



La conductancia hidráulica foliar: una alternativa para mejorar el rendimiento fotosintético del café

Ricardo Acuña Zornosa



DISCIPLINA DE FISILOGIA VEGETAL

Objetivo

Estudiar el funcionamiento de la planta de café durante las diferentes etapas del cultivo



PROGRAMA DE LA DISCIPLINA DE FISILOGIA



**FISIOLOGÍA DE LA SEMILLA Y
LA PLÁNTULA**



FISIOLOGÍA DE LA RAÍZ



**FISIOLOGÍA DE DOSEL
(HOJAS, RAMAS Y TALLOS)**



**FISIOLOGÍA DE LA
FLORACIÓN**



FISIOLOGÍA DEL FRUTO



FISIOLOGÍA DEL ESTRÉS

Equipo de trabajo



Aristófeles Ortiz



Carlos Unigarro



Natalia Flechas

Investigadores



Dora García



Cristian Camilo

Estancias Post-Doc



Marcela Mora



Claudia Valencia



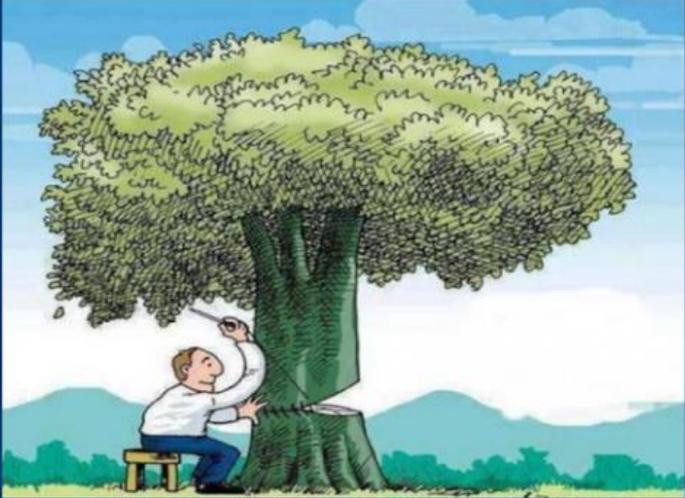
Mario Franco



Bibiana Escobar

Auxiliares

SI LOS ÁRBOLES DIERAN SEÑAL WI-FI, LA GENTE PLANTARÍA ÁRBOLES EN TODAS PARTES Y SALVARÍAMOS EL PLANETA.



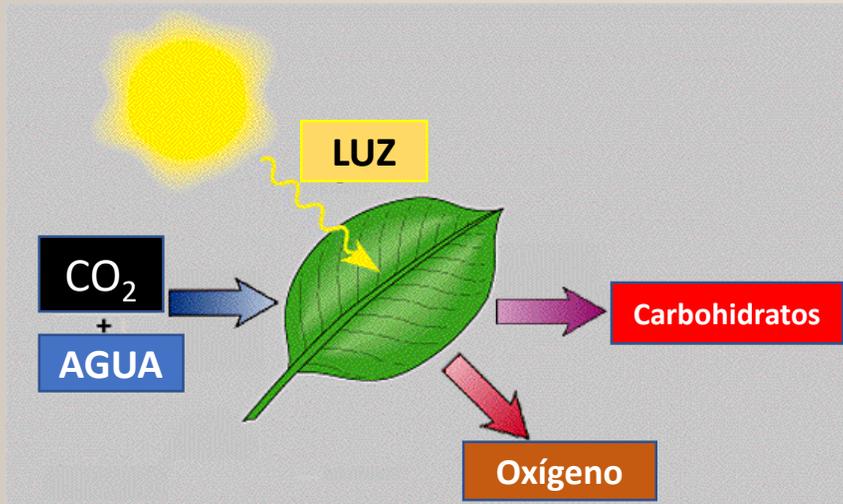
LÁSTIMA QUE SÓLO PRODUCEN EL OXÍGENO QUE NECESITAMOS PARA RESPIRAR Y VIVIR...

ENTERATE DE ALGO

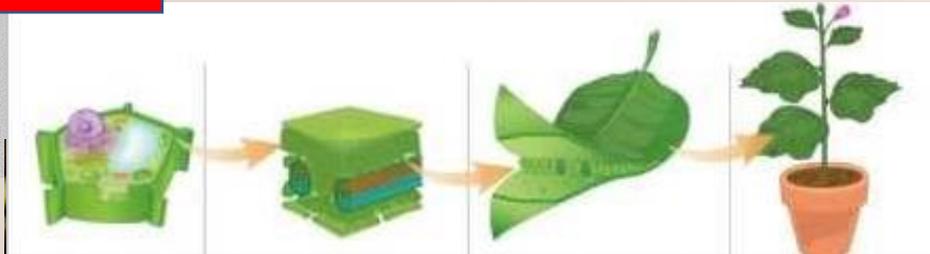
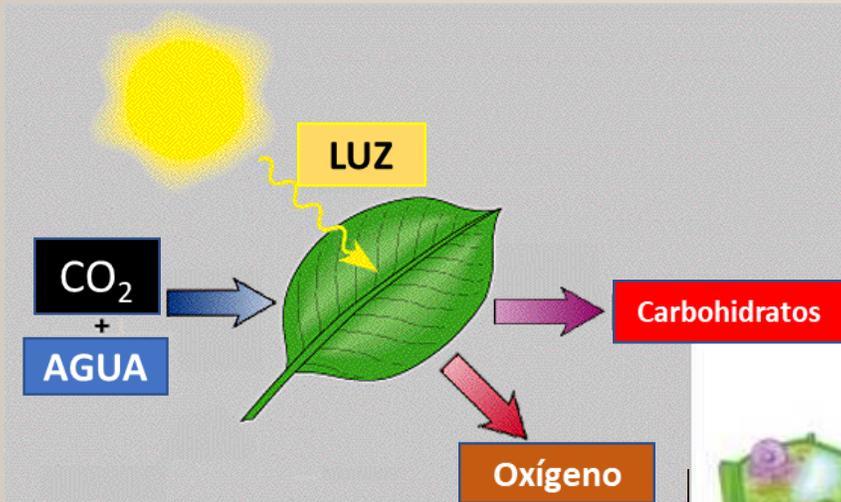


BIOMASA VEGETAL

FOTOSÍNTESIS



FOTOSÍNTESIS



ACUMULACION de BIOMASA

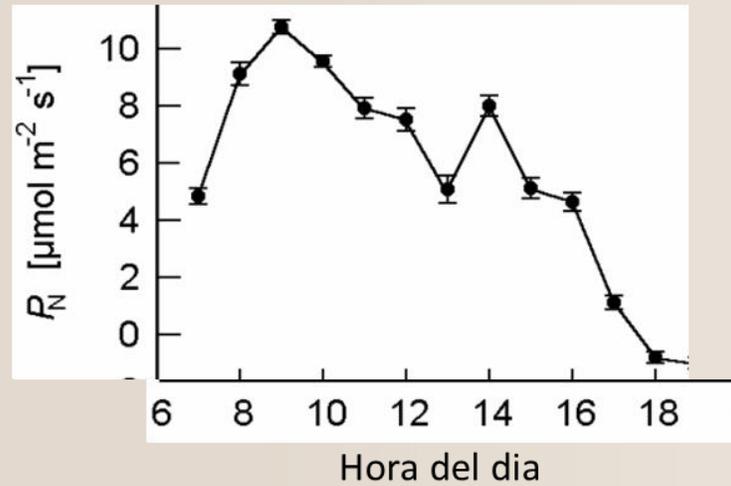
PRODUCTIVIDAD
AGRICOLA



FOTOSÍNTESIS



El motor de la productividad en nuestros cafetales



***Coffea arabica* tiene una baja tasa fotosintética : 4-15 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en condiciones atmosféricas de CO_2 y de luz natural. Esta tasa es la más baja entre las especies perennes tropicales. Lento crecimiento.**



FOTOSÍNTESIS

El motor de la productividad en nuestros cafetales



Estrategias para incrementar la fotosíntesis:

1. Fertilización con CO_2
2. Índice de Área Foliar
3. Coeficiente de Extinción
4. Conductancia hidráulica



1. Fertilización con CO₂



Cámara de techo abierto con atmósfera enriquecida con CO₂
Ramirez et al. (2004)



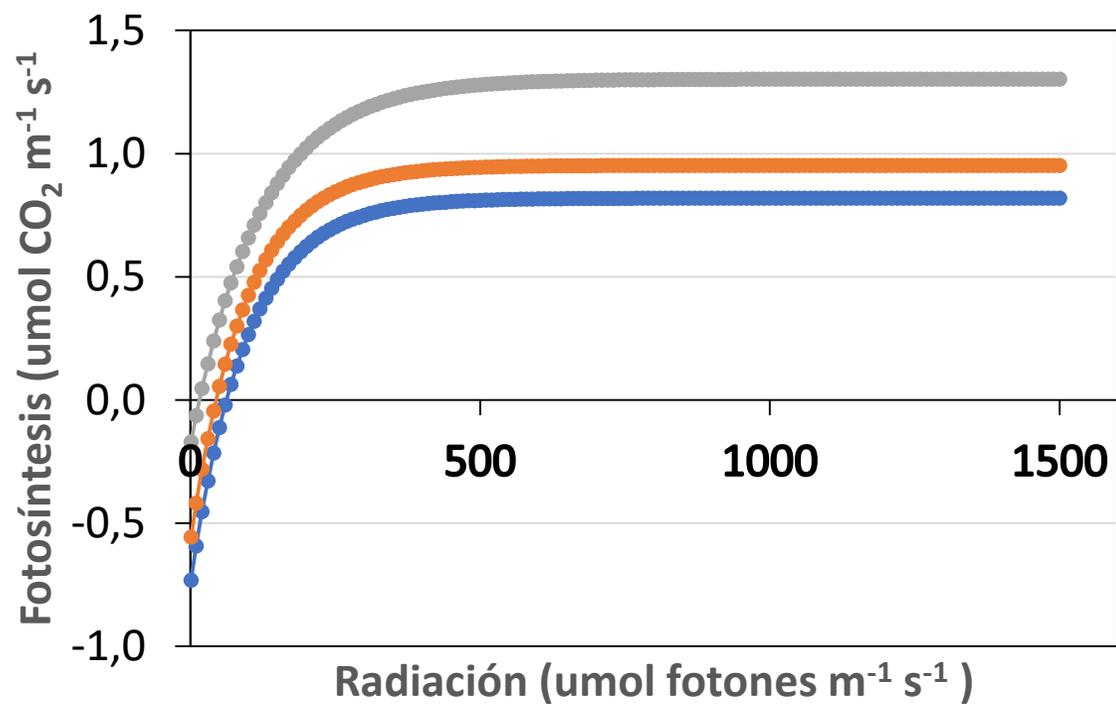
Cámara cerrada para la medición de la fotosíntesis (Gomez y Riaño 2001)



Efecto del incremento de CO₂ *Coffea.arabica*

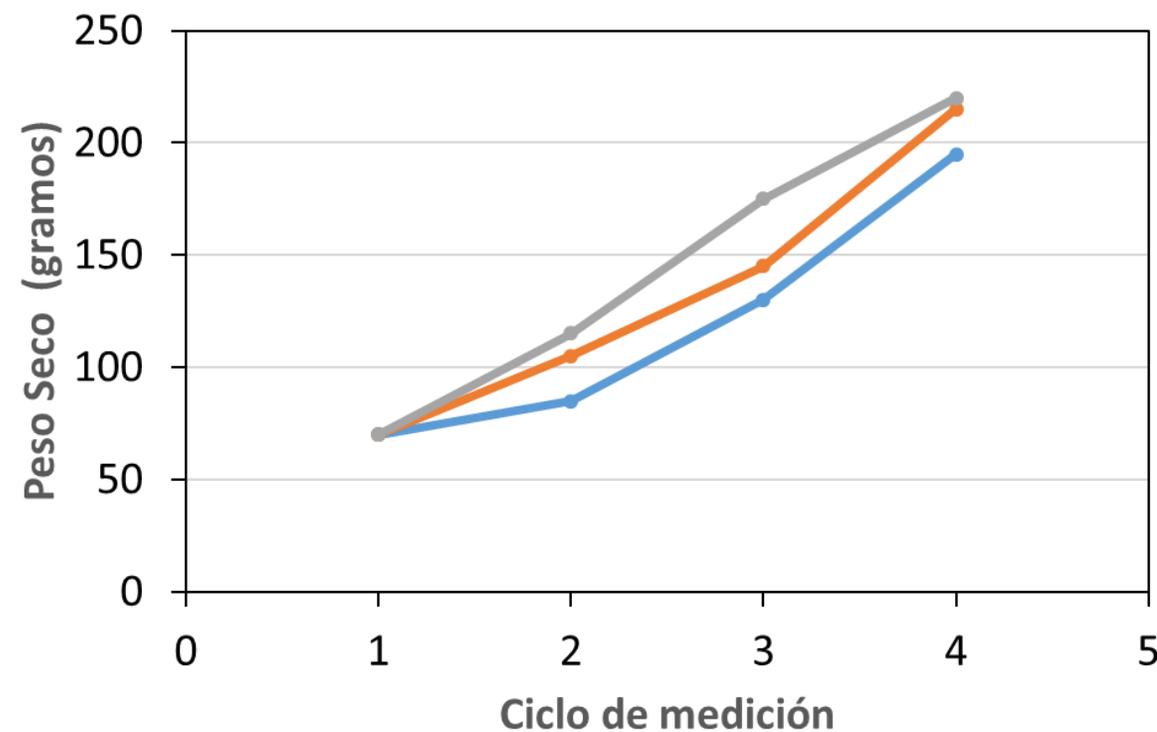


FOTOSINTESIS



—●— T1 - 375 ppm —●— T2 - 575 ppm —●— T3 - 775 ppm

PESO SECO



—●— T1 - 375 ppm —●— T2 - 575 ppm —●— T3 - 775 ppm

2. Índice de área foliar (IAF)



Área de suelo

Dosel

Área foliar



IAF= 1

AF=1m²
AS=1m²



IAF= 3

AF=3m²
AS=1m²

Cobertura Efectiva:
Fundamento de la productividad vegetal
(Revolución verde)

