

Efecto de la sombra y niveles de insumo sobre la producción de café en la región del pacífico de Nicaragua (2002-2015)

Norvin Sepúlveda, Mirna Barrios, Eduardo, Somarriba, Elvin Navarrete, Ledis Navarrete, Rodolfo Munguía, Pedro Moraga, Alejandro Ponce

Resumen: En esta investigación se compara la producción (café cereza) durante 12 años de plantas de café (*Coffea arabica* L.) cultivadas en 12 diferentes interacciones de tipos de sombra y niveles de insumo convencionales y orgánicos y 2 a pleno sol. La producción con insumos convencionales vs insumos orgánicos no fue significativa, pero el tipo de sombra demostró ser significativo, siendo el pleno sol el más productivo (4.71 ton ha^{-1} , $p= 0.0140$) seguido de los sistemas leguminosa-maderable *Samanea saman-Tabebuia rosea*. (4.27 ton ha^{-1} , $p= 0.0647$), maderables *Simarouba glauca- Tabebuia rosea* (3.95 ton ha^{-1} , $P= 0.1114$), leguminosa-maderable con leguminosa *Samanea saman- Inga laurina* (3.67 ton ha^{-1} , $p= 0.1715$), y finalmente leguminosa maderable-maderable *Inga laurina-Simarouba glauca* (2.98 ton ha^{-1} , $p= 0.1610$). Al realizar interacciones con *Inga Laurina* e insumos orgánicos moderados la producción disminuye debido al crecimiento rápido de esta especie. En condiciones de baja precipitación, las plantas de café en sistemas agroforestales mostraron mejor tolerancia al mantener y mejorar la producción al compararlas con el pleno sol, además mostraron menor síntoma de agotamiento que las plantas bajo monocultivo (pleno sol). Existen diferencias significativas en la productividad del café en las interacciones entre los diferentes tipos de sombra vs niveles de insumo, siendo pleno sol-convencional intensivo quien mostro la mayor productividad (5.33 ton ha^{-1} , $p= 0.0170$), seguido de *Samanea saman -Tabebuia rosea*-orgánico intensivo (4.93 ton ha^{-1} $p= 0.0470$). En cuanto al volumen comercial las especies maderables (*Simarouba glauca* $12.89 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \pm 0.08$ y *Tabebuia rosea* ($11.73 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \pm 0.12$), mostraron mejor crecimiento, seguida de *Samanea saman* ($6.96 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \pm 0.11$), y finalmente *Inga laurina* ($4.51 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \pm 0.06$). Al comparar los ingresos netos, los sistemas agroforestales mostraron mejores ingresos que el monocultivo, siendo el sistema *Simarouba glauca-Tabebuia rosea*-orgánico moderado ($5,298.05 \text{ U\$D}$) quien presenta los mayores ingresos netos y el sistema *Samanea saman – Inga laurina* –orgánico intensivo el de menor ingreso ($-6,028.19 \text{ U\$D}$). Al considerar el precio nominal de la madera en pie, los sistemas agroforestales con árboles maderables poseen el mejor potencial de ingresos, debido a que generan mayor volumen, mejor calidad y precio de la madera. Los sistemas agroforestales y especialmente los combinados café-maderables son considerados como mecanismos de mitigación al cambio climático por el volumen de carbono aéreo que almacenan.

Introducción

El cambio climático tendrá un efecto negativo en la producción del café, (Laderach *et al.* 2009) estiman una reducción de 60% del área apta para producir café en Nicaragua para 2050, sumado al excesivo uso de plaguicidas y fertilizantes inorgánicos que incrementan los gases de efecto invernadero y aumentan los problemas ambientales, (Borbor, C. *et al.* 2006), se hace necesario la búsqueda de estrategias basadas en el principio de sostenibilidad, para incrementar la productividad, el beneficio del sistema y la calidad de café (Morraz y Herrera 2006). Una de estas estrategias, es el desarrollo de sistemas agroforestales que permiten mantener la estabilidad de los recursos naturales y económicos del sistema productivo. Los árboles aportan materia orgánica al suelo sustentando la fertilidad, lo que incrementa la productividad a largo plazo (Mbow C. *et al.* 2013, SCAN *et al.* 2015), esto reduce también los altos costos de manejo y de insumos. Además los arboles permiten modificar las condiciones de estrés

causadas por el cambio climático (Barradas, V.; Fanjul, L. 1986). Otras ventajas importantes son que las especies leñosas en asocio con el cultivo de café pueden generar ingresos adicionales, y se consideran un mecanismo de mitigación a los gases de efecto invernadero al capturar carbono, (Mbow, C. *et al.* 2013, Nsabimana, D. *et al.* 2008)

A través de este ensayo se pretende contribuir a generar conocimientos sobre la búsqueda de agroecosistemas de café que sean ecológica y económicamente sostenibles, permitiendo a los agricultores diseñar y mejorar sistemas de producción de café que sean económicamente más resilientes, que generen menos contaminación y que proporcionen mecanismos de adaptación y mitigación ante el cambio climático.

Objetivos

Objetivo general: Determinar el impacto del tipo de sombra y niveles de insumo convencionales vs orgánicos en la producción de café

Objetivos específicos del ensayo

1. Identificar factores que determinen la productividad potencial del café bajo diferentes niveles de insumos convencionales y orgánicos con niveles de fertilidad alta e intermedia.
2. Determinar los efectos de la presencia de árboles de sombra y su composición sobre la producción.
3. Determinar la contribución de los árboles en términos de ingreso por madera en pie de los diferentes sistemas agroforestales

Materiales y métodos

Ubicación del ensayo

La investigación se realizó en un ensayo a largo plazo establecido en el Centro de Capacitación y Servicio Regional del Pacífico (CENECOOP-CARUNA). Las coordenadas del CENECOOP son 11° 54' N y 86° 09' O, está a una altitud de 455 m. Este experimento consiste en tres repeticiones, las dos primeras fueron establecidas en el año 2000 en el Jardín Botánico y la tercera repetición fue establecida en el año 2001 en áreas del Centro Experimental de Campos Azules (CECA), propiedad del Instituto Nicaragüense de Tecnología agropecuaria (INTA) con coordenadas geográficas 12° 19' N y 86° 04' O, a una altitud de 455 m. Los dos sitios tienen una topografía plana y están localizados en el Municipio de Masatepe, Departamento de Masaya, Nicaragua.

Suelo y clima

La zona del ensayo es baja y seca con suelos fértiles de origen volcánico, con profundidades que varían de 15 cm a 1 m. La zona está caracterizada por una precipitación promedio anual de 1,386 mm, una temperatura promedio anual de 28°C y una humedad relativa de 70-80%, mostrando una estación seca de 6 meses (Haggar y Staver 2001).

Diseño experimental

El diseño experimental de este ensayo es un diseño con tres factores (sombra, insumo, especie) distribuidos en un diseño de bloques completamente al azar con 3 repeticiones, distribuyéndose con los 5 sistemas de sombra (combinaciones de especies de árboles y pleno sol), más 4 niveles de insumo por repetición.

Tratamientos

Los tratamientos están definidos por la combinación de sombra y el nivel de insumo. En las parcelas grandes se estableció y distribuyó el factor tipo sombra; mientras que en las sub parcelas se distribuyó el factor nivel de insumo, dando origen a 14 sistemas o tratamientos (Tabla 1). No todos los niveles de insumo están distribuidos en las parcelas grandes, debido a que, estos se van adecuando a las necesidades del cultivo acorde a las recomendaciones técnicas y prácticas de la zona.

Tabla 1: Tratamientos bajo estudio (combinaciones de tipo de sombra y niveles de insumo)

Parcela principal	<i>Simarouba</i> + <i>Tabebuia</i> SGTR	<i>Samanea</i> + <i>Tabebuia</i> SSTR	<i>Inga</i> + <i>Simarouba</i> ILSG	<i>Samanea</i> + <i>Inga</i> SSIL	Pleno Sol
Sub parcela	CI, CM, OI, OM	CM, OI	CM, OI	CI, CM, OI, OM	CI, CM

Descripción de los arboles

En el ensayo de Nicaragua, se combinan diferentes especies leguminosas *Inga Laurina* (Sw.) Willd. (Guabillo) y *Samanea saman* (Jacq.) Merr. (Genízaro) y especies maderables no-leguminosa *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC. (Roble macuelizo) y *Simarouba glauca* DC (acetuno), con diferentes tipos de insumos convencionales y orgánicos. Sus diferentes características fenológicas, de copa y uso están presentadas en el cuadro 2.

La zona del ensayo es baja y seca con suelos fértiles de origen volcánico, a profundidades que varían de 15 cm a 1 m. La zona está caracterizada por una precipitación promedio anual de 1,386 mm, una temperatura promedio anual de 28°C y una humedad relativa de 70-80%, mostrando una estación seca de 6 meses (Haggar y Staver 2001). Se midió el rendimiento de café durante 12 años, el crecimiento de los árboles durante 15 años, % y dosel de sombra, temperatura, costos de mano de obra, insumos además de ingresos por café y leña y se evaluó el potencial productivo de la madera de las especies forestales, lo que permite realizar un análisis financiero de rentabilidad de los sistemas.

Con el uso de dos niveles de insumos se crearon gradientes de insumos en el manejo convencional y orgánico tanto en el manejo de fertilidad como en el uso de plaguicidas. Tabla 3.

