



# CARACTERIZACIÓN FENOLÓGICA Y ECOFISIOLÓGICA DEL CULTIVO DE AGUACATE (*Persea americana* Mill.) EN FASE VEGETATIVA (ESTADO DE PLÁNTULA) BAJO CONDICIONES DE CAMPO DEL MUNICIPIO DE PASCA, CUNDINAMARCA

BRYAN STEVE GONZALEZ VANEGAS

EDGAR GIOVANY OCHOA CARVAJAL

Directora:

**Biol. MSc. CRISTINA MENDOZA FORERO**

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA  
FUSAGASUGA

2016

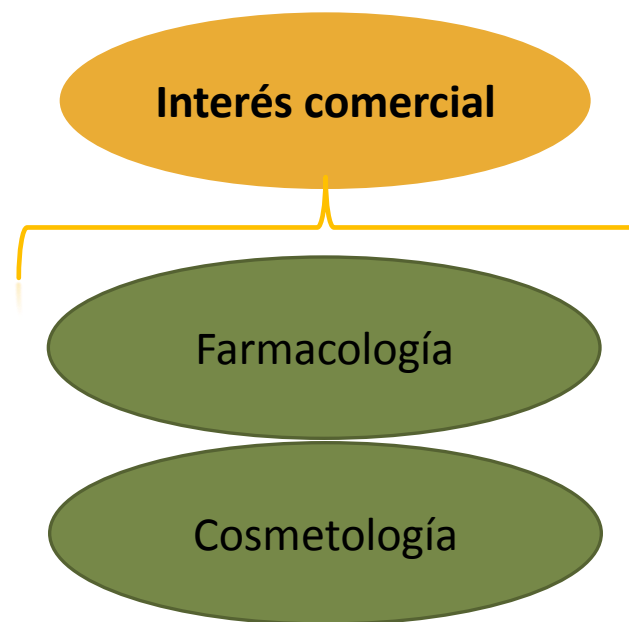


Estos resultados se utilizarán como base para el manejo y establecimiento adecuado del cultivo que serán tenidos en cuenta en el macroproyecto del cual hace parte el presente trabajo: proyecto “Ecofisiología, nutrición mineral y manejo integrado de plagas y enfermedades en aguacate, curuba, gulupa y tomate de árbol orientados hacia su manejo agronómico, como materia prima para el desarrollo de productos de **interés comercial**”

Componente de la Red Nacional para la Bioprospección de Frutas Tropicales – (RIFRUTBIO)

**Financiada por:** Colciencias

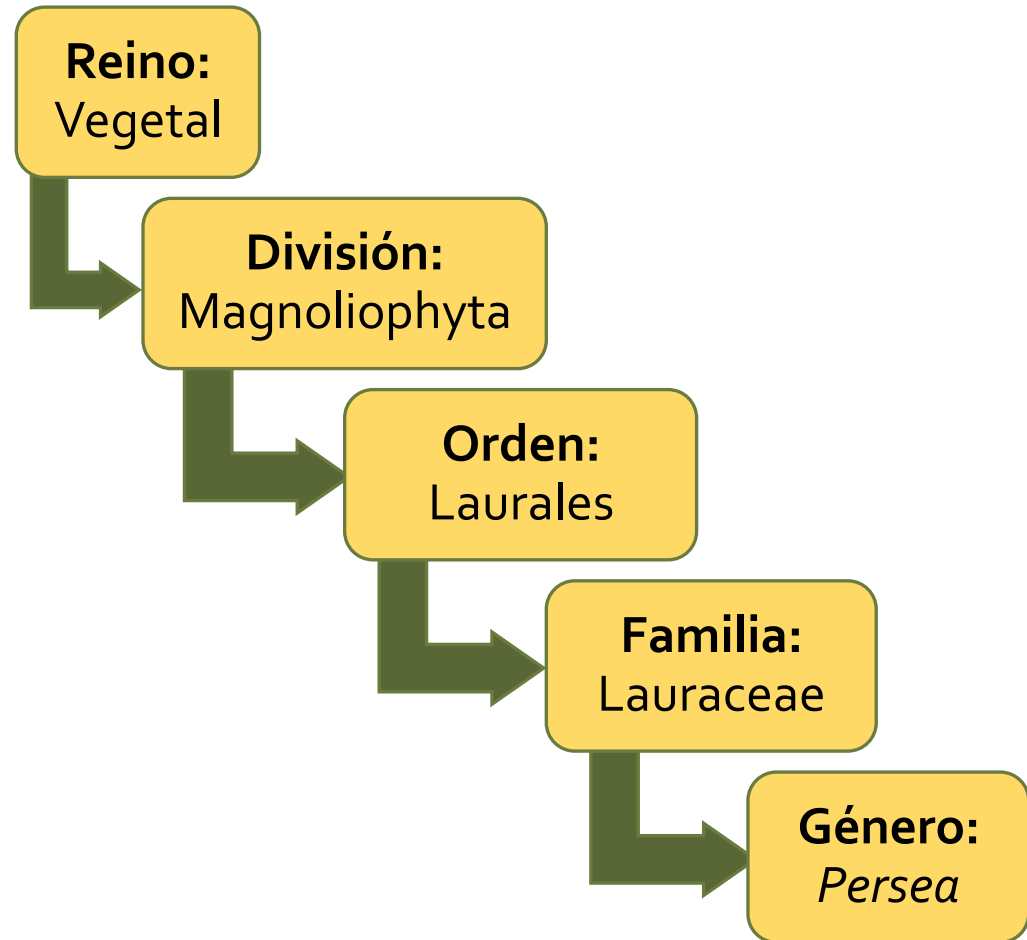
**Desarrollado por:** Universidad Nacional de Colombia, Universidad de Cartagena, Universidad de Nariño y **Universidad de Cundinamarca.**



# CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA



Planta de Aguacate (*Persea americana* Mill.), variedad Hass en patrón criollo. (González y Ochoa, 2014).



# INTRODUCCIÓN



Fuente: González y Ochoa, 2015

**Aguacate (*Persea americana* Mill.)**

Nativo de América Central y hoy en día es un cultivo de importancia económica en más de 70 países. (FAO, 2011)

Es una planta C3. Las ramas autosombreadadas son improductivas, por lo cual son importantes las prácticas culturales y agronómicas como poda y densidad de siembra. (SIMAG, 2003)

# CLASIFICACIÓN ECOLÓGICA

Se deriva en 3 diferentes razas, las cuales engloban la mayoría de variedades de aguacate, según el origen y las características físicas (Amórtegui, 2001).

**La raza mexicana (M):** 'Fuerte', 'Zutano' y 'Duque'.

T°: 5 a 17 °C.

Altitud: Encima de los 2000 m.s.n.m

**La raza antillana (A):** 'Lorena', 'Santana', 'Pollock' y 'Paterson'.

T°: 18 a 26 °C.

Altitud: Desde los 0 hasta 800 m.s.n.m

**La raza guatemalteca (G):** 'Naval', 'Thompson' y 'Booth', 'Hass'.

T°: 4 a 19 °C.

Altitud: Desde 800 hasta 2.400 m.s.n.m

# FASE VEGETATIVA (Amórtegui, 2001).

**Etapa 1.** Corresponde al período vegetativo de una rama que ha terminado su crecimiento

**Etapa 2.** Las yemas terminales finalizan su desarrollo y empiezan a crecer o a hincharse.

**Etapa 3.** En esta fase las yemas inician su desarrollo, se hinchan y las escamas que recubren la yema comienzan a desprenderse en su totalidad

**Etapa 4.** La yema terminal se transforma en un brote juvenil, las hojas no alcanzan todavía su total desarrollo.

**Etapa 5.** Finaliza la formación de las hojas, no es todavía completamente funcional.

# OBJETIVO GENERAL

- Analizar el comportamiento fenológico y ecofisiológico del cultivo de Aguacate variedad Hass (*Persea americana* Mill.) en fase vegetativa, bajo condiciones de campo en el municipio de Pasca, Cundinamarca.

# OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir el desarrollo fenológico del cultivo de aguacate variedad Hass en sus estadios vegetativos, en las condiciones agroecológicas del municipio de Pasca (Cundinamarca).
- Establecer el comportamiento ecofisiológico preliminar del cultivo de aguacate variedad Hass teniendo en cuenta las variables fotosintéticas, tasa de asimilación de  $\text{CO}_2$  y transpiración, en las condiciones ambientales del municipio de Pasca (vereda San Pablo).





# **MATERIALES Y MÉTODOS**

# LOCALIZACIÓN



# LOCALIZACIÓN EN CAMPO



# MATERIAL VEGETAL

Aguacate (variedad Hass)  
120 plántulas para  
sembrar en campo  
10 fueron plantas de  
cero días de realizado el  
injerto



Fuente: González y Ochoa, 2014



# EQUIPOS



**IRGA (TPS II)**  
(González y Ochoa, 2014)



**Estación climática (Coltein EM29212)**  
(Cotrino y Niño, 2015)

# ESTABLECIMIENTO Y MANEJO DEL CULTIVO



Etapa de almacigo (plantas recién injertadas)



Calicata lista para llevar a cabo la siembra de la plántula de aguacate.





Siembra de una plántula de aguacate Hass.



Planta de Aguacate Hass, establecida en campo.

# EVALUACIÓN FENOLÓGICA POR MEDIO DE LA ESCALA BBCH

- Evaluación a partir del día de injerto.
- Se realizó hasta el estadio 3.
- Periodicidad: cada 3 días (estadio 0 y 1)
- Cada 7 días (estadio 3) → Hasta el trasplante a campo abierto.
- Cada 15 días en campo.



# EVALUACIÓN FOTOSINTÉTICA Y ECOFISIOLÓGICA EN ESTADO VEGETATIVO JUVENIL

Se tomaron  
datos con IRGA  
TPS (II). 4  
meses DDI

Se utilizó  
modelo  
hiperbólico de  
Michaelis  
Menten

VER

Tasa  
fotosintética

Curva de luz. PAR.  
Evapotranspiración  
y transpiración.  
EUA.





# **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**



**ESCALA BBCH DE AGUACATE var. 'HASS'  
(FASE VEGETATIVA)**

<b>ESTADIO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>0</b>	Germinación, brotación, desarrollo de la yema
<b>1</b>	Desarrollo de las hojas (brote o tallo principal)
<b>2</b>	Formación de brotes laterales / macollamiento (ahijamiento)
<b>3</b>	Crecimiento longitudinal del tallo o crecimiento en roseta, desarrollo de brotes (retoños)/ encañado (tallo principal)
<b>4</b>	Desarrollo de las partes vegetativas cosechables de la planta o de órganos vegetativos de propagación / embuchamiento
<b>5</b>	Emergencia de la inflorescencia (tallo principal) / espigamiento
<b>6</b>	Floración (tallo principal)
<b>7</b>	Desarrollo del fruto
<b>8</b>	Coloración o maduración de frutos y semillas
<b>9</b>	Senescencia, comienzo de la dormancia


# ESTADIO PRINCIPAL DE CRECIMIENTO 0: BROTACIÓN, DESARROLLO DE LA YEMA



Código	Días después de injerto	Descripción	Imagen
ESTADIO PRINCIPAL DE CRECIMIENTO 0: BROTACIÓN, DESARROLLO DE YEMA			
00	08	Dormancia de la yema	
01	25	Comienza la hinchazón de la yema	

Código	Días después de injerto	Descripción	Imagen
03	48	Fin del hinchamiento de la yema	
07	67	La yema comienza a abrirse o brotar	



Código	Días después de injerto	Descripción	Imagen
08	92	Crecimiento del brote. La yema muestra brotes verdes	
09	105	La yema muestra brotes verdes. Ápices foliares visibles, las hojas emergen	

# ESTADIO PRINCIPAL DE CRECIMIENTO 1: DESARROLLO DE HOJAS


ESTADIO PRINCIPAL DE CRECIMIENTO 1: DESARROLLO DE LAS HOJAS			
10	110	Las primeras hojas se separan del brote	



11	121	Desarrollo del primer par de hojas	
12	133	Desarrollo del segundo par de hojas	





14	141	Desarrollo del cuarto par de hojas	
19	152	Desarrollo de 9 o mas pares de hojas	

# ESTADIO PRINCIPAL DE CRECIMIENTO 2: FORMACIÓN DE BROTES LATERALES

Código	Días después de injerto	Descripción	Imagen
<b>ESTADIO PRINCIPAL DE CRECIMIENTO 2: FORMACIÓN DE BROTES LATERALES</b>			
21	161	Primer brote lateral visible	

Código	Días después de injerto	Descripción	Imagen
22	173	Segundo brote lateral visible	 A photograph of a plant specimen showing a main stem with two distinct lateral buds emerging from the nodes. The leaves are green and elongated.
23	180	Tercer brote lateral visible	 A photograph of a plant specimen showing a main stem with three distinct lateral buds emerging from the nodes. The leaves are green and elongated.