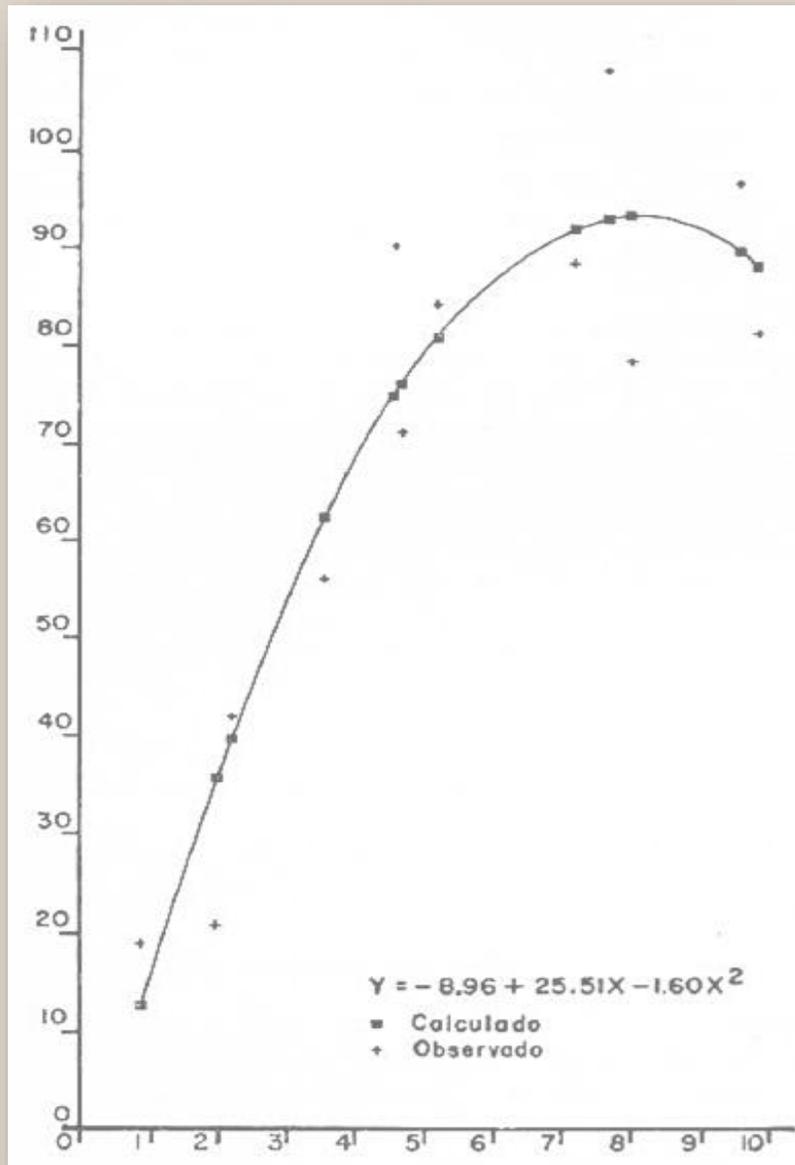


Medición IAF

Índice de área foliar y producción en café



Producción de c.p.s por parcela de 100m²

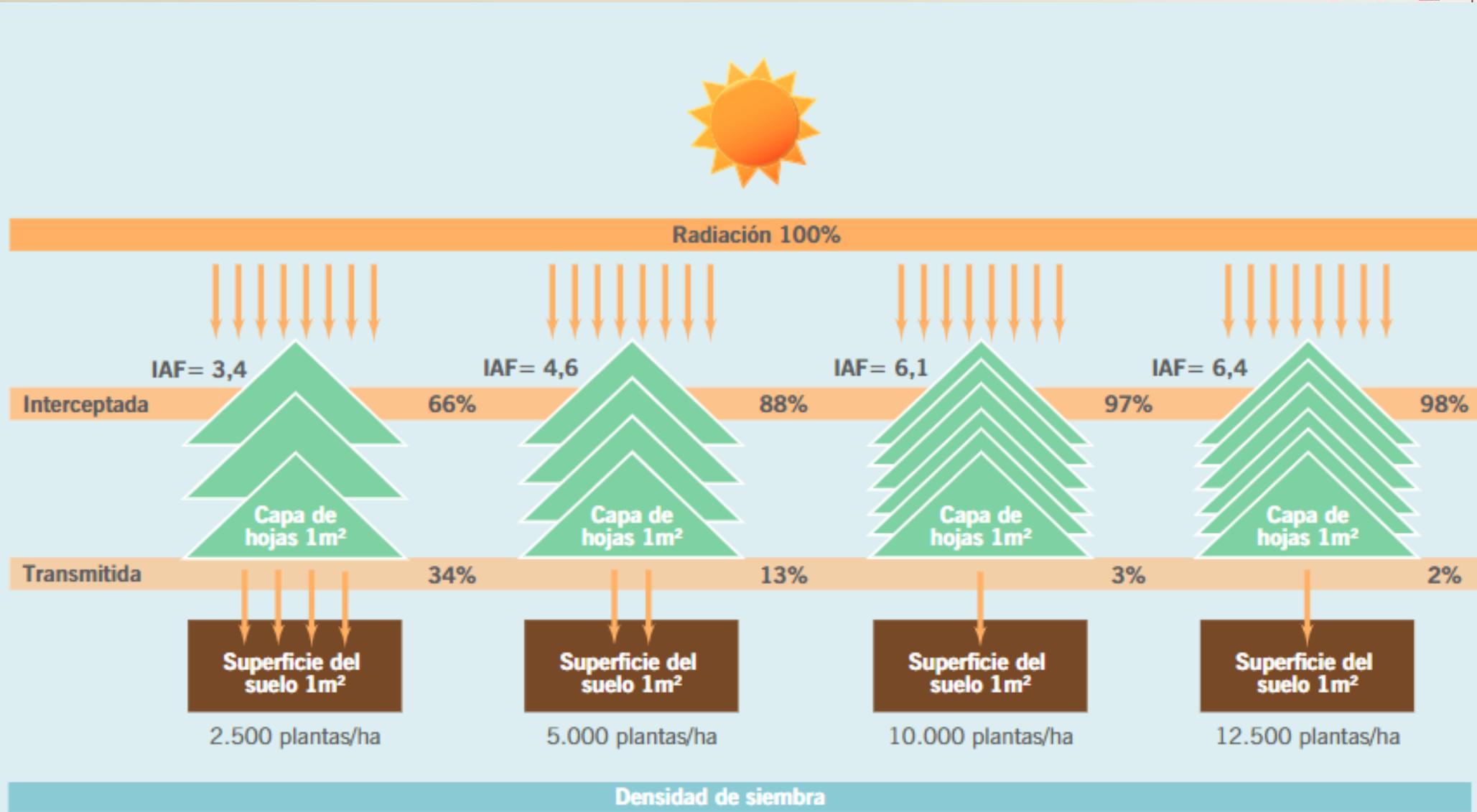


Incremento
Densidad de
siembra

Mayor
capacidad
fotosintética
del cultivo

FOTOSÍNTESIS

El motor de la productividad en nuestros cafetales



525

Avances Técnicos
Cenicafé

Marzo de 2021
Gerencia Técnica /
Programa de Investigación Científica
Fondo Nacional del Café



Densidad de siembra y fotosíntesis, el motor de la productividad en nuestros cafetales

Establecer la densidad de siembra más adecuada en café (*Coffea arabica* L.) es una de las principales estrategias para mejorar la productividad (Araque & Duque, 2019). Desde el punto de vista fisiológico, la productividad² del cultivo depende de su capacidad fotosintética² para producir materia seca³ a partir de la energía lumínica, el CO₂ y el agua, durante las etapas fenológicas de la planta (etapa vegetativa y reproductiva) (Arcila et al., 2007). La densidad de siembra es la estrategia agronómica más fácil de implementar y de mayor impacto para aumentar tanto la capacidad fotosintética como el número de flores y frutos, porque con un mayor número de plantas se intercepta más luz por superficie de suelo, lo cual se traduce en un incremento de materia seca que favorece la productividad. En el presente Avance Técnico se responden algunas preguntas para facilitar el entendimiento de los conceptos fisiológicos más importantes que respaldan el uso de altas densidades de siembra en el cultivo de café.



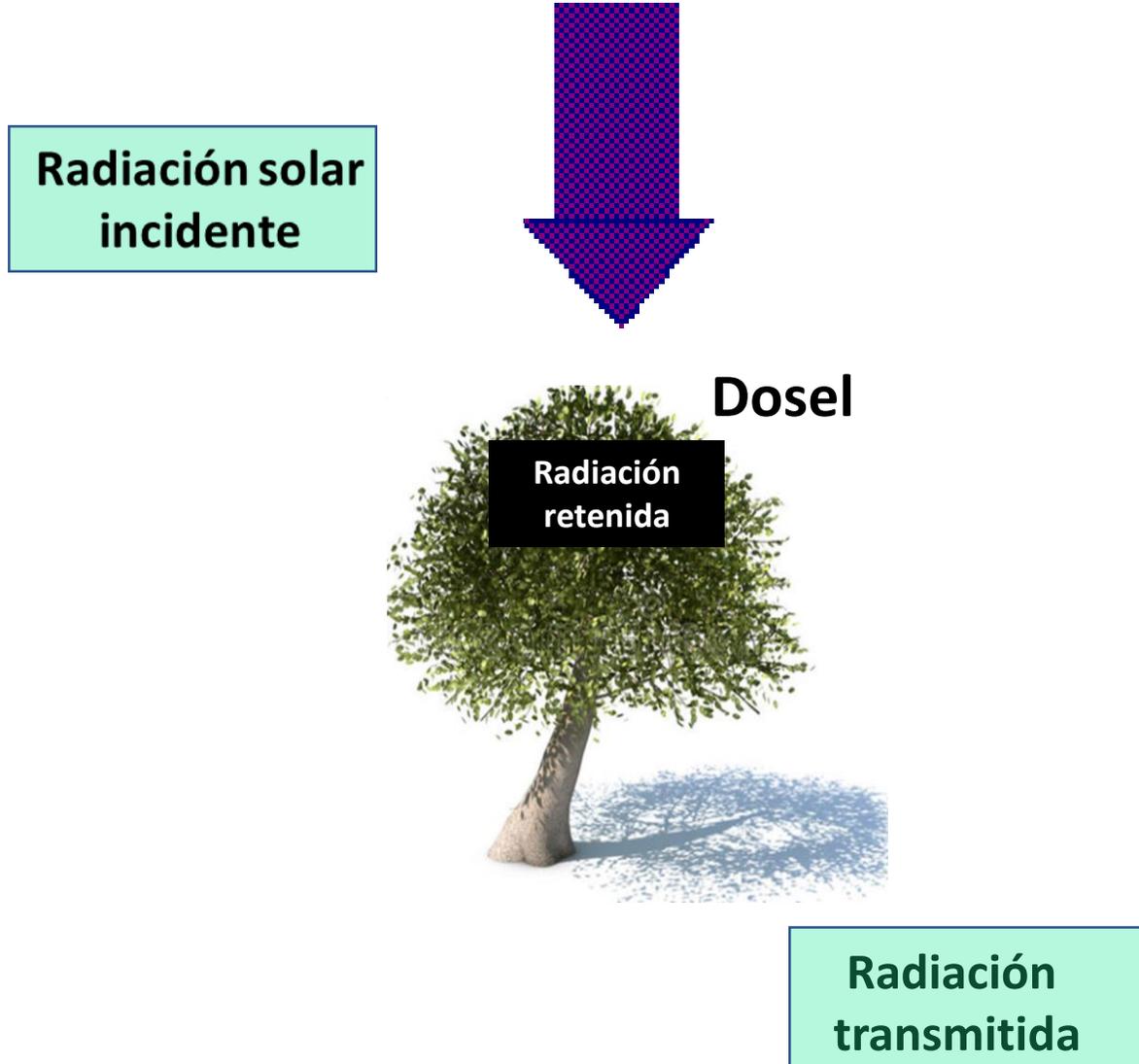
Señor caficultor

El incremento en la capacidad fotosintética del cultivo de café mediante el uso de altas densidades de siembra según las condiciones agroecológicas de su zona, es una vía eficiente para alcanzar una mayor productividad.



3. Coeficiente de extinción (K)

Mide el comportamiento de la distribución de la luz al ser interceptada a través del dosel del cultivo.

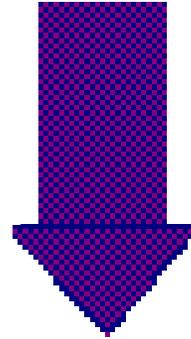


3. Coeficiente de extinción (K)

Mide el comportamiento de la distribución de la luz al ser interceptada a través del dosel del cultivo.

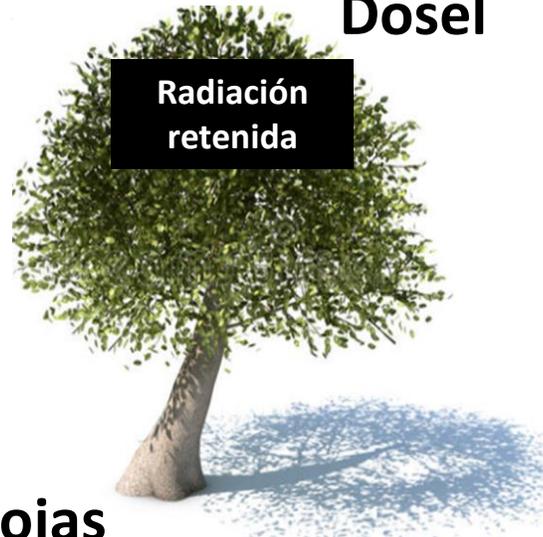


Radiación solar
incidente



Dosel

Radiación
retenida



Estructura del dosel

- ✓ Índice de área foliar (IAF).
- ✓ Ángulo de inserción de las hojas

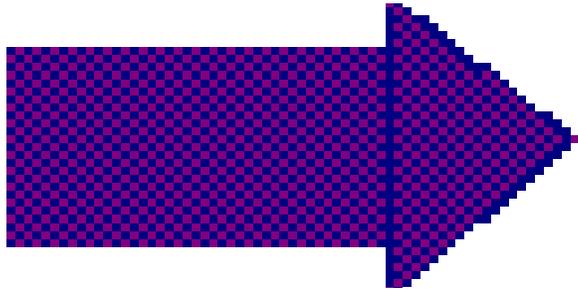
Radiación solar
transmitida

3. Coeficiente de extinción (K)

Mide el comportamiento de la distribución de la luz al ser interceptada a través del dosel del cultivo.