Tabla 2: Características de las especies de árboles de sombra que están en este estudio

Nombre científico	Abrevia Tura	Nombre Común	Fenología	Tipo de Copa	Fijador - N	Uso
<i>Simarouba glauca</i>	SG	Acetuno, Aceituno	Perennifolia	Alto estrecha	NO	Maderable
<i>Tabebuia rosea</i>	TR	Roble, macuelizo, Falso roble	Caducifolia	Alto estrecha	NO	Maderable
<i>Samanea saman</i>	SS	Genízaro, jenízaro, Cenízaro	Perennifolia	Alto amplio	SI	Maderable
<i>Inga laurina</i>	IL	Guaba, guabillo	Perennifolia	Bajo amplio	SI	Servicio

Tabla 3: Manejo y niveles de insumos

Manejo	Insumos Orgánicos Moderados (OM)	Insumos Orgánicos Intensivos (OI)	Insumos químico Convencional Moderado (CM)	Insumos químico Convencional Intensivo (CI)
Enmiendas al suelo	Pulpa de café	Pulpa de café, gallinaza roca fosfórica	Fertilizantes químicos aplicación foliar de micronutrientes	Fertilizantes químicos aplicación foliar de micronutrientes
De enfermedades	Ninguna	Aplicaciones de caldos y biofermentados	Uso poco frecuente de fungicidas comerciales (cobre y hexaconazole)	Aplicación de fungicidas (cobre y hexaconazole)
De insectos	Pepena Repela Trampas	Repela Pepena Trampas	Repela Pepena Trampas	Repela Pepena Trampas
De malas hierbas	2 a 4 chapias	3-4 Chapia selectiva, carril limpio	Chapia selectiva Aplicación de herbicidas de forma selectiva	Aplicación de herbicidas Chapias totales

Tabla 4: Nivel de insumos

Fuentes convencionales	Convencional Intensivo (CI)	Kg por hectárea	Convencional Moderado (CM)	Kg por hectárea
Fórmula 18 – 6 – 12 – 4 – 0.2*	50 g por planta (Junio)	200	25 g por planta (Junio)	100
Fórmula 27 – 9 – 18 **	33 g por planta (Junio)	132	17 g por planta (Junio)	68
Fórmula 12 – 30 – 10	70 g por planta (septiembre)	280	35 g por planta (septiembre)	140
Urea (46 %)	40 g por planta (octubre)	160	20 g por planta (octubre)	80
Muriato de Potasio (0 – 0 – 60)	10 g por planta (octubre).	40	5 g por planta (octubre).	20
Aplicación foliar	113 g urea + 25 g zinc + 30 g Boro	5.62 kg urea + 1.25 kg Zinc + 1.5 kg Boro	113 g urea + 25 g zinc + 30 g Boro	2.81 kg urea + 0.625 kg Zinc + 0.75 kg Boro

Fuentes orgánicas	Orgánico Intensivo (OI)		Orgánico Moderado (OM)	
Pulpa de café	5 lb por planta (marzo – Abril)	9090.90	5 lb por planta (marzo – Abril)	9090.90
Gallinaza – Bioperla	6 lb por planta (Julio – Agosto)	10909.09		
	4 lb por planta (Julio – Agosto)	7272.72		
Biofermentados	2 l por cada 20 l de agua	25		

En el periodo de 2002-2014, la producción de café fue medida anualmente en cada parcela de evaluación, en todos los casos se dejaron bordes de dos o tres hileras de café alrededor de cada parcela de tratamiento. Las muestras fueron despulpadas manualmente, posteriormente se secaron y procesaron hasta café oro. En cada paso del proceso de beneficiado húmedo se registró el peso del café y los subproductos con el fin de calcular un índice de conversión y posteriormente la productividad de cada sistema en términos de café verde.

Medición de cobertura de sombra

El nivel de cobertura de sombra fue medida cuatro veces al año usando un densiometro, para medir el nivel de sombra se utilizaron cuatro puntos de medición espaciados equidistantemente en cuatro direcciones (norte, sur, este y oeste). La estimación del porcentaje de sombra del dosel fue calculado para cada una de las repeticiones, según metodología descrita por Somarriba (2002).

Medición de la producción de café

El peso de café producido por cada tratamiento fue pesado anualmente desde 2002 hasta el 2015, utilizando balanza. El análisis fue realizado con la producción promedio por año y la producción acumula en el periodo 2002-2015

Medición de la intensidad de poda

El porcentaje de plantas de café podadas, incluyendo poda parcial y total en cada tratamiento fue medido anualmente desde el 2005 hasta el año 2015. El análisis de datos de producción fue realizado con el porcentaje promedio de poda anual y la poda acumulada en el periodo de 2005-2015.

Evolución en el tiempo de las especies arbóreas según las variables evaluadas

El desarrollo de los árboles fue estimado por las variables diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total, altura comercial, volumen de madera comercial y área de copa. Todos los árboles del ensayo fueron medidos y se hizo un promedio de los valores encontradas por especie

Evolución en el tiempo de las especies arbóreas según las variables evaluadas

El desarrollo de los árboles fue estimado por las variables diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total, altura comercial, volumen de madera comercial y área de copa. Todos los árboles del ensayo fueron medidos y se hizo un promedio de los valores encontradas por especie.

Secuestro de carbono

Se utilizaron ecuaciones alométricas para obtener el carbono almacenado en la biomasa aérea, *Inga spp*, descrita por Segura et al., (2006) $B = 10^{(-dbh + 2.067 * \text{LOG}_{10}(dbh))}$ y para otras especies utilizando la

ecuación descrita por Brown and Iverson, (1992) $B = ((21.3 - 6.95) * (dbh)) + 0.74 * (dbh^2)$. La biomasa fue multiplicada por el factor 0.47 para obtener el contenido de carbón en $Mg\ ha^{-1}$

Análisis estadístico.

Los datos fueron analizados usando modelos lineales mixtos para un diseño de bloques usando el tipo de sombra como efecto principal y niveles de insumo como sub-parcela, considerando la estructura desbalanceada debido a que no todos los niveles de insumo se encuentran bajo los diferentes tipos de sombra (Tabla 2). Contrastes ortogonales se utilizaron para comprobar las diferencias de tratamientos. El análisis de correlación se utilizó para explorar las relaciones entre la producción por año, la intensidad de poda, cobertura de la producción-sombra y producción-insumos, producción-precipitación. La normalidad y la homogeneidad de la varianza se probaron. Cuando no se cumple el supuesto de homogeneidad, la varianza se homogeneizó para mejorar el ajuste de datos. Los análisis se llevaron a cabo utilizando el software Infostat, en todos los análisis de datos se considera un nivel de significancia de $p < 0.05$.

Resultados

Rendimientos de producción de café en relación con la precipitación anual.

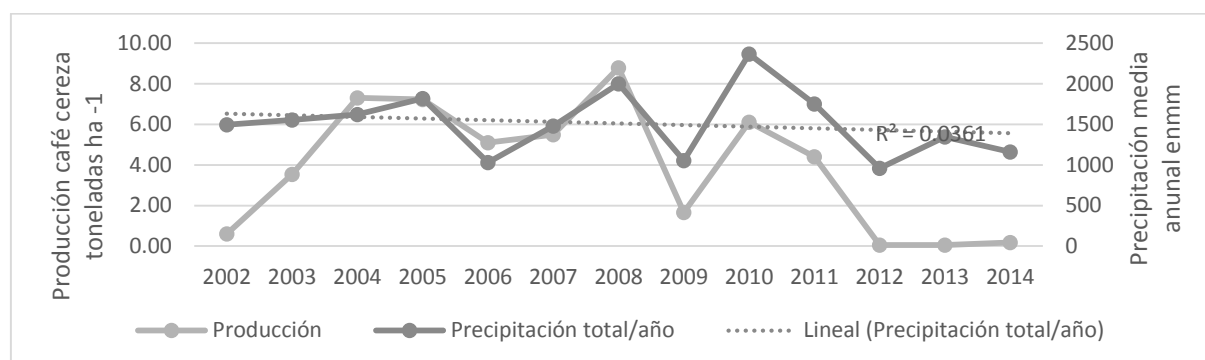


Figura. 1: Relación entre e producción y precipitación anual y producción de café cereza en Masatepe, Nicaragua durante el periodo 2002 – 2014.

La precipitación es un factor determinante en el rendimiento productivo de café; en la figura 1, se puede observar las variaciones entre la relación producción-precipitación anual, la existiendo una correlación es significativa (Pearson $r = 0.632$; $p=0.027$).

Rendimiento de café en relación al tipo de insumo

El efecto del nivel de insumos sobre la producción de café acumulada presentó diferencias estadísticamente significativas, $p= 0.2818$, todos los sistemas muestran una disminución de la producción cuando la precipitación disminuye figura 2 (2006, 2009, 2012), sin embargo, durante el 2006 el sistema orgánico intensivo ($6.11\ ton\ ha^{-1}\ p= 0.0004$) y convencional intensivo ($5.76\ ton\ ha^{-1}\ p= 0.0021$) mostraron una producción más alta, mientras el orgánico moderado ($3.55\ ton\ ha^{-1}\ p= 0.1331$) fue el menor. En 2009, todos mostraron una declinación en la producción (atribuida a la baja precipitación y a la poda) sin embargo fue el orgánico intensivo quien mostro una mejor producción ($2.2\ ton\ ha^{-1}\ p= 0.6718$) mientras el orgánico moderado fue el segundo ($2.02\ ton\ ha^{-1}\ p= 0.5288$).

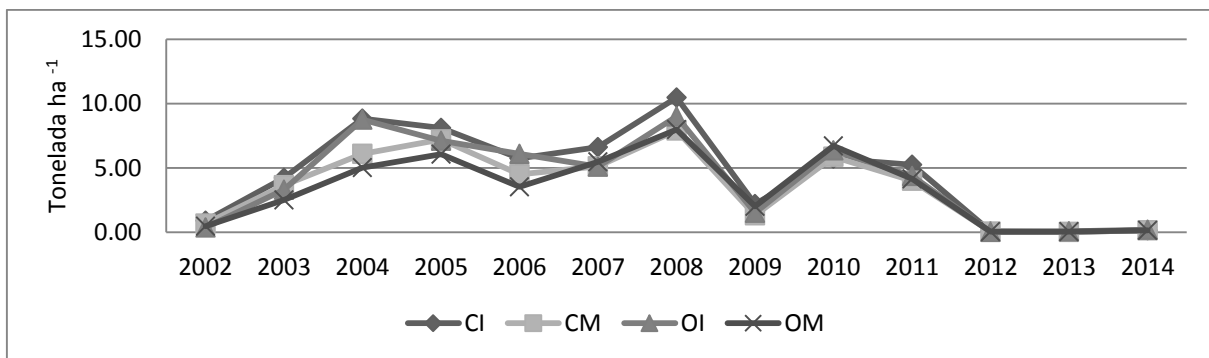


Figura. 2: Relación entre producción de café cereza (toneladas ha⁻¹) y tipo de insumo Ensayo de sistemas Masatepe, Nicaragua. 2002-2014.

Rendimientos de café en relación al tipo de sombra

Estadísticamente el tipo de sombra es significativo, siendo el pleno sol (4.71 ton ha⁻¹, p= 0.0140) el que se diferencia de los tratamientos SSTR (4.27 ton ha⁻¹, p= 0.0647), SGTR (3.95 ton ha⁻¹, P= 0.1114) y SSIL (3.67 ton ha⁻¹, p= 0.1715), y el ILSG (2.98 ton ha⁻¹, p= 0.1610) el que menor producción promedio obtuvo. Con respecto a los sistemas con diferentes tipos de sombra, aunque existe variación en años con poca precipitación, esta no es tan drástica en comparación a pleno sol lo que indica que los árboles son un factor importante para disminuir el impacto de la variación en la producción cuando la precipitación disminuye.

La precipitación es un factor relevante para la producción de café fig. 3, tomando como referencia lo que se produjo a pleno sol en el año 2008 hubo un rendimiento de (12,7 ton ha⁻¹), y 1,999.2 mm año⁻¹, sin embargo aunque en 2010 se observa un incremento de precipitación (2,366.9 mm⁻¹) y un aumento de la producción con respecto al 2009, la producción a pleno sol, no logro igualar la del sistema con maderables SGTR. En 2006 y 2009 cuando la precipitación estuvo por debajo al promedio (1,500 mm año⁻¹), A partir del 2009 los sistemas con maderables (SGTR y SSTR) igualan e incluso superan al pleno sol. El sistema Inga + Simaruba (ILSG) tuvo la menor producción a lo largo del tiempo, aunque no es significativo al p<0.05. Los contrastes entre los cuatro sistemas con árboles no fueron significativos

Estadísticamente el tipo de sombra es significativo, siendo el pleno sol (4.71 ton ha⁻¹, p= 0.0140) el que se diferencia de los tratamientos SSTR (4.27 ton ha⁻¹, p= 0.0647), SGTR (3.95 ton ha⁻¹, P= 0.1114) y SSIL (3.67 ton ha⁻¹, p= 0.1715), siendo el ILSG (2.98 ton ha⁻¹, p= 0.1610) el menos productivo promedio obtuvo. Con respecto a los sistemas con diferentes tipos de sombra, aunque existe variación en años con precipitación debajo al promedio (1,500 mm año⁻¹), fig.3, la variación de la producción no es tan drástica en comparación a pleno sol lo que indica que los árboles son un factor importante para disminuir el impacto de la variación en la producción. En los años 2006 y 2009 los sistemas con maderables (SGTR y SSTR) igualan e incluso superan al pleno sol. El tipo de sombra ILSG es el que menor producción obtuvo a lo largo del tiempo.

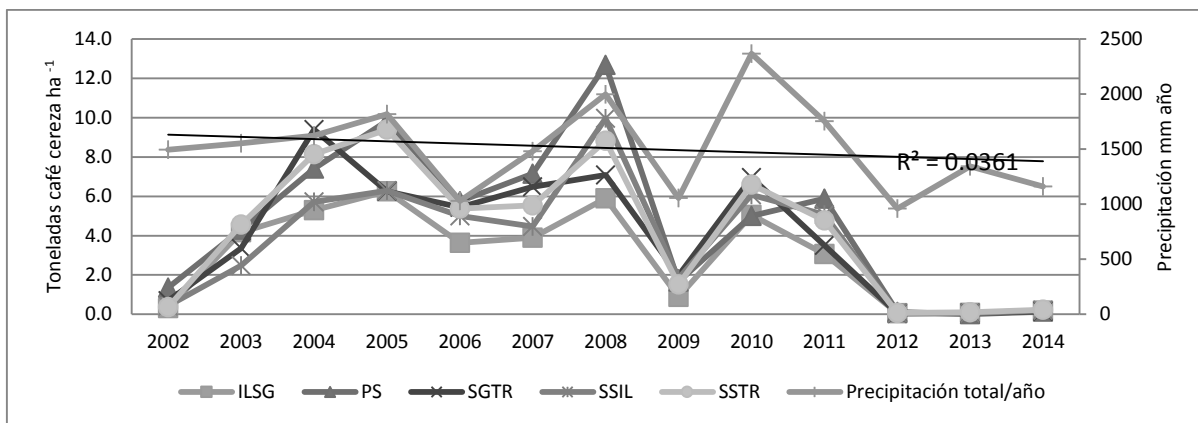


Figura 3: Relación entre producción anual de café cereza y tipo de sombra

Contrastes entre pleno sol y sombra

El mayor contraste se encuentra con el pleno sol y el tipo de sombra ILSG (Inga Laurina+ Simarouba glauca) 1.94, $p = 0.0158$, el resto de contrastes no fueron significativos ni entre leguminosas y maderables-leguminosas

Rendimiento de café combinación tipo de sombra vs nivel de insumos

Tabla 5: Análisis de varianza para la combinación tipo de sombra vs nivel de insumo en café cereza ton ha^{-1}

ANOVA ton ha^{-1} café uva				
Nivel de insumos				
Tipo de sombra	CI	CM	OI	OM
PS	5.33 a	4.1 abc		
SSTR		3.62 abc	4.93 ab	
SGTR	4.35 abc	3.83 abc	4.14 abc	4.49 abc
SSIL	3.81 abc	4.47 abc	4.06 abc	3.33 bc
ILSG		2.94 c	3.03 bc	

Existen diferencias significativas al realizar el Análisis de varianza en la interacción tipo de sombra-nivel de insumos (tabla 5), el sistema PS-CI es el más productivo (5.33 ton ha^{-1} , $p = 0.0170$), seguido de SSTR-OI (4.93 ton ha^{-1} , $p = 0.0470$), siendo el menos productivo la combinación ILSG-CM (2.94 ton ha^{-1} , $p = 0.0010$). Al comparar los niveles de insumo con el tipo de sombra SSIL, el insumo orgánico moderado presentó menor productividad promedio (3.33 ton ha^{-1} , $p = 0.6982$), mientras que no hubo diferencias significativas en el tipo de sombra SGTR al combinarlo con los diferentes tipos de insumo.

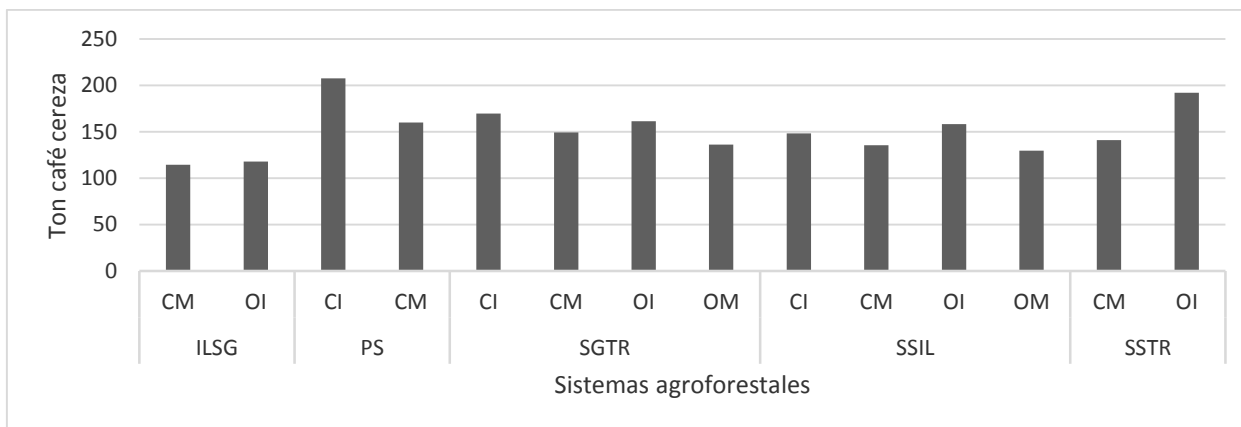


Figura. 4: Producción acumulada durante 13 años de café cereza en ton ha⁻¹ para los diferentes tipos de sistemas agroforestales

Hasta el año 2005, todos los sistemas mostraron un incremento en la producción, aunque el sistema convencional intensivo y el orgánico intensivo mostraron mejores rendimientos, los sistemas manejados con insumos convencionales (químicos) mostraron al inicio 2002-2008 un nivel alto de incremento en la producción, sin embargo, durante a partir del periodo 2009-2014 año su comportamiento declinó, mientras la producción de café en los sistemas con uso de insumos orgánicos aumentó.

Cuando se analiza la producción total acumulada durante los 12 años del ensayo figura 4, el sistema a pleno sol-convencional intensivo (207.8 ton ha⁻¹) es el más productivo acorde a lo esperado, aunque es seguido muy de cerca por el sistema SSTR-orgánico intensivo (192.1 ton ha⁻¹). Los sistemas con insumos convencionales intensivos y orgánicos intensivos en general mostraron mejor producción, mientras, el sistema con menor producción fue el ILSG en sus dos niveles de insumo (CM y OI). Al analizar el tipo de sombra con especies maderables (*Simarouba glauca*, *Tabebuia rosea* y *Samanea saman*) la producción de café responde a los diferentes niveles de insumo, pero cuando el sistema incluye (*Inga laurina*) no hay respuestas en la producción de café. La combinación Inga-Simarouba influyo negativamente en la producción sin importar si los insumos son orgánicos o convencionales.

Tasa de conversión café cereza café verde

En la tabla 6 se observa el factor de conversión de café cereza a café verde en relación al tipo de sombra, este fue significativamente mayor (8.02:1 vs sombra 7.65:1; p <0.0001) y la tasa de conversión con relación al año y tipo de sombra fue significativa p <0.0001.

