



Vuelco del fique (*Furcraea macrophylla*) y sus repercusiones agronómicas¹

Fique (*Furcraea macrophylla*) overturning and its agronomic repercussions

Daniel Ortiz-González²

¹ Recepción: 26 de agosto, 2021. Aceptación: 4 de enero, 2022. Este trabajo formó parte del proyecto denominado “Desarrollo de bases tecnológicas para el establecimiento de un programa de mejoramiento genético del cultivo de fique (*Furcraea* spp.) a partir de la colección del C.I. La Selva - Fase II con ID 1001246” de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

² Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Palmira, Sede Popayán. Palmira, Colombia. dfortiz@agrosavia.co (<https://orcid.org/0000-0001-6743-9374>).

Resumen

Introducción. El vuelco se conoce como la caída de plantas, fenómeno que afecta el rendimiento y la calidad de las cosechas en diversos cultivos. En Colombia se ha evidenciado el vuelco en plantaciones de fique (*Furcraea* spp.), pero se han estudiado poco sus efectos. **Objetivo.** Determinar las repercusiones del vuelco en el crecimiento de las plantas y en la producción de fibra de fique. **Materiales y métodos.** Se evaluaron veinte plantas erguidas y veinte plantas con vuelco bajo un diseño completamente al azar, en un cultivo de cuarenta años en Totoró, Cauca, Colombia, en marzo de 2021, a las que se les evaluó el crecimiento, el rendimiento y la longitud de fibra (LF), además, se cuantificó el porcentaje de vuelco y mortalidad a través de un muestreo aleatorio de 166 plantas. **Resultados.** La incidencia de vuelco fue del 58 %, de las plantas volcadas un 23 % murieron a causa de la pudrición del tallo. El vuelco afectó el crecimiento, ya que redujo un 10, 23, 14, 39 y 10,5 % el diámetro de tallo (DT), la longitud de hoja (LH), el ancho de hoja (AH), el número total de hojas (NTH) y la relación longitud y ancho de hoja (RLA), respectivamente, comparadas con plantas erguidas. La longitud de fibra y el rendimiento disminuyeron en un 24 y 56 %, respectivamente. **Conclusiones.** El vuelco causó una mayor afectación en la producción de fibra que la reportada por el virus de la macana, enfermedad más limitante del cultivo. Estos hallazgos pusieron en evidencia la importancia de buscar e implementar estrategias de manejo como aporte a la sostenibilidad de la cadena en el país.

Palabras clave: agavácea, biomecánica, acame, volcamiento, sisal.

Abstract

Introduction. Overturning is known as plant downfall, a phenomenon that affects the yield and quality of harvests in various crops. In Colombia, overturning has been evidenced in fique (*Furcraea* spp.) plantations, but its effects have been little studied. **Objective.** To determine overturning repercussions on fique plant growth and fiber production. **Materials and methods.** Twenty upright plants and twenty plants with overturning were evaluated under a completely randomized design in a forty-year-old crop in Totoro, Cauca, Colombia in March 2021. Growth, yield, and fiber length (LF) were evaluated. Additionally, the percentage of overturning and mortality was quantified through a random sampling of 166 plants. **Results.** The incidence of overturning was 58 %, of the overturned plants 23 % died due to stem rot. The overturning affected growth, reducing stem diameter (DT), leaf length (LH), leaf width (AH),



total number of leaves (NTH) and the leaf length and width ratio (RLA) by 10, 23, 14, 39, and 10,5 %, respectively, compared to upright plants. Likewise, fiber length and yield decreased by 24 and 56 %, respectively. **Conclusions.** The overturning caused a greater affectation in fiber production than the reported by the macana virus, the most limiting disease of the crop. These findings highlighted the importance of seeking and implementing management strategies as a contribution to the sustainability of the chain in the country.

Keywords: Agavacea, biomechanical, lodging, overturning, sisal.

Introducción

El fique (*Furcraea* spp.), es una planta monocotiledónea de la familia de las agaváceas que posee fisiología MAC (metabolismo ácido de las crasuláceas) (Ortiz-González, Paredes-Martínez & Cordero-Cordero, 2021). Este cultivo es la fuente de fibra dura natural más utilizada en Colombia. Es llevado a cabo por productores minifundistas, de escasos recursos y que viven en zonas marginales. De su producción subsisten cerca de 70 000 familias en el país. Los departamentos del Cauca y Nariño son los mayores productores a nivel nacional. Es el tercer cultivo de mayor relevancia en el Cauca en área sembrada, después del café y la caña, con 7779 ha.

Los productos que se laboran con esta materia prima son: cuerdas, artesanías, empaques biodegradables, agromantos, cuero vegano, textiles, entre otros (Díaz & Fromm, 2019). La industria presenta un desabastecimiento de 10 000 t de fibra al año y una de sus causas es el volcamiento de plantas, ya que limita la producción y cuyo fenómeno ha sido poco estudiado.