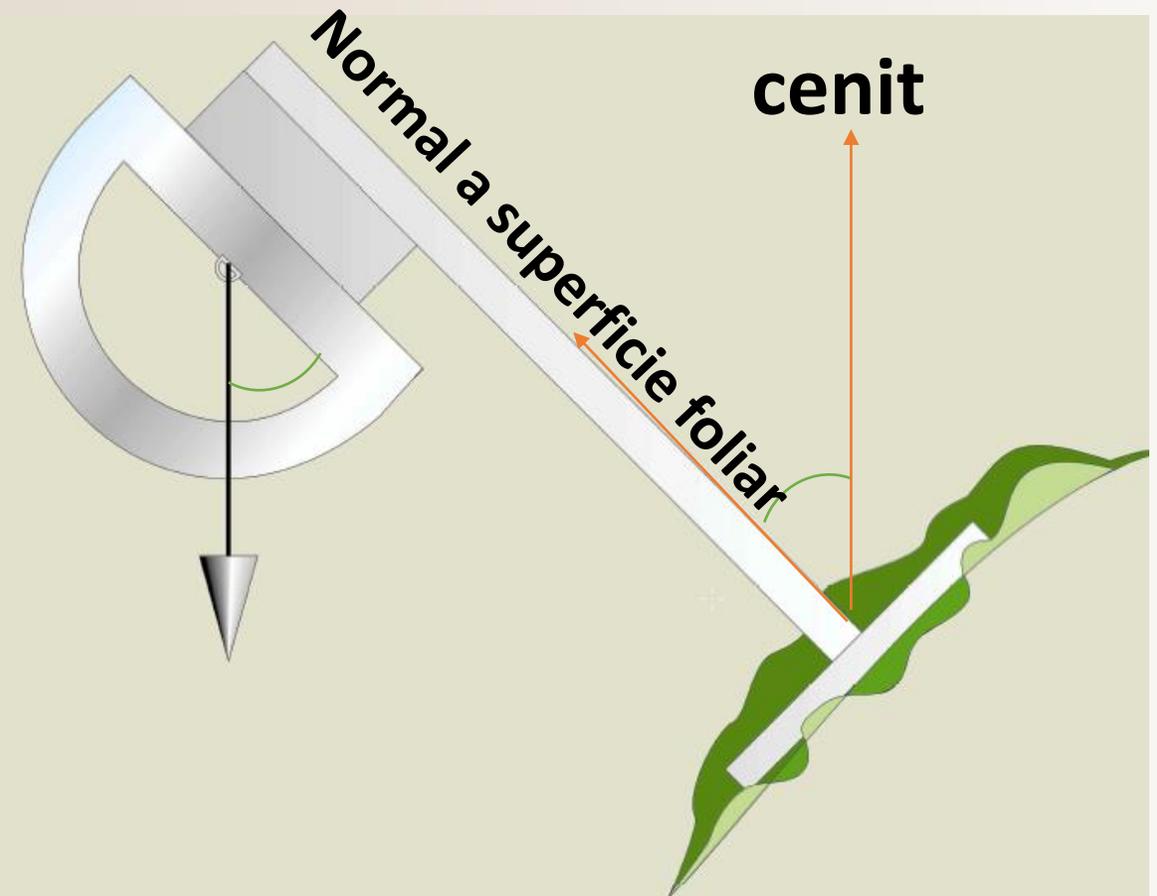
Radiación solar
incidente



Radiación
transmitida

✓ Ángulo de los paneles de la persiana

Ángulos de inserción de las hojas



Dosel y ángulos de inserción de las hojas



Tipo de Hojas

Frecuencia predominante

Erectófilas

$> 45^\circ$

Plagiófilas

$= 45^\circ$

Planófilas

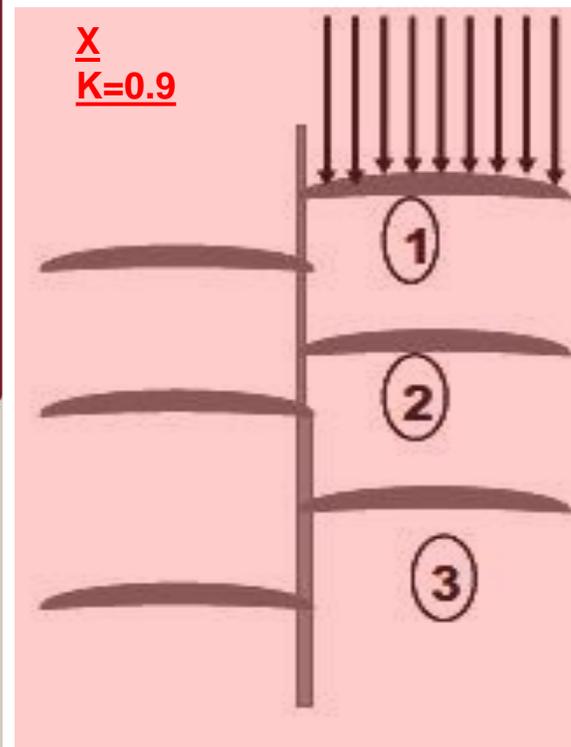
$< 45^\circ$



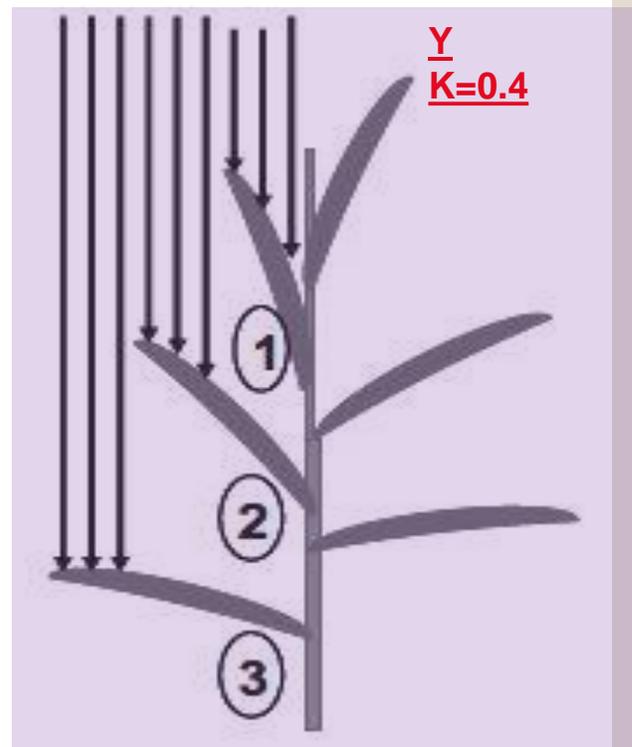
Coeficiente de extinción y Fotosíntesis



Estructura Dosel



Hojas Planófilas



Hojas Erectófilas

	PPFD		Fotosíntesis	
	mol m ⁻² d ⁻¹			
Capa del Dosel	X	Y	X	Y
①	21.43	10.57	1.06	0.81
②	4.62	8.91	0.48	0.74
③	1.00	7.52	0.02	0.68
Total	27.05	27.00	1.56	2.23
Eficiencia			0.033	0.046

DISTRIBUCIÓN LUMÍNICA EN EL DOSEL EN PROGENIES DE LA VARIEDAD COLOMBIA Y CASTILLO®



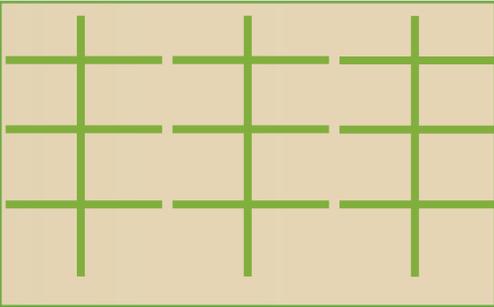
Hojas erectófilas

Hojas planófilas

Coeficiente de extinción y densidad de siembra

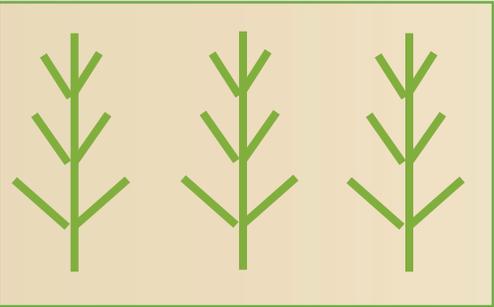


Planófila



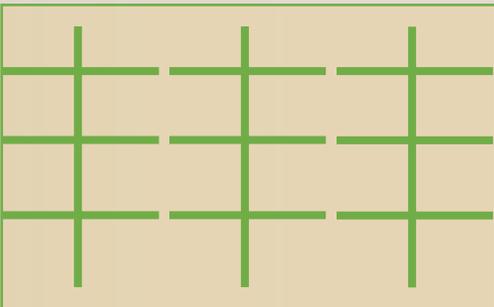
3 planta / área

Erectófila



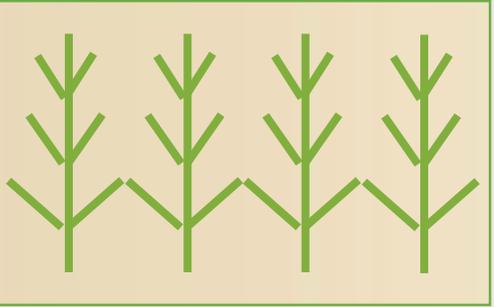
3 planta / área

Planófila



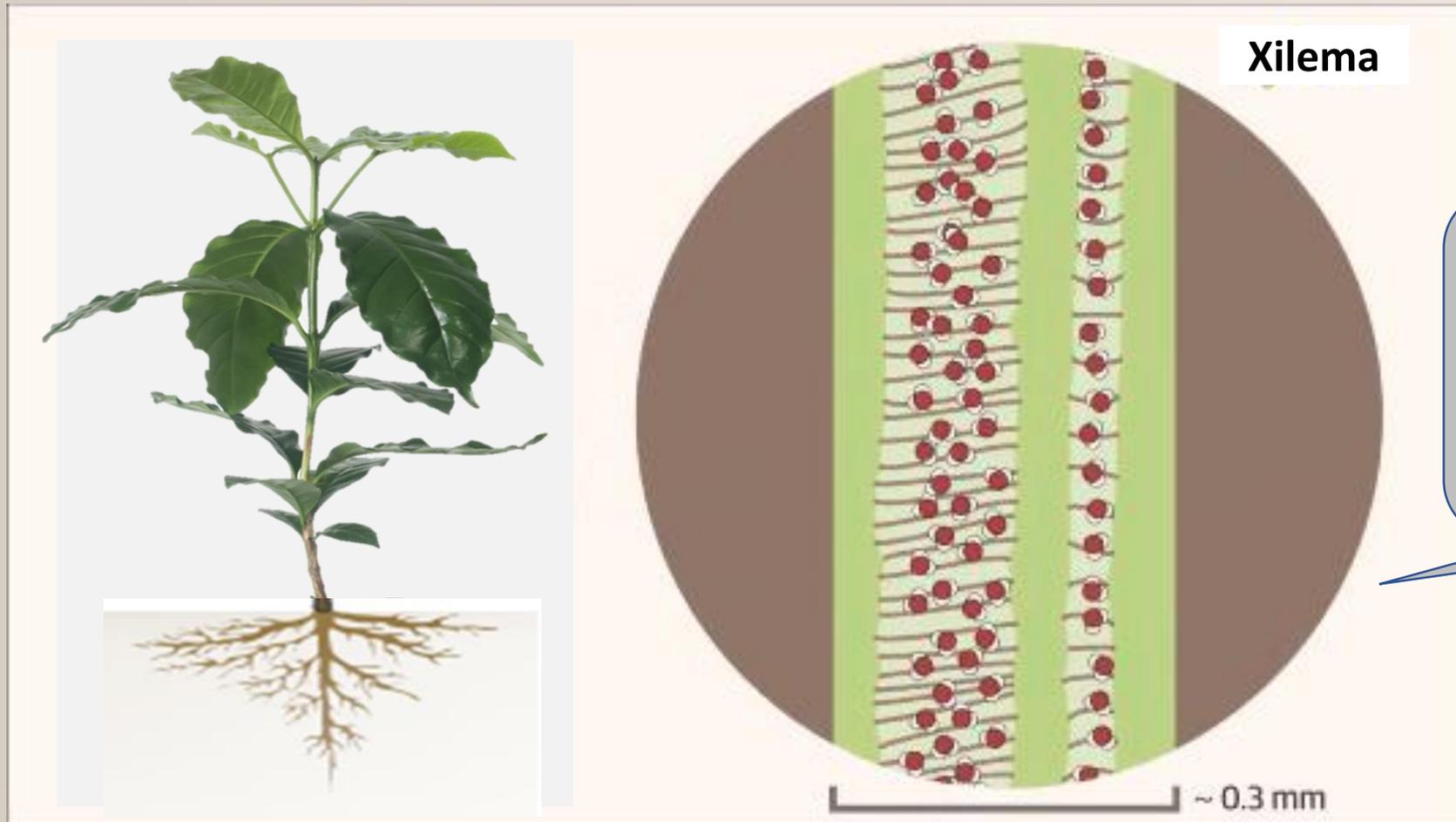
3 planta / área

Erectófila



4 planta / área

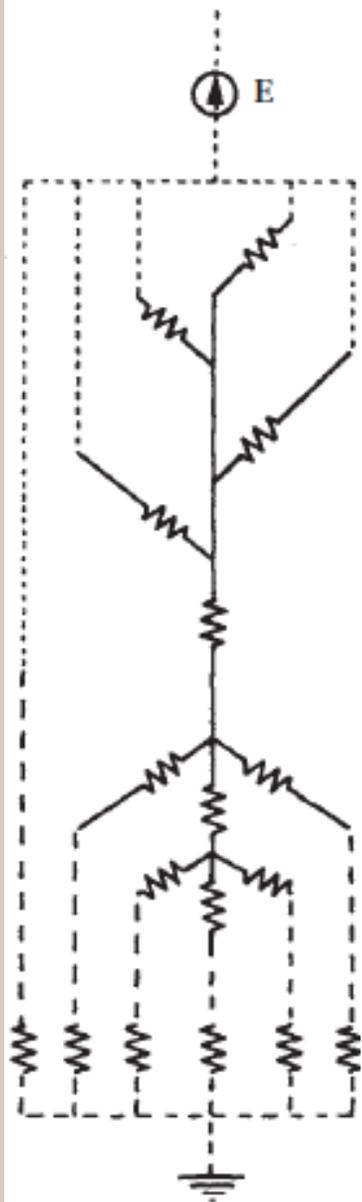
4. Conductancia Hidráulica



K_p
Capacidad del agua de viajar desde la raíz hasta las hojas, donde el agua es transpirada al ambiente

