

Respuesta del fique (*Furcraea macrophylla*) a diferentes ambientes lumínicos y métodos de fraccionamiento de fertilizantes

Fique (*Furcraea macrophylla*) Response to Different Light Environments and Fertilizer Fractionation Methods

Daniel Ortiz González^{1*} (<https://orcid.org/0000-0001-6743-9374>)

Oscar Eduardo Paredes Martínez² (<https://orcid.org/0000-0003-3097-9531>)

Carina Cecilia Cordero Cordero³ (<https://orcid.org/0000-0003-3688-5835>)

^{1,2}Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA),
Centro de Investigación Palmira - Sede Popayán, Colombia.

³Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA),
Centro de Investigación Motilonia, Colombia.

*Autor de correspondencia: dfortiz@agrosavia.co

Resumen

El éxito de la expansión de la producción de fique en Colombia, por cuenta de las nuevas oportunidades del mercado, requiere entre otras cosas de la propagación de plantas de calidad desde la etapa de vivero. El objetivo de este estudio fue evaluar el crecimiento de plantas de fique (*Furcraea macrophylla*) provenientes de: bulbilos e hijuelos sometidas a dos factores: fertilización y luminosidad. El experimento se estableció bajo un diseño de parcelas divididas, las parcelas grandes correspondieron a ambientes de 50, 75 y 100% de iluminación relativa generados con mallas-sombra y las subparcelas correspondieron a dos métodos de fraccionamiento (constante y exponencial) de 21 g fertilizante (25-15-5)/planta. El crecimiento se midió ocho meses después de la siembra y cada propágulo se evaluó por separado. El mayor crecimiento de plantas provenientes de bulbilos se obtuvo a plena exposición solar con la fertilización constante y exponencial, donde obtuvieron incrementos de biomasa de 79 y 118%,

Abstract

The success of the expansion of fique production in Colombia due to new market opportunities requires, among others, the propagation of quality seedlings from the nursery stage. The aim of this study was to evaluate the growth of fique plants (*Furcraea macrophylla*) from: bulbils and suckers subjected to two factors: fertilization and luminosity. The experiment was established under a split-plot design, the main plots correspond to the lighting environments of 50, 75 and 100% relative illumination that were generated through mesh-shades and the subplots correspond to two fractionation methods (constant and exponential) of 21 g fertilizer (25-15-5)/plant. Growth was measured eight months after sowing and each propagule was evaluated separately. The highest growth of plants from bulbils was obtained at full-sun with constant and exponential fertilization, where they obtained increases in biomass of 79 and 118% respectively compared to the control. While for the plants from suckers, the best

respectivamente, frente al control. Mientras que para las plantas provenientes de hijuelos, la mejor respuesta de crecimiento se obtuvo en los tratamientos de fertilización exponencial independiente de la condición lumínica y con la fertilización constante a plena exposición solar, donde se encontraron incrementos de biomasa entre un 74 y 176% respecto al control. El manejo de la iluminación y fertilización es clave para el crecimiento del fique en etapa de vivero.

Palabras clave

Agavácea, fotoasimilados, translocación, fotosíntesis, crecimiento.

growth response was obtained in the exponential fertilization treatments independent of the light condition and with constant fertilization at full-sun, where biomass increases between 74 and 176% respect to the control. The management of illumination and fertilization is key for the fique growth in the nursery stage.

Keywords

Agavácea, photoassimilates, translocation, photosynthesis, growth.

Introducción

Colombia es el mayor productor de fique (*Furcraea spp.*) a nivel mundial y es un cultivo de importancia nacional debido a que es sembrado en 13 de los 32 departamentos del país, de él dependen económicamente cerca de 420 000 personas (MADR, 2018). Las áreas del cultivo de fique crecieron en los últimos años por el reciente auge ecológico y ambiental impulsado por la necesidad del reemplazo de productos sintéticos que generan impacto ambiental (Gholampour y Ozbakkaloglu, 2020). Especialmente gana interés por su potencial para la elaboración de una variedad de productos exportables con valor agregado, como empaques biodegradables, cuero vegano, agromantos, textiles, materiales compuestos para la construcción de edificaciones, partes de vehículos, elementos de protección balística y bioplaguicidas (Luna *et al.*, 2009; Neves *et al.*, 2018; Oliveira *et al.*, 2019).

El fique se propaga principalmente vía asexual a través de bulbilos e hijuelos. Una planta de *Furcraea macrophylla* puede producir hasta 3 000 bulbilos, los cuales crecen en el tallo floral; por su parte, los hijuelos crecen en el tallo de la planta y son de mayor tamaño que los bulbilos, tienen hojas desarrolladas, son más limitados en número, poseen poca uniformidad en cuanto a edad y tamaño y son utilizados principalmente para resiembras (Pérez, 1974). El éxito del cultivo depende en gran medida de la calidad del material vegetal de siembra; sin embargo, uno de los problemas técnicos actuales, consiste en que los agricultores propagan las plantas en suelos ácidos y poco fértiles a los que no suelen aplicar fertilizantes (CADEFIQUE, 2006). Esta situación hace que la nutrición se convierta en un factor limitante, ya que su insuficiencia provoca cambios metabólicos que se reflejan en bajo crecimiento de las plantas (Martínez-Ramírez *et al.*, 2013; Ortiz-González, 2021).

El género *Furcraea*, al que pertenece el fique, y el género *Agave* se encuentran dentro de la familia de las Agaváceas, con una cercanía filogenética; por lo tanto, son similares

morfológica y fisiológicamente, de manera que los estudios realizados en agaves pueden servir de referencia para el fique (Thiede, 2020). Es el caso, por ejemplo, de los estudios realizados por Martínez-Ramírez *et al.* (2013) y Enríquez del Valle *et al.* (2013; 2016) en especies del género *Agave*, demostraron que la adición de nutrientes en la etapa de vivero ayuda a mejorar la calidad de las plantas, además de otras ventajas comparativas, como su obtención en periodos cortos de tiempo, plantas más homogéneas y de mejor capacidad de adaptación a condiciones bióticas y abióticas en campo.

Lo anterior hace suponer que la fertilización puede estimular el crecimiento del fique; sin embargo, debe tenerse en cuenta que cuando se realiza la adición de fertilizantes compuestos (NPK) de síntesis química en una sola aplicación, se pueden generar problemas de toxicidad y pérdidas de nutrientes por diferentes procesos como lixiviación, escorrentía o volatilización (Zhao *et al.*, 2019; Krofft *et al.*, 2020). Por lo que resulta fundamental investigar nuevas alternativas de aplicación de fertilizantes para que estos sean mejor aprovechados por las plantas.

La aplicación de fertilizantes edáficos en un cultivo puede realizarse de dos maneras: en una sola aplicación o fraccionada en varias dosis. En este estudio se evaluó la respuesta de las plantas a dos métodos de fraccionamiento (constante y exponencial) de una misma cantidad de fertilizante NPK. Por un lado, el fraccionamiento constante resulta al dividir la cantidad de fertilizante en dosis iguales para cada aplicación; mientras que el fraccionamiento exponencial corresponde a la aplicación de dosis proporcionales al crecimiento de la planta, es decir, inicia con una dosis baja y va aumentando en cada aplicación (dosis crecientes) (Zhang *et al.*, 2021).

Se reconoce que, además de los nutrientes, la luz cumple un papel importante como fuente primaria de energía para el proceso fotosintético, por el cual la planta captura CO₂ para su crecimiento (Baslam *et al.*, 2020). Comúnmente en los viveros se suele usar casas de malla-sombra para proteger las plantas del exceso de radiación, incluso en aquellas especies heliófilas. La elevada radiación puede generar procesos fotoinhibitorios crónicos irreversibles que afectan su establecimiento a plena exposición solar (Ortiz *et al.*, 2021). Y en el otro extremo, el déficit de luz puede limitar el crecimiento e incluso puede generar etiolación (Kusnetsov *et al.*, 2020). Los trabajos reportados en fique, en aspectos asociados a la fertilización y luminosidad en las primeras etapas de crecimiento de las plantas son escasos.

Por tal razón, esta investigación tuvo como objetivo evaluar el crecimiento de plántulas de fique en la fase de vivero bajo diferentes niveles de iluminación y dos métodos de fraccionamiento de fertilizantes. Se plantea la hipótesis de que el fique, al ser una planta heliófila, se desarrolla mejor en condiciones de alta iluminación y, a pesar de cultivarse en suelos pobres de nutrientes, responde positivamente a la aplicación de fertilizantes.

Materiales y métodos

Área de estudio y material de propagación

El experimento se estableció el municipio de Totoró, Cauca, ubicado en: 2° 30' 41" N 76° 24' 11" O a 2.442 msnm, con un fotoperiodo de 12 h, temperatura y precipitación promedio anual de 18.6 °C y 1 755 mm, respectivamente. El material de propagación se colectó de un cultivo comercial sembrado con la especie Uña de Águila (*F. macrophylla*) y para la colecta de bulbilos se identificó una planta madre sana y vigorosa que estuviera en fase de floración. Una vez colectados se descartaron aquellos con daños físicos, los restantes se clasificaron por tamaño eligiendo los que tenían una longitud aproximada de 7 cm y se desinfectaron mediante inmersión en hipoclorito de sodio a 1 % durante cinco minutos. Posteriormente se almacenaron en un lugar ventilado, seco y a la sombra durante un periodo de endurecimiento de tres meses. Para la colecta de hijuelos se seleccionaron plantas en fase vegetativa, sanas y con formación de hijuelos en su tallo. Se eligieron aquellos con una edad aproximada de dos meses y un tamaño entre 20 a 30 cm, se desinfectaron igual que los bulbilos y se almacenaron durante 15 días. Al momento de la siembra ambos tipos de propágulos se desinfectaron mediante inmersión en Difeconazol (1.5 ml/l de agua) e Imidacloprid (1.5 ml/l de agua) durante tres minutos para prevenir problemas fitosanitarios. Finalmente, los propágulos se sembraron en bolsas plásticas calibre 3 de 20 cm de altura y 15 cm de diámetro con suelo de la zona correspondiente al orden taxonómico *Andisol* (Martínez *et al.*, 2013).

Los resultados del análisis químico del suelo se consignaron en el cuadro 1. La interpretación de los resultados se realizó con base en el manual de *Fertilización en diversos cultivos del ICA: Quinta aproximación* de Rojas *et al.* (1992). Al sustrato se le aplicó cal dolomita ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$) en una dosis correspondiente a 2 t/ha, que permitió neutralizar el aluminio intercambiable y mejorar la disponibilidad de calcio y magnesio hasta niveles altos para evitar que estos elementos fueran factores limitantes en el estudio.

Cuadro 1
Resultado del análisis físico-químico de suelos

Textura	MO (%)	pH	CE (dS/m)	CIC	Al ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	P
					(cmol ₍₊₎ /kg)					(mg/kg)
Franco-arenosa	15.7	5.27	0.2	5.2	1.78	1.8	0.6	0.1	0.38	6.94
Interpretación	alta	fuerte	no salino	bajo	limitante	bajo	bajo	bajo	medio	bajo

MO, CE, CIC, Al⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺ y P son: materia orgánica, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, aluminio intercambiable, calcio intercambiable, magnesio intercambiable, sodio intercambiable, potasio intercambiable y fósforo aprovechable, respectivamente.

Condiciones experimentales

El experimento se estableció bajo un diseño de parcelas divididas y distribuido completamente al azar. Las parcelas grandes correspondieron a los ambientes lumínicos de: 50, 75 y 100% de iluminación relativa (IR). Para generar los tratamientos de 50 y 75% de IR se utilizaron mallas-sombra con los respectivos porcentajes de paso de luz solar y en el tratamiento 100% de IR se dejó a radiación solar directa. Las subparcelas correspondieron a los métodos de fraccionamiento de 21 g de fertilizante compuesto (25-15-5) cuya mezcla se realizó de acuerdo con el análisis de suelos. La fertilización constante (cte) consistió en la aplicación mensual de 3 g del fertilizante durante siete meses. La fertilización exponencial (exp) involucró la aplicación mensual de fertilizante durante el mismo periodo, en dosis cada vez mayores (crecientes) en función de una curva exponencial, que representa el crecimiento de plantas en sus primeras etapas a través de la ecuación $Y=e^{0.245X}$, donde Y= biomasa de la planta (g) y X= tiempo (meses) (Di Benedetto y Tognetti, 2016). Las dosis mensuales correspondieron a la aplicación de 1.3, 1.6, 2.1, 2.7, 3.4, 4.3 y 5.6 g. El estudio incluyó un control donde no se aplicaron fertilizantes. Como fuentes de nutrientes se emplearon: Urea (46% N), DAP (18% N y 46% P_2O_5) y KCl (60% K_2O). Cada factor contó con tres niveles para un total de nueve tratamientos (50% control, 75% control, 100% control, 50% exp, 75% exp, 100% exp, 50% cte, 75% cte, 100% cte,) con seis repeticiones para un total de 54 unidades experimentales (plantas) para cada tipo de semilla.

Evaluación del crecimiento

Las plantas se evaluaron al final del experimento; es decir, a los ocho meses después de la siembra a través de las siguientes variables: altura de la planta (AP) (cm), diámetro del tallo (DT) medido en la base de la planta (cm), número de raíces (NR), longitud de raíces (LR) (cm), número de hojas (NH), área foliar (AF) (cm^2), biomasa de raíces (BR) (g), biomasa de tallo (BT) (g), biomasa de hojas (BH) (g) y biomasa total (BTOT) (g).

Análisis estadístico

Cada tipo de propágulo fue evaluado por separado. Las variables fueron procesadas estadísticamente con un análisis multivariado de componentes principales (ACP). La variable BTOT se analizó usando un ANAVA bifactorial y las diferencias de medias se analizaron mediante la prueba LSD de Fisher con un nivel de significancia de 5%. Los análisis se realizaron usando el software STATGRAPHICS Centurion versión XVI®.

Resultados

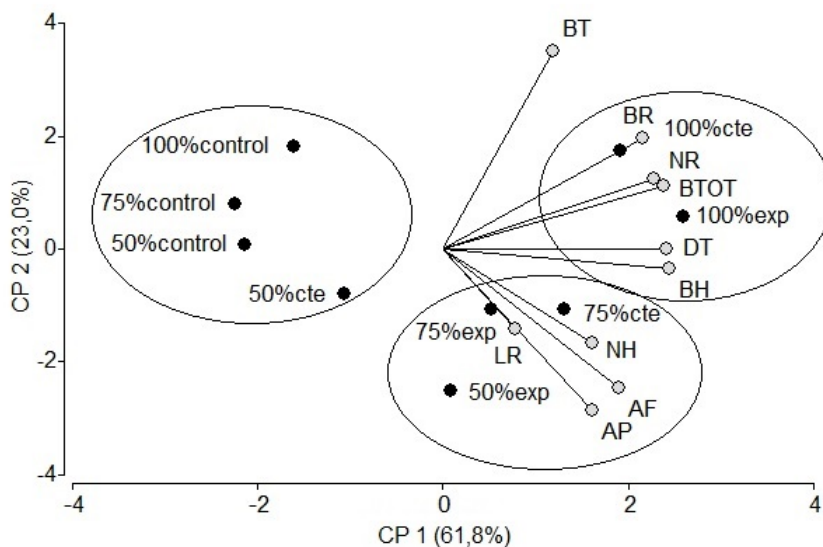
Bulbilos

Según el ACP para los bulbilos, los componentes 1 y 2 representan 84.8% de la variabilidad total del experimento (figura 1) y el análisis multivariado permitió agrupar

