

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**

DIVISIÓN DE EDUCACIÓN

PROGRAMA DE POSGRADO

**COMPORTAMIENTO DEL HIBRIDO DE MAÍZ DK-390 (*Zea mays* L.) BAJO
SOMBRA DE DOS SISTEMAS AGROFORESTALES MULTIESTRATO CEDRO
(*Cedrela odorata*) Y PORÓ (*Erythrina poeppigiana*)**

**Tesis sometida a consideración de la División de Educación y el Programa de
Posgrado**

como requisito para optar al grado de

MAGISTER SCIENTIAE

en Agroforestería y Agricultura Sostenible

Erika Mabel Arcos Acosta

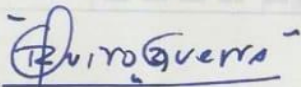
Turrialba, Costa Rica

2022

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero de la estudiante, como requisito parcial para optar por el grado de

**MAGISTER SCIENTIAE EN AGROFORESTERÍA
Y AGRICULTURA SOSTENIBLE**

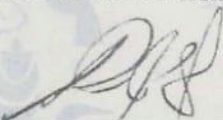
FIRMANTES:



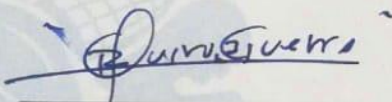
Roberto Quiroz Guerra, Ph.D.
Codirector de tesis



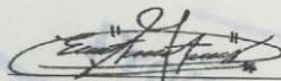
Guillermo Detlefsen Rivera, M.Sc.
Codirector de tesis



Pedro Avendaño Soto, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Roberto Quiroz Guerra, Ph.D.
Decano, Escuela de Posgrado



Erika Mabel Arcos Acosta
Candidata

DEDICATORIA

A toda mi familia, en especial, a mi amada madre Bertica, que a pesar de las circunstancias difíciles que pasó y aunque, en ocasiones, se sintiera derrotada, encontró la sabiduría para seguir caminando. Tu ejemplo, madre, me convirtió en una persona soñadora, valiente y humilde. Solo tú y yo sabemos cuántas situaciones difíciles tuvimos que afrontar, solo tú y yo sabemos nuestros sacrificios, lo que se siente no tener nada, pero también sabemos que tenernos la una a la otra es tenerlo todo. Tus consejos han dado muchos frutos, sé que estoy lejos de ser una hija perfecta, pero cada día trato de corregir mis errores, de ser mejor persona, de luchar con todas mis fuerzas por un mejor futuro para ti, para nuestra familia y por supuesto crecer como profesional para aportar al desarrollo rural, mi meta de vida.

A mi linda Yiya, gracias, tía, por ser mi segunda mamá, por creer en mí, por tu energía y tu luz. La vida es así, no la entiendo y no puedo cambiarla. Lo que sí puedo hacer es entregarte todos mis logros, alegría y gratitud. Superar tu partida, no es opción, eres inolvidable. ¿Quién lo diría no? Siempre me decías que era tu estrella favorita, ahora tú eres mi estrella favorita. Te mando un beso hasta el cielo y que todo el mundo se entere que fuiste y siempre serás luz eterna y permanecerás encendida en todos los corazones que tocaste. Seguiré luchando, alcanzare más logros por ti y nuestra familia. ¡Cuídate desde el cielo!

A mis mejores amigas, Kenia y María José, por ser mi familia y una bendición en mi vida. Mi madre, hermana y mis sobrinitos Santi y Mateito, que la vida me regalo en tierras lejanas.

A mi Violeta, llegaste a mi vida en el momento preciso. Mi ángel de cuatro patas.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, debo agradecer a quién me ha llevado de la mano en cada paso que me permitió llegar a este punto, quién me lleno de fuerzas, de valentía, de esperanza, cuando sentía decaer y siempre me mostró una salida a pesar de las circunstancias, a Dios. Él, que en todo momento está conmigo escuchando los anhelos de mi corazón y guiando mi destino.

A mi institución becaria AGROSSAVIA, a la Unión Europea e IICA por su respaldo y apoyo en esta investigación. Al CATIE, por acogerme desde hace cuatro años en mi pasantía, tesis de pregrado y ahora mi posgrado.

A mi consejero académico y de vida, PhD. Roberto Quiroz, a mis asesores MSc. Guillermo Detlefsen y MSc. Pedro Avendaño, Gracias por sus aportes, dedicación y paciencia con esta investigación. Por incentivar me a tomar importantes decisiones y respetar mis sugerencias e ideas. Por creer en mí, por sus palabras de aliento, cuando más las necesite. El aprendizaje que me llevo es invaluable.

A todos los profesores de la Escuela de Posgrado, gracias por compartir sus conocimientos y experiencias. Donde quiera que vaya, los llevaré conmigo en mi desarrollo profesional. En especial al PhD. Fernando Casanoves y al MSc. Eduardo Corrales, quienes no dudaron en brindarme su asesoría y apoyo, sin importar el día o la hora. A todos los administrativos y conserjes, pues hacen que la vida catiana se más llevadera.

A mis compañeros y amigos de promoción, quienes compartieron conmigo esta maravillosa aventura en medio de una pandemia mundial que nos cohibió de disfrutar en su esplendor este proceso. Gracias porque a pesar de todo siempre estuvieron ahí con una palabra de aliento, un mensaje o un abrazo cuando todo se ponía difícil. A mis adorados amigos Cecita, Yoselyn, Venuz, Madeline, Yolany, Angélica, Tatiana, Paty, Enelvi, Jason, Felix, Heber, Nelson, Leo, Rony, Norman; gracias infinitas, pues aprendí muchísimo de cada uno de ustedes. Hoy se cierra un capítulo maravilloso en nuestra historia de vida y no puedo dejar de agradecerles por su apoyo y constancia, por compartir horas de estudio, comidas, risas y llantos.

A mis amigos del mejor trabajo que alguien pudiera tener. A mis enanos y mi hermosa Pitufina. Arturito, un ángel en mi camino, no me alcanza la vida para agradecerle todo el apoyo que me ha brindado. Alejandro, Ever y Eliecer por acompañarme en campo días enteros bajo el sol y la lluvia, por dar su mayor esfuerzo y por ser mi apoyo incondicional en todo el sentido de la palabra. A mi superBru, gracias por ser mi fortaleza, mi dosis de paciencia y ternura. A Guillermo y Carlos, por darme vía libre a proponer, por apoyarme en cada ocurrencia para nuestro huerto y el módulo caprino, un pequeño proyecto que cada día nos regala grandes frutos y satisfacción. A nuestros nuevos compañeros, Alison, Angie, Rigo, Jose María, Luis, Daniel, Elián, Fabián y Oswal, por su arduo trabajo y apoyo. Gracias a todos por sus detalles, las tardes de café, las flores, los chistes malos, los bailes raros, las palabras de aliento y por ser más que compañeros de trabajo, una familia. ¡All love for goats! Finalmente, gracias a todas y cada una de las personas que no alcanzo a mencionar aquí, pero que de alguna u otra manera han aportado para que este sueño se haga realidad.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
ÍNDICE DE CUADROS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
LISTA DE ACRÓNIMOS	VIII
1. RESUMEN.....	1
2. ABSTRACT.....	2
3. INTRODUCCIÓN.....	3
4. METODOLOGÍA	6
Localización	6
.....	7
Diseño experimental y variables medidas.....	7
Variables del cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.)	7
Determinación de biomasa aérea	8
Rendimiento.....	8
Índice de área foliar	9
Radiación y eficiencia en el uso de radiación	9
Manejo agronómico cultivo de maíz (<i>Zea mays</i>)	9
Características, estimaciones y rendimientos del componente arbóreo dentro del SAF	10
SAF cultivo en callejones: maíz (<i>Zea mays</i>) y poró (<i>Erythrina poeppigiana</i>)	10
SAF maíz (<i>Zea mays</i>) y cedro (<i>Cedrela odorata</i>)	11
Procesamiento de datos y análisis estadístico	13
5. RESULTADOS.....	15
Efecto de la sombra sobre variables de crecimiento en plantas del híbrido de maíz DK-390	15
.....	15
Días a floración masculina y femenina	15
Biomasa	15
Altura de planta.....	15
Número de hojas.....	15
Diámetro del tallo	15
Área Foliar (m² m²)	17
Eficiencia Uso de Radiación (g/MJ)	17
Efecto de la sombra sobre variables de rendimiento para el híbrido de maíz DK-390	18

Variables morfológicas y de rendimiento en R3 y R6	18
El peso seco de 1000 granos (PS1000)	19
Estimación de crecimiento y rendimiento del componente arbóreo del SAF maíz (<i>Zea mays</i>) y cedro (<i>Cedrela odorata</i>) mediante ecuaciones alométricas	19
Altura total (m)	19
Diámetro altura del pecho (1,3m de altura)	20
Volumen comercial	21
6. DISCUSIÓN	22
Rendimiento grano seco	22
Biomasa total	22
índice de Área Foliar	23
Días a floración masculina y femenina	23
Número de hojas	24
Altura de planta	24
Eficiencia de uso de radiación	24
Estimación de crecimiento y rendimiento del componente arbóreo del SAF maíz (<i>Zea mays</i>) y cedro (<i>Cedrela odorata</i>) mediante ecuaciones alométricas	25
7. CONCLUSIONES	28
8. RECOMENDACIONES	29
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30
10. ANEXOS	41
Anexo 1. Informe manejo agronómico del cultivo de maíz, muestreos de biomasa, rendimiento, radiación y seguimiento estaciones meteorológicas SIXFOX.	41

ÍNDICE DE CUADROS

- Cuadro 1.** Variables de crecimiento en plantas del híbrido de maíz DK-390 bajo dos tipos de sombra: Cedro (*Cedrela odorata*) (SC), Poró (*Erythrina poeppigiana*) (SP) vs pleno sol (T) 23
- Cuadro 2.** Comportamiento del área foliar ($m^2 m^{-2}$) y eficiencia de uso de radiación (g/MJ) del híbrido de maíz DK-390 bajo dos tipos de sombra: cedro (*Cedrela odorata*) (SC), poró (*Erythrina poeppigiana*) (SP) vs pleno sol (T). 25
- Cuadro 3.** Variables de crecimiento de mazorca y rendimiento en grano lechoso-pastoso (90 DDS) y madurez fisiológica (120 DDS) del híbrido de maíz DK-390 bajo dos tipos de sombra: cedro (*Cedrela odorata*) (SC), poró (*Erythrina poeppigiana*) (SP) vs pleno sol (T). 26

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Localización del área de estudio 14
- Figura 2.** Variabilidad de la precipitación, radiación, temperatura y humedad relativa, durante los cuatro meses del estudio en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE 15
- Figura 3.** Comportamiento de variables de crecimiento en plantas del híbrido de maíz DK-390 bajo dos tipos de sombra: Cedro (*Cedrela odorata*) (SC), Poró (*Erythrina poeppigiana*) (SP) vs pleno sol (T) 24
- Figura 4.** Comportamiento del área foliar del híbrido de maíz DK-390 bajo dos tipos de sombra: cedro (*Cedrela odorata*) y poró (*Erythrina poeppigiana*) 26
- Figura 5.** Estimación de altura total para la especie *Cedrela odorata* en 20 años en el sitio de estudio 27
- Figura 6.** Estimación del DAP para la especie *Cedrela odorata* en 20 años 28
- Figura 7.** Estimación del volumen comercial para la especie *Cedrela odorata* en 20 años en el sitio de estudio 28

LISTA DE ACRÓNIMOS

NASA	Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio
CIMMYT	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo
CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CIAT	Centro Internacional de Agricultura Tropical
CHELSA	Climatologías en alta resolución para las superficies terrestres
VPD	Déficit de presión de vapor
HR	Humedad relativa
NDVI	Índice de vegetación diferencial normalizado
GM	Contenido de humedad gravimétrico
RMSE	Error cuadrado medio raíz
BIAS	Error de Sesgo Relativo
NOAA	Administración Nacional Oceánica y Atmosférica
NSE	Coficiente de eficiencia Nash-Sutcliffe
SAF	Sistemas agroforestales
DAP	Diámetro a la altura del pecho
ETCCDMI	Equipo de Expertos en Monitoreo e Índices de Detección de Cambio Climático
MODIS	Espectrorradiómetro de imágenes de media resolución
USGS	Servicio Geológico de los Estados Unidos
GESDISC	Centro de Servicios de Datos e Información de Ciencias de la Tierra Goddard de la NASA
GLDAS	Sistema global de asimilación de datos terrestres
GSFC	Centro de Vuelo Espacial NASA/Goddard

COMPORTAMIENTO DEL HÍBRIDO DE MAÍZ DK-390 (*Zea mays* L.) BAJO SOMBRA DE DOS SISTEMAS AGROFORESTALES MULTIESTRATO: CEDRO (*Cedrela odorata*) Y PORÓ (*Erythrina poeppigiana*)

Mabell Arcos Acosta¹

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza: Mabel.arcos@catie.ac.cr

1. RESUMEN

La investigación se realizó en el cultivo de maíz (*Zea maíz* L) con el híbrido DK-390, a fin de determinar el comportamiento de las variables morfológicas cada 20 días después de siembra (DDS), el rendimiento en R3 (elote) a los 90 DDS y en madurez fisiológica a los 120 DDS, bajo dos tipos de sistemas agroforestales multiestrato (SAFM): sombra de cedro (*Cedrela odorata*) y sombra de poró (*Erythrina poeppigiana*). En maíz se evaluaron las variables biomasa total de plantas (g m²), biomasa de tallos (g), biomasa de hojas (g), biomasa de mazorcas y brácteas (g), biomasa de panojas (g), altura de plantas (cm), número de hojas, diámetro de tallos (cm), diámetro de mazorcas (cm), altura de mazorcas (cm), volumen de mazorcas (cm³), hileras por mazorca y granos por hilera. El peso seco de 1000 granos (g), el rendimiento en grano seco (t ha⁻¹), índice de área foliar (m² m⁻²), radiación (W m⁻² y eficiencia uso de radiación (g MJ⁻¹). El rendimiento en grano seco del híbrido de maíz DK-390 en condiciones de trópico húmedo, a pleno sol (Testigo) alcanzó 7,96 t ha⁻¹, con una densidad de siembra de 42.000 plantas ha⁻¹, similar al reportado en la literatura y al óptimo comercial de 8,8 t ha con una densidad de siembra de 62.500 plantas ha⁻¹. Para el tratamiento sombra de poró (SP), se obtuvieron 6,30 t ha⁻¹ y para sombra de cedro (SC) 5,81 t ha⁻¹, evidenciando un gran potencial de rendimiento y adaptación a los sistemas agroforestales multiestrato (SAFM). El porcentaje de reducción del rendimiento para el híbrido DK-390 a pleno sol, es de 1,65% respecto al rendimiento comercial óptimo, seguido del tratamiento SP y SC con 22,18 y 28,27%, respectivamente. Las variables morfológicas y de rendimiento medidas en elote a los 90 días y en madurez fisiológica a los 120 días, en SC y SP, mostraron patrones de desarrollo similares respecto al testigo, a pleno sol y a la literatura; excepto la biomasa seca de brácteas que fue superior a pleno sol, comparado con SC y SP. El híbrido DK 390 presentó precocidad reproductiva en condiciones de trópico, respecto a lo encontrado en otras investigaciones con el mismo híbrido. La antesis se observó a los 62 días, momento en el que el 50% de las plantas presentaban apertura de la panoja. Mientras que la emisión de estigmas se observó a los 68 días. Los dos eventos se dieron al tiempo tanto a pleno sol, como en SP y SC. Respecto al componente arbóreo, el asocio de *Erythrina poeppigiana* (5x3 m) con *Zea mays* (40x60 cm) aportó aproximadamente 1939,39 kg ha⁻¹ de materia fresca, procedente de hojas y ramas de la poda de 666 árboles con 10 meses de edad. Por su parte, la plantación de *Cedrela odorata* en el año 5, presentó un diámetro medio de 15,72 cm y una altura total de 10,50 m; mientras que a los 10 años el diámetro fue de 27,11 cm y la altura 18 m. El volumen comercial de esta plantación a los 17 años alcanza una producción ha⁻¹ de 41,51 m³ ha⁻¹ año⁻¹ y un IMA de 2,44 m³ ha⁻¹ año⁻¹. Por lo anterior, el aporte económico de *Cedrela odorata* en pie, en asocio con *Zea mays*, es de aproximadamente \$3.757.446, en un marco de plantación promedio de 10x20 m, con una abundancia de 58 árboles ha⁻¹.

PALABRAS CLAVE: maíz, biomasa, índice de área foliar, eficiencia uso de radiación, sistemas agroforestales, madera, rendimiento, morfología, DDS, sensores, radiómetro, cambio climático.

**BEHAVIOR OF THE DK-390 CORN HYBRID (*Zea mays* L.) UNDER THE
SHADOW OF TWO MULTI-LAYER AGROFORESTRY SYSTEMS: CEDRO
(*Cedrela odorata*) AND PORÓ (*Erythrina poeppigiana*)**

Mabell Arcos Acosta

Tropical Agricultural Research and Higher Education Center (CATIE) Mabel.arcos@catie.ac.cr

2. ABSTRACT

The research was conducted on maize (*Zea mays* L.) with the hybrid DK-390, to determine the behavior of morphological variables every 20 days after sowing (DDS) and the yield in R3 (corn) at 90 DDS and at physiological maturity at 120 DDS, under two types of multi-layered agroforestry systems (SAFM): cedar shade (*Cedrela odorata*) and poró shade (*Erythrina poeppigiana*). In corn, the variables total plant biomass (g m²), stalk biomass (g), leaf biomass (g), cob and bract biomass (g), panicle biomass (g), plant height (cm), number of leaves, stalk diameter (cm), cob diameter (cm), cob height (cm), cob volume (cm³), rows per cob, and kernels per row were evaluated. The dry weight of 1000 grains (g), dry grain yield (t ha⁻¹), leaf area index (m² m⁻²), radiation (W m⁻²) and radiation use efficiency (g MJ⁻¹). The dry grain yield of the maize hybrid DK-390 under humid tropical conditions, in full sun (control) reached 7,96 t ha⁻¹, with a planting density of 42.000 plants ha⁻¹, similar to that reported in the literature and to the commercial optimum of 8.8 t ha⁻¹ with a planting density of 62,500 plants ha⁻¹. For the poró shade treatment (SP), 6.30 t ha⁻¹ and for cedar shade (SC) 5.81 t ha⁻¹ were obtained, showing a great yield potential and adaptation to multi-stratum agroforestry systems (SAFM). The percentage yield reduction for the DK-390 hybrid at full sun was 1.65% with respect to the optimum commercial yield, followed by the SP and SC treatments with 22.18 and 28.27%, respectively. The morphological and yield variables measured in corn at 90 days and at physiological maturity at 120 days, in SC and SP, showed similar development patterns with respect to the control, at full sun and the literature; except for the dry biomass of bracts, which was superior at full sun, compared to SC and SP. Hybrid DK 390 showed precocity of reproduction under tropical conditions, compared to what was found in other studies with the same hybrid. Anthesis was observed at 62 days, at which time 50% of the plants showed panicle opening. Stigma emission was observed at 68 days. Both events occurred at the same time in full sun, SP and SC. Regarding the tree component, the association of *Erythrina poeppigiana* (5 x 3 m) with *Zea mays* (40 x 60 cm) contributed approximately 1939.39 kg ha⁻¹ of fresh matter from leaves and branches from the pruning of 666 trees at 10 months of age. The *Cedrela odorata* plantation in year 5 had an average diameter of 15.72 cm and a total height of 10.50 m, while at 10 years of age the diameter was 27.11 cm and the height 18 m. The commercial volume of this plantation at 17 years of age reached a production ha⁻¹ of 41.51 m³ ha⁻¹year⁻¹ and an AMI of 2.44 m³ ha⁻¹year⁻¹. Therefore, the economic contribution of standing *Cedrela odorata*, in association with *Zea mays*, is approximately \$3,757,446, in an average planting frame of 10 x 20 m, with an abundance of 58 trees ha⁻¹.

KEY WORDS: corn, biomass, leaf area index, radiation use efficiency, agroforestry systems, timber, yield, morphology, DDS, sensors, radiometer, climate change.

3. INTRODUCCIÓN

Pese a que el ritmo de crecimiento poblacional es menor respecto al siglo pasado, se espera que la población mundial aumente en 2.000 millones de personas en los próximos 30 años, pasando de 7.700 millones en la actualidad a 9.700 millones en 2050 (FAO 2018). Para abastecer a esta población global, será necesario un mayor volumen de alimentos, entre un 100% y un 110% más de lo que se produce hoy en día (Tilman *et al.* 2011). En la actualidad, el hambre sigue siendo un problema persistente que afecta a más de 900 millones de individuos (Gerber 2013), pero hay otro porcentaje de la población con mayor poder adquisitivo que demanda grandes cantidades de alimentos. Satisfacer esta demanda repercute en el avance de la frontera agrícola, generando mayor presión sobre los recursos naturales e incrementando las emisiones de gases de efecto invernadero (Sadowski & Baer 2018).

Los extremos climáticos, señal inequívoca del cambio climático, son cada vez más frecuentes y afectan la seguridad alimentaria y la estabilidad de los ecosistemas (Cramer *et al.* 2017). A escala mundial, el Corredor Seco Centroamericano es una de las áreas más vulnerables a la variabilidad climática (CIAT 2017). Se pronostica para el año 2030, un aumento en la temperatura de 1,4°C y para 2050 una disminución de la precipitación de 70 mm aproximadamente (Bouroncle *et al.* 2014 & Ovalle *et al.* 2015). Las proyecciones muestran que Centroamérica pasaría de tener 7 provincias con alta aridez en el período 1950-2000 a 68 para finales de siglo (CEPAL 2017). Actualmente, un 42% del territorio centroamericano está afectado por la sequía (Bonilla 2014).

La demanda de agua potable podría crecer en un 300% para el año 2050 y en 1600% para el año 2100. Lo anterior aunando al cambio climático estaría incrementando la intensidad en el uso de agua al 140%, superando una situación de estrés hídrico a la que se llega cuando un territorio usa el 20% de los recursos acuíferos (CEPAL 2017). Los anteriores escenarios afectarán severamente el desarrollo agropecuario de la región mesoamericana (Bouroncle *et al.* 2014). Esto tendría incidencia directa sobre los medios de vida de la población rural (Guerra 2018) y acrecentaría los índices de pobreza e inseguridad alimentaria. En consecuencia, la agricultura debe transformarse, mediante una nueva visión de desarrollo, con la implementación de innovaciones tecnológicas, de estrategias sostenibles e inclusivas; con metas a largo plazo para generar impactos a escala (Steiner *et al.* 2020).

Hoy más que nunca, es apremiante adaptar la agricultura a los nuevos escenarios y hacer ostensible su importancia económica en los sectores vulnerables. Estos retos conllevan a buscar alternativas de producción sostenibles y rentables; una estrategia efectiva son los sistemas agroforestales multiestrato. Estos sistemas bajo sombra tienen una mejor capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos que los monocultivos a pleno sol (Cerda *et al.* 2017). Son eficientes mitigando los efectos del cambio climático, propiciando un microclima favorable e incrementando el almacenamiento de carbono (Bhagwat *et al.* 2008).

Bajo sombra, no sólo la biodiversidad global mejora, sino también la biodiversidad funcional; la cual puede aumentar la productividad y la resiliencia ecológica (Jezeer & Verweij 2015). La polinización cruzada aumenta la producción hasta en un 50% (Tschardt *et al.* 2011) y el control biológico reduce brotes de plagas (Kellerman *et al.* 2008). Se genera mayor

porcentaje de materia orgánica, K, Ca, CEC, Mg y menor acidez (Cerda *et al.* 2017). Además, generan productos adicionales, como madera, leña, medicinas y frutos, contribuyendo a los medios de vida de los agricultores, especialmente frente a episodios de crisis alimentaria, climática o de pandemias, como en el caso del impacto socioeconómico derivado del COVID-19.

A nivel económico, los sistemas agroforestales y las plantaciones forestales comerciales ofrecen diversas ventajas, por ejemplo, la diversificación del portafolio de inversiones, tasa de retorno competitiva a largo plazo, predicción del ingreso si el manejo está bajo control y se cuenta con un mercado seguro para la compra de la madera producida. En la actualidad, las previsiones de demanda-oferta a nivel internacional son positivas. Generalmente la competitividad de la madera de las plantaciones es mejor, respecto a la del bosque natural (homogeneidad del producto, acceso y condiciones de extracción más fáciles entre otros) y proporcionan una imagen positiva por la inversión “verde” (Ramírez *et al.* 2008; SEMARNAT 2001).

En Costa Rica y Centroamérica, *Cedrela odorata*, es una de las especies con alto valor comercial y con los mejores precios. Se utiliza principalmente para mueblería fina por su flexibilidad. Según Barrantes y Ugalde (2019), citados por Carvajal 2021, esta especie en el año 2019 alcanzó un valor de USD \$140,2 m⁻³ en pie y de USD \$ 413,1 m⁻³ en madera aserrada. Igualmente, los asociados de cedro con otros cultivos de ciclo corto o perennes como el café, evidencian ser un sistema rentable, generando un valor actual neto (VAN) de USD \$14.083.82 ha⁻¹, una tasa interna de retorno (TIR) de 16% con respecto a una tasa de interés de 6,1% y una relación de costo/beneficio de 1,34 (González *et al.* 2018; Carvajal 2021).

Por su parte, la importancia económica de *Erithryna poeppigiana* radica en su alto aporte ecosistémico al sistema asociado; en un estudio realizado por Soncim y colaboradores en el año 2021, uno de los mayores ingresos totales (¢54.105.377 colones ha⁻¹) y de mayor rentabilidad financiera (VAN= ¢59.311.742 colones ha⁻¹) fue el sistema asociado al Poró, además de generar un bajo costo de producción y mantenimiento (¢897.965 colones ha⁻¹).

