

# Estimación del movimiento de flujo de savia en fustes y ramas de diferente grosor de *Samanea saman* Jacq.

Estimation of sap flow meter in trunk and branches of different thickness in *Samanea saman* Jacq.

ENVIADO OCTUBRE 2018 – REVISADO NOVIEMBRE 2018 PUBLICADO DICIEMBRE 2018

Juan Carlos Valverde<sup>1</sup>

Dagoberto Arias<sup>2</sup>

Marvin Castillo<sup>3</sup>

---

<sup>1</sup> Ingeniero Forestal e investigador, especialista en fisiología e hidráulica of especies arbóreas, desarrollo de instrumentación y uso de biomasa con fines energéticos. Escuela de Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. [jcvalverde@tec.ac.cr](mailto:jcvalverde@tec.ac.cr) [orcid.org/0000-0002-3181-1346](https://orcid.org/0000-0002-3181-1346)

<sup>2</sup> Ingeniero Forestal, profesor e investigador en fisiología arbórea y sistemas de producción y uso de biomasa con fines energéticos. Escuela de Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. [darias@tec.ac.cr](mailto:darias@tec.ac.cr). <https://orcid.org/0000-0002-3056-9172>

Scopus Author ID: 56300525700

<sup>3</sup> Ingeniero Forestal, profesor e investigador en Silvicultura de bosques tropicales y manejo forestal sostenible. Escuela de Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. [mcastillo@tec.ac.cr](mailto:mcastillo@tec.ac.cr)

## Resumen

Se evaluó el movimiento de flujo de savia de árboles maduros de *Samanea saman* en Cartago, Costa Rica. A cada individuo se le colocó un medidor de pulso térmico de savia en el fuste y en dos ramas de distinto grosor. Se obtuvieron flujos de 10 a 16  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-2} \text{h}^{-1}$  en fuste y 4 a 8  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-2} \text{h}^{-1}$  en ramas; encontrando una relación entre el grosor de rama y el movimiento de agua y acumulación del 32-45 % de agua en ramas con un diámetro de 7-9 cm.

## Palabras clave

*Samanea saman*, flujo de savia, xilema, hidráulica forestal

## Abstract

The sap flow movement was evaluated in *Samanea saman* in Cartago, Costa Rica. Everyone was fitted with a sap heat pulse meter in log and two branches of different thickness. The flow movement in log varied of 10 to 16  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-2} \text{h}^{-1}$  and 4 to 8  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-2} \text{h}^{-1}$  in branches, finding a relation between the thickness of the branch and the movement of water, and accumulation of 32-45 % of water in branches with a diameter from 7 to 9 cm.

## key words

*Samanea saman*, sap flow, xylem, forest hydraulic

---

## 1. Introducción

El efecto de las condiciones ambientales (temperatura, humedad relativa, viento, condiciones del suelo), influyen directamente en la sobrevivencia y crecimiento de las especies arbóreas (Alvarado-Barrientos, Hernandez-Santana, & Asbjornsen, 2013). El Cambio climático han generado en la región tropical variaciones entre la estación seca y lluviosa, disminución del régimen hídrico y aumento de la temperatura media anual (Sun y Ma, 2002); aspectos que según Anfodillo et al. (1998) indican que en el mediano plazo implicaría un cambio significativo en dinámica de los ecosistemas boscosos, en el crecimiento y sobrevivencia de muchas especies arbóreas. Se prevé que el cambio climático genere en el largo plazo cambios en la estructura ecológica del bosque tropical con reducciones poblacionales, cambios en la distribución de especies y extinción de especies que no se adapten a la variación hídrica (IPCC , 2007).

De manera tal es necesario disponer de información del comportamiento hídrico de los árboles tropicales (Matyssek, et al., 2009), para lo cual es necesario conocer cuál es el consumo y distribución del agua dentro de su estructura (Corcuera, Camarero y Gil-Pelegrin, 2004); determinar el consumo de agua que se da para procesos metabólicos, transpiración y reserva permite estimar el grado de tolerancia de la especie a condiciones de estrés por sequía y formación de embolismo (presencia de burbujas de oxígeno en el xilema), con ello

---

estimar la tolerancia de mortalidad y sobrevivencia en estaciones secas prolongadas (Gandhi y Herms, 2010), además de estimar el potencial impacto de actividades silviculturales como la poda (eliminación de ramas), como actividad comúnmente desarrollada en proyectos de reforestación con fines maderables (Alvarado-Barrientos, Hernandez-Santana y Asbjornsen, 2013).

