

# Eficiencia de hormonas naturales y sintéticas en el enraizamiento y desarrollo de estructuras vegetativas de Tilo (*Sambucus peruviana*) en trópico alto

## Natural and Synthetic Efficiency of Hormones in Rooting and Development of Vegetative Structures of Tilo (*Sambucus peruviana*) in the High Tropics

Jorge Armando Fonseca Carreño<sup>1</sup>, Emma Sofía Corredor Camargo<sup>2</sup> y Edwin Manuel Páez Barón<sup>3</sup>

### Resumen

Los sistemas silvopastoriles son alternativas sostenibles que mejoran la disponibilidad y calidad del forraje para la ganadería. Estos agroecosistemas en trópico alto requieren la existencia de crecientes cantidades de especies arbustivas con alta capacidad de producción de forrajeras tales como el Tilo (*Sambucus peruviana*). La investigación evalúa la eficiencia de tres hormonas naturales, cuatro sintéticas y un biofertilizante de suelos en el enraizamiento y brotación de estacas de Tilo. Se empleó un diseño de bloques completos al azar, con veintiún tratamientos y tres repeticiones, se determinó la respuesta de seis variables a través de Anova, normalidad (Shapiro-Wilk), homogeneidad de varianzas (Levene's) y Post-hoc (Scott-knott o Bonferroni). Los resultados muestran que la variable número de brotes posee los mayores promedios con los tratamientos T12 (canela) y T11 (sábila). Las restantes variables poseen diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0,05$ ), tal es que en las variables peso de brote (g) y Longitud de brote (cm) el tratamiento T3 (Ácido giberélico) obtuvo el mejor resultado, en Longitud de raíz (cm) el mejor comportamiento lo obtuvo T10 (micorriza y alpiste), mientras T4 (ANA+IBA) obtuvo el mayor promedio para las variables peso de raíz (g) y altura de planta (cm).

**Palabras clave:** enraizantes, leguminosa forrajera, propagación asexual, sistemas silvopastoriles.

### Abstract

In the high tropics, silvopastoral systems are sustainable alternatives that enhance the availability and quality fodder for animal freeding. These agroecosystems require the spread of forage shrubby species with high productive capacity such like Tilo (*Sambucus peruviana*). The aim of this study, evaluates the efficiency of three natural hormones, four synthetic hormones and a soil biofertilizer in rooting and sprout tilo's cuttings. A randomized complete block design was employed, with twenty-one treatments, with three repetitions each one, determining the behavior of six variables using ANOVA, normality (Shapiro-Wilk), homogeneity of variances (Levene's) and Post-hoc (Scott-knott or Bonferroni). The results show regarding the variable denominated number of sprouts, the highest averages were reached with T12 (cinnamon) and T11 (aloe) and H0 is accepted ( $p > 0,05$ ). Meanwhile for the other five variables, a statistically significant difference was identified ( $p < 0,05$ ). In sprouts weight (g) and sprout length (cm) the best results were obtained with T3 (Gibberellic acid); for root length (cm) the best behavior was with T10 (mycorrhiza and canaryseed); for root weight (g) and plant height (cm) the highest average was with T4 (ANA+IBA).

**Keywords:** asexual propagation, forage legumes, rooting, silvopastoral systems.

**Recepción:** 05-abr-2022

**Aceptación:** 15-oct-2022

<sup>1</sup>PhD. Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

<sup>2</sup>MSc. Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente. Correo electrónico: emma.corredor@unad.edu.co.

<sup>3</sup>PhD. Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente.

## 1 Introducción

Los sistemas silvopastoriles son arreglos productivos intensificados de forma intencional o no, cuyo principal atributo es la generación de mayores interacciones entre sus componentes y mayor cantidad y calidad de biomasa que los tradicionales sistemas de pastoreo extensivo [1], en su estructura y función incluye la incorporación de árboles, arbustos y plantas herbáceas, de alto valor nutricional para la ganadería con lo cual se aumenta la producción de carne y leche [2] y menor emisión de gases de efecto invernadero [3], convirtiéndolos en una herramienta de mitigación y adaptación al cambio climático. En trópico alto, entendido como los ecosistemas que están entre los 2300 los 2800 metros sobre el nivel del mar (msnm) se prefieren especies como Tilo (*Sambucus peruviana*) que generen alta producción de biomasa en varios doseles, altos niveles nutricionales [4], rusticidad, resistencia a las heladas [5], rápido crecimiento [6] y alto índice de área foliar. Esta especie arbustiva produce hasta de 6,9 ton/ha de forraje verde y 0,19 ton/ha de proteína, que lo hacen deseable y de alto potencial para nutrición de rumiantes [5, 7] ya sea como forraje verde [7], conservado en forma de ensilaje o harina [8]. La especie además desarrolla funciones ecosistémicas entre las cuales se destacan la fijación biológica de nitrógeno, promoción de la biodiversidad, e ideal para establecimiento de cercas vivas, setos forrajeros y bancos de forraje [6].

Algunas especies forrajeras poseen limitaciones para su propagación sexual entre ellas el Tilo pues sus semillas no germinan en condiciones de campo por sus largos periodos de dormancia y el letargo de la cubierta y del embrión [9], condición que para esta especie no ha sido suficientemente estudiada y de la cual se desconocen los mecanismos fisiológicos que inducen la aparente inviabilidad de la semilla, por lo cual la multiplicación de material para siembra se hace únicamente por propagación asexual mediante explantes vegetales (estacas y esquejes), siendo poco eficiente pues el volumen de plántulas obtenidas es limitado y sus costos de propagación son altos [10, 6].

En busca de optimizar la propagación vegetativa de especies arbustivas y herbáceas diversas investigaciones han evaluado el uso de hormonas sintéticas

como el ácido neftalenacético [11, 12], ácido indolbutírico [13,14], ácido giberelico [15] en diferentes concentraciones, los resultados muestran incrementos del porcentaje de enraizamiento o desarrollo del sistema radicular, con mayor número de raíces, vigor y uniformidad o reducción del período de emisión radicular [13, 15]. Aunque dichas especies son diversas, los estudios se constituyen en una base para evaluar el efecto de hormonas sintéticas en el enraizamiento y estructuras vegetativas de Tilo (*Sambucus peruviana*) y determinar la eficiencia de cada sustrato. Adicionalmente, en la zona de estudio se dispone de productos como la canela, lenteja [12], sábila [16] y alpiste [17], que podrían representar una ventaja en el acceso a los sustratos y cuyo efecto como hormonas naturales para Tilo (*Sambucus peruviana*) no han sido evaluados.