Una de las funciones de las raíces es brindar soporte mecánico para garantizar una postura erguida y estable en las plantas. Esta posición les permite maximizar la captura de luz y favorece los diferentes procesos fisiológicos como el de la fotosíntesis (Wang et al., 2020). La rectitud se mantiene debido a la propiocepción, mecanismo de ubicación de su posición respecto al eje vertical. Esto ocurre por la detección de la luz y gravedad a través del foto y geotropismo (Mouliá et al., 2019).

Cuando las plantas presentan una ligera inclinación pueden exhibir un proceso de aclimatación denominado tigmomorfogénesis en respuesta al estrés mecánico (Di-Benedetto et al., 2018). Este proceso se da mediante modificaciones biológicas que le confieren fuerzas estabilizadoras que neutralizan la pérdida de la postura (Golberg, 2010; Mouliá et al., 2019; Tanaka et al., 2012). Esto incluye, reducción del tamaño, reasignación de biomasa hacia los diferentes órganos para hacerlos más flexibles y resistentes, entre otros (Moore et al., 2018).

Cuando las fuerzas que actúan sobre la planta exceden a las que la mantienen erguida, se genera pérdida de rectitud. Si esto ocurre a un ángulo mayor a 15°, la planta presenta un fenómeno denominado vuelco, volcamiento, encamado o acame (Peterson et al., 2019). El vuelco puede darse por el quiebre o doblamiento del tallo o por desarraigamiento parcial o total de las raíces. Su ocurrencia depende tanto de factores ambientales como: velocidad del viento, pendiente del terreno y características físicas del suelo, como de factores intrínsecos de la planta como son: altura, peso, rigidez y características del sistema radical (Yang et al., 2018).

El vuelco también se ha asociado al ataque de plagas y enfermedades que afectan el tallo o el sistema radical que puede sobrepasar el punto de quiebre de los órganos de sostén (Giambastiani et al., 2017). Tal efecto trae consigo problemas de carácter agronómico, al afectar el normal crecimiento de muchas especies forestales y agrícolas. De esta manera, puede haber repercusiones en la producción y calidad de las cosechas de forma directa o indirecta (Gardiner et al., 2016).

Se ha prestado mayor atención a los daños causados por el acame en plantas herbáceas que son más proclives al vuelco. Se afecta la calidad de las cosechas porque retrasa el secado del grano, reduce las características de

panificación y el contenido nutricional (Gardiner et al., 2016). En el del cultivo de canola, la calidad del grano se redujo al disminuir un 4,8 % el contenido de grasas insaturadas (Khan et al., 2018). De manera similar la calidad de alfalfa se afectó porque redujo el peso específico de los granos entre un 7 a 13 % (Norden & Frey, 1958).

Para el caso del fique, una de las variables más importantes asociadas a la calidad, es la longitud de la fibra. Cuando alcanza una longitud inferior a 1 m, es clasificada dentro de las categorías de “ordinaria” o “tercera”. Esta condición afecta los ingresos de los agricultores, ya que es vendida a un menor precio a las empresas transformadoras (Echeverri-Echeverri et al., 2015).

Se han publicado numerosos trabajos ecofisiológicos en fique, ente los que se destacan: la evaluación de su respuesta a la salinidad (Casierra-Posada et al., 2006), estrés hídrico (Casierra-Posada & Gómez, 2008), exceso de hierro (Casierra-Posada et al., 2017), poda (Ortiz-González, Paredes-Martínez & García-Parra, 2021) luz y aplicación de fertilizantes (Ortiz-González, Paredes-Martínez & Cordero-Cordero, 2021). Sin embargo, en la actualidad es escasa la información del efecto del vuelco en el cultivo, lo que ha impedido vislumbrar su importancia para el diseño de estrategias de manejo en el país. Esta investigación tuvo como objetivo determinar las repercusiones del vuelco en el crecimiento de las plantas y en la producción de fibra de fique.

Materiales y métodos

Área de estudio y material vegetal

El presente estudio se llevó a cabo en marzo de 2020 en el municipio de Totoró, Cauca, Colombia, ubicado en 2°30'37"N 76°24'07"O a 2250 m s.n.m. La temperatura media fue de 12,5 °C, fotoperiodo de 12 horas y precipitación media anual de 1951 mm. Se usó un diseño completamente al azar (DCA), en el que se evaluaron dos tratamientos correspondientes a plantas volcadas y plantas erguidas de fique (*Furcraea* spp.) del ecotipo “uña de águila”, en una plantación de dos hectáreas de extensión y de aproximadamente cuarenta años. El cultivo se estableció en un terreno con una pendiente media de 12°, con una distancia de siembra de 3 x 2 m, en un suelo con características ándicas, de textura franco-arcillosa, con pH de 5,4 y 10,2 % de materia orgánica.

VARIABLES EVALUADAS

Las plantas se seleccionaron a través del método de muestreo aleatorio simple, en el que se escogieron los individuos al azar en un recorrido que se realizó en zigzag dentro de la plantación, cada tratamiento contó con un total de veinte repeticiones (plantas), para un total de cuarenta unidades experimentales.

