

Evaluación del impacto en la productividad de cultivos de café y cacao con sistemas agroforestales en los departamentos de Amazonas y San Martín, Perú

Wagner Guzmán Castillo^a, Carlos Enrique Orihuela^b, Felipe Vásquez-Lavín^c
& Luis Alberto Arévalo López^d

RESUMEN: No existe claridad sobre el impacto en la productividad de diversos cultivos agrícolas con Sistemas Agroforestales (SAF). El presente estudio tuvo como objetivo cuantificar el cambio en la productividad de los cultivos de café y cacao en fincas con y sin SAF en la Amazonia Peruana. Para ello, empleamos la metodología del emparejamiento de puntaje de propensión. Los resultados muestran un incremento de la productividad para cultivos con cacao, pero una disminución en cultivos con café. Concluimos que amerita generar información y estudios para proponer SAF compatibles con mejoras en productividad a través de acciones conjuntas entre actores.

Evaluation of the impact on the productivity of coffee and cocoa crops with agroforestry systems in the departments of Amazonas and San Martín, Perú

ABSTRACT: There is no clarity about the impact on the productivity of various agricultural crops with Agroforestry Systems (SAF). The study aimed to quantify the change in the productivity of coffee and cocoa crops on farms with and without agroforestry systems in the Peruvian Amazon. To do this, we use the propensity score matching methodology. The results show an increase in productivity for crops with cocoa, but a decrease in crops with coffee. We conclude that it is worth generating information and studies to propose SAF compatible with improvements in productivity through joint actions between actors.

PALABRAS CLAVE / KEYWORDS: Amazonia peruana, emparejamiento de puntaje de propensión, cacao, café, sistemas agroforestales / Peruvian amazon, propensity score matching, cocoa, coffee, agroforestry systems.

Clasificación JEL / JEL classification: Q01, Q13, Q18.

DOI: <https://doi.org/10.7201/earn.2024.01.05>

^a Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento, Perú. wguzman@sunass.gob.pe

^b Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú. corihuela@lamolina.edu.pe

^c Universidad del Desarrollo, Chile. fvlavin@gmail.com

^d Universidad Nacional Autónoma de Alto Amazonas, Perú. larevalo@unaaa.edu.pe

Agradecimientos: Los autores agradecen el financiamiento de Círculos de Investigación en Ciencia y Tecnología: Convocatoria 2015-II (MINEDU)–FONDECYT. Proyecto: “Valorizando la biodiversidad en el Perú”.

Citar como: Guzmán, W., Orihuela, C.E., Vásquez-Lavín, F. & Arévalo, L.A. (2024). “Evaluación del impacto en la productividad de cultivos de café y cacao con sistemas agroforestales en los departamentos de Amazonas y San Martín, Perú”. *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 24(1), 99-125. <https://doi.org/10.7201/earn.2024.01.05>

Dirigir correspondencia a: Wagner Guzmán Castillo. E-mail: wguzman@sunass.gob.pe

Recibido en febrero de 2023. Aceptado en febrero de 2024.

1. Introducción

En el año 2020, el café se ubicó dentro de los cinco productos más importantes de las agroexportaciones peruanas y, a nivel mundial, Perú fue el segundo productor de café orgánico (MINAGRI, 2021). Ese mismo año, la producción de cacao peruano en grano y cacao orgánico se ubicó en el noveno y segundo lugar a nivel mundial, respectivamente (López *et al.*, 2020). Más aún, Perú es considerado uno de los principales productores y proveedores de cacao fino y centro de origen al registrar 7 de los 11 clúster genéticos de cacao ubicados en América Latina (Gómez-García & Vignati, 2016). Esto resalta la importancia de ambos productos a nivel local y mundial.

La agroforestería se concibe como la integración intencional de vegetación leñosa, de árboles y arbustos, con cultivos y/o ganado de manera simultánea o secuencial en una unidad de manejo de tierra, lo cual se denomina Sistema Agroforestal (SAF). Los SAF se clasifican en secuenciales y simultáneos (Atangana *et al.*, 2014). Los primeros presentan cultivos anuales y plantaciones de árboles, mientras que los segundos consisten en la integración simultánea y continua de cultivos anuales o perennes, árboles maderables, frutales o de uso múltiple y/o ganadería. La promoción de los SAF se ha extendido cada vez más en las últimas décadas. A nivel mundial, el 48 % de la producción de café y el 31 % del cacao se cultivan bajo SAF (Somarriba & López-Sampson, 2018). En la selva peruana, la producción de café y cacao emplea 530.000 de las 2,2 millones de hectáreas de superficie agrícola (Andina, 2016).

Los SAF juegan un rol muy importante en la mejora de ingresos, reducción de riesgos, seguridad alimentaria y conservación de la biodiversidad (Kumar & Nair, 2011; Snelder & Lasco, 2008). Las investigaciones que han evaluado el impacto en la productividad en SAF ofrecen resultados difusos (Cuadro 1), lo cual limita y conlleva a cuestionar la amplia promoción y difusión de los SAF por parte de diversos organismos e instituciones, los mismos que claman la urgente necesidad de disminuir las brechas de conocimiento sobre los factores y sus interrelaciones asociados a la causalidad del impacto en la productividad de los SAF ante la gran variedad de resultados (Miller *et al.*, 2019; Castle *et al.*, 2021).

En la amazonia peruana, extensas áreas de cultivos de café y cacao usan los SAF bajo diversas estructuras o arreglos, muchas de ellas promovidas en otras latitudes, formando parte de estrategias para fortalecer la conservación de suelos y la biodiversidad, así como una alternativa para la sustitución del cultivo ilegal de coca (Jezeer *et al.*, 2018). Los avances logrados sobre cuáles serían las estructuras idóneas de SAF indican que una serie de factores ameritan evaluarse en detalle, por ejemplo, la falta de investigación básica y un enfoque adecuado de las relaciones biofísicas y socioeconómicas sobre los SAF en ambos cultivos (Riofrío *et al.*, 2015). Más aún, la evidencia rigurosa del impacto en la productividad, servicios ecosistémicos y bienestar humano en las tierras con SAF sigue siendo extremadamente limitada (Miller *et al.*, 2019).

CUADRO 1

Estudios recientes de evaluación de impacto en la productividad en SAF

Referencia	Técnica empleada	Objetivo	Conclusiones
Jena & Grote (2022)	PSM	Evaluar si existen beneficios de la certificación en café (Etiopía, India y Nicaragua)	En Etiopía se evidencia desventaja en rendimiento y precio mientras que en la India y Nicaragua mejoraron los ingresos netos.
Castle <i>et al.</i> (2021)*	Métodos cuasi experimentales (sobresale PSM). 11 estudios en 9 países.	Revisar los impactos de SAF en la productividad agrícola, los servicios ecosistémicos y el bienestar humano	Existen impactos positivos en los rendimientos e ingresos, pero el diseño de SAF depende de las características biofísicas y socioeconómicas locales
Li <i>et al.</i> (2021)	Modelo Logit y PSM	Encontrar determinantes de adopción de agricultura verde y eficiencia técnica para el caso de arroz en China.	Se evidencia baja eficiencia técnica en producción para pequeños agricultores debido a condicionantes de adopción.
Olagunju <i>et al.</i> (2021)	Frontera de producción estocástica y PSM	Evaluar el impacto en productores de maíz miembros de cooperativa considerando la eficiencia técnica (Nigeria).	Ser miembro conlleva a un uso eficiente de los recursos lo que hace a los socios ser más productivos.
Bello <i>et al.</i> (2021)	PSM	Examinar el impacto en productividad de variedades mejoradas de arroz (Nigeria)	Agricultores que adoptaron variedades mejoradas de arroz incrementaron su productividad
Dompreh <i>et al.</i> (2020)	PSM	Evaluar comportamiento de rendimiento de cacao y palma aceitera en fincas certificadas en Ghana	Se evidencia un incremento en el rendimiento para el caso de Palma aceitera y una disminución en cacao.
Miller <i>et al.</i> (2019)*	Métodos Cuasi experimentales (sobresale PSM). 396 estudios (2000-2017)	Identificar las evidencias y brechas del impacto de la agro-silvicultura en la productividad, entre otros.	La evidencia rigurosa sobre el impacto de SAF en tierras de los agricultores sigue siendo extremadamente limitada debido a resultados ambiguos.

* Estudios de brechas sobre impacto de sistemas agroforestales basados en evidencias en muchos países.