conjuntos de tratamientos por similitud. Todas las variables de crecimiento, excepto BT, estuvieron vinculadas con algún tratamiento. El primer grupo estuvo conformado por los tratamientos 100% cte y 100% exp, y ambos estuvieron relacionados con las variables BR, NR, BTOT, DT y BH. La cercanía de estos tratamientos con la variable BTOT estaría indicando que fueron las condiciones que más favorecieron la acumulación de biomasa. El segundo grupo lo conformaron los tratamientos 75% cte, 75% exp y 50% exp, los cuales estuvieron asociados a las variables NH, AF, AP y LR. Y el tercer grupo estuvo representado por los tratamientos de los tres ambientes lumínicos sin aplicación de fertilizantes (50% control, 75% control y 100% control) y el tratamiento 50% cte.

Figura 1

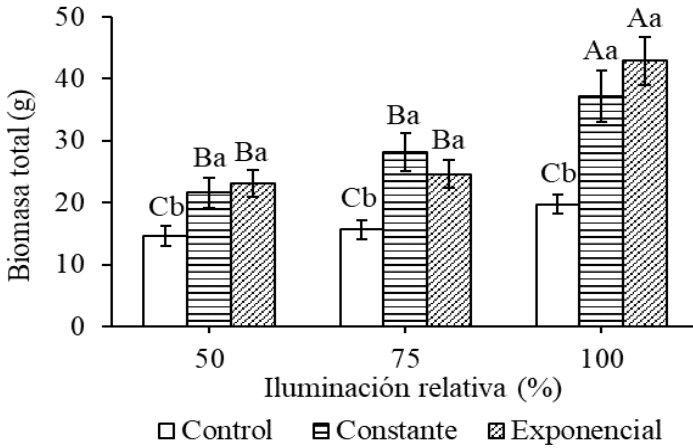
Resultado del análisis de componentes principales (ACP) usado para agrupar por similitudes en las variables (puntos grises) los nueve tratamientos de luz x fertilización (puntos negros) a los que fueron sometidos los bulbilos



La interacción luz x fertilización presentó diferencias estadísticamente significativas para BTOT en plantas generadas a partir de bulbilos $p = 0.0012$ (figura 2). También se destaca que ambos tipos de fertilización en los tres ambientes lumínicos favorecieron significativamente el crecimiento de las plantas respecto aquellas sin fertilizar; pero, en general, los valores más altos de BTOT se obtuvieron con fertilización exponencial y constante en el régimen lumínico de 100% IR con valores de 42.9 y 37.2 g que correspondieron a incrementos de 118 y 79%, respectivamente, frente al control.

Figura 2

Biomasa total (BTOT) de plantas provenientes de bulbilos



Las barras representan el error estándar, las letras mayúsculas indican diferencias significativas en la interacción luz x fertilización y las letras minúsculas diferencias significativas de métodos de fertilización dentro del ambiente lumínico, $p < 0.05$.

Hijuelos

De acuerdo con el ACP para los hijuelos, los componentes 1 y 2 representan 86.8% de la variabilidad total del experimento (figura 3). El análisis multivariado para hijuelos también permitió agrupar conjuntos de tratamientos por similitud. El primer grupo estuvo conformado por los tratamientos de los tres ambientes lumínicos bajo la fertilización exponencial (100% exp, 75% exp y 50% exp) y 100% cte. Todas las variables de crecimiento estuvieron relacionadas a estos tratamientos excepto BT y LR.

El segundo grupo lo conformó los tratamientos 50% cte 75% cte y el tercer grupo estuvo representado por los tratamientos de los tres ambientes lumínicos sin aplicación de fertilizantes (50% control, 75% control y 100% control). El conjunto de estos tres últimos tratamientos fue el que menos estuvo relacionado con las diferentes variables de crecimiento evaluadas debido a su lejanía con ellas, lo cual estaría revelando que, bajo estas condiciones de luz y fertilidad, las plantas exhibieron el menor crecimiento y presentaron valores de: 28.8; 16.1 y 24.5 g respectivamente (figura 4).

En los hijuelos, la interacción luz x fertilización también presentó diferencias significativas para biomasa total, $p = 0.0061$ (figura 4). La mejor respuesta se obtuvo en los tratamientos con fertilización exponencial bajo las tres condiciones lumínicas (50% exp, 75% exp y 100% exp) y con fertilización constante bajo el ambiente de libre exposición solar (100% cte), en los que se encontraron incrementos de biomasa total de 74, 176, 76 y 81%, respectivamente, frente al control, y donde las plantas alcanzaron valores alrededor de 45 g.