A las plantas se les midieron variables de crecimiento con un flexómetro y un calibrador o pie de rey: altura de planta (AP) (cm), diámetro de tallo (DT) (mm), longitud de hoja (LH) (cm), ancho de hoja (AH) (mm) y longitud de fibra (LF) (cm). Se cuantificó el número total de hojas (NTH) y se determinó el rendimiento de fibra (kg). Los valores de las variables se presentaron por planta y no se realizaron los cálculos por unidad de área, ya que existe una gran diversidad de arreglos y densidades de siembra en los cultivos (Pérez-Mejía, 1974). También se realizó el cálculo de la relación altura y diámetro de tallo (RAD) (ecuación 1) y la relación longitud y ancho de hoja (RLA) (ecuación 2), que son considerados índices de esbeltez, con la metodología usada por Ortiz-González, Paredes-Martínez y García-Parra (2021), cuyos valores no presentan unidades métricas.

$$RAD = \frac{AP}{DT} \quad (\text{ecuación 1})$$

$$RLA = \frac{LH}{AH} \quad (\text{ecuación 2})$$

Para cada una de las plantas volcadas, se calculó el porcentaje de tallo que se encontró postrado en el suelo y el porcentaje de tallo erguido. Con los datos obtenidos, se realizó un gráfico de frecuencia para cuatro rangos de porcentaje de tallo postrado correspondientes a: 35-45 %, 46-55 %, 56-65 % y 66-75 %. Se calculó la mortalidad (%) (ecuación 3) e incidencia de vuelco (%) (ecuación 4) con base en un muestreo simple al azar de 166 plantas de fique ecotipo “uña de águila”.

$$\text{Mortalidad por vuelco} = \frac{\text{Número de plantas muertas por vuelco}}{\text{Número total de plantas con vuelco}} \times 100 \% \quad (\text{ecuación 3})$$

$$\text{Incidencia de vuelco} = \frac{\text{Número de plantas con vuelco}}{\text{Número total de plantas evaluadas}} \times 100 \% \quad (\text{ecuación 4})$$

Análisis estadístico

Los análisis de varianza (ANOVA) se realizaron con el programa SAS® 9.1 (Statistical Analysis System Intitute Inc., 2011), con un nivel de significancia del 5 %. Cada variable se analizó por separado con los ANOVA; la homogeneidad de varianza se realizó con el método de Bartlett y la normalidad con Shapiro Wilk. Para el caso de las variables que no cumplieron con alguno de los supuestos, los datos se transformaron con la función raíz cuadrada. La comparación de medias se hizo mediante la prueba de Scheffé con un nivel de significancia del 5 %.

Resultados

De las plantas evaluadas (166) en el recorrido que se realizó, 96 plantas (58 %) se encontraron volcadas (Figura 1) y de esas últimas, 22 estaban muertas (23 %) (Figura 1D).

La frecuencia de plantas con tallo postrado en los rangos de 35 a 45 %; 46 a 55 %; 56 a 65 %; y 66 a 75, fue similar, con valores de 26, 23, 22 y 25 plantas, respectivamente (Figura 2).

En el análisis de varianza hubo diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$) para todas las variables entre ambos grupos de plantas, excepto para AP (Figura 3). En general, las plantas volcadas presentaron los valores más bajos en las variables de crecimiento asociadas a DT, LH, AH, NTH, las cuales se redujeron en un 10, 23, 14 y 39 %, respectivamente, frente a las plantas erguidas. De igual manera la variable LF disminuyó un 24 %.

El análisis de la varianza arrojó que hubo diferencias estadísticamente significativas entre plantas con vuelco y erguidas ($p \leq 0,05$), para las variables RAD, RLA y rendimiento (Cuadro 1). Al comparar las medias por tratamiento, las plantas volcadas mostraron reducción significativa en RLA y rendimiento con valores de 10,5 y 56 %, respectivamente, respecto a las plantas erguidas, mientras que RAD fue un 26 % mayor en plantas volcadas.

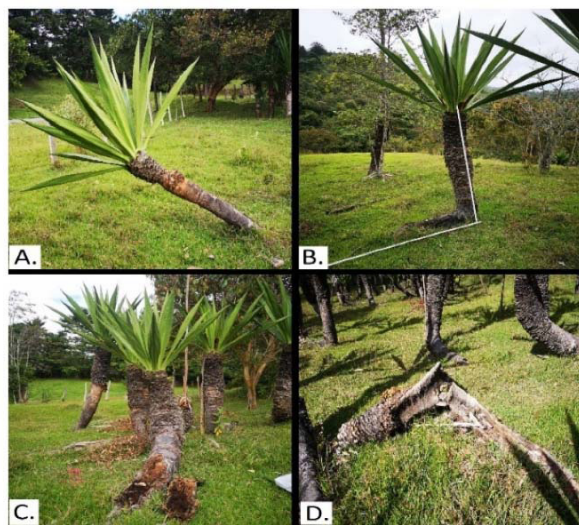


Figura 1. Plantas de fique (*Furcraea* spp.) ecotipo “uña de águila”, con diversos grados de inclinación o con vuelco total en la finca de un productor del municipio de Totoró, Cauca, Colombia. 2020.