Fuente: Elaboración propia

Los elementos y la conformación del SAF es uno de los aspectos que más se aborda, en especial, la sombra de los árboles, lo cual juega un rol muy importante en la productividad de los cultivos de café y/o cacao. El impacto de sombra puede reducir los daños causados por plagas y enfermedades para ambos cultivos (Ratnadass *et al.*, 2012), aunque también se han reportado efectos negativos sobre el crecimiento y rendimiento de café (Avelino *et al.*, 2020; Durand-Bessart *et al.*, 2020; Hagggar *et al.*, 2011) y cacao (Beer *et al.*, 1998). En la misma línea, y en relación con el efecto de la sombra y su relación con la productividad en el cafetal, Soto-Pinto *et al.* (2000) observaron mejores rendimientos con cobertura de sombra entre 30 y 45 %. Porcentajes menores de sombra y mayores a este rango redujeron el rendimiento, lo

cual es coherente con los determinados por Durand-Bessart *et al.* (2020), quienes indican que un porcentaje de sombra excesivo tiene un efecto negativo indirecto en el crecimiento y rendimiento del café debido a la mayor prevalencia de enfermedades foliares, concluyendo que, la cobertura de sombra óptima, puede ayudar a reducir las enfermedades foliares y mejorar la producción de granos de café.

De otro lado, la cantidad de árboles en los SAF depende de muchos factores tales como la variedad, especies, y finalidad del cultivo (por ejemplo, árboles para fines de generar sombra o cercas vivas), así como su ubicación, entre otros. Por ello, la cantidad de árboles no sólo es relevante, sino que varía entre 70 y 100 árboles ha⁻¹ en una densidad de 5.000 cafetales ha⁻¹ (Arcila *et al.*, 2007).

De la revisión de literatura se desprende que, la productividad en los SAF dependería de diversos factores relacionados con la conformación de los diversos arreglos en los SAF, ello conllevó a plantear los siguientes objetivos: cuantificar los cambios en la productividad en los cultivos de café y cacao en fincas con y sin SAF e identificar los elementos que estarían asociados a tales cambios.

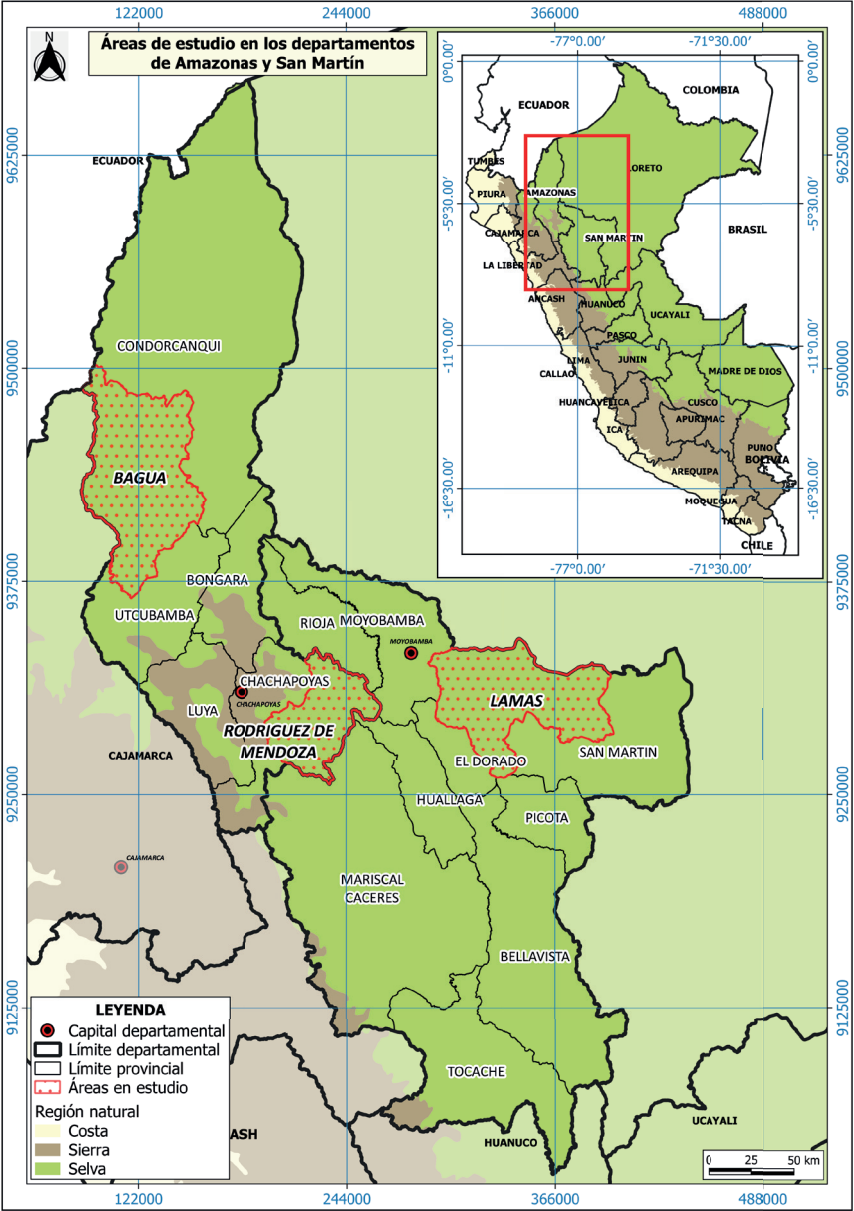
Considerando la relevancia de estos cultivos en la amazonia peruana, se optó por elegir dos departamentos de esta región que ocupan los primeros lugares en la producción de café y cacao a nivel nacional. Planteamos como hipótesis que, el cambio en la productividad de los cultivos café y cacao en fincas con o sin SAF, está relacionada en cómo se establecen o configuran los arreglos en los sistemas, siendo la ubicación y densidad de plantas y árboles, los elementos que estarían incidiendo mayormente en dicho cambio.

1.1. Áreas de estudio

En la amazonia peruana se han expandido los cultivos de cacao y café debido, entre otras causales, a las adecuadas condiciones ambientales. Las áreas de estudio corresponden a las provincias de Bagua y Rodríguez de Mendoza (ambas en el departamento de Amazonas) y Lamas (departamento de San Martín), elegidas por ser las principales localidades donde se siembra dichos cultivos en el nor-orienté de Perú (Mapa 1). Los departamentos de Amazonas y San Martín concentran el 38 y 36 % de la superficie a nivel nacional destinada para café y cacao, respectivamente. Ambos cultivos involucran más de 105.000 familias, muchas de ellas pertenecientes a comunidades indígenas (ANALPES, 2021).

Para el año 2019, el departamento de San Martín presentó los mejores rendimientos a nivel nacional con 0,97 y 0,93 T ha⁻¹ para café y cacao respectivamente. Menores rendimientos de ambos cultivos se observaron en el departamento de Amazonas (0,74 T ha⁻¹ y 0,82 T ha⁻¹ para café y cacao, respectivamente) (MINAGRI, 2021).

MAPA 1
Áreas de estudio por departamento



Fuente: Elaboración propia.

La estructura o arreglos en la finca o chacra tanto para la producción de café o cacao en ambos departamentos puede ser caracterizada a partir de diversos enfoques. Jezeer & Verweij (2015) para el caso de SAF con café en San Martín, identifican 4 sistemas distintos que se caracterizan por el número de árboles por hectárea, el cierre de dosel y la altura máxima de los árboles.

A su vez, los agricultores con café y cacao con SAF pueden agruparse en aquellos que forman parte de una cooperativa/asociación y aquellos que no. Los primeros se afilian voluntariamente mediante un pago inicial y otro anual, lo cual les permite generar valor agregado, exportar sus productos, pudiendo acceder a algunos servicios (capacitaciones, pasantías, etc.) o recibir insumos (abonos, plántones, etc.), entre otros. Los segundos tienen la libertad de ofrecer sus productos a intermediarios locales o a cooperativas/asociaciones, pero suelen obtener bajos precios y no reciben incentivos (capacitaciones, participar proyectos o programas de reforestación u otros).

Las organizaciones asociadas en torno a cacao y a través de APPCACAO, presentan una producción equivalente al 9 % de la producción nacional (APPCACAO, 2020), mientras que de manera similar y para el caso del café, la producción nacional de asociados representa el 20 % (MINAGRI, 2019). En el presente estudio, 36 % de productores de cacao indicaron ser asociados y en lo que respecta a café, el 45 %.

2. Metodología

Se empleó la técnica del Propensity Score Matching (PSM), al ser una de las técnicas cuasi experimentales más rigurosas empleadas en los estudios sobre impacto en la productividad en la agricultura bajo prácticas agroforestales (Miller *et al.*, 2019), lo cual se corrobora en Cuadro 1.