# ESTADIO PRINCIPAL DE CRECIMIENTO 3: ELONGACIÓN DEL TALLO

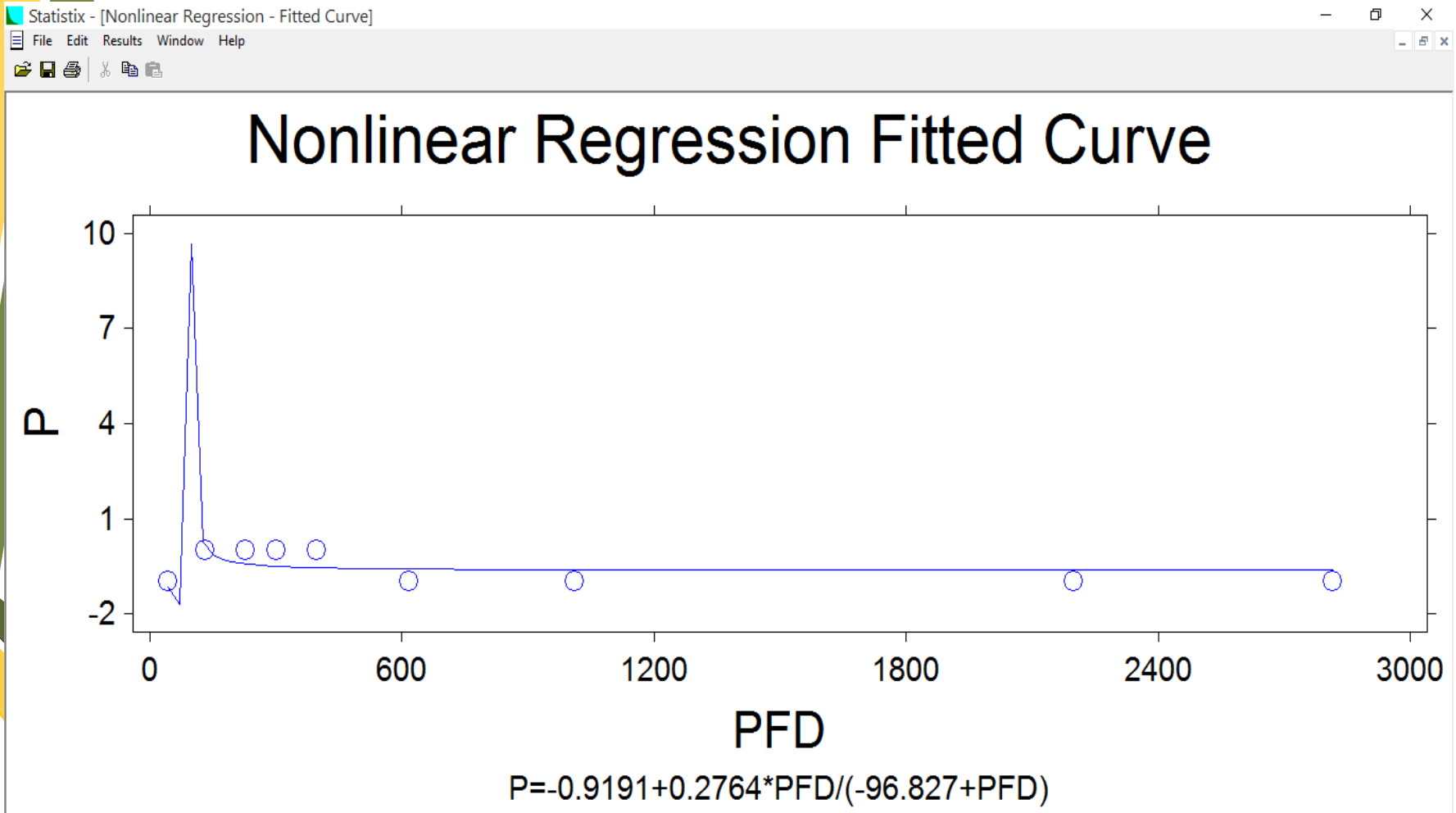
ESTADIO PRINCIPAL DE CRECIMIENTO 3: ELONGACIÓN DEL TALLO			
31	187	El tallo ha alcanzado 10% de su longitud final	 A photograph of a plant specimen with a dark stem and several green leaves. A vertical bracket on the stem indicates its length, which is approximately 10% of its final length.
32	201	El tallo ha alcanzado 20% de su longitud final	 A photograph of a plant specimen with a green stem and several green leaves. A vertical bracket on the stem indicates its length, which is approximately 20% of its final length.



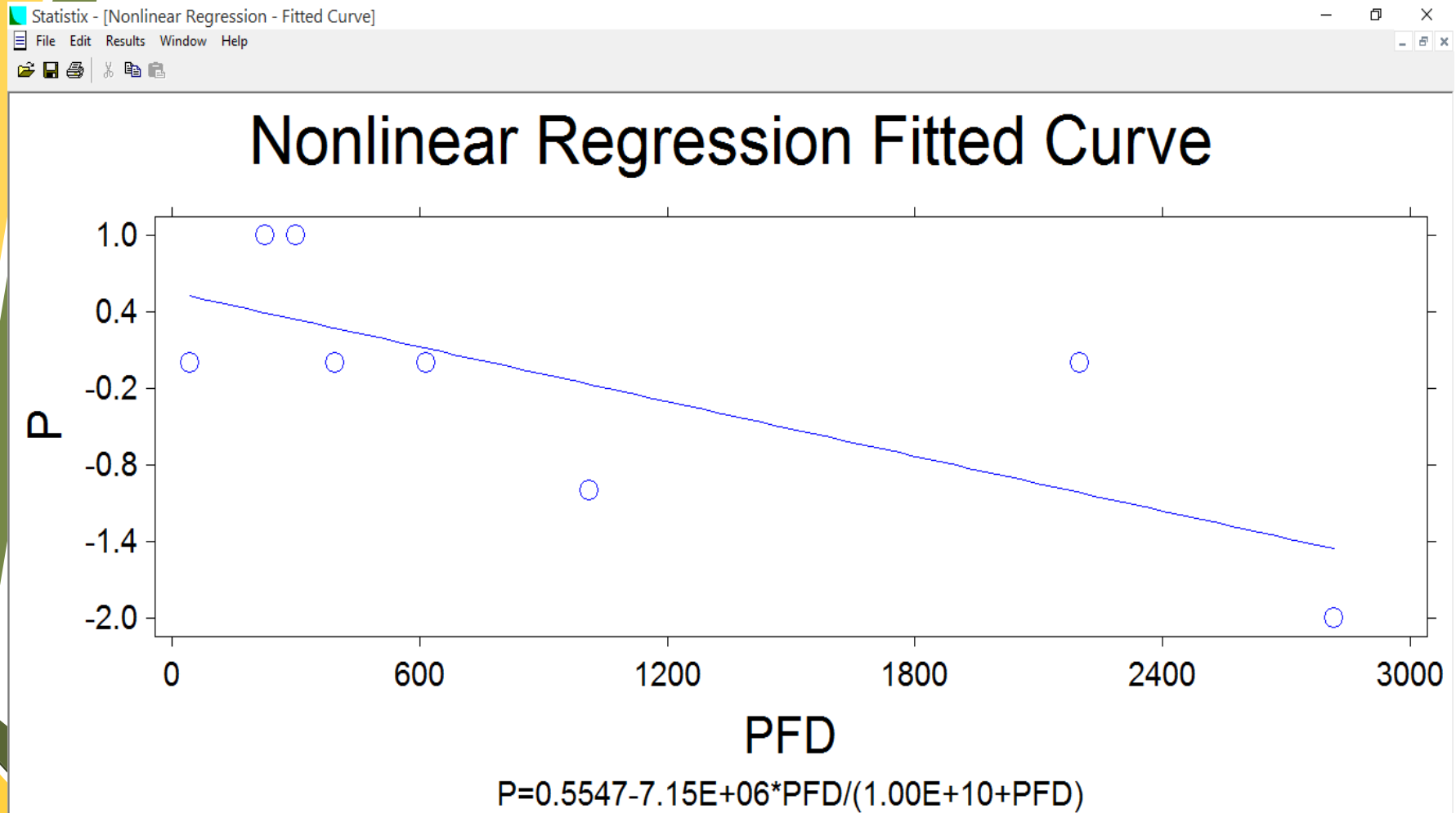
**COMPORTAMIENTO ECOFISIOLÓGICO Y  
FOTOSINTÉTICO VR. 'HASS' EN ESTADO  
JUVENIL**

# CURVA DE LUZ

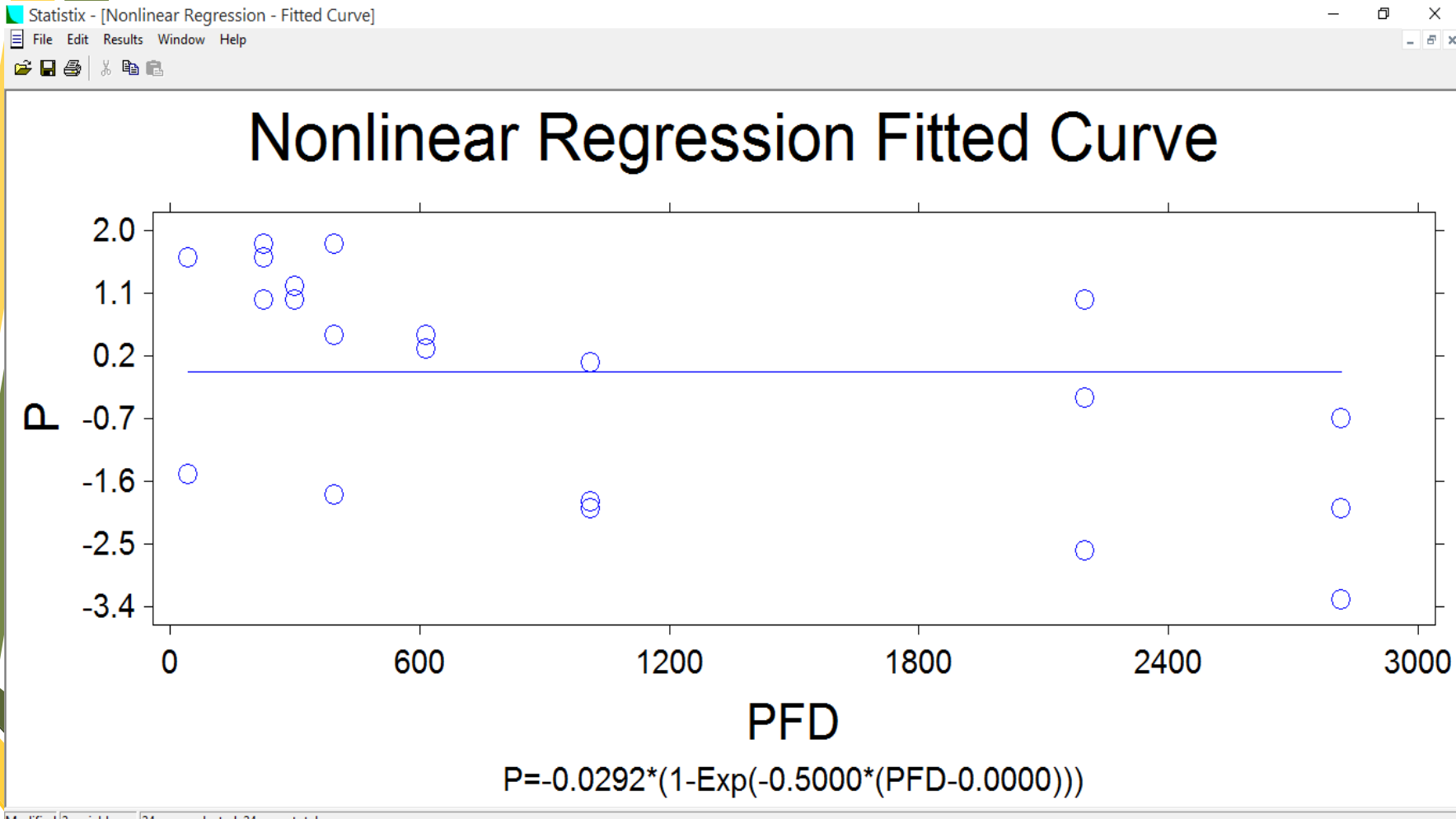
Curva de luz de *Persea americana* var. 'Hass', ajustado al modelo hiperbólico de Michaelis Menten, en plantas de 5 meses después de injerto (González y Ochoa, 2015)