Aumentar los rendimientos en las tierras de cultivo existentes, en lugar de expandir la frontera agrícola, es otra de las estrategias para satisfacer la demanda mundial, garantizar la seguridad alimentaria y reducir los impactos ambientales (Hulme *et al.* 2013; Tilman *et al.* 2011; Foley *et al.* 2011). En países en vías de desarrollo, la mayoría de los agricultores forman parte de la población pobre y con un alto índice de desnutrición (Fan *et al.* 2007). Por tanto, el aumento en los rendimientos y la eficiencia productiva incide directamente en la reducción de la pobreza y la desnutrición (Pingali 2012).

Dados los escenarios socioeconómicos y la susceptibilidad del corredor seco a la variabilidad climática, se incrementa la incertidumbre respecto a los rendimientos y la vulnerabilidad de los sistemas de producción. Para adaptarse al cambio climático y mitigar sus efectos, se ha propuesto la agricultura de precisión como estrategia para aumentar la productividad agrícola y la eficiencia en el uso de los recursos de manera sostenible (Gupta *et al.* 2020). Uno de los objetivos de la agricultura de precisión es determinar el estado de la salud de las plantas antes de la presencia de síntomas y la pérdida de rendimiento por factores bióticos o abióticos. El uso de tecnologías, como los sensores para la identificación temprana del estrés, puede

contribuir al uso eficiente de recursos como el agua y la radiación, aumentando así la productividad de los principales cultivos alimenticios (Bai *et al.* 2016).

Diferentes autores han demostrado que el estrés por calor se asocia directamente con la reducción de los rendimientos de los cultivos (Zhao *et al.* 2017; Lobell *et al.* 2011; Butler 2015; Field 2012). Aunque la evidencia de pérdida de rendimiento por déficit hídrico es abundante, el entendimiento de la relación entre la disponibilidad de humedad, la temperatura, el déficit de presión de vapor atmosférico (VPD), con la transpiración y el rendimiento, es deficiente (Rigden *et al.* 2020; Sinclair *et al.* 2017).

Entender la respuesta de los cultivos bajo sistemas agroforestales multiestrato, al calor, la radiación y al estrés hídrico, es esencial para su gestión y adaptación. Tomar decisiones frente a los impactos de la variabilidad climática en estos sistemas productivos, requiere del acceso a métodos y herramientas que permitan cuantificar el efecto de la sombra sobre los diferentes parámetros ecofisiológicos y su incidencia en el rendimiento de los cultivos. Para ello, se requiere del uso de información proveniente de estaciones meteorológicas, así como la medición en sitio de la radiación incidente, para una caracterización apropiada de las condiciones en las que se desarrolla el cultivo.

En el presente ensayo se evaluó el efecto de la sombra producida por dos sistemas agroforestales multiestrato: cedro (*Cedrela odorata*) y poró (*Erythrina poeppigiana*) sobre el crecimiento y desarrollo del cultivo de maíz (*Zea maíz*).

4. METODOLOGÍA

Localización

El estudio se llevó cabo en la Finca agrocomercial del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), en el cantón de Turrialba, Provincia de Cartago, Costa Rica (Figura 1). La finca se ubica a una altitud de 600 msnm. Presenta precipitaciones de 2854mm año⁻¹, temperatura promedio anual de 22,9°C, humedad relativa del 90% y radiación solar de 15,76 MJ m² día⁻¹ (Ovalle *et al.* 2015). Los suelos se caracterizan por tener una capa fértil que se encuentra entre 10-30 cm de profundidad, con textura franco a franco-arcillosa (capa de 0-25 cm: 45,1% arena, 30,8% limo y 24,1% arcilla), pH de 5,6 y con limitaciones de drenaje inicial. Presenta también suelos aluviales mixtos (ultisoles e inceptisoles) (Virginio-Filho *et al.* 2012). Las parcelas bajo sistemas agroforestales multiestrato se instalaron el 20 de febrero del año 2021 (Figura 2).

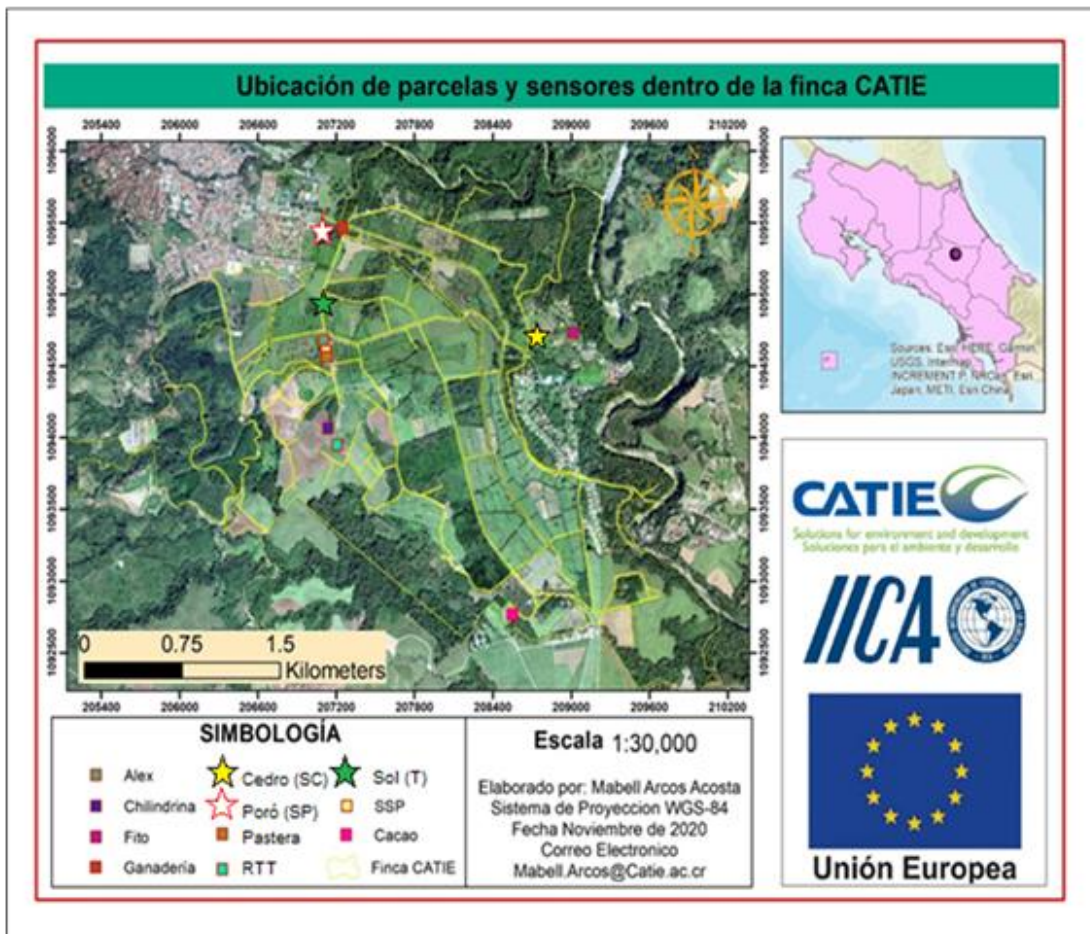


Figura 1. Localización del área de estudio

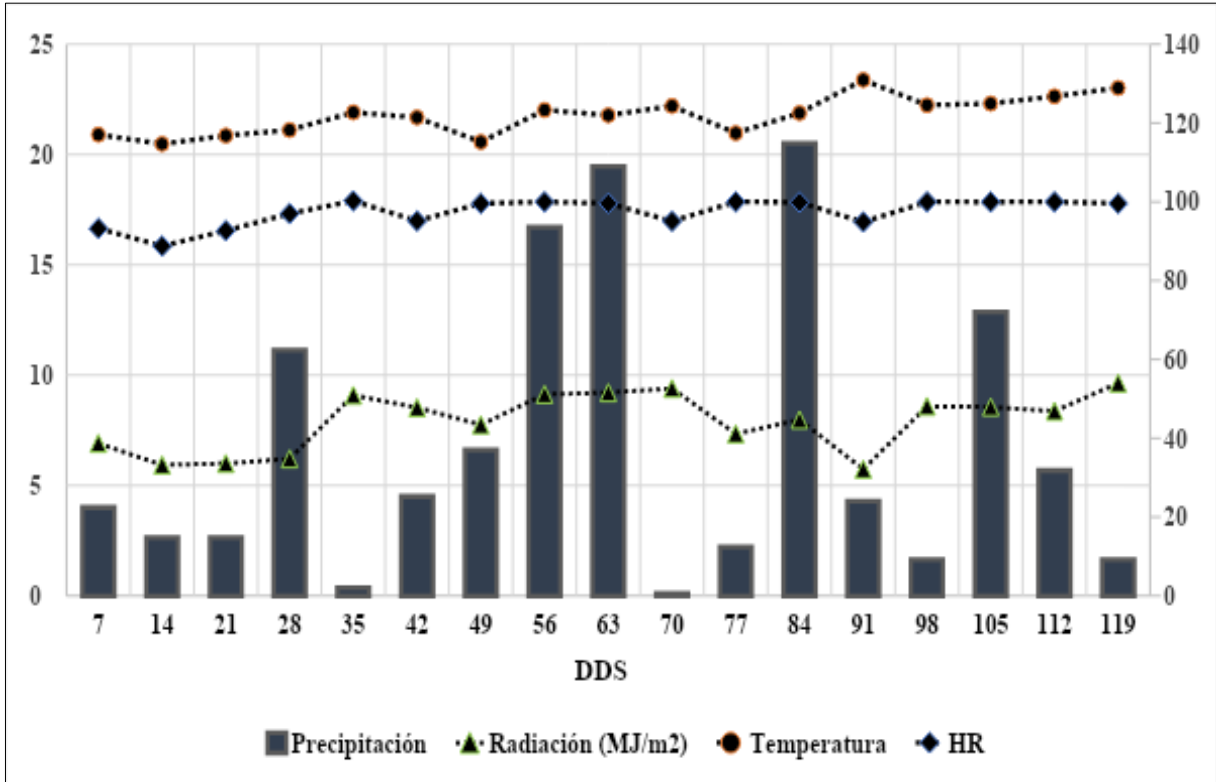


Figura 2. Variabilidad de la precipitación, radiación, temperatura y humedad relativa, durante los cuatro meses del estudio en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE

Diseño experimental y variables medidas

El diseño experimental en campo fue bloques al azar con tres réplicas. Los tratamientos consistieron en dos niveles de sombra bajo sistemas agroforestales multiestrato: cedro (*Cedrela Odorata*) (SC), poró (*Erythrina poeppigiana*) (SP) y un tratamiento testigo a pleno sol (T). Se estableció el híbrido de maíz DK-390, de grano blanco, seleccionado en función de la preferencia de los consumidores, productores y la superficie sembrada a nivel de Centroamérica. El maíz se sembró de forma manual a una distancia de siembra de 0,40 m entre plantas y 0,60 m entre surcos, alcanzando una densidad de siembra de 42.500 plantas ha⁻¹, en parcelas de 100 m².

Variables del cultivo de maíz (*Zea mays* L.)

Los indicadores de crecimiento del cultivo se recopilaban periódicamente para alimentar el modelo, utilizando una combinación de procedimientos destructivos y no destructivos (Quiroz *et al.* 2017), estimando las siguientes variables:

Determinación de biomasa aérea

La unidad experimental se conformó de 17 surcos de 10 m de largo, con 25 plantas en cada uno. El área útil de medición, fueron los 15 surcos centrales de cada unidad experimental, con el fin de evitar el efecto de borde (Toledo y Schultze-Kraft 1982). Partiendo del día 20 después de la siembra (DDS), en cada unidad experimental se realizaron seis muestreos destructivos equidistantes a los 20, 40, 60, 80, 100 y 120 días para la determinación de biomasa aérea y seguimiento de las variables de crecimiento de la planta y la mazorca (Escalante y Kohashi 1993).

Los muestreos fueron diseñados para coincidir con las siguientes etapas fenológicas: vegetativa con cinco hojas (V5), vegetativa con ocho hojas (V8), vegetativa con doce hojas (V12) y reproductivas emergencias de estigma (R1), grano pastoso (R4) y madurez fisiológica (R6).

Se llevó a cabo un muestreo sistemático de un grupo de 6 plantas individuales con competencia completa en cada unidad experimental, para un total de 18 plantas por tratamiento y 54 plantas por muestreo (Morales *et al.* 2019). Se evaluaron las siguientes variables: altura de planta (AP), número de hojas (NH), diámetro del tallo (DT), área foliar (AF), días a floración (DF), biomasa fresca (BF) y seca de la parte aérea (BS), que se estableció separando y pesando las estructuras de la planta (hojas, tallos, brácteas, elote y panoja).

Las muestras se fraccionaron en trozos y se dispusieron en bolsas de papel. Se determinó el peso húmedo de cada una y seguidamente se introdujeron al horno de aire forzado a 70 °C por 72 horas o hasta alcanzar peso constante para tomar el peso seco en una balanza analítica (Sáez 2018).

Rendimiento

Las variables de rendimiento en estado de grano lechoso-masoso y en grano seco o rendimiento en madurez fisiológica, cuando el grano presentaba una humedad del 13%; se midieron dentro de un área útil de ocho surcos de 10 m de largo, reservados en la parte central de cada parcela. El muestreo uno, para rendimiento en grano lechoso-masoso, se realizó el 20 de mayo (90 DDS) y el segundo muestreo para grano seco, el 24 de junio (124 DDS). Se muestrearon 24 mazorcas en cada parcela, para un total de 72 mazorcas para cada tratamiento y 216 por muestreo.

En los dos muestreos de rendimiento se evaluaron las siguientes variables: biomasa total aérea (BTA), biomasa fresca (BF1000) y seca de mil granos (BS1000), biomasa fresca y seca total de mazorca más brácteas (BFTMB y BSTMB, respectivamente), biomasa fresca y seca de brácteas (BFB y BSB), biomasa fresca y seca de mazorcas (BFM y BSM), altura de mazorca (AM), diámetro de mazorcas (DM), volumen de mazorcas (VM), número de hileras por mazorca (HM) y número de granos por hilera (GH). Se midió el diámetro ecuatorial con un pie de rey y la altura de mazorcas se determinó con una regla graduada, midiendo desde la base hasta la parte apical.

Índice de área foliar

Para determinar el área foliar, en cada muestreo se realizó un montaje de todas las hojas de cada planta sobre una cartulina blanca, organizadas por tamaño. Se etiquetaron con el tratamiento, surco y planta correspondiente. Posteriormente se tomó una fotografía, para un total de 54 fotografías por muestreo y 324 para los seis muestreos. Las fotografías con la cinta métrica ubicada al margen (área conocida) se procesaron y analizaron mediante la aplicación ImageJ[®], con el fin de calcular el área foliar de cada planta, para seguidamente estimar el índice de área foliar (IAF), en m² de hoja por m² de suelo (De la Caridad *et. al.* 2017).

Radiación y eficiencia en el uso de radiación

Para llevar una caracterización homogénea de la cantidad de radiación que recibían las plantas de maíz en los distintos sistemas agroforestales multiestrato: SP, SC y T, se llevó a cabo una medición de la radiación incidente en W m⁻², con un radiómetro portátil modelo SM60. La radiación se midió en nueve puntos diferentes en cada parcela, mediante un muestreo sistemático.

Las mediciones se realizaron los domingos tres veces al día, en horarios: de 9 a 10 am, de 12 a 1 pm y de 3 a 4 pm. Las nueve parcelas se midieron en el lapso de una hora para tener mayor robustez en las mediciones y facilitar posteriores comparaciones o análisis. Se realizaron un total de 17 mediciones de radiación solar en sitio, empezando el 28 de febrero y terminando el 20 junio. Con la información de las variables de área foliar, materia seca y radiación fotosintéticamente activa (MJ m⁻² día⁻¹) se calculó la eficiencia de uso de radiación (g MJ) (capacidad de la planta de convertir cada MJ interceptado en gramos de materia seca).

Manejo agronómico cultivo de maíz (*Zea mays*)

Un mes antes del inicio del ensayo, se realizó un muestreo de suelos tomando 30 submuestras en cada unidad experimental a una profundidad de 0-20 cm para obtener representatividad del área. El manejo agronómico consistió en una combinación de prácticas convencionales como el laboreo del suelo con azadón a la siembra, aporque a los 25 DDS, control manual de malezas a los 25 DDS y 50 DDS.

Se encontró *Diabrotica sp.* a los 12 DDS en el cultivo y se controló, con la aplicación de Solver 48 EC., en dos momentos a razón de 5 ml bomba 100 m² (0,5 L ha⁻¹). El 16 de marzo (24 DDS), se encontraron los primeros daños de *Spodoptera frugiperda*, la plaga más limitante en este híbrido. Para su control, se utilizó la siguiente escala de daño: D0 = hojas sanas; D1 = raspado en la epidermis, sin perforaciones; D2 = hojas con perforaciones o ventanas; y D3 = hojas bandera dañadas. Se realizaron cuatro aplicaciones de insecticida en las etapas D2 y D3; rotando Decis Expert (Piretroides), a razón de 1,25 ml bomba 100 m² (0,125 L ha⁻¹) con Solver 48 (Clorpirifos) 3 ml bomba 100 m².

El manejo de plagas se llevó a cabo mediante un diagnóstico y los respectivos umbrales poblacionales de acción, por etapa fenológica del cultivo (Agrios 2005; MINAGRI 2014;

Morales *et al.* 2019). Así mismo, se realizó una aplicación preventiva del fungicida Silvacur Combi 30 EC, 18 ml bomba 100 m² a los 40 DDS.

El plan de fertilización se basó en el análisis de suelos. Se inició con un abonado de fondo o sementera, al momento de la siembra, aplicando 9 g sitio de la fórmula 10-30-10. La fertilización post-emergencia, se llevó a cabo a los 25 DDS junto al aporque, suministrando 10 g de urea planta⁻¹. La tercera aplicación se realizó el 14 de abril (54 DDS) a razón de 11g planta⁻¹ de la fórmula 10-30-10.

Características, estimaciones y rendimientos del componente arbóreo dentro del SAF

SAF cultivo en callejones: maíz (*Zea mays*) y poró (*Erythrina poeppigiana*)

El cultivo en callejones de *Erythrina poeppigiana*, se estableció en el año 2020, a una distancia de 5 x 3 m. Diez meses después se implementó el asocio con maíz, a una distancia de 40 cm entre planta y 60 cm entre surcos. A los diez meses de edad aportó aproximadamente 1939,39 kg de materia fresca, procedente de hojas y ramas de las podas de 666 árboles. Las podas se realizaron dos veces al año, dicho intervalo es el más común entre los productores. Un mes antes de iniciar el experimento y establecer el cultivo de maíz, se llevó a cabo una poda total de ramas en todos los árboles, incorporando los remanentes de hojas y ramas sobre el suelo y entre surcos del cultivo en asocio, lo cual disminuyó considerablemente la incidencia de malezas.

El cultivo en callejones es un tipo práctica agroforestal en donde los cultivos son asociados en las calles que quedan entre las franjas de una especie arbórea. Los cultivos generalmente son de ciclo corto (anuales) y las especies arbóreas de crecimiento rápido, fijadoras de nitrógeno y de intervalos regulares de poda para así evitar competencia con los demás cultivos, aportar biomasa al suelo y mejorar la fertilidad del suelo, además de suprimir el crecimiento de malezas (Ssekabembe 1985; Kang & Wilson 1987 citados en Jiménez *et al.* 1997).

Según Jiménez *et al.* 1997, para la implementación de esta práctica es recomendable:

1. Considerar el cultivo en callejones como una práctica de conservación del suelo: utilizando la topografía del terreno como guía para la siembra del componente arbóreo y así reducir la erosión.
2. Reducir competencia subterránea: escogiendo especies anuales con un sistema radicular superficial con relación a los árboles y así evitar competencia por espacio y nutrientes.
3. Reducir competencia sobre la superficie: este punto se puede manejar de dos formas: Seleccionando especies anuales que admitan la sombra generada por el componente arbóreo o haciendo un manejo de copa constante mediante podas.
4. Especies adaptadas a la zona: utilizar especies que estén adaptadas a las condiciones climáticas y edáficas.

5. Cultivar todos los años: este sistema es considerado como un sistema de producción intensivo, por lo tanto, de ser implementado es importante realizar un manejo constante para poder aprovechar todo su potencial durante su ciclo.
6. Elegir los componentes con alto valor: generalmente se utilizan especies fijadoras de nitrógeno y cultivos de granos básicos, pero hay experiencias que asocian especies con un alto valor económico.
7. Adaptación del sistema a finca: no solo se pueden utilizar cultivos anuales, también pueden ser utilizados árboles y pastos para sistemas de producción animal.

El poró (*Erythrina poeppigiana*) es una especie nativa de Suramérica (Bolivia, Colombia, Ecuador y Venezuela) e introducida en América Central y varias islas del Caribe en el siglo XIX. Se desarrolla bien en altitudes entre los 0 y 2000 msnm y una temperatura media anual entre 15 y 24°C. Morfológicamente es un árbol de 10 a 15 m de altura (h) en promedio con una copa redondeada y bien extendida, con individuos de máximo 26 m de h, con ramas bien extendidas; tronco corto y con espinas de 1 a 2 cm de largo, muy ramificado de corteza color marrón grisáceo o verle olivo. Sus hojas son alternas, trifoliadas, ovadas, caducifolias y pueden distinguirse por su apariencia verde grisácea en el envés; inflorescencia en racimos, gruesas y de color ladrillo pálido. Los frutos son vainas rectas, cilíndricas de tono castaño oscuro, poseen de 3 a 15 semillas y son frutos dehiscentes (Russo 1983; Farfan 2016).

Esta especie provee diferentes tipos de servicios ecosistémicos como servicios de regulación (secuestro y almacenamiento de carbono, prevención de erosión, mantenimiento de la fertilidad del suelo y control biológico). En estudios realizados por De Melo y colaboradores en 2015, se evidencia que los sistemas agroforestales asociados con café y poró, tienen un aporte mayor de biomasa para el reciclaje en los sistemas, mejor regulación de plagas y enfermedades, mejora en las propiedades físicas y químicas del suelo. Aunado a lo anterior, los altos niveles de biomasa incrementan la materia orgánica y presencia de lombrices que mejoran la calidad de los suelos.

La importancia económica de esta especie radica en su alto aporte ecosistémico al sistema asociado; en un estudio realizado por Soncim y colaboradores en el año 2021, uno de los mayores ingresos totales (54.105.377 colones ha⁻¹) y de mayor rentabilidad financiera (VAN= 59.311.742 colones ha⁻¹) fue el sistema asociado al Poró, además de generar un bajo costo de producción y mantenimiento (897.965 colones ha⁻¹).

SAF maíz (*Zea mays*) y cedro (*Cedrela odorata*)

La plantación forestal, objetivo de esta investigación, se estableció en el año 2005, asociando la especie maderable *Cedrela odorata* con *Vochysia Guatemalensis*, a una distancia de siembra de 10 x 10 m. En el año 2015 se realizó un raleo y aprovechamiento de *Vochysia guatemalensis*, quedando en pie 58 árboles de cedro ha⁻¹ a una distancia de 10 x 20 m. Posteriormente en el año 2020 se llevó a cabo una limpieza de maleza y algunas especies de regeneración natural con el fin de establecer un asocio de cultivos de ciclo corto como maíz, frijol y yuca.

El cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) (1759) pertenece a la familia de las meliáceas y puede alcanzar alturas de hasta 35 m. Es una especie monoica, la polinización de esta especie es

llevada a cabo por insectos, mientras que la dispersión de sus semillas es anemócora, lo que le permite llegar hasta más de 40 m de distancia del árbol progenitor, convirtiéndola en una especie con alta dispersión de semillas (Leshner 2018).

Morfológicamente es un árbol caducifolio, de entre 20 a 35 m, encontrándose individuos de hasta 45 y 60 m de altura, con diámetro a la altura del pecho (dap) de hasta 1,7 m. Su copa es grande, redondeada, robusta y extendida o en ocasiones tienen copa achatada. Sus hojas son alternas, paripinnadas o imparipinnadas de 15 a 50 cm, incluyendo el pecíolo. Estas se componen de 10 a 22 folíolos opuestos o alternos, de 4,5 a 14 cm de largo por 2 a 4,5 cm de ancho, lanceolados u oblongos. El tronco es recto y robusto. Sus ramas son ascendentes, a veces arqueadas y gruesas. La corteza externa es de color pardo grisácea a moreno rojiza, fisurada, con las costillas escamosas. La corteza interna es de color rosado, cambiando a pardo amarillenta, fibrosa y amarga; siendo el grosor total de 20 mm. Las flores se distribuyen en panículas terminales largas y sueltas, de 15 a 30 cm de largo, con bastantes flores angostas superficialmente tubulares, pero con 5 pétalos, perfumadas y actinomorfas. El cáliz tiene forma de copa, mientras que la corola es crema verdosa. Cuenta con infrutescencias hasta de 30 cm de largo, péndulas. Cápsulas leñosas dehiscentes de 2,5 a 5 cm de largo, 4 a 5 valvadas, elipsoides a oblongas, pardo verdosas a morenas, con un fuerte olor a ajo y produciendo un exudado blanquecino y acuoso cuando están inmaduras. El fruto tiene alrededor de 20 a 40 semillas y permanece adherido al árbol por algún tiempo. Sus semillas son aladas, de 2 a 3 cm de largo, incluyendo el ala, se encuentran adheridas al eje (Espitia *et al.* 2017; INAB 2017; CONABIO 2008).