A. Planta con una alta inclinación respecto al eje vertical; B. Planta con postura vertical recuperada luego del vuelco; C. Planta con evidencia de pudrición del tallo por hongos, líquenes y termitas y D. Planta muerta por el fenómeno del vuelco.

Figure 1. Fique (*Furcraea* spp.) plants ecotype “uña de águila” with different inclination degrees or with total overturning on the agriculturist farm in the municipality of Totoro, Cauca, Colombia. 2020.

A. Plant with a high inclination with respect to the vertical axis; B. Plant with upright posture recovered after overturning; C. Plant with evidence of stem rot by fungi, lichens and termites and D. Plant dead due to the overturning.

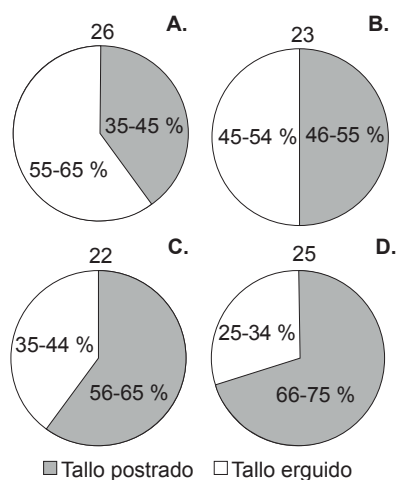


Figura 2. Gráfico de frecuencia para cuatro rangos de porcentaje de tallo postrado y erguido en plantas de fique (*Furcraea* spp.) ecotipo “uña de águila”. Municipio de Totoró, Cauca, Colombia. 2020.

Nota: la porción de color gris corresponde a los rangos de tallo postrado: A. 35-45 %, B. 46-55 %, C. 56-65 % y D. 66-75 % y el color blanco corresponde a los rangos de porcentaje de tallo erguido. El número sobre cada torta indica la frecuencia o número de plantas para cada rango.

Figure 2. Frequency graphic for four percentage ranges of prostrate and upright stem in fique (*Furcraea* spp.) plants ecotype “uña de águila”. Municipality of Totoro, Cauca, Colombia. 2020.

Note: the gray portion corresponds to the prostrate stem ranges: A. 35-45 %, B. 46-55 %, C. 56-65 % and D. 66-75 % and the white color corresponds to the range’s percentage of erect stem. The number on each cake indicates the frequency or number of plants for each rank.

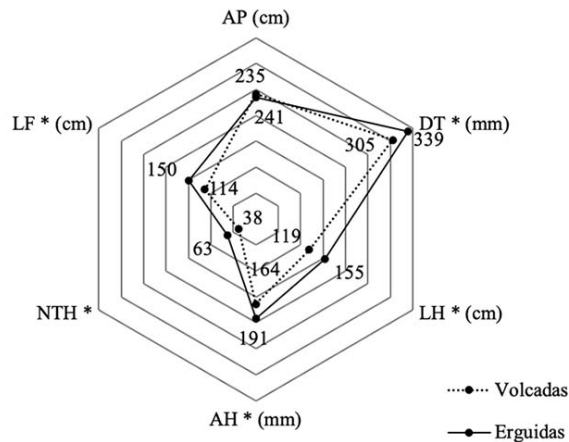


Figura 3. Gráfico de red con las variables de crecimiento en plantas erguidas y volcadas de fique (*Furcraea* spp.) ecotipo “uña de águila”. Municipio de Totoró, Cauca, Colombia. 2020.

Nota. La línea continua representa las plantas erguidas y la línea punteada representa las plantas volcadas, los puntos señalan los valores promedio de las variables AP: altura de planta (cm); DT: diámetro de tallo (mm); LH: longitud de hoja (cm); AH: ancho de hoja (mm); LF: longitud de fibra (cm) y NTH: número total de hojas. El asterisco al lado de cada variable indica la existencia de diferencias estadísticamente significativas, $p < 0,05$.

Figure 3. Network graph with growth variables in upright and overturned fiddlehead (*Furcraea* spp.) plants ecotype “uña de águila”. Municipality of Totoro, Cauca, Colombia. 2020.

Note. The continuous line represents the upright plants, and the dotted line represents the overturned plants, the dots indicate the average values of the AP variables: plant height (cm); DT: stem diameter (mm); LH: blade length (cm); AH: sheet width (mm); LF: fiber length (cm), and NTH: total number of leaves. The asterisk next to each variable indicates the existence of statistically significant differences, $p < 0.05$.