Esta investigación evaluó la eficiencia de hormonas naturales y sintéticas, además de un biofertilizante en la generación de estructuras radicales y vegetativas de estacas de Tilo (*Sambucus peruviana*) en condiciones de trópico alto. Para lo cual se empleó un diseño de bloques completos al azar, con veintidós tratamientos y tres repeticiones; se evaluaron las variables cuantitativas: número de brotes, peso de brotes, longitud máxima del brote, longitud máxima de raíz, peso de raíz y altura de planta.

## 2 Metodología

### 2.1 Localización

El trabajo de investigación se realizó en las Instalaciones de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD de Tunja (Colombia) ubicada a una altura de 2700 msnm, temperatura promedio de 18 °C, humedad relativa del 58 % y precipitación promedio de 650 mm al año. Estas condiciones están catalogadas de acuerdo a las zonas de vida de Holdridge como Bosque húmedo montano bajo (bh-MB), también referenciadas en otras clasificaciones como trópico alto y bosque alto andino.

### 2.2 Diseño experimental

El material vegetal para la investigación se obtuvo de plantaciones de Tilo bajo sistema silvopastoril localizado en el municipio de Siachoque (Boyacá),

estos consistieron en explantes vegetativos (estacas) tomados del tercio medio del arbusto, con longitud de 50 cm y diámetro entre de 1,1 y 1,3 cm; las cuales luego del corte se hidrataron durante 48 horas para la posterior aplicación del tratamiento correspondiente.

Para determinar la capacidad de inducir el enraizamiento en las estacas de Tilo se usaron productos naturales, hormonas sintéticas y su combinación, de los cuales se han reportado efectos deseables como enraizantes en otras especies. Como sustrato se usó suelo con 10 % de materia orgánica y pH de 6,5, dispuesto en bolsas plásticas de 10 cm de diámetro y 18 cm de altura. El diseño experimental es de bloque completos al azar con 21 tratamientos cada uno de ellos con tres repeticiones donde cada repetición estuvo constituida por 3 estacas, para un total de 9 unidades por cada tratamiento los cuales se describen en la tabla 1.

Las hormonas sintéticas comerciales empleadas fueron: Ácido Alfa-Naftalenacético (ANA) al 0,4 %, Ácido indol butírico (IBA) al 0,55 % y Ácido Giberélico (AG3) al 10 %. Según correspondiera el tratamiento se agregaron por contacto directo 0,25 g a los primeros 15 cm de la estaca.

Para los sustratos naturales se realizó previamente trituración del producto hasta obtener harina de lenteja (*Lens culinaris*), canela (*Cinnamomum verum*), alpiste (*Phalaris canariensis*) y para la sábila (*Aloe vera*) se obtuvieron los cristales macerados de la hoja (penca), los cuales se agregaron por adherencia cerca de 1,5 g a las estacas previamente humedecidas. Como inoculante del suelo para algunos tratamientos se empleó un sustrato con raicillas micorrizadas y endomicorrizas vesículo-arbusculares (VA) de los géneros *Glomus spp*, *Acaulosporas spp* y *Entrophosporas spp*; el cual se adicionó en cada bolsa en una proporción del 4 %.

Luego que las estacas fueron tratadas se depositaron en bolsas con el sustrato anteriormente mencionado y se llevaron a un sitio con luz difusa durante 60 días, tiempo en el cual se realizó adición de riego y manejo de plagas y enfermedades. Posteriormente en el laboratorio de agronomía de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia se realizó la evaluación del desarrollo vegetativo y radicular.

**Tabla 1.** Tratamientos

| Tratamiento | Descripción del tratamiento      |
|-------------|----------------------------------|
| T1          | Ácido Alfa-Naftalenacético (ANA) |
| T2          | Ácido indol butírico (IBA)       |
| T3          | Ácido Giberélico (AG3)           |
| T4          | ANA + IBA                        |
| T5          | ANA + AG                         |
| T6          | Micorrizas                       |
| T7          | Micorrizas + Sábila              |
| T8          | Micorrizas + Lenteja             |
| T9          | Micorrizas + Canela              |
| T10         | Micorrizas + Alpiste             |
| T11         | Sábila                           |
| T12         | Canela                           |
| T13         | Lenteja                          |
| T14         | Alpiste                          |
| T15         | Sábila + Canela                  |
| T16         | Sábila + Lenteja                 |
| T17         | Sábila + Alpiste                 |
| T18         | Lenteja + Canela                 |
| T19         | Lenteja + Alpiste                |
| T20         | Alpiste + Canela                 |
| T21         | Testigo                          |

### 2.3 Variables evaluadas

En los 21 tratamientos (tabla 1) aplicados a esta investigación se tuvieron en cuenta como variable independiente, la acción de las hormonas sintéticas y naturales sobre el desarrollo de las raíces y estructuras vegetativas de Tilo (*Sambucus peruviana*) y como variables dependientes la respuesta del desarrollo de raíces y estructuras vegetativas, frente a la aplicación, incluyendo seis (6) variables: número de brotes, peso total de los brotes (g), longitud máxima del brote más desarrollado (cm), longitud máxima de raíz más desarrollada (cm) peso total de raíz (g) y altura de planta (cm) en cada una de las estacas.

### 2.4 Análisis estadístico

Para cada una de las variables respuesta (número de brotes, peso de los brotes, longitud máxima del brote, longitud máxima de la raíz, peso de la raíz y altura de la planta) se evaluó la diferencia de tratamientos por medio de gráficos de cajas y de análisis de varianza (ANOVA), cuando los residuos del ANOVA cumplieron supuesto de normalidad (Test de normalidad

con Shapiro-Wilk) y el supuesto de homogeneidad de varianzas (Test de Levene's de homogeneidad de varianzas) se realizó un contraste Post-hoc mediante el método de Scott\_knott. Cuando los residuos del ANOVA no cumplieron los supuestos, se analizaron estas diferencias por vía no paramétrica mediante el test de Kruskal-Wallis, para posteriormente realizar un contraste Post-hoc mediante el método ajustado de Bonferroni. A través de todo el análisis se utilizó un valor de significancia de 5% (valor estándar).