La importancia económica de *Cedrela odorata* radica en que es una de las especies maderables con mayor demanda a nivel de la industria maderera y con el mejor precio en el mercado de Costa Rica y en general de Centroamérica. Dicha madera tiene excelentes características, para obtener madera aserrada y chapa para madera terciada. Así mismo, se utiliza en la fabricación de muebles finos, instrumentos musicales, productos aromatizantes y medicinales obtenidos de sus hojas, raíz, corteza, semillas y tallo (Barrantes & Ugalde 2019; Romo *et al.* 2017; Morgado 2014; Linnaeus 1759).

El cedro amargo es una especie con alto potencial en estrategias de reforestación productiva, aun en zonas secas semiáridas. Se ha utilizado en la recuperación de zonas afectadas por la explotación minera. Es considerada una especie secundaria y primaria a la vez, lo que demuestra su gran importancia a nivel ecológico. Lo anterior se debe a que se han encontrado individuos en diferentes selvas como una especie pionera en la vegetación secundaria, así como también y de manera frecuente en los estratos superiores de selvas maduras (Romo *et al.* 2017; Andrade & Solís 2004).

Estimación de crecimiento y rendimiento del componente arbóreo del SAF maíz (*Zea mays*) y cedro (*Cedrela odorata*) mediante ecuaciones alométricas

Se estimó el diámetro a la altura de pecho y altura total promedio para los árboles de la especie *Cedrela odorata*, con incidencia directa en las parcelas experimentales del cultivo de maíz (100 m²); estimaciones que posteriormente se extrapolaron a una hectárea. Para calcular el volumen total se utilizó la ecuación propuesta por Detlefsen y colaboradores en el año 2012, con un coeficiente de forma de 0,7. Este es un factor de reducción debido a que el

volumen de un árbol siempre es menor al de un cilindro, pues su forma no es perfectamente tubular. La ecuación utilizada para volumen total es la siguiente:

$$v = g + hc + ff$$

Donde:

v = volumen del árbol en m³

g = área basal en m²

hc = altura comercial del árbol en m

ff = factor o coeficiente de forma (1 es el valor del cilindro perfecto)

Así mismo se calculó el IMA (incremento medio anual), el cual se obtiene de dividir las variables de crecimiento del árbol sobre su edad (dap, h, v) y el área basal mediante la fórmula:

$$AB = 4 * dap^2$$

Donde:

AB= área basal (m²).

dap= diámetro a 1,30 m de la base del árbol (cm).

Los metros cúbicos obtenidos se llevaron a pulgadas madereras ticas (PMT) que equivalen a una pieza de 1" x 1" x 4 varas (2,54 cm x 2,54 cm x 3,36 m). Además, se calculó el rendimiento monetario, a un precio de 250 colones cada PMT para el caso de venta de madera en pie (lo cual equivale a cerca de 100.000 colones m⁻³, o sea, US\$165 m⁻³). En el caso de venta de madera aserrada puesta en la finca, el precio podría llegar a 798 colones cada PMT o su equivalente a cerca de US\$ 525 cada metro cúbico (ONF 2021).

Procesamiento de datos y análisis estadístico

Con el fin de estimar el efecto de la sombra sobre las variables de crecimiento y rendimiento, los tratamientos consistieron en dos niveles de sombra: SC, SP y T, distribuidos en un diseño experimental en bloques al azar con tres réplicas. Los datos recolectados en campo se sometieron a un análisis de varianza mediante el programa InfoStat.

Los criterios de Akaike (AIC), Bayesianos (BIC) basados en verosimilitud, se utilizaron para la selección del modelo con el mejor ajuste (Rivera *et al.* 2015). Se realizó una comparación múltiple de medias de tratamientos mediante la prueba de LSD de Fisher ($p \leq 0.05$).

El modelo estadístico utilizado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + T_j + ST_{ij} + P_k + \epsilon_{ijk}$$

$\epsilon_{ijk} = \sim N(0, \sigma^2)$ con correlación sin estructura

Donde:

Y = variable dependiente

M = media general

S_i = efecto aleatorio de la i-ésima sombra (i = 2)

T_j = efecto del j-ésimo tiempo (j = 6)

ST_{ij} = interacción sombra por tiempo

P_k = efecto de la k-ésima parcela (k=3)

ε_{ijk} = efecto aleatorio atribuible al error experimental

Una descripción detallada de todos los procedimientos de campo, manejo agronómico y procesamiento de muestras se encuentra en el anexo 1.

5. RESULTADOS

Efecto de la sombra sobre variables de crecimiento en plantas del híbrido de maíz DK-390

Días a floración masculina y femenina

Para el híbrido DK-390, la antesis se observó a los 62 días después de siembra días (25 de abril), momento en el que el 50% de las plantas presentaban apertura de la panoja (flor masculina dispersando polen); evento que se dio al tiempo tanto a pleno sol y como bajo sombra. Mientras que la emisión de estigmas se observó a los 68 días después de siembra.

Biomasa

El promedio de los valores biomasa seca de todos los muestreos para las variables, biomasa total aérea (BTA), mazorca más la bráctea (BSMB), brácteas (BB) y panoja (BP), fue mayor ($p < 0.05$) para el tratamiento testigo (T), al ser comparado con el rendimiento bajo los tratamientos de sombra. Los incrementos en T con respecto al promedio de SC y SP fueron 25%, 26%, 47% y 30% para BTA, BSMB, BB y BF, respectivamente (Cuadro 1). La interacción entre los valores de biomasa seca y las etapas fenológicas del cultivo fueron significativas para las variables BTA, BH, BT, BB, BP y DT (Figura 3, paneles A-F). Todas las otras mediciones de biomasa listadas en el Cuadro 1 y las interacciones con las etapas fenológicas no fueron significativas ($p > 0,05$).

Altura de planta

La variable altura de planta (AP) no presentó diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0.05$). La interacción AP por etapas fenológicas fue significativa ($p < 0,05$) (Figura 3, panel G). La altura máxima se encontró en el tratamiento testigo, a los 100 días. En los tratamientos SC y SP, la altura máxima fue de 281 cm y 280 cm, respectivamente para este mismo periodo. El rango de altura promedio de planta, para todos los tratamientos, osciló entre 188,32 cm y 180,94 cm para el ciclo completo del cultivo.

Número de hojas

El número de hojas por planta fue igual entre tratamientos ($p > 0,05$). A los 80 (DDS) se contabilizaron entre 10 y 16 hojas por planta, con un máximo de 17 y en promedio, 11 hojas por planta al final del ciclo.

Diámetro del tallo

No se encontró diferencia entre tratamientos para el diámetro de tallo ($p > 0,05$). A los 90 días, las plantas cultivadas a pleno sol presentaron un diámetro (DT) de 2,28 cm, mientras que bajo SC y SP desarrollaron un diámetro similar entre 2,11 cm y 2,12 cm. Con un promedio de diámetro de tallo de 2,16 cm. La interacción DT por etapas fenológicas fue significativa ($p < 0,05$) (Figura 3, panel H).

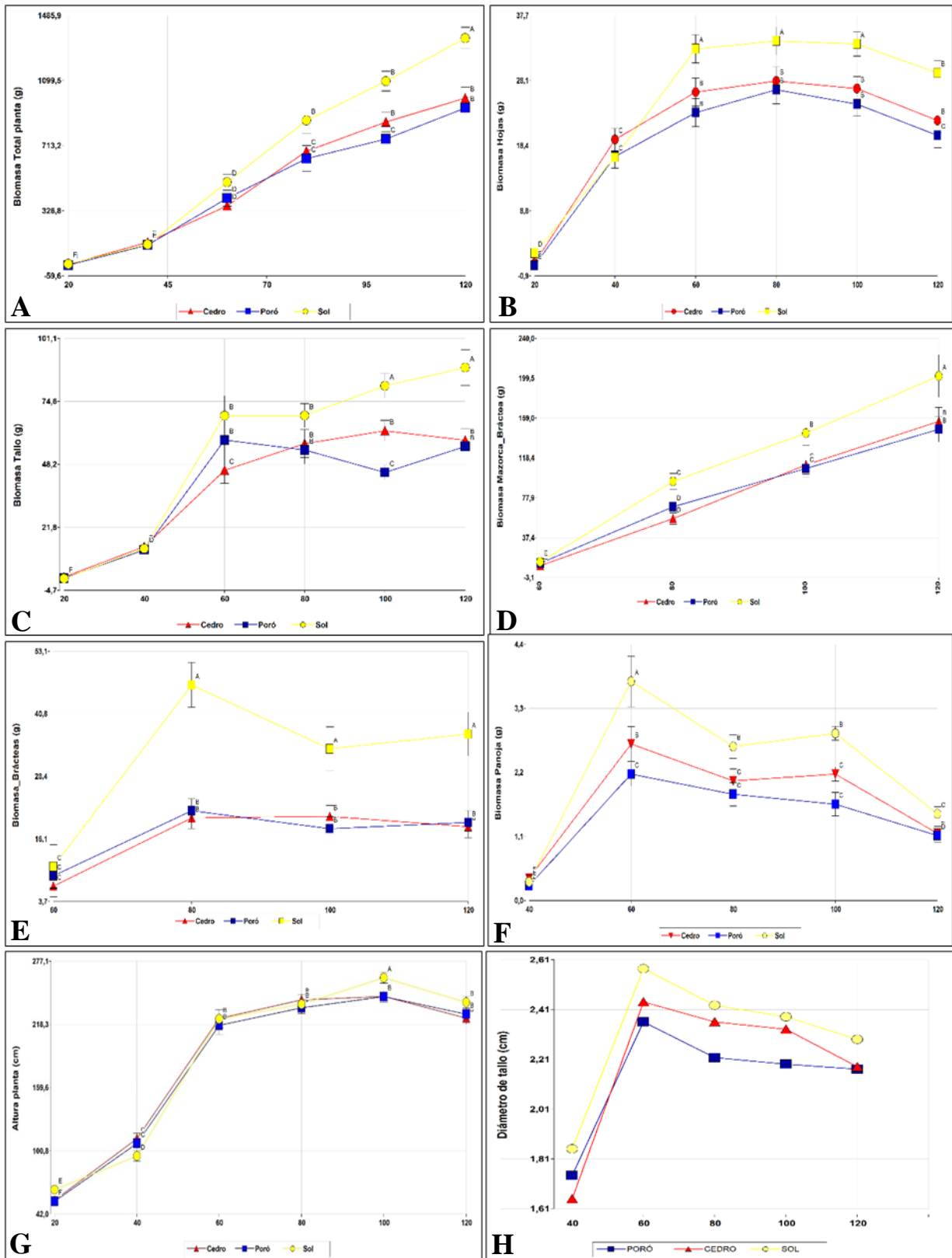


Figura 3. Comportamiento de variables de crecimiento en plantas del híbrido de maíz DK-390 bajo dos tipos de sombra: Cedro (*Cedrela odorata*) (SC), Poró (*Erythrina poeppigiana*) (SP) vs pleno sol (T)

Cuadro 1. Variables de crecimiento en plantas del híbrido de maíz DK-390 bajo dos tipos de sombra: Cedro (*Cedrela odorata*) (SC), Poró (*Erythrina poeppigiana*) (SP) vs pleno sol (T)

Variable	T	SP	SC
<u>Biomasa Total Planta (g m²)</u>	657,57 ^a	475,75 ^b	505,65 ^b
Biomasa Tallo (g)	53,39 ^a	37,63 ^b	39,61 ^{ab}
Biomasa Hojas (g)	24,78 ^a	18,68 ^b	20,62 ^{ab}
<u>Biomasa Mazorca y Bráctea (g)</u>	113,38 ^a	83,93 ^b	83,37 ^b
Biomasa Mazorca (g)	83,86 ^a	67,14 ^a	66,75 ^a
<u>Biomasa Brácteas (g)</u>	31,88 ^a	17,07 ^b	16,61 ^b
<u>Biomasa Panoja (g)</u>	2,22 ^a	1,42 ^b	1,7 ^b
Altura en planta (cm)	188,32 ^a	180,94 ^a	183,37 ^a
Número de Hojas	11,78 ^a	11,39 ^a	11,56 ^a
Diámetro de Tallo (cm)	2,28 ^a	2,12 ^a	2,11 ^a

* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Área Foliar (m² m²)

No se encontró diferencia debido a los tratamientos para la variable índice de área foliar (IAF) ($p > 0,05$). La interacción IAF por etapas fenológicas fue significativa ($p > 0,05$) (Figura 4). El máximo valor se presentó para SC a los 80 DDS con 3,76 (m² m²).

El valor promedio máximo IAF se encontró a los 60 DDS en el testigo y SC, con 2,59 y 2,27 (m² m²), respectivamente.

Eficiencia Uso de Radiación (g/MJ)

La eficiencia en el uso de la radiación (EUR) presentó valores similares entre tratamientos ($p > 0,05$), con promedios de 4,21, 3,31 y 3,63 g MJ acumulados a los 100 DDS para T, SC y SP, respectivamente (Cuadro 2).

Cuadro 2. Comportamiento del área foliar (m² m²) y eficiencia de uso de radiación (g MJ) del híbrido de maíz DK-390 bajo dos tipos de sombra: cedro (*Cedrela odorata*) (SC), poró (*Erythrina poeppigiana*) (SP) vs pleno sol (T).

Variable	Tratamiento	Días después de siembra (DDS)				
		20	40	60	80	100
Índice de área foliar (m ² m ⁻²)	T	0,12 ^g	1,79 ^{bc}	2,59 ^a	2,41 ^a	1,37 ^{de}
	SC	0,16 ^g	1,99 ^{bc}	2,27 ^{ab}	2,04 ^b	1,24 ^{ef}
	SP	0,16 ^g	1,63 ^{cd}	1,82 ^{bc}	2,10 ^a	1,13 ^f
Eficiencia Uso de Radiación (g MJ)	T	-	-	-	-	4,21 ^a
	SC	-	-	-	-	3,31 ^a
	SP	-	-	-	-	3,63 ^a

* Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

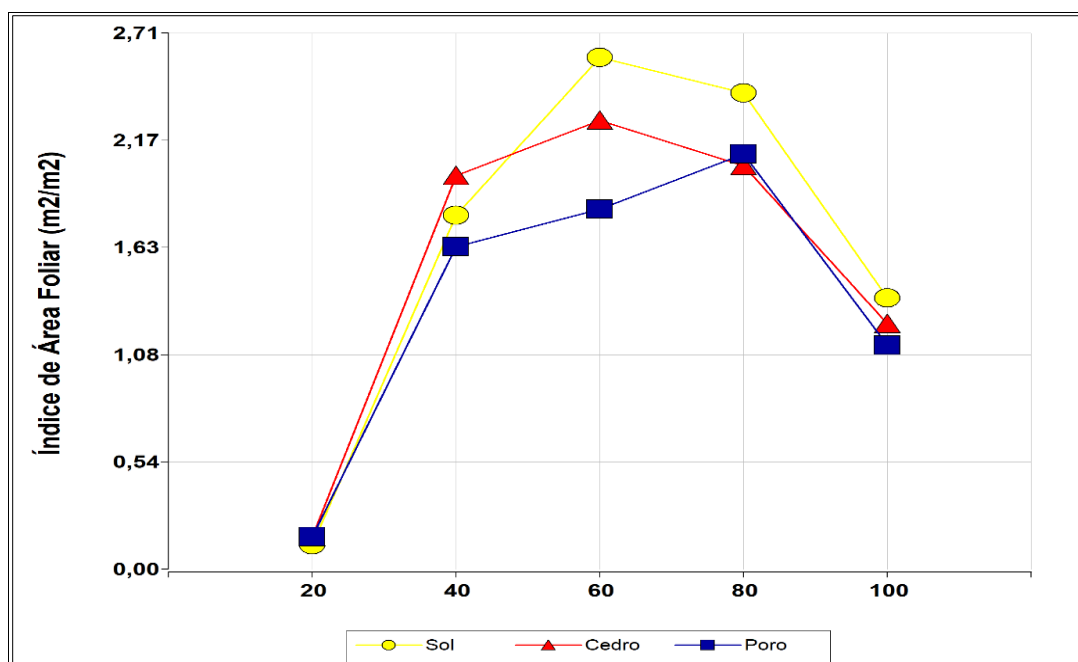


Figura 4. Comportamiento del área foliar del híbrido de maíz DK-390 bajo dos tipos de sombra: cedro (*Cedrela odorata*) y poró (*Erythrina poeppigiana*)

Efecto de la sombra sobre variables de rendimiento para el híbrido de maíz DK-390

Variables morfológicas y de rendimiento en R3 y R6

El rendimiento se midió tanto en grano lechoso-pastoso (elote) a los 90 DDS y en madurez fisiológica a los 120 DDDS. Los resultados, para ambas cosechas, no mostraron diferencias

($p > 0,05$) entre los tratamientos sombra cedro (SC), sombra poró (SP) con el testigo a pleno sol (T), en las variables comunes analizadas para ambas cosechas (Cuadro 3). La biomasa seca total de la mazorca más brácteas (BSTM) osciló entre 83,42 y 101,43 g a los 90 DDS y entre 142,4 y 170,41g a los 120 DDS. La BSB fue superior ($p < 0,05$) para T, comparado con SC y SP. Por el contrario, la biomasa seca de mazorca no fue afectada ($p > 0,05$) por los tratamientos. El número de hileras (NH) y la cantidad de granos por hilera (GH), no fueron diferentes ($p > 0,05$) entre tratamientos (Cuadro 3). En las variables morfológicas de la mazorca no se observan diferencias ($p > 0,05$) entre tratamientos.

El peso seco de 1000 granos (PS1000)

El peso seco de 1000 granos es medido en la madurez fisiológica, varió ($p < 0,05$) entre tratamientos PC, PS y T, siendo menor en los tratamientos cedro y poró con 321,87 y 328,37 g, respectivamente, en comparación con el testigo a pleno sol, el cual alcanzó 348,73 g de peso a los 120 DDS (Cuadro 3).

Cuadro 3. Variables de crecimiento de mazorca y rendimiento en grano lechoso-pastoso (90 DDS) y madurez fisiológica (120 DDS) del híbrido de maíz DK-390 bajo dos tipos de sombra: cedro (*Cedrela odorata*) (SC), poró (*Erythrina poeppigiana*) (SP) vs pleno sol (T).

Variable	90 DDS			120 DDS		
	T	SP	SC	T	SP	SC
Biomasa Mazorca + Brácteas (g)	101,43 ^b	84,8 ^b	83,42 ^b	170,41 ^a	167,19 ^a	142,4 ^a
Biomasa Mazorca (g)	69,09 ^b	62,49 ^b	61,87 ^b	148,82 ^a	146,1 ^a	126,13 ^a
Biomasa Brácteas (g)	33,03 ^a	22,51 ^b	22,31 ^b	21,59 ^b	21,1 ^b	16,27 ^b
Diámetro Mazorca (cm)	4,71 ^a	4,48 ^a	4,3 ^a	5,57 ^a	5,48 ^a	5,28 ^a
Altura Mazorca (cm)	18,76 ^a	17,78 ^a	16,92 ^a	17,93 ^a	16,95 ^a	15,89 ^a
Volumen Mazorca (cm ³)	333,15 ^a	286,58 ^a	251,08 ^a	444,15 ^a	403,9 ^a	353,97 ^a
Hileras por Mazorca	16,64 ^a	17,17 ^a	16,58 ^a	16,74 ^a	16,67 ^a	16,5 ^a
Granos por Hilera	33,84 ^a	28,66 ^a	27,52 ^a	32,97 ^a	27,92 ^a	25,82 ^a
<u>Peso seco de 1000 granos (g)</u>	---	---	---	348,73 ^a	321,87 ^b	328,37 ^b
<u>Rendimiento grano seco (t ha⁻¹)</u>	---	---	---	7,9665 ^a	6,3038 ^b	5,8102 ^b

* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Estimación de crecimiento y rendimiento del componente arbóreo del SAF maíz (*Zea mays*) y cedro (*Cedrela odorata*) mediante ecuaciones alométricas

Altura total (m)

Respecto a la altura de los árboles de cedro, la curva ajustada muestra que el crecimiento es acelerado en los primeros años, pero a medida que aumenta la edad de la plantación este va

disminuyendo, sin que la curva se estabilice, evidenciando que la plantación aun no culmina su crecimiento. En el año 17 o actualidad, la plantación tiene una altura total (h) promedio de 22 m y se espera que para el año 20 alcance una altura de 23 m (Figura 5).

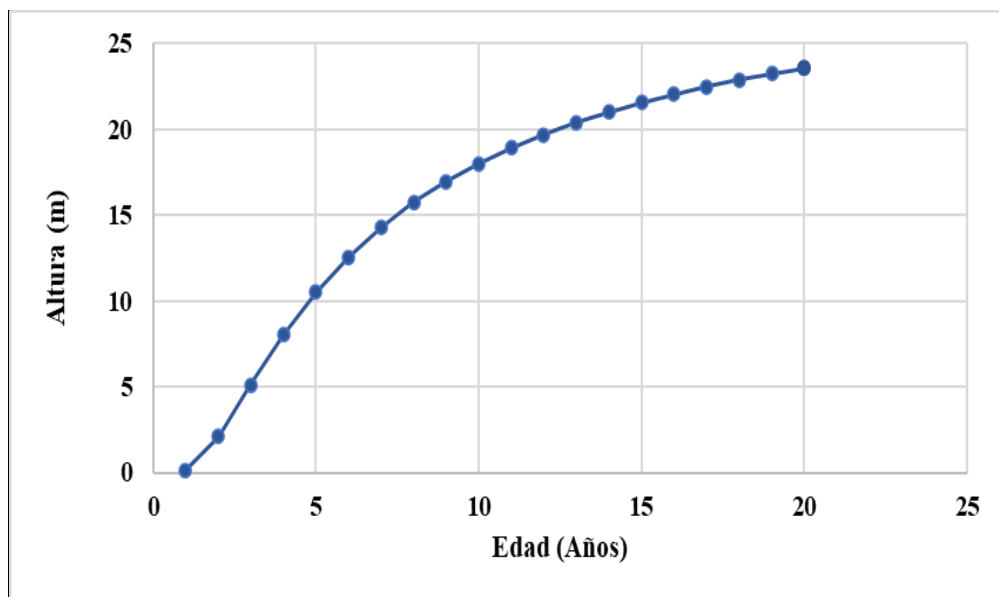


Figura 5. Estimación de altura total para la especie *Cedrela odorata* en 20 años en el sitio de estudio

Diámetro altura del pecho (1,3m de altura)

Para el dap, el patrón del crecimiento es acelerado en los primeros diez años, a partir de dicho año este proceso se desacelera. Actualmente la plantación tiene un dap promedio de 33 cm, el cual se proyecta a 35 cm en el año 20 (Figura 6).

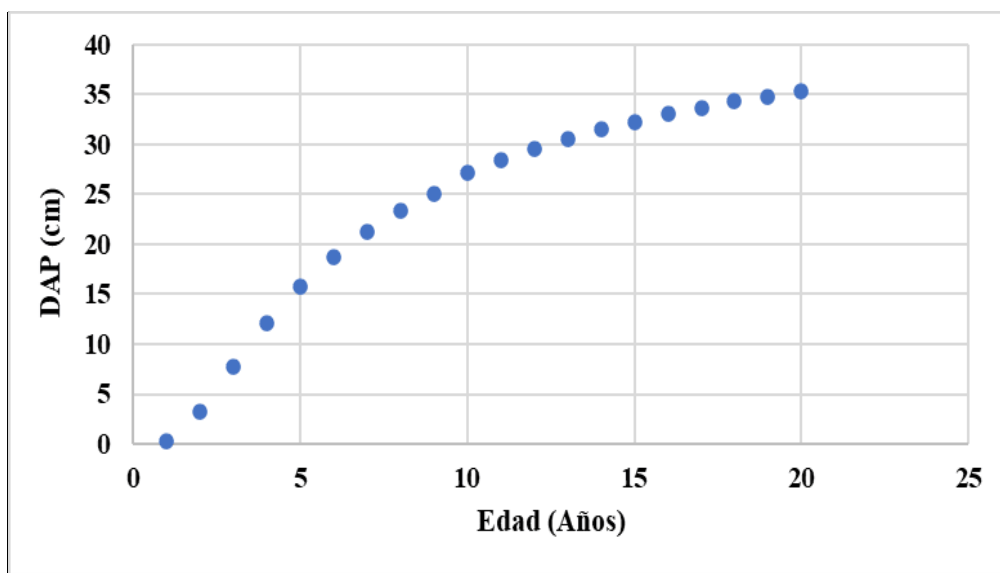


Figura 6. Estimación del DAP para la especie *Cedrela odorata* en 20 años

Volumen comercial

Para el volumen comercial, la curva evidencia un crecimiento constante y rápido en los primeros diez años, a partir del año diez hay una disminución del volumen, lo cual se debe al aprovechamiento que se hizo de los mejores árboles de la plantación. Para el año en curso o año 17, el volumen alcanzado por la plantación es de $69 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, el cual se proyecta a $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ para el año 20, a una densidad de siembra de $10 \times 20 \text{ m}$ (Figura 6).