# Curva de luz de *Persea americana* var. 'Hass', ajustado al modelo hiperbólico de Michaelis Menten, en planta en prefloración (González y Ochoa, 2015)

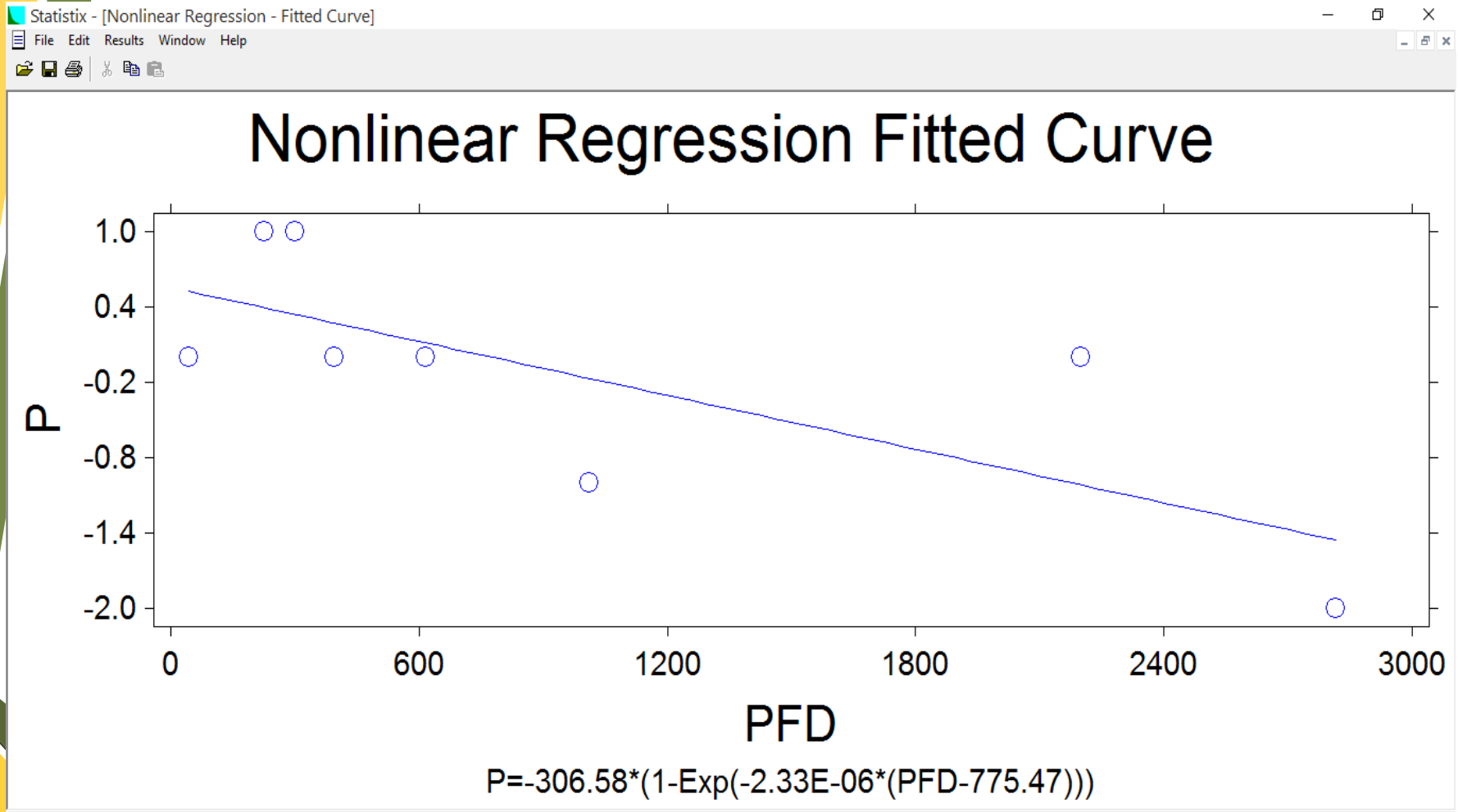


**Curva de luz de *Persea americana* var. 'Hass', ajustado al modelo hiperbólico de Mitscherlich, en plantas de 5 meses después de injerto (González y Ochoa, 2015).**





# Curva de luz de *Persea americana* var. 'Hass', ajustado al modelo hiperbólico de Mitscherlich, en plantas en prefloración (González y Ochoa, 2015).



# Tabla de coeficiente de relación, basado en el modelo hiperbólico de Michaelis Menten, para plantas de 5 meses de edad (González y Ochoa, 2015).

Statistix - [Nonlinear Regression - Coefficient Table]

File Edit Results Window Help

Statistix 9.0 27/10/2015, 11:39:56 a. m.

**Nonlinear Regression**

MODEL:  $P = c + a * PFD / (b + PFD)$

Parameter	Estimate	Std Error	Lower 95% C.i.	Upper 95% C.i.
a	-7.145E+06	4.516E+13	-1.160E+14	1.160E+14
b	1.000E+10	6.320E+16	-1.625E+17	1.625E+17
c	0.5547	0.5694	-0.9091	2.0185

Convergence criterion met after 67 iterations.

Residual SS (SSE)	3.1860
Residual MS (MSE)	0.6372
Standard Deviation	0.7983
Degrees of Freedom	5
AICc	13.968
Pseudo R-Squared	0.9732

**Parameter Correlations**

	a	b	c
a	1,0000		
b	-1,0000	1,0000	
c	0,7129	-0,7129	1,0000

Cases Included 8 Missing Cases 0

# Tabla de coeficiente de relación, basado en el modelo hiperbólico de Michaelis Menten, para plantas en prefloración (González y Ochoa, 2015).

Statistix - [Nonlinear Regression - Coefficient Table]

File Edit Results Window Help

Statistix 9.0 27/10/2015, 11:45:00 a. m.

Nonlinear Regression

MODEL:  $P = c + a * PFD / (b + PFD)$

Parameter	Estimate	Std Error	Lower 95% C.i.	Upper 95% C.i.
a	0.2764	0.2108	-0.2394	0.7923
b	-96.827	26.162	-160.84	-32.810
c	-0.9191	0.2612	-1.5583	-0.2799


Convergence criterion met after 48 iterations.