$K_p = 1/\text{resistencia hidráulica.}$

4. Conductancia Hidráulica



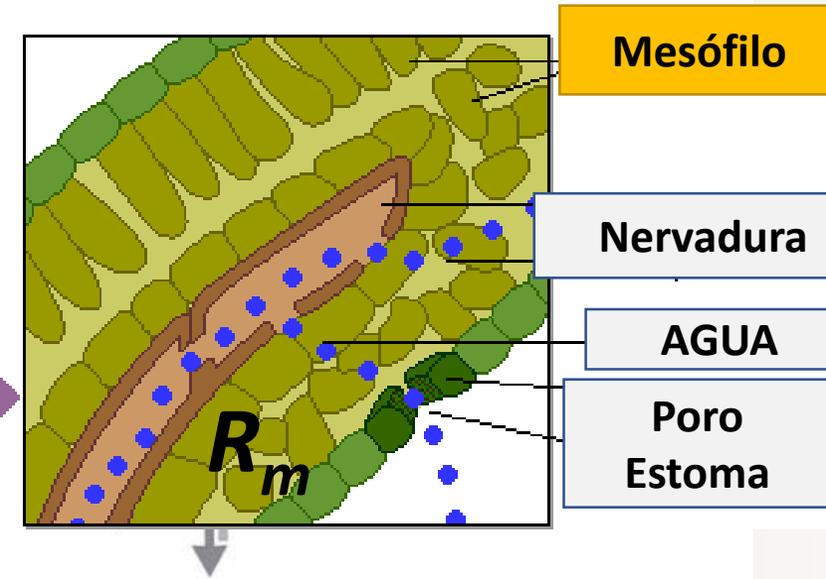
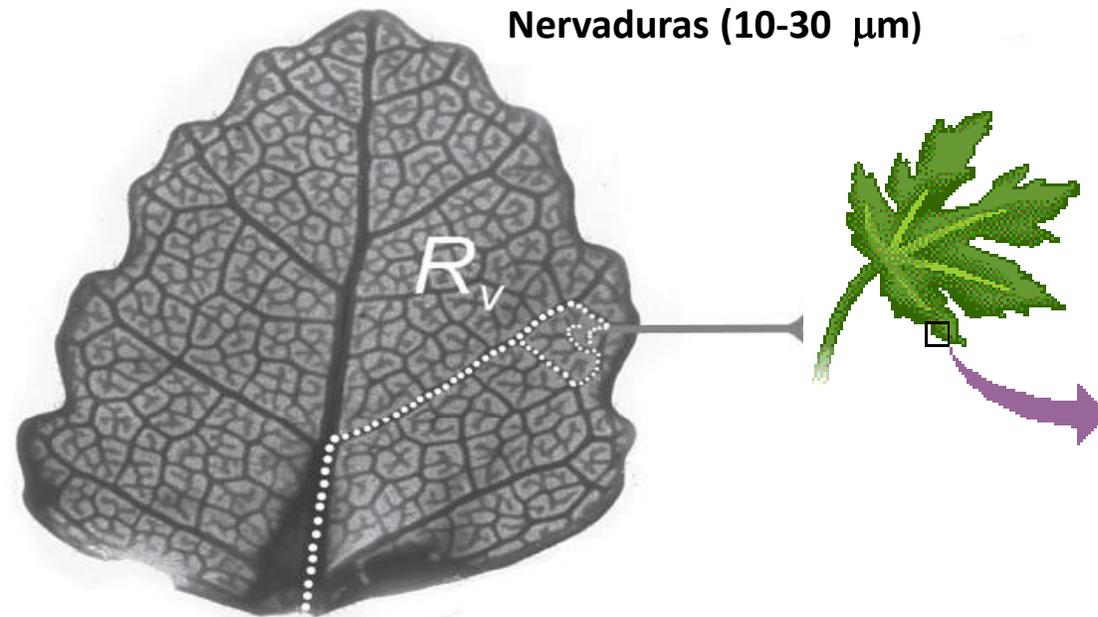
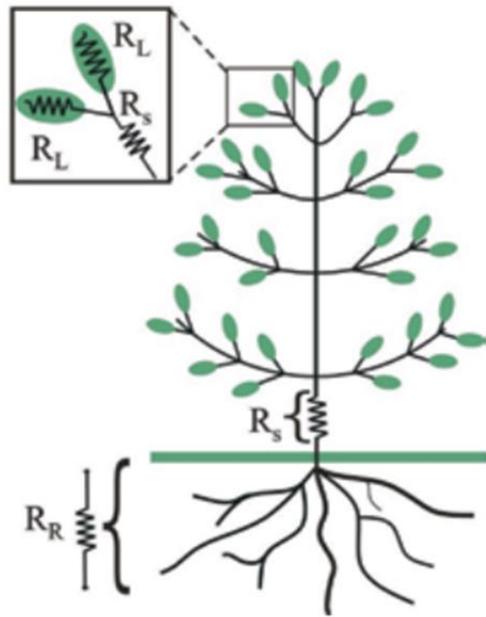
Localización	ψ (MPa)
Aire	-95.1
Hojas	-0.8
Xilema tallo	-0.8
Xilema raíz	-0.6
Suelo (raíz)	-0.5
Suelo	-0.3

K Foliar
Capacidad del agua de viajar a través de la hoja

K Tallo
Capacidad del agua de viajar a través del tallo

K Raíz
Capacidad del agua de viajar por la raíz

4. Conductancia Hidráulica Foliar



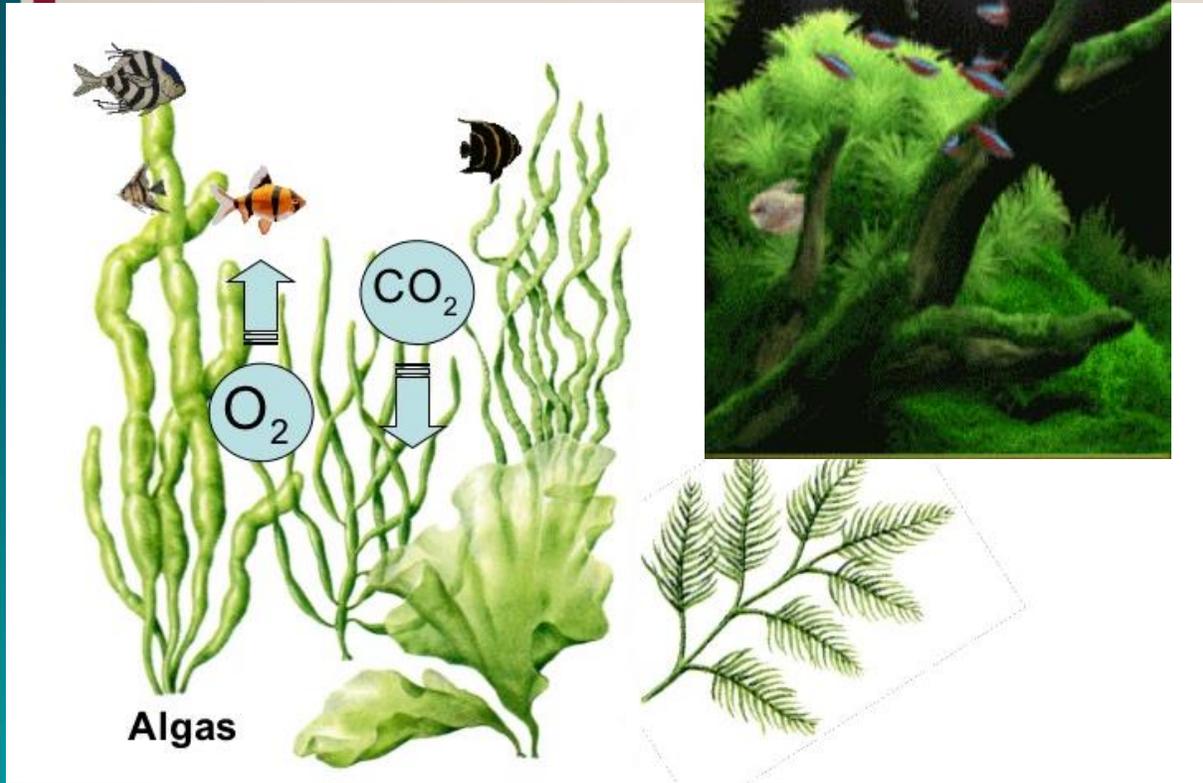
- R_v : Resistencia del flujo de agua por la nervadura.
- R_m : Resistencia flujo del agua por la células del mesófilo.

4. Conductancia Hidráulica Foliar: Fijación del CO₂



Coeficiente Difusión CO₂_{agua} = 0.00178 mm²/s*

Coeficiente de Difusión CO₂_{aire} = 16 mm²/s*

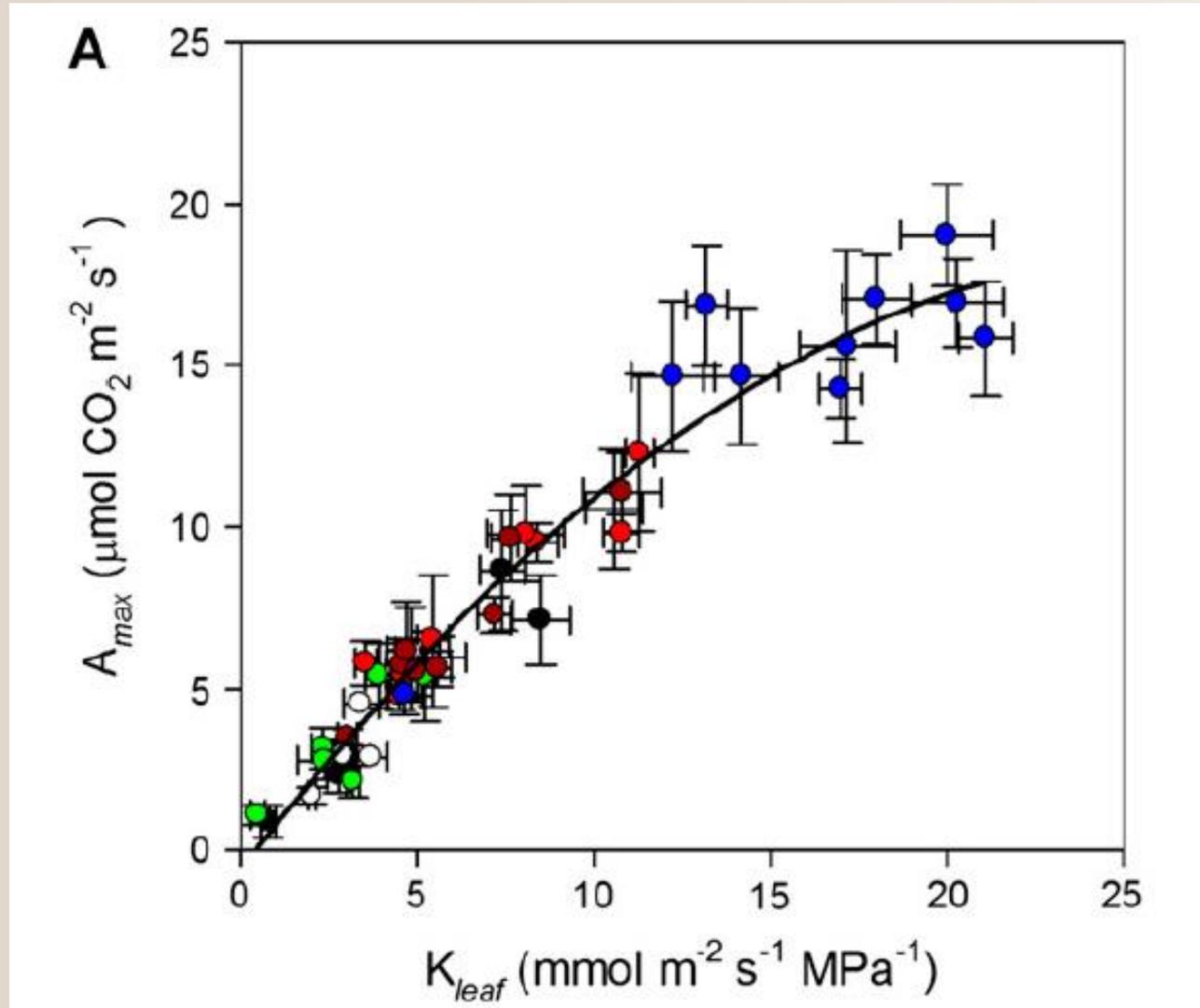


Costo fisiológico

1 molécula CO₂ /150 moléculas H₂O

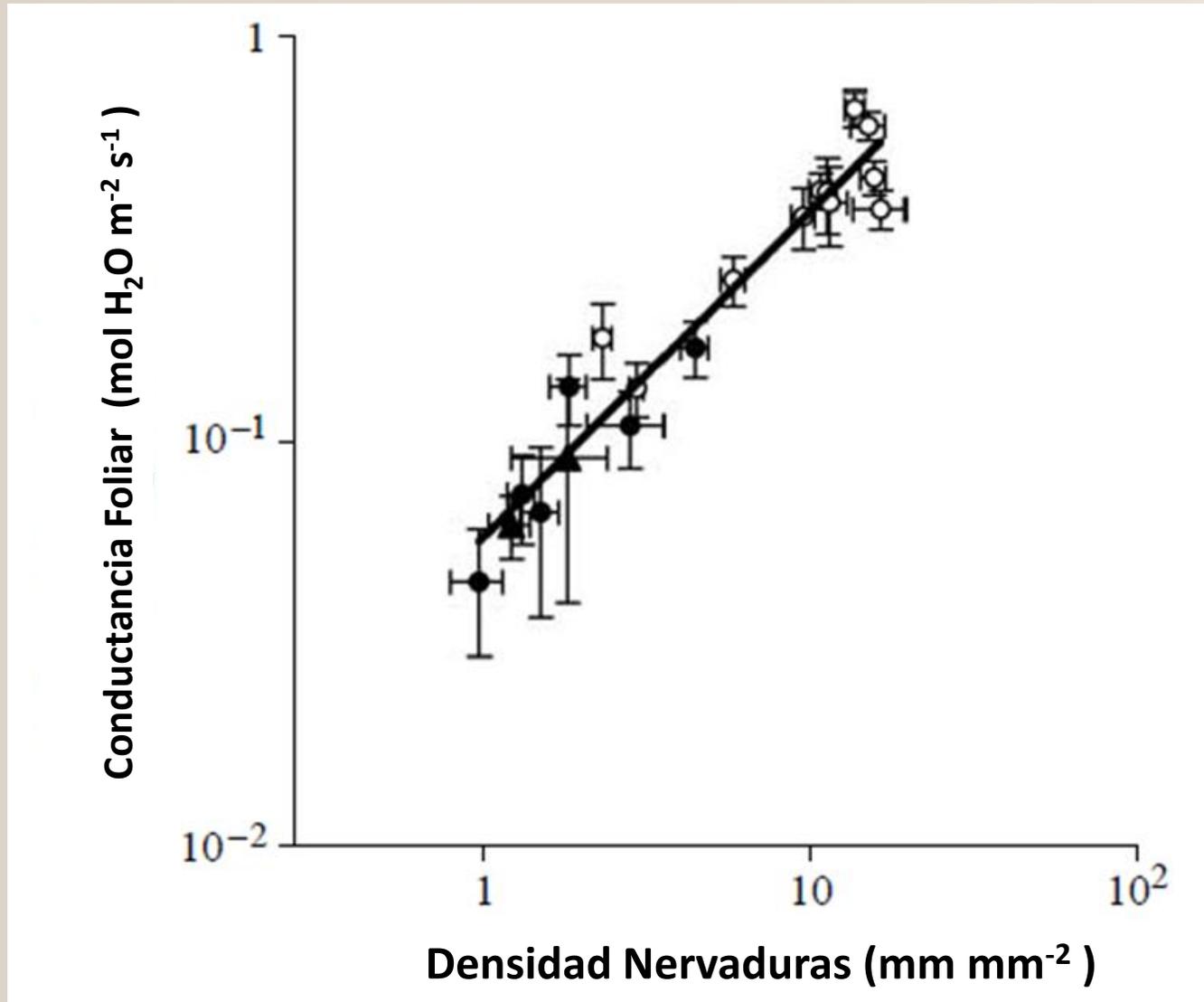
(*) Presión atmosférica al nivel del mar