### 3 Resultados y discusión

#### 3.1 Número de brotes

En el diagrama de cajas no se aprecia clara diferencia por tratamiento (Figura 1), excepto en los T1, T13, T18 y T19 que muestran diferencia marcada por debajo del resto, teniendo la menor eficiencia en la cantidad de brotes por estaca de Tilo (*Sambucus peruviana*) a los 60 días.

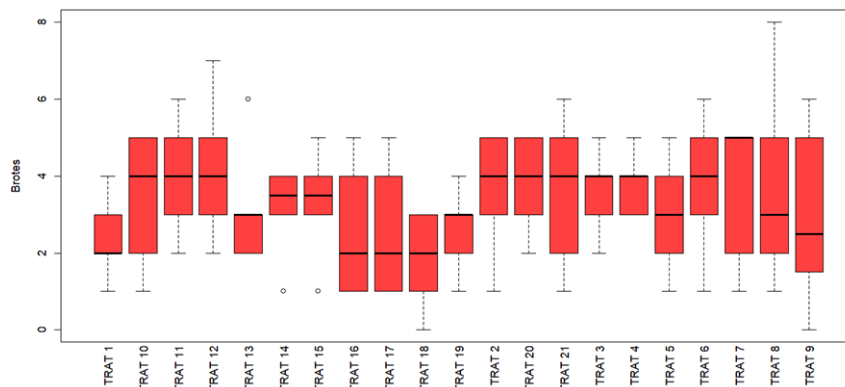


Figura 1. Diagrama de cajas número de brotes por cada tratamiento.

Al realizar el Análisis de varianza, se evidencia que la variable efecto de tratamientos no es estadísticamente significativa (Tabla 2) sobre la variable número de brotes ( $p > 0,05$ ), mostrando que la media de los tratamientos es igual. Al analizar los supuestos, el test de Shapiro muestra que los residuos del modelo presentan un comportamiento normal, con valor  $p$  de 0,2027, no se rechaza normalidad en los residuos ( $p > 0,05$ ) y por medio del test de Levene's es posible observar que la varianza de los residuos presenta un comportamiento homogéneo, con valor de 0,6241, por lo que no se rechaza la homogeneidad de varianzas en los residuos ( $p > 0,05$ ).

Tabla 2. ANOVA número de brotes.

| Analysis of Variance Table                                       |     |        |         |         |         |  |
|--|-----|--------|---------|---------|---------|--|
| Response: Brotes   |     |        |         |         |         |  |
|  | Df  | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr(>F)  |  |
| Tratamiento  | 20  | 71.30  | 3.5650  | 1.6105  | 0.05581 |  |
| Residuals  | 160 | 354.18 | 2.2136  |         |         |  |
| ---  |     |        |         |         |         |  |
| Signif. codes: 0 '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 |     |        |         |         |         |  |

El análisis Post-hoc permite determinar que para la variable número de brotes existen 2 diferentes conjuntos de tratamientos significativamente diferentes,

por un lado, el conjunto de tratamientos con menor promedio, estos corresponden a los tratamientos T1, T16, T17, T18, T19 y T9. Por otro lado, está el conjunto de tratamientos con el mayor número de brotes promedio, T10, T11, T12, T13, T14, T15, T2, T20, T21, T3, T4, T5, T6, T7, y T8). También es posible observar que el mejor tratamiento es el T12 (canela), seguido del T11 (sábila) sin que haya diferencia significativa entre los dos. Mientras que el T18 (lenteja + canela) presenta el menor desarrollo de número de brotes por estaca de Tilo (*Sambucus peruviana*) a los 60 días.

En el estudio realizado por Alvarado & Munzón (2020) la acción del gel de aloe en el enraizamiento y propagación asexual de árboles de *ficus benjamina* superó la hormona comercial ANA, con resultados económicos de costo/beneficio en los que el sustrato natural resulta más eficiente que la fitohormona sintética [16].

### 3.2 Peso de brotes

En el diagrama de cajas no se aprecia clara diferencia por tratamiento (Figura 2), excepto en los T18 y T19 ya que presenta diferencia marcada por debajo del

resto, teniendo el menor desarrollo del peso de brotes (g) por estaca de Tilo (*Sambucos peruviana*) a los 60 días.

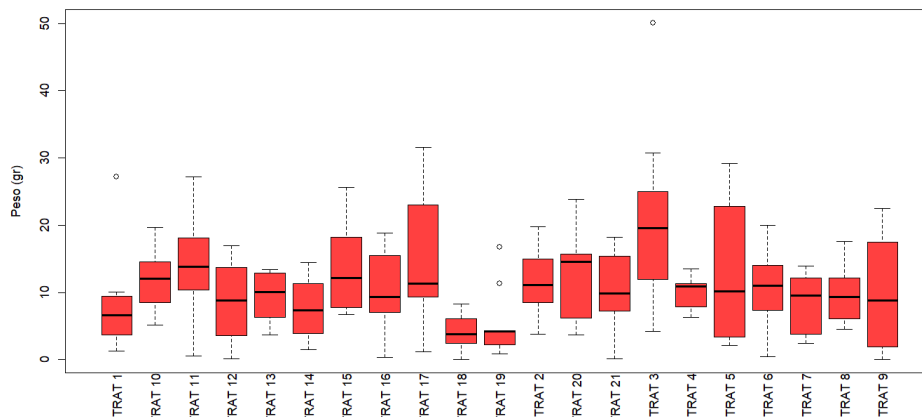


Figura 2. Diagrama de cajas peso de brotes (g) por cada tratamiento

Al realizar el ANOVA (Tabla 3), se evidencia que la variable efecto de tratamientos es estadísticamente significativa sobre la variable peso de brotes con valor de 0,003094 ( $p < 0,05$ ), se cumple la hipótesis de diferencias de medias para al menos uno de los tratamientos en relación a los demás. El test de Shapiro muestra que los residuos del modelo no presentan un comportamiento normal, con valor  $p$  de 0,003301 se rechaza normalidad en los residuos ( $p < 0,05$ ). Por su parte, el test de Levene's permite observar que la varianza de los residuos presenta un comportamiento homogéneo, con un valor de 1, por lo que no se rechaza la homogeneidad de varianzas en los residuos ( $p > 0,05$ ), en consecuencia, se aplica el test de Kruskal Wallis obteniendo como resultado que al menos un tratamiento es diferente al resto, con un valor  $p$  de 0,02421 se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ), entonces al menos un tratamiento es diferente al resto ( $p < 0,05$ ).

