

Adopción de prácticas de agricultura sostenible adaptadas al clima: estudio de caso en Honduras¹

Verónica Marcelina Tax-Sapón²

vmtax.570@gmail.com

Calle Real, Aldea Santa Rita, Salcajá
Quetzaltenango, Guatemala

Arie Sanders

asanders@zamorano.edu

Decano Asociado de Posgrado

Maestría en Agricultura Tropical Sostenible

Universidad Zamorano, Honduras

Jorge Cárcamo

jcarcamo03@gmail.com

Profesor invitado

Maestría en Agricultura Tropical Sostenible

Universidad Zamorano, Honduras

Resumen. Los sistemas agroalimentarios de los agricultores que se ubican en la región Trifinio de Centroamérica son vulnerables a los efectos del cambio y la variabilidad climática. Para mejorar su capacidad adaptativa, el programa de Investigación en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria (CCAFS, siglas en inglés) promovió múltiples prácticas de agricultura sostenible adaptadas al clima (ASAC) en el 2019. Es así como este estudio analizó los factores que determinan la probabilidad y el nivel de adopción de estas prácticas. Se utilizó datos de 116 hogares del territorio (TeSAC) Santa Rita, Copán, Honduras. Se aplicó un modelo probit multivariante para identificar la decisión de adopción múltiple y un modelo probit ordenado para evaluar los factores que determinan la intensidad de adopción. Los resultados indican que, de las ocho prácticas difundidas, los huertos orgánicos-diversificados, el manejo de sombra de café, la cosecha de agua lluvia y la variedad mejorada de frijol fueron las preferidas. Los factores que inciden positivamente en la adopción son el nivel de educación, el acceso a crédito, la participación en el programa CCAFS y la percepción del impacto del clima. Por el contrario, el género del jefe y el tamaño del hogar influyen de forma negativa. La intensificación de la adopción está determinada por el género, el tamaño del hogar y la participación al programa CCAFS. Concluimos que, si bien la adopción múltiple contribuye a la adaptación, es necesario desarrollar las condiciones institucionales y políticas que faciliten el acceso, aplicación y funcionamiento de estas prácticas.

Palabras clave: Cambio climático, modelo probit multivariante, TeSAC Santa Rita

Adoption of sustainable agricultural practices adapted to climate: case study in Honduras

Abstract. The agri-food systems of farmers located in the Trifinio region are vulnerable to the effects of climate change and variability. To improve its adaptive capacity, the research program on Climate Change, Agriculture and Food Security promoted multiple Climate-Smart Agriculture (CSA) in 2019. Therefore, this study analyzed the factors that determine the probability and level of adoption of these practices. Data from 116 households in the Climate-Smart Village Data from 116 households in the Santa Rita Climate-Smart Village, Honduras was used. A multivariate probit model was applied to identify the multiple adoption decision and an ordered probit model was applied to evaluate the factors that determine the intensity of adoption. As a result of this analysis, eight widespread practices such as diversified organic orchards, coffee shade management, rainwater harvesting, and improved bean variety were the preferred ones. The factors that positively affect adoption are the level of education, access to credit, participation in the CCAFS program and climate impact perception. On the contrary, the gender of the head and the size of the household have a negative influence. Intensification of adoption is determined by gender, household size, and participation in the CCAFS program. We conclude that, although multiple adoption contributes to adaptation, it is necessary to develop the institutional and political conditions that facilitate the access, application and operation of the practices mentioned above.

Keywords: Climate change, multivariate probit model, TeSAC Santa Rita.

¹ Trabajo parcial de V.M Tax-Sapón para optar el título de Maestría en Ciencias en Agricultura Tropical Sostenible, Universidad Zamorano, Honduras.

² Autor para correspondencia.