Fotosíntesis y Conductancia Hidráulica Foliar



- Briofitas ●
- Lycopodios ○
- Helechos ●
- Coníferas ●
- Angiospermas ●

Conductancia Hidráulica y Densidad de nervaduras



Coníferas



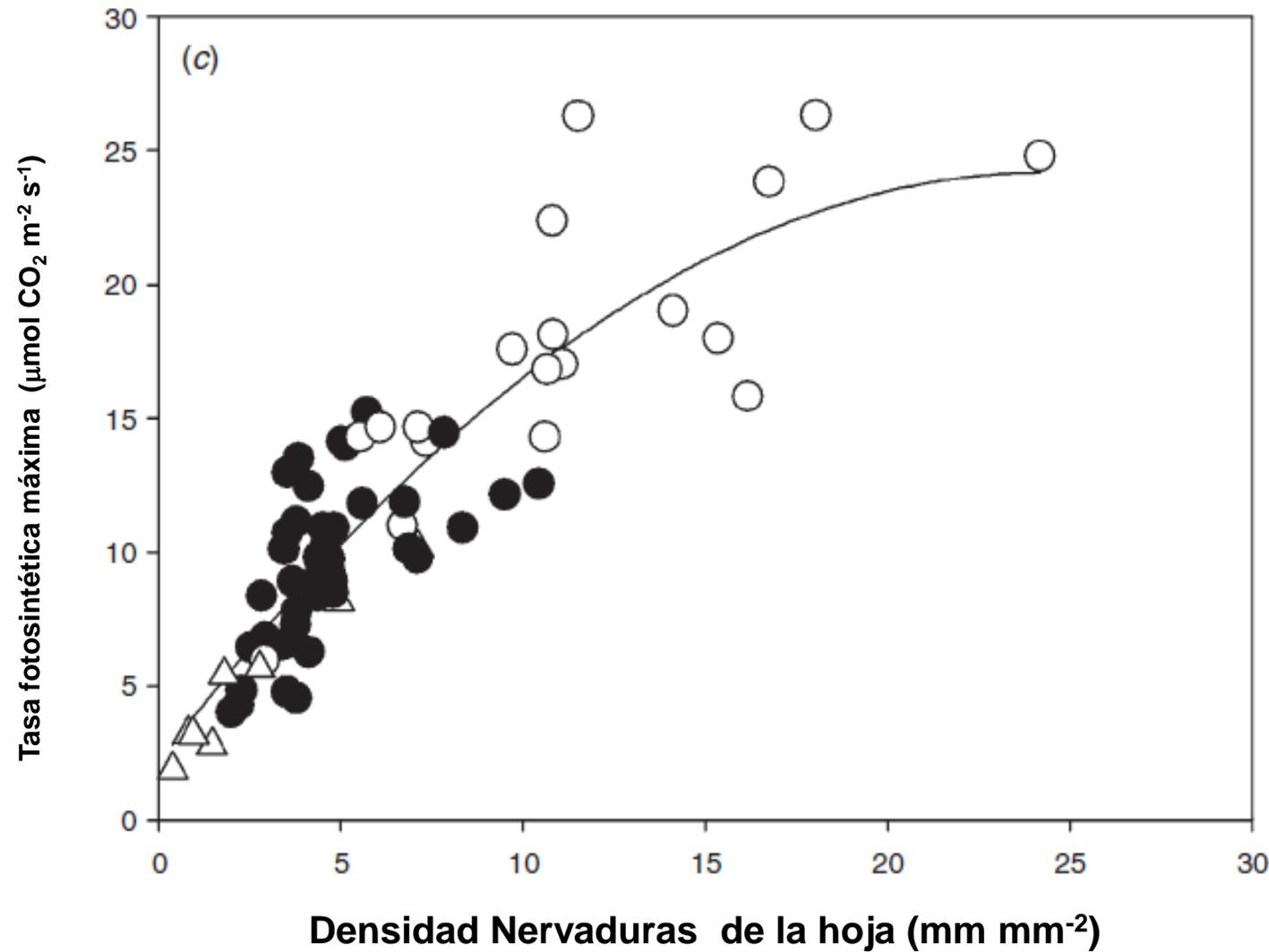
Helechos



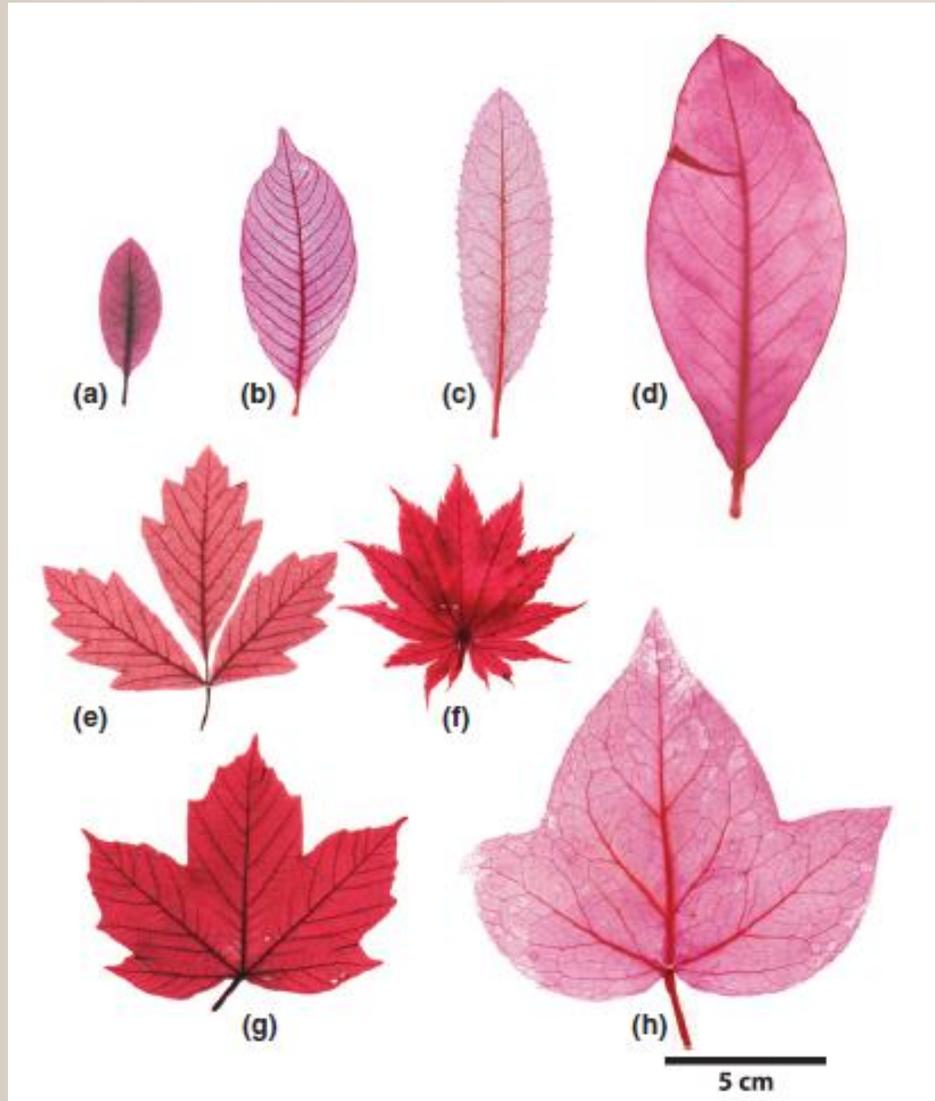
Angiospermas



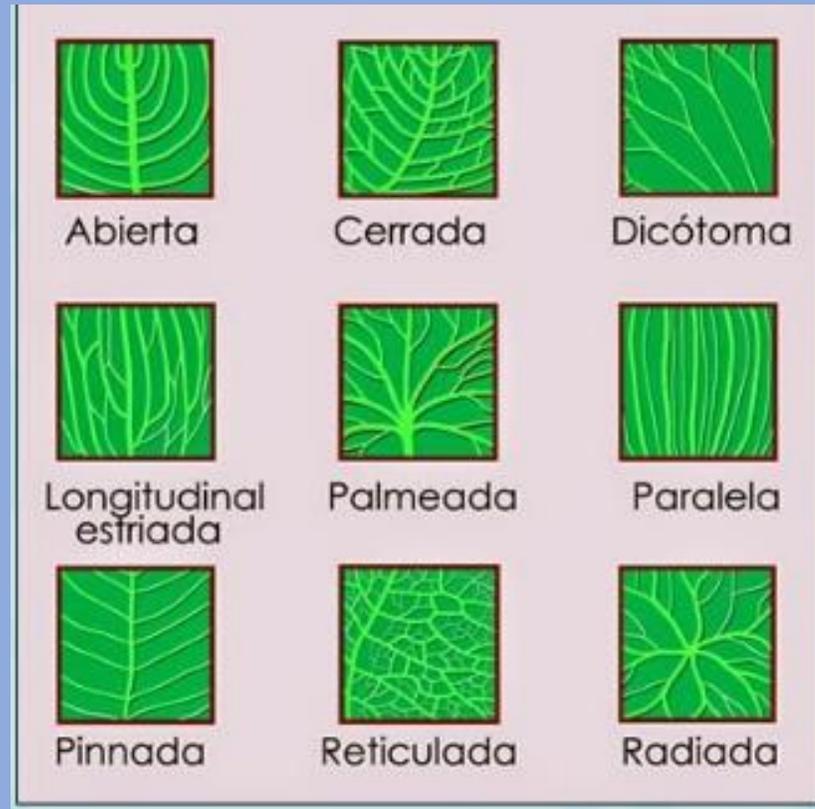
Fotosíntesis y Densidad de Nervaduras



Arquitectura Hidráulica de la Hoja



TIPOS DE NERVADURAS

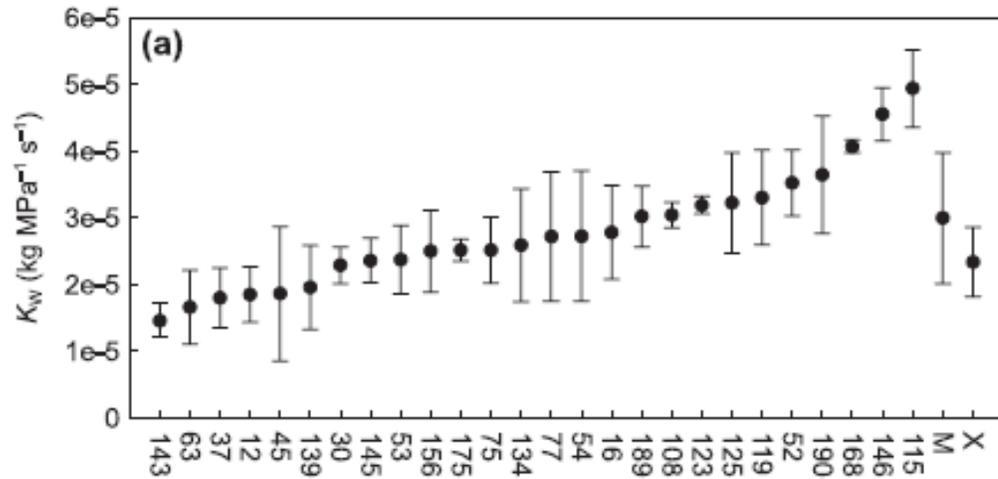


a) *Comarostaphylis diversifolia*, b) *Trichilia elegans*; c) *Heteromeles arbutifolia*; d) *Magnolia grandiflora*; e) *Acer griseum*; f) *Acer japonicum*; g) *Acer diabolicum*; h) *Hedera canariensis*



GIFMANIA

Covariación genética entre conductancia foliar y fotosíntesis (*Avena barbata*)



Variación genética conductancia hidráulica

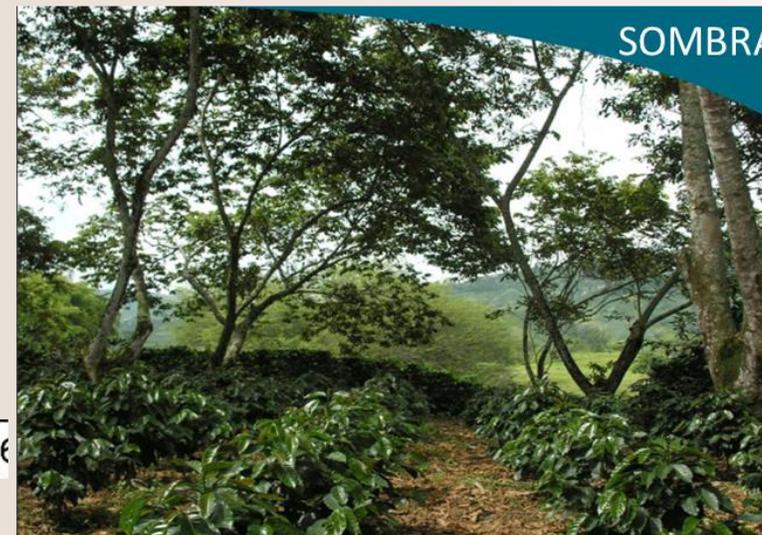
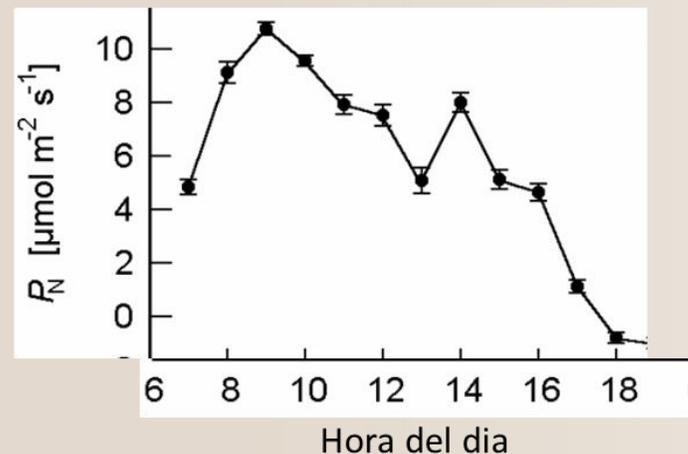
	K_w	A	g_s	TF	Biomasa
Conductancia Hidráulica (K_w)		0.096	0.042	-0.167	0.051
Tasa fotosintética (A)	0.456***†		0.549***†	-0.072	0.179
Conductancia estomática (g_s)	0.346*	0.492**		-0.074	-0.096
Tiempo de floración (TF)	-0.2	-0.043	-0.154		-0.108
Biomasa	-0.093	0.365*	-0.114	0.163	

Genotípica

Fenotípica

Restricciones para la Fotosíntesis en *Coffea arabica*

Martins et al. (2014) PLoS One, 9(4), e95571.