Tabla 3. ANOVA peso de brotes.

| Analysis of Variance Table  |     |        |         |         |         |   |
|---|-----|--------|---------|---------|---------|---|
| Response: Brotes  |     |        |         |         |         |   |
|   | Df  | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr(>F)  |   |
| Tratamiento   | 20  | 71.30  | 3.5650  | 1.6105  | 0.05581 | . |
| Residuals   | 160 | 354.18 | 2.2136  |         |         |   |
| ---<br>Signif. codes: 0 '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 |     |        |         |         |         |   |

El análisis Post-hoc permite observar que para la variable peso de brotes existen 2 diferentes conjuntos de tratamientos significativamente diferentes, por un

Tabla 4. ANOVA peso de brotes

| Analysis of Variance Table  |     |        |         |         |         |   |
|---|-----|--------|---------|---------|---------|---|
| Response: Brotes  |     |        |         |         |         |   |
|   | Df  | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr(>F)  |   |
| Tratamiento   | 20  | 71.30  | 3.5650  | 1.6105  | 0.05581 | . |
| Residuals   | 160 | 354.18 | 2.2136  |         |         |   |
| ---<br>Signif. codes: 0 '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 |     |        |         |         |         |   |

lado, el conjunto con menor peso de brotes, T18 (lenteja + canela) y T19 (lenteja + alpiste). Por otro lado, el conjunto de tratamientos al cual pertenece el T3 (AG3) con mayor desarrollo en peso por brotes (g) en estacas de Tilo (*Sambucos peruviana*) a los 60 días.

La fitohormona (AG3) utilizada en el T3 tiene un destacado efecto en el peso de los brotes de Tilo. Según el estudio realizado por Schwechheimer, (2008) la vía de señalización de AG actúa uniéndose a un receptor GID1 soluble, que interactúa con las proteínas represoras DELLA de una manera dependiente de ag y, por lo tanto, induce la degradación de la proteína DELLA a través de la ubiquitina ligasa E3 SCF GID2/SLY1, controlando aspectos importantes del crecimiento de las plantas, como la germinación de semillas, el crecimiento y la floración [18].

### 3.3 Longitud máxima del brote

Para esta variable en el diagrama de cajas de la Figura 3 se evidencia diferencias en la longitud máxima del brote, siendo el mejor tratamiento T3 (AG3), con

valores cercanos a los 47,1 cm en promedio por planta, en comparación con los tratamientos T18 (lenteja + canela) y T19 (lenteja + alpiste) que presentan valores de 18,5 y 18,55 cm en promedio, siendo estos los más bajos. Lo anterior sugiere que el ácido giberelico, genera una interacción benéfica en el desarrollo longitudinal de la estaca, no siendo así, cuando se utiliza lenteja en combinación con canela o alpiste. Estos resultados son consistentes con lo reportado por Jansky, y Hamernik (2015), quienes realizaron un estudio para evaluar la incorporación de 10, 100, y 1000 ppm de ácido giberelico sobre la dormancia

en tubérculos de papa, donde se midió la longitud y el número de tallos a lo largo del ciclo de cultivo [20]. Los mejores resultados los obtuvieron con la incorporación de 10 o 100 ppm, aportando positivamente a la longitud del brote.

En el diagrama de cajas se evidencia clara diferencia entre algunos tratamientos (Figura 3), el T3 (AG3) presenta diferencia significativa por encima de los restantes, siendo el de mayor longitud de brotes (cm) por estaca de Tilo (*Sambucus peruviana*) a los 60 días.

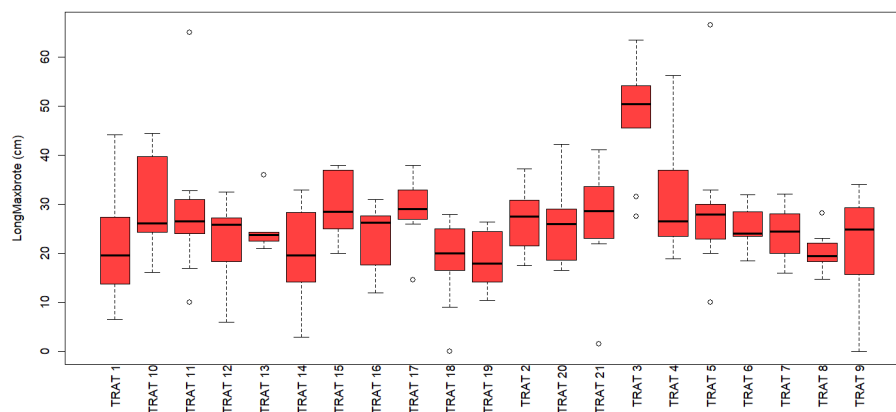


Figura 3. Diagrama de cajas longitud máxima brotes (cm) por cada tratamiento.

Al realizar el ANOVA (Tabla 4), se evidencia que la variable efecto de tratamientos es estadísticamente significativa sobre la variable longitud máxima brotes ( $p < 0,05$ ), mostrando que la media de al menos uno de los tratamientos es distinta a los demás. Por su parte, el test de Shapiro muestra que los residuos del modelo no presentan un comportamiento normal, con un valor  $p$  de 0,0001236 se rechaza normalidad en los residuos ( $p < 0,05$ ). Por su parte, el test de Shapiro muestra que los residuos del modelo no presentan un comportamiento normal, con valor  $p$  de 0,0001236 se rechaza normalidad en los residuos ( $p < 0,05$ ). Es posible observar por medio del test de Levene's que la varianza de los residuos presenta un comportamiento homogéneo, con un valor de 0,8199 no se rechaza la homogeneidad de varianzas en los residuos ( $p > 0,05$ ). Por lo tanto, se realiza el test de Kruskal Wallis y permite determinar que al menos un tratamiento es diferente al resto, con valor  $p$  de 0,0008852 se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ).