Cuadro 1. Valores promedio \pm error estándar de variables de esbeltez y rendimiento en plantas volcadas y erguidas de fique (*Furcraea* spp.) ecotipo “uña de águila”. Municipio de Totoró, Cauca, Colombia. 2020.

Table 1. Average values \pm standard error of slenderness and yield variables in overturned and upright fiddlehead (*Furcraea* spp.) plants ecotype “uña de águila”. Municipality of Totoro, Cauca, Colombia. 2020.

Variable	Plantas volcadas	Plantas erguidas	Valor p
Relación altura y diámetro de tallo (RAD)	6,96 \pm 0,99 a	5,52 \pm 0,45 b	0,0012
Relación longitud y ancho de hoja (RLA)	7,21 \pm 0,49 b	8,06 \pm 0,85 a	0,0021
Rendimiento (kg/planta)	0,55 \pm 0,24 b	1,25 \pm 0,3 a	0,0003

Nota. Las letras diferentes en cada variable representan diferencias estadísticamente significativas. Se resaltan en negrilla los valores más altos de cada variable, $p < 0,05$. / The different letters in each variable represent statistically significant differences. The highest values of each variable are highlighted in bold, $p < 0.05$.

Discusión

La plantación evaluada en este trabajo presentó tallos largos y delgados, representados por valores altos de RAD superiores a 5,52. Esta condición hace proclives a las plantas al vuelco, ya que se genera un centro de gravedad alto con una carga potencialmente asimétrica, debido a su propio peso (Moullia et al., 2019). A pesar de que, en investigaciones como la desarrollada por Byrne y Mitchell (2007) reportan datos de RAD mayores, el fique es más susceptible al vuelco en comparación a otras especies arbóreas por su morfología. Al ser el fique una especie

monocotiledónea, no cuenta con cambium vascular, que permite el engrosamiento del tallo y de la raíz para generar fuerzas estabilizadoras (James et al., 2017; Tanaka et al., 2012).

Al poseer un sistema de raíz fasciculado, blando, poco lignificado y ramificado, las fuerzas que influyen sobre la planta hacen que el vuelco exceda sus límites biomecánicos (Yang et al., 2018). Esto es concordante con lo hallado por Giambastiani et al. (2017) y Moore & Quine (2000), quienes demostraron la relevancia de la raíz pivotante en el anclaje de las plantas al reconocerla como el componente más importante para resistir el volcamiento, ya que su tracción determina cómo se transmite la tensión desde la parte aérea hacia suelo.

La plantación evaluada, que es considerada envejecida, presentó un alto porcentaje de incidencia de vuelco con un valor cercano al 58 %. Esos resultados coinciden con los reportados por Snepsts et al. (2020), quienes afirmaron que existe una correlación positiva entre la edad de árboles, esbeltez de las plantas (RAD) y la probabilidad de vuelco.

En el área de estudio, en el municipio de Totoró, se han experimentado al menos una vez por año durante los últimos veinte años, fuertes tormentas con presencia de ráfagas de vientos con velocidades superiores a 30 km h⁻¹ (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2021). Numerosos estudios han señalado que tales velocidades de viento agudizan el fenómeno de vuelco en plantas leñosas (Gardiner et al., 2016; Quine et al., 2021).

Los resultados de frecuencia de plantas en los diferentes rangos con tallo postrado evidenciaron, por un lado, que el fenómeno de vuelco no ocurrió en un solo evento, sino que se presentó en diferentes momentos en el tiempo. Además, muestran que el número de plantas afectadas en cada evento fue similar (Figura 2). Aparte de los fuertes vientos, es probable que el vuelco de plantas ocurriera por la confluencia de otros factores como: desbalance entre la biomasa aérea y subterránea, características del suelo, problemas fitosanitarios de raíz, entre otros. Cabe resaltar que las causas y los mecanismos de falla de la raíz y del tallo varían entre especies (Gardiner et al., 2016; Moulia et al., 2019). Las plantas se han adaptado para hacer frente a esta carga, a través de la modificación morfológica de los órganos aéreos para generar fuerzas de contrapeso que evitan pandeo, colapso celular u otros tipos de falla del vástago o del sistema radical (Golberg, 2010; Gardiner et al., 2016). Para el caso del fique, durante el proceso de vuelco, la asignación de biomasa entre órganos cambió durante la pérdida de su posición vertical (Figura 1 A). El tamaño del aparato fotosintético se redujo en relación con las variables AH, LH y NTH (Figura 3), y pudo estar asociado a un ajuste fenotípico para mejorar su centro de gravedad y, a su vez para adquirir balance biomecánico de manera que pudiera contrarrestar la fuerza de volcamiento (Gardiner et al., 2016; James et al., 2017).