Introducción

El cambio y la variabilidad climática están afectando los sistemas productivos de los pequeños agricultores en Centroamérica. Esto debido a que la agricultura es altamente sensible a pequeños cambios del clima (Mehar et al. 2016). Por lo tanto, variaciones en la temperatura, la precipitación y la frecuencia e intensidad de los patrones de los eventos extremos generan impactos directos en la productividad agrícola (Maharjan y Joshi 2013). Afectando la estabilidad de la producción y la generación de ingreso agrícola, provocando mayores niveles de inseguridad alimentaria (FAO 2010). Debido a que los cambios no solo afectarán la disponibilidad sino también la calidad y la asequibilidad de los alimentos (Teklewold et al. 2019).

En la región, el riesgo es alto para las poblaciones que se ubican en el “corredor seco” debido al clima y a largos períodos de sequía (Hidalgo et al. 2019). Este fenómeno se presenta de forma cíclica y está asociado al fenómeno del Niño Oscilación del Sur y afecta en mayor medida a los agricultores que dependen de la lluvia para producir (van der Zee Arias et al. 2012). Además, los cambios en los patrones de distribución de las lluvias provocan daños a los cultivos debido a su alta intensidad y ocurrencia (Kuhl 2020). Afectando a cultivos claves para la seguridad alimentaria (maíz y frijol) y cultivos comerciales como el café, el cual es clave en la economía del país (van der Zee Arias et al. 2012; Hannah et al. 2017).

Asimismo, los altos niveles de pobreza de la población y la inadecuada gestión de los recursos naturales generan una alta vulnerabilidad y aumentan el riesgo a la variabilidad y el cambio climático (Magrin et al. 2014; Mercado y Padilla et al. 2015). Es así como la desigualdad económica, se convierte en desigualdad en el acceso a servicios básicos, a educación y a oportunidades de producción, lo cual reduce la capacidad adaptativa de los agricultores al cambio climático (Magrin et al. 2014; Orellana Peña 2019). En particular, grupos vulnerables como las mujeres agricultoras debido a la poca inclusión de sus vulnerabilidades en el diseño, implementación y ejecución de programas agrícolas (Acosta et al. 2019).

Por tal motivo, desarrollar e implementar acciones que reduzcan la vulnerabilidad y aumente la capacidad adaptativa de estas poblaciones es crucial para reducir los efectos negativos del cambio y variabilidad climática (van der Zee Arias et al. 2012; Magrin et al. 2014). Es así como la Agricultura Sostenible Adaptada al Clima (ASAC) surge como una estrategia de transformación de los sistemas productivos para abordar el cambio climático y la seguridad alimentaria (FAO 2010). A través de un enfoque holístico constituido por tres pilares, la ASAC busca desarrollar sistemas productivos con menos emisiones, adaptados a la variabilidad climática y aumentar la productividad y seguridad alimentaria (FAO 2013). Esto mediante el desarrollo de condiciones técnicas, políticas y de inversión, evaluado y aplicado a diferentes escalas de intervención (FAO 2013; Lipper et al. 2014; Bell et al. 2018).

Es así como a nivel técnico, la transferencia y adopción de tecnologías forma parte de las estrategias del enfoque ASAC. A nivel de finca, se ha promovido una serie de prácticas agrícolas que integran el manejo de cultivos y ganadería, agroforestería, , uso y manejo del agua, control de plagas y enfermedades, manejo del suelo y la fertilidad y manejo de los recursos genéticos (FAO 2010). Asimismo, el uso de prácticas innovadoras como la mejora de la previsión meteorológica, los sistemas de alerta temprana y el seguro de riesgos climáticos (Murray et al. 2016); las cuales son aplicadas en pequeños territorios pilotos denominados Territorios Sostenibles Adaptados al Clima (TeSAC) (Aggarwal et al. 2018). En estos territorios se busca probar las mejores opciones tecnológicas e institucionales para facilitar la adaptación y generar evidencias sobre la adopción y extraer aprendizajes que ayuden a la formulación de políticas (Lipper et al. 2014; Aggarwal et al. 2018; Programa del CGIAR en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria CCAFS 2019).