Residual SS (SSE)	1.3835
Residual MS (MSE)	0.2306
Standard Deviation	0.4802
Degrees of Freedom	6
AICc	1.1462
Pseudo R-Squared	0.9886

Parameter Correlations

	a	b	c
a	1,0000		
b	0,7262	1,0000	
c	-0,7221	-0,3036	1,0000

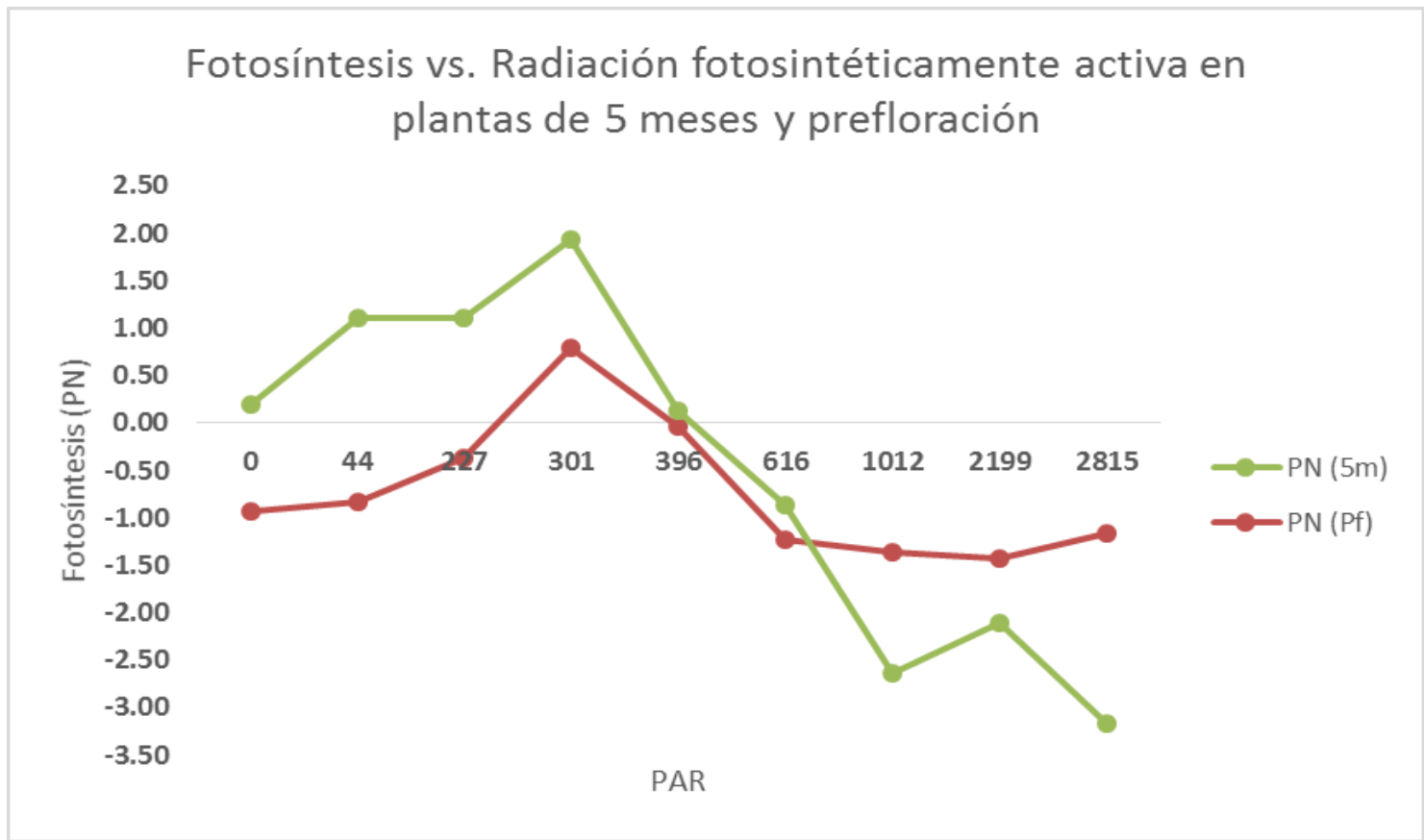
Cases Included 9 Missing Cases 0



**a = Amax = Asat** → Tasa fotosintética de saturación  
**b = K** → Constante de saturación  
**c = Rd** → Tasa de transpiración  
**PCL** → Punto de compensación por luz  
**PFD** → Flujo fotónico fotosintético  
**PAR** → Radiación fotosintéticamente activa

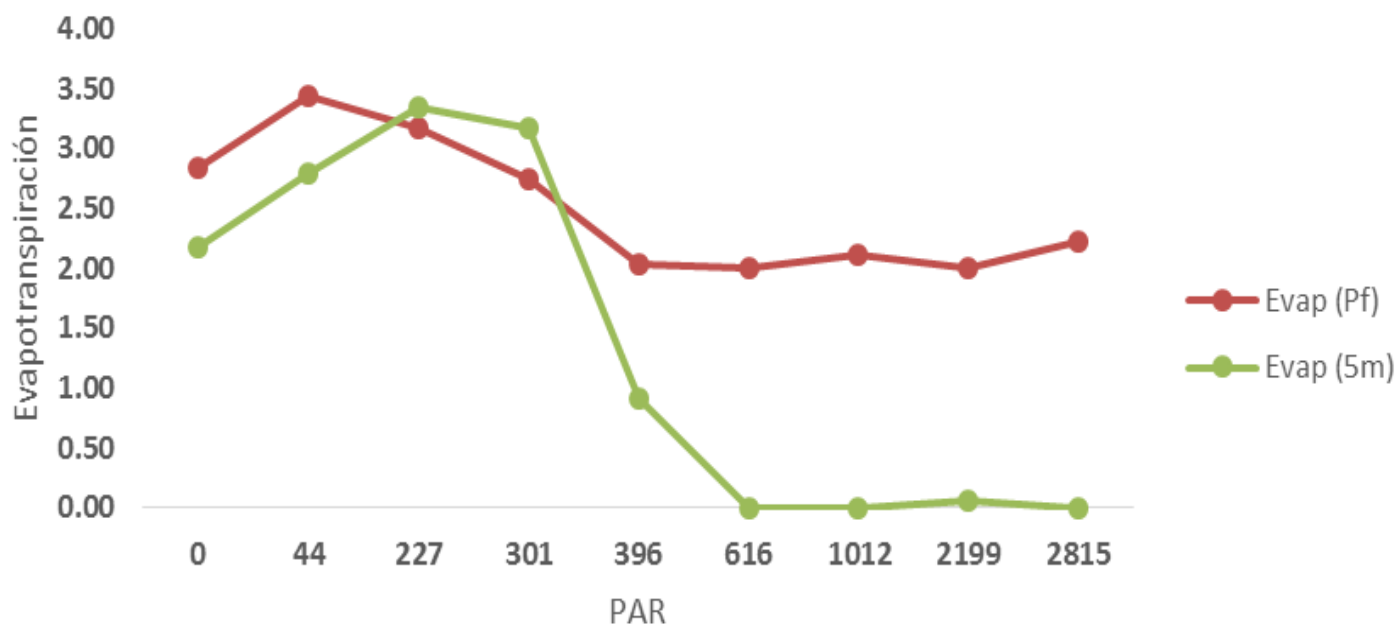
Plantas prefloración		Plantas 5 meses	
<b>Amax</b>	0,2764 $\mu\text{moles de CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$	<b>Amax</b>	7,14E+06 $\mu\text{moles de CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$
<b>K</b>	96,827 $\mu\text{moles de fotones m}^{-2}\text{s}^{-1}$	<b>K</b>	1,00E+10 $\mu\text{moles de fotones m}^{-2}\text{s}^{-1}$
<b>Rd</b>	0,9191 $\mu\text{moles de CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$	<b>Rd</b>	0,5547 $\mu\text{moles de CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$
<b>PCL</b>	74,440 $\mu\text{moles de fotones m}^{-2}\text{s}^{-1}$	<b>PCL</b>	0,2020 $\mu\text{moles de fotones m}^{-2}\text{s}^{-1}$





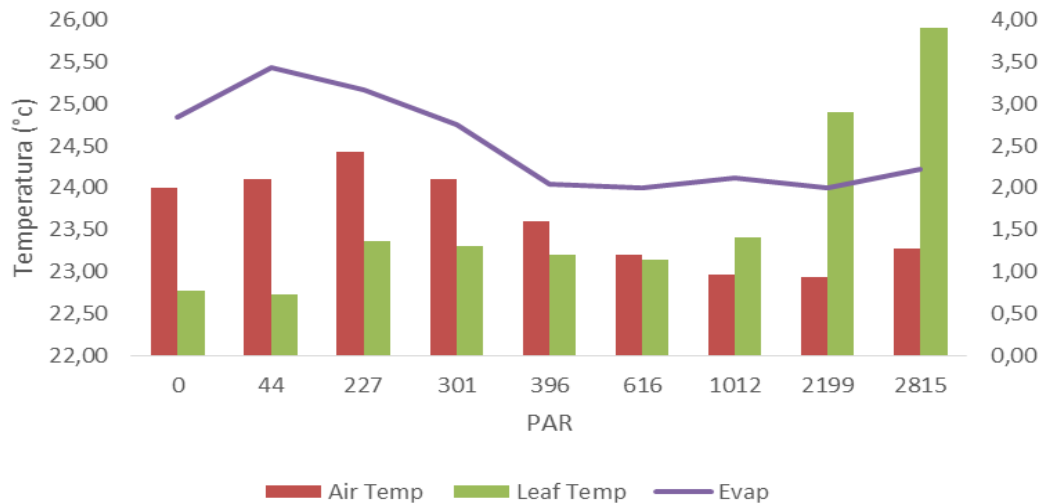
Comparación entre fotosíntesis neta y PAR, entre una plántula de *Persea americana* L. de 5 meses después de injerto y una planta en prefloración, bajo condiciones del municipio de Pasca, Cundinamarca.

### Evapotranspiración vs. Radiación fotosintéticamente activa en plantas de 5 meses y en prefloración



Comparación de los datos de evapotranspiración entre plántulas de *Persea americana* L. de 5 meses después de injerto, y plantas en prefloración, bajo condiciones del municipio de Pasca, Cundinamarca.

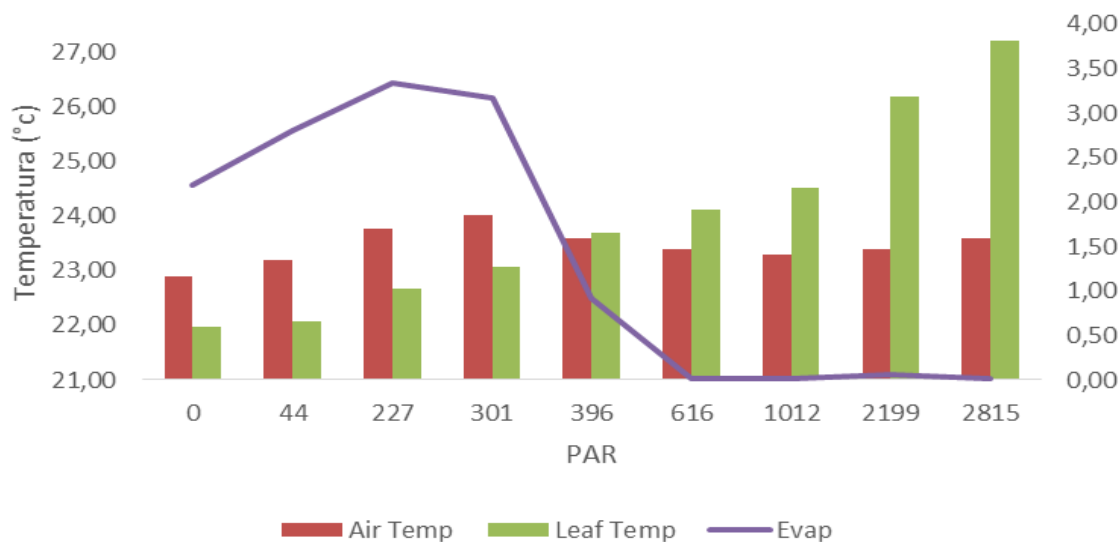
Temperatura de la hoja y del ambiente vs. transpiración de plantas en prefloración



Temperatura de la hoja y del ambiente (°c), en contraste con la transpiración, en plantas de 5 meses después de injerto (DDI), en el cultivo de *Persea americana*, bajo condiciones del municipio de Pasca, Cundinamarca.

Temperatura de la hoja y del ambiente (°c), en contraste con la transpiración, en plantas en prefloración de *Persea americana*, bajo condiciones del municipio de Pasca, Cundinamarca.