Figura 3

Resultado del análisis de componentes principales (ACP) usado para agrupar por similitudes en las variables (puntos grises) los nueve tratamientos de luz x fertilización (puntos negros) a los que fueron sometidos los hijuelos

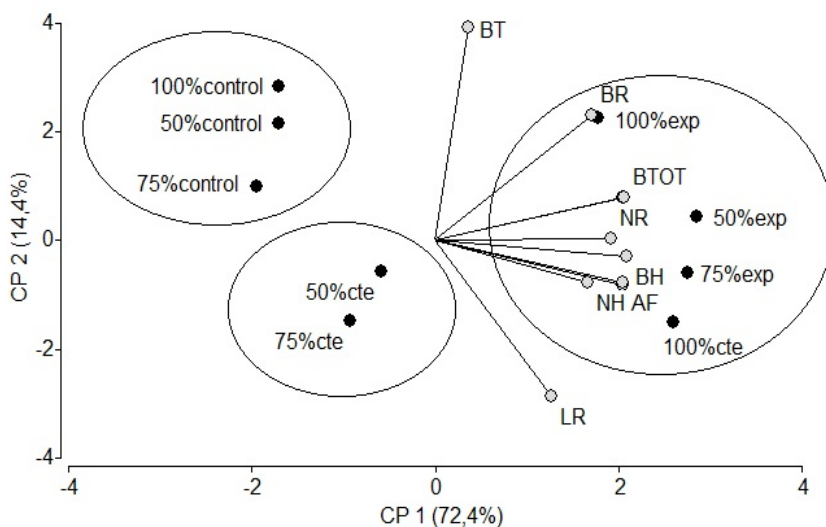
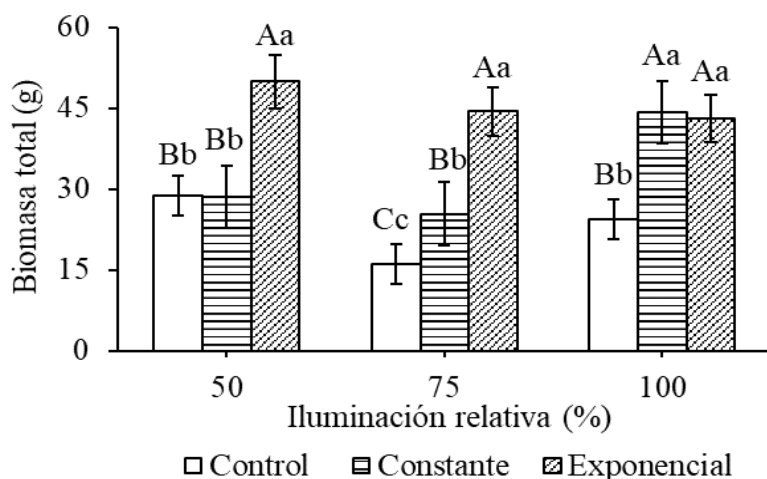


Figura 4

Biomasa total (BTOT) de plantas provenientes de hijuelos en la interacción luz x fertilización



Las barras representan el error estándar, las letras mayúsculas indican diferencias significativas en la interacción luz x fertilización y las letras minúsculas diferencias significativas de métodos de fertilización dentro del ambiente lumínico, $p < 0.05$.

Discusión

Bulbilos

Para el caso de los bulbilos, los resultados del ACP de las figuras 1 y 2 concuerdan, ya que las plantas expuestas al ambiente de 100% de luz solar y con la aplicación de fertilizantes a través de ambos métodos de fertilización (100% cte y 100% exp) obtuvieron la mayor acumulación de biomasa total (BTOT), generando un incremento en el crecimiento desde el 79 hasta 118 % respecto a su control. Sin embargo, se observa que los ambientes lumínicos no influenciaron el crecimiento de las plantas cuando no se fertilizaron (figura 2). Estos resultados contrastan con los reportados por Casierra-Posada *et al.* (2017b), quienes encontraron que el crecimiento en plantas de *Furcraea hexapetala* bajo sol directo sin fertilización, incrementó entre 80.1 y 94.0% respecto aquellas que crecieron en luz filtrada.

La diferencia entre ambos estudios posiblemente se dio porque *F. macrophylla*, además de ser una planta heliófila, al parecer requiere del aporte de nutrientes para expresar su potencial de crecimiento en condiciones de elevada radiación.

Bajo estas condiciones de elevada iluminación y disponibilidad de nutrientes (figura 1), el incremento en masa seca radical (BR) y número de raíces (NR) posibilitó el aumento de la absorción de agua y nutrientes para suplir la alta demanda nutricional de los órganos aéreos. De esta manera probablemente se propició mayor actividad fotosintética, que permitió a su vez mayor asignación de fotoasimilados, tanto hacia las hojas (BH) como hacia el tallo (DT), con un consecuente mayor crecimiento (BTOT). Estos resultados son importantes desde el punto de vista práctico, porque el diámetro del tallo y el tamaño del aparato fotosintético son considerados variables de succulencia que le sirven de reservorio temporario de fotoasimilados a las plantas CAM, como el fique, de tal manera que cuando las condiciones ambientales son desfavorables, los fotosintatos son translocados y utilizados para la supervivencia de la planta, favoreciendo su establecimiento en campo (Ortiz-Cano *et al.*, 2020).