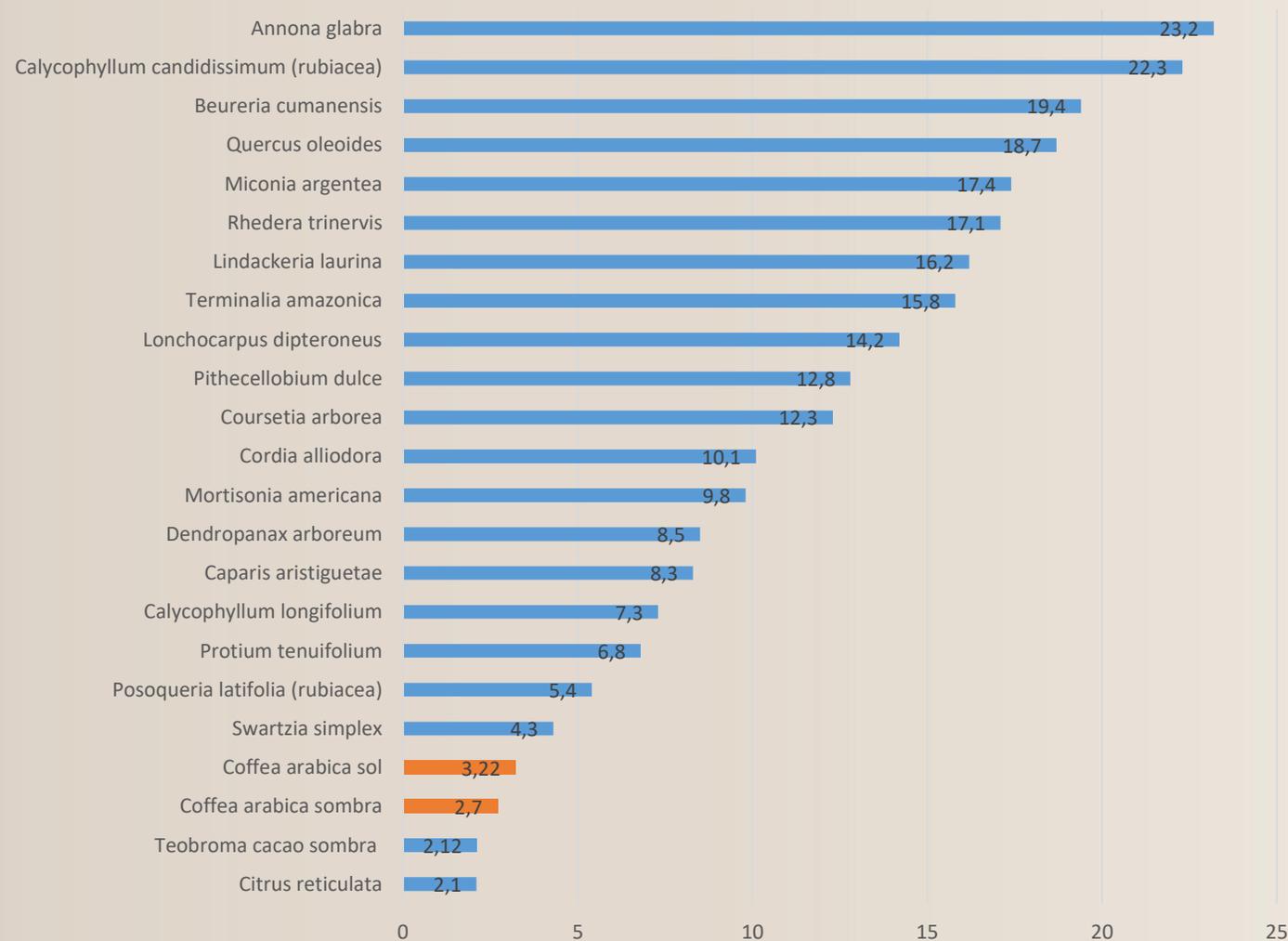
- *Coffea arabica* tiene una baja tasa fotosintética : $4\text{-}15 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en condiciones atmosféricas de CO_2 y de luz natural. Esta tasa es la más baja entre las especies de árboles tropicales.

- La baja tasa fotosintética de *C. arabica* es causada principalmente por restricciones hidráulicas de la hoja siendo la **CONDUCTANCIA HIDRAULICA FOLIAR** su principal factor.

Conductancia hidráulica foliar de especies perennes tropicales



Conductancia foliar ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{MPa}^{-1}$)



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



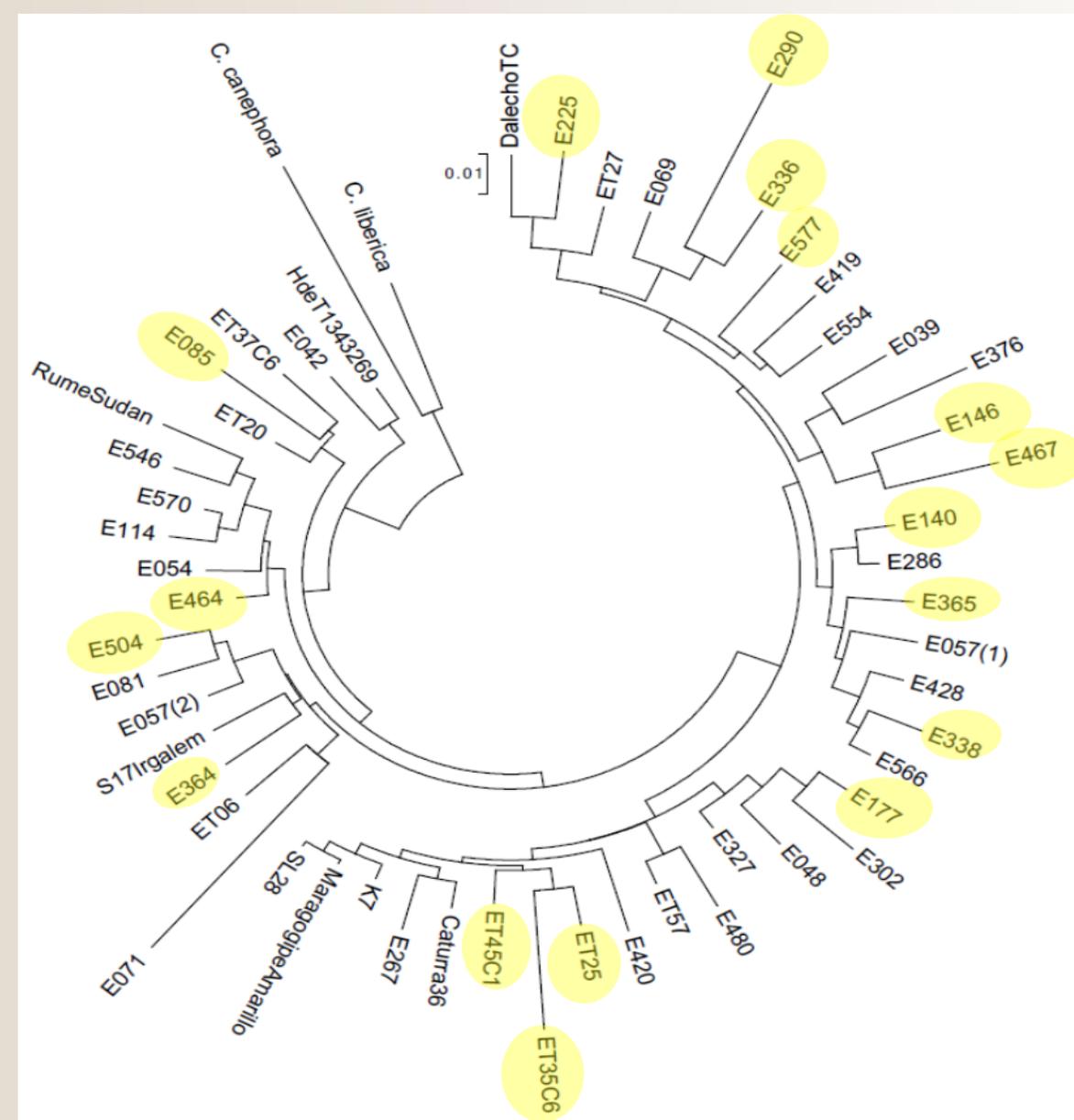
- ❑ La variabilidad fenotípica de la conductancia hidráulica foliar dentro de la colección de germoplasma de café es desconocida por lo que no sería posible su uso como alternativa para el mejoramiento de la fotosíntesis del café.

OBJETIVO

- ❑ Determinar la conductancia hidráulica foliar en accesiones de la colección núcleo de germoplasma de *Coffea sp.*

Localización y Material Vegetal:

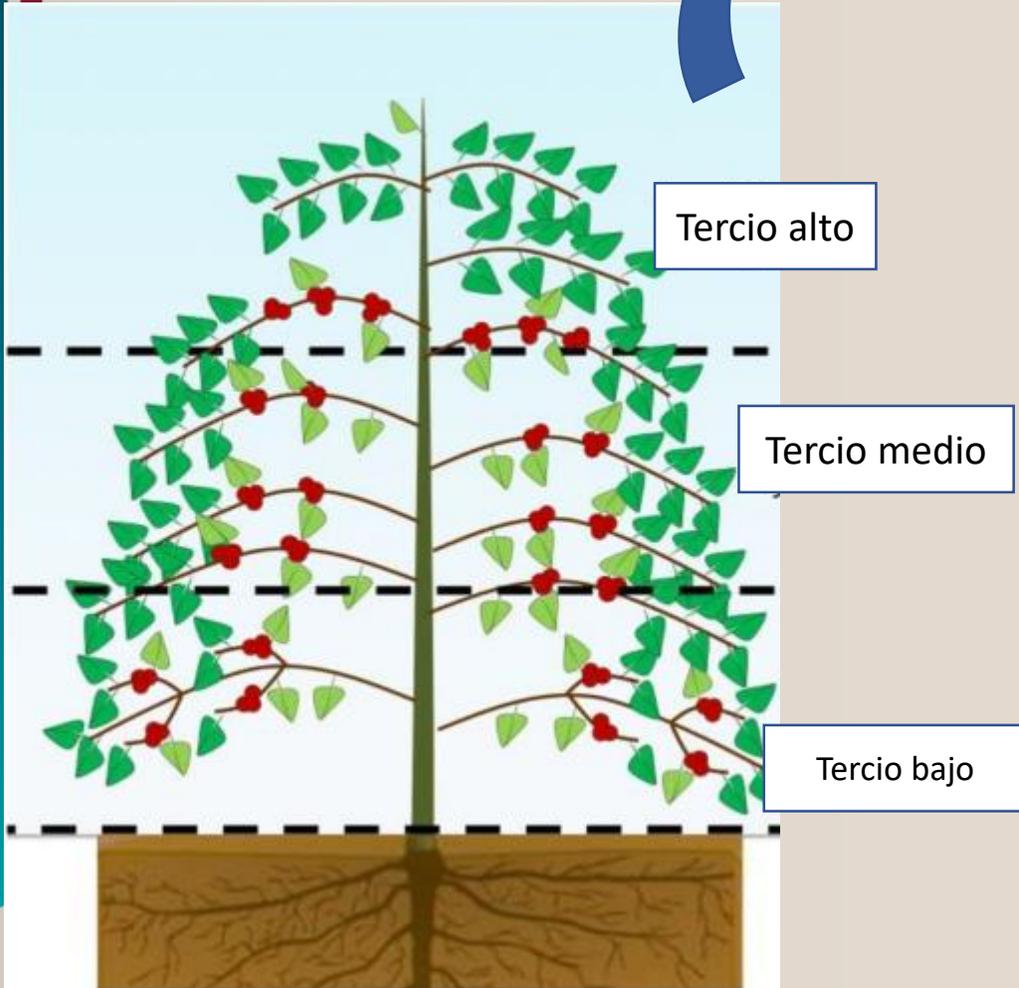
- ❑ Colección “núcleo” de germoplasma de *Coffea sp* (MEG11001):
 - 42 accesiones disponibles
 - Sembradas en E.E. Paraguaicito (Quindío)
 - 32 plantas /accesión
- ❑ 8 Progenies que conforman a la variedad Cenicafé 1.
- ❑ Muestras biológicas: Recolectadas en campo y llevadas al Laboratorio de la Disciplina de Fisiología (PlanAlto).