Tabla 6: Factor de conversión de café cereza a café oro (ton de café cereza por ton de café oro)

Tipo de sombra	Año de producción												
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
ILSG	7.3	7.3	6.5	6.3	7.7	7.0	6.7	9.8	6.8	7.6	8.1	8.2	9.3
PS	8.3	8.3	9.0	7.0	8.4	7.5	7.2	8.8	8.1	7.7	8.3	7.8	8.3
SGTR	7.1	7.1	6.8	6.3	7.8	6.9	7.0	8.8	7.3	7.6	8.0	8.2	8.7

SSIL	8.1	8.1	6.8	6.5	7.6	6.9	7.0	9.7	6.8	7.6	8.1	8.1	9.6
SSTR	7.9	7.9	7.3	7.2	7.8	7.0	7.1	8.8	7.1	7.8	8.0	8.2	9.8

Tabla 7: Factor de conversión promedio por tipo de sombra (ton café cereza por ton de café oro)

Tipo de sombra	Factor	p
PS	8.02 a	0.0343
SSTR	7.82 ab	0.2494
SSIL	7.76 ab	0.3187
ILSG	7.59 b	<0.0001
SGTR	7.5 b	0.613

La tasa de conversión tuvo un efecto significativo en el análisis de varianza de café verde (tabla 7), $p=0.0008$, pues disminuyó las diferencias entre las interacciones al compararlas con el café cereza (tabla 8). La producción promedio bajo pleno sol fue significativamente mayor (0.73 ton ha^{-1} , $p=0.0294$) a las combinaciones de sombra de *Tabebuia* (*Samanea saman* 0.68 ton ha^{-1} , $p=0.0813$ y *Simarouba glauca* 0.63 ton ha^{-1} , $p=0.1147$) y *Samanea saman*- *Inga Laurina* (0.58 ton ha^{-1} , $p=0.2792$) y estas a su vez fueron mayores que *Inga Laurina-Simarouba glauca* (0.48 ton ha^{-1} , $p<0.0001$)

Tabla 8: Interacciones entre tipo de sombra y niveles de insumo en la producción promedio de café verde

ANOVA ton ha^{-1} café verde				
Nivel de insumos				
Tipo de sombra	CI	CM	OI	OM
PS	0.82 a	0.63 ab		
SSTR		0.58 ab	0.77 ab	
SGTR	0.71 ab	0.61 ab	0.64 ab	0.61 ab
SSIL	0.58 ab	0.57 ab	0.68 ab	0.52 ab
ILSG		0.48 b	0.49 b	

Influencia de la poda en la producción de café

La poda total en los cafetos (recepto) muestra una relación inversamente proporcional a la productividad del café, con una débil correlación de $r=-0.285$, $p=0.0001$, fue utilizada como covariable no tuvo efecto significativo en el ANOVA, puesto que fue similar en todos los sistemas. En la figura 5, el porcentaje de recepto muestra que en el café a pleno sol y en el tipo de sombra SSTR hubo hasta un 70%, lo que indica que fue necesario realizar este tipo de manejo pues las plantas habían agotado su productividad. El año 2009 y 2012, hubo un recepto casi total, lo cual explica la poca producción en esos años. La poda más severa se aplicó a los sistemas en pleno sol y SSTR, mientras que en el resto de sistemas bajo sombra la poda fue menos severa, esto es un indicativo que el café a pleno sol pierde más rápidamente su nivel productivo que al estar bajo sombra.

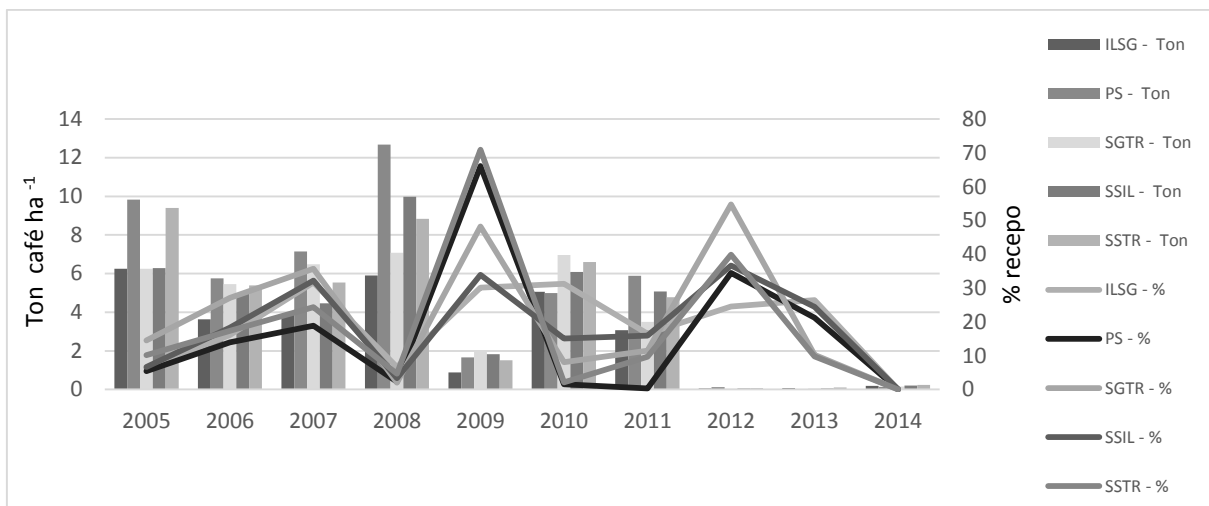


Figura 5: Relación entre producción de café cereza (toneladas ha⁻¹) anual y poda de recepo en % por tipo de sombra

Producción de café en relación al porcentaje de sombra

El nivel de sombra (porcentaje) trató de mantenerse estable a lo largo de todo el estudio, se comprobó que no existe correlación ($r = -0.02$, $p = 0.6026$) entre la producción y el porcentaje de sombra en este estudio.

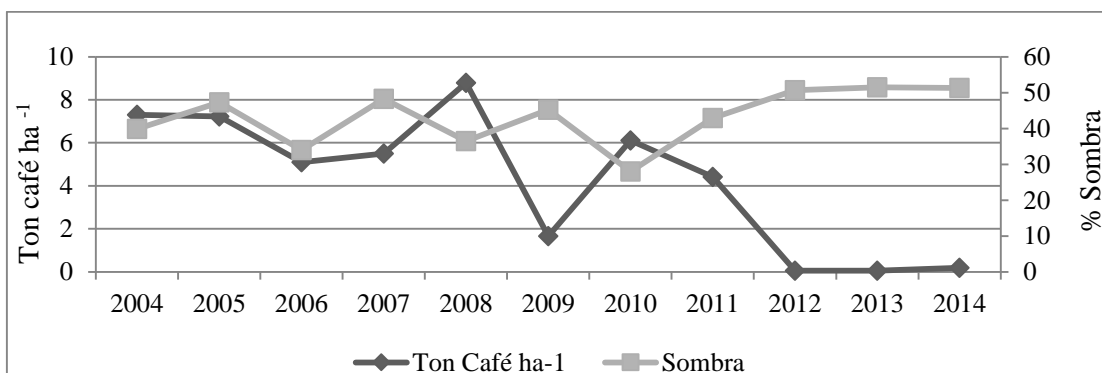


Figura 6: producción de café cereza (toneladas ha⁻¹) anual en relación al porcentaje de sombra

Proporción de sombra del dosel de cada una de las especies arbóreas durante el ensayo

En la figura 8, se refleja el porcentaje de sombra del dosel de los árboles sobre el café desde el segundo año de establecido el ensayo hasta 14 años después (2014), La especie de sombra con mayor aporte al dosel es *Inga laurina* 38.3 %, seguido de *Simarouba glauca* con 33.8 %, esto se debe a que estas dos especies son perennifolias y para lograr mantener el nivel de sombra bajo el 40% en *Inga laurina*, fue necesario realizar podas drásticas a su copa para reducir la competencia con el café. Debido a restricciones ambientales no se pudo realizar la corta de aclareo final, por lo que la sombra del dosel sobrepasó el 50%