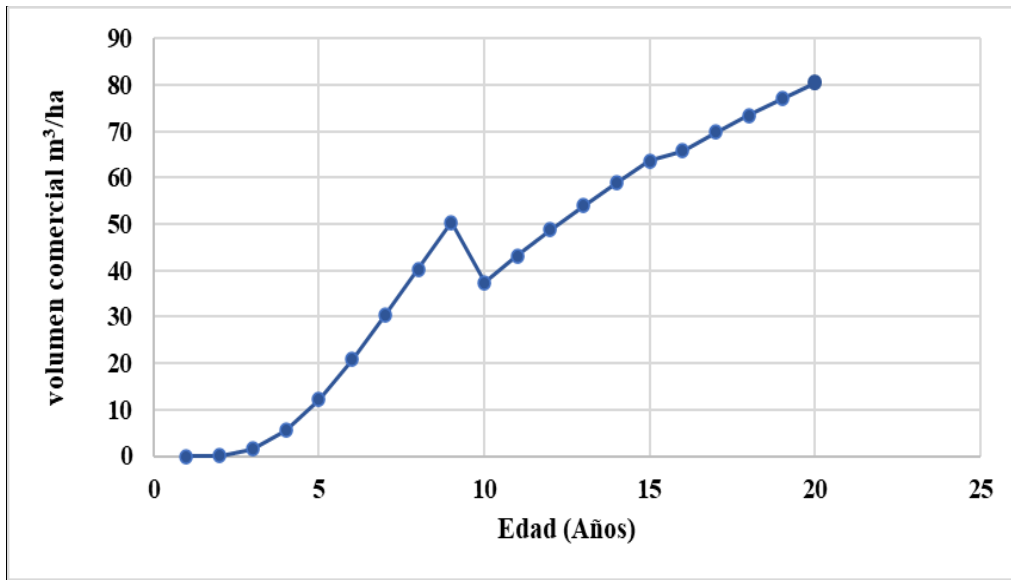


Figura 7. Estimación del volumen comercial para la especie Cedrela odorata en 20 años en el sitio de estudio

6. DISCUSIÓN

Rendimiento grano seco

El rendimiento óptimo comercial en grano seco para el híbrido de maíz DK-390 a pleno sol es de 8,1 a 8,8 t ha⁻¹ a una densidad de siembra de 62.500 Plantas ha⁻¹ (Castañeda 2019). Los rendimientos encontrados en este ensayo superaron los rendimientos reportados por Morales (2017), quien evaluó el híbrido DK-390 a pleno sol, bajo diferentes densidades de siembra y granos por postura (1 y 2), obteniendo un rendimiento de 4,8 t ha⁻¹. El rendimiento del híbrido DK-390 a pleno sol (T) en condiciones de trópico húmedo, a una densidad de siembra de 42.000 plantas ha⁻¹, manifestó una reducción del 1,65% respecto al rendimiento comercial óptimo, seguido del tratamiento SP y SC con 22,18 y 28,27% proporcionalmente (t ha⁻¹), evidenciando un gran potencial de rendimiento y adaptación a los sistemas agroforestales multiestrato (SAFM).

La reducción del rendimiento en función de la sombra producida por los tratamientos SC y SP, se compensa por los múltiples beneficios que los SAFM representan. Calvé *et al.* 2020, estimó el aporte económico de la madera de cedro (*Cedrela odorata* L.) establecido como sombra en sistemas de producción de café, reportando ingresos de aproximadamente US\$5000 ha⁻¹ provenientes de la madera y un volumen comercial de 100 m³ ha⁻¹ a una tasa de crecimiento de 2,5 cm año⁻¹, alcanzando 40 cm de dap a los 16 años; generando un 60% de fuste de 6 a 7 m con valor comercial para aserrío y un 35% de leña del volumen total (8% del valor comercial). Lo anterior en un marco de plantación de 7 x 7 m (214 individuos ha⁻¹).

Mientras que para poró (*Erythrina poeppigiana*), diferentes autores reportan alta eficiencia en la fijación de nitrógeno, debido a que la mayoría de las especies de *Erythrina* nodulan con bacterias del género *Bradyrhizobium*, abundantemente resistencia a podas y altas tasas de crecimiento. Características idóneas al momento de atenuar la temperatura y radiación directa en períodos de sequía. Asimismo, es una especie sobresaliente en la producción de abono verde, debido a que sus hojas contienen 4,1 a 4,9% de nitrógeno; aportando también materia orgánica mediante la defoliación natural de sus hojas y ramas al podar; suceso que disminuye el crecimiento de malezas en las calles del cultivo en asocio como lo observado en el presente ensayo (Farfán 2016; Beer *et al.* 1998 citado en Fernández 2018).

Biomasa total

La producción de BTA por hectárea, presentada por el híbrido DK-390 a los 120 DDS a pleno sol, alcanzó un rendimiento de 6,57 t ha⁻¹. Estos rendimientos son semejantes a los encontrados por Pocón (2018), quien evaluó el efecto de tres densidades de siembra sobre las características agronómicas y rendimiento de tres híbridos de maíz blanco, entre ellos DK-390, el cual alcanzó un rendimiento de 6,42 t ha⁻¹ con densidad de siembra de 62.500 plantas ha⁻¹. Asimismo, los rendimientos reportados por Sanchez & Hidalgo (2018), en la zona alta lechera de Costa Rica, 2200 m de altitud, dónde evaluaron los materiales BATAN2007-2173-9x10,10x9, BATAN2007-2174-13x14 y BATAN2007-2177-19x20, densidad de siembra de 53.000 plantas ha⁻¹, obteniendo rendimientos de biomasa seca de 6,1 y 10,1 t ha⁻¹.

Sin embargo, es menor a lo encontrado en el Alto de Ochomogo en híbridos y variedades criollas de maíz (10,1 y 13,1 t ha⁻¹), aclarando que dicho rendimiento se obtuvo con una densidad de siembra (53.000 plantas ha⁻¹) superior a la utilizada en este estudio (42.000 plantas ha⁻¹) (Elizondo & Boschini 2002; Elizondo-Salazar 2011, citados por Sánchez & Hidalgo 2018). El efecto de la sombra sobre el rendimiento total de biomasa aérea en el híbrido de maíz DK-390, indujo una reducción del 27,71% bajo sombra de poró (4,75 t ha⁻¹) y del 23,14% (5,05 t ha⁻¹), respecto al testigo a pleno sol.

índice de Área Foliar

Pese a que bajo sombra la radiación incidente es menor, Hernández *et al.* (2017), afirma que las bajas radiaciones estimulan el incremento de la relación de área foliar en las plantas. El primer muestreo de área foliar (AF) se realizó en V5 (20 DDS), continuando cada 20 días hasta la fase R4 (100 DDS). En esta investigación no se encontraron efectos significativos de la sombra en ninguna de las fases fenológicas del ciclo del cultivo, para el parámetro IAF.

A partir de R2, el IAF disminuyó progresivamente en las siguientes etapas fenológicas del cultivo. Diferentes autores mencionan que los órganos fuente, principalmente las hojas, producen fotoasimilados mediante el proceso de la fotosíntesis que son almacenados en otras partes de la planta, llamados órganos de demanda. Alrededor del 50% de la radiación solar incidente no es interceptada por las plantas de maíz en las primeras etapas fenológicas. Para que estas tengan un crecimiento inicial vertiginoso, es fundamental incrementar la superficie foliar en las primeras etapas vegetativas, que corresponden a V2 (Segunda hoja), V3 y V6 (Tercera y Sexta hoja), V9 y V10 (Novena y Décima hoja), V12 (Doceava hoja) y VT (floración masculina), coincidiendo con lo encontrado en esta investigación, dónde a partir del día 60 DDS o R2-R6 (etapas reproductivas), el IAF decreció sustancialmente, debido a que la planta almacena una mayor cantidad de carbohidratos en otros procesos y órganos de la planta (Emergencia de estigmas-R1, cuaje -R2 y llenado de grano-R3 -R5) (Hernández-Córdoba *et al.* 2017; Gaytán *et al.* 2001 Núñez *et al.* 2009; Hernández & Soto 2012).

Días a floración masculina y femenina

En la investigación realizada por Morales (2017), el híbrido DK-390 manifestó antesis a los 75 días y emisión de estigmas a los 82 días, a una altura de 1.350 msnm y temperatura promedio de 25,5°C. Evidenciando que el híbrido DK 390 presenta precocidad reproductiva condiciones de trópico. Para el caso de este ensayo, la antesis se observó a los 62 DDS, momento en el que el 50% de las plantas presentaban apertura de la panoja. Mientras que la emisión de estigmas se observó a los 68 DDS. Los dos eventos se dieron al tiempo tanto a pleno sol, como en SP y SC.

Obando (2019), encontró una diferencia de 13,25 días en promedio entre el desarrollo de antesis (floración masculina) y emisión de estigmas (flor femenina) en la caracterización morfológica de un material nativo de maíz blanco. Diferentes autores recomiendan que el proceso de antesis y emisión de estigmas debe desarrollarse en un lapso de entre 8 a 15 días, para garantizar una polinización y formación del grano adecuada (Pardey *et al.* 2016). Con una diferencia de seis días entre la apertura de panoja y la emisión de estigmas, la floración

femenina y masculina en el presente ensayo bajo sombra de SP y SC, se desarrollaron en condiciones óptimas.

Número de hojas

El número de hojas por planta fue igual entre tratamientos ($p > 0,05$). A los 80 (DDS) se contabilizaron entre 10 y 16 hojas por planta, con un máximo de 17 y en promedio, 11 hojas por planta al final del ciclo. Estos resultados coinciden con lo reportado para este híbrido por Morales (2017), 12 hojas, en la evaluación de variedades (ICTA B-5, ICTA B-7) e híbridos (HR-245, DK-390) de maíz y a los hallazgos de Morales-Araúz (2017), para la variedad PM-213, que reportó un promedio de 17 hojas.

Altura de planta

La variable altura de planta, para el híbrido DK-390 a nivel comercial se reporta en 279 cm (Castañeda 2019). En el estudio sobre el efecto de tres densidades de siembra en tres híbridos de maíz de grano blanco en Guatemala, el híbrido DK-390 alcanzó un promedio de 3,05 cm (Pocón 2018). Por su parte Morales 2017, reporta una altura promedio de 1,18 cm para el mismo híbrido.

Eficiencia de uso de radiación

Para el cultivo de maíz, la eficiencia en el uso de la radiación (EUR) es próxima a 4 g de materia seca por cada Megajoule (MJ) de radiación fotosintéticamente activa interceptada (Otegui *et al.* 1995 citado en Faraldo 2011). El incremento de la biomasa de cultivo y del índice de área foliar depende directamente de la eficiencia de interceptación de la radiación solar, ya que estimula una mayor tasa de crecimiento del cultivo que se traduce en un incremento del rendimiento. Así mismo al incrementar el índice de área foliar, estimula una mayor eficiencia de interceptación, que en conclusión es un nuevo incremento de la tasa de crecimiento del cultivo (Martignone *et al.* 2010).

Para el caso específico del híbrido DK-390, se encontró que el maíz cultivado a pleno sol alcanzó el valor máximo de EUR, 4,21 g MJ. Mientras que las plantas cultivadas bajo SP y SC, manifestaron una pérdida del EUR del 13,78% (3,63 g MJ) y del 21,38% (3,31 g MJ). correspondientemente.

Lo anterior coincide con los resultados de rendimiento en grano seco, encontrados bajo los tratamientos de SP y SC, en este ensayo, los cuales son ligeramente inferiores al rendimiento óptimo comercial del híbrido DK-390 con 8,8 t ha⁻¹, 7,96 t ha⁻¹ a pleno sol (T), seguido del tratamiento SP con 6,30 t ha⁻¹ y SC con 5,81 t ha⁻¹. Inmediatamente después de la polinización, inicia la fase de llenado de grano, proceso determinante en el peso final de la mazorca y de cada grano. El rendimiento en grano seco o peso del grano en madurez fisiológica está correlacionado directamente con la duración y la cantidad de radiación interceptada (Morales 2017; Fuentes López 2002).

En los últimos años instituciones como el CATIE buscan alternativas de producción sostenibles y rentables, ya que se hace imprescindible incrementar los rendimientos en las

tierras de cultivo existentes mediante un manejo sostenible, en lugar de expandir la frontera agrícola, para satisfacer la demanda mundial, garantizar la seguridad alimentaria y reducir los impactos ambientales (Hulme *et al.* 2013; Tilman *et al.* 2011; Foley *et al.* 2011). Una de las alternativas son los sistemas agroforestales que tienen una mejor capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos que los monocultivos a pleno sol (Cerda *et al.* 2017).

Estos sistemas mitigan los efectos del cambio climático, propiciando un microclima favorable e incrementando el almacenamiento de carbono (Bhagwat *et al.* 2008). Además, generan productos adicionales, como madera, leña, medicinas y frutos, contribuyendo a los medios de vida de los agricultores, especialmente en temporadas de crisis. Bajo sombra, no sólo la biodiversidad global mejora, sino también la biodiversidad funcional; la cual puede aumentar la productividad y la resiliencia ecológica (Jezeer & Verweij 2015). La polinización cruzada aumenta la producción hasta en un 50% (Tschardtke *et al.* 2011) y el control biológico reduce brotes de plagas (Kellerman *et al.* 2008). Se genera mayor porcentaje de materia orgánica, K, Ca, CEC, Mg y menor acidez (Cerda *et al.* 2017).

Con respecto al manejo del sistema, se señalan ciertas limitaciones debido al mayor requerimiento de mano de obra, dificultad de la labor con maquinaria y principalmente la reducción en los rendimientos de los cultivos bajo sombra. Frente a esto, se propone desarrollar investigaciones que permitan comprender a nivel de sitio y microclimas, los efectos de la sombra sobre distintos parámetros morfológicos y fisiológicos de los cultivos; ofrecer certificaciones e incentivos basados en el pago de servicios ecosistémicos, optimizar la extensión agrícola e incentivar la formación de los agricultores para promover la adopción de sistemas agroforestales sostenibles (Bhagwat *et al.* 2008; Cerda *et al.* 2017; Nieto 2005).

Estimación de crecimiento y rendimiento del componente arbóreo del SAF maíz (*Zea mays*) y cedro (*Cedrela odorata*) mediante ecuaciones alométricas

A nivel económico, los sistemas agroforestales y las plantaciones forestales comerciales ofrecen diversas ventajas. Por ejemplo, la diversificación del portafolio de inversiones, tasa de retorno competitiva a largo plazo, predicción del ingreso si el manejo está bajo control y se cuenta con un mercado seguro para la compra de la madera producida. En la actualidad, las previsiones de demanda-oferta a nivel internacional son positivas. Generalmente, la competitividad de la madera de las plantaciones es mejor, respecto a la del bosque natural (homogeneidad del producto, acceso y condiciones de extracción más fáciles, entre otros) y proporcionan una imagen positiva por la inversión “verde” (Ramírez *et al.* 2008; SEMARNAT 2001).

En el presente ensayo, el asocio de *Erythrina poeppigiana* con *Zea mays* establecidos a una distancia de 5 x 3 m, 40 cm entre planta y 60 cm entre surcos, respectivamente, aportó aproximadamente 1939,39 kg de materia fresca, procedente de hojas y ramas de las podas de árboles de 10 meses de edad. Las podas se realizaron dos veces al año, dicho intervalo es el más común entre los productores. Un mes antes de iniciar el experimento y establecer el cultivo de maíz, se llevó a cabo una poda total de ramas en todos los árboles, incorporando los remanentes de hojas y ramas sobre el suelo y entre surcos del cultivo en asocio, lo cual disminuyó considerablemente la incidencia de malezas. De manera tal, que en las parcelas en asocio con *Erythrina poeppigiana* se realizó un desmalezado a los 25 DDS, mientras que

en las parcelas en asocio con *Cedrela odorata* y el testigo a pleno sol, fue necesario realizar un desmalezado extra a los 45 DDS.

Lo anterior coincide con lo encontrado por Dominique (1994), quien evaluó la rentabilidad agroeconómica de un sistema agroforestal maíz-poró, en CATIE, donde la presencia de *Erythrina poeppigiana*, disminuyó en un 53 % la biomasa de las malezas, previo a la siembra de maíz y en un 39% 45 días después, al momento de la siembra. Encontrando también que el sistema maíz-poró, a una la densidad de 417 árboles ha⁻¹ y el monocultivo con fertilizante, tuvieron mayor margen bruto (\$122 ha⁻¹ ciclo⁻¹, \$120 ha⁻¹ ciclo⁻¹ respectivamente) y mayor ingreso neto (\$46 ha⁻¹ ciclo⁻¹, \$40 ha⁻¹ ciclo⁻¹). Así mismo, el índice de retribución al capital invertido fue mayor (0,78) en el espaciamiento 6 x 4m con *Erythrina poeppigiana* superior al monocultivo con fertilizante (0,40). Encontró un beneficio neto de \$5,80 ha⁻¹, al valorizar el impacto de los árboles (espaciamiento 6 x 4 m) sobre las reservas de nutrimentos del suelo en comparación con el monocultivo con fertilizante. Al sustituir el monocultivo de maíz por maíz-poró se economizarán \$18,80 ha⁻¹ ciclo en divisas, de los cuales el 84% proviene de las fuentes de Nitrógeno que se dejarían de comprar (Kass *et al.* 1995).

Por otra parte, el asocio *Zea mays* con *Cedrela odorata*, esta última presentó un IMA (incremento medio anual) de 1,29 m para altura y 3,77 cm para dap, con una abundancia de 58 árboles ha⁻¹. Superior al IMA encontrado en el estudio realizado por Viera & Pineda en el 2004, sobre linderos de *Cedrela odorata* en⁻¹ Honduras, donde reportan un incremento medio anual de 1,09 m de altura y 1,98 cm de dap.

En el año 5, esta plantación presento un diámetro medio de 15,72 cm y una altura total de 10,50 m; mientras que a los 10 años el diámetro fue de 27,11 cm y la altura 18 m. El volumen comercial a los 17 años alcanza una producción ha⁻¹ de 41,51 m³ ha⁻¹ año⁻¹ y un IMA de 2,44 m³ ha⁻¹ año⁻¹. Por lo anterior, el aporte económico de *Cedrela odorata* en pies en este asocio con *Zea mays*, es de ₡3.757.446, a una distancia de 10 x 20 m, con una abundancia de 58 árboles ha⁻¹ y teniendo en cuenta que el precio estipulado por la ONF 2021, es de es de ₡250 por cada PMT en pie. Lo anterior coincide con lo encontrado por González y colaboradores en el año 2017, en una plantación de cedro amargo a los 5 años, dónde reportaron un diámetro medio de 15,77 cm y una altura total de 12,93 m; mientras que a los 10 años el diámetro y la altura alcanzaron 25 cm y 17 m, correspondientemente y un volumen comercial máximo por árbol de 0,509 m³ a los 10 años y 1,505 m³ a los 17 años, con una producción por hectárea de 92,13 m³.

En Costa Rica y Centroamérica, *Cedrela odorata*, es una de las especies con alto valor comercial y con los mejores precios. Se utiliza principalmente para mueblería fina por su flexibilidad. Según Barrantes y Ugalde (2019) citados por Carvajal 2021, esta especie en el año 2019 alcanzó un valor de US\$140,2 m³ en pie y de US\$ 413,1 m³ en madera aserrada. Igualmente, los socios de cedro con otros cultivos de ciclo corto o perennes como el café, evidencian ser un sistema rentable, generando un valor actual neto (VAN) de US\$14.083.82 ha⁻¹, una tasa interna de retorno (TIR) de 16% con respeto a una tasa de interés de 6,1% y una relación de costo/beneficio de 1,34 (González *et al.* 2018; Carvajal 2021).

Los socios de maderables con cultivos agrícolas logran mayor rendimiento que en plantaciones comerciales puras (Suárez & Somarriba 2002; González *et al.* 2018), lo que se traduce en un sistema rentable para el productor puesto que diversifica su producción y genera ingresos escalonados. Aunque se han hecho varios estudios sobre el crecimiento y

rendimiento de especies maderables en SAF café, cacao y plátano, es necesario estimar los rendimientos de estas especies maderables con otros cultivos agrícolas como el maíz. Barrantes & Ugalde 2019, reportan que la madera que aportan los sistemas agroforestales a la oferta de Costa Rica es de 155,571 m³ en rollo.

7. CONCLUSIONES

El rendimiento en grano seco del híbrido de maíz DK-390 en condiciones de trópico húmedo, a pleno sol (T) alcanzó $7,96 \text{ t ha}^{-1}$, con una densidad de siembra de $42.000 \text{ plantas ha}^{-1}$, similar al reportado en la literatura y al óptimo comercial de $8,8 \text{ t ha}^{-1}$ con una densidad de siembra de $62.500 \text{ plantas ha}^{-1}$. Para el tratamiento sombra de poró (SP), se obtuvieron $6,30 \text{ t ha}^{-1}$ y para sombra cedro (SC) $5,81 \text{ t ha}^{-1}$, evidenciando un gran potencial de rendimiento y adaptación a los sistemas agroforestales multiestrato (SAFM).

El porcentaje de reducción del rendimiento para el híbrido DK-390 a pleno sol, es de 1,65% respecto al rendimiento comercial óptimo, seguido del tratamiento SP y SC con 22,18 % y 28,27% respectivamente. Las pérdidas del rendimiento en función de la sombra producida por los tratamientos SC y SP, se compensan por los múltiples beneficios del componente arbóreo del SAFM, entre ellos el aporte económico. El volumen comercial de esta plantación a los 17 años alcanza una producción ha^{-1} de $41,51 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y un IMA de $2,44 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Por lo anterior, el aporte económico de *Cedrela odorata* en pie, en este asocio con *Zea mays*, es de aproximadamente $\text{C}\$3.757.446$, en un marco de plantación promedio de $10 \times 20 \text{ m}$, con una abundancia de $58 \text{ árboles ha}^{-1}$ y teniendo en cuenta que el precio estipulado por la ONF 2021, es de $\text{C}\$250$ por cada PMT en pie. Mientras que el asocio de *Erythrina poeppigiana* con *Zea mays* aportó aproximadamente $1939,39 \text{ kg ha}^{-1}$ de materia fresca, procedente de hojas y ramas de la poda de 666 árboles con 10 meses de edad, disminuyendo la incidencia de malezas.

Las variables morfológicas y de rendimiento medidas en R3-grano lechoso-pastoso (elote) a los 90 DDS y en R6-madurez fisiológica a los 120 DDS, en SC y SP, mostraron patrones de desarrollo similares tanto con el testigo a pleno sol como con la literatura; excepto la BSB que fue superior para el T, comparado con SC y SP. La biomasa seca total de la mazorca más brácteas (BSTM) osciló entre $83,42 \text{ g}$ y $101,43 \text{ g}$ a los 90 DDS y entre $142,4 \text{ g}$ y $170,41 \text{ g}$ a los 120 DDS. La biomasa seca de mazorca (BSM), el número de hileras (NH), la cantidad de granos por hilera (GH) y el diámetro de mazorca (DM), no fueron diferentes entre tratamientos.

El híbrido DK 390 presentó precocidad reproductiva en condiciones de trópico, respecto a lo encontrado en otras investigaciones con el mismo híbrido. La antesis se observó a los 62 DDS, momento en el que el 50% de las plantas presentaban apertura de la panoja. Mientras que la emisión de estigmas se observó a los 68 DDS. Los dos eventos se dieron al tiempo tanto a pleno sol, como en SP y SC. Diferentes autores recomiendan que el proceso de antesis y emisión de estigmas debe desarrollarse en un lapso de entre 8 a 15 días, para garantizar una polinización y formación del grano adecuada. Con una diferencia de seis días entre la apertura de panoja y la emisión de estigmas, la floración femenina y masculina en el presente ensayo se desarrollaron en condiciones óptimas bajo sombra de SP, SC y a pleno sol.

8. RECOMENDACIONES

A la luz de los resultados encontrados se recomienda realizar posteriores estudios con las mismas condiciones del trópico húmedo y en condiciones de sequía, para variedades locales o criollas de maíz dónde se pueda evaluar la interacción de un SAFM respecto a fenología del cultivo, rendimientos y DPV.

Evaluar híbridos y variedades criollas, en otras épocas del año, teniendo en cuenta especies caducifolias e implementando más ciclos de cultivo.