Tabla 5. Longitud máxima brotes

| Analysis of Variance Table                                    |     |         |         |         |           |     |
|---|-----|---------|---------|---------|-----------|-----|
| Response: logmaxbrote (cm)                                    |     |         |         |         |           |     |
|   | Df  | Sum Sq  | Mean Sq | F value | Pr(>F)    |     |
| Tratamiento   | 20  | 6851.7  | 342.59  | 3.6958  | 1.659e-06 | *** |
| Residuals   | 160 | 14831.4 | 92.70   |         |           |     |
| ---   |     |         |         |         |           |     |
| Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 |     |         |         |         |           |     |

El análisis Post-hoc permite observar que para la variable longitud máxima brotes (cm) existen 2 diferentes conjuntos de tratamientos significativamente diferentes, por un lado, el conjunto de tratamientos con menor desarrollo, T1, T14, T18, T19 y T8. Por otro lado, se tienen el conjunto al cual pertenece el T3 (AG3) con mayor longitud de brote en Tilo (*Sambucus peruviana*) a los 60 días.

También es posible observar que el resto de tratamientos no son significativamente diferentes entre ellos, por lo tanto, se consideran tratamientos semejantes.

### 3.4 Longitud máxima de raíz

Para esta variable en el diagrama de cajas de la Figura 4 se evidencia diferencias en la longitud máxima de raíz, siendo el mejor tratamiento T10 (micorrizas + alpiste), con valores cercanos a los 13,61 cm en promedio por planta, siendo este el de mejor rendimiento. Asimismo, se observan otros tratamientos con buenos resultados en longitud máxima de raíz, como el T15 (sábila + canela), T16 (sábila + lenteja), y T6 (micorrizas), con valores de 11,5; 12,1 y 12,5 cm en promedio por planta, respectivamente. En comparación con el tratamiento T18 (lenteja + canela) se presentan valores de 5.6 cm en promedio por planta, siendo este el valor más bajo observado. Lo anterior sugiere que la presencia de sábila en mezcla con las demás sustancias (canela y lenteja) genera una interacción benéfica en el desarrollo de la longitud de raíz, no siendo así cuando se aplica lenteja + canela. Estos resultados son consistentes con lo reportado por García, Hernández y Estévez (2020), quienes determinaron el efecto estimulante

del extracto de Aloe vera en la adaptación de vitroplantas de plátano híbrido FHIA-18, observando un efecto positivo en la longitud de la raíz, mediante las aplicaciones foliares con el 4 y 6% de Aloe con (12,5 y 12,6 cm) que no difiere de las aplicaciones foliares al 2% y al sustrato con el 6% de Aloe vera con (9,5 y 9,6 cm), resaltando el efecto benéfico del aloe vera en el desarrollo radicular [19]. Asimismo, Tucuch *et al.* (2022), determinaron un efecto positivo en la longitud de la raíz de plántulas de Capsicum chinense en México, observando un incremento del 14,2% de longitud de raíz, con la aplicación de gel de sábila al 5% [21].

En el diagrama de cajas no se aprecia clara diferencia por tratamiento (Figura 7) excepto en los T1, T17, T18 y T20, estos siendo de menor desarrollo en la longitud de la raíz (cm) por estaca de Tilo (*Sambucus peruviana*) a los 60 días, también se puede observar que el T10 (micorrizas + alpiste) presentó el mejor desempeño en esta variable.

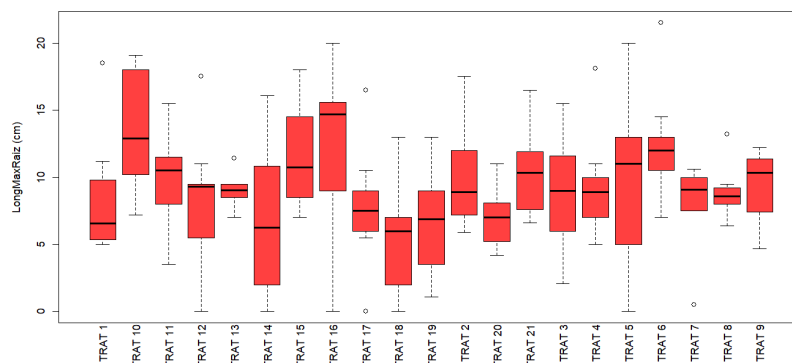


Figura 4. Diagrama de cajas longitud máxima de raíz (cm) por cada tratamiento.

Al realizar el ANOVA, se evidencia que la variable efecto de tratamientos es significativo a la variable longitud máxima del brote ( $p < 0,05$ ), mostrando que la media de al menos uno de los tratamientos es distinta a los demás (Tabla 5). El test de Shapiro muestra que los residuos del modelo no presentan un comportamiento normal, con un valor  $p$  de 0,0001236 se rechaza normalidad en los residuos ( $p < 0,05$ ). por medio del test de Levene's la varianza de los residuos presenta un comportamiento homogéneo, con un valor de 0,8199 no se rechaza la homogeneidad de varianzas en los residuos. El

test de Kruskal Wallis permite evidenciar que al menos un tratamiento es diferente al resto, con valor  $p$  de 0,0008852 se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ), ( $p < 0,05$ ).

Tabla 6. ANOVA longitud máxima de raíz (cm)

| Analysis of Variance Table |     |         |         |         |          |    |
|----------------------------|-----|---------|---------|---------|----------|----|
| Response: logmaxraiz (cm)  |     |         |         |         |          |    |
|                            | Df  | Sum Sq  | Mean Sq | F value | Pr(>F)   |    |
| Tratamiento                | 20  | 717.39  | 35.869  | 2.0553  | 0.007513 | ** |
| Residuals                  | 160 | 2792.35 | 17.452  |         |          |    |

---  
Signif. codes: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*\*' 0.01 '\*\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1



El análisis Post-hoc permite observar que para la variable longitud máxima de raíz (cm) existen 2 diferentes conjuntos de tratamientos significativamente diferente, por un lado, el conjunto con menor promedio y que no son significativamente diferentes entre ellos, (T1, T11, T12, T13, T14, T17, T18, T19, T2, T20, T21, T3, T4, T5, T7, T8 y T9). Por otro lado, tenemos al conjunto con mayor longitud máxima de raíz promedio, al cual pertenecen los tratamientos T10, T15, T16, y T6. También es posible observar que el mejor tratamiento fue T10 (micorrizas + alpiste) y el de menor valor fue el T18 con el menor desarrollo de longitud máxima de raíz de Tilo en 60 días.