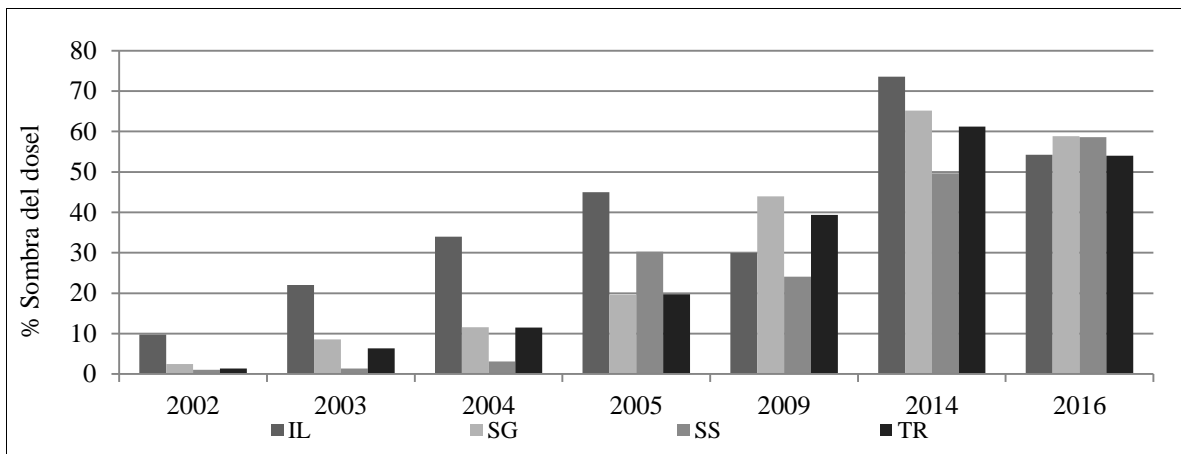


Figura. 7: Porcentaje de sombra del dosel en el tiempo por especie

Área basal y volumen comercial

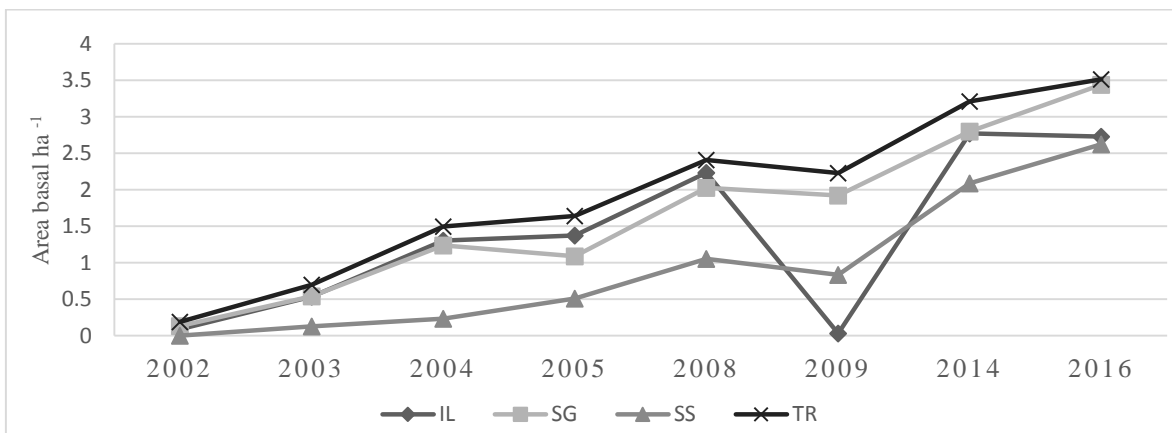


Figura 8: Área basal m² por especie por año

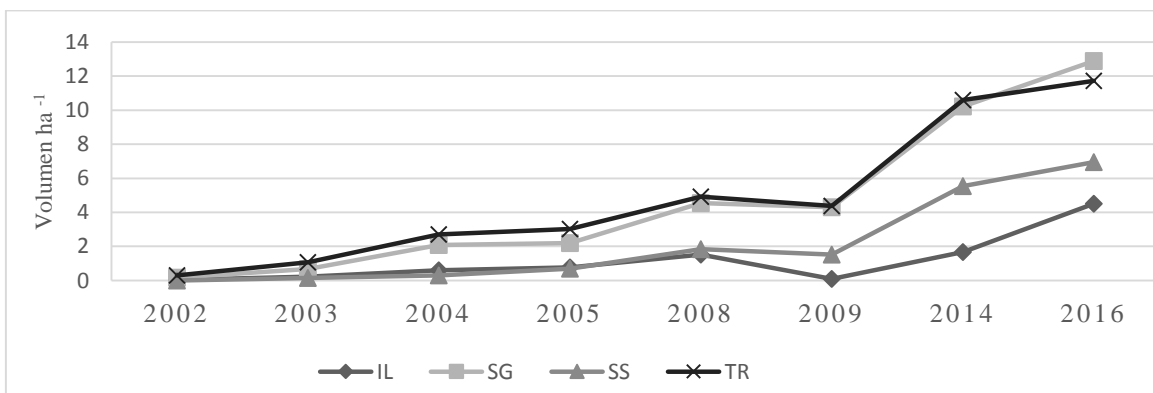


Figura 9: Volumen total m³ ha⁻¹ comercial por especie

El mayor volumen comercial al año 2016 indica que las especies maderables son las que presentan mayor volumen total, (*Simarouba glauca* 12.89 m³ ha⁻¹ ± 0.08 y *Tabebuia rosea* (11.73 m³ ha⁻¹ ± 0.12), seguida de *Samanea saman* (6.96 m³ ha⁻¹ ± 0.11), y finalmente *Inga laurina* (4.51 m³ ha⁻¹ ± 0.06) que es la que menos volumen comercial presentó debido a la mayor intensidad de podas para manejo de sombra.

El área basal tuvo diferencias significativas con respecto al tipo de sombra y nivel de insumo con un p= 0.0010, siendo las combinaciones SGTR las que presentaron mayor área basal y las combinaciones de tipo de sombra SSIL las menores, Cuando el volumen de madera comercial es evaluado respecto a los diferentes niveles de insumo, estadísticamente no existe diferencia significativa p=0.6685, sin embargo si existen diferencias estadísticas con la combinación por tipo de sombra, p <0.0001, siendo el tipo de sombra SGTR el que mayor volumen promedio presentó 0.09 m³, p <0.0001 y SSIL 0.04 p=0.5354

En cuanto al volumen de madera promedio, existe diferencia estadística por tipo de sombra y nivel de insumo, p <0.0001. Cuadro 7, siendo el sistema SGTR con el nivel de insumo CI, quien presenta el volumen mayor.

Tabla 9: Análisis de varianza volumen comercial tipo de sombra y nivel de insumo

Tipo de sombra	Nivel de insumo	Medias	p
SGTR	CI	0.24 a	0.1995
	OM	0.23 ab	0.3786
	CM	0.22 abc	0.7008
	OI	0.22 abc	0.8149
ILSG	CM	0.22 abc	0.801
	OI	0.19 c	0.1457
SSTR	CM	0.2 bc	0.3418
	OI	0.19 c	0.1666
SSIL	OM	0.12 d	<0.0001
	OI	0.11 d	<0.0001
	CM	0.1 d	<0.0001
	CI	0.09 d	<0.0001

Las especies maderables dentro del tipo de sombra SGTR (14.92 m³ ha⁻¹) experimentaron el mayor crecimiento en volumen comercial, seguido del tipo de sombra SSIL (7.45 m³ ha⁻¹), el tipo de sombra con menor volumen es SSIL (una leguminosa maderable y una leguminosa de servicio), cuadro 8.

Tabla 10: Ingreso potencial volumen ha⁻¹ por tipo de sombra, nivel de insumo y especie

Tipo de sombra	Nivel de insumo	Volumen m ³ ha ⁻¹				Total vol sistema	Ingreso USD
		IL	SG	SS	TR		

ILSG							
	CM	0.4	3.4			3.8	211.4
	OI	0.8	2.4			3.2	177.3
SGTR							
	CI		1.6	2.3	3.9		330.0
	CM		1.8	2.3	4.1		339.4
	OI		1.9	1.5	3.5		266.5
	OM		2.0	1.6	3.6		279.0
SSIL							
	CI	0.8		0.8	1.6		75.6
	CM	0.7		1.2	1.9		83.0
	OI	0.8		1.3	2.1		91.4
	OM	1.0		1.0	2.0		92.1
SSTR							
	CM			1.7	2.1	3.8	65.2
	OI			1.1	2.0	3.1	40.6

El mayor ingreso en cuanto a madera en pie cuando se aplica la tarifa en U\$D por m³, (tabla 10) establecida por el Instituto Nacional Forestal (INAFOR), corresponde a la combinación maderables *Simarouba glauca*+*Tabebuia rosea* -CM U\$D 339.4 ha⁻¹ y el menor ingreso es el sistema SSTR-OI con la especie *Samanea saman* U\$D 40.6 ha⁻¹

Costos totales

El tipo de insumo orgánico intensivo es el que mayores costos presenta (1,474.21 U\$D ha⁻¹ ± 122.9) siendo el costo de los insumos lo que eleva el costo total, el orgánico moderado es el que presenta los menores costos (879.82 U\$D ha⁻¹ ± 91). El pleno sol es el que mayores costos presenta (U\$D ha⁻¹ 1,303.5± 149.35) y el que menores costos tiene es SGTR (1,112.52 U\$D ha⁻¹ ± 82.66)



Figura. 10. Distribución de costos variables promedios por tipo de sombra e insumos

El cuadro 5 muestra los costos totales ha⁻¹, siendo el sistema SSTR- OI, el que mayores costos produce (U\$D 1,537.04) mientras el sistema con tipo de sombra SGTR-OM el que menor costo total tiene (U\$D

826.99). En cuanto a la distribución de costos variables fig. 11, el tipo de insumo orgánico intensivo es el que mayores costos presenta, siendo el costo de los insumos lo que incrementa el costo total, mientras el orgánico moderado es el que menores costos presenta.

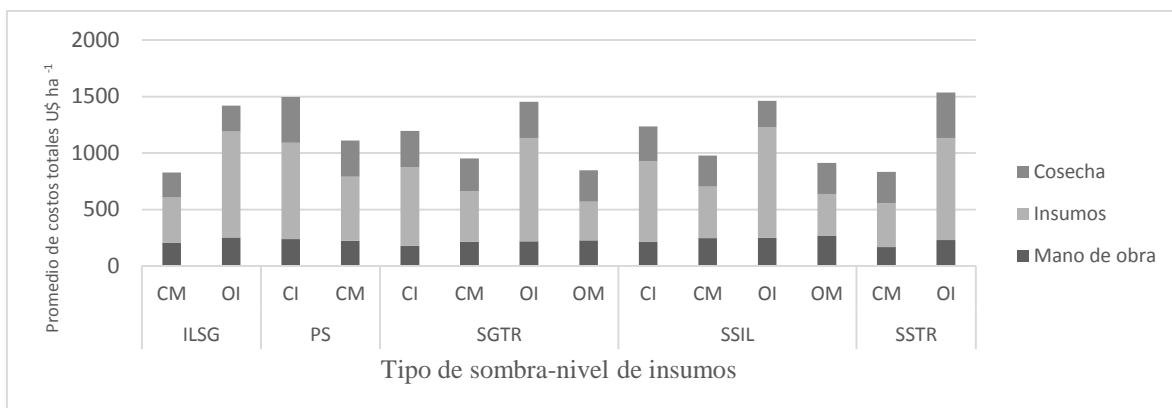


Figura. 11. Distribución de costos variables promedios por tipo de sombra e insumos ha⁻¹

Aun sin considerar el precio de la madera en pie, el sistema con maderables (SGTR) en cualquier nivel de insumo, es el que mayor ingreso neto produce por encima del pleno sol. Al agregar el ingreso potencial de madera en pie, casi todos los sistemas con maderables superan a los sistemas a pleno sol, sin embargo los sistemas con insumos orgánicos intensivos al combinarlos con *Inga laurina* son las que menor ingreso neto presentan.

Tabla 11: Ingreso total neto

Tipo de sombra	Nivel de insumo	Ingreso total café sistema USD ha ⁻¹	Costo total ingresos café y leña USD ha ⁻¹	Ingreso neto por sistema café ha ⁻¹	Ingreso potencial madera en pie USD ha ⁻¹	Ingreso total neto por sistema USD ha ⁻¹
ILSG	CM	13,119.84	11,656.73	1,463.12	211.4	1674.5
	OI	14,166.56	19,404.35	-5,237.79	177.3	-5060.5
PS	CI	22,004.19	20,335.13	1,669.06		1669.1
	CM	18,376.44	15,592.62	2,783.82		2783.8
SGTR	CI	18,868.39	16,767.17	2,101.21	330.0	2431.2
	CM	16,945.47	13,354.00	3,591.47	339.4	3930.8
	OI	18,957.68	19,984.29	-1,026.61	266.5	-760.1
	OM	17,169.68	11,871.63	5,298.05	279.0	5577.1
SSIL	CI	18,716.14	17,248.89	1,467.26	75.6	1542.8
	CM	17,168.44	13,693.65	3,474.79	83.0	3557.8
	OI	14,051.17	20,079.36	-6,028.19	91.4	-5936.8
SSTR	OM	16,198.35	12,667.96	3,530.40	92.1	3622.5
	CM	16,371.53	11,782.39	4,589.14	282.1	4871.2
	OI	23,477.58	21,051.50	2,426.08	247.4	2673.4

Tabla 12: Carbono almacenado en la biomasa aérea

Tipo de sombra	Nivel insumo	Carbono Mg ha ⁻¹
ILSG	CM	40.1 d
	OI	32.6 e
SGTR	CI	61.1 a
	CM	60.5 ab
	OI	56.4 ab
	OM	55.6 b
SSIL	CI	19.6 g
	CM	21.7 fg
	OI	24.7 f
	OM	19.9 fg
SSTR	CM	51.1 c
	OI	51.2 c

Existen diferencias significativas $p < 0.0001$ del carbono almacenado con respecto al nivel de insumos, siendo el CM 44.11 Mg ha^{-1} , $p = 0.0118$, y el OI Mg ha^{-1} $p = 0.2192$, el CI 39.95 Mg ha^{-1} $p < 0.0001$ y el OM 39.51 Mg ha^{-1} $p = 0.8179$. En relación al tipo de sombra hubo diferencias en todos los tipos de sombra, siendo el que mayor carbón almacenó el SGTR 58.27 Mg ha^{-1} $p < 0.0001$, seguido de SSTR 51.17 Mg ha^{-1} $p < 0.0001$, ILSG 36.45 Mg ha^{-1} $p < 0.0001$, y finalmente el SSIL 21.40 Mg ha^{-1} $p < 0.0001$.

Las interacciones del tipo de sombra con el nivel de insumo tabla 12, fueron significativas $p < 0.0001$, siendo la combinación de maderables SGTR con cualquier nivel de insumo quien mostró una mayor captura de carbono aéreo, mientras que las interacciones de leguminosas SSIL con cualquier nivel de insumo mostraron la menor captura de carbono

Discusión:

Producción orgánica vs convencional

El manejo convencional en condiciones de pleno sol se ha promovido, debido al creer que se produce una mayor producción, al menos en condiciones óptimas de crecimiento (Jaramillo-Botero et al. 2010, Beer et al. 1998, Hagggar et al. 2011, DaMatta, et al. 2007). Este aumento de la productividad se ha logrado por el alto uso de insumos externos de agroquímicos, aumentando así la contaminación ambiental, la degradación de los suelos y los problemas de salud humana (Damatta 2004; Beer et al 1998; Lyngbaek et al .2001), por otra parte, la caficultura orgánica se fundamenta en la conservación y mejoramiento de las condiciones ecológicas y socioeconómicas del agro ecosistema y de los

productores, para lograr la sostenibilidad de la producción a largo plazo (Boyce *et al.* 1993, Sosa *et al.* 2004, Borin y Pimentel 2003, Duarte, 2005). A pesar que los niveles de productividad de los productores orgánicos son en general considerablemente más bajos que los productores convencionales (Lyngbæk *et al.* 2001; Van der Vossen 2005), el estudio demuestra que los niveles de insumos orgánicos a mediano plazo, igualan o son muy similares a la respuesta producida por insumos convencionales. En el caso de productores con fincas pequeñas sin acceso a insumos convencionales, la producción es menor 300 kg ha⁻¹ año⁻¹ de café verde, mientras que plantaciones manejadas intensivamente con insumos convencionales, tienen una producción de 2 t ha⁻¹ (Van derVossen, 2005). Al comparar el café verde en los diferentes tipos de insumo, el sistema orgánico intensivo muestra comportamiento similar al convencional intensivo, sin embargo a partir del año 2009 los sistemas con insumos orgánicos superan a los tratamientos convencionales, lo cual indica que a largo plazo el uso de insumos orgánicos tiende a ser similar a los convencionales, esto puede suceder porque los nutrientes de fuentes inorgánicas están disponibles de inmediato por lo general, mientras que la materia orgánica debe primero descomponerse para liberar N y otros nutrientes para su absorción por las plantas de cultivo, con la excepción de K⁺. Es necesario realizar estudios del suelo para determinar la cantidad de nutrientes, materia orgánica, ph, biodiversidad, etc. y la contribución de los diferentes niveles de insumo y tipo de sombra en el suelo del ensayo.

El comportamiento de la producción es influenciada por la baja precipitación (2006, 2009), siendo los sistemas con insumos orgánicos intensivos los que muestran una mejor adaptación a la disminución de la precipitación. Existen pocos estudios a largo plazo que consideren la diferencia de producción en ambos insumos, Lyngbaek, A. (2001), encontró que la producción convencional supera a la orgánica en un 22%, y tuvo mayores costos por fertilizantes, herbicidas, fungicidas y nematicidas, mientras que la orgánica tuvo los mayores costos en mano de obra, podas de los árboles e insumos orgánicos. En el estudio los costos de los insumos orgánicos intensivos y convencionales intensivos sobrepasan ampliamente a los convencionales moderados y orgánicos moderados, Chemura *et al.* (2010) encontraron que residuos de reciclaje de café, tales como pulpa y restos de poda como entradas directas o en combinación con abonos verdes en el manejo de nutrientes fueron eficaces en la promoción del crecimiento y el rendimiento de café y también económicamente viable. El estudio demuestra que al combinar insumos orgánicos moderados (pulpa de café fresca) aunque el rendimiento es bajo, este es compensado por los bajos costos, incrementando el ingreso neto. Esto podría ser indicativo que la inversión sostenida a través del tiempo es más importante que el tipo de insumos que se utilice. Los resultados indican que la práctica utiliza por los productores de poner menos insumos cuando los precios del café bajan, es una estrategia para mejorar el ingreso neto.

Producción por tipo de sombra

El estudio muestra que la producción a pleno sol promedio a lo largo de 12 años (4.7 t ha⁻¹) fue significativamente diferente ($p > 0,05$), a los tipos de sombra SSTR, SGTR, y SSIL, que tuvieron un promedio intermedio, el ILSG fue el menos productivo, debido a la presencia de *Inga Laurina* quien posee un rápido crecimiento de copa aumentando el % de sombra. De acuerdo a Matosos *et al* (2004), quienes evaluaron la producción de café bajo sistemas agroforestales, concluyeron que la producción bajo sistemas agroforestales es menor debido a la falta de podas realizadas en los árboles de sombra, por

lo tanto existe un efecto negativo directo entre el incremento en la densidad de siembra de los árboles de sombra, el tipo de copa, % de sombra y la producción de café.

Como regla general, el beneficio de la sombra se incrementa cuando el ambiente es menor favorable (DaMatta, 2004). En el ensayo, la variación de precipitación producida por el Niño, muestra una tendencia descendente, lo cual comprueba los modelos realizados por Laderach et al (2009), quienes estimaron que la precipitación disminuiría por efecto del cambio climático. Wang, N. *et al* (2011) determinaron que una disminución en la cantidad de precipitación en Uganda, disminuyó considerablemente la productividad. Por otra parte, la incidencia de luz es sustancial y debe mantenerse en límites razonables no mayores al 50% (Beer *et al.* 1998, Bosselmann et al., 2009; DaMatta, 2004; Van der Vossen, 2005). Las desventajas de la sombra de árboles es debido a la fuerte competencia inter específica por agua y nutrientes, la ventaja de sombra en el rendimiento del café solamente es posible si el tipo de sombra y características agroecológicas de los árboles y la región es muy bien considerada (DaMatta, 2004). En casi todos los sistemas las podas de los árboles se realizaron sistemáticamente y en general la sombra del dosel se mantuvo no mayor al 50%, sin embargo en Inga Laurina, la sombra sobrepasó el límite establecido. El estudio muestra que es el tipo y combinación de árboles, lo que más influyó en la producción de café. De acuerdo a Jezeer y Verweij (2015), los árboles de sombra en los cafetales reducen los efectos que los períodos de déficit hídrico imponen sobre la producción, en este aspecto los resultados muestran que los sistemas agroforestales (SSTR y SGTR) en circunstancias de déficit hídrico (menor a 1,500 mm anuales) mantuvieron la producción ligeramente superior al compararla con pleno sol. La sombra de árboles ayudan como amortiguamiento para ambiente sub óptimos tales como temperaturas extremas y sequías prolongadas, (DaMatta, 2004; DaMatta et al. 2007). Sin embargo, Los beneficios de la sombra se reducen y los árboles de sombra podrían afectar adversamente incluso la productividad del café, cuando la fertilidad del suelo es insuficiente y las precipitaciones son limitadas (DaMatta, 2004; Van der Vossen, 2005). Cordero y Boshier, (2003) mencionan que el *Simarouba glauca* es ampliamente usado como sombra en los cafetales del Pacífico sur de Nicaragua por su sombra durante todo el verano, se considera un árbol fresco que no afecta a los cafetales. Sin embargo Padovan et al (2015) mencionan que al evaluar el contenido de agua en el perfil del suelo, en raíces de café superficiales y los patrones de distribución de las raíces de los árboles sugieren complementariedad en el uso del agua del suelo en todo el perfil del suelo, aunque si hubo diferencia entre *tabebuia rosea* (mejor extracción a diferentes estratos) y *Simarouba glauca*, esto indica una complementariedad en lugar de competencia.

Un factor determinante de la productividad de los cafetales es la radiación solar dentro del cultivo; asimismo, existe una relación inversa entre el nivel de sombra y la respuesta a la fertilización (Farfán y Mestre 2004). En el estudio se determinó que no existe correlación del % de sombra con relación a la producción, esto porque a través del manejo, el % de sombra se mantuvo casi estable a lo largo del estudio, excepto los años 2012-2015