Por lo que el desarrollo de mediciones fisiológicas-hidráulicas facilita el entendimiento del crecimiento y desarrollo de los árboles ha sido ampliamente estudiada en la última década (Bush, Hultine, Sperry y Ehleringer, 2010). Entre las técnicas más empleadas está el método estimación de flujo de savia por transferencia calórica que consiste en estimar velocidad a la que se está moviendo la savia a través del xilema durante un período de tiempo a través de la emisión de un pulso calórico y con ello estimar el volumen de agua que es transportado a un parte del árbol (sea toda la copa o una rama en específico) (Matyssek et al., 2009). Es un método no destructivo, de fácil aplicación en la cual se coloca un sensor térmico el cual dispara una onda de calor y dos sensores de desplazamiento con cuatro termocuplas que miden el cambio de temperatura y estiman la velocidad de flujo de savia, conforme el flujo sea mayor la recepción del cambio de temperatura es menor (Aguadé, Martínez-Vilalta y Poyatos, 2011). Sin embargo, la estimación flujo de savia varía a la especie, edad del individuo y características anatómica (especialmente densidad y diámetro de vasos), por lo que la estimación se deben hacer factores de corrección que disminuyan el sesgo de estimación.

Oberhuber et al. (2014) menciona que el poder conocer el movimiento de savia en las especies arbóreas permite optimizar actividades como la poda, en la que se puede eliminar ramas de alto consumo hídrico o estimular el crecimiento con una redistribución del agua (eliminando las ramas con menor aporte fotosintético) (Hernandez-Santana et al., 2015). Gandhi y Herms (2010) mencionan también permite desarrollar estrategias para mitigación de las sequias (para el desarrollo sistemas de riego) y determinación de puntos fisiológicos óptimos para actividades silviculturales como la poda de copa o aplicación de fertilizantes.

Los estudios de movimiento flujo de savia en el trópico han sido muy limitados, destacando Poorter et al., (2009) en ellos con *Eucaliptus* sp. en condiciones de suelos salinizado en Brasil, en el cual se determinó las curvas de movimiento hidráulico máximo y el punto de marchitez permanente; por su parte Hoeber et la. (2014) evaluó ocho especies nativas de bosque seco en el norte de costa rica y determinó los movimientos máximos y mínimo de savia y el potencial punto de marchitez permanente (muerte de la planta) para condiciones de sequía. Sin embargo, estudios que estimen el consumo hídrico del fuste y ramas de un mismo individuo ha sido muy limitado. Por lo que el presente estudio estimó del movimiento de flujo de savia en fuste y ramas de diferente grosor en árboles maduros de *Samanea saman*.

---

## 2. Metodología

### 2.1. Selección de individuos y sitio de estudio

En el estudio se trabajó con cinco árboles plantados artificialmente de *Samanea saman*, los árboles presentaron una variación diamétrica de 20 a 32 cm y con una altura total de 6 a 10

---

m, se seleccionaron por presentar una forma uniforme, con ausencia de daños en la corteza o podas que afectaran la arquitectura de cada individuo, además de estar sembrados en un suelo con condiciones similares (con drenaje moderado y suelo arcilloso). Los árboles se ubicaron dentro del Campus Central de Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica (9.8572° N, 83.9123° O), a una altitud de 1360 m, con una temperatura media anual de 26 °C y precipitación anual de 1490 mm.

## 2.2 Instalación de sensores de flujo de savia

A cada individuo se le colocó tres sensores de flujo de savia, uno en el fuste, a una altura de 130 cm sobre el nivel del suelo, y dos en ramas, la primera se caracterizó por ser la de mayor diámetro y la otra representativa al diámetro promedio de las ramas del individuo; el sensor en ramas se colocó a una distancia de 35 cm sobre el punto de bifurcación. El área de colocación de los sensores se caracterizó por estar libre de defectos, daños mecánicos o evidencia de ramas muertas, en dicha área se liberó de la corteza para que las termocuplas no tuvieran errores en la estimación por la contracción de la corteza, además para que tuvieran contacto directo con el xilema.