En cuanto al componente arbóreo, se recomienda realizar mediciones constantes del crecimiento de los árboles, de los remanentes de las podas para el caso de *Erythrina poeppigiana* y la realización de análisis de suelo constante, con el fin de determinar el impacto de los árboles sobre las reservas de macronutrientes del suelo, las transformaciones de las fracciones orgánicas e interacciones entre elementos del SAFM.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbas, F; Ahmad, A; Safeeq, M; Shafaqat, A; Farhan, S; Hafiz, H; Wajid, F. 2014. Changes in precipitation extremes over arid to semiarid and subhumid Punjab, Pakistan. *Theor Appl Climatol* 116:671-680 p. Consultado 20 nov. 2020. Doi <https://doi-org.acceso.biblioteca.iica.int/10.1007/s00704-013-0988-8>
- Agrios, GN. 2005. *Plant pathology*. 1 ed. Elsevier Academic Press. USA. p. 135-700 p.
- Ahmed, M; Sultan, M; Yan, E; Wahr, J. 2016. Assessing and improving land surface model outputs over Africa using GRACE, field, and remote sensing data. *Surveys in Geophysics*, 37(3):529-556 p. Consultado 22 nov. 2020. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10712-016-9360-8>
- Allen, R; Pereira, L; Raes, D; Smith, M. 1998. *Crop evapotranspiration. Guides for computing crop water requirements*. FAO Irrig. Drain. Paper N° 56. Roma, Italia. 300 p. Consultado 24. nov. 2020.
- Andrade, T; Solis, R. 2004. Las bondades del cedro rojo. *La Ciencia y El Hombre*, 17(3):17-19 p. Consultado 22 ene. 2022.
- Ashcroft, MB; Gollan, JR. 2012. Fine-resolution (25 m) topoclimatic grids of near-surface (5 cm) extreme temperatures and humidities across various habitats in a large (200 x 300 km) and diverse region. *International Journal of Climatology*, 32:2134-2148 p. Consultado 22 nov. 2020. Doi: 10.1002/joc.2428.
- Atangana, A; Khasa, D; Chang, S; Degrande, A. 2014. *Tropical Agroforestry*. Springer Science & Business Media. 35-47 p. Consultado 15 jun. 2020. Doi:10.1007/978-94-007-7723-1
- Bai, G; Ge, Y; Hussain, W; Baenziger, PS; & Graef, G. 2016. A multi-sensor system for high throughput field phenotyping in soybean and wheat breeding. *Computers and Electronics in Agriculture*, 128:181-192 p. Consultado 19 nov. 2020
- Banziger M; Pixley K; Vivek B; Zambezi BT. 2000. *Characterization of elite germplasm grown in eastern and southern Africa: Results of the 1999 regional trials conducted by CIMMYT and the maize and wheat improvement*. Harare, Zimbabwe. CIMMYT. Consultado 24. nov. 2020.
- Barrantes, A; Ugalde, S. 2019. *Usos y aportes de la madera: Estadísticas 2018 y precios 2019*. Oficina Nacional Forestal. Consultado 22 ene. 2022. Disponible en <https://onfer.org/wp-content/uploads/2019/11/USOS-Y-APORTES-DE-LA-MADERA-2018.pdf>
- Beer J; Muschler R; Kass D; Somarriba E. 1997. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry systems*, 38(1-3), 139-164 p.
- Beharry, SL; Clarke, RM; Kumarsingh, K. 2015. Variations in extreme temperature and precipitation for a Caribbean Island: Trinidad. *Theor Appl Climatol* 122:783-797 p. Consultado 20 nov. 2020. Doi <https://doi-org.acceso.biblioteca.iica.int/10.1007/s00704-014-1330-9>
- Bhagwat, S; Willis, K.; Birks, H; & Whittaker, R. 2008. Agroforestry: a refuge for tropical biodiversity? (En línea). *Trends in Ecology & Evolution* 23(5):261-267p. Consultado 23 nov. 2020. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/5493552_Agroforestry_A_refuge_for_tropical_biodiversity

- Bhagwat, S; Willis, K; Birks, H; & Whittaker, R. 2008. Agroforestry: a refuge for tropical biodiversity? (En línea). *Trends in Ecology & Evolution* 23(5):261-267 p. Consultado 19 nov. 2020. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/5493552_Agroforestry_A_refuge_for_tropical_biodiversity
- Bongiovanni, R; Mantovani, E; Best, S; Roel, Á. 2006. Agricultura de precisión: integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable. Procisur/IICA. Consultado 20 nov. 2020.
- Bosch Company. 2018. Combined humidity and pressure sensor. Data sheet, 2(15):1-55 p. Consultado 21 nov. 2020.
- Bouroncle, C; Imbach, P; Laderach, P; Rodríguez, B; Medellín, C; Fung, E. 2014. La agricultura de Nicaragua y el cambio climático: ¿Dónde están las prioridades para la adaptación? CCAFS/CGIAR. 8 p. Consultado 19 nov. 2020.
- Butler, E; Huybers, P. 2015. Variations in the sensitivity of US maize yield to extreme temperatures by region and growth phase *Environ. Res.* Consultado 20 nov. 2020
- Calvé S; Murillo O; Salazar L; Córdoba D. 2020. Aporte económico de la madera de cedro (*Cedrela odorata* L.) como árbol de sombra en cafetales de Pérez Zeledón, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 17(41), 68-77p. Disponible en <https://doi.org/10.18845/rfmk.v17i41.5287>
- Carvajal-Arroyo, D; Murillo-Cruz R; González-Rojas M; Fonseca-González W. 2021. Evaluación del crecimiento de *Cedrela odorata* L. en sistemas agroforestales con café en Pérez Zeledón, Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*. Vol. 55(1):230-249 p. Consultado 22 ene. 2022. Disponible en DOI: <https://doi.org/10.15359/rca.55-1.11>
- Castañeda A. 2019. DEKALB, Market Development CA&A. El Salvador.
- CEPAL, C. (2012). La economía del cambio climático en Centroamérica: Impactos potenciales en la aridez y los meses secos. Serie técnica 2012. Organización de las Naciones Unidas, CEPAL, LC/MEX/L, 1074.
- CEPAL. 2017. Economía del Cambio Climático en Honduras. México, D.F. 228 p. Consultado 19 nov. 2020. Disponible en <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/42355>
- Cerda, R; Allinne, C; Gary, C; Tixier, P; Harvey, CA; Krolczyk, L; Mathiot, C; Clément, E; Aubertot, JN; Avelino, J. 2017. Effects of shade, altitude, and management on multiple ecosystem services in coffee agroecosystems. *European Journal of Agronomy* 82:308-319 p. Consultado 19 nov. 2020. Doi: 10.1016/j.eja.2016.09.019
- Chait, C. 2015. Café en Colombia: Servicios ecosistémicos, conservación de la biodiversidad (En línea). New Haven, EE. UU. Serie técnica 402: 349-361p. Consultado 22 nov. 2020. Disponible en <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/7124>
- Chen, R., S. Lu, E. Kang, J. Yang, and X. Ji. 2006. Estimating daily global radiation using two types of revised models in China. *Energy Convers. Manage.* 47:865–878 p. Consultado 23 nov. 2020.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical, Colombia). 2017. Strengthening capacity for climate-smart agriculture in Central America Policy- and decision-making support for climate change mitigation and adaptation in El Salvador, Guatemala, Honduras, and Nicaragua. Cali, Colombia. 2 p. Consultado 19 nov. 2020.
- Colston, JM; Ahmed, T; Mahopo, C; Kang, G; Kosek, M; de Sousa Junior, F; ... & The, ME. 2018. Evaluating meteorological data from weather stations, and from satellites and

- global models for a multi-site epidemiological study. *Environmental research*, 165:91-109 p. Consultado 22 nov. 2020. Doi: 10.1016/j.envres.2018.02.027
- CONABIO. 2008. Conocimiento de especies arbóreas: meliáceas. Consultado 22 ene. 2022. Disponible en http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/36-melia2m.pdf
- Cortés, M.; Bernal, J.; Díaz, E.; Méndez, J. 2013. Uso del modelo AquaCrop para estimar rendimientos agrícolas en Colombia, en el marco del estudio de impactos económicos del cambio climático (EIECC). FAO. Colombia. 62 p. Consultado 24. nov. 2020.
- Cortez, L. 2016. Contribución de los huertos familiares a la seguridad alimentaria y nutricional de las familias que participan en el Programa Agroambiental Mesoamericano de Trifinio y área centro norte de Nicaragua. Consultado 31 agos. 2020. Disponible en: http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/8318/Contribucion_de_los_huertos_familiares_la_seguridad_alimentaria.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cramer, L; Huyer, S; Lavado, A; Loboguerrero, A; Martínez, D; Nyasimi, M; Wijk, M. 2017. Métodos propuestos para evaluar el impacto potencial del cambio climático sobre la seguridad alimentaria y nutricional en Centroamérica y la República Dominicana (En línea). CGIAR 126:6 p. Consultado 18 jun. 2020. Disponible en <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/80049>
- Detlefsen, G; Somarriba, E. 2012. Producción de madera en sistemas agroforestales de Centroamérica. Consultado 22 oct. 2021. Disponible en <http://up-rid2.up.ac.pa:8080/xmlui/handle/123456789/1881>
- De la Caridad A; González O; Hernández R; Díaz F; Reyes C; Gil Y; Reyes S; Barroso J. 2017. Aplicación del software ImageJ® 1.43u en la caracterización de los síntomas de la mancha anular de la caña de azúcar. *Centro Agrícola*, 44(2), 83-88 p. Consultado 18 nov. 2021, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852017000200011&lng=es&tlng=es.
- De Oliveira, G; Brunsell, NA; Moraes, EC; Bertani, G; Dos Santos, TV; Shimabukuro, YE; Aragão, L. E. 2016. Use of MODIS sensor images combined with reanalysis products to retrieve net radiation in Amazonia. *Sensors*, 16(7):956 p. Consultado 22 nov. 2020
- Della Maggiora, A., L. Malena, L. Echarte y A.I. Irigoyen. 2008. Deficiencias hídricas de un cultivo de maíz ciclo intermedio en el sudeste bonaerense. Congreso de Agrometeorología, Jujuy, Argentina. Consultado 24. nov. 2020.
- Dominique, J. R. 1994. Evaluación de la sostenibilidad agronómica financiera y económica de un sistema de cultivos en callejones asociando el maíz (*Zea mays* L.) con poró (*Erythrina poeppigiana* (Walpers) OF Cook) plantado en diferentes densidades. CATIE, Turrialba, Costa Rica. Consultado 24. ene. 2021.
- Elizondo-Salazar J. 2011. Influencia de la variedad y altura de cosecha sobre el rendimiento y valor nutritivo de maíz para ensilaje. *Agron. Costarricense* 35:105-111 p.
- Elizondo-Salazar J.A; C. Boschini-Figueroa. 2002. Producción de forraje con maíz criollo y maíz híbrido. *Agron. Mesoam.* 13:13-17 p. Disponible en doi:10.15517/am.v13i1.13227
- Espitia-Camacho, M; Araméndiz-Tatis, H; Cardona-Ayala, C. 2017. Características morfométricas, anatómicas y viabilidad de semillas de *Cedrela odorata* L. y

- Cariniana pyriformis* Miers. *Agronomía Mesoamericana*, 28(3): 605-617 p. Consultado 22 ene. 2022.
- Fan, S; Gulati, A; Dalafi, S. 2007. Synthesis: Lesson and Challenges. In the Dragon and the Elephant, Agricultural and rural reforms in China and India. Gulati and S. Fan editors. The Jon Hopkins University Press, 465-488 p. Consultado 19 nov. 2020
- FAO (Food and Agriculture Organization). (2018). Datos de alimentación y agricultura. Consultado 19 nov. 2020. Disponible en <http://www.fao.org/faostat/en/#data>
- Faraldo, M. 2011. Eficiencia en el uso del agua y radiación en maíz, girasol y soja, en la región oriental de la pampa, argentina. *Agronomía Trop.* vol.61, n.1, 47-57 p. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2011000100005&lng=es&nrm=iso. ISSN 0002-192X.
- Farfan, F; Baute, J; Menza, H; Sánchez, P. 2016. *Erythrina* sp para sistemas agroforestales con café. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). Consultado 22 ene. 2022. Disponible en <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/702>
- Fawcett, D; Anderson, K. 2019. Investigating impacts of calibration methodology and irradiance variations on lightweight drone-based sensor derived surface reflectance products. In *Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems and Hydrology*, 21:11149 p. International Society for Optics and Photonics. Consultado 20 nov. 2020.
- Fernández-Vicente, G. 2018. Propuesta de un diseño agroforestal con café (*Coffea arabica*) y manejo orgánico en la región de Monteverde, Costa Rica.
- Field, CB; Barros, V; Stocker, TF; Dahe, Q. 2012. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: special report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, 582 pp. Consultado 19 nov. 2020.
- Foley, JA; Ramankutty, N; Brauman, K.A; Cassidy, ES; Gerber, JS; Johnston, M; Balzer, C. 2011. Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478(7369):337-342 p. Consultado 20 nov. 2020.
- Fuentes-López M. R. 2002. El cultivo de maíz en Guatemala: una guía para su manejo agronómico. Guatemala; ICTA, Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas. 45 p. Disponible en <http://www.icta.gob.gt/maiz/cultivoMaizManejoAgronomico.pdf>
- Gaytán A, Palomo A, Godoy S. Eficiencia en la producción y distribución de biomasa en variedades precoces de algodón. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 2001;24(2):197-202.
- Ge T; Sui F; Bai L; Tong C; Sun N. 2012. Effects of water stress on growth, biomass partitioning, and water-use efficiency in summer maize (*Zea mays* L.) throughout the growth cycle. *Acta Physiol. Plant.* 34: 1043- 1053 p. Consultado 24. Nov. 2020.
- Gerber, P; Steinfeld, H; Henderson, B; Mottet, A; Opio, C; Dijkman, J; Falcucci, A; Tempio, G. 2013. Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería: Una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación (en línea). Roma, Italia. Consultado 16 jun. 2020. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-i3437s.pdf>
- Gollan, JR; Ramp, D; Ashcroft, MB. 2015. Contrasting topoclimate, long-term macroclimatic averages, and habitat variables for modelling ant biodiversity at landscape scales. *Insect Conservation and Diversity* 8(1):43-53 p. Consultado 20 nov. 2020. Doi: 10.1111/icad.12081.
- González, M., Murillo, R. y Ávila, C. 2018. Rentabilidad financiera de *Cedreia odorata* L. en sistemas agroforestales con café en Pérez Zeledón, Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 52(1):129-144 p. Consultado 22 ene. 2022. Disponible en http://kimuk.conare.ac.cr/Record/RUNA_f0c6c62c49db4927f94b2a4396d9b2f3

- González, M., Murillo, R., Virginio, y Ávila, C. 2017. Influencia de factores biofísicos y de manejo en el crecimiento de *Cedrela odorata* L. en asocio con café en Pérez Zeledón, Costa Rica. Consultado 22 ene. 2022. Disponible en http://kimuk.conare.ac.cr/Record/RTEC_1d8dfb9006e9b6ce3fb8750b4352e6cd
- Grassini, P; van Bussel, L; Van Wart, J; Wolf, J; Claessens, L; Yang, H; Cassman, K. 2015. How good is good enough? Data requirements for reliable crop yield simulations and yield-gap analysis. *Field Crops Research*, 177, 49-63 p. Consultado 24. nov. 2020.
- Gubler, M; Henne, PD; Schwörer, C; Boltshauser-Kaltenrieder, P; Lotter, A.F; Brönnimann, S; Tinner, W. 2018. Microclimatic gradients provide evidence for a glacial refugium for temperate trees in a sheltered hilly landscape of Northern Italy. *Journal of Biogeography* 45:2564-2575 p. Consultado 20 nov. 2020. Doi: 10.1111/jbi.13426.
- Guerra Concepción, CI. 2018. Adaptación a la variabilidad climática de la ganadería en la Cuenca del Río La Villa, Panamá: estrategias de adaptación basadas en ecosistemas (ABE) y su contribución a la mitigación de gases de efecto invernadero. Tesis MSc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 13 p. Consultado 18 oct. 2020
- Gupta, S; Huang, CH; ... & Singh, GP. 2020. Portable Raman leaf-clip sensor for rapid detection of plant stress. *Nature*, 10:20206 p. Consultado 19 nov. 2020. Disponible en https://doi-org.acceso.biblioteca.iica.int/10.1038/s41598-020-76485-5opical_biodiversity
- Gutiérrez-Soto, M; Cadet-Piedra, E; Rodríguez-Montero, W; Araya-Alfaro, J. M. 2011. El GreenSeeker™ y el diagnóstico del estado de salud de los cultivos. *Agronomía mesoamericana*, 22(2):397-403 p. Consultado 21 nov. 2020.
- Hernández-Cordova N; Soto-Carreno F; Florido-Bacallao R. 2017. Influencia de tres fechas de siembra sobre la productividad biológica del cultivo del sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). *cultrop*, vol.38, n.3. Consultado 19 nov. 2021. 64-71p. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362017000300009&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0258-5936.
- Hoffrén Mansoa, R. 2019. Identificación de micro-refugios mediante modelos topoclimáticos de alta resolución en el PN de Ordesa y Monte Perdido. Tesis MSc.
- Hulme, M; Vickery, J; Green, R; Phalan, B; Chamberlain, D; Pomeroy, D; Atkinson, P. 2013. Conserving the birds of Uganda's banana-coffee arc: land sparing and land sharing compared. *PloS one*, 8(2): 54597p. Consultado 19 nov. 2020
- INSMET. 2011. El clima en Cuba. Instituto de Meteorología de Cuba (INSMET). Consultado 24. nov. 2020. Disponible en <http://www.insmet.cu/asp/genesis.asp?TB0=PLANTILLAS&TB1=CLIMAC&TB2=/clima/ClimaCuba.htm>
- Instituto Nacional de Bosques. 2017. Cedro (*Cedrela odorata*); paquete tecnológico forestal. Guatemala, INAB. Consultado 22 ene. 2022. Disponible en http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2802/Technical/CEDROD.pdf
- IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático). 2014. Resumen para los formuladores de políticas. Mitigación del cambio climático. Contribución del Grupo de Trabajo III al Quinto Informe de Evaluación del IPCC (en línea). Cambridge, Reino Unido. Consultado 12 jun. 2020. Disponible en https://www.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar5/wg2/ar5_wgII_spm_es.pdf
- Jarrín, Pérez, F. X. 2016. Análisis de Índices Climáticos a Partir de Datos Instrumentales Meteorológicos Para Determinación de Cambio Climático en las Demarcaciones Hidrográficas Guayas y Manabí. Tesis MSc. Consultado 20 nov. 2020.

- Jezeer, R; Verweij, P. 2015. Café en Sistema Agroforestal: doble dividendo para la biodiversidad y los pequeños agricultores en Perú (En línea). The Hague, Holanda. Hivos Internacional. 1-61 p. Consultado 19 nov. 2020. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/301694184_Cafe_en_sistemas_Agroforestales-Doble_dividendo_para_la_biodiversidad_y_los_pequenos_agricultores_en_Peru
- Jezeer, R; Verweij, P. 2015. Café en Sistema Agroforestal: doble dividendo para la biodiversidad y los pequeños agricultores en Perú (En línea). The Hague, Holanda. Hivos Internacional. 1-61 p. Consultado 21 nov. 2020. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/301694184_Cafe_en_sistemas_Agroforestales-Doble_dividendo_para_la_biodiversidad_y_los_pequenos_agricultores_en_Peru
- Jiménez, J; Kass, D; Jiménez, F. 1998. El cultivo en callejones. Apuntes de clase del curso corto: sistemas agroforestales, Serie técnica. Manual Técnico, 32:257-277p.
- Justice, CO; Townshend, JR; Vermote, EF; Masuoka, E; Wolfe, RE; Saleous, N; ... & Morisette, JT. 2002. An overview of MODIS Land data processing and product status. *Remote sensing of Environment*, 83(2):3-15p. Consultado 22 nov. 2020
- Kang, B; Wilson, G. Lawson. 1984. Alley cropping, a stable alternative to shifting cultivation. International Institute for Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria. 22 p.
- Karger, DN; Conrad, O; Böhrner, J; Kawohl, T; Kreft, H; Soria-Auza, RW; Zimmermann, NE; Linder, HP; Kessler, M. 2017. Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas (en línea). *Scientific Data* 4:1-20. Consultado 22 nov. 2020. Doi: 10.1038/sdata.2017.122.
- Kass, D; Aguirre, J; Current, D; Dominique, J; Jiménez, J; Quintanilla, J; Tavares da Costa, C. 1995. Evaluación agronómica y económica del sistema de cultivo en callejones. *Semana Científica*, 2: 1995 p: Turrialba, Costa Rica.
- Kellerman, J; Johnson, M; Stercho, A; Hackett, S. 2008. Ecological and Economic Services Provided by Birds on Jamaican Blue Mountain Coffee Farms (En línea). *Conservation Biology*. 22:1177–1185. Consultado 19 nov. 2020. Disponible en doi:10.1111/j.1523-1739.2008.00968.x
- Kirkwood, BR; Sterne, J. A. 2010. *Essential medical statistics* (En línea). John Wiley & Sons. Consultado 22 nov. 2020. Disponible en <http://lib.inmeds.com.ua:8080/jspui/handle/lib/282>
- Leshner, J; Martínez, J; Orduña, P; Hernández, A. 2018. Diversidad genética del cedro rojo (*Cedrela odorata*) en el estado de Tabasco, México. *Bosque (Valdivia)*, 39 (3): 411-417 p. Consultado 22 ene. 2022. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002018000300411>
- Lin, P; He, Z; Du, J; Chen, L; Zhu, X; Li, J. 2017. Recent changes in daily climate extremes in an arid mountain region, a case study in northwestern China's Qilian Mountains. *Sci Rep* 7:2245 P. Consultado 20 nov. 2020. Doi <https://doi-org.acceso.biblioteca.iica.int/10.1038/s41598-017-02345-4>
- Linnaeus, C. 1759. *Regnum Vegetabile* (Vol. 2). En *Systema Naturae* (10a ed.) Stockholm: Laurentius Salvius. Consultado 22 ene. 2022. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_nlinks&pid=S1405-0471201700010011100007&lng=en

- Lobell, DB; Bänziger, M; Magorokosho, C; Vivek, B. 2011. Nonlinear heat effects on African maize as evidenced by historical yield trials. *Nat. Clim. Change* 1:42-45 p. Consultado 19 nov. 2020
- Lobell, DB; Hammer, GL; McLean, G; Messina, C; Roberts, MJ; Schlenker, W. 2013. The critical role of extreme heat for maize production in the United States. *Nature climate change*, 3(5): 497-501 p. Consultado 19 nov. 2020
- Maclean, I; Suggitt, A; Wilson, R; Duffy, J; Bennie, J. 2016. Fine-scale climate change: modelling spatial variation in biologically meaningful rates of warming. *Global Change Biology*. Consultado 20 nov. 2020. Doi: 10.1111/gcb.13343
- Maiti R; Satya P. 2014. Research advances in major cereal crops for adaptation to abiotic stresses. *GM Crops Food* 5: 259-279 p. Consultado 24 nov. 2020.
- Martignone R; Enrico J. M; Bodrero M; Andriani, J. M. 2010. Factores asociados con la variabilidad de rendimientos entre grupos de madurez en soja. *EEA Oliveros INTA*, 39, 36-40 p.
- Martínez-Cruz, E. 2014. Cultivo in vitro mediante embriogénesis somática y transformación genética de maíz (*Zea mays* L.) con genes de biosíntesis de trehalosa. Tesis PhD, Universidad Autónoma Chapingo. Consultado 24 nov. 2020. Disponible en <https://chapingo.mx/horticultura/pdf/tesis/TESISDCH2014063009127253.pdf>
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego, Perú). 2014. Intenciones de siembra. Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos (OEEE-MINAGRI). 595 p. Consultado 22 nov. 2020.
- Morales, R; Zorogastúa, P; Feliciano, D; Mendiburu, F; Quiroz, R. 2019. Combining reference trials, farm surveys and mathematical models to assess carbon footprint and mitigation measures in tropical agriculture. *Annals of Agricultural Sciences*, 64(2):188-195 p. Consultado 25 nov. 2020.
- Morgado V. S. 2014. Estimación del Rendimiento de Cedro Rojo (*Cedrela odorata* L.) en el Sureste de México. Tesis de Licenciatura no publicada. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México. Consultado 22 ene. 2022.
- Mourtzinis, S., Edreira, J. I. R., Conley, S. P., & Grassini, P. 2017. From grid to field: Assessing quality of gridded weather data for agricultural applications. *European Journal of Agronomy*, 82, 163-172 p. Consultado 24 nov. 2020.
- Muriuki, J; Franzel, S; Mowo, J; Kariuki, P; Jamnadass, R. 2012. Formalisation of local herbal product markets has potential to stimulate cultivation of medicinal plants by smallholder farmers in Kenya. *Forests, Trees and Livelihoods* 21:114-127. Consultado 23 nov. 2020.
- Nash, JE; Sutcliffe, JV. 1970. River flow forecasting through conceptual models' part I—A discussion of principles. *Journal of hydrology*, 10(3):282-290 p. Consultado 22 nov. 2020. Doi: 10.1016/0022-1694(70)90255-6
- Nieto, C, Ramos R & Galarza J. 2005. Sistemas agroforestales aplicables en la sierra ecuatoriana. Resultado de una década de experiencia en el campo. INIAP- PROMSA. Editorial Nueva Jerusalén. Quito-Ecuador. *Boletín Técnico*, 122: 18 p. Consultado 22 nov. 2020. Disponible en <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=EC2005000041>
- Ñústez C; Santos M; Segura M. 2009. Dry matter allocation and partitioning of four potato varieties (*Solanum tuberosum* L.) in Zipaquirá, Cundinamarca (Colombia). *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*, 2009, vol. 62, no. 1, 4823-4834 p.