En el año 2014 el Programa de Investigación en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria (CCAFS, siglas en inglés) con el apoyo de socios locales inicio los estudios base para el establecimiento de los TeSAC en la región Trifinio por sus condiciones de vulnerabilidad ante el cambio climático (Aggarwal et al. 2018). En Honduras, el TeSAC se ubica en el municipio de Santa Rita, departamento de Copán, donde se han probado diferentes opciones ASAC para fortalecer la capacidad adaptativa de los agricultores ante la variabilidad y cambio climático. Para el 2019 se desarrolló el proceso de promoción y difusión simultanea de prácticas ASAC con el objetivo de generar evidencias sobre su adopción, identificar las características de quienes las adoptan y las condiciones que favorezcan

su escalamiento (Programa del CGIAR en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria CCAFS 2019).

El estudio de la adopción es fundamental para evaluar y diseñar intervenciones, así como informar la toma de decisiones sobre las nuevas propuestas de inversión (Glover et al. 2019). En términos generales, se define como un proceso sustitucional en donde las técnicas o prácticas son reemplazadas por otras mejores (Rogers 1995; Mica 2013). Es así como ante un proceso de transferencia y promoción, la decisión de los agricultores de aceptar o rechazar la tecnología suele estar condicionada por diversos factores endógenos y exógenos los cuales determinan su decisión (Mujeyi et al. 2020).

Posterior a la implementación de los TeSAC, diversos estudios se han realizado para evaluar su adopción. Pero, a 10 años del surgimiento del enfoque y a los múltiples esfuerzos de la comunidad internacional para apoyar su implementación, las tasas de adopción siguen siendo bajas (Kpadonou et al. 2017; Amadu et al. 2020). Sin embargo, estos estudios han contribuido en identificar limitaciones en la estimación y comprensión del proceso, debido a la alta diversidad de prácticas y los diferentes contextos en donde se han aplicado (Torquebiau et al. 2018), a las diversas características y necesidades individuales de los agricultores (Kuhl 2020), y a la falta de claridad conceptual sobre la gama de potenciales prácticas ASAC (Amadu et al. 2020).

Esta alta diversidad de condiciones ha llevado a buscar enfoques integrales que permitan una mejor estimación de las tasas de adopción, identificar las combinaciones de tecnologías más adoptadas y obtener una mejor comprensión sobre sus factores determinantes (Mujeyi et al. 2020). Si bien, los primeros estudios se enfocaron en el análisis de adopción individual, la promoción simultánea en los TeSAC se ha dirigido a buscar métodos que involucren un análisis de adopción múltiple. Esto debido a que las preferencias en las combinaciones de prácticas nos pueden ayudar a comprender las estrategias que utilizan los agricultores para adaptar su sistema productivo y además identificar efectos sinérgicos que mejoren el desempeño conjunto.

Por ejemplo, el estudio desarrollado por Teklewold et al. (2019), identificó que cuando el clima es cálido y las precipitaciones son variables, los agricultores prefieren una combinación de prácticas a la práctica aislada. Esto debido a que la adopción de un conjunto de prácticas puede tener un efecto de complementariedad o sustitución lo cual contribuye a mejorar los ingresos netos y reducir el riesgo de la producción en comparación con la adopción individual (Teklewold et al. 2013; Wainaina et al. 2018; Teklewold et al. 2019; Mujeyi et al. 2020). Por tal motivo, el objetivo de este estudio busca responder a las siguientes preguntas de investigación: ¿Qué prácticas ASAC son las más adoptadas?, ¿Identificar si existe relación entre la decisión de adopción múltiple? y ¿Cuáles son los factores que influyen en la adopción y la intensidad de adopción de las prácticas ASAC?

Materiales y métodos

El área de estudio lo comprenden las comunidades que integran el TESAC de Santa Rita ubicada en el municipio de Santa Rita del departamento de Copán, Honduras (Mercado et al, 2015; (Programa del CGIAR en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria CCAFS 2019) (Figura 1). El clima de la zona se caracteriza por temperaturas que varían entre los 20.5 a 25.7 °C, su altitud varía de los 550 msnm a 1,881 msnm. Entre los principales usos del suelo se encuentra las áreas con pastos y cultivos 43%, cultivo de café 27%, bosque latifoliado húmedo 10%, y bosque de coníferas denso 9%. La población estimada es de 30,682 habