015). *Absorción y Concentración de Nitrógeno, Fósforo y Potasio en Sacha Inchi (Plukenetia volubilis L.) En Suelos Ácidos, San Martín, Perú*. Folia Amazónica, 24(2), 23. <https://doi.org/10.24841/FA.V24I2.68>.
- Blanco Delgado, J. C. (10 de 11 de 2016). *Institutional Repository National Open and Distance University*. Evaluación por su eficiencia de diferentes sustratos y técnicas de escarificación y su incidencia en la germinación de semilla de Palma de Dátil (Phoenix Dactylifera) en el municipio de Soatá Boyacá.: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/13798>
- Carrasco, J.; Navarro, M.; Santos, M.; Diáñez, F.; Gea, F. *Incidence, identification and pathogenicity of Cladobotryum mycophilum, causal agent of cobweb disease on Agaricus bisporus mushroom crops in Spain*. Ann. Appl. Biol. 2016, 168, 214–224.
- Coronado-Rangel, Nathalia, (2018). *Evaluación de las características morfológicas y niveles de infección fúngica natural en la germinación de semillas de Sacha Inchi (Plukenetia Volubilis) provenientes de diferentes regiones de Colombia*. [Tesis de pregrado, Universidad de Santander] Repositorio Universidad de Santander. <https://repositorio.udes.edu.co/handle/001/4345>
- Daysi Mariuxi. Ortiz Freire, D. J. (31 de 01 de 2020). *Evaluación de la germinación de semillas de Sacha Inchi (Plukenetia volubilis L.) y crecimiento inicial de las plántulas aplicando tratamientos pregerminativos*. Universidad Estatal Amazónica. <https://repositorio.uea.edu.ec/handle/123456789/629>
- Fernández, E. A. (03 de 02 de 2014). *Producción y viabilidad en semillas de Roble Blanco (Qercus humboldtii) en bosques del Macizo Colombiano, Sur del departamento del Huila*. Institutional Repository National Open and Distance University: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/2468>
- Fredesvinda Carrillo, A. L. (31 de 12 de 2021). *Evaluación De La Viabilidad De Semillas De Sacha Inchi Plukenetia volubilis L. Conservadas a 4°C*. Instituto Nacional de Innovación Agraria.: <https://doi.org/10.21704/ac.v82i2.1793>
- García-López, J.I.; Ruiz-Torres, N.A; Lira-Saldivar, H.; Vera-Reyes I. Y Méndez- Argüello, B. (2014). *Técnicas Para Evaluar Germinación, Vigor y Calidad Fisiológica de Semillas Sometidas a Dosis de Nanopartículas*. Agronotecnología, (pp 129-140).

- Gómez, M.E.J. (2004). *Monografía y cultivo de sacha inchi (Plukenetia volubilis L.), oleaginosas promisorias para la diversificación productiva en el trópico. Corporación Colombiana de Investigación agropecuaria CORPOICA*. Primera edición. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/18544>.
- José de Jesús Núñez Rodríguez, J. C. (08 de 04 de 2021). *Influencia de las variaciones climáticas en la producción de sacha inchi (Plukenetia volubilis L.)*. Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático: <http://hdl.handle.net/123456789/8760>
- Karisma (2015). *Una propuesta para cultivar y procesar Sacha Inchi en la Zona Cafetera Colombiana*. <https://karisma.org.co/2008-2014/?p=4451>.
- La Rosa, R. y Quijada, J. (2013). *Germination Of Sacha Inchi, Plukenetia volubilis L. (McBride, 1951) (Malpighiales, Euphorbiaceae) Under Four Different Conditions. The Biologist (Lima)*. Vol. 11, Nº1.
- Neisa, J. R. (20 de 04 de 2019). *Evaluación exploratoria de la germinación in vitro de semillas de dos especies de importancia ecosistémica mediante diferentes métodos de escarificación en Tunja (Boyacá)*. Institutional Repository National Open and Distance University: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/25570>
- Nieto, C. E. (24 de 10 de 2017). *Efecto de la estratificación sobre la germinación de semillas de badea (Passiflora quadrangularis L.)*. Institutional Repository National Open and Distance University: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/17525>
- Parra Cortés, C., Cerón, A., y Castaño, G. (2022). *Evaluación de la calidad de semilla de la especie Sacha inchi (Plukenetia volubilis L.)*. Working Papers ECAPMA, 6(1), 31 – 43. DOI: <https://doi.org/10.22490/ECAPMA.5480>
- Procolombia. (04 de 06 de 2021). *El aceite colombiano de Sacha inchi pisa fuerte en el mercado internacional Producción sacha inchi en el país*. Procolombia Exportaciones Inversión Marca País. <https://prensa.procolombia.co/el-aceite-colombiano-de-sacha-inchi-pisa-fuerte-en-el-mercado-internacional>
- Rafael de la Rosa, J. Q. (01 de 11 de 2013). *Germination of Sacha Inchi, Plukenetia volubilis L. (Mcbride, 1951) (Malpighiales, Euphorbiaceae) under four different conditions*. Dialnet: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4407791>
- Sánchez-Soto, B.H., Pacheco-Aispuro E., Lugo-García, Reyes-Olivas A. & E. García-Moya. 2017. *Métodos de escarificación en semillas de Guaiacum coulteri, especie amenazada del bosque tropical caducifolio del norte de Sinaloa, México*. *Gayana Bot.* 74(2): 262-268, 2017.
- Sulaiman, M.M.; Yass, S.T.A.; Aish, A.A.; Abdullah, S.J.; Youssef, S.A. *Activity of Trichoderma spp. against Erwinia carotovora causal agent of potato tuber soft rot*. *Plant Arch.* 2020, 20, 115–118.
- Tasso, H.M.O.; La Serna, H.V.M.; Piccardo, R.L.J.; Ventura, M.A.J.; Córdova, S.R.; Castillo, S.A.M. (2013). *Boletín técnico, cultivo de sacha inchi (Plukenetia volubilis L.)*. Ministerio de Agricultura de Competitividad Agraria. Lima, Perú. <https://silo.tips/download/cultivo-de-sacha-inchi>