- Obando Arequipa E. 2019. Caracterización morfológica de maíz blanco harinoso (*Zea mays* L.) material nativo “Chazo” de la provincia de Chimborazo (Tesis de licenciatura). <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/29726/1/Tesis-234%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20636.pdf>
- ONF (Oficina Nacional Forestal)2021. Informe de Precios de Madera para las especies más comercializadas (En línea). San José, Costa rica. 3p. Informe primer semestre 2021. Consultado 22 ene. 2022. Disponible en <https://onfcr.org/informe-de-precios-de-madera>
- Ospina, J. 1999. Tecnología del cultivo del maíz. U.D.C.A. Actualidad y Divulgación Científica, Bogotá. Colombia. 04 (02):14-20 p. Consultado 24. nov. 2020.
- Ovalle-Rivera, O; Läderach, P; Bunn, C; Obersteiner, M; Schroth, G. 2015. Projected Shifts in *Coffea arabica* Suitability among Major Global Producing Regions Due to Climate Change. PLoS ONE 10(4): 12 p. Consultado 19 nov. 2020. Disponible en <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0124155>
- Paliwal, R. 2001. El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. Departamento de Agricultura. FAO. Roma. 392 p. Consultado 24. nov. 2020.
- Pardey C; García M; Moreno N. 2016. Caracterización de maíz procedente del departamento del Magdalena, Colombia. Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria, 17(2), 167-190 p.
- Pingali, P. L. 2012. Green revolution: impacts, limits, and the path ahead. Proceedings of the National Academy of Sciences, 109(31):12302-12308 p. Consultado 19 nov. 2020
- Pocon O. M. 2018. Efecto de tres densidades de siembra sobre las características agronómicas y rendimiento de tres híbridos de maíz blanco; Nueva Concepción. Disponible en <http://biblio3.url.edu.gt/publijrcifuentes/TESIS/2018/06/17/Pocon-Osmar.pdf>
- Porter, J; Xie, L; Challinor, A; Cochrane, K; Howden, S; Iqbal, M; Travasso, M; Barros, V; Field, C; Dokken, D. 2017. Food security and food production systems. Consultado 24. Nov. 2020.
- Production Systems and the Environment (PSE). International Potato Center (CIP). 2013. Protocol for Designing and Conducting Potato Field Experiments for Modeling Purposes. CIP. Lima, Perú. 16 p. Consultado 25. nov. 2020.
- Quiroz, R., Loayza, H., Barreda, C., Gavilán, C., Posadas, A., & Ramírez, D. A. 2017. Linking process-based potato models with light reflectance data: Does model complexity enhance yield prediction accuracy? European Journal of Agronomy, 82, 104-112p. Consultado 24. nov. 2020.
- Ramírez, D. A., Rolando, J. L., Yactayo, W., Monneveux, P., Mares, V., & Quiroz, R. 2015. Improving potato drought tolerance through the induction of long-term water stress memory. Plant Science, 238, 26-32 p. Consultado 24. nov. 2020.
- Reyes Castañeda P. 1990. El maíz y su cultivo. AGT Editor, México DF. 460 p. Consultado 24. nov. 2020.
- Reyes, A; Reta, D; Sánchez, J; Ochoa, E; Rodríguez, K; Preciado, P. 2019. Estimación de la evapotranspiración de maíz forrajero apoyada con sensores remotos y mediciones in situ. Terra Latinoamericana, 37(3):279-290 p. Consultado 21 nov. 2020. Doi: <https://doi.org/10.28940/terra.v37i3.485>
- Rigden, AJ; Mueller, ND; Holbrook, NM; Pillai, N; Huybers, P. 2020. Combined influence of soil moisture and atmospheric evaporative demand is important for accurately predicting US maize yields. Nature Food, 1(2):127-133 p. Consultado 19 nov. 2020

- Rivera, DS; López, CF; Arévalo JL. 2015. Ajustes de distribuciones probabilísticas para la variable temperatura media multianual para el departamento de Boyacá (Colombia). *Ingeniería y Region*, 14: 113-124p. Consultado 22 nov. 2021
- Rivington, M., K.B. Matthews, G. Bellocchi, and K. Buchan. 2006. Evaluating uncertainty introduced to process-based simulation model estimates by alternative sources of meteorological data. *Agric. Syst.* 88:451-471p. Consultado 24. Nov. 2020.
- Rodell, M; Houser, PR; Jambor, UE; Gottschalck, J; Mitchell, K; Meng, C. J; ... & Entin, JK. 2004. The global land data assimilation system (En línea). *Bulletin of the American Meteorological Society*, 85(3):381-394p. Consultado 22 nov. 2020. Disponible en <https://journals.ametsoc.org/bams/article/85/3/381/58218>
- Romo-Lozano, J; Vargas-Hernández, J; López-Upton, J; Ávila, M. 2017. Estimación del valor financiero de las existencias maderables de cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) en México. *Madera y bosques*, 23(1), 111-120. Consultado 22 ene. 2022. Disponible en <https://doi.org/10.21829/myb.2017.231473>
- RUSSO, A. Descripción de *Erythrina poeppigiana*. 1983 (Walpers) O. F. Cook. Turrialba: CATIE. 7 p.
- Sadowski, A; Baer-Nawrocka, A. 2018. Food and environmental function in world agriculture-Interdependence or competition? 71:578-583p. Consultado 5 oct. 2020. DOI: 10.1016/j.landusepol.2017.11.005
- Sáez, Cigarruista, A. E. 2018. Efecto del déficit hídrico y temperatura ambiental sobre el cultivo de maíz en El Ejido de Los Santos. Universidad de Panamá, Tesis MSc. 28-34 p. Consultado 22 nov. 2020.
- Sánchez Ledezma W; Hidalgo-Ardón C. 2018. Potencial forraje de nueve híbridos de maíz en la zona alta lechera de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 29(1): 163-174p.
- Schlenker, W. & Roberts, M. J. 2009. Nonlinear temperature effects indicate severe damages to U.S. crop yields under climate change. *Proc. Natl Acad. Sci. USA*, 106:15594-15598 p. Consultado 19 nov. 2020
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2001. Programa estratégico forestal para México 2025. México, D. F. 157 p. Consultado 22 ene. 2022.
- Sinclair, T. R. 2017. Water-Conservation traits to increase crop yields in water-deficit environments. Switzerland: Springer Briefs in Environmental Sciences. Springer. 1007: 978-3 p. Consultado 19 nov. 2020
- Soncim, I; Virginio Filho; Righi, C; Shiota, R. 2019. Rentabilidad económica de sistemas agroforestales con café: estudio de largo plazo en Turrialba, Costa Rica. In XXIV Simposio Latinoamericano de Caficultura, Guatemala.17-28 p. Consultado 22 ene. 2022. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/Elias-De-Melo-Virginio-Filho/publication/357933287_Rentabilidad_economica_de_sistemas_agroforestales_con_cafe_estudio_de_largo_plazo_en_Turrialba_Costa_Rica/links/61e82cc29a753545e2e0f0d4/Rentabilidad-economica-de-sistemas-agroforestales-con-cafe-estudio-de-largo-plazo-en-Turrialba-Costa-Rica.pdf
- Ssekabembe, C. 1985. Perspectives on hedgerow intercropping. *Agroforestry Systems* 3: 339-356 p.
- Steiner, A; Aguilar, G; Bomba, K; Bonilla, JP; Campbell A; Echeverria, R; Gandhi, R; Thornton, P; Wollenberg, L; ... Zebiak, S. 2020. Actions to transform food systems under climate change. Wageningen, The Netherlands: CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS). 14 p. Consultado 5 oct. 2020.

- Stephenson, TS; Vincent, LA; Allen, T; Van-Meerbeeck, CJ; McLean, N; Peterson, TC; ... & Boekhoudt, JR. 2014. Changes in extreme temperature and precipitation in the Caribbean region, 1961–2010. *International Journal of Climatology*, 34(9):2957-2971p. Consultado 20 nov. 2020.
- Suárez, A; Somarriba, E. 2002. Aprovechamiento sostenible de madera de *Cordia alliodora* de regeneración natural en cacaotales y bananales indígenas de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*. 9 (35-36):50-54 p. Consultado 22 ene. 2022.
- Tadesse, T., Brown, J. F., & Hayes, M. J. 2005. A new approach for predicting drought-related vegetation stress: Integrating satellite, climate, and biophysical data over the US central plains. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 59(4), 244-253 p. Consultado 23 nov. 2020.
- Thorlakson, T; Neufeldt, H. 2012. Reducing subsistence farmers' vulnerability to climate change: evaluating the potential contributions of agroforestry in western Kenya. *Agriculture & Food Security*, 1(1):15 p. Consultado 21 nov. 2020. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1186/2048-7010-1-15>
- Tilman, D; Balzer, C; Hill, J; Befort, B. L. 2011. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the national academy of sciences*, 108(50):20260-20264 p. Consultado 19 nov. 2020.
- Toté, C; Patricio, D; Boogaard, H; Van der Wijngaart, R; Tarnavsky, E; Funk, C. 2015. Evaluation of satellite rainfall estimates for drought and flood monitoring in Mozambique. *Remote Sensing*, 7(2):1758-1776 p. Consultado 22 nov. 2020. Doi: <https://doi.org/10.3390/rs70201758>
- Tscharntke, T; Clough, Y; Bhagwat, S; Buchori, D; Faust, H; Hertel, D; Hölscher, D; Jührbandt, J; Kessler, M; Perfecto, L; Scherber, C; Schroth, G; Veldkamp, E; Wanger, T. 2011. Multifunctional shade-tree management in tropical agroforestry landscapes-a review. *Journal of Applied Ecology* 48: 619–629. Consultado 19 nov. 2020. Doi: 10.1111/j.1365-2664.2010.01939.x
- Van, Wart, J., Grassini, P., & Cassman, K. G. 2013. Impact of derived global weather data on simulated crop yields. *Global change biology*, 19(12):3822-3834 p. Consultado 24. Nov. 2020.
- Van, Wart, J., Grassini, P., Yang, H., Claessens, L., Jarvis, A., & Cassman, K. G. 2015. Creating long-term weather data from thin air for crop simulation modeling. *Agricultural and Forest Meteorology*, 209: 49-58 p. Consultado 24. nov. 2020.
- Vela, Velasco, AM. 2016. Estudio de la agricultura de precisión enfocado en la implementación de una red de sensores inalámbricos (WSN) para el monitoreo de humedad y temperatura en cultivos—caso de estudio hacienda Cabalinus ubicada en la provincia de Los Ríos. Tesis MSc, PUCE. Consultado 20 nov. 2020.
- Viera, C; Pineda, A. 2004. Productivity of *Cedrela odorata* living fences. Consultado 22 ene. 2022. Disponible en http://kimuk.cona-re.ac.cr/Record/PUCR_cc1cbf9fc3d30334df030048f03f2ff9
- Vira, B; Agarwal, B; Jamnadas, R; Kleinschmit, D; McMullin, S; Mansourian, S; Wildburger, C. 2015. Introduction: Forests, trees and landscapes for food security and nutrition (Chapter 1). *IUFRO world series*, 33: 14-23 p. Consultado 22 nov. 2020. Disponible en https://www.fs.fed.us/research/publications/misc/72989_2015_FoodSecurityChap1_Vira.pdf

- Virginio Filho, E. D. M., Casanoves, F., Hagggar, J., Staver, C., Soto, G., Avelino, J., ... & Vásquez, A. 2015. La productividad útil, la materia orgánica y el suelo en los primeros 10 años de edad en sistemas de producción de café a pleno sol y bajo varios tipos de sombra y niveles de insumos orgánicos y convencionales en Costa Rica. Consultado 22 ene. 2022. Disponible en <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=FR2017102414>
- Virginio-Filho, E.d.M; Orozco Estrada, S; Sheck, R. 2012. Ensayo de Sistemas Agroforestales con Café: más de una década de resultados pioneros en el mundo. Turrialba, Costa Rica. Consultado 20 nov. 2020.
- Wang, X.L; Y. Feng. 2013. RHtestsV4 User Manual. Climate Research Division, Atmospheric Science and Technology Directorate, Science and Technology Branch, Environment Canada. 28 p. Consultado 20 nov. 2020.
- Zhao, C; Liu, B; Piao, S; Wang, X; Lobell, DB; Huang, Y; ... Durand, JL. 2017. Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(35): 9326-9331 p. Consultado 19 nov. 2020.

10. ANEXOS

Anexo 1. Informe manejo agronómico del cultivo de maíz, muestreos de biomasa, rendimiento, radiación y seguimiento estaciones meteorológicas SIXFOX.

INTRODUCCIÓN

En el marco del proyecto AGRO-INNOVA, se vienen desarrollando actividades de validación de estrategias para el desarrollo de sistemas agroforestales multiestrato y agricultura familiar aplicables a las condiciones socioeconómicas y climáticas del corredor seco centroamericano. Dados los nuevos escenarios climáticos, sumados a la crisis de salud pública y pobreza. Es apremiante adaptar la agricultura y evidenciar su importancia económica en los sectores vulnerables.

Estos retos conllevan a buscar alternativas de producción sostenibles y rentables. Una de las estrategias efectivas son los sistemas agroforestales multiestrato. Estos sistemas bajo sombra tienen una mejor capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos, que los monocultivos a pleno sol. Son eficientes mitigando los efectos del cambio climático, propiciando microclimas favorables para los cultivos en asocio y los mismos productores. Incrementan el almacenamiento de carbono y proveen productos adicionales, como madera, leña, medicinas y frutos, contribuyendo a los medios de vida de los agricultores, especialmente frente a los episodios de crisis alimentaria, climática o como en el caso del impacto socioeconómico derivado de la pandemia COVID-19.

Entender la respuesta de los cultivos bajo sistemas agroforestales multiestrato, al calor y al estrés hídrico, es esencial para su gestión y adaptación. Tomar decisiones, frente a los impactos de la variabilidad climática en estos sistemas productivos, demanda del acceso a métodos y herramientas que permitan cuantificar el déficit hídrico y su incidencia en el rendimiento de los cultivos. Para ello se requiere el uso de información proveniente de estaciones meteorológicas; así como también información climática secundaria, disponible gratuitamente y de fácil acceso para que pueda ser utilizada en la caracterización agroclimática de la zona de intervención.

Por lo anterior dentro del proyecto AGRO-INNOVA, se está desarrollando el proyecto de tesis denominado “Estimación del déficit de presión de vapor (VPD) en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) bajo sistemas agroforestales multiestrato y su potencial aplicación a las condiciones del Corredor Seco Centroamericano”. Para lograr los objetivos de esta investigación, se estableció un cultivo de maíz variedad DK 390, distribuido en 9 parcelas: tres bajo sombra de Poro, tres bajo sombra de Cedro y tres a pleno sol como testigo.

En cada parcela se instalaron estaciones meteorológicas con tecnología SIGFOX, programadas para entregar información de nueve variables cada 30 minutos. Esta información de sitio permite un análisis más exhaustivo del efecto de las variables climáticas sobre el cultivo. El manejo agronómico del se realiza de acuerdo con las actividades convencionales que realizan los productores; por ejemplo, las distancias de siembra y aporque. Desde los ocho días después de siembra se están tomando mediciones de radiación solar in sitio, con un radiómetro portátil, se realizan muestreos destructivos cada 20 días, con el fin de determinar biomasa y área foliar.

Otra estrategia en validación es la ganadería de especies menores como las cabras. Dentro del

campus CATIE, se construyó el módulo caprino con el objetivo de capacitar a productores y visitantes en el manejo del bienestar animal, alimentación, bancos forrajeros, compostaje de estiércol, prácticas de ordeño, manipulación de leche y subproductos. La crianza caprina tiene grandes ventajas tales como: leche altamente nutritiva, con propiedades curativas; tamaño corporal pequeño, lo que representa un fácil manejo, hábitos alimenticios diversos que facilitan su crianza, son reproductores prolíferos y tienen ciclos de reproducción cortos. Todas son características idóneas para pequeños productores del corredor seco centroamericano.

Dentro del manejo del módulo caprino se han realizado diferentes actividades. Desde día 22 de febrero (llegada de las cabras) hasta la fecha se han apoyado actividades como: organización de un cuarto de manipulación, almacenamiento de leche y elaboración de subproductos. Ordeño, limpieza del aprisco, limpieza y baño de las cabras adultas, preparación de subproductos, capacitación en ordeño y pasteurización, alimentación de adultos, así como de crías. Venta y promoción de leche y subproductos, compra de insumos alimenticios y veterinarios para las cabras, apoyo en la elaboración de la encuesta para analizar el mercado interno del CATIE y de los protocolos de manejo.

En diferentes ocasiones, se han recibido visitas, por mencionar el Director General de IICA, Representantes de la Unión Europea, El secretario de Agricultura de Brasil, entre otras personas. Para estas actividades se han preparado presentaciones del proyecto de tesis, presentaciones sobre el manejo del módulo caprino; así como preparación de subproductos y productos para degustaciones, entre otros.

ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ

SELECCIÓN DE LOTES

Inicialmente, se procedió a realizar un recorrido por los 10 lotes (16 enero), donde anteriormente se habían instalado las estaciones meteorológicas, con el fin identificar los lotes con las características idóneas para el diseño experimental del proyecto de investigación y el establecimiento del cultivo de maíz. Esto, basados en criterios como: número de árboles, especies arbóreas, % de sombra y relieve del terreno. Se seleccionaron tres lotes de los 10 que forman parte del banco del alimento: Llama, Raleigh y Maxi Palí (imagen 1).



Imagen 1. Estado inicial de lotes

CARACTERIZACIÓN DE LOTES

Se caracterizó cada lote donde se llevaría a cabo la implementación del proyecto de investigación (24 enero). Para ello, en el lote Llama se contabilizaron los árboles de Cedro, con el fin de ubicar las tres parcelas correspondientes a la variable sombra de Cedro, bajo la misma cantidad de árboles. Se determinó porcentaje de sombra mediante densiómetro esférico y aplicación HabitApp, altura y diámetro a la altura de pecho (DAP) de los árboles de cedro con incidencia en cada parcela. El mismo procedimiento se aplicó en el lote Maxi Palí, donde el sistema agroforestal corresponde a un arreglo de árboles de Poró en callejones. Para el lote Raleigh no se realizó dicha caracterización puesto que está a pleno sol, sin incidencia de especies arbóreas o frutales. En cada lote se definió el lugar exacto donde se ubicarían las parcelas (Imagen 2).

Para la estimación mediante la aplicación HabitApp, se tomó un punto en cada árbol con la aplicación móvil llamada HabitApp la cual proporciona una lectura instantánea de la cantidad de sombra, que se provee al cultivo, una variable importante cuya medición requiere de mucho tiempo y es difícil de medir con precisión. En lugar de requerir un equipo especializado, como un densitómetro esférico, esta aplicación convierte las fotos de los teléfonos móviles en imágenes en blanco y negro y luego, calcula el porcentaje del valor de sombra (píxeles negros como porcentaje del total de píxeles). La HabitApp es una aplicación móvil gratuita disponible en: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.scufster.habitapp&hl=en&utm_source=global_co&utm_medium=prtnr&utm_content=Mar2515&utm_campaign=PartBadge&pcampaignid=MKT-AC-global-none-all-co-pr-py-PartBadges-Oct1515-1



Imagen 2. Medición de altura, DAP y porcentaje de sombra mediante densiómetro esférico y aplicación HabitAp

MEDICIÓN Y DEMARCACIÓN DE PARCELAS

El siguiente paso fue medir y demarcar las 9 parcelas para establecer el cultivo, mediante un decámetro, estacas, cuerda y pintura (5 febrero). El área demarcada en cada lote fue de 10 x 10 m, para un área efectiva de siembra de 100 m² por parcela (Imagen 3)



Imagen 3. Medición y demarcación de parcelas

ANÁLISIS DE SUELOS

Para efectos de una fertilización adecuada, se realizó un muestreo para el análisis de suelo (8 - 13 febrero). En cada parcela se llevó a cabo un recorrido sistemático: tomando 30 submuestras, que constituían la muestra representativa de cada una de las nueve parcelas (Imagen 4).



No. Reporte: NR20-005														
No.	Identificación	Prof.	pH	Acidez	Ca	Mg	K	P	Cu	Zn	Mn	Fe	% Saturación acidez (Acidez Extraíble X 100) / (Ca+Mg+K+Acidez Extraíble)	C.I.C.E. (cmol+/l) (Ca + Mg + K + acidez extraíble)
Lab.		cm	H ₂ O	-----cmol(+)/l-----				mg/l	-----mg/l-----					
LS21-135	Llama P1	0-20	4.8	1.23	4.15	1.04	0.95	15.4	26.4	3.0	21	199	16.69	7.37
LS21-136	Llama P2	0-20	4.9	1.30	5.16	1.10	0.62	12.0	22.8	3.7	20	169	15.89	8.18
LS21-137	Llama P3	0-20	4.9	1.20	4.73	1.02	0.61	33.2	14.4	8.5	11	173	15.87	7.56
LS21-138	Maxi Pali P1	0-20	5.0	0.15	3.80	1.29	0.48	5.1	15.6	1.6	26	335	2.62	5.72
LS21-139	Maxi Pali P2	0-20	5.2	0.15	4.05	1.72	0.68	5.7	18.6	2.2	45	351	2.27	6.60
LS21-140	Maxi Pali P3	0-20	5.2	0.15	3.65	1.55	0.51	4.6	14.7	2.0	53	297	2.56	5.86
LS21-141	Raleigh P1	0-20	4.9	0.70	4.15	1.76	0.37	6.5	20.4	6.3	30	174	10.03	6.98
LS21-142	Raleigh P2	0-20	5.1	0.35	5.57	2.15	0.43	8.6	20.8	6.2	29	183	4.12	8.50
LS21-143	Raleigh P3	0-20	5.1	0.33	6.37	2.33	0.36	6.7	21.3	5.3	29	172	3.51	9.39

Los resultados anteriores corresponden a las muestras ingresadas al laboratorio por el cliente.

Imagen 4. Muestreo y resultados del análisis de suelos

MANEJO DE ARVENSES

Se procedió a eliminar algunas plantas del terreno, empleando herramientas como palines y machetes. Esto debido a que las parcelas del lote Llama poseían algunos remanentes de yuca y en el lote Maxi Palí se tenía la presencia de una cerca viva bastante densa, por lo que se determinó realizar una poda de formación, de manera que no obstruyera la entrada de luz a las plantas del cultivo. Lo siguiente en la adecuación del terreno fue la aplicación de un herbicida (8 febrero), con el fin de eliminar malezas como: Dormilona (*Mimosa pudica* L.), Coquito amarillo (*Cyperus esculentus* L.), grama (*Cynodon dactylon*), Zacate peludo (*Rottboellia cochinchinensis* L.) y Escobilla (*Sida rhombifolia*), ya que estas especies resultan muy invasivas y de difícil eliminación manual (Imagen 5).



Imagen 5. Parcelas controladas con herbicida, arvenses Zacate peludo (*Rottboellia cochinchinensis* L.), Dormilona (*Mimosa púdica* L.)

PREPARACIÓN DEL TERRENO

Con el área demarcada y caracterización de las parcelas, se efectuó la preparación del suelo con azadón (10 - 14 febrero), a una profundidad de 40 cm (Imagen 6). El 18 de febrero con ayuda de un metro, cuerda, pintura y estacas, se continuó con la demarcación de las distancias de siembra: 40 cm entre planta por 60 cm entre surco. Estableciendo 17 surcos de 25 plantas cada uno, para un total de 425 plantas por parcela 100 m². Estas distancias corresponden a una densidad de siembra de 42500 plantas/ha (Imagen 6 y 7).

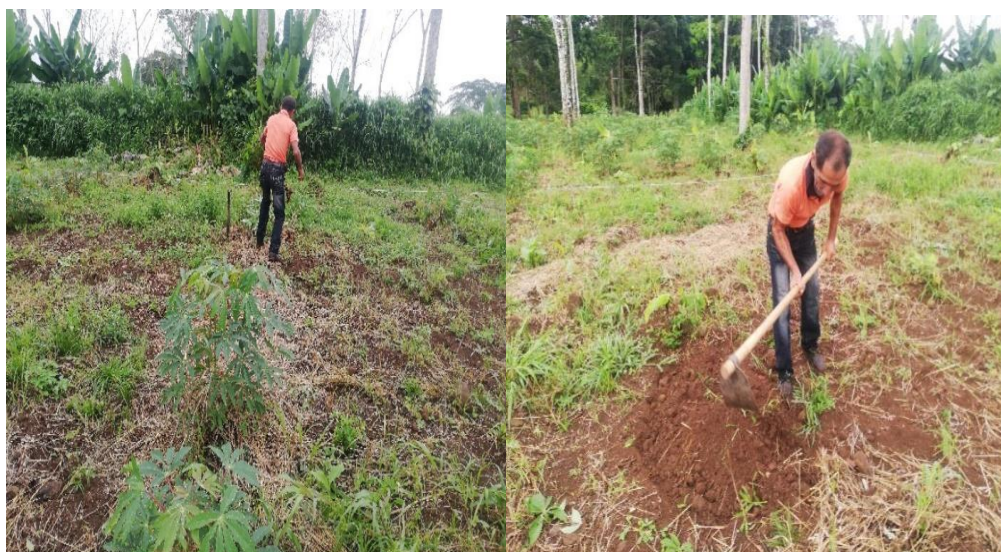


Imagen 6. Preparación del suelo con azadón



Imagen 7. Distancias de siembra

SIEMBRA DEL CULTIVO DE MAÍZ

Concluida la preparación del terreno, se procedió a realizar la siembra del maíz, variedad DK 390 (semilla certificada de alta calidad) y la primera fertilización. Para el anterior procedimiento se utilizaron palines de hierro, con el fin de abrir un hoyo de 7 cm de profundidad, donde se depositaron en su orden: 9 gramos de fertilizante 10-30-10, una capa de suelo de 2 cm, dos semillas por sitio y finalmente, otra capa de suelo (Imagen 8).



Imagen 8. Semilla de maíz variedad DK 390

MANEJO DE PLAGAS

A los 12 días después de siembra (4 marzo) se presentó el primer ataque de las plagas: identificando a *Diabrotica sp.* como la plaga más limitante en ese momento. Comúnmente conocida como Tortuguilla (Imagen 9). Al realizar el muestreo y determinar el umbral de daño, se decidió realizar una aplicación de Clorpirifos, un insecticida del grupo de los organofosforados, nombre comercial: Solver 48 EC. A razón de 5 ml x bomba x parcela (0.5 L/ha).



Imagen 9. Manejo de *Diabrotica Sp.* En maíz de 12 días después de la siembra

El 16 de marzo (24 días después de siembra), se encontraron los primeros daños de *Spodoptera frugiperda* (Lepidóptera: Noctuidae) (Imagen 10). Para el manejo se utilizó una escala de daño de la siguiente manera: D0 = Hojas sanas, D1 = raspado en la epidermis, sin perforaciones; D2 = hojas con perforaciones o ventanas y D3 = Hoja bandera dañada. La aplicación del insecticida se realizó en la etapa D2. El insecticida que se aplicó fue: Decis Expert, contiene deltametrin, ingrediente activo perteneciente al subgrupo químico de los piretroides (Modo de acción IRAC: 3A). La dosis aplicada fue de 1.25 x parcela de 100 m² (0.125 L/ha).