2.1. Propensity Score Matching

Considerando un SAF según lo indicado por Atangana *et al.* (2014) y haciendo uso del modelo de resultado potencial de Roy-Rubin (Roy, 1951; Rubin, 1974), se establece que, el impacto individual en la productividad de cultivos con café o cacao en los departamentos de San Martín y Amazonas se puede describir como:

$$\tau_i = Y_i(1) - Y_i(0) \quad [1]$$

Donde τ_i es el impacto individual en la productividad del café o cacao por presencia de SAF, $Y_i(1)$ es la productividad de café o cacao con SAF, y $Y_i(0)$ refleja la productividad del café o cacao sin SAF. Ante ello, existe la posibilidad de que, al estar frente a un productor de café o cacao, este cuente o no con SAF, es decir que, tanto $Y_i(1)$ como

$Y_i(0)$ sean o no sean observadas, lo cual sugiere que no sería posible obtener el valor del impacto individual. Por ello, se recurre a determinar el impacto promedio (τ_{ATT}) de un subgrupo de los productores de café o cacao *con* SAF (denominados tratados) el cual se define en términos de expectativas como:

$$\tau_{ATT} = E(\tau_i | D_i = 1) = E[Y_i(1) | D_i=1] - E[Y_i(0) | D_i=1] \quad [2]$$

En este caso, $E[\cdot|D]$ refiere a un operador de expectativas condicional. Es decir, para la expresión, $E[Y_i(1) | D_i=1]$ es el valor esperado de la productividad en el grupo de tratamiento en presencia del programa o tratamiento (productores de café o cacao con SAF), y $E[Y_i(0) | D_i=1]$, es un contrafactual, ya que refiere al valor esperado de la productividad de resultado en el grupo de tratamiento en ausencia del programa o no tratados o también llamado grupo de control (productores de café o cacao sin SAF).

Como no es posible observar ambos resultados al mismo tiempo, el modelo considera el Supuesto de Independencia Condicional (CIA), es decir que $E[Y_i(0) | D_i=1]$, que no es observable o contrafactual, sea reemplazado por $E[Y_i(0) | D_i=0]$, el cual, sí es observable. Por tanto:

$$E[Y_i(0) | D_i=0] \text{ es igual a } E[Y_i(0) | D_i=1]$$

Esta relación permite resolver, bajo dichos supuestos, la ecuación [2], la cual implica que si se conoce un set de variables observables tanto para productores de café o cacao con y sin SAF (en este estudio: características de la propiedad, área de finca, vías de acceso, producción de cacao o café), y si estas variables observables conforman un vector X , el PSM establece que:

$$p(X) = p(D=1|X) \quad [3]$$

La expresión [3] indica que, cada individuo del grupo de tratamiento puede emparejarse con aquel del grupo de control que tiene una probabilidad cercana de participar en el programa. Tanto el ATT (Average impact of Treatment on the Treated) y el ATE (Average Treatment Effect), son los indicadores que más se usan al aplicar el PSM.

En síntesis, la metodología permite obtener para cultivos de café y cacao (producto de la diferencia en la productividad en fincas con y sin SAF), el impacto en la productividad al disponer del SAF, que se expresa a través de indicadores de impacto promedio o a nivel de las localidades objeto de estudio (ATT), y como el efecto promedio agregado o a nivel departamental (ATE).

Considerando lo indicado, se determinó el score de propensión empleando variables biofísicas y sociales observables para las localidades incluidas en el estudio. Luego, y sobre la base del CIA, se obtuvieron los respectivos contrafactuales o grupo de control. El emparejamiento evita el sesgo muestral permitiendo definir el soporte común o grupo de tratados y sus correspondientes en el grupo de control (Becker & Ichino, 2002). Este conjunto de procedimientos permite encontrar una alternativa al no efectuar un proceso de aleatoriedad, uno de los motivos por el cual el PSM es una de las técnicas cuasiexperimentales que con mayor frecuencia se emplea.

2.2. Muestra y muestreo

El tamaño de muestra se obtuvo a partir del número de unidades agropecuarias (UA) identificadas en el Censo Agropecuario (INEI, 2013). Una UA equivale a la propiedad de un productor agropecuario. Se requirió de un análisis individual y global por departamento por lo cual se utilizó un muestreo aleatorio estratificado (Pérez, 1999), obteniéndose un tamaño de muestra igual a 257 UA. Para la distribución de la muestra por departamentos, se realizó una distribución proporcional según el tamaño de cada uno de los estratos considerados (Cuadro 2).

CUADRO 2

Distribución de la muestra según ubicación y cultivo

Departamento	Provincia	Cultivo	Número de Productores		Sub total de productores
			Cacao	Café	
San Martín	Lamas	Cacao	31	–	31
		Café	–	67	67
Amazonas	Mendoza Bagua	Café	–	82	82
		Cacao	77	–	77
	Parcial		108	149	257
	Total		120*	149	269

* Se aplicaron 12 encuestas adicionales a productores de cacao de la provincia de Lamas (San Martín).

Fuente: Elaboración propia.

El muestreo aplicado para elección de los productores fue no probabilístico en la medida que incluyó productores con y sin SAF, asociados o no a cooperativas de café y cacao, en distritos de la Provincia de Lamas (San Martín) como de la Provincia de Rodríguez de Mendoza y Bagua (Amazonas).

Es muy importante indicar que para selección de las fincas se consideró a un SAF según la clasificación ya señalada (secuenciales o simultáneos) dentro de una UA seleccionada al azar y sobre la base de información proporcionada por las cooperativas

de los departamentos bajo estudio. Las encuestas fueron aplicadas a jefes de hogar en la finca durante los meses de marzo y setiembre del año 2017. La estructura y preguntas de las 269 encuestas aplicadas de manera definitiva se validaron sobre la base de encuestas piloto ejecutadas en el último trimestre del año 2016.

3. Resultados

Se presentan los resultados de impacto en la productividad en el SAF con cacao y café para cada uno de los departamentos, según las características más relevantes de las variables que forman parte de los modelos probabilísticos relacionados a los scores de propensión (Cuadro 3).

CUADRO 3

Características de variables en modelos de score de propensión

Variable	Descripción	Tipo	Valor	Observación
sinosaf	Presenta o no sistema agroforestal*	cualitativa	0,1	1 = presenta; 0 = no presenta
sinoorga	Pertenece o no a asociación *	cualitativa	0,1	1 = pertenece; 0 = no pertenece
tipocacao	Tipo de cacao	cualitativa	0,1	1 = cacao criollo; 0 = otro
areacacao	Área de cultivo de cacao	cuantitativa	número	Hectáreas (ha)
precio	Precio en chacra de cacao	cuantitativa	numero	Soles (PEN)
progsocial	Pertenece o no a un programa social	cualitativa	0,1	1 = pertenece; 0 = no pertenece
numhijos	Número de hijos de jefe de familia	cuantitativa	número	Cantidad de hijos de jefe familia
aporta	Aporta monto anual de afiliación*	cualitativa	0,1	1 = Aporta; 0 = No aporta
edadsaf	Edad del sistema agroforestal*	cuantitativa	número	Cantidad en años del SAF

* Variables comunes en modelos de ambos cultivos

Fuente: Elaboración propia.

3.1. Características de los cultivos de cacao y café

El valor promedio de productividad para cultivo de cacao encontrado, fue menor que promedio nacional, a diferencia de productividad encontrada en café (Cuadro 4), corroborando la tendencia señalada por MINAGRI (2021). Sin embargo, y como sucede en el contexto del ámbito rural en Perú, existe una gran variabilidad de los datos que conlleva tener elevadas desviaciones estándar, tal como se aprecia entorno a los valores de áreas a nivel de finca como de áreas con cultivo de café y cacao.

Los valores entorno al promedio de cantidad de plantas de cacao y café por hectárea son similares a lo sugerido según literatura (Arcila *et al.*, 2007; INIA, 2019; Orozco-

Aguilar *et al.*, 2021; Maroto *et al.*, 2017; MINAG, 2003). Sin embargo, para el caso de árboles ha^{-1} , los valores encontrados en cultivos de café presentaron una mayor variabilidad respecto a cacao, y por tanto, valores máximos más elevados respecto a la cantidad sugerida de árboles ha^{-1} (Farfán, 2019).

En promedio, los valores encontrados para la edad de los SAF en cultivos de cacao fueron mayores que los que presentaron cultivos con café, no obstante, a nivel de las características de los agricultores, los que presentaron cultivos de café con SAF y que se identificaron como socios de una organización fue 60 % y 45 % respectivamente, mientras que, en el mismo orden, para agricultores con cultivos de cacao, fue de 48 y 36 %.