El vuelco en las plantas de fique ocurrió por las características de su raíz, no por el quiebre del tallo (Figura 1 A) como si ocurre en especies maderables como el eucalipto, abeto o pino (Moore & Quine, 2000). A pesar de que el tallo es poco lignificado, cuenta con la suficiente elasticidad o flexibilidad para hacer frente a la carga mecánica, lo que evita su quiebre (Golberg, 2010). La ruptura de las raíces pudo afectar diversos procesos fisiológicos como absorción de agua y nutrientes, fotosíntesis, transporte de fotoasimilados, entre otros (Benson et al., 2019; Setter et al., 1997). Lo anterior tuvo un efecto negativo en el crecimiento vegetativo, que se reflejó en la disminución de las variables: DT, LH, AH, NTH, LF (Figura 3), (RLA) (Cuadro 1), y se afectó el rendimiento (Cuadro 1) y la LF (Figura 3).

La generación de raíces adventicias como respuesta de supervivencia y la reorientación del crecimiento de la copa (como resultado se generó un tronco sinuoso) (Figura 1 C), luego de la postración de su tallo sobre el suelo (Figura 1 B), involucró un gasto energético adicional para la planta (Peripolli et al., 2020; Steffens & Rasmussen, 2016). En este proceso se consumieron los nutrientes almacenados en órganos como el tallo y hojas, que son considerados reservorio en plantas de metabolismo MAC, como el fique (Ortiz-González, Paredes Martínez & Cordero Cordero, 2021). Esto redujo significativamente el DT y el tamaño de las hojas (Cuadro 1 y Figura 3). Pese a que las plantas de fique lograron sobrevivir luego de sufrir volcamiento, un porcentaje cercano al 23 % murió a causa de la pudrición de su tallo (Figura 1 C y D) por la acción de diferentes organismos que se observaron: termitas, coleópteros, hongos y líquenes.

Se evidenciaron las repercusiones que conlleva el vuelco en el crecimiento de las plantas con la consecuente afectación en el rendimiento de fibra, que se redujo en un 56 %. Este daño fue mayor al causado por el virus de la macana o virus de la raya necrótica del fique, que corresponde a un Dianthovirus, que es considerada la enfermedad más limitante en el cultivo, la cual reduce el rendimiento hasta en un 30 % (Morales et al., 1992).

Se han publicado diferentes magnitudes de pérdida en el rendimiento de otros cultivos a causa del volcamiento. Hubo una disminución del rendimiento entre un 5 y 10 % en maíz (Ramírez-Díaz et al., 2018). Se reportaron cifras mayores, cercanas al 21 % en el cultivo de caña de azúcar (van Heerden et al., 2015). Mientras que en la producción de otros cereales se encontraron pérdidas de rendimiento mayores, entre el 31 y 80 % en trigo y cebada, un 37 % en avena y hasta un 50 % en canola y arroz (Baylis & Wright, 1990; Berry & Spink, 2012; Setter et al., 1997).

La afectación en el crecimiento de las hojas redujo la longitud de la fibra cosechada en un 24 %. Estos datos son consistentes con los efectos reportados en investigaciones en donde el vuelco afectó la calidad de las cosechas en otros cultivos de importancia económica. Estudios del impacto del vuelco llevados a cabo en Nueva Zelanda, señalan que el 20 % de los árboles Píceas de Sitka (*Picea sitchensis* Bong. Carr.) y pino radiata (*Pinus radiata* D. Don) presentaron vuelco y luego de un tiempo recuperaron la verticalidad, pero se generaron troncos torcidos con un alto impacto económico por la pérdida en el valor de la madera (Moore & Quine, 2000). Un porcentaje de acame, entre el 9,9 y 57,3 %, en genotipos evaluados de maíz cuyo fenómeno incrementó la incidencia de pudrición de mazorca hasta en un 20,9 % y redujo la calidad del grano (González-Huerta et al., 2007).

Esta investigación demuestra además que la magnitud del volcamiento de fique en el país puede ser aún más grave si se tiene presente que muchas de las plantaciones no han sido rehabilitadas o renovadas, las cuales tienen valores de RAD superiores a los reportados por Ortiz-González, Paredes-Martínez y García-Parra (2021) en cultivos envejecidos, característica que las hacen propensas al vuelco. No obstante, se puede dar un manejo correctivo a la problemática a través de la práctica descope para su rehabilitación como lo recomiendan Ortiz-González, Paredes-Martínez y García-Parra (2021).

Conclusiones

El vuelco en plantas de fique redujo diferentes variables de crecimiento relacionadas con la producción de fibra como son: longitud de hoja, ancho de hoja y número total de hojas en un 23, 14 y 39 %, respectivamente.

La producción y la longitud de la fibra disminuyeron en un 24 y 56 %, respectivamente.

Muchas plantaciones del país presentan vuelco, por lo que es necesario determinar los factores clave que lo causan, para tener una mejor comprensión del fenómeno, de manera que a futuro se puedan diseñar estrategias de manejo con un enfoque preventivo.