Interacción entre tipo de sombra y niveles de insumo

La combinación más productiva la presentó el PS-CI, pero muy de cerca con SSTR-CI, esto demuestra que la utilización de estos niveles de insumos no afecta significativamente la producción, pero al compararla con sombra, el efecto de las combinaciones es evidente. El rendimiento de café presentó mayor variación en los sistemas con poca sombra y pleno sol, esto pudo deberse a que la producción

bienal de café en esa clase de sistemas es más marcada (DaMatta 2004; DaMatta 2007). Se comprueba lo encontrado por Hagggar et al (2011) que los árboles de sombra leguminosa (*Inga Laurina*) impiden una mejor respuesta a la producción de café aun con insumos convencionales y orgánicos intensivos. El tipo de sombra SSTR-OI, segundo en producción se debe a que durante Enero-Marzo se produce una caída de hojas de ambas especies, dejando el sistema muy parecido a pleno solo hasta el inicio de la época lluviosa (mayo), Gomez, P.; Fournier, L. (1996), es durante esta época que se produce el crecimiento vegetativo y floración, Chavarria, A.; Calderon, N. (2014), sin embargo la combinación SGTR-CI, casi igual la producción, lo cual indica una respuesta positiva a mayor cantidad de insumos convencionales. Los árboles de sombra como elementos críticos para fomentar los procesos ecológicos sobre cual la producción orgánica depende para su productividad. Entre ellos podremos nombrar crear un micro-clima más ameno a la fisiología de la planta de café, regular la producción y demanda fisiológica para nutrientes de la planta de café, el reciclaje de nutrientes y en caso de las leguminosas la fijación de nitrógeno Hagggar y Melo (2010). El uso y manejo apropiado de los árboles de sombra tiene por objeto evitar extremos que son perjudiciales; así por ejemplo, una sombra excesiva afecta o limita la producción y un exceso de sol acorta la vida productiva de la plantación y demanda mayor uso de insumos (Beer 1997, FIHA 2012), proveen un microclima óptimo en términos de temperatura del aire y las hojas del cafeto (Siles, 2007); influyen en el microclima del suelo por la intercepción de la radiación (Teasdale and Mohler, 2000). En este ensayo es evidente la contribución de la sombra a largo plazo pues estabiliza la producción, además que en condiciones de menor precipitación, la sombra contribuye a mantener la producción, además de brindar un manto de cobertura vegetal en el suelo por las hojas depositadas, sin embargo, para manejar eficientemente estos compromisos, en los cafetales se deben considerar las características de las especies de sombra (tamaño, densidad y forma de la copa) (Somarriba et al., 2013), los árboles de sombra ocupan de los mismos recursos que la planta de café: agua, luz y nutrientes. Así que es de esperarse que habrá competencia para estos recursos entre los árboles y los cafetos. Este es el caso de *Inga Laurina* por su rápido crecimiento interfiere con la productividad.

El uso de sistemas agroforestales es una forma económicamente viable para proteger a las plantas de cultivo de los extremos en el microclima y la humedad del suelo y debe ser considerada como una estrategia adaptativa potencial para los agricultores de zonas que sufrirán los extremos en el clima (Ling, B. 2006), considerando la tendencia encontrada de una menor precipitación y los modelos determinados por (Laderach et al., 2009), el rendimiento del café puede disminuir hasta en un 40-80% durante los años secos del fenómeno el Niño (DaMatta et al., 2003),

Producción de madera en pie

Se ha estimado que la producción potencial de madera comercial de aserrío de los cafetales de América Central podría ser de $> 3,000,000 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$, Jiménez (2012), la venta de madera representa un alto porcentaje respecto a los ingresos de café dependiendo de los precios de mercado de las especies plantadas. El volumen de madera producida por la combinación SGTR-OM de $4.8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, sumado a la producción de café hace que esta combinación sea la más rentable, tomando en consideración que los árboles no han llegado aún a su máximo desarrollo (20 años).

Carbono aéreo capturado

En Jinotega, cafetales con especies arbóreas como *Ingas* sp. y *Junqlan olanchana* Standl. & L. O. Williams, almacenaron entre 5.5 y 19.9 Mg C ha⁻¹ (Medina-Benavides et al. 2010). Mientras que en Matagalpa Suárez (2002) estudió cinco tipos de cafetales con diferentes tipos de sombra que almacenaron entre 25.2 y 33.5 Mg C ha⁻¹. Pinoargote, (2014), encontró en plantaciones de café un promedio de 26.5 Mg C ha⁻¹, con diferencias significativas entre diferentes tipos de fincas, desde 8.8 Mg ha⁻¹ en fincas a pleno sol, hasta 38.6 Mg ha⁻¹ en plantaciones agroforestales. La combinación de especies maderables (SGTR) sobrepasa considerablemente el carbono almacenado en estos cafetales, solamente la combinación de especies leguminosas (SSIL) están por debajo de estas cifras, esto se debe a la estructura de la plantación (mayor número de árboles ha⁻¹, al manejo de los árboles, lo cual indica que los árboles deben de incorporarse al agro ecosistema café, pero deben de manejarse de acuerdo a sus características (forma, crecimiento, altura, tipo de copa etc.). La alta densidad favoreció el desarrollo de *Tabebuia donnell-smithii* y perjudicó el de las demás especies (Sánchez M. et al. 2010), en este estudio se mantuvo una densidad similar por cada especie y aun así hubo diferencia estadística en el carbono aéreo almacenado CM 44.11 mg ha⁻¹, p= 0.0118, OI 41.99 mg ha⁻¹, p= 0.2192, CI 39.95 mg ha⁻¹ p <0.0001, OM 39.51 mg ha⁻¹, p= 0.8179, esto indica que hubo interacciones entre el nivel de insumo con respecto al carbón almacenado. La combinación de maderables con cualquier tipo de nivel de insumo sobrepasa considerablemente todas las demás combinaciones.

Conclusiones

Algunos de los factores que determinan la productividad del café bajo diferentes niveles de insumos (convencionales y orgánicos) con niveles de fertilidad alta e intermedia, son: la precipitación (la cual está relacionada directamente proporcional a la productividad), y el tipo de sombra, son los factores que más influyen en la productividad de café. La utilización de insumos convencionales vs insumos orgánicos no mostraron diferencia estadística significativa a lo largo de 12 años, sin embargo el uso de insumos orgánicos intensivos bajan la rentabilidad neta de los sistemas donde son aplicados, debido su alto costo (sobrepasando a los insumos convencionales).

El café a pleno sol-convencional intensivo continúa siendo el de mayor productividad, seguido muy de cerca por la combinación *Samanea Saman* + *Tabebuia rosea*-orgánico intensivo, lo cual evidencia la respuesta productiva del tipo de sombra con respecto a insumos orgánicos intensivos, aunque en términos económicos los resultados son negativos debido a los altos costos de los insumos orgánicos. Los tratamientos orgánicos moderados (uso de pulpa fresca) mostraron tener un mejor ingreso neto y al combinarlos con árboles maderables aumentan el ingreso total por el precio de la madera.

El uso de árboles de sombra contribuye a las estrategias de adaptación y mitigación del cambio climático, al fijar una considerable cantidad de carbono, y especialmente en las zonas con condiciones ambientales sub-óptimas para el cultivo de café parecen ser la mejor alternativa a largo plazo.

En los sistemas agroforestales aplicados en este estudio, las especies maderables (*Tabebuia rosea* y *Simarouba glauca*), juegan un papel importante al ayudar en la estrategia de diversificar la producción, así como el aporte sustancial que representan en términos económicos a mediano y/o largo plazo U\$ 1,202.35 ha⁻¹ (U\$ 801.62, y U\$ 400.73 respectivamente), esto es un claro indicativo de maximizar los beneficios de la sombra mientras se minimiza la competencia entre los árboles y los cafetos, ya que a largo plazo el beneficio económico del café sumado a la madera, supera ampliamente al café a pleno

sol, al considerar los beneficios ecológicos y ambientales como la captura de carbono, la combinación de árboles maderables es la que presenta los mejores resultados

Es necesario realizar estudios del suelo para determinar si existen modificaciones en la cantidad y calidad de la materia orgánica, nutrientes disponibles, biodiversidad del suelo, ph, etc. que permita evaluar el efecto a largo plazo de las interacciones de los árboles con respecto a su contribución a la fertilidad, pues en este estudio no se contemplaron.

Bibliografía

- ANACAFE, (1997). Importancia de la sombra en el cafetal. *Agroforestería en las america*.4 (13):25-29
- Barradas, V.; Fanjul, L. (1986) Microclimatic Characterization of Shaded and Open-Grown Coffee (*Coffea arabica*) Plantations in Mexico. *Agricultural and Forest Meteorology*, 38, 101-112. Available in: [http://dx.doi.org/10.1016/0168-1923\(86\)90052-3](http://dx.doi.org/10.1016/0168-1923(86)90052-3)
- Beer, J. (1987). Advantage, disadvantages and desirable characteristics of shade for coffee, cacao and tea. *Agroforestry Systems*, V. 5:3-13.
- Beer, J; Muschler, R; Somarriba, E; Kass, D. (1998). Shade management in coffee and cacao plantations - a review. *Agroforestry Systems* 38:139-164
- Bosselmann, A.; Dons, K.; Oberthur, T.; Olsen, C.; Ræbild, A.; Usma, H. 2009. The influence of shade trees on coffee quality in small holder coffee agroforestry systems in Southern Colombia. *Agric. Ecosyst. Environ.* 129, 253–260.
- Borbor, M.; Boyer, E.; McDowell, W.; Hall, C. (2006) Nitrogen and phosphorus budgets for a tropical watershed impacted by agricultural land use: Guayas, Ecuador. *Biogeochemistry* 79:135–161. doi:10.1007/s10533-006-9009-7. 2016. Available in: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10533-006-9009-7>
- Brown, S.; Iverson, L.R. 1992. Biomass estimates for tropical forest. *World Res. Rev.* 4, 366–383.
- Castro, F.; Montes, E.; Raine, M. (2004). Centroamérica, la crisis cafetalera: efectos y estrategias para hacerle frente. *The World Bank - LCSES*. 84 pp.
- Chavarría, A.; Calderon, N. 2014. Crecimiento y acumulación de nutrientes por los frutos de café (*coffea arabica* L.) variedad pacas bajo combinaciones de especies de árboles de sombra y diferentes niveles de fertilización, Masatepe, Nicaragua 2012.
- Chavarría, R. Hernández, J. (2007). Biomasa y nutrientes de árboles de sombra en sistemas agroforestales con *Coffea arábica* L de 5 años, en el pacífico de Nicaragua. Tesis. Ing. Managua, NI. UNA (Universidad nacional agraria). 58 p.
- Chemura, A.; Waheed, A.; Hamid, FS.; Kutuywayo, D.; Chingwara, V. (2010). Effect of organic & inorganic fertilizer on growth, yield and economic performance of Coffee. *Pakistan J Sci Tech Dev* 29(2):11–15
- Cordero, J. Boshier, H. 2003. Árboles de centro América. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba CR. P. 219 – 922
- DaMatta, F.M., Chaves, A.R.M., Pinheiro, H.A., Ducatti, C., Loureiro, M.E., 2003. Drought tolerance of two field-grown clones of *Coffea canephora*. *Plant Sci.* 164 (1), 111–117.
- DaMatta, F. 2004. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. *Field Crops Res.* 86, 99–114 (on line). Consultado 19 Oct.2016. Available in: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429003001977>
- DaMatta, F.; Ronchi, C.P.; Maestri, M.; Barros, R. 2007. Ecophysiology of coffee growth and production. *Brazil. J. Plant Physiol.* 19, 485–510 (on line). Consultado el 19 Oct.2016. Available in: www.scielo.br/pdf/bjpp/v19n4/a14v19n4.pdf
- Donovan J; Poole N. (2014). Changing asset endowments and smallholder participation in higher value markets: Evidence from certified coffee producers in Nicaragua (on line). Consultado 04 Jul.