Temperatura de la hoja y del ambiente vs. transpiración de plantas de 5 meses DDI





# USO EFICIENTE DEL AGUA

## Eficiencia del uso del agua: balance coste/beneficio

PAR	PN (5)	Evap (5)	EUA (5)
0	1.13	2.18	0.52
44	0.57	2.80	0.20
227	1.47	3.34	0.44
301	1.13	3.17	0.36
396	0.17	0.92	0.18
616	0.37	0.01	36.67
1012	-1.27	0.01	-126.67
2199	-0.67	0.07	-10.00
2815	-2.00	0.01	-200.00

Fotosíntesis, Transpiración y Uso eficiente del Agua en plantas de aguacate 'Hass' de 5 meses.

PAR	PN (pf)	Evap (pf)	EUA (pf)
0	-0.93	2.84	-0.33
44	-0.83	3.44	-0.24
227	-0.37	3.17	-0.12
301	0.80	2.75	0.29
396	-0.03	2.04	-0.02
616	-1.23	2	-0.62
1012	-1.37	2.11	-0.65
2199	-1.43	2.00	-0.72
2815	-1.17	2.22	-0.53

Fotosíntesis, Transpiración y Uso eficiente del Agua en plantas de aguacate 'Hass' en prefloración.

# CONCLUSIONES

- El estadio más largo, fue el cero, debido a la poca acumulación de grados frío para romper la latencia de las yemas, ya que en esta zona las temperaturas rara vez descienden tanto como requiere la planta. El estadio más corto fue el 2, con una duración aproximadamente de 20 días DDI. El estadio número 3 (elongación de los tallos), es un estadio largo, porque este se subdivide según el porcentaje del crecimiento de la longitud final del tallo.

# CONCLUSIONES

- Los estudios fisiológicos mostraron que la adaptación de plántulas a la zona es lenta, debido a que es una variedad que necesita de poca radiación solar, incluso inferior a la reportada en la presente investigación. Las plantas en prefloración presentan una mejor respuesta que las plantas de 5 meses después de injerto (DDI), debido a que llevan más tiempo en campo. Las plantas más activas fotosintéticamente fueron las de 5 meses DDI, debido a que están en fase de desarrollo vegetativo, es decir, se enfocan en el desarrollo de dosel aéreo para mayor captación de luz.

# CONCLUSIONES

- Las plantas en prefloración, son muy activas a los 331 PAR. Esto debido a que la producción de fotoasimilados es concentrada y enviada a los órganos de reproducción, para el llenado del fruto. Las hojas fuente, son las que proporcionan la mayor cantidad de fotoasimilados a dichos órganos vertederos, contrario a las plántulas, cuyo órgano vertedero, son yemas vegetativas.

# CONCLUSIONES

- Las plantas en prefloración muestran mayor resistencia a condiciones ambientales adversas, que se puedan presentar en la zona. Lo anterior a que su periodo de adaptación a dichas condiciones, ha sido más prolongado, puesto que llevan más de un año sembradas en campo. Las plantas de 5 meses después de injerto, tuvieron que atravesar un periodo bajo polisombra para evitar días de radiación directa y condiciones nuevas de humedad, factores diferentes a donde se propagaron.

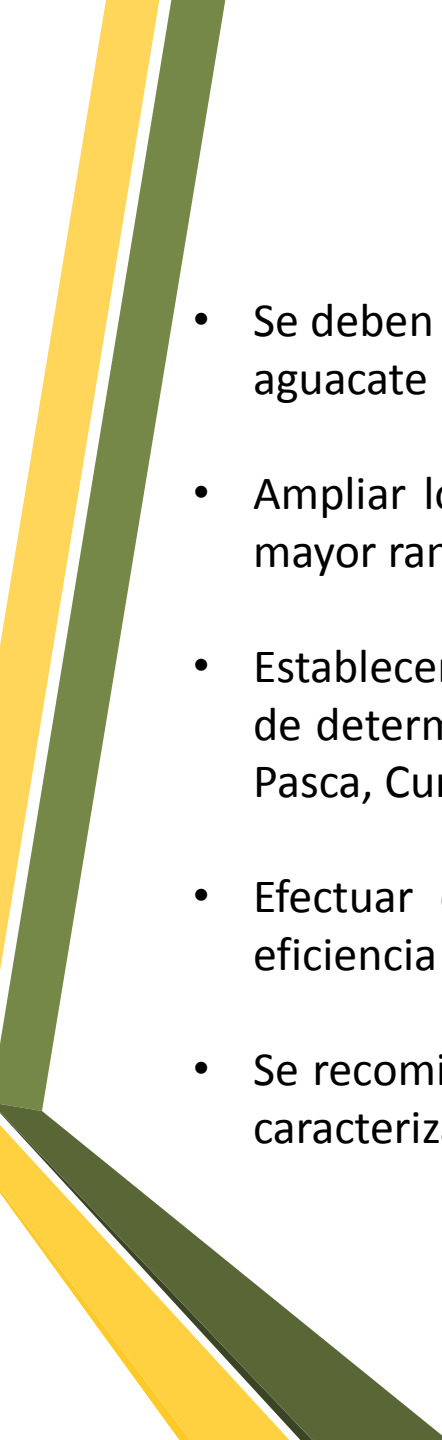
# CONCLUSIONES

- Las plantas en prefloración tienen una evapotranspiración constante a partir de los 396 PAR, contraria a las plantas de 5 meses DDI, las cuales llegan a valores muy próximos a cero, desde los 301 PAR, pero coinciden en el número PAR en el cual empieza esta disminución (227).



# **RECOMENDACIONES**



- 
- Se deben realizar estudios posteriores los cuales determinen la producción de aguacate para la zona, la cual dará un aumento en la economía del municipio.
  - Ampliar los rangos de datos de la toma de muestras, debido a que con un mayor rango, mejores y más precisos serán los resultados obtenidos.
  - Establecer dinámicas de crecimiento radical, desarrollo vegetativo, con el fin de determinar el beneficio del cultivo de aguacate var. 'Hass' para la zona de Pasca, Cundinamarca.
  - Efectuar estudios orientados al desarrollo de tácticas para maximizar la eficiencia fotosintética en el proceso de captación de luz.
  - Se recomiendan realizar más estudios, con un tiempo mayor, para finalizar la caracterización fenológica del estadio vegetativo de esta variedad.



# **AGRADECIMIENTOS**