Este fenómeno de asignación de fotoasimilados hacia la parte aérea y subterránea coincide con los datos reportados por Enríquez del Valle *et al.* (2016), quienes observaron que las plantas de *Agave patatorum* Zucc acumularon mayor proporción de materia seca en hojas y raíces con la aplicación de nutrimentos. De la biomasa total, luego de cinco meses de crecimiento, entre 76.8 y 83.4% se concentró en las hojas, entre 11.8 y 17.9% se concentró en la raíz y entre 4.7 y 5.2% se concentró en el tallo. Así mismo, el efecto positivo de la aplicación de fertilizantes hallado en el presente trabajo, representado por el incremento del crecimiento de entre un 79 a 118% coincide con los resultados publicados por Zuñiga (2013) en plantas de *Agave tequilana* que fueron fertilizadas, en cuanto a que estas lograron obtener un aumento de biomasa cercano a 40% con relación a aquellas sin ningún aporte nutricional. Igualmente, Martínez *et al.* (2013) encontraron que al fertilizar plántulas de *Agave angustifolia* Haw y *A. potatorum* Zucc con 30-20-15, a los siete meses se obtuvo 58.3% más biomasa que en plántulas no fertilizadas.

Por otra parte, datos equivalentes de biomasa que exhibieron las plantas control del presente estudio (figura 2), fueron reportados por Casierra-Posada *et al.* (2017a) en plantas provenientes de bulbilos de la especie *F. hexapetala* que crecieron durante siete meses y medio, las cuales acumularon 14 g de biomasa en un suelo con características similares, a las que tampoco se les aplicó ninguna fuente de fertilización. Por el contrario, nuestros resultados contrastan con los publicados por Casierra-Posada y Gómez (2008), quienes hallaron valores de biomasa 9.5 g en la especie *F. macrophylla* luego de siete meses de evaluación, a las que se les realizó la aplicación de 3 g por planta de fertilizante comercial 15-15-15, dosis cercana a la que Pérez (1974) recomienda (1.5 a 2.5 g/planta) de algún fertilizante compuesto NPK. Los resultados difieren porque en el presente estudio, en ocho meses, se generaron plantas de alrededor de 47 g; es decir, con una biomasa casi cinco veces mayor. Esta diferencia se presentó principalmente porque se aplicó una fuente diferente de fertilización (25-25-5) y se hizo en una dosis siete veces mayor (21 g).

El segundo grupo, proveniente de bulbilos, presentó respuesta típica de una planta heliófila a la sombra, en primera medida exhibió un proceso de etiolación expresado por una elevada altura de la planta (AP) y, por otro lado, las plantas tuvieron alta asociación a variables del tamaño del aparato fotosintético (NH y AF) (figura 1), que también fueron estimuladas por los nutrientes aplicados. El incremento de estas variables les permitió acceder al recurso lumínico limitado en los tratamientos de sombra, que es insuficiente para especies amantes a la luz, como el fique (Kusnetsov *et al.*, 2020). En cuanto a las plantas del tercer grupo (figura 1), es decir aquellas sin fertilización independiente del régimen lumínico, exhibieron el menor crecimiento debido a su lejanía con las variables en el ACP, y en campo presentaron clorosis generalizada en sus hojas como síntoma de deficiencia de nutrientes, indicando que los requerimientos nutricionales de la especie son mayores de los que ofreció el sustrato (cuadro 1). De este modo, la ausencia de clorofila limitó el proceso fotosintético para la captura de CO₂ necesario para un óptimo crecimiento.

Hijuelos

Para el caso de las plantas provenientes de hijuelos, la mejor respuesta en crecimiento se presentó en los tratamientos de fertilización exponencial independiente de la condición lumínica y con la fertilización constante a plena exposición solar (figuras 3 y 4). Los resultados coinciden con los reportados en diversas investigaciones que evaluaron la respuesta de las plantas a la luz. Sevillano *et al.* (2016) encontraron que plantas de *Fagus sylvatica* L. y *Quercus robur* L. no difirieron significativamente en la acumulación de biomasa entre el tratamiento de sol directo y luz intermedia a pesar de que estas son especies arbóreas heliófilas como el fique.

Los hijuelos colectados presentaron un aparato fotosintético desarrollado, el cual estaba aclimatado a diferentes condiciones de iluminación. A la sombra creada por el dosel de las hojas de la planta madre y a elevada radiación proveniente de los haces de luz generados por la posición del sol a lo largo del día evidencian resultados con posibles cambios anatómicos, morfológicos o fisiológicos que le confieren a las plantas cierta plasticidad fenotípica en respuesta a las diferentes condiciones lumínicas y a la aplicación de

fertilizantes, que provocó un incremento en el metabolismo fotosintético con un consecuente elevado crecimiento vegetativo ante cualquier condición lumínica entre 50 y 100% IR.

Por otra parte, los resultados reportados por Díaz *et al.* (2011) y Martínez *et al.* (2013) concuerdan con este trabajo al encontrar que en *Agave cocui* Trelease y *A. patatorum* Zucc, la fertilización tuvo un efecto positivo en el crecimiento de las plantas para las variables evaluadas (AP, AF, NH, BH, DT, BT, NR, BR) en la presente investigación (figura 3). Estos datos se obtuvieron porque las plantas aprovechan eficientemente los nutrientes al ser aplicados de forma exponencial, mejorando su crecimiento incluso bajo ambientes de sombra como en los tratamientos de 50 y 75% IR. Los efectos más conocidos del fraccionamiento de fertilizantes radican en su rápida absorción y translocación hacia los diferentes órganos de las plantas con bajas pérdidas por efecto de lixiviación, volatilización o escorrentía (Wen y He *et al.*, 2010). De esta manera, su uso eficientemente estimula mayor actividad fotosintética para la producción de aminoácidos y proteínas, además de otros metabolitos para la formación de esqueletos carbonados, tanto para órganos aéreos como subterráneos, y mayor crecimiento vegetal en general (Guzmán y Betancourt, 2007).

Conclusiones

Los resultados obtenidos en el manejo nutricional en vivero demostraron que esta práctica agronómica contribuye de manera significativa al crecimiento de plantas de fique provenientes de ambos tipos de propágulos, lo cual indica que esta especie además de ser heliófila es exigente nutricionalmente en sus primeras etapas de crecimiento. Ambos métodos de fertilización estimularon el crecimiento de los bulbilos en los tres regímenes lumínicos, siendo mayor el efecto en el tratamiento de mayor exposición solar. El crecimiento de los hijuelos fue mayor con fraccionamiento exponencial, independiente de la condición lumínica. Así mismo se observó que tanto el fraccionamiento como la dosis de fertilizante fueron cruciales en la fase de semillero, al favorecer el crecimiento de las plantas y acumular mayor biomasa respecto a especies evaluadas en otras investigaciones.

Agradecimientos

Agradecemos a Agrosavia por la financiación de la investigación del proyecto denominado “Estrategias para el manejo integrado del cultivo Fase II” con ID 1001246, a Oscar Molina, Yerson Campo y Julio Campo Sánchez por su apoyo logístico en la investigación.

Literatura citada

- Baslam, M.; Mitsui, T.; Hodges, M.; Priesack, E.; Herritt, M.T.; Aranjuelo, I. y Sanz-Sáez, Á. (2020). Photosynthesis in a changing global climate: Scaling up and scaling down in crops. *Frontiers in Plant Science*. 11(882), 1-29.
- Cadena Productiva Nacional del Fique - CADEFIQUE. (2006). *Guía Ambiental del Subsector Fiquero*, 2da ed. Panamericana Formas e Impresos S.A. Bogotá D.C, Colombia. 122 p. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/12855> (Consultada 24 febrero 2021).
- Casierra-Posada, F. y Gómez, N.E. (2008). Crecimiento foliar y radical en plantas de fique (*Furcraea castilla* y *F. macrophylla*) bajo estrés por encharcamiento. *Agronomía Colombiana*. 26(3), 381-388.