### 3.5 Peso de raíz

Para esta variable en el diagrama de cajas de la Figura 5 se evidencia diferencias en el peso de raíz, siendo los mejores tratamientos T15 (sábila + canela), T16 (sábila + lenteja) y T17 (sábila + alpiste) con valores cercanos a los 7 gramos por planta, en comparación con los tratamientos T18 (lenteja + canela), T11(sábila), T14 (alpiste) y T19 (lenteja +

alpiste) que presentan valores entre 2 y 3 gramos por planta, siendo estos los más bajos. Lo anterior sugiere que la presencia de sábila en mezcla con las demás sustancias (canela, lenteja y alpiste) genera una interacción benéfica en el desarrollo de la masa radicular de la estaca, no siendo así cuando sábila esta actúa sola. Estos resultados son consistentes con lo reportado por Abdou 2022, quien encontró que extractos de sábila (Aloe) posee efectos significativos y positivos sobre el desarrollo de diferentes estructuras vegetativas y la capacidad productiva de la jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) en condiciones de riego óptimo; sin embargo, los resultados no son favorables en condiciones de déficit hídrico. Los resultados muestran que el Aloe posee una estructura genética que codifica para genes de resistencia a la sequía y el estrés lo cual puede explicar su efecto positivo en el desarrollo radicular [22]. De la misma forma se reporta que la combinación de Aloe con otras sustancias presenta resultados positivos en las estructuras vegetativas de la planta [23].

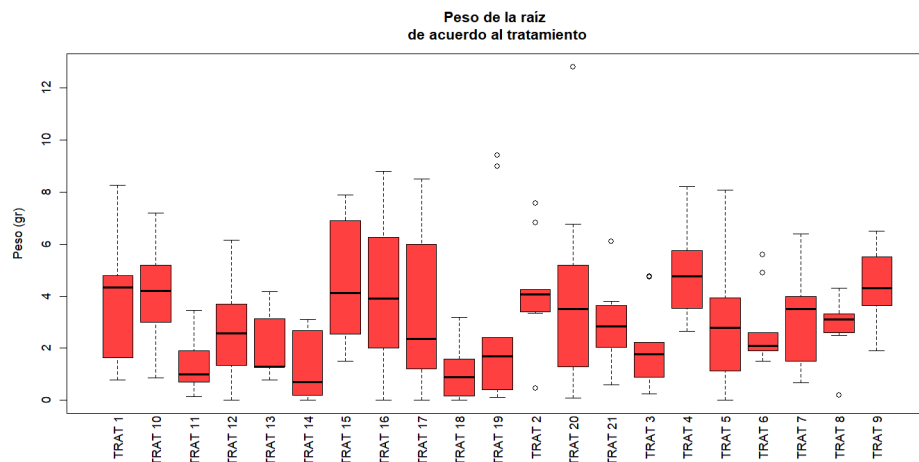


Figura 5. Diagrama de cajas peso de la raíz (g) por cada tratamiento.

Lo anterior se evidencia estadísticamente al realizar el ANOVA (Tabla 6), donde esta variable es significativa ( $p < 0,05$ ), ya que hay diferencia de medias para al menos uno de los tratamientos. El test de Shapiro muestra que los residuos del modelo no presentan un comportamiento normal, con un valor  $p$  de  $2,098 \times 10^{-05}$  se rechaza normalidad en los residuos ( $p < 0,05$ ) y es posible observar por medio del test de Levene's que la varianza de los residuos

presenta un comportamiento homogéneo, con un valor de 0,08766 no se rechaza la homogeneidad de varianzas en los residuos ( $p > 0,05$ ). Se aplica el test de Kruskal Wallis determinando que al menos un tratamiento es diferente al resto, con valor  $p$  de 0,001029 se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ).



**Tabla 7.** ANOVA peso de raíz (cm)

Analysis of Variance Table

Response: pesoraiz (gr)

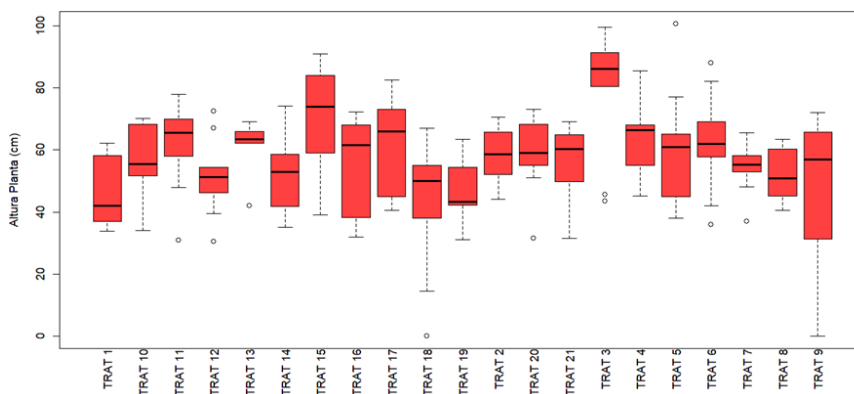
|             | Df  | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr(>F)      |
|-------------|-----|--------|---------|---------|-------------|
| Tratamiento | 20  | 210.69 | 10.534  | 2.0392  | 0.008112 ** |
| Residuals   | 160 | 826.55 | 5.166   |         |             |

---  
Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

En el análisis Post-hoc se muestra que grupos con letra diferente poseen diferencias estadísticamente significativas entre sí (a, b). El T4 (ANA + IBA) posee el mayor peso de raíz, estadísticamente diferente a los tratamientos T11(sábila), T14 (alpiste) y T18 (lenteja + canela) que poseen los valores más bajos. También se observa los demás tratamientos (ab) los cuales no posee diferencia estadística entre sí, ni con los demás tratamientos.

### 3.6 Altura de planta

Para esta variable el diagrama de cajas (Figura 6) muestra que el tratamiento T3 (AG3) posee los valores más altos con amplias diferencias respecto de T1 (ANA), T18 (lenteja + canela) y T19 (lenteja + alpiste). Este resultado es consistente con diversas investigaciones en las cuales se evidencia acción positiva del AG3 sobre el desarrollo de varias estructuras vegetativas de plantas forrajeras, donde la adición de la hormona reportó un mayor crecimiento de la planta [24, 25, 26, 27].