Los sensores para la estimación del flujo fueron de tipo HSFM (sensor flujo de savia de calor) de ICT International, modelo SFM1; cada sensor contó con una termocupla de temperaturas y dos sensores de medición con una longitud de 50 mm. La colocación los sensores se utilizaron brocas de penetración de 60 mm de longitud y 2,1 mm de diámetro; la distancia entre las tres termocuplas fue de 5 mm.

Las mediciones se desarrollaron con una intensidad de 1 Julio/hora y se aplicó a las 08:00 y 15:00 (GTM-6) durante los meses de Julio, Agosto y Setiembre del 2018: En cada medición se utilizó la misma área de medición y se manejó el mismo protocolo, además se cubrieron las termocuplas con una capa de 5 cm de algodón y tres capas de aluminio tal como menciona la metodología de Bush, Hultine, Sperry y Ehleringer (2010).

## 2.3 Estimación de factores de corrección de mediciones

Posterior a la última medición de movimiento de flujo de savia se colectó una muestra de madera de cada fuste y rama evaluada, la longitud de cada muestra fue de 10 cm y se preparó con un micrótopo de corte horizontal para generación de corte transversal liso; de cada pieza se fotografió con una microscopio electrónico Vivitar con una resolución de 5MP con una ampliación de 10X, que posteriormente se procesó con el programa "Image J" y se estimó la relación de floema - xilema, la densidad y diámetro promedio de vasos. Con los datos obtenidos se aplicó la metodología de corrección propuesta por Bush, Hultine, Sperry y Ehleringer (2010) para especies arbóreas latifoliadas del trópico.

---

## 2.4 Estimación del índice de área foliar

La estimación del Índice de área foliar (IAF) se desarrolló paralelamente a la estimación del movimiento de flujo de savia, para lo cual se utilizó la metodología de Valverde et al. (2017) para estimación no destructiva de LAI con fotografías hemisférica. En cada medición se tomaron cuatro fotografías por individuo y se colectaron 10 hojas para estimación del área foliar específica, las fotografías se procesaron en el programa CAN\_EYE versión 3.4.3 con una tolerancia de sesgo inferior al 7%.

## 2.5 Medición de condiciones ambientales

La medición de temperatura y humedad relativa se implementaron tres sensores de microclima de tipo “lbutton” desarrollados por Maxim, los sensores se programaron para colectar las condiciones ambientales a la misma hora de la toma de flujo de savia. Además, el equipo se programó para colecta de datos en alta precisión con un error del 0,1%.

## 2.6 Análisis de resultados

Los datos corregidos de flujo de savia del fuste y ramas se analizaron mediante un análisis de varianza (ANDEVA), para determinar si existían diferencias entre los datos anatómicos, de IAF y de movimiento de savia, en caso de encontrar diferencias se utilizó una prueba de Tukey para inferir en las diferencia, posterior a ello se realizó un análisis de correlación de Person entre los flujos de savia y el IAF y condiciones ambientales para estimar el efecto los factores ambientales en la estimación de movimientos.

Todos estos análisis se realizaron con una significancia del 0,05 y utilizaron el paquete estadístico STATISTICA versión 10.1.

---

# 3. Resultados

## 3.1. Caracterización de los individuos de estudio

Los resultados mostraron la tendencia una diferenciación estadísticamente significativa entre el fuste y ramas (Tabla 1). Se obtuvo que los diámetros evaluados en fuste un valor promedio de 25,1 cm significativamente mayor al obtenido en ramas que en la más grande fue en promedio de 14,5 cm y 9,5 cm en general en ramas. En cuanto la densidad de poros el promedio en fuste fue de 4,08/mm<sup>2</sup> significativamente mayor a la presentada en ramas que fue de 3,25/mm<sup>2</sup> (no presentaron diferencias estadísticas entre ramas); caso similar fue el diámetro promedio de los vasos que en fuste fue significativamente mayor (356,11 μm), mientras ramas en promedio fue de 236,35 μm. La relación floema-xilema, no mostró diferencias significativas entre ramas y fuste, en promedio mostró la relación 8-92 (8% floema

y 92 % xilema); en caso del IAF el promedio fue de 3,14 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> y no mostró diferencias entre ramas.

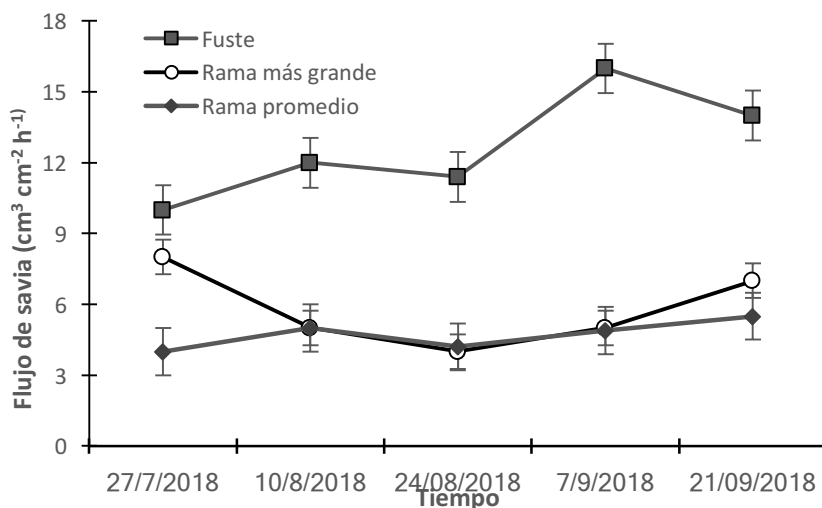
**Tabla 1.** Caracterización anatómica e IAF de los árboles de *S. saman* evaluados.

Variable	Sección del árbol		
	Fuste	Rama de mayor tamaño	Rama promedio
Diámetro (cm)	25,1 A (10,3)	14,5 B (7,5)	9,5 B (5,4)
Densidad de poros (poros/mm <sup>2</sup> )	4,08 A (3,44)	3,51 B (2,11)	3,01 B (2,42)
Diámetro promedio de poros (µm)	356,11A (45,19)	256,78 B (59,99)	216,10 B (62,66)
Relación floema-xilema (%)	5-95 A	8-92 A	9-91 A
IAF (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	3,14 A (1,16)	1,91 B (0,98)	0,89 B (0,55)

Nota: variables con letras distintas muestran diferencias con significancia de 0,05.

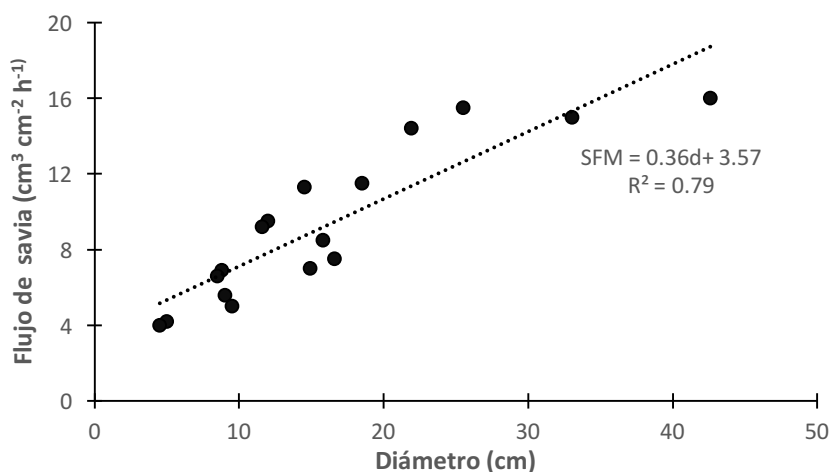
### 3.2 Movimiento de flujo de savia

Se determinó un movimiento de flujo de savia vario significativamente a la sección de árbol evaluada (Figura 1); a nivel de fuste en promedio fue de 13.9 cm<sup>3</sup>cm<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup>, con un valor máximo en 7 de setiembre, mientras el mínimo se presentó el 27 de junio; en caso las ramas gruesas mostraron un valor promedio de 8,7 cm<sup>3</sup>cm<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup>, presentando valore máximos en junio y los mínimos en el mes de agosto, en algunos individuos la rama más gruesa transporte entre el 32 y 45 % de la savia desplazada en el fuste; en caso de ramas promedio el valor medio fue de 4,5 cm<sup>3</sup>cm<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup>; significativamente menor a las ramas gruesas y fuste.