2016. Available in: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306919213001383>
- Duarte N. (2005). Sostenibilidad socioeconómica y ecológica de sistemas agroforestales de café (*Coffea arábica*) en la micro cuenca del Rio Sesesmiles, Copán, Honduras (en línea). Turrialba, Costa Rica. Consultado 30 jun. 2016. Disponible en: http://media0.agrofloresta.net/static/artigos/tese_nina_duarte.pdf
- Farfán, F.; Mestre, A. (2004). Fertilización del café en un sistema agroforestal en la zona cafetalera norte de Colombia. (En línea). COLB. Consultado 30 jun. 2016. Disponible en: [http://www.cenicafe.org/es/publications/arc055\(03\)232-245.pdf](http://www.cenicafe.org/es/publications/arc055(03)232-245.pdf)
- Fernandez, C.; Muschler, R. (1999) Aspectos de la sostenibilidad de los sistemas de cultivo de café en América Central. In: Bertrand B, Rapidel B (eds) Desafios de la Caficultura en Centroamérica. IICA, Costa Rica, pp 69–96
- FHIA (Fundación Hondureña de Investigación Agrícola); Unión Europea. (2004). Guía Práctica Producción de Café con Sombras de Maderables. 18 p. (en línea). Cortés, HN. Consultado 21 jul. 2016. Disponible en: http://www.fhia.org.hn/downloads/cacao_pdfs/gpcafeconsombramaderables.pdf
- Gomez,P.; Fournier,L. (1996) Fenología y ecofisiología de dos poblaciones de *Tabebuia rosea* (falso roble) en Costa Rica.
- Haggar, J.; de Melo, E.; Staver, C. (2001) Sostenibilidad y sinergismo en sistemas agroforestales con café: estudio de interacciones entre plagas, fertilidad de suelo y árboles de sombra. *Agroforestería en Las Americas*. 8(29):49–51
- Haggar, J.; Barrios, M.; Bolaños, M.; Merlo, M.; Moraga, P.; Munguía, R.; Ponce, A.; Romero, S.; Soto, G.; Taver, C.; Virgilio, E de M. (2011). Coffee agroecosystem performance under full sun, shade conventional and organic managementn regimes in Central America. *Agroforestry Systems*, Volume 82 (3): 285-301.
- InfoStat (2004). InfoStat versión (2004). Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina
- Lagos, O; Venegas, S. 2003. Impacto del aprovechamiento forestal en la biomasa y carbono de bosques naturales de Nueva Quesada, Río San Juan. Tesis Lic. Managua, NI, Universidad Centroamericana. 121 p
- Lin, B. 2006. Agroforestry management as an adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology* 144 (2007) 85–94. Available on line in: <http://www.sciencedirect.com>
- Jezeer, R.; Verweij, P. (2015). Café en sistemas Agroforestales (en línea).Chinchiná, Colombia. Consultado 28 jul. 2016. Disponible en: https://www.hivos.org/sites/default/files/cafe_en_sistemas_agroforestales_ciuv-version_espanola_de_shade_grown_coffee_report.pdf
- Jiménez, N. (2012). Producción de madera y almacenamiento de carbono en cafetales con cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) en Honduras. (en línea). Tesis MSc. Turrialba, CR. CATIE. Consultado 21 jul. 2016. Disponible en <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A9025e/A9025e.pdf>
- Laderach, P.; Lundy, M.; Jarvis, A.; Ramirez, J.; Perez, E.; & Schepp, K. (2009). Predicted impact of climate change on coffee supply chains. International Centre for Tropical Agriculture (CIAT). Technical Report. Managua, Nicaragua. 20 p.
- Lyngbaek, A. E.; Muschler, R. G.; Sinclair, F. L. (2001). Productivity an profitability of multiestrata organic versus conventional coffee farms in Costa Rica. *Agrofoewary System*, 53:205-213
- Medina-Benavides, C.; Calero-González, C.; Hurtado, H.; Vivas-Soto, E. 2010. Cuantificacióne carbono en la biomasa aerea de café (*Coffea arábica* L.) con sombra, en la comarca Palo de Sombrero, Jinotega, Nicaragua. *La Calera* 9(12): 28-34.
- Matoso, M.; Silva Santos R.; De Freitas B.; Martínez, P.; Silvana Lages Ribeiro Garcia, S.; Finger, F.

- (2004). Growth and yield of coffee plants in agroforestry and monoculture systems in Minas Gerais, Brazil. *Agroforestry Systems* 63: 75–82
- Mbow, C.; Smith, P.; Skole, D.; Duguma, L.; Bustamante, M. 2013. Achieving mitigation and adaptation to climate change through sustainable agroforestry practices in Africa. Consultado el 20 Oct. Available online at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877343513001255>
- Montagnini, F; Somarriba, E; Murgueitio, E; Fassola, H; Eibl, B. (2015). Sistema Agroforestales. Funciones Productiva, Socioeconómica y Ambiental. Serie técnica. Informe técnico 402. CATIE, Turrialba, Costa Rica. Editorial CIPAV, Cali, Colombia. Consultado 28 jun. 2016
- Morraz, S. R. Herrera, N. I. (2006). Estudio de la fertilidad y la dinámica del carbono en el suelo bajo diferentes manejos de agrónomos Universidad Nacional Agraria, Facultad de Agronomía, Departamento de producción vegetal. Managua, Nicaragua
- Muschler, R. G. (2001). Shades improves coffee quality in a sub-optimal coffee-zone of Costa Rica. . *Agroforestry Systems*, 85: 131-139.
- Nsabimana, D.; Klemmedtson, L.; Kaplin, BA.; Wallin, G. 2008. Soil carbon and nutrient accumulation under forest plantations in southern Rwanda. *Afr J Environ Sci Technol* 2008, 2:142-149.
- Padovan, P.; Cortez, J.; Navarrete, L.; Navarrete, E.; M. Barrios, M.; Vilchez, S.; Rapidel, B. (2015). CATIE, Turrialba, Costa Rica. Root distribution and water use in coffee shaded with *Tabebuia rosea* Bertol. and *Simarouba glauca* DC. compared to full sun coffee in sub-optimal environmental conditions. Document revisado en línea; *Agroforest Syst* link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10457-015-9820-z.pdf
- Pinoargote, M. 2014. Almacenamiento de carbono y beneficios familiares obtenidos de cafetales en fincas de pequeños productores de Nicaragua, Tesis de maestría. CATIE. 47 p
- Rojas, F; Canessa, R; Ramírez, J. (2005). Cafetales arbolados. en línea). *Revista forestal Kurú* 2(4):1-6 Consultado 5 ago. 2016. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5123358.pdf>.
- Sánchez, M.; López V.; Hernández, E. 2010. Crecimiento inicial de una plantación mixta de especies tropicales en Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. [Fecha de consulta: 17 de noviembre de 2016] Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63438955006>> ISSN 2007-1132
- SCAN (Sustainable Commodity Assistance Network, GT; ANACAFÉ (Asociación del Café, GT); Asociación Crecer, GT; Fair Trade USA, FEDECOCAGUA, R.L. (Federación de Cooperativas Agrícolas de Productores de Guatemala R.L.); FAIR TRADE International, Proyecto del Banco Centroamericano de Integración Económico; Rainforest Alliance, US; UTZ Certified, NL. McDonald's USA; McDonald's Canada; Solidaridad Network; (2015). La regulación de la sombra: Una alternativa para hacer el cafetal sostenible. (en línea). Guatemala. Consultado 5 ago. 2016. Disponible en <http://scanprogram.org/wp-content/uploads/2012/08/BPA-2.-Regulacion-de-la-sombra-20150914-web.pdf>
- Segura, M.; Kanninen, M.; Suárez, D. 2006. Allometric models for estimating aboveground biomass of shade trees and coffee bushes grown together. *Agroforestry Systems*. 68, 143–150.
- Siles, P. (2007). Hidrological processes (water use and balance in a (Coffee arabica L.) monoculture and coffee plantation shaded by *Inga densiflora* in Costa Rica. . Nancy.: Nancy Université. France.
- Somarriba, E.; Beer, J.; Muschler, R. (2000) Problemas y soluciones metodológicas en la investigación agroforestal con café y cacao en CATIE. *Agroforestería en las Américas* 7(25):27-32.
- Somarriba, E. (2003). Estimación visual de la sombra en cacaotales y cafetales. *Agroforestería en las Américas* 9(30):35-36.
- Somarriba, E.; Cerda, R.; Orozco, L.; Cifuentes, M.; Dávila, H.; Espin, T.; Mavisoy, H.; Ávila G.; Alvarado, E.; Poveda, V.; Astorga, C.; Say, E.; Deheuvels, O. 2013. Carbon stocks and cocoa yields in agroforestry systems of Central America. *Agriculture, Ecosystems and Environment* (173): 46– 57.

- Teasdale, J.R, and Mohler, C.L. (2000). The quantitative relationship between weed emergence and the physical properties of mulch. *Weed Science*, 48: 385 - 392.
- Van der Vossen, H. (2005) A critical analysis of the agronomic and economic sustainability of organic coffee production. *Exp Agric* 41:449–473. Consultado el 19 Oct. 2016, Available in: <http://link.springer.com/article/10.1007/s40093-014-0059-x>
- Villavicencio L; Valdez J. (2003). Analysis of tree structure in the traditional coffee agroforestry system in san Miguel, Veracruz, México (on line). *Agrociencia* 37(4):414. Consulted 05 Jul. 2016. Available in: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30237410>
- USDA Department of agriculture, Servicio de Conservación de Recursos Naturales Área del Caribe, manejo de cafetales bajo sombra. Hoja informativa, nov 2012.
- Wang,N.; Jassogne, L.; Van Astenb.; D. Mukasa D.; I. Wanyama, I.; Kagezi, G.; Giller, K.E. 2015. Evaluating coffee yield gaps and important biotic, abiotic, and management factors limiting coffee production in Uganda. *European Journal of Agronomy* 63: 1–11.Consultado el 19 Oct.2016. Available in: www.researchgate.net/publication/268526481