- Casierra-Posada, F.; Cortés-Bayona, J.D. y Cutler, J. (2017a). Effect of Iron Excess on Growth of Sisal Plants (*Furcraea hexapetala*). *Gesunde Pflanzen*. 69(3), 123-129.
- Casierra-Posada, F.; Portilla-Fuentes, F. y Molano-Díaz, J. (2017b). Combined effect of green-colored covers and shading on the growth of sisal (*Furcraea hexapetala*) plants. *Agronomía Colombiana*. 35(3), 314-322.
- Di Benedetto, A. y Tognetti, J. (2016). Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 42(3), 258-282.
- Díaz, J.G.; Rojas, G.; Him, Y.; Hernández, N.; Torrealba, E. y Rodríguez, Z. (2011). Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el crecimiento en vivero de Cocuy (*Agave cocui* Trelease). *Revista de la Facultad de Agronomía*. 28(1), 264-272.
- Enríquez del Valle, J.R.; Siliás, A.E.; Ortíz, G.R.; Velasco, V.A. y Ángeles, G.V. (2013). Sustrato y dosis de fertirriego en la aclimatización de vitropiantas de *Agave americana* var. *oaxacensis*. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. 45(2), 341-348.
- Enríquez del Valle, J.R.; Alcará Vázquez, S.E.; Rodríguez Ortiz, G.; Miguel Luna, M.E. y Vázquez, C.M. (2016). Fertirriego en vivero a plantas de *Agave potatorum* Zucc micropropagadas-aclimatizadas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 7(5), 1167-1177.
- Gholampour, A. y Ozbakkaloglu, T. (2020). A review of natural fiber composites: Properties, modification and processing techniques, characterization, applications. *Journal of Materials Science*. 55(3), 829-892.
- Guzmán, M. y Betancourt, J. (2007). Efecto de las aplicaciones fraccionadas del fertilizante compuesto sobre la producción y niveles nutricionales de la palma de aceite en la plantación Palmas del Casanare. *Revista Palmas*. 28(especial), 449-456.
- Kroff, C.E.; Pickens, J.M.; Newby, A.F.; Sibley, J.L. y Fain, G.B. (2020). The Effect of Leaching Fraction-Based Irrigation on Fertilizer Longevity and Leachate Nutrient Content in a Greenhouse Environment. *Horticulturae*. 6(3), 43.
- Kusnetsov, V.V.; Doroshenko, A.S.; Kudryakova, N.V. y Danilova, M.N. (2020). Role of Phytohormones and Light in De-etiolation. *Russian Journal of Plant Physiology*. 67(6): 971-984.
- Luna, G., Villada, H. y Velasco, R. (2009). Almidón termoplástico de yuca reforzado con fibra de fique: Preliminares. *Dyna*. 76(159), 145-151.
- Ministerio de agricultura y desarrollo rural – MADR. (2018). *Cadena del fique y su agroindustria, indicadores noviembre 2018*. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Fique/Documentos/2018-11-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf> (Consultada 21 febrero 2021).
- Martínez, C.; Bravo, I. y Martí, F. (2013). Composición química de ácidos húmicos provenientes de suelos altoandinos con diferente uso. *Suelos Ecuatoriales*. 43(2), 61-66.
- Martínez-Ramírez, S.; Trinidad-Santos, A.; Bautista-Sánchez, G. y Pedro-Santos, E.C. (2013). Crecimiento de plántulas de dos especies de mezcal en función del tipo de suelo y nivel de fertilización. *Revista fitotecnia mexicana*. 36(4), 387-393.
- Neves S.; Salgado de Assis, F.; Ferreira, C.L.; Tonini, N.; Pondé, R.; Souza, M. y Camposo, A. (2018). Fique fabric: a promising reinforcement for polymer composites. *Polymers*. 10(3): 246.
- Oliveira, M.S.; Pereira, A.C.; da Costa F.; da Cruz, L.C. y Monteiro, S.N. (2019). Performance of Epoxy Matrix Reinforced with Fique Fibers in Pullout Tests. *In Characterization of Minerals, Metals, and Materials 2019* Springer, Cham. Suiza. Pp. 729-734.
- Ortiz, D.; Moreno, F. y Díez, M.C. (2021). Photosynthesis, growth, and survival in seedlings of four tropical fruit-tree species under intense radiation. *Acta Amazonica*, 51(1), 1-9.
- Ortiz-González, D.; Paredes-Martínez, O.E. y García-Parra, M.Á. (2021). Rehabilitación del cultivo de fique (*Furcraea macrophylla*) mediante poda “descope” en Cauca, Colombia. *Centro Agrícola*. 48(1), 5-13.
- Ortiz-Cano, H.; Hernández-Herrera, J.A.; Hansen, N.C.; Petersen, S.L.; Searcy, M.T.; Mata-González, R.; Cervantes-Mendivil, T.; Villanueva-Morales, A.; Park, P.M y Stewart, J.R. (2020). Pre-Columbian Rock Mulching as a Strategy for Modern Agave Cultivation in Arid Marginal Lands. *Frontiers in Agronomy*, 10 (2), 1 -16.
- Pérez, J.A. (1974). *El Fique su taxonomía, cultivo y tecnología*, 2da ed. Editorial Colina, Medellín, Colombia. 128 p. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/18423> (Consultada 20 febrero 2021).

- Rojas, A.; Ramírez, M.; Lora, R.; Amézquita, E.; Sánchez, L.; García, B. y Barrera, L. (1992). *Fertilización en diversos cultivos: quinta aproximación*. ICA. Ed. Produmedios. Mosquera, Colombia. 72 p. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/14124> (Consultada 5 enero 2021).
- Sevillano, I.; Short, I.; Grant, J. y O'Reilly, C. (2016). Effects of light availability on morphology, growth and biomass allocation of *Fagus sylvatica* and *Quercus robur* seedlings. *Forest Ecology and Management*. 374 (1), 11-19.
- Thiede J. (2020) *Furcraea* AGAVACEAE. In: Eggl U. and Nyffeler R. (eds) *Monocotyledons. Illustrated Handbook of Succulent Plants*. Springer, Berlin, Heidelberg. Germany. 1462 p. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56486-8_106
- Wen, B.P. y He, L. (2012). Influence of lixiviation by irrigation water on residual shear strength of weathered red mudstone in Northwest China: Implication for its role in landslides' reactivation. *Engineering Geology*. 151 (1), 56-63.
- Zhang, W.; Zhang, Y.; An, Y. y Chen, X. (2021). Phosphorus fractionation related to environmental risks resulting from intensive vegetable cropping and fertilization in a subtropical region. *Environmental Pollution*. 269 (1), 1-10.
- Zhao, J.; Su, W.; Fan, S.; Cai, C.; Su, H. y Zeng, X. (2019). Ammonia volatilization and nitrogen runoff losses from moso bamboo forests after different fertilization practices. *Canadian Journal of Forest Research*. 49(3), 213-220.
- Zuñiga L. (2013). *Nutrición de Agave tequilana y manejo de los fertilizantes en un sistema de producción intensiva (riego por goteo)*, 1ra ed. INIFAP. México. 58 p. <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/944.pdf> (Consultada 2 febrero 2021).

Recepción: 18 de marzo 2021

Arbitraje: 22 de marzo 2021

Dictamen: 13 de abril 2021

Aceptado: 29 de abril 2021