Imagen 10. Manejo de *Spodoptera Sp.* en maíz de 24 días después de la siembra

El 26 de marzo (34 días después de siembra), se encontraron nuevos daños el estadio D2 y D3 de *Spodoptera Sp.* (Imagen 11). Por lo anterior, se realizó la segunda aplicación de Decis Expert, que contiene deltametrin, ingrediente activo perteneciente al subgrupo químico de los piretroides (Modo de acción IRAC: 3A). La dosis aplicada fue de 1.25 x parcela de 100 m² (0.125 L/ha).



Imagen 11. Manejo de *Spodoptera Sp.* en maíz de 34 días después de la siembra

APORQUE Y FERTILIZACIÓN POST-EMERGENCIA

El 17 de marzo (25 días después de siembra), se realizó el aporque del maíz con azadón en las nueve parcelas; removiendo el suelo de cada lado del surco y llevándolo a una altura de 20 cm. Al mismo tiempo, se realizó la fertilización post-emergencia. Suministrando 10 g de UREA por planta (Imagen 12).



Imagen 12. Aporque y fertilización en maíz de 25 días después de la siembra

MEDICIÓN DE RADIACIÓN SOLAR EN EL CULTIVO DE MAÍZ

PRIMERA, SEGUNDA, TERCERA Y CUARTA MEDICIÓN

Para llevar una caracterización homogénea de la cantidad de radiación que reciben las plantas de maíz en los distintos sistemas agroforestales multiestrato: sombra de Poró, sombra de Cedro y a pleno sol, se lleva a cabo una medición de la radiación incidente en W/m^2 , mediante un *Radiómetro* portátil modelo SM60. Este proceso se realiza en nueve puntos diferentes en cada parcela, mediante un muestreo sistemático (Imagen 13).

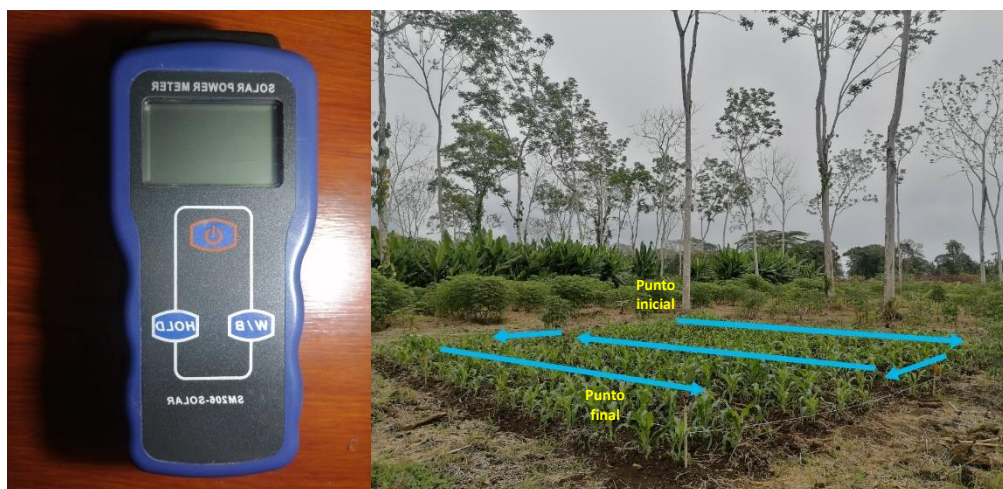


Imagen 13. Radiómetro y medición sistemática de radiación solar incidente

Las mediciones se realizan los domingos tres veces al día, en horarios: de 9 am a 10 am, de 12 pm a 1 pm y de 3 pm a 4 pm. Es importante aclarar que las nueve parcelas deben medirse en el lapso de una hora para tener mayor robustez en las mediciones y facilitar posteriores comparaciones o análisis. Hasta el momento se han realizado cuatro mediciones de radiación solar in situ, empezando el 28 de febrero (ocho días después de siembra), la segunda el siete de marzo, la tercera el 14 de marzo y la cuarta el 21 de marzo (Imagen 14) (Base de datos adjunta).



Imagen 14. Medición sistemática de radiación solar incidente tomada a los ocho, quince, veintidós y veintinueve días después de siembra

PRIMER MUESTREO CULTIVO DE MAÍZ

MUESTREO DE PLANTAS DE MAÍZ DE 20 DDS

El primer muestreo destructivo del maíz se realizó 20 días después de siembra (13 de marzo). En cada parcela se recolectaron 6 plantas de diferentes puntos seleccionados sistemáticamente con el fin de tomar plantas representativas de los seis cuadrantes (diferenciados por colores) en cada parcela. Esto con el fin de muestrear plantas en todos los rangos de incidencia de radiación solar (Imagen 15).



Imagen 15. Muestreo destructivo de maíz bajo sombra de Poro, Cedro y a pleno sol, 20 días después de siembra

PESAJE DE MUESTRAS

Se pesaron las plantas colectadas, el mismo día del muestreo. Posteriormente, se pesó la bolsa con el fin de tener un dato exacto del peso fresco (Imagen 16).



Imagen 16. Pesaje de la planta de maíz en fresco, tallo y hojas

MONTAJE Y CÁLCULO ÁREA FOLIAR

Después de realizar el pesaje del tallo y hojas de cada planta, se procedió a contar número de hojas. Se realizó un montaje de todas las hojas sobre una cartulina blanca y se cubrieron con un vidrio y se tomaron fotografías a una altura de 30 cm (Imagen 17). Estas fotografías se analizarán mediante la aplicación Image-J, con el fin de calcular el área foliar de cada planta y por metro cuadrado.



Imagen 17. Montaje de las hojas de maíz para calcular área foliar mediante la aplicación Image-J

DETERMINACIÓN PESO SECO EN HORNO

Una vez realizados los anteriores procedimientos, se depositó cada planta en una bolsa de papel y se dejaron en el horno 24 horas a una temperatura de 80 °C (Imagen 18).

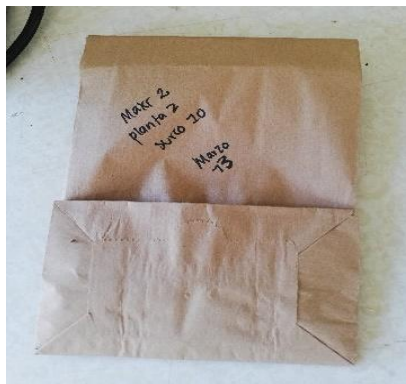


Imagen 18. Muestras para determinación de peso seco en horno

MANEJO DE PLAGAS EN V8

El 26 de marzo (34 días después de siembra), se encontraron nuevos daños del estadio D2 y D3 de *Spodoptera Sp.* (Imagen 19). Por lo anterior, se realizó la segunda aplicación de Decis Expert, que contiene deltametrin, ingrediente activo perteneciente al subgrupo químico de los piretroides (Modo de acción IRAC: 3A). La dosis aplicada fue de 1.25 x parcela de 100 m² (0.125 L/ha).



Imagen 19. Manejo de Spodoptera Sp. en maíz de 34 días después de la siembra

El 28 de abril (69 días después de siembra), se identificaron nuevos daños del estadio D2 y D3 de *Spodoptera Sp.*, perforaciones en varias hojas y la hoja bandera afectada (Imagen 20). Por ello, se realizó una cuarta aplicación de insecticida. Puesto que, en esta etapa de llenado de fruto, la plaga es muy limitante. El insecticida utilizado fue Solver 48, Clorpirifos del grupo de los organofosforados. La dosis aplicada fue de 3 cc x bomba de 18. Asperjando 1 bomba por parcela de 100 m² por la densidad de siembra y el tamaño de las plantas de maíz

(Imagen 12). Así mismo se realizó aplicación preventiva del fungicida Silvacur Combi 30 EC a razón de 18 ml por bomba de 18 L.



Imagen 20. Manejo de Spodoptera Sp. en maíz de 69 días después de la siembra

FERTILIZACIÓN FOSFÓRICA Y POTÁSICA

El 14 de abril (55 días después de siembra), se realizó la fertilización fosfórica y potásica, con el objetivo garantizar la satisfactoria nutrición del cultivo implantado y mantener un nivel adecuado de estos elementos en el suelo. La aplicación del abonado de fondo o sementera se realizó con fin de cubrir las necesidades del cultivo totales en fósforo y potasio.

Normalmente, como el fósforo suele ser el elemento más crítico, se ajusta el abonado de fondo en función de este elemento, eligiendo un abono que ajuste razonablemente el potasio y nitrógeno que se desea aportar; en este caso, se aplicó 10-30-10 a razón de 11 gramos por planta (Imagen 21).



Imagen 21. Fertilización en maíz de 69 días después de la siembra

MEDICIÓN DE RADIACIÓN SOLAR EN EL CULTIVO DE MAÍZ

QUINTA, SEXTA, SÉPTIMA, OCTAVA Y NOVENA MEDICIÓN

Para llevar una caracterización homogénea de la cantidad de radiación que reciben las plantas de maíz en los distintos sistemas agroforestales multiestrato: sombra de Poró, sombra de Cedro y a pleno sol, se lleva a cabo una medición de la radiación incidente en W/m^2 , mediante un *Radiómetro* portátil modelo SM60. Este proceso se realiza en nueve puntos diferentes en cada parcela, mediante un muestreo sistemático (Imagen 22).

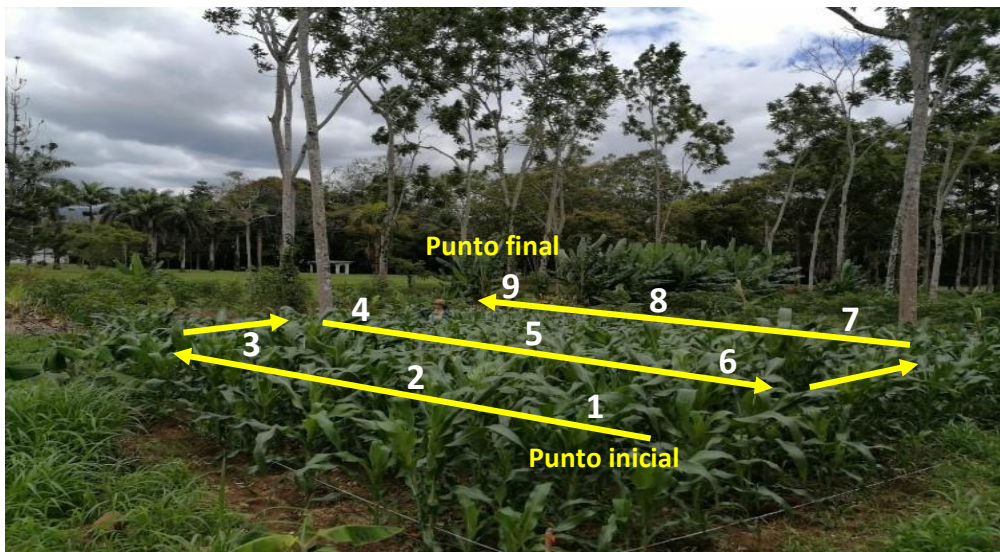


Imagen 22. Recorrido para la medición sistemática de radiación solar incidente en 9 puntos de cada parcela

Las mediciones se realizan los domingos tres veces al día, en horarios: de 9 am a 10 am, de 12 pm a 1 pm y de 3 pm a 4 pm. Es importante aclarar que las nueve parcelas deben medirse en el lapso de una hora para tener mayor robustez en las mediciones y facilitar posteriores comparaciones o análisis. Hasta el momento se han realizado nueve mediciones de radiación solar in situ, empezando el 28 de febrero (ocho días después de siembra), la segunda el siete de marzo, la tercera el 14 de marzo, cuarta el 21 de marzo, 28 de marzo, 4 de abril, 11 de abril, 18 de abril, y así hasta la novena medición el 25 de abril (Base de datos adjunta) (Imagen 23).



Imagen 23. Medición sistemática de radiación solar incidente tomada a los ocho, quince, veintidós, veintinueve, treinta y seis, cuarenta y tres, cincuenta, cincuenta y siete, sesenta y cuatro, días después de siembra

SEGUNDO MUESTREO DE BIOMASA CULTIVO DE MAÍZ

MUESTREO DE PLANTAS DE MAÍZ DE 40 DDS

El segundo muestreo destructivo de plantas de maíz se realizó 40 días después de siembra (7 abril). En cada parcela se recolectaron 6 plantas de diferentes puntos; seleccionados sistemáticamente, para tomar plantas representativas de los seis cuadrantes (Diferenciados por X de colores) en cada parcela. Esto con el fin de seleccionar plantas en todos los rangos de incidencia de radiación solar (Imagen 24).

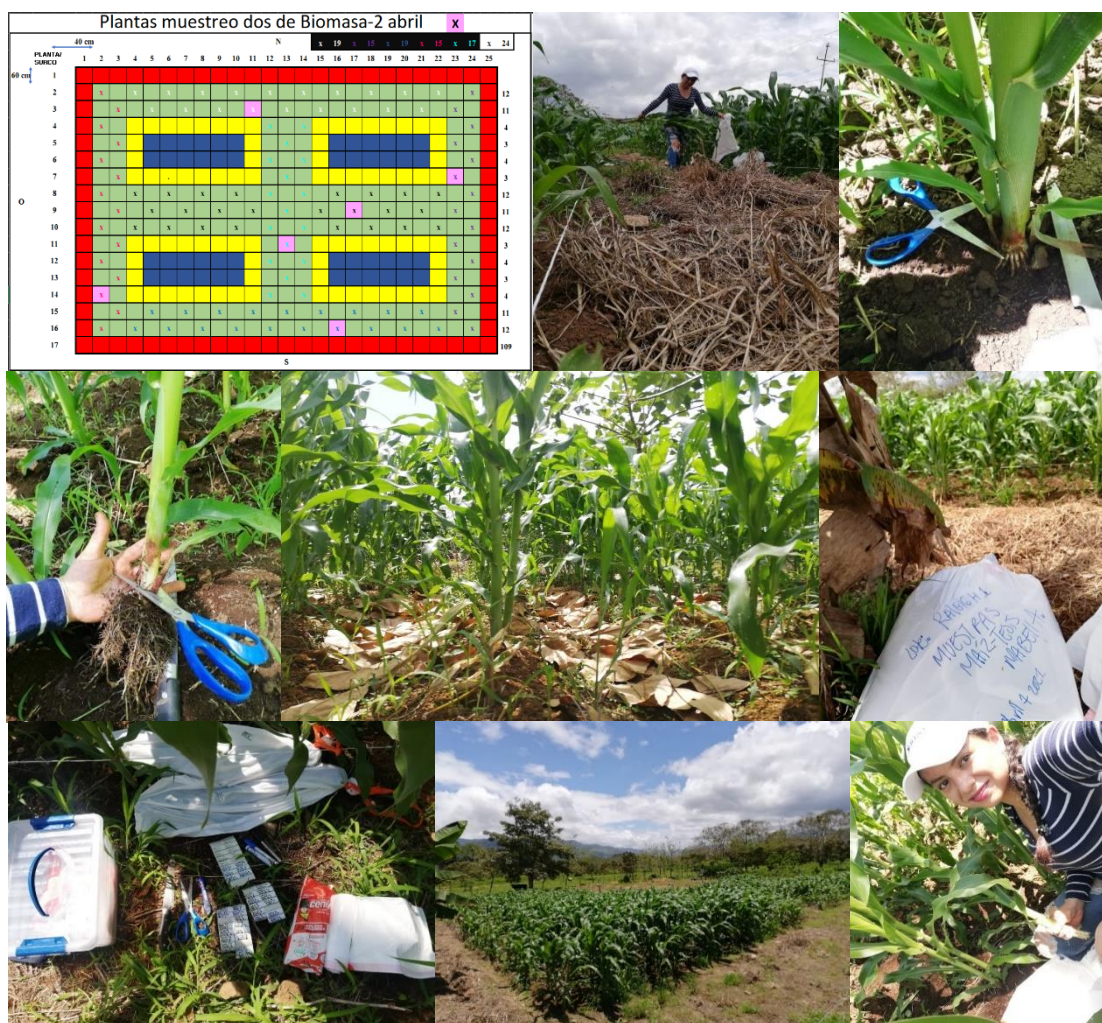


Imagen 24. Segundo muestreo destructivo de maíz bajo sombra de Poro, Cedro y a pleno sol, 40 días después de siembra

TERCER MUESTREO DE BIOMASA CULTIVO DE MAÍZ

MUESTREO DE PLANTAS DE MAÍZ DE 60 DDS

El tercer muestreo destructivo de plantas de maíz se realizó 60 días después de siembra (27 abril). En cada parcela se recolectaron 6 plantas de diferentes puntos; seleccionados sistemáticamente, para tomar plantas representativas de los seis cuadrantes (diferenciados por X de colores) en cada parcela. Esto con el fin de seleccionar plantas en todos los rangos de incidencia de radiación solar (Imagen 25).

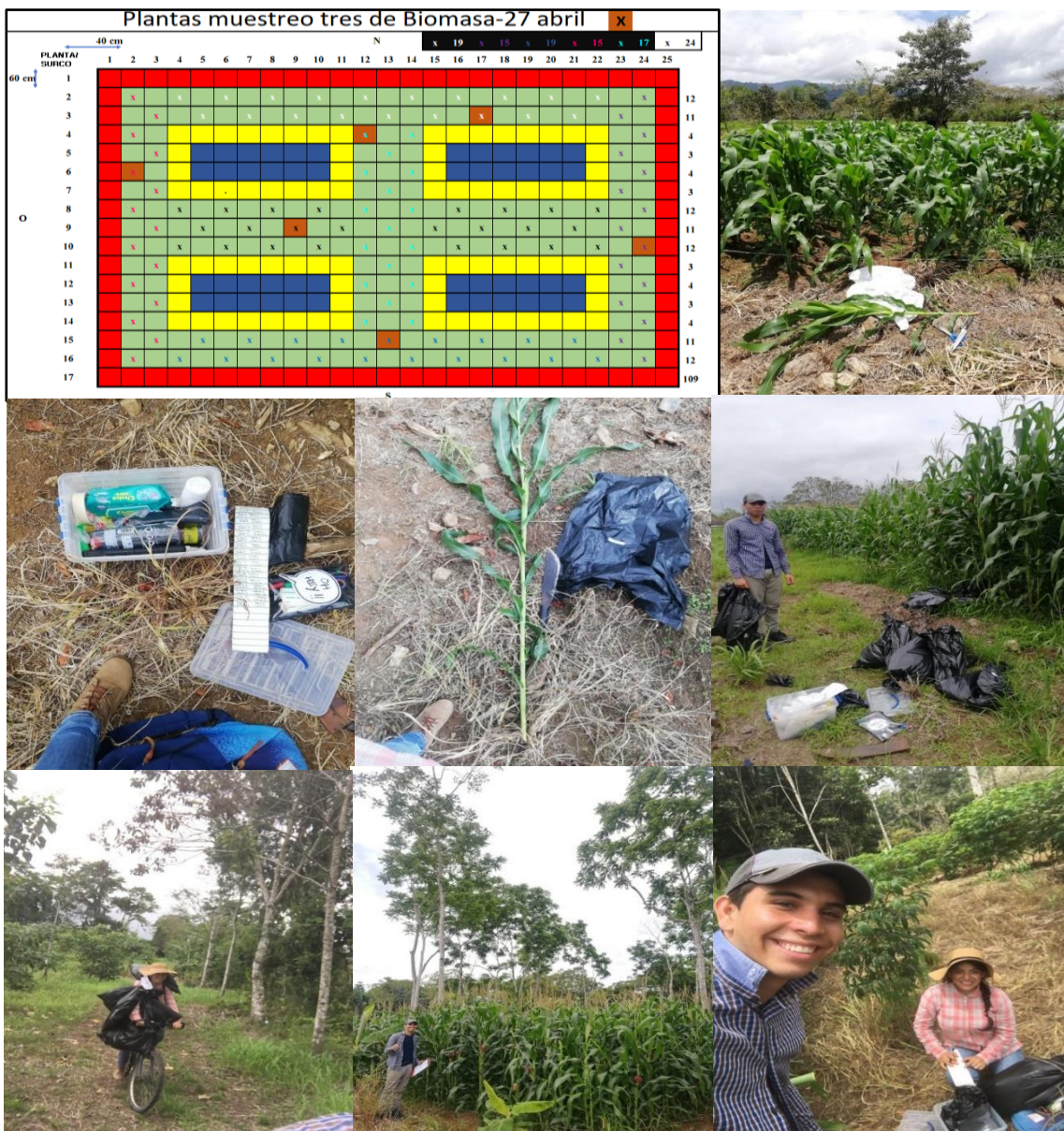


Imagen 25. Tercer muestreo destructivo de maíz bajo sombra de Poro, Cedro y a pleno sol, 60 días después de siembra

MONTAJE Y MANIPULACIÓN DE PLANTAS MUESTREO DOS Y TRES

MEDICIÓN DE MUESTRAS

El primer paso en el manejo de las plantas colectadas en los muestreos del 7 y 27 de abril, fue determinar el diámetro del tallo con ayuda de un pie de rey. Posteriormente se midió altura total. En el muestreo tres, ya se tenía la presencia de elotes, a cada elote se le realizó medición de diámetro y altura (Imagen 26).



Imagen 26. Medición de la planta de maíz en fresco: tallo, hojas, flor y elote

PESAJE DE MUESTRAS

Así mismo se pesaron las plantas colectadas, el mismo día del muestreo el 7 y 27 de abril. Posteriormente, se pesó la bolsa, con el fin de tener un dato exacto del peso en fresco. La planta se fragmentó en hojas, tallo y flor. Cada una de estas partes fue pesada por separado (Imagen 27).



Imagen 27. Pesaje de la planta de maíz en fresco: tallo, hojas, flor y elote

MONTAJE Y CÁLCULO ÁREA FOLIAR

Después de realizar el pesaje del tallo, hojas y flor de cada planta, se procedió a contar número de hojas. Seguidamente, se realizó un montaje de todas las hojas sobre una cartulina blanca, se cubrieron con un vidrio y se tomaron fotografías a una altura de 150 cm (Imagen 10). Estas fotografías se analizan mediante la aplicación Image-J, con el fin de calcular el área foliar de cada planta y por metro cuadrado (Base de datos adjunta).



Imagen 28. Montaje de las hojas de maíz del muestreo dos y tres para el cálculo de área foliar mediante la aplicación Image-J

DETERMINACIÓN PESO SECO EN HORNO

Una vez realizados los anteriores procedimientos, se depositó cada planta en una bolsa de papel, rotulando el surco y planta a la cual pertenece cada fragmento. Dichas muestras se dejaron en el horno 72 horas a una temperatura de 60 °C (Imagen 29).



Imagen 29. Muestras para determinación de peso seco en horno

MANEJO DE PLAGAS EN R2

El 18 mayo se instalaron bolsas de papel en cada mazorca (88 días después de siembra). Esto debido a que se encontraron daños del Loro coroniblanco o Chucuyo (*Pionus Senilis*) (Imagen 30).



Imagen 30. Manejo preventivo para daños del Loro coroniblanco o Chucuyo (Pionus Senilis) en maíz de 88 días después de la siembra

MEDICIÓN DE RADIACIÓN SOLAR EN EL CULTIVO DE MAÍZ

DÉCIMA, ONCEAVA, DOCEAVA, TRECEAVA Y CATORCEAVA MEDICIÓN

Para llevar una caracterización homogénea de la cantidad de radiación que reciben las plantas de maíz en los distintos sistemas agroforestales multiestrato: sombra de Poró, sombra de Cedro y a pleno sol, se lleva a cabo una medición de la radiación incidente en W/m^2 , mediante un *Radiómetro* portátil modelo SM60. Este proceso se realiza en nueve puntos diferentes en cada parcela, mediante un muestreo sistemático cada ocho días (domingos) (Imagen 31).

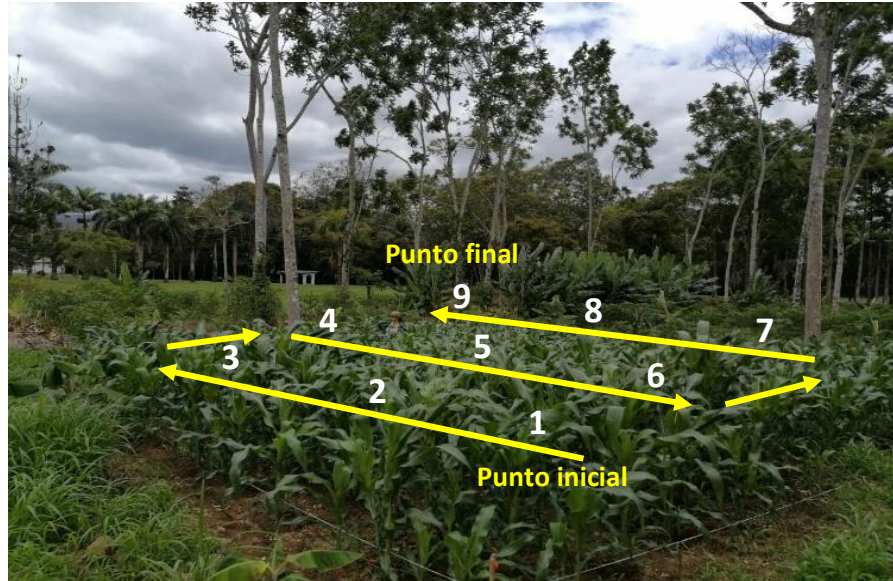


Imagen 31. Recorrido para la medición sistemática de radiación solar incidente en 9 puntos de cada parcela

Las mediciones se realizan los domingos tres veces al día, en horarios: de 9 am a 10 am, de 12 pm a 1 pm y de 3 pm a 4 pm. Es importante aclarar que las nueve parcelas deben medirse en el lapso de una hora para tener mayor robustez en las mediciones y facilitar posteriores comparaciones o análisis. Hasta el momento se han realizado catorce mediciones de radiación solar en sitio, empezando el 28 de febrero (ocho días después de siembra), la segunda el siete de marzo, la tercera el 14 de marzo, cuarta el 21 de marzo, 28 de marzo, 4 de abril, 11 de abril, 18 de abril, 25 de abril, 2 mayo, 9 de mayo, 16 de mayo, 23 de mayo, 30 de mayo (Imagen 32).