CUADRO 4

Principales características en los cultivos de cacao y café

Cultivo	Variables	Unidad	Media	Max.	(+ -) SD	Min.	N
Cacao	Área de finca	ha	3,9	27,00	3,62	0,25	120
	Área de SAF	ha	1,4	9,00	1,22	0,25	120
	Productividad	kg ha^{-1}	624	2.150	468	5	120
	Plantas	Plantas ha^{-1}	1.331	3.333	1.448	156	120
	Árboles maderables	Árboles ha^{-1}	127	473	81	33	61
	Edad de SAF	Años	9	30	4,37	1	120
	Agricultor socio	Socio	43	—	—	—	120
	Agricultores con SAF	Agricultor	58	—	—	—	120
	Densidad	M	3x3	4x4	3,60	2x2	120
	Altura	msnm	335	570	96	250	120
Café	Área de finca	ha	6,73	200	18,39	0,25	149
	Área de SAF	ha	1,84	7	1,31	0,25	149
	Productividad	kg ha^{-1}	746	2.600	503	67	149
	Plantas	Plantas ha^{-1}	3.541	10.000	1.277	500	149
	Árboles maderables	Árboles ha^{-1}	92	503	143	55	87
	Edad de SAF	Años	6,48	20	4,24	3,00	149
	Agricultor socio	Socio	67	—	—	—	149
	Agricultores con SAF	Agricultor	90	—	—	—	149
	Densidad	m	3x2	3x3	3,25	2x1	149
	Altura	msnm	1.301	1.788	273,5	625	149

SD: desviación estándar; SAF: sistema agroforestal

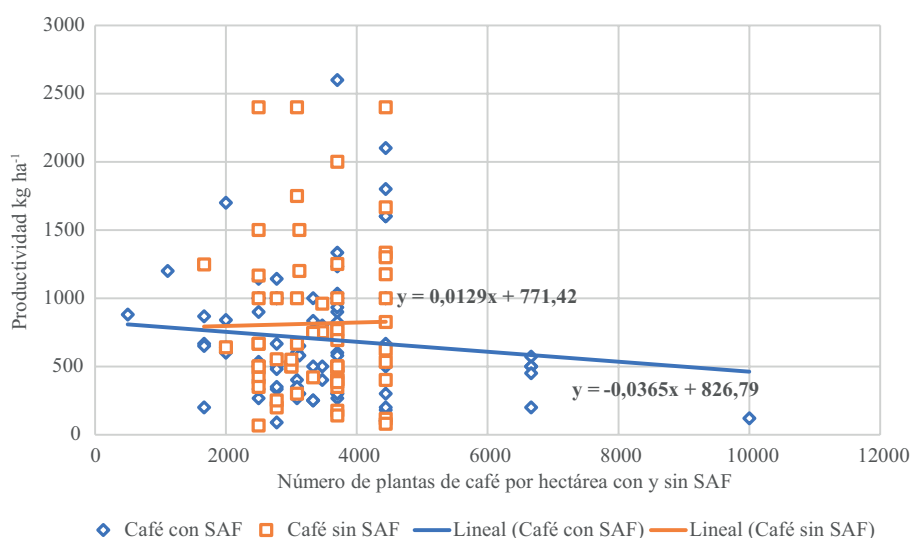
Fuente: Elaboración propia

3.1.1. Productividad y densidad de plantas de café y cacao con y sin SAF

Para cultivos de café con SAF, se encontró que la productividad presentó una tendencia decreciente en relación al número de plantas de café ha^{-1} (Gráfico 1). Particularmente, se encontró un promedio de 3.541 plantas ha^{-1} siendo 70 agricultores (47 %) los que superaron este promedio. Diversos factores inciden en la densidad de los cafetales bajo sombra, en Perú el promedio es de 2.000 plantas ha^{-1} (INIA, 2019), cifra 43 % menor a lo encontrado. Por otro lado, para cultivos de café sin SAF, la densidad de plantas fue también mayor a dicho promedio (3.376 plantas ha^{-1}) sin embargo, la tendencia de la productividad fue creciente.

GRÁFICO 1

Relación productividad y plantas de café por hectárea con y sin SAF

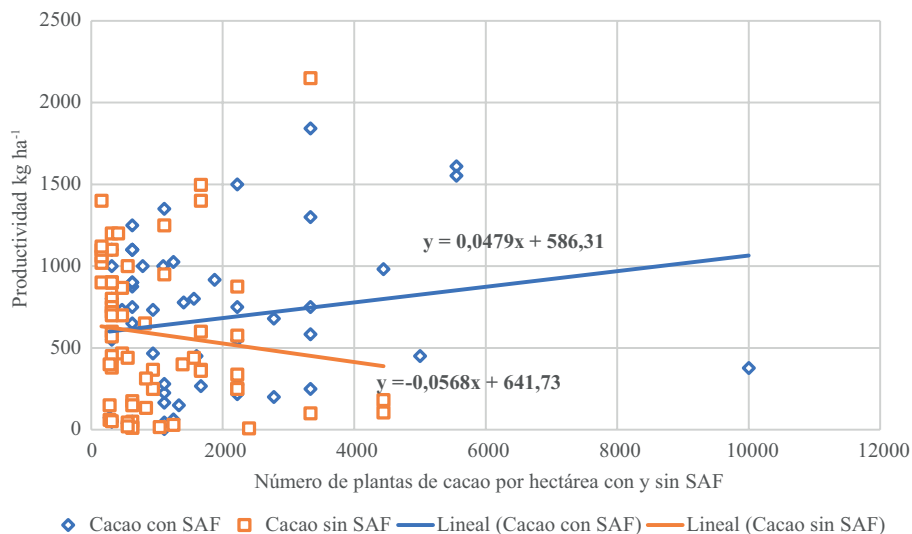


Fuente: Elaboración propia.

Contrariamente, para el cultivo de cacao con SAF, se encontró una tendencia positiva en la productividad respecto a la densidad de plantas tal como lo indica la literatura para Latinoamérica (1.111 plantas ha^{-1}) (Maroto *et al.*, 2017), que correspondió al 67 % (80) de fincas evaluadas y mayor en 11 % que el promedio en densidad para el caso de cultivo de cacao sin SAF cuya tendencia en la productividad fue negativa (Gráfico 2).

GRÁFICO 2

Relación productividad y plantas de cacao por hectárea con y sin SAF



Fuente: Elaboración propia.

3.1.2. Productividad y árboles maderables en café con y sin SAF

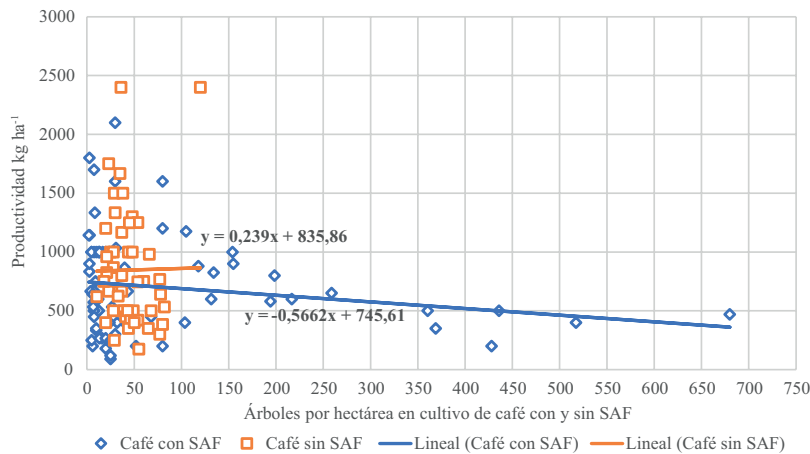
En cultivo de café con SAF, la relación entre el número de árboles colocados en las fincas con la productividad (Gráfico 3), muestra una relación indirecta lo cual evidencia que la cantidad de árboles y con ello el efecto de la sombra estaría afectando, en general, la productividad en fincas¹. Considerando lo indicado por Farfán (2019), la cantidad promedio encontrada (81 árboles ha⁻¹), supera en más del 15 % lo recomendado (70 árboles ha⁻¹), situación diferente a lo hallado en cultivos de café sin SAF, donde la tendencia fue positiva con una cantidad promedio de 52 árboles ha⁻¹.

En Gráfico 4 se aprecia una relación directa entre densidad de árboles y la productividad para cultivo de cacao, debiendo destacarse el mayor tiempo en producción de cacao, el cual puede llegar hasta los 30 años (MINAG, 2003). La productividad de cacao encontrada fue similar a la indicada por Jezeer *et al.* (2018), sin embargo, esta (129 árboles ha⁻¹), resultó mayor a la señalada por Orozco-Aguilar *et al.* (2021), quienes mencionan que debe situarse entre 60 y 120 árboles ha⁻¹. Para fincas de cacao sin SAF la cantidad promedio de árboles ha⁻¹ fue mayor (168).

¹ Árboles con fines de reforestación se encontraron en parcelas de agricultores que indicaron pertenecer a cooperativa o asociación (variable *sinoorg*).