**Figura 6.** Diagrama de cajas altura de planta (cm) por cada tratamiento.

Al realizar el ANOVA, se evidencia que la variable efecto de tratamientos es significativo a la variable altura de la planta ( $p < 0,05$ ), se cumple entonces la hipótesis de diferencias de medias para al menos uno de los tratamientos en relación a los demás (Tabla 7). Por su parte, el test de Shapiro muestra que los residuos del modelo no presentan un comportamiento normal, con un valor  $p$  de 0,004177 se rechaza normalidad en los residuos ( $p < 0,05$ ) y es posible observar por medio del test de Levene's que la varianza de los residuos presenta un comportamiento homogéneo, con un valor de 0,7015 no se rechaza la homogeneidad de varianzas en los residuos ( $p > 0,05$ ). Se aplica el test de Kruskal Wallis evidenciando que al menos un tratamiento es diferente al resto, con un valor  $p$  de 0,003577 y se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ).

**Tabla 8.** ANOVA altura de planta

Analysis of Variance Table

Response: alturplanta (cm)

|             | Df  | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr(>F)        |
|-------------|-----|--------|---------|---------|---------------|
| Tratamiento | 20  | 12794  | 639.71  | 2.8699  | 0.0001256 *** |
| Residuals   | 160 | 35664  | 222.90  |         |               |

---  
Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

El análisis Post-hoc muestra que la variable altura planta posee dos conjuntos de tratamientos significativamente diferentes (letras a y b), en primera instancia T3 (AG3) que posee los valores más altos, es diferente estadísticamente a los tratamientos T1(ANA), T18(lenteja + canela) y T19 (lenteja + alpiste) identificados con la letra (b) que poseen menor desarrollo. Los demás tratamientos identificados con las (ab), no posee diferencias estadísticas entre si ni con los demás tratamientos.

#### 4 Conclusiones

El tratamiento de explantes (estacas) de Tilo (*Sambucus peruviana*) con hormonas sintéticas y naturales (fitohormonas) evidenció efectos benéficos sobre el desarrollo de sus estructuras vegetativas y radicales. Se encuentra diferencia estadísticamente significativa para las variables peso y longitud de brotes en el tratamiento con Ácido giberélico, seguidos por el tratamiento Biofertilizante + alpiste, estos resultados son consistentes con investigaciones similares, reafirmando que estos productos estimulan tanto la velocidad de crecimiento como el vigor de crecimiento de la plántula.

Se encuentra un efecto positivo en los tratamientos de hormonas naturales con o sin adición del Biofertilizante (micorrizas) que superan el desempeño de los tratamientos de las hormonas sintéticas. Para la variable longitud de raíz los tratamientos con Alpiste, Sábila y Lenteja (T10, T11, T16, T15) presenta los mejores resultados. Similar comportamiento se evidencia en Peso de la raíz donde los tratamientos con Alpiste, Sábila, Canela (T10, T15, T16, T20) solos o combinados presentan comportamiento superior o igual a los demás tratamientos. Lo anterior permite inferir que los compuestos bioactivos de estos productos estimulan la dinámica fisiológica relacionada con la división celular en la plántula igualmente su uso es viable tanto por sus resultados, disponibilidad, bajo costo y bajo riesgo.

La investigación encuentra evidencia que el uso de hormonas naturales, con o sin adición de biofertilizantes causa efectos positivos en explantes de Tilo en la generación de estructuras vegetativas y radicales igual o superior a los generados con el uso de hormonas sintéticas de amplia difusión comercial, siendo una alternativa para la propagación ecológica o sustentable y la disminución de costos de producción.

#### Referencias

[1] P. Baldassini, & J. M. Paruelo. "Agricultural and silvopastoral systems in the semi-arid chaco. Impacts on primary productivity | Sistemas agrícolas y silvopastoriles en el chaco semiárido. Impactos sobre la productividad

primaria". *Ecologia Austral*, vol. 30, no. 1, pp. 45-62, 2020. <https://doi.org/10.25260/EA.20.30.1.0.961>

- [2] E. M. Páez, M., Puerto, J. A. Fonseca-Carreño., & E. S. Corredor. *Determinación de huellas ambientales, prácticas y estrategias integradas de manejo en sistemas ganaderos de trópico alto* (Primera ed). Sello editorial UNAD. 2021
- [3] A. da S. Cardoso, F. de O. Alari, de Andrade, N., Nascimento, T. da S., van Cleef, F. de O. S., Alves, B. J. R., Ruggieri, A. C., & Malheiros, E. B. Nitrous oxide emissions in silvopastoral systems: Key driving variables and seasonality. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 316, p. 108851, 2022. <https://doi.org/10.1016/J.AGRFORMET.2022.108851>
- [4] M. Á. S. Monroy, & H. V. S. Moreno. Establecimiento de un sistema silvopastoril con *Sambucus peruviana*. *Revista Sistemas de Producción Agroecológicos*, vol. 9, no. 2, pp. 97-111, 2018. [http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB\\_UMICH/208/FITECMA-M-2015-1349.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMICH/208/FITECMA-M-2015-1349.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [5] W. F., Galindo & C. Avella. Memorias del Intercambio de Experiencias de Reconversión Ganadera en el contexto de la alta montaña, en el Complejo de Páramos Las Hermosas. 2020. <http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/35571/19-14331-207PS.pdf?sequence=1>
- [6] F. Uribe, A. Zuluaga, E. Murgueitio, L. Valencia, A. Zapata, L. Solarte, L., Cuartas, C., Naranjo, J., Galindo, W., González, J., Sinisterra, J., Gómez, J., Molina, C., Molina, E., Galindo, A., Galindo, V. & Soto, R. Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles. Manual 1, Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible. FEDEGÁN – FNG, CIPAV, el Fondo para la Acción Ambiental y la Niñez (Fondo Acción), The Nature Conservancy (TNC), Ministerios de Agricultura y Desarrollo Rural y