## Apéndices

### Apéndice A

*Bandejas con los tratamientos el primer día del montaje lunes 20 de marzo 2023*



Bandeja 1  
Tratamiento 1



Bandeja 2  
Tratamiento 1



Bandeja 3  
Tratamiento 1 y 2



Bandeja 4  
Tratamiento 2



Bandeja 5  
Tratamiento 2 y 3



Bandeja 6  
Tratamiento 3



Bandeja 7  
Tratamiento 4 y 5



Bandeja 8  
Tratamiento 4



Bandeja 9  
Tratamiento 4 y 5



Bandeja 10  
Tratamiento 5



Bandeja 11  
Tratamiento 5



Bandeja 12  
Tratamiento 5 y 6

Bandeja 13  
Tratamiento 7

Bandeja 14  
Tratamiento 8

Fuente: Autoría Propia

## Apéndice B

*Distribución por bandejas 1 y 2 de cada tratamiento*

Bandeja #	1		A	B	C	D	E	F	G	H
Tratamiento	T1	1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1
Unidades	32	2	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1
		3	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1
		4	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1

Bandeja #	2		A	B	C	D	E	F	G	H
Tratamiento	T1	1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1
Unidades	32	2	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1
		3	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1
		4	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1

T1	EM	A	T
T2	EM	T	
T3	A	T	
T4	EM		
T5	A		
T6	TESTIGO		
T7	EM	A	
T8	EMT	T	

Fuente: Autoría Propia

## Apéndice C

Distribución por bandejas 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 de cada tratamiento

Bandeja #	3		A	B	C	D	E	F	G	H
Tratamiento	T1	1	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T1	T1
Unidades	6	2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T1	T1
Tratamiento	T2	3	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T1	T1
Unidades	26	4	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2

Bandeja #	4		A	B	C	D	E	F	G	H
Tratamiento	T2	1	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2
Unidades	32	2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2
		3	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2
		4	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2	T2

Bandeja #	5		A	B	C	D	E	F	G	H
Tratamiento	T2	1	T2	T2	T2	T3	T3	T3	T3	T3
Unidades	12	2	T2	T2	T2	T3	T3	T3	T3	T3
Tratamiento	T3	3	T2	T2	T2	T3	T3	T3	T3	T3
Unidades	20	4	T2	T2	T2	T3	T3	T3	T3	T3

Bandeja #	6		A	B	C	D	E	F	G	H
Tratamiento	T3	1	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3
Unidades	32	2	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3
		3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3
		4	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T3

Bandeja #	7		A	B	C	D	E	F	G	H
Tratamiento	T3	1	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T4	T4
Unidades	22	2	T3	T3	T3	T3	T3	T3	T4	T4
Tratamiento	T4	3	T3	T3	T3	T3	T3	T4	T4	T4
Unidades	10	4	T3	T3	T3	T3	T3	T4	T4	T4

Bandeja #	8		A	B	C	D	E	F	G	H
Tratamiento	T4	1	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T4
Unidades	32	2	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T4
		3	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T4
		4	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T4

Bandeja #	9		A	B	C	D	E	F	G	H
Tratamiento	T4	1	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T5
Unidades	28	2	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T5
Tratamiento	T5	3	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T5
Unidades	4	4	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T4	T5

Bandeja #	10		A	B	C	D	E	F	G	H
Tratamiento	T5	1	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5
Unidades	32	2	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5
		3	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5
		4	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5

T1	EM	A	T
T2	EM	T	
T3	A	T	
T4	EM		
T5	A		
T6	TESTIGO		
T7	EM	A	
T8	EMT	T	

Fuente: Autoría Propia

## Apéndice D

*Distribución por bandejas 11, 12, 13 y 14 de cada tratamiento*

Bandeja #	14		A	B	C	D	E	F	G	H
Tratamiento	T8	1	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8
Unidades	32	2	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8
		3	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8
		4	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8	T8

Bandeja #	11		A	B	C	D	E	F	G	H
Tratamiento	T5	1	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5
Unidades	32	2	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5
		3	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5
		4	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5	T5

Bandeja #	12		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Tratamiento	T5	1	T5	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6
Unidades	2	2	T5	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6
Tratamiento	T6	3	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6
Unidades	70	4	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6
		5	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6
		6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6	T6



Bandeja #	13		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Tratamiento	T7	1	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
Unidades	72	2	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
		3	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
		4	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
		5	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7
		6	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7	T7

T1	EM	A	T
T2	EM	T	
T3	A	T	
T4	EM		
T5	A		
T6	TESTIGO		
T7	EM	A	
T8	EMT	T	

*Fuente: Autoría Propia*

## Apéndice E

*Recursos, herramientas y materiales empleados*

Descripción del recurso	Imagen
Calibrador pie de rey	
Bandejas de germinación 14 unidades	

Tierra negra 4 kilos



Sustrato de coco 4 kilos



Arena de peña 4 kilos



Semilla Sascha Inchi (proveniente de Anolaima) 1 Kilo



ProqectoR (*Tricoderma*) 1 kilo



---

*Fuente: Autoría Propia*