Agrupamiento genético de las accesiones de la “colección núcleo” de germoplasma de café mediante el método de Neighbor-Joining. Arbol optimo a escala de acuerdo a los valores de distancia genética pareada (Nei, 1972) entre las muestras

MUESTREO

4 Plantas /accesión



1 Rama/planta
(Tercio alto)

2 Hojas Sanas
Segundo par/Rama



8 Hojas/accesión



Método del Flujo Evaporativo



PROCEDIMIENTO

- 1. Medir el flujo hídrico a través de la lámina foliar (mmol Agua/s)**
- 2. Medir el potencial Hídrico de la hoja (Mpa)**
- 3. Medir el área foliar (m²)**
- 4. Realizar el cálculo de acuerdo a la ecuación**

Conductancia hidráulica foliar (K_F)

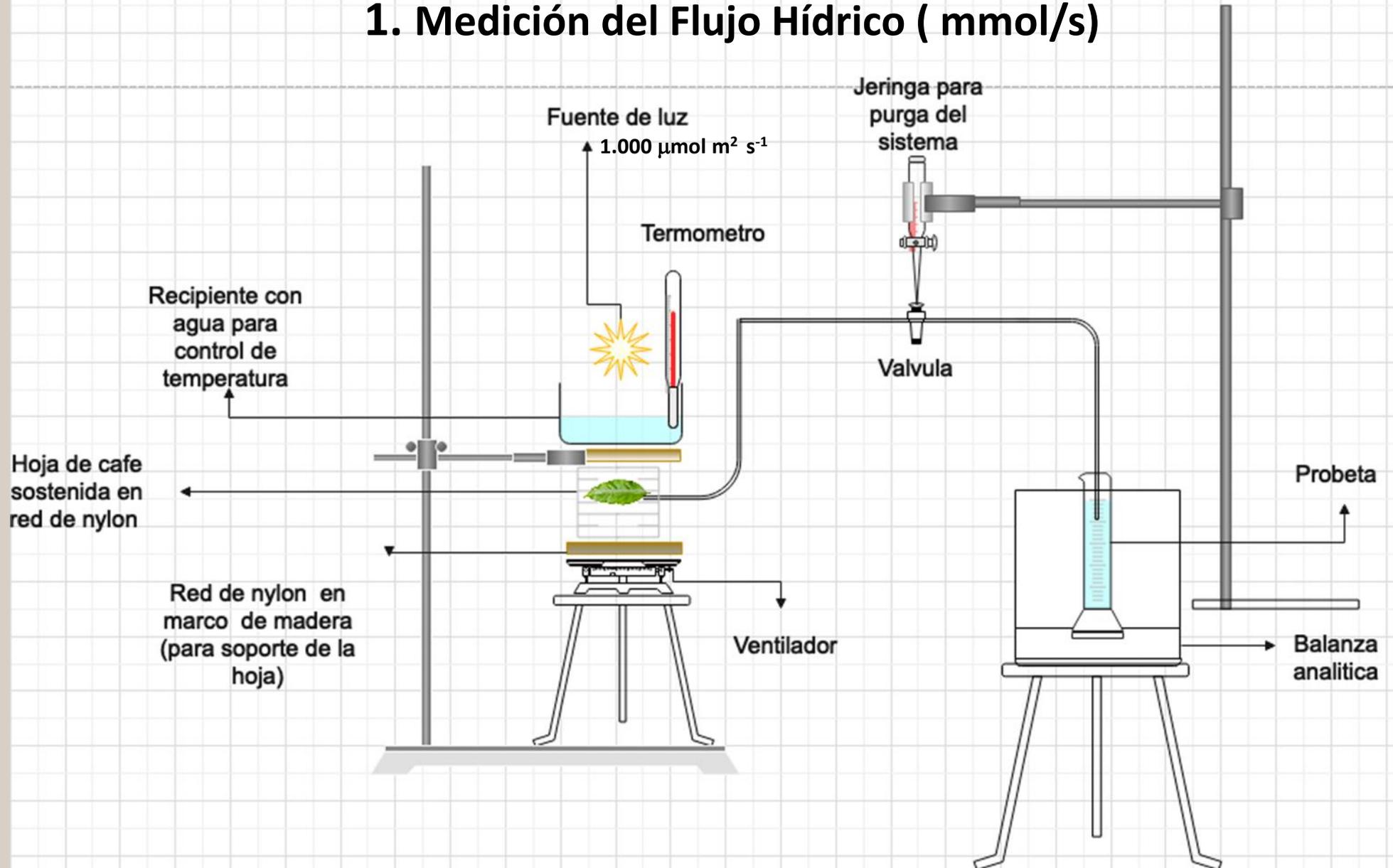
$$\text{Conductancia Hidráulica Foliar } (K_F) = \frac{\text{Flujo Hídrico Foliar}}{\text{Area foliar} * \text{Potencial Hídrico Foliar}}$$

$$K_F = (\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ MPa}^{-1})$$

Método de Flujo Evaporativo



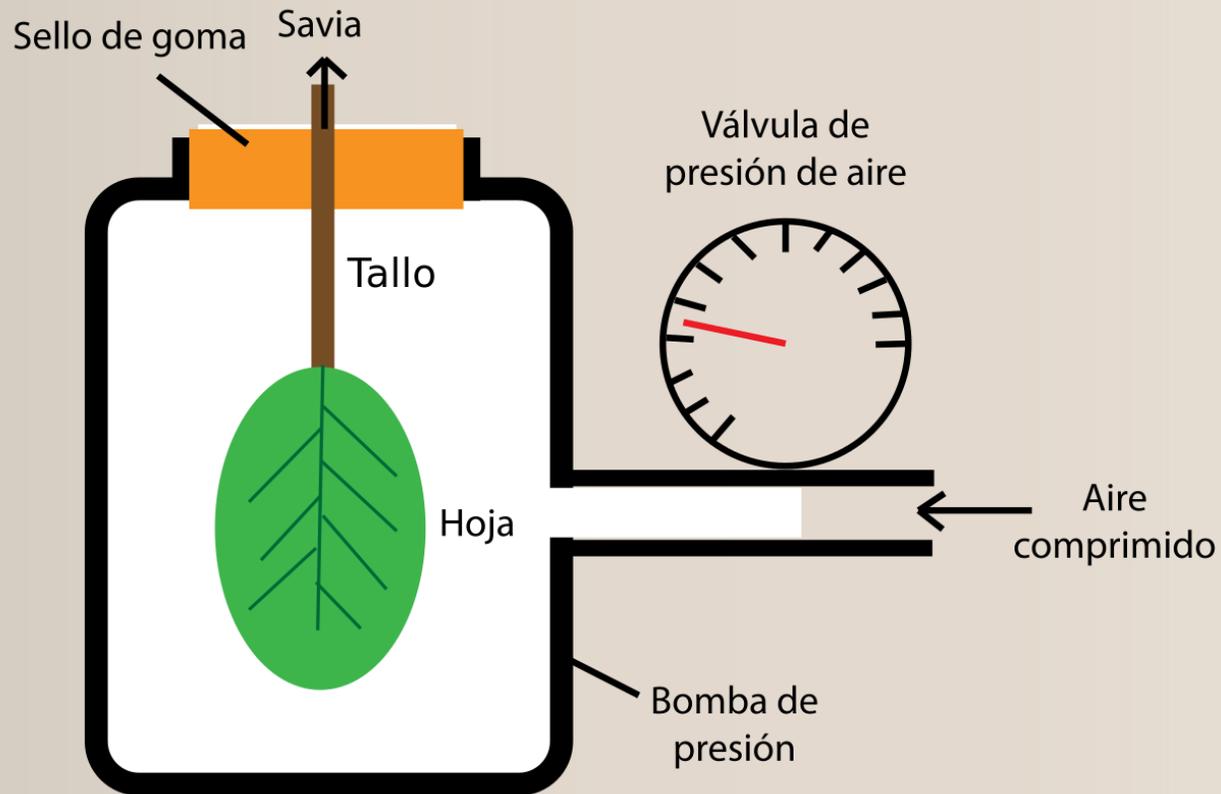
1. Medición del Flujo Hídrico (mmol/s)



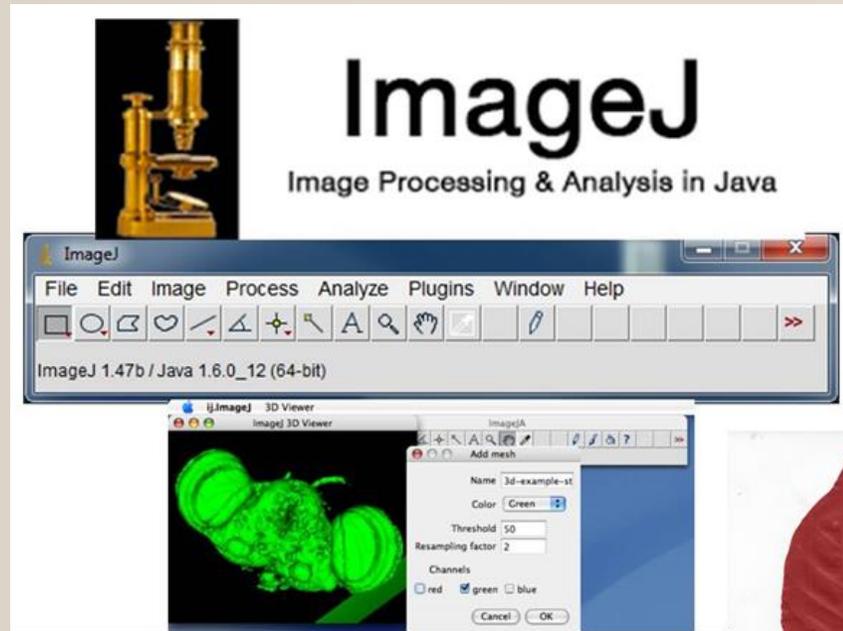
Método de Flujo Evaporativo



2. Medición del Potencial Hídrico Foliar



Bomba de Scholander



3. Area foliar (m²)



Análisis de la información



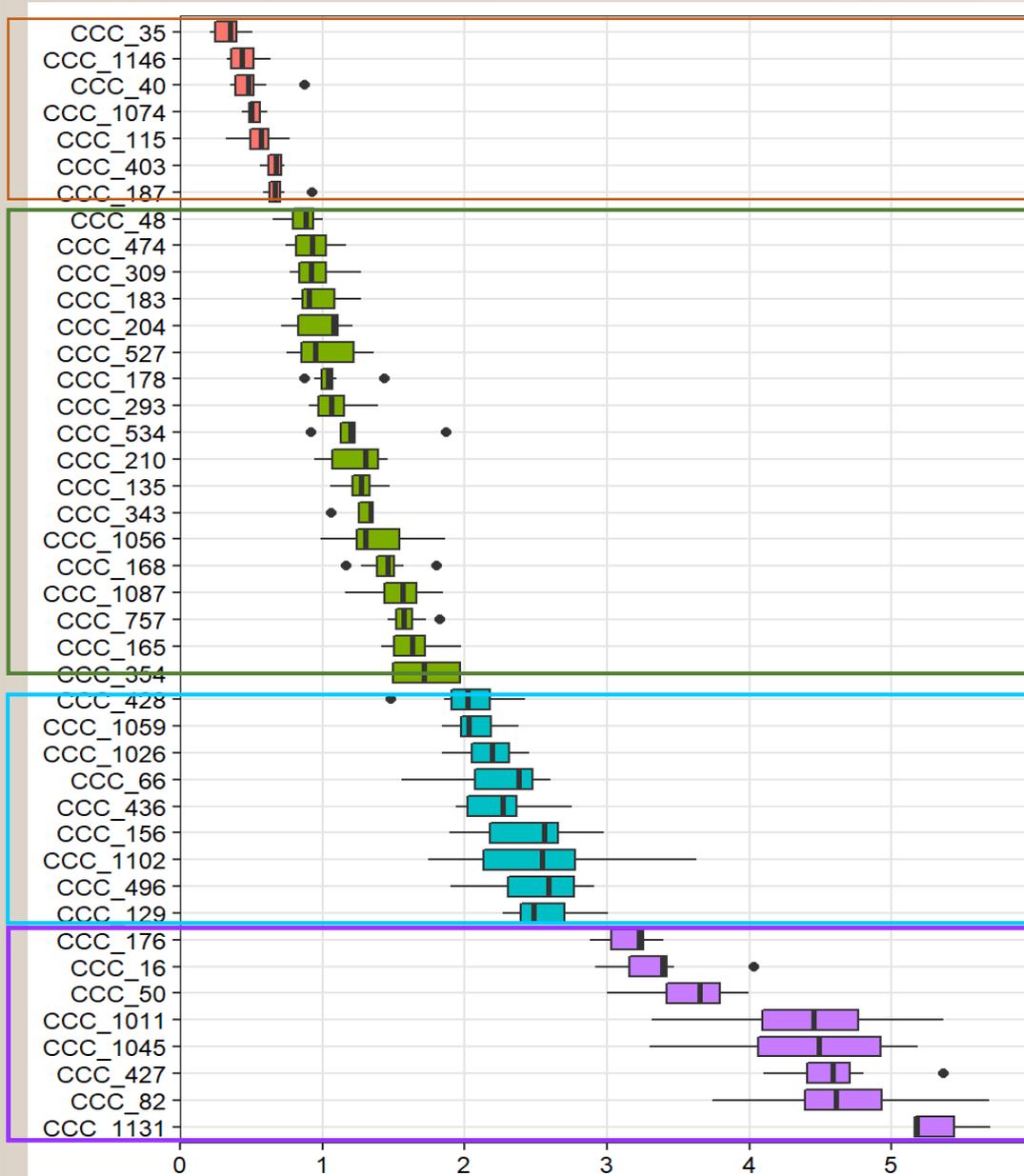
- La clasificación de las 42 accesiones y las 8 progenies de Cenicafé 1 se realizó mediante la distribución por cuartil de la variable K_F en cuatro grupos.
- Los grupos de K_F fueron analizados mediante un modelo anidado completamente aleatorio. La comparación múltiple de medias se realizó con la prueba estadística “REGWQ” al 5%.