**Figura 1.** Movimientos de flujo de savia en fuste y ramas en individuos de *S. saman*.

Al analizar la relación de movimiento de flujo de savia con respecto al, se encontró una relación lineal en la que el flujo tendió a aumentar conforme el diámetro fue mayor, encontrando que ramas con densidades de poros menores y menor porcentaje de xilema transportaron poca savia en comparación a ramas gruesas que transportan hasta el 45 % del total de savia (Figura 2). La ecuación determinada para entender el comportamiento fue  $SFM = 3,57 + 0,36*d$ ; que mostró un coeficiente de determinación del 0,79 y un error inferior al 12 %, por lo que es un modelo se adaptó a la especie y condiciones de estudio.



**Figura 2.** Relación del movimiento de flujo de savia con respecto al diámetro del tronco en *S. saman*.

### 3.3 Relación de los movimientos de flujo de savia con los factores externos

Los resultados de correlación de Pearson (Tabla 2) determinaron: i. hay una correlación elevada entre temperatura y humedad relativa con el movimiento de flujo de savia (tanto de fuste como ramas) superior a 0,88; ii. La correlación entre IAF es mayor con ramas que con fuste, esto debido afecta directamente el consumo de agua en procesos fotosintéticos; iii. No se encontró relación significativa entre las variables de temperatura y humedad relativa con IAF; iv. La alta correlación entre el movimiento de flujo de savia de fuste y ramas se debe a ser parte del mismo individuo.

**Tabla 2.** Valores de correlación de Pearson estimado entre el movimiento de flujo de savia y variables ambientales y foliares en árboles de *S. saman*.

Variables	Flujo de savia en fuste	Flujo de savia en ramas	IAF	Temperatura	Humedad relativa
Flujo de savia en fuste	1				
Flujo de savia en ramas	0,98*	1			
IAF	0,75*	0,90*	1		
Temperatura	0,92*	0,89*	0,55ns	1	
Humedad relativa	0,88*	0,82*	0,59ns	0,75*	1

\*: Significancia al 0,05; ns: no significantes

## 4. Discusión

### 4.1. Efecto de la anatomía, IAF en el movimiento de flujo de savia

La anatomía de la madera de las especie es fundamental en el movimiento de flujo de savia, aspectos como la densidad y diámetro de poros y la relación floema-xilema afectan directamente el movimiento de flujo (Bush, Hultine, Sperry y Ehleringer, 2010), estudios desarrollados por Hernandez-Santana, Hernandez-Hernandez, Vadeboncoeur y Asbjornsen (2015) con especies arbóreas tropicales determinó que conforme sea mayor el diámetro y densidad de vasos, la especie tiende a mover volúmenes mayores de agua, lo cual incide que el crecimiento sea mayor, pero a su vez genera que la especie sea más susceptible al estrés hídrico y que su sobrevivencia de vea limitada en época seca. Por su parte Corcuera, Camarero y Gil-Pelegrin (2004) que la anatomía no solo afecta el movimiento de flujo de agua, sino que también al desarrollo de mecanismos mecánicos ante el estrés hídrico (pérdida de agua) como es la formación de embolismo. Conforme sea mayor el tamaño de vasos la especies más susceptible a la generación de burbujas de oxígeno que pueden desacelerar el movimiento de agua, generando que el individuo limite la transpiración y fotosíntesis y en el mediano plazo disminuya su crecimiento.

Con respecto al IAF la relación con el movimiento de flujo de savia es explicada por Corcuera, Camarero, y Gil-Pelegrin (2004) que mencionan que conforme sea mayor la cantidad de hojas en una rama el consumo de agua crecerá esto como parte de los compuestos necesarios para el proceso fotosintético por cual las ramas de mayor tamaño que tenga mayor porcentaje de la copa tendrán consumo de agua mayor en comparación a ramas con poca copa, por lo que la energía y crecimiento se centrarán en dichas áreas, por lo que manejo silvicultural de poda debe considerar los efectos de poda en cuanto capacidad fotosintética y generación de energía en crecimiento de árbol, Gandhi y Herms (2010) destacan que eliminar ramas que

generen el 25 a 45 % de energía del árbol puede disminuir en un 31 % la capacidad de crecimiento del individuo en el corto plazo.