GRÁFICO 3

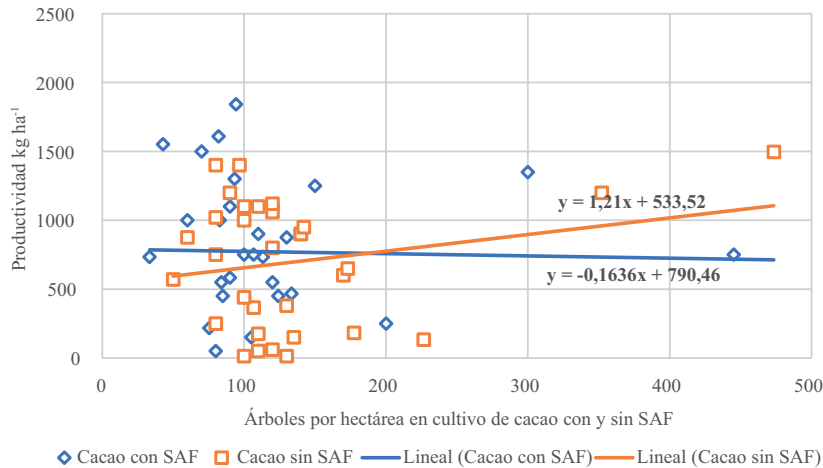
Relación productividad y árboles en cultivo de café con y sin SAF



Fuente: elaboración propia.

GRÁFICO 4

Relación productividad y árboles en cultivo de cacao con y sin SAF



Fuente: Elaboración propia.

3.2. Score de propensión, identificación y análisis de soporte común

3.2.1. Score de Propensión

El modelo utilizado fue un modelo probabilístico probit con variable dependiente presencia (1) o ausencia (0) del SAF en el cultivo de cacao o café (*sinosaf*). Inicialmente, se incluyeron todas las variables observables y relacionadas a la intervención con SAF (Caliendo & Kopeinig, 2008), y como resultado, la variable productividad (Cuadro 5).

CUADRO 5

Modelos para score de propensión en SAF con cacao y café

Cultivo	Variables		Estadísticos			
	Dependiente	Independiente	Coef.	Std. Err.	z	P > z
Cacao	<i>sinosaf</i> : Presencia (o ausencia) de SAF	<i>sinocoop</i>	-2,26	0,61	-3,71	0,000***
		<i>tipocacao</i>	-1,57	0,51	-3,08	0,002***
		<i>areacacao</i>	0,78	0,20	3,97	0,000***
		<i>precio</i>	0,22	0,08	2,64	0,008**
		<i>progsocial</i>	0,48	0,28	1,72	0,085*
		<i>numhijos</i>	-0,25	0,13	-1,89	0,058*
		<i>_cons</i>	0,03	0,60	0,05	0,960
		<i>sinocoop</i>	-0,73	0,23	-3,23	0,001***
Café		<i>aporta</i>	0,91	0,26	3,43	0,001***
		<i>edadsaf</i>	0,06	0,03	2,04	0,042*
		<i>_cons</i>	0,00	0,23	0,00	0,996

* p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001

Fuente: Elaboración propia.

Para el caso de modelo de cacao, este incluyó 3 variables cuantitativas: área de cultivo de cacao (*areacacao*); precio de venta en finca (*precio*) y números de hijos (*numhijos*). Adicionalmente, incluyó 3 variables dicotómicas referidas a: pertenece (1) o no (0) a una cooperativa u asociación de productores de cacao o café (*sinocoop*); tipo de cacao (*tipocacao*) que diferencia con 1 si la finca disponía de cacao criollo y 0 si no, y la variable *progsocial*, que indica si los productores son beneficiarios (1) o no (0) en algún programa social del gobierno². De manera similar, para el caso de cultivos con café, el modelo encontrado presenta como variables independientes,

² Los programas sociales indicados, corresponden a diferentes programas dentro del Ministerio de Desarrollo e Inclusión Social, MIDIS, los cuales proveen incentivos monetarios o no monetarios hacia hogares calificados, entre otros aspectos, como pobres o pobres extremos.

sinocoop; *aporta*, que refiere a si el entrevistado aporta (1) o no (0) un monto anual por afiliación en caso pertenezca a cooperativa u asociación y finalmente, y la edad del sistema agroforestal que es una variable cuantitativa (*edadsaf*).

Los resultados del balance del score de propensión de modelos se logró a través de la conformación de 5 bloques y se corroboró el cumplimiento de las propiedades de equilibrio (Becker & Ichino, 2002).

3.2.2. Identificación y análisis de soporte común.

Los Gráficos 5 y 6 muestran el soporte común con tratados y no tratados, siendo 97 % (116) y 92 % (137) para cacao y café, respectivamente, así como aquellos que quedaron fuera (color gris plomo). Se aprecia una alta presencia del total de observaciones como parte de los modelos de score de propensión encontrados y que se detallan luego en Cuadro 6.

GRÁFICO 5

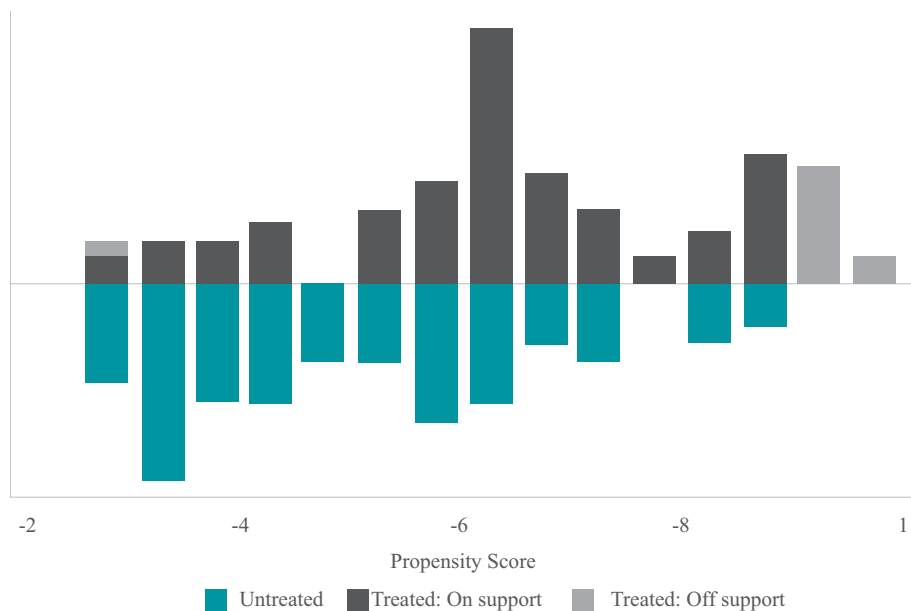
Soporte común en cultivo cacao



Fuente: Elaboración propia. Gráficos realizados con software STATA 15.

GRÁFICO 6

Soporte común en cultivo café



Fuente: Elaboración propia. Gráficos realizados con software STATA 15.

Para efectos de conocer si existían diferencias significativas en las medias de principales variables antes y después de ser emparejadas, se efectuó el análisis respectivo tal como se muestra líneas abajo (Cuadro 6), no encontrándose diferencias significativas entre las medias para el caso de café previo al emparejamiento. Lo contrario ocurrió para el caso de las variables de control en productividad (*producafe*) y árboles por hectárea (*arbxhaxfe*) con emparejamiento. Para el caso de cultivo cacao, los resultados de este análisis de igualdad de medias para todas las variables indicadas (con SAF y Tratado) fueron significativas y con y sin emparejamiento.

En contexto, según lugares por departamento, el emparejamiento entre fincas, como se aprecia en Mapas 2 y 3, se presentó dentro de cada provincia según departamento tanto para cultivo de café como cacao. Lo indicado, refleja las similitudes de variables observables (físicas y socioeconómicas principalmente) entre cultivos de fincas dentro de cada departamento y acorde con características territoriales existentes.

CUADRO 6

Resultados de análisis de igualdad de medias

Cultivo	Variable	Unidad de medida	Media y valor t (sin emparejamiento)			Media y valor t (con emparejamiento)		
			con SAF	sin SAF	T	Tratado	Control	t
Café	areacafe	Ha	1,83	1,87	-0,21	1,72	1,70	0,23
	producafe	kg ha ⁻¹	701	815	-1,35	671	1.095	-4,52
	plantasxhaxfe	unidad	3.435	3.703	-1.26	3.442	3.54	-0,47
	arbxhaxfe	unidad	72	76	-0,20	81	52	2,65
Cacao	areacacao	Ha	1,72	1,07	2,98	1,33	1,81	-2,03
	producacao	kg ha ⁻¹	667	584	2,77	608	400	2,27
	plantasxhaxcao	unidad	1.675	1.009	2,58	1.182	1.923	-2,68
	arbxhaxcao	unidad	118	135	-2,02	129	168	-2,58

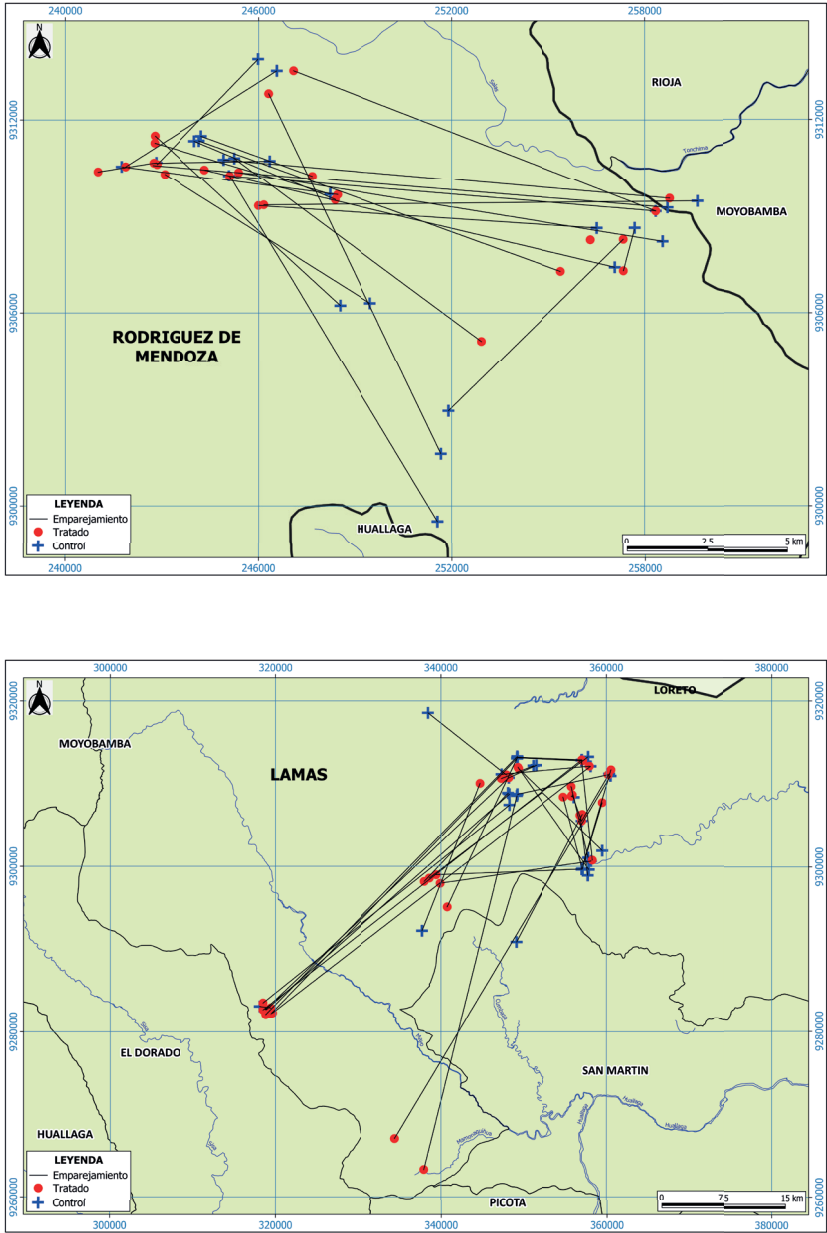
Fuente: Elaboración propia.

3.3.3. Indicadores de impacto: ATT y ATE

En Cuadro 7 se presentan los resultados de los indicadores de ATT como de ATE empleando PSM. Respecto al primero, se aprecia que el valor promedio del impacto en la productividad sobre los tratados (productores con SAF en cultivos de cacao en San Martín y Amazonas) es 271 kg ha⁻¹, lo cual equivale al 43 % de la productividad promedio por finca o chacra. De manera similar, el indicador ATE o valor promedio del impacto sobre toda la población (productores con SAF en cacao en San Martín y Amazonas) muestra que los SAF inciden en la productividad en 197 kg ha⁻¹ lo cual equivale al 32 % de la productividad promedio por finca o chacra.

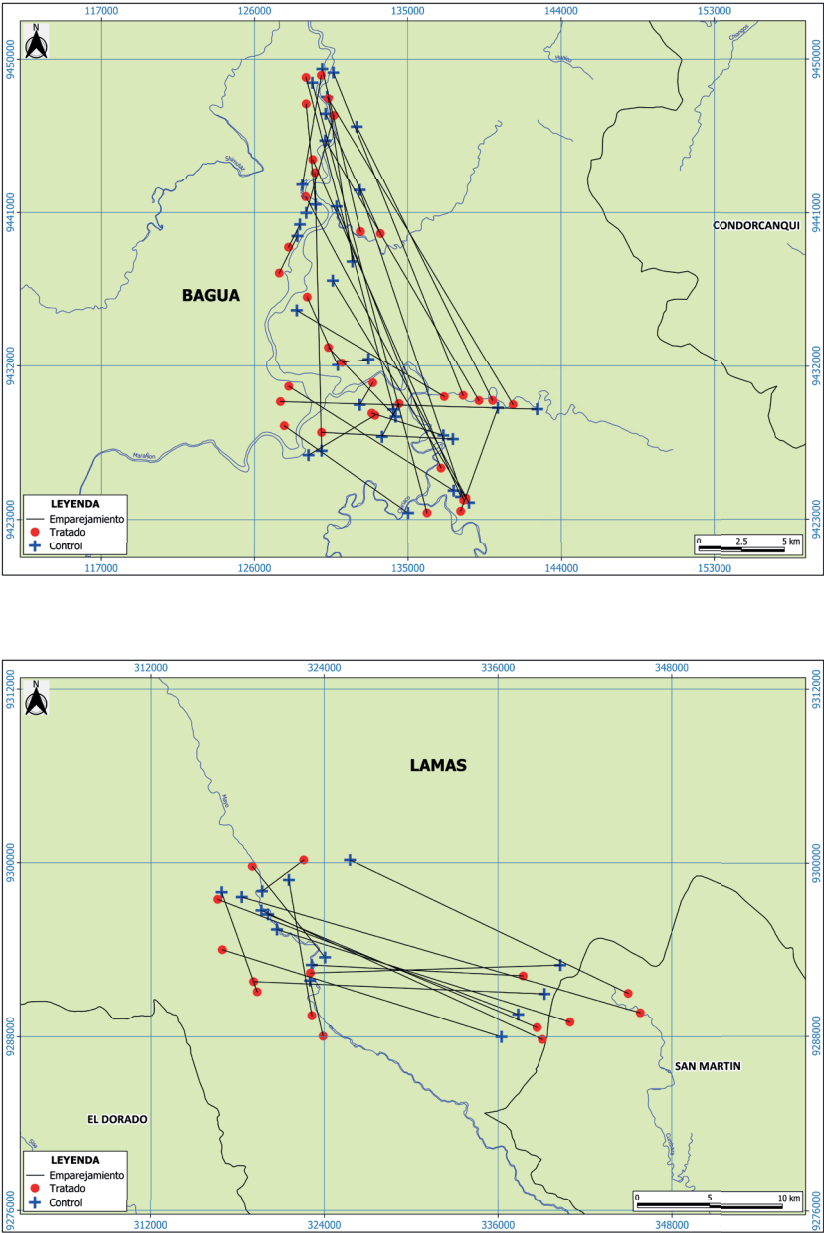
Para el SAF con café y respecto al indicador de ATT, se muestra que el valor promedio del impacto sobre los tratados (productores con SAF en cultivos de café en San Martín y Amazonas) es negativo e igual a 392 kg ha⁻¹ lo cual equivale al 53 % de la productividad promedio por finca. El ATE o valor promedio del impacto sobre toda la población (productores con SAF en cultivos de café en San Martín y Amazonas) muestra que las fincas con SAF inciden en la productividad negativamente en 297 kg ha⁻¹ lo cual equivale al 39 % de la productividad promedio por finca.

MAPA 2
Emparejamiento de cultivos de café



Fuente: Elaboración propia.