Baja
16.7%

Moderada
42.8%

Alta
21.4%

Muy alta
19%



Grupo 1. Bajo 2. Moderado 3. Alto 4. Muy Alto

Accesión	MEDIA	D.E.	MEDIANA
AC53	0.336	0.1	0.347
ET.42	0.449	0.114	0.43
SL28	0.505	0.17	0.475
ET.35C6	0.519	0.067	0.501
Agaro.Kaffa	0.557	0.145	0.566
E.394	0.66	0.063	0.673
E.114	0.686	0.109	0.666
H de T.1343	0.854	0.129	0.884
E.480	0.932	0.15	0.928
E.290	0.959	0.175	0.919
E.085	0.98	0.179	0.906
E.140	0.989	0.189	1.072
E.546	1.025	0.236	0.949
E.071	1.062	0.167	1.035
E.267	1.085	0.156	1.063
E.554	1.237	0.274	1.197
E.146	1.231	0.204	1.299
Caturra amarillo	1.268	0.17	1.272
E.327	1.272	0.143	1.335
ET.25	1.387	0.288	1.301
E.057	1.453	0.189	1.458
ET.37C6	1.533	0.285	1.565
Magarogipe	1.594	0.124	1.57
E.054	1.637	0.189	1.628
E.338	1.724	0.316	1.709
E.420	2.019	0.289	2.02
ET.27	2.071	0.172	2.024
C.iberica excelsa	2.166	0.259	2.188
Geisha.A	2.25	0.36	2.378
E.428	2.261	0.282	2.266
E.042	2.457	0.374	2.558
ET.45C1	2.55	0.659	2.541
E.504	2.518	0.339	2.589
K.7	2.559	0.265	2.485
E.069	3.151	0.183	3.225
Rume.Sudan	3.352	0.339	3.387
Dalecho.TC	3.574	0.351	3.648
C.canephora	4.397	0.845	4.455
ET_06	4.392	0.708	4.491
E.419	4.609	0.399	4.589
S.17.Irgalem	4.668	0.582	4.606
Catuai rojo	5.343	0.307	5.176

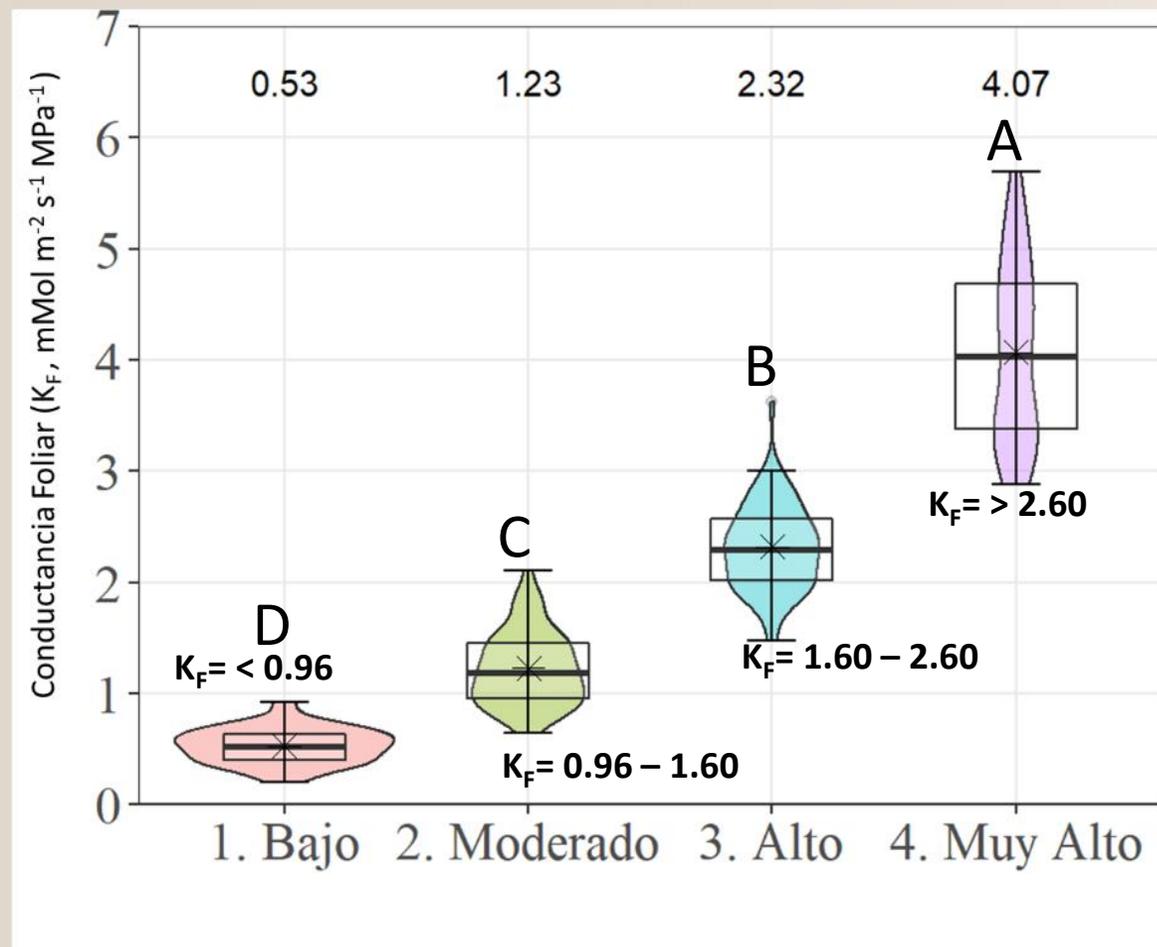


Conductancia
hidráulica foliar de las
accesiones de la
colección núcleo de
Coffea sp.



Accesiones prioritarias
para verificar
rendimiento
fotosintético

Resultados



ANOVA:(Df= 3; F= 1631.96, p= < 2.0 e-16)

Análisis estadístico de la K_F con respecto a la distribución por cuartil para las 42 accesiones de la colección núcleo de germoplasma de *Coffea sp.*

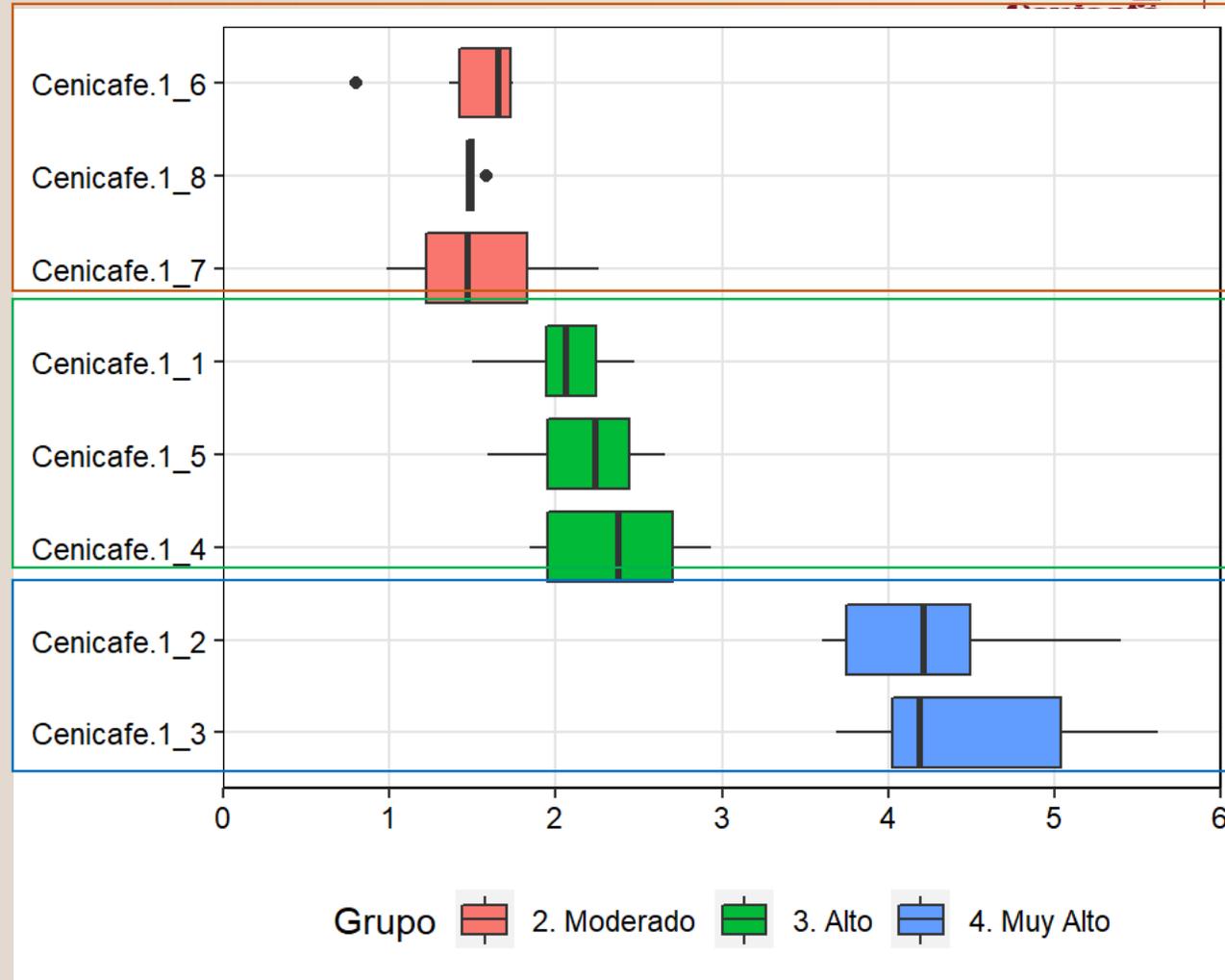
Conductancia hidráulica foliar de las progenies de la variedad Cenicafé 1



Moderada
37.5%

Alta
37.5%

Muy alta
25%



Variedad Cenicafé 1 (Progenies)	Media	Desv. Estándar	Mediana
Cenicafé 1(6)	1.49	0.370	1.65
Cenicafé 1(7)	1.54	0.467	1.47
Cenicafé 1(8)	1.49	0.043	1.49
Cenicafé 1(1)	2.05	0.309	2.06
Cenicafé 1(4)	2.36	0.461	2.37
Cenicafé 1(5)	2.18	0.395	2.24
Cenicafé 1(2)	4.27	0.670	4.21
Cenicafé 1(3)	4.52	0.720	4.19

CONCLUSIONES



- ✓ En una atmósfera enriquecida con CO₂ la planta de café logró una mejor tasa fotosintética y un incremento en peso seco comparado con el testigo.



CONCLUSIONES



- ✓ En una atmósfera enriquecida con CO_2 la planta de café logró una mejor tasa fotosintética y un incremento en peso seco comparado con el testigo.
- ✓ Densidades de siembra mayores a 5.000 plantas/ha incrementan el índice de área foliar y optimizan la captura de luz por superficie de suelo lo que conduce a una mayor productividad del cultivo.



CONCLUSIONES



- ✓ En una atmósfera enriquecida con CO_2 la planta de café logró una mejor tasa fotosintética y un incremento en peso seco comparado con el testigo.
- ✓ Densidades de siembra mayores a 5.000 plantas/ha incrementan el Índice de área foliar y optimizan la captura de luz por superficie de suelo lo que conduce a una mayor productividad del cultivo.
- ✓ La variabilidad fenotípica en ángulos de las hojas de la especie *Coffea arabica* es muy baja limitando, hasta el momento, su uso en programas de mejoramiento genético de esta variable fisiológica.



CONCLUSIONES



- ✓ En una atmósfera enriquecida con CO_2 la planta de café logró una mejor tasa fotosintética y un incremento en peso seco comparado con el testigo.
- ✓ Densidades de siembra mayores a 5.000 plantas/ha incrementan el Índice de área foliar y optimizan la captura de luz por superficie de suelo lo que conduce a una mayor productividad del cultivo.
- ✓ La variabilidad fenotípica en ángulos de ramas y hojas de la especie *Coffea arabica* es muy baja limitando su uso en programas de mejoramiento genético de esta variable fisiológica.
- ✓ La conductancia hidráulica foliar de las 42 accesiones que conforman la colección núcleo de germoplasma del café mostró variabilidad fenotípica y podría utilizarse como alternativa para mejorar la fotosíntesis del café.



CONCLUSIONES



- ✓ En una atmósfera enriquecida con CO₂ la planta de café logró una mejor tasa fotosintética y un incremento en peso seco comparado con el testigo.
- ✓ Densidades de siembra mayores a 5.000 plantas/ha incrementan el Índice de área foliar y optimizan la captura de luz por superficie de suelo lo que conduce a una mayor productividad del cultivo.
- ✓ La variabilidad fenotípica en ángulos de las hojas de la especie *Coffea arabica* es muy baja limitando su uso en programas de mejoramiento genético .
- ✓ La conductancia hidráulica foliar de las 42 accesiones que conforman la colección núcleo de germoplasma del café mostró variabilidad fenotípica.
- ✓ Ninguna de las progenies de la Variedad Cenicafé 1 quedó clasificada dentro del grupo de conductancia hidráulica baja lo cual es muy relevante para el desempeño hidráulico de esta variedad.

AGRADECIMIENTOS



- **Ministerio de Ciencias Tecnología e Innovación: Contrato Estancia Post-doctoral # 80740-044-2021**
- **Cristian David Camilo: Beneficiario estancia Post-doctoral**
- **Natalia Flechas, Asistente de Investigación, Disc. de Fisiología**
- **Carlos Andrés Unigarro, Investigador Científico 1 , Disc. de Fisiología**
- **Mario Franco, Claudia Valencia, Marcela Mora y Bibiana Escobar, Auxiliares de Investigación, Disc. de Fisiología**
- **Disciplina de Experimentación: Daniel Franco, Estación experimental Paraguaicito**
- **Disciplina de Mejoramiento: Claudia Flórez, Luisa Fernanda López y Juan Carlos Arias**
- **Unidad Administrativa y Financiera- Of. de Contratos**
- **Gestión de Bienes y Servicios- Of. De Mantenimiento: Uriel López y Gabriel Ortiz**



Gracias

cenicafe@cafedecolombia.com 



www.cenicafe.org



agroclima.cenicafe.org



biblioteca.cenicafe.org



Cenicafé FNC



@cenicafe



cenicafé



CenicaféFNC

A Global Data Set of Leaf Photosynthetic Rates, Leaf N and P, and Specific Leaf Area

Overview

DOI	https://doi.org/10.3334/ORNLDAAC/1224
Version	1
Project	Vegetation
Published	2014-06-27
Updated	2023-10-15
Usage	1319 downloads
Citations	8 publications cited this dataset



326 especies tropicales. De la mayor a la menor tasa fotosintética, (25°C), el café ocuparía el último puesto.

Species	g_s $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	A $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	A_{max} $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	A_{max}/A	A_{pot} $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
Maize	140 gh	23.4 a	26.0 ab	1.11	34.7 a
Panic grass	141 gh	22.3 a	23.5 ab	1.05	33.0 a
Millet	210 def	25.0 a	27.3 ab	1.09	33.4 a
Sugarcane	164 fg	24.0 a	25.2 ab	1.05	33.9 a
Pigweed	209 def	26.3 a	29.4 ab	1.12	35.0 a
Sunflower	585 a	24.6 a	32.2 a	1.31	38.7 a
Soybean	272 cde	18.3 bc	25.0 ab	1.37	34.0 a
Common bean	203 ef	16.3 cd	31.9 a	1.96	37.5 a
Rice	374 b	10.3 ef	25.7 ab	2.50	31.1 a
Cotton	230 def	18.2 c	31.8 a	1.75	39.3 a
Cassava	198 fg	13.7 de	23.1 bc	1.69	35.7 a
Eucalyptus	320 bcd	14.4 cd	26.1 ab	1.81	33.4 a
Coffee	88 hi	5.9 g	23.8 ab	4.03	33.1 a
Rubber tree	67 i	5.0 g	27.0 ab	5.40	37.3 a
Cacao	120 hi	6.9 fg	14.7 c	2.13	20.4 b



Cultivo	Tasa Fotosíntesis
Girasol	27.69
Sorgo	35.98
Maíz	26
Caña Azucar	25.2
Soya	18.3
Frijol	16.3
Algodón	18.2
Cacao	6.9
Caucho	5
Té	3
Cítricos	12