## 4.2 Variación del movimiento de savia entre fuste y ramas

La variación entre el movimiento de flujo de savia entre el fuste y ramas se debe a los principios de conductividad hidráulica presentados por REF: 1. Densidad y tamaño de porosidad, en el fuste es mayor que en rama, aspecto que permite aumentar la movilidad, además que a nivel de fuste el movimiento de agua infiere una mayor presión por parte del árbol. ii. Presión negativa por parte del agua, en la sección de fuste la savia debe transportar con mayor presión al agua desde el sistema radicular, en comparación a ramas que por cercanía de hojas y puntos destino el movimiento requiere una presión menor. iii. Efecto de la transpiración, en ramas la transpiración es mayor en comparación al fuste lo que genera pérdida de presión y con ello menor movimiento de savia en comparación a fuste.

---

## Referencias bibliográficas

- Alvarado-Barrientos, M., Hernandez-Santana, V., & Asbjornsen, H. (2013). Variability of the radial profile of sap velocity in *Pinus patula* from contrasting stands within the seasonal cloud forest zone of Veracruz, Mexico. *Agric. For. Meteorol.*, 108-119.
- Sun, P., & Ma, L. (2002). Research and Application on Water Consumption Characteristics of Water Conservation Tree. *Trees*, 1-9.
- Anfodillo, T., Rento, S., Carraro, V., Furlanetto, L., Urbinati, C., & Carrer, M. (1998). Tree water relations and climatic variations at the alpine timberline: seasonal changes of sap flux and xylem water potential in *Larix decidua* Miller, *Picea abies* (L.) Karst. and *Pinus cembra* L. *Ann For Sci*, 159-172.
- IPCC . (2007). *Climate change 2007*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Matyssek, R., Wieser, G., Patzner, K., Blaschke, H., & Haberle, K. (2009). Transpiration of forest trees and stands at different altitude: consistencies rather than contrasts? *Eur J For Res*, 579-596.
- Corcuera, L., Camarero, J., & Gil-Pelegrin, E. (2004). Effects of a severe drought on *Quercus ilex* radial growth and xylem anatomy. *Trees*, 83-92.
- Gandhi, K., & Herms, D. (2010). Direct and indirect effects of alien insect herbivores on ecological processes and interactions in forests of eastern North America. *Biol. Invasions*, 389-405.
- Bush, S., Hultine, K., Sperry, J., & Ehleringer, J. (2010). Calibration of thermal dissipation sap flow probes for ring and diffuse-porous trees. *Tree Physiol.*, 1545-1554.
- Aguadé, D., Martínez-Vilalta, J., & Poyatos, R. (2011). Water relations of Scots Pine at its dry limit: effects of crown condition and competition by co-occurring Holm. *Trees*, 1100-1121.
- Oberhuber, W., Kofler, W., Schuster, R., & Wieser, G. (2014). Environmental effects on stem water deficit in co-occurring conifers exposed to soil dryness. *Int. J. Biometeorol.*, 1-10.

- 
- Hernandez-Santana, V., Hernandez-Hernandez, A., Vadeboncoeur, M., & Asbjornsen, D. (2015). Scaling from single-point sap velocity measurements to standtranspiration in a multispecies deciduous forest: uncertainty sources, standstructure effect, and future scenarios. *Can. J. For. Res*, 1489–1497.
- Hoeber, S., Leuschner, C., Köhler, L., Arias-Aguilar, D., & Schuldt, B. (2014). The importance of hydraulic conductivity and wood density to growth performance in eight tree species from a tropical semi-dry climate. *For. Ecol. Manag.*, 126-136.
- Poorter, H., Niinemets, U., Poorter, L., Wright, I., & Villar, R. (2009). Causes and consequences of variation in leaf mass per area (LMA): a meta-analysis. *New Phytologist*, 565-589.
- Valverde, J., Guevara-Bonilla, M., Arias, D., Briceño, E., & Esquivel, E. (2017). Efectos de las actividades de labranza en el índice de área foliar en una plantación de *Tectona grandis* en la zona norte de Costa Rica. *Maderas y Bosque*, 1-17.
-