- de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial Global Environment Facility – GEF y el Directorio del Banco Mundial. Bogotá, Colombia. 2011
- [7] D. Fonseca-López, C. E. R. Molano, L. E. N. Monroy, López, A. E. S., Concha, J. L. H., Ramírez, I. D. O., & Lagos, N. R. T. Caracterización nutricional y de producción de biomasa de *Sambucus peruviana*, *Sambucus nigra* y *Morus alba* en un banco forrajero. *Ciencia en Desarrollo*, vol. 10, no. 2, pp. 23-32, 2019. [https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencia\\_en\\_desarrollo/article/view/9098/8635](https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencia_en_desarrollo/article/view/9098/8635)
- [8] C. E. Rodríguez-Molano & N. J. Pulido-Suárez. Determinación del valor nutricional de bloques nutricionales con diferentes porcentajes de *Sambucus peruviana* y *Zea mays*. *Ciencia y Agricultura*, vol. 15, no. 1, pp. 93-100, 2018. [https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencia\\_agricultura/article/view/7760](https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencia_agricultura/article/view/7760)
- [9] M. Sánchez, M; Amado, M. Saucó (*Sambucus nigra*) como alternativa silvopastoril en el manejo sostenible de praderas en el trópico alto colombiano. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica. Tibaitatá. Colombia. 2010. [https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13488/44236\\_56514.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13488/44236_56514.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [10] B. M. G. Atehortúa, Galvis, M. M. B., & Quirama, J. F. R. Características, manejo, usos y beneficios del saúco (*Sambucus nigra* L.) con énfasis en su implementación en sistemas silvopastoriles del Trópico Alto. *RIAA*, vol. 6, no. 1, pp. 155-168, 2015. <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/1271/1607>
- [11] N. Chugchilan Toaquiza. Niveles de ácido naltalen acetico (ANA) y ácido indol butírico en la propagación vegetativa de mora (*Rubus glaucus* Benth) (Bachelor's thesis, Quevedo: UTEQ). 2011. <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/2222/1/T-UTEQ-0262.pdf>
- [12] R. Silva. Evaluación de la eficiencia de tres enraizantes naturales para propagación de mango (*mangifera indica*) por esquejes (Bachelor's thesis, La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena). 2021. <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6315/1/UPSE-TIA-2021-0046.pdf>
- [13] G. Bortoloso Pigatto, Nunes Gomes, E., De Cássia Tomasi, J., Portes Ferriani, A., & Deschamps, C. Effects of indolebutyric acid, stem cutting positions and substrates on the vegetative propagation of *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, vol. 12, no. 1, pp. 202-211, 2018. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2011-21732018000100202](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2011-21732018000100202)
- [14] M.A. Hilgert, Lazarotto, M., de Sá, L. C., Fior, C. S., & de Souza, P. V. D. Substrates and indole-3-butyric acid in mini-cuttings rooting of *carya illinoensis* (wangenh) k. koch. floresta, vol. 51, no. 3, pp. 721-730, 2021. <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/72466>
- [15] T.C. McDonough, Regan, D. J., & Nelson, A. S. Propagation protocol for blue elderberry (*Sambucus nigra* L. ssp. *cerulea* (Raf.) Bolli). *Native Plants Journal*, vol. 19, no. 3, pp. 254-259, 2018. <http://npj.uwpress.org/content/19/3/254.short>
- [16] A. Alvarado-Aguayo & Munzón-Quintana, M. Evaluación de la efectividad de gel de sábila y agua de coco como enraizantes naturales en diferentes sustratos para propagación asexual de árboles de *Ficus benjamina*. *Agronomía Costarricense*, vol. 44, no. 1, pp. 65-78, 2020. [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0377-94242020000100065&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0377-94242020000100065&script=sci_arttext)
- [17] S.P. Kumar & Kumari, B. R. Effect of primary and secondary somatic embryogenesis in *Safflower* (*Carthamus tinctorius* L.) at morphological and biochemical levels. *Am-Eurasian J Agric Environ Sci*, vol. 8, no. 6, pp. 784-792, 2010.
- [18] C. Schwechheimer. Understanding gibberellic acid signaling—are we there yet?. *Current*

- Opinion in Plant Biology*, vol. 11, no. 1, pp. 9-15, 2018. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369526607001690#bib1>
- [19] M.J. García, Hernández, R.H., & Estévez M. Extracto de Aloe vera L. en la adaptación de vitroplantas de plátano. Instituto de Información Científica y Tecnológica. *Avances*, vol. 22, no. 1, 2020
- [20] S. Jansky & Hamernik, A. Rapid Cycling of Potato Tuber Generations by Overcoming Dormancy. *American Journal of Potato Research*, vol. 92, no. 1, pp. 148-152, 2015. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.1007/s12230-014-9415-7>
- [21] C.J. Tucuch, Cen, J. C., Kancab, R.A., & Tucuch, J.I. Uso de gel de Aloe vera en la producción de plántulas de Capsicum chinense. *Biocencia / XXIV*, no. 1, pp. 116-121, 2020.
- [22] S.K. Jaiswal, Mahajan, S., Chakraborty, A., Kumar, S., & Sharma, V. K. The genome sequence of Aloe vera reveals adaptive evolution of drought tolerance mechanisms. *Science*, vol. 24, no. 2, p. 102079, 2021. <https://doi.org/10.1016/J.ISCI.2021.102079>
- [23] N.M. Abdou, El-Saadony, F. M. A., Roby, M. H. H., Mahdy, H. A. A., El-Shehawi, A. M., Elseehy, M. M., El-Tahan, A. M., Abdalla, H., Saad, A. M., & Idris Badawy AbouSreea, A. Foliar spray of potassium silicate, aloe extract composite and their effect on growth and yielding capacity of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) under water deficit stress conditions. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.02.033>
- [24] J.T. Brosnan, Thoms, A. W., Breeden, G. K., & Sorochan, J. C. Effects of various plant growth regulators on the traffic tolerance of “Riviera” bermudagrass (*Cynodon dactylon* L.). *HortScience*, vol. 45, no. 6, pp. 966-970, 2010. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.6.966>
- [25] E.H. Ervin & Zhang, X. Applied physiology of natural and synthetic plant growth regulators on turfgrasses. *Handbook of Turfgrass Management and Physiology*, pp. 171-200, 2007. <https://doi.org/10.1201/9781420006483.SEC4>
- [26] T. Głab, Gondek, K., & Szewczyk, W. Effects of plant growth regulators on the mechanical traits of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Scientia Horticulturae*, vol. 288, p. 110351, 2021. <https://doi.org/10.1016/J.SCIEN TA.2021.110351>
- [27] Y. Ishii, Yamano, A., & Idota, S. Effects of Short-Day and Gibberellic Acid Treatments on Summer Vegetative Propagation of Napier Grass (*Pennisetum purpureum* Schumach). *International Journal of Agronomy*. 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/9606914>