Agradecimiento

El autor expresa su agradecimiento a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) por el apoyo investigativo, financiero y logístico en la ejecución del proyecto de investigación denominado “Desarrollo de bases tecnológicas para el establecimiento de un programa de mejoramiento genético del cultivo de fique (*Furcraea* spp.) a partir de la colección del C.I. La Selva - Fase II” con ID 1001246. A los revisores y editor de la revista por los comentarios y aportes que promovieron la mejora del documento.

Referencias

- Baylis, A. D., & Wright, I. T. J. (1990). The effects of lodging and a paclobutrazol—chloromequat chloride mixture on the yield and quality of oilseed rape. *Annals of Applied Biology*, *116*(2), 287–295. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1990.tb06609.x>
- Benson, A. R., Morgenroth, J., & Koeser, A. K. (2019). The effects of root pruning on growth and physiology of two *Acer* species in New Zealand. *Urban Forestry & Urban Greening*, *38*, 64–73. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.11.006>
- Berry, P. M., & Spink, J. (2012). Predicting yield losses caused by lodging in wheat. *Field Crops Research*, *137*, 19–26. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.07.019>
- Byrne, K. E., & Mitchell, S. J. (2007). Overturning resistance of western redcedar and western hemlock in mixed-species stands in coastal British Columbia. *Canadian Journal of Forest Research*, *37*(5), 931–939. <https://doi.org/10.1139/X06-291>
- Casierra-Posada, F., & 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. <https://168.176.5.108/index.php/agrocol/article/view/11469>
- Casierra-Posada, F., Cortés-Bayona, J. D., & Cutler, J. (2017). Effect of iron excess on growth of sisal plants (*Furcraea hexapetala*). *Gesunde pflanzen*, *69*, 123–129. <https://doi.org/10.1007/s10343-017-0396-6>
- Casierra-Posada, F., Pérez, W. A., & Portilla, F. (2006). Relaciones hídricas y distribución de materia seca en especies de fique (*Furcraea* sp. Vent.) cultivadas bajo estrés por NaCl. *Agronomía Colombiana*, *24*(2), 280–289. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/20040>
- Díaz, I., & Fromm, I. (2019). The rebirth of natural fibers? Analysis of market potential for fique (*Furcraea andina*) production in Santander, Colombia. *Journal of Nutritional Health and Food Engineering*, *9*(2), 56–60. <https://doi.org/10.24451/arbor.8361>
- Di-Benedetto, A., Galmarini, C., & Tognetti, J. (2018). New insight into how thigmomorphogenesis affects *Epipremnum aureum* plant development. *Horticultura Brasileira*, *36*(3), 330–340. <http://doi.org/10.1590/S0102-053620180308>
- Echeverri-Echeverri, R. D., Franco-Montoya, L. M., & González-Velásquez, M. R. (2015). *Fique en Colombia* (1ª ed.). Fondo Editorial ITM.
- Gardiner, B., Berry, P., & Moulia, B. (2016). Wind impacts on plant growth, mechanics and damage. *Plant Science*, *245*, 94–118. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.01.006>
- Giambastiani, Y., Preti, F., Errico, A., & Sani, L. (2017). On the tree stability: pulling tests and modelling to assess the root anchorage. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*, *4*(4), 207–218. http://www.procedia-esem.eu/2017_vol4_no4.htm
- Golberg, A. D. (2010). El viento y la vida de las plantas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, *42*(1), 221–243. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=382837646017>
- González-Huerta, A., Vázquez-García, L. M., Sahagún-Castellanos, J., Rodríguez-Pérez, J. E., & Pérez-López, D. D. J. (2007). Rendimiento del maíz de temporal y su relación con la pudrición de mazorca. *Agricultura Técnica en México*, *33*(1), 33–42. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172007000100004
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2021, junio). *Datos hidrometeorológicos*. <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