MAPA 3
Emparejamiento de cultivos de cacao



Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 7

Resultados de ATT y ATE

Cultivo	Indicador	Coef.	Std. Err.	Z	P > z
Cacao	ATT	271,23	117,07	2,07	0,038*
	ATE	196,95	90,45	1,99	0,047*
Café	ATT	-391,49	159,22	-2,46	0,014*
	ATE	-296,71	123,90	-2,39	0,017*

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Análisis de sensibilidad

Considerando la posibilidad de la presencia de variables no observadas que estuviesen correlacionadas conjuntamente y podrían sesgar los efectos del tratamiento estimado, se procedió a calcular el Límite de Rosenbaum (Γ), el cual mide qué tan grande tendría que ser la diferencia en las variables no observadas, que afectan la decisión de participación, de modo tal que la estimación del ATT sea insignificante (Chiputwa *et al.*, 2015). Un Γ cercano a uno indica menos sensibilidad y lo contrario mayor insensibilidad en la estimación del ATT. Para su cálculo se emplearon variables independientes que podrían incidir en la productividad de los SAF con café y cacao. En Cuadro 8 se listan variables empleadas para el test observándose resultados que muestran un rango de Γ para café, entre 1,3 y 1,7, explicando que agricultores con cultivos de café emparejados con las mismas covariables observadas tendrían que diferir en términos de *número de capacitaciones* por un factor de 1,3 (30 %), para invalidar la inferencia de un efecto significativo del tratamiento.

De manera similar, agricultores con café emparejados tendrían que diferir en un 70 % en *ingreso*, para invalidar un efecto significativo. Para el caso de cacao, resultan significativas las mismas variables (y que no forman parte de las variables independientes del modelo determinado), es decir, los factores para invalidar se encuentran entre 2,2 (120 %) y 2,6 (160 %). En general, los valores Γ reflejan la insensibilidad para con el estimado de ATT siendo mayor para el caso de cacao y menor para café. Explícitamente, la variable *número de capacitaciones* es la más sensible en incidir en la variable resultado o productividad en café.

CUADRO 8
Análisis de sensibilidad

Variable	Cultivo	ATT	Std. Err.	t	Γ
<i>Ingreso</i>	Café	-0,957*	0,37	-2,589	1,7
	Cacao	0,224**	0,075	3,00	2,6
<i>Participa en Programa Social</i>	Café	0,066	0,138	0,478	1,3
	Cacao	-0,069	0,125	-0,551	1,1
<i>Número de capacitaciones</i>	Café	1,494*	0,64	2,338	1,3
	Cacao	0,810***	0,24	3,326	2,2
<i>Número de hijos</i>	Café	0,147	0,44	0,333	1,3
	Cacao	-0,103	0,32	-0,319	1,2

*p < 0,1 ; **p < 0,01; ***p < 0,001

Fuente: Elaboración propia.

4. Discusión

Si bien el PSM se desarrolló y usó inicialmente para la estimación de los efectos del tratamiento con tamaños de muestra grandes (Rosenbaum & Rubin, 1983), autores como Chiputwa *et al.* (2015) indican que cuando el tamaño de la muestra es pequeño, el procedimiento de emparejamiento puede conducir posiblemente a resultados sesgados. En nuestro caso, las cantidades de observaciones emparejadas en café y cacao, así como de la aplicación de análisis de sensibilidad aplicando límites de Rosenbaum determinamos muestran robustez y en general insensibilidad respectivamente. Pirracchio *et al.* (2012), usaron simulaciones para demostrar que el PSM puede producir estimaciones confiables también con muestras pequeñas cuando el modelo de propensión se especifica correctamente y demostraron que el sesgo relativo permanece por debajo del 10 % incluso cuando se reduce el tamaño de la muestra a 40 observaciones.

Cabe indicar el rol que juega la promoción y la implementación de los SAF en café y cacao ya que, diversas estructuras de SAF fueron encontradas y con ello, por ejemplo, sustantivas diferencias en cantidad de árboles maderables por hectárea en las fincas. Este aspecto es muy relevante y está estrechamente relacionado con uno de los retos de la reforestación, cual es la optimización de compensaciones (intensificación de agricultura de cultivo y reducción de sombra y riqueza de especies) (Somarriba & López-Sampson, 2018) y que incide en la productividad.

Amerita señalar la constante promoción que organizaciones de café y cacao realizan para instalar árboles maderables dentro de los SAF. Como ejemplo, el 36 % de los agricultores con café presentaban SAF y eran socios de una organización, a diferencia de los agricultores con cacao, la cantidad fue mucho menor (18 %). Ello estaría relacionado con el impacto negativo en la productividad para el caso de cultivos con café donde, adicional a la gran variabilidad de árboles maderables en las fincas, se agrega una elevada cantidad de plantas ha^{-1} como se aprecia en Cuadro 4, lo cual habría incrementado la competencia entre especies en los SAF, en detrimento de un adecuado manejo de nutrientes que habría afectado finalmente a la productividad.

5. Conclusiones

Según contexto y las características en fincas objeto de estudio, el impacto promedio en la productividad (ATT) para cultivos de cacao con SAF fue positivo, permitiendo un incremento en 43 %, a diferencia de lo sucedido en cultivos de café con SAF, donde el impacto fue negativo generando una disminución en la productividad de 53 %.

Los resultados de impacto a nivel general (ATE) para los departamentos de San Martín y Amazonas, mostraron un incremento en 32 %, en la productividad de cacao con SAF. Sin embargo, para caso de café con SAF, este disminuyó en aproximadamente 39 %.

Para el caso de los SAF con cacao, el incremento de la productividad estaría asociado al efecto resultante del número de plantas ha^{-1} instaladas y cantidad de árboles ha^{-1} revelando la importancia e incidencia conjunta de los componentes en los arreglos de los SAF establecidos. Por otro lado, la disminución de la productividad en los SAF con café estaría asociada a la alta cantidad de árboles ha^{-1} instalados que conllevó a competencia con número de plantas ha^{-1} , contribuyendo a generar el impacto negativo obtenido.

La conformación del emparejamiento de fincas para cada cultivo muestra que los pares encontrados corresponden a sus similares dentro de cada provincia y según departamento, reflejando la importancia de considerar las características del territorio (variables físicas y socioeconómicas) según fincas seleccionadas.

Los resultados de este estudio evidencian que, no todos los SAF contribuyen necesariamente a mejorar la productividad en un cultivo determinado. Esta mejora dependerá de cada caso particular. Por ello y como parte de las agendas de investigación, amerita ampliar los conocimientos de los beneficios que generan los SAF, siendo importante que todos los involucrados como la academia, institutos, cooperativas y productores trabajen de manera conjunta a fin de generar información y estudios que sustenten y validen los SAF con café y cacao, fortaleciendo de esta manera las labores para su promoción y difusión en la amazonia peruana.

Referencias

- ANALPES. (2021). *Demanda potencial de café y cacao cero deforestación de futuras CUSAF en San Martín, Amazonas y Loreto*. Obtenido de: AgroFor. https://www.agrofor.info/wp-content/uploads/2021/09/2021set_AgroFor_Estudio-demanda-cafe-y-cacao-cero-deforestacion-San-Martin-Lroeto-Amazonas.pdf
- Andina. (2016). *Producción de café y cacao son fuente de ingreso de 300,000 familias*. Obtenido de: Andina, agencia peruana de noticias. <https://andina.pe/agencia/noticia-produccion-cafe-y-cacao-son-fuente-ingreso-300000-familias-613400.aspx>
- APPCACAO. (2020). *Plan estratégico 2020-2030*. Obtenido de: Asociación Peruana de Productores de Cacao. <https://www.cooperacionsuiza.pe/wp-content/uploads/2021/06/Plan-Estrategico-2020-2030-APPCACAO-3.pdf>
- Arcila, P.J., Farfan, V.F., Moreno, B.A.M., Salazar, G.L.F. & Hincapié, G.E. (2007). *Sistemas de producción de café en Colombia*. Obtenido de: Centro Nacional de Investigaciones de Café – Cenicafé. <http://hdl.handle.net/10778/720>
- Atangana, A., Khasa, D., Chang, S. & Degrande, A. (2014). “Definitions and classification of agroforestry systems”. En Atangana, A., Khasa, D., Chang, S. & Degrande, A.: *Tropical Agroforestry* (pp. 35-47). Dordrecht, Países Bajos: Springer Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7723-1_3
- Avelino, J., Vílchez, S., Segura-Escobar, M.B., Brenes-Loaiza, M.A., Virginio Filho, E.M. & Casanoves, F. (2020). “Shade tree *Chloroleucon eurycyclum* promotes coffee leaf rust by reducing uredospore wash-off by rain”. *Crop Protection*, 129, 105038. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.105038>
- Becker, S.O. & Ichino, A. (2002). “Estimation of average treatment effects based on propensity scores”. *The Stata Journal*, 2(4), 358-377. <https://doi.org/10.1177/1536867X0200200403>
- Beer, J., Muschler, R., Kass, D. & Somarriba, E. (1998). “Shade management in coffee and cacao plantations”. *Agroforestry Systems*, 38, 139-164. <https://doi.org/10.1023/A:1005956528316>
- Bello, L.O., Baiyegunhi, L.J.S. & Danso-Abbeam, G. (2021). “Productivity impact of improved rice varieties’ adoption: Case of smallholder rice farmers in Nigeria”. *Economics of Innovation and New Technology*, 30(7), 750-766. <https://doi.org/10.1080/10438599.2020.1776488>