Imagen 32. Medición sistemática de radiación solar incidente tomada a los setenta, setenta y siete, ochenta y cuatro, noventa y uno, noventa y ocho días después de siembra

CUARTO MUESTREO DE

BIOMASA CULTIVO DE MAÍZ

MUESTREO DE PLANTAS DE MAÍZ DE 80 DDS

El cuarto muestreo destructivo de plantas de maíz se realizó 80 días después de siembra (14 mayo). En cada parcela se recolectaron 6 plantas de diferentes puntos; seleccionados sistemáticamente, con el fin de tomar plantas representativas de los seis cuadrantes (diferenciados con la letra X de colores) en cada parcela. Esto con el fin de seleccionar plantas en todos los rangos de incidencia de radiación solar (Imagen 33).



Imagen 33. Cuarto muestreo destructivo de maíz bajo sombra de Poro, Cedro y a pleno sol, 80 días después de siembra

MONTAJE Y MANIPULACIÓN DE PLANTAS MUESTREO CUATRO

MEDICIÓN DE MUESTRAS

El primer paso en el manejo de las plantas colectadas en el muestreo del 14 de mayo fue determinar el diámetro del tallo con ayuda de un pie de rey. Posteriormente, se midió altura

total. En el muestreo cuatro, se tenía la presencia de mazorcas; por lo que en cada una se le realizó medición de diámetro y altura (Imagen 34).



Imagen 34. Medición de la planta de maíz en fresco: tallo, hojas, flor y elote

PESAJE DE MUESTRAS

Se pesaron las plantas colectadas, el mismo día del muestreo el 14 de mayo. Luego, se pesó la bolsa para tener un dato exacto del peso en fresco. La planta se fragmentó en hojas, tallo y flor. Cada una de estas partes fue pesada y empacada por separado. Al estar saturado el horno, dichas muestras se congelaron hasta el momento en que se fueran a introducir en el horno de flujo de aire (Imagen 35).



Imagen 35. Pesaje de la planta de maíz en fresco: tallo, hojas, flor y elote

MONTAJE Y CÁLCULO ÁREA FOLIAR

Después de realizar el pesaje del tallo, hojas y flor de cada planta, se procedió a contar número de hojas. Seguidamente, se realizó un montaje de todas las hojas sobre una mesa

blanca para lograr un contraste, se cubrieron con un vidrio y se tomaron fotografías a una altura de 150 cm (Imagen 36). Estas fotografías se analizan mediante la aplicación Image-J, con el fin de calcular el área foliar de cada planta y por metro cuadrado.



Imagen 36. Montaje de las hojas de maíz del muestreo dos y tres para el cálculo de área foliar mediante la aplicación Image-J

DETERMINACIÓN PESO SECO EN HORNO

Una vez realizados los anteriores procedimientos, se depositó cada planta en una bolsa de papel, rotulando el lote, surco y planta a la cual pertenece cada fragmento. Dichas muestras se dejaron en el horno 72 horas a una temperatura de 60 °C. Pasados tres días, las muestras se vuelven a pesar con el fin de determinar la materia seca. Finalmente, las muestras se suministran a las cabras (Imagen 37).



Imagen 37. Muestras para determinación de peso seco en horno

PRIMER MUESTREO DE RENDIMIENTO EN ELOTE

MUESTREO DE ELOTES EN PLANTAS DE MAÍZ DE 90 DDS

El primer muestreo de rendimiento en elote se realizó 90 días después de siembra (20 mayo). En cada parcela se recolectaron los elotes de 24 plantas de los cuatro cuadrantes destinados para rendimiento de las 9 parcelas (Cuadrantes color azul oscuro, ver mapa de muestreo), para un total de 216 plantas muestreadas (Imagen 38).



Imagen 38. Muestreo 90 DDS para determinación de rendimiento en elote

MONTAJE Y MANIPULACIÓN DE ELOTES MUESTREO DE RENDIMIENTO PESAJE DE MUESTRAS

El primer paso en el manejo de las mazorcas colectadas el 20 de mayo fue determinar el peso fresco al llegar de campo. Para ello se pesó cada elote en su respectiva bolsa. Seguidamente, se sacó el elote de la bolsa; dicha bolsa se pesó y a cada elote se le retiró la hoja. Cada una de estas partes fue pesada por separado (Imagen 39).



Imagen 39. Pesaje de la mazorca en fresco: hojas y elote

MEDICIÓN DE MAZORCAS

A cada mazorca se le determinó el diámetro en la parte media con ayuda de un pie de rey. Así mismo se midió altura total de la mazorca (Imagen 40).



Imagen 40. Medición de diámetro y altura de la mazorca

CARACTERIZACIÓN DE ELOTES

Después de realizar el pesaje de la mazorca y hojas, se procedió a contar número de filas, número de granos por filas y se tomaron algunos granos del centro de la mazorca, hasta completar 1000 granos por parcela. Estos mil granos se pesaron para determinar peso y rendimiento en elote (Base de datos adjunta) (Imagen 41).



Imagen 41. Montaje de las hojas de maíz del muestreo dos y tres para el cálculo de área foliar mediante la aplicación Image-J

DETERMINACIÓN PESO SECO EN HORNO

Una vez realizados los anteriores procedimientos, se depositó cada elote con sus respectivas hojas en una bolsa de papel, rotuladas con el número de la parcela, el surco y la planta a la cual pertenece cada fragmento. Dichas muestras se dejaron en el horno 72 horas a una temperatura de 60 °C (Imagen 42).



Imagen 42. Muestras de elotes para determinación de peso seco en horno

DONACIÓN DE ELOTES A ANCIANATO Y ESTUDIANTES

El día 20 de mayo, junto al muestreo de rendimiento, se cosecharon también los elotes de las plantas no muestreables según el mapa adjunto. Se recolectaron 1068 elotes con un peso de 394 kilogramos y se enviaron al IICA en San José para donación a un ancianato (Imagen 43).

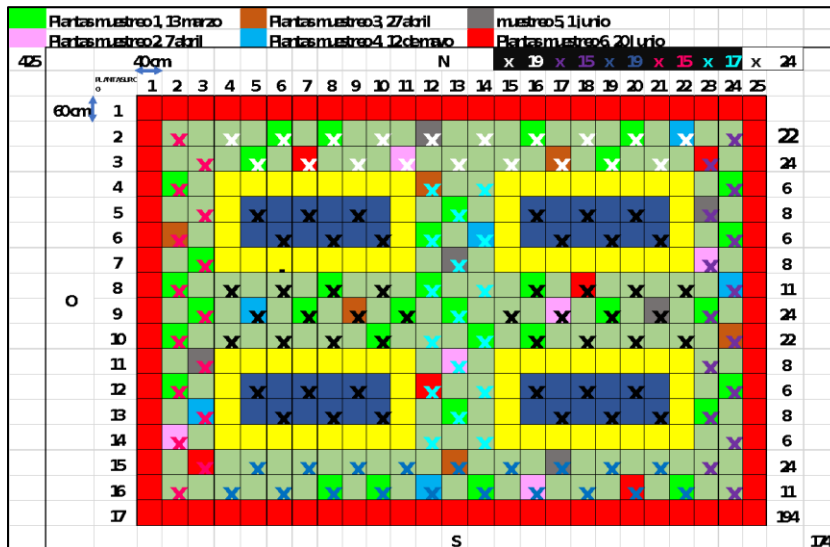


Imagen 43. Mapa de plantas no muestreables

MEDICIÓN DE RADIACIÓN SOLAR EN EL CULTIVO DE MAÍZ

QUINCEAVA, DIECISEISAVA Y DIECISIETEAVA MEDICIÓN

Para llevar una caracterización homogénea de la cantidad de radiación que reciben las plantas de maíz en los distintos sistemas agroforestales multiestrato: sombra de Poró, sombra de Cedro y a pleno sol, se lleva a cabo una medición de la radiación incidente en W/m^2 , mediante un *Radiómetro* portátil modelo SM60. Este proceso se realiza en nueve puntos diferentes en cada parcela, mediante un muestreo sistemático cada ocho días (domingos) (Imagen 44).

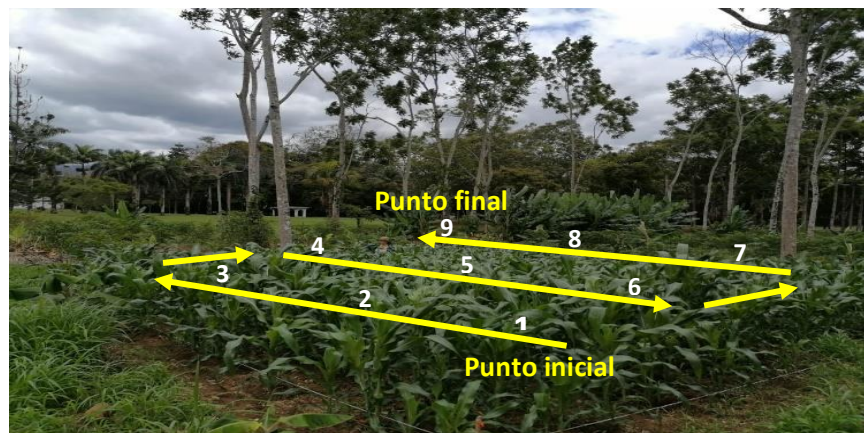


Imagen 44. Recorrido para la medición sistemática de radiación solar incidente en 9 puntos de cada parcela

Las mediciones se realizan los domingos tres veces al día, en horarios: de 9 am a 10 am, de 12 pm a 1 pm y de 3 pm a 4 pm. Es importante aclarar que las nueve parcelas deben medirse en el lapso de una hora para tener mayor robustez en las mediciones y facilitar posteriores comparaciones o análisis. Durante los cuatro meses del ensayo en campo se realizaron diecisiete mediciones de radiación solar en sitio, empezando el 28 de febrero (ocho días después de siembra), la segunda el siete de marzo, la tercera el 14 de marzo, cuarta el 21 de marzo, 28 de marzo, 4 de abril, 11 de abril, 18 de abril, 25 de abril, 2 mayo, 9 de mayo, 16 de mayo, 23 de mayo, 30 de mayo, 6 de junio, 13 de junio y la medición final el 20 de junio (Imagen 45).



Imagen 45. Medición sistemática de radiación solar incidente tomada al ciento cuatro, ciento once y ciento veinte días después de siembra

QUINTO MUESTREO DE BIOMASA CULTIVO DE MAÍZ

MUESTREO DE PLANTAS DE MAÍZ DE 100 DDS

El quinto muestreo destructivo de plantas de maíz se realizó 100 días después de siembra (2 junio). En cada parcela se recolectaron 6 plantas de diferentes puntos; seleccionadas sistemáticamente, con el fin de tomar plantas representativas de los seis cuadrantes (diferenciados con la letra X de colores) en cada parcela (Plantas muestreables resaltadas en color gris, en el mapa). Esto con el fin de seleccionar plantas en todos los rangos de incidencia de radiación solar (Imagen 46).



Imagen 46. Quinto muestreo destructivo de maíz bajo sombra de Poro, Cedro y a pleno sol, 100 días después de siembra

SEXTO MUESTREO DE BIOMASA CULTIVO DE MAÍZ

MUESTREO DE PLANTAS DE MAÍZ DE 120 DDS

El sexto muestreo destructivo de plantas de maíz se realizó 120 días después de siembra (23 junio). En cada parcela se recolectaron 6 plantas de diferentes puntos; seleccionadas sistemáticamente, con el fin de tomar plantas representativas de los seis cuadrantes (diferenciados con la letra X de colores) en cada parcela (Plantas muestreables resaltadas en color rojo, en el mapa). Esto con el fin de seleccionar plantas en todos los rangos de incidencia de radiación solar (Imagen 47).



Imagen 47. Sexto muestreo destructivo de maíz bajo sombra de Poro, Cedro y a pleno sol, 120 días después de siembra

MONTAJE Y MANIPULACIÓN DE PLANTAS MUESTREO CINCO Y SEIS

MEDICIÓN DE MUESTRAS

El primer paso en el manejo de las plantas colectadas en los muestreos cinco y seis, fue determinar el diámetro del tallo con ayuda de un pie de rey. Posteriormente, se midió altura total. En este muestreo había presencia de mazorcas. A cada una se les realizó medición de diámetro, altura y se pesaron por separado tanto las brácteas como la mazorca (Imagen 48).



Imagen 48. Medición de la planta de maíz en fresco: tallo, hojas, flor y elote

PESAJE DE MUESTRAS

De las plantas colectadas el mismo día del muestreo (2 junio y 23 de junio). Posteriormente se pesó la bolsa, con el fin de tener un dato exacto del peso en fresco. La planta se fragmentó en hojas, tallo y flor. Cada una de estas partes fue pesada y empacada por separado. Al estar saturado el horno, dichas muestras se congelaron hasta el momento donde haya disponibilidad para introducir las en el horno de flujo de aire (Imagen 49).



Imagen 49. Pesaje de la planta de maíz en fresco: tallo, hojas, flor y elote

MONTAJE Y CÁLCULO ÁREA FOLIAR

Después de realizar el pesaje del tallo, hojas y flor de cada planta, se procedió a contar número de hojas. Seguidamente, se realizó un montaje de todas las hojas sobre una mesa blanca para lograr un contraste, se cubrieron con un vidrio y se tomaron fotografías a una altura de 2 m (Imagen 50). Estas fotografías se analizarán mediante la aplicación Image-J, con el fin de calcular el área foliar de cada planta y por metro cuadrado (Base de datos adjunta).



Imagen 50. Montaje de las hojas de maíz del muestreo dos y tres para el cálculo de área foliar mediante la aplicación Image-

DETERMINACIÓN PESO SECO EN HORNO

Una vez realizados los anteriores procedimientos, se depositó cada planta en una bolsa de papel, rotulando el lote, surco y planta a la cual pertenece cada fragmento. Dichas muestras se dejaron en el horno 72 horas a una temperatura de 60 °C. Pasados tres días, las muestras se vuelven a pesar con el fin de determinar la materia seca. Finalmente, las muestras se suministran a las cabras (Imagen 51).



Imagen 51. Muestras para determinación de peso seco en horno

SEGUNDO MUESTREO DE RENDIMIENTO EN GRANO SECO

MUESTREO DE MAÍZ EN GRANO SECO 120 DDS

El segundo muestreo de rendimiento, esta vez en grano seco se realizó 120 días después de siembra (24 junio). En cada parcela se recolectaron 24 elotes de las plantas ubicadas en los cuatro cuadrantes destinados para rendimiento de las 9 parcelas (Cuadrantes color azul oscuro, ver mapa de muestreo), para un total de 216 plantas muestreadas (Imagen 52).



Imagen 52. Muestreo 120 DDS para determinación de rendimiento en elote

MONTAJE Y MANIPULACIÓN DE MAZORCAS MUESTREO DE RENDIMIENTO

PESAJE DE MUESTRAS

El primer paso en el manejo de las mazorcas colectadas el 24 de junio fue determinar el peso fresco al llegar de campo. Para ello, se pesó cada una de las 216 mazorcas en su respectiva bolsa. Seguidamente, se sacó la mazorca de la bolsa. Dicha bolsa se pesó y se le retiró la hoja.

Cada una de estas partes fue pesada por separado (Imagen 53).



Imagen 53. Pesaje de la mazorca en fresco: hojas y elote

MEDICIÓN DE MAZORCAS

A cada mazorca se le determinó el diámetro en la parte media, con ayuda de un pie de rey. Así mismo se midió altura total de la mazorca y se retiraron 20 granos de cada una. Esto con el fin de determinar el peso de mil granos por cada tratamiento (Imagen 54).



Imagen 54. Medición de diámetro, altura de la mazorca y peso de 1000 granos por tratamiento

CARACTERIZACIÓN DE MAZORCAS

Después de realizar el pesaje de la mazorca y brácteas por separado, se procedió a contar número de filas, número de granos por filas y se tomaron algunos granos del centro de la mazorca, hasta completar 1000 granos por tratamiento. Estos mil granos se pesaron para determinar peso y rendimiento en grano seco (Base de datos adjunta) (Imagen 55).



Imagen 55. Caracterización de mazorcas del segundo muestreo de rendimiento

DETERMINACIÓN PESO SECO EN HORNO

Una vez realizados los anteriores procedimientos, se depositó cada mazorca con sus respectivas hojas en una bolsa de papel, rotuladas con el número de la parcela, el surco y la planta a la cual pertenece cada fragmento. Dichas muestras se dejaron en el horno 72 horas a una temperatura de 60 °C (Imagen 56).



Imagen 56. Muestras de elotes para determinación de peso seco en horno

RECOLECCIÓN DE PLANTAS Y MAZORCAS NO MUESTREABLES PARA ALIMENTACIÓN DE CABRAS

El día 24 de junio, junto al muestreo de rendimiento en grano seco, se cosecharon también los elotes de las plantas no muestreables, según el mapa adjunto. Se recolectaron 10 sacos de 50 kg (en mazorca), obteniendo 200 kg de maíz en grano, los cuales se llevaron al horno para suministrar a las cabras (Imagen 57).

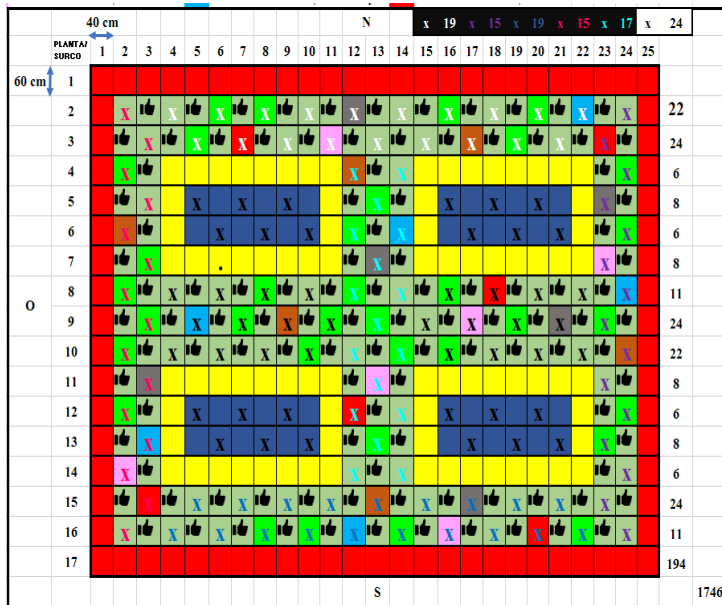


Imagen 57. Mapa de plantas no muestreables colectadas y maíz desgranado para alimento de cabras

SIMPOSIO DE INVESTIGACIÓN DE LA ESCUELA DE POSGRADO- CATIE

ELABORACIÓN DEL POSTER DE RESULTADOS PRELIMINARES DE LA INVESTIGACIÓN

El día 10 de junio, se diseñó un poster para presentar los resultados preliminares encontrados hasta el momento en la investigación. En este documento se describe el objetivo, la metodología y algunos resultados en cuanto a la eficiencia de uso de radiación respecto a rendimiento (Imagen 58).

The image is a composite of three parts related to a research presentation:

- Top Left:** A research poster titled "Estimación del déficit de presión de vapor (VPD) en el cultivo de maíz (Zea mays L.) bajo sistemas agroforestales multiestrato y su potencial aplicación a las condiciones del Corredor Seco Centroamericano". The poster includes an introduction, conceptual framework, methodology, and results. A table shows the efficiency of radiation use for different treatments.
- Top Right:** A Zoom meeting window showing a video feed of a woman, likely the presenter, with a "REC" (Recording) indicator.
- Bottom Left:** A screenshot of a statistical analysis software window (likely Minitab) showing the results of an ANOVA. The main table is as follows:

Variable	N	R ²	R ² A ₁	CV
Eficiencia uso de radiación..	9	0.98	0.95	22.00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.02	4	0.01	42.75	0.0015
TRATAMIENTO	1.6E-04	2	8.1E-05	0.61	0.5874
DDS	0.02	2	0.01	84.89	0.0005
Error	5.3E-04	4	1.3E-04		
Total	0.02	8			

Imagen 58. Poster presentado en el simposio de investigación posgrado-CATIE

MANTENIMIENTO DE ESTACIONES METEREOLÓGICAS

El día 8 de marzo se llevó a cabo la desinstalación de los transmisores de las estaciones: 1 (Cacao), Estación 6 (Pastera), Estación 4 (Alex), Estación 3 (Cítricos), Estación 7 (RTT) y 10 (Fitoprotección). Esto con el fin de enviarlas para un reajuste en las instalaciones de LANTER en San José. El mismo día se revisaron los cables y cobertura del mástil de las nueve estaciones, con el fin de garantizar un correcto funcionamiento (Imagen 59).



Imagen 59. Desinstalación de la estación 8 (Chilindrina) y los transmisores de las estaciones 1 (Cacao), 6 (Pastera), 4 (Alex), 3 (Cítricos), 7 (RTT) y 10 (Fitoprotección).

Las estaciones anteriormente mencionadas fueron enviadas a San José el día 9 de marzo y se recibieron de vuelta el día 16 de marzo en las instalaciones de CATIE.

El 18 de marzo se llevó a cabo la reinstalación de la estación 8 (Chilindrina) y la conexión de los transmisores de las estaciones 1 (Cacao), estación 6 (Pastera), estación 4 (Alex), estación 3 (Cítricos), estación 7 (RTT) y 10 (Fitoprotección). Aunado a lo anterior, se encontró en la estación 1 (Cacao), un cable deteriorado (Imagen 60); al parecer fue ataque de un roedor.



Imagen 60. Reinstalación de la estación 8 (Chilindrina) y los transmisores de las estaciones 1 (Cacao), 6 (Pastera), 4 (Alex), 3 (Cítricos), 7 (RTT) y 10 (Fitoprotección).

MANTENIMIENTO DE ESTACIONES METEREOLÓGICAS

ACTUALIZACIÓN DEL FIRMWARE Y RESELLADO

El 21 de abril se realizó una reunión con técnicos de LANTERN, IICA Y CATIE, con el objetivo de organizar la logística para desmontar las estaciones para la actualización de firmware y resellado (Imagen 61).

El 23 de abril se desmontaron los transmisores de las estaciones: 1 (Cacao), Estación 2 (Maxi Pali), estación 3 (Cítricos), Estación 4 (Alex), estación 5 (Raleigh), 6 (Pastera), 7 (RTT) y 10 (Llama). El anterior procedimiento se llevó a cabo para que los técnicos de LANTERN realizaran una actualización del firmware de las estaciones y un resellado de la capsula del transmisor (Imagen 61).



Imagen 61. Actualización del firmware y resellado en el campus CATIE

CONTROL DE PANAL DE AVISPAS DE LA ESTACIÓN N°6-PASTERA

El día 28 de abril se retiró de la estación 6 (Pastera), un panal de avispas de gran tamaño. Este pendía del pluviómetro, lo cual estaba provocando alteraciones en los datos de precipitación. El procedimiento consistió en introducir el panal dentro de una bolsa plástica, evitando el humo u otras técnicas de control que pudieran afectar la estación (Imagen 62).



Imagen 62. Procedimiento para el control del panal de avispas de la estación 6 (Pastera)

MANTENIMIENTO DE ESTACIONES METEREOLÓGICAS

DESINSTALACIÓN DE ESTACIONES 1 Y 4 ENTREGADAS A ICAFE

El día 17 de mayo se llevó a cabo la desinstalación de las estaciones meteorológicas: 1 (Cacao) y Estación 4 (Alex). Esto con el fin de entregarlas a ICAFE. El mismo día se revisaron los cables, sensores de suelo y estructura en general. Esto con el fin de corroborar y garantizar un correcto funcionamiento de dichas estaciones (Imagen 63).



Imagen 63. Desinstalación de la estación 1 (Cacao) y 4 (Alex) para ser entregadas a ICAFE

ELABORACIÓN DEL MANUAL DE INSTALACIÓN DE ESTACIONES METEREOLÓGICAS SIGFOX

El día 18 de mayo, se diseñó un manual para llevar a cabo la instalación de las estaciones meteorológicas. En este documento se describe el paso a paso del procedimiento. Así mismo se enumeran los materiales a utilizar y características idóneas. Se mencionan también cuidados y recomendaciones para garantizar el funcionamiento eficiente de las estaciones (Imagen 64).



Imagen 64. Manual del procedimiento de instalación de estaciones meteorológicas SIGFOX

EMPAQUE DE ESTACIONES 1 Y 4 PARA SER ENTREGADAS A ICAFE

El día 21 de mayo se entregaron las estaciones: 1 (Cacao) Número de activo IICA: PCR301-019 y Estación 4 (Alex) Número de activo IICA: PCR301-017. Cada estación se entregó con 4 baterías de litio AA, 2 gomas sin fin acero inoxidable de 3.1/4", 1 gaza sin fin acero inoxidable de 4 1/8 -5" y una bolsa antihumedad (Imagen 65).



Imagen 65. Embalaje de estaciones 1 (Cacao) y 4 (Alex) para ser entregada a ICAFE