- James, K. R., Moore, J. R., Slater, D., & Dahle, G. A. (2017). Tree biomechanics. *CAB Reviews*, 12, Article 38. <https://doi.org/10.1079/PAVSNR201712038>
- Khan, S., Anwar, S., Kuai, J., Noman, A., Shahid, M., Din, M., Ali, A., & Zhou, G. (2018). Alteration in yield and oil quality traits of winter rapeseed by lodging at different planting density and nitrogen rates. *Scientific Reports*, 8, Article 634. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18734-8>
- Moore, J., Gardiner, B., & Sellier, D. (2018). Tree mechanics and wind loading. In A. Geitmann, & J. Gril (Eds.), *Plant biomechanics* (pp. 79–106). Springer, Cham. www.doi.org/10.1007/978-3-319-79099-2_4
- Moore, J., & Quine, C. P. (2000). A comparison of the relative risk of wind damage to planted forests in Border Forest Park, Great Britain, and the Central North Island, New Zealand. *Forest Ecology and Management*, 135(1–3), 345–353. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00292-9](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00292-9)
- Morales, F., Castano, M., Calvert, L., & Arroyave, J. A. (1992). *Furcraea* necrotic streak virus: An apparent new member of the dianthovirus group. *Journal of Phytopathology*, 134(3), 247–254. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.1992.tb01233.x>
- Moullia, B., Bastien, R., Chauvet-Thiry, H., & Leblanc-Fournier, N. (2019). Posture control in land plants: growth, position sensing, proprioception, balance, and elasticity. *Journal of Experimental Botany*, 70(14), 3467–3494. <https://doi.org/10.1093/jxb/erz278>
- Norden, A. J., & Frey, K. J. (1958). Effect of lodging on yield and test weight of oats and establishment of alfalfa seedlings. *Proceedings of the Iowa Academy of Science*, 65(1), 190–196.
- Ortiz-González, D., Paredes-Martínez, O. E., & Cordero-Cordero, C. C. (2021). Respuesta del fique (*Furcraea macrophylla*) a diferentes ambientes lumínicos y métodos de fraccionamiento de fertilizantes. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 25(2), 83–95. <https://bit.ly/3y5R4zj>
- Ortiz-González, D., Paredes-Martínez, O. E., & García-Parra, M. Á. (2021). Rehabilitación del cultivo de fique (*Furcraea macrophylla*) mediante poda “descope” en Cauca, Colombia. *Centro Agrícola*, 48(1), 5–13. <https://bit.ly/3nxx5og>
- Pérez-Mejía, J. A. (1974). *El Fique su taxonomía, cultivo y tecnología* (2ª ed.). Editorial Colina. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/18423>
- Peripolli, M., Bidel-Dornelles, S. H., Wolffenbüttel-Carloto, B., Severo-Trivisio, V., Buriol, G. A., & Rubert, J. (2020). Development of Aerenchymal formations and adventitious roots in *Eragrostis plana* and *Eragrostis pilosa* submitted to a flooded soil environment. *Ciência e Natura*, 42, Article e93. <http://doi.org/10.5902/2179460X42804>
- Peterson, C. J., de Mello-Ribeiro, G. H. P., Negrón-Juárez, R., Marra, D. M., Chambers, J. Q., Higuchi, N., Lima, A., & Cannon, J. B. (2019). Critical wind speeds suggest wind could be an important disturbance agent in Amazonian forests. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 92(4), 444–459. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpz025>
- Quine, C. P., Gardiner, B. A., & Moore, J. (2021). Wind disturbance in forests: The process of wind created gaps, tree overturning, and stem breakage. In A. E. Johnson, & M. Kiyoko (Eds.), *Plant disturbance ecology* (Chapter four, 2nd ed., pp. 117–184). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818813-2.00004-6>
- Ramírez-Díaz, J. L., Ledesma-Miramontes, A., Vidal-Martínez, V. A., Alemán-de-la-Torre, I., Gómez-Montiel, N. O., Ruiz-Corral, J. A., & Salinas-Moreno, Y. (2018). Mejoramiento del progenitor parcialmente endogámico de maíz B-3a para tolerancia al acame. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 41(4), 413–421. <https://doi.org/10.35196/rfm.2018.4.413-421>
- Statistical Analysis System Institute. (2011). *SAS/STAT statistical analysis system manual* (v.9.1). SAS Institute.

- Setter, T. L., Laureles, E. V., & Mazaredo, A. M. (1997). Lodging reduces yield of rice by self-shading and reductions in canopy photosynthesis. *Field Crops Research*, *49*(2–3), 95–106. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(96\)01058-1](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(96)01058-1)
- Snepsts, G., Kitenberga, M., Elferts, D., Donis, J., & Jansons, A. (2020). Stem Damage Modifies the Impact of Wind on Norway Spruces. *Forests*, *11*(4), Article 463. <https://doi.org/10.3390/f11040463>
- Steffens, B., & Rasmussen, A. (2016). The physiology of adventitious roots. *Plant Physiology*, *170*(2), 603–617. <https://doi.org/10.1104/pp.15.01360>
- Tanaka, N., Samarakoon, M. B., & Yagisawa, J. (2012). Effects of root architecture, physical tree characteristics, and soil shear strength on maximum resistive bending moment for overturning *Salix babylonica* and *Juglans ailanthifolia*. *Landscape and Ecological Engineering*, *8*(1), 69–79. <https://doi.org/10.1007/s11355-011-0151-6>
- van Heerden, P. D., Singels, A., Paraskevopoulos, A., & Rossler, R. (2015). Negative effects of lodging on irrigated sugarcane productivity—An experimental and crop modelling assessment. *Field Crops Research*, *180*, 135–142. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.05.019>
- Wang, C., Zhang, X., Liu, J., Wang, B., Li, Y., & Li, Q. (2020). The profiles and tensile strength on straight roots of plants withstand transient tensile injured after self-repair. *Scientific Reports*, *10*, Article 11468. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68358-8>
- Yang, M., Défossez, P., Danjon, F., & Fourcaud, T. (2018). Analyzing key factors of roots and soil contributing to tree anchorage of *Pinus* species. *Trees*, *32*(3), 703–712. <https://doi.org/10.1007/s00468-018-1665-4>