- Caliendo, M. & Kopeinig, S. (2008). "Some practical guidance for the implementation of propensity score matching". *Journal of economic surveys*, 22(1), 31-72. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6419.2007.00527.x>
- Castle, S.E., Miller, D.C., Ordonez, P.J., Baylis, K. & Hughes, K. (2021). "The impacts of agroforestry interventions on agricultural productivity, ecosystem services, and human well-being in low- and middle-income countries: A systematic review". *Campbell Systematic Reviews*, 17(2), e1167. <https://doi.org/10.1002/cl2.1167>
- Chiputwa, B., Spielman, D.J. & Qaim, M. (2015). "Food Standards, Certification, and Poverty among Coffee Farmers in Uganda". *World Development*, 66, 400-412. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2014.09.006>
- Dompereh, E.B., Asare, R. & Gasparatos A. (2020). "Do voluntary certification standards improve yields and wellbeing? Evidence from oil palm and cocoa smallholders in Ghana". *International Journal of Agricultural Sustainability*, 19(1), 16-39. <https://doi.org/10.1080/14735903.2020.1807893>
- Durand-Bessart, C., Tixier, P., Quinteros, A., Andreotti, F., Rapidel, B., Tauvel, C. & Allinne, C. (2020). "Analysis of interactions amongst shade trees, coffee foliar diseases and coffee yield in multistrata agroforestry systems". *Crop Protection*, 133, 105137. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105137>
- Farfán, F. (2019). *Descripción de la estructura del dosel arbóreo al interior de un Sistema agroforestal con café. Avance Técnico 501*. Obtenido de: Centro Nacional de Investigaciones de Café – Cenicafé. <http://hdl.handle.net/10778/1102>
- Gómez-García, R. & Vignati, F. (2016). *Iniciativa latinoamericana del Cacao*. Obtenido de: Banco de Desarrollo de América Latina y El Caribe (CAF). <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/892>
- Haggar, J., Barrios, M., Bolaños, M., Merlo, M., Moraga, P., Munguia, R., Ponce, A., Romero, S., Soto, G., Staver C. & Virginio E.M.F. (2011). "Coffee agroecosystem performance under full sun, shade, conventional and organic management regimes in Central America". *Agroforestry Systems*, 82, 285-301. <https://doi.org/10.1007/s10457-011-9392-5>
- INEI. (2013). *Resultados definitivos. IV Censo Nacional Agropecuario 2012*. Obtenido de: Instituto Nacional de Estadística e Informática. Ministerio de Agricultura y Riego de Perú. <https://proyectos.inei.gob.pe/web/DocumentosPublicos/ResultadosFinalesIVCENAGRO.pdf>

- INIA. (2019). *Sistematización de la experiencia de los subproyectos de café*. Obtenido de: Instituto Nacional de Innovación Agraria. Ministerio de Agricultura y Riego de Perú. <http://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/1368>
- Jena, P.R. & Grote, U. (2022). “Do certification schemes enhance coffee yields and household income? Lessons learned across Continents”. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 716904. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.716904>
- Jezeer, R.E. & Verweij, P.A. (2015). *Shade grown coffee - double dividend for biodiversity and small-scale coffee farmers in Peru*. Obtenido de: Utrecht University Repository. <https://dspace.library.uu.nl/handle/1874/327843>
- Jezeer, R.E., Santos, M.J., Boot, R., Junginger & Verweij P.A. (2018). “Effects of shade and input management on economic performance of small-scale Peruvian coffee systems”. *Agricultural Systems*, 162, 179-190. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.01.014>
- Kumar, B.M. & Nair, P.K.R. (Eds.) (2011). *Carbon sequestration potential of agroforestry systems: Opportunities and challenges*. New York, USA: Springer Science & Business Media.
- Li, C., Shi, Y., Ullah Khan S. & Zhao, M. (2021). “Research on the impact of agricultural green production on farmers’ technical efficiency: Evidence from China”. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 38535-38551. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13417-4>
- López, Y.M., Cunias, M.Y. & Carrasco, Y.L. (2020). “El cacao peruano y su impacto en la economía nacional”. *Universidad y Sociedad*, 12(3), 344-352.
- Miller, D.C., Ordoñez, P.J., Brown, S.E., Forrest, S., Nava, N.J., Hughes, K. & Baylis, K. (2019). “The impacts of agroforestry on agricultural productivity, ecosystem services, and human well-being in low-and middle-income countries: An evidence and gap map”. *Campbell Systematic Reviews*, 16(1), e1066. <https://doi.org/10.1002/cl2.1066>
- Maroto, S., Montoya Rodríguez, P., González León, D., Delgado, T. & Arvelo Sánchez, M.A. (2017). *Manual Técnico del Cultivo de Cacao. Prácticas Latinoamericanas*. Obtenido de: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). <https://repositorio.iica.int/handle/11324/6181>
- MINAGRI. (2019). *Decreto Supremo que aprueba el Plan Nacional de Acción del Café Peruano 2019-2030. N° 010-2019-MINAGRI*. Obtenido de: Ministerio de Agricultura y Riego de Perú. <https://www.gob.pe/institucion/minagri/normas-legales/395336-010-2019-minagri>

- MINAGRI. (2021). *Observatorio de Commodities. Cacao. Enero-Marzo 2021. Boletín de Publicación Trimestral N° 01-2021*. Obtenido de: Dirección General de Políticas Agrarias. Dirección de Estudios Económicos. Ministerio de Agricultura y Riego de Perú. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2009611/Commodities%20Cacao%3A%20ene-mar%202021.pdf>
- MINAG. (2003). *Manual de cultivo de cacao*. Obtenido de: Programa para el Desarrollo de la Amazonia Peruana, PROAMAZONIA. Ministerio de Agricultura de Perú. <https://es.scribd.com/doc/36759998/Manual-de-Cultivo-de-Cacao#>
- Olagunju, K.O., Ogunniyi, A.I., Oyetunde Usman, Z., Omotayo, A.O. & Awotide, B.A. (2021). "Does agricultural cooperative membership impact technical efficiency of maize production in Nigeria: An analysis correcting for biases from observed and unobserved attributes". *PLoS ONE*, 16(1), e0245426. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0245426>
- Orozco-Aguilar, L., López-Sampson, A., Leandro-Muñoz, M., Robiglio, V., Reyes, M., Bordeaux, M., Sepúlveda, N. & Somarriba, E. (2021). "Elucidating pathways and discourses linking cocoa cultivation to deforestation, reforestation, and tree cover change in Nicaragua and Peru". *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 635779. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.635779>
- Pérez, C. (1999). *Técnicas de muestreo estadístico: Teoría, práctica y aplicaciones informáticas*. Madrid, España: RA-MA Editores.
- Pirracchio, R., Resche-Rigon, M. & Chevret, S. (2012). "Evaluation of the propensity score methods for estimating marginal odds ratios in case of small sample size". *BMC Medical Research Methodology*, 12, 70. <https://doi.org/10.1186/1471-2288-12-70>
- Ratnadass, A., Fernandes, P., Avelino, J. & Habib, R. (2012). "Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: A review". *Agronomy for Sustainable Development*, 32, 273-303. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0022-4>
- Riofrío, J., Herrero, J., Grijalva, J. & Bravo, F. (2015). "Aboveground tree additive biomass models in Ecuadorian highland agroforestry systems". *Biomass and Bioenergy*, 80, 252-259. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.05.026>
- Rosenbaum, P.R. & Rubin, D.B. (1983). "The central role of the Propensity Score in Observational Studies for Causal Effects". *Biometrika*, 70(1), 41-55. <https://doi.org/10.2307/2335942>
- Roy, A. (1951). "Some thoughts on the distribution earnings". *Oxford Economic Papers*, 3(2), 135-146. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.oep.a041827>

-
- Rubin, D. (1974). "Estimating casual effects for treatments randomised and nonrandomised studies". *Journal of Educational Psichology*, 66(5), 688-701. <https://doi.org/10.1037/h0037350>
- Snelder, D.J. & Lasco, R.D. (Eds.) (2008). *Smallholder tree growing for rural development and environmental service: Lessons from Asia. Advances in Agroforestry*. Dordrecht, Países Bajos, Springer Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8261-0>
- Somarriba, E. & López-Sampson, A. (2018). *Coffee and cocoa agroforestry systems: Pathways to deforestation, reforestation, and tree cover change*. Obtenido de: <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/9035>
- Soto-Pinto, L., Perfecto, I., Castillo-Hernandez, J. & Caballero-Nieto, J. (2000). "Shade effect on coffee production at the northern Tzeltal zone of the state of Chiapas, Mexico". *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 80(1-2), 61-69. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(00\)00134-1](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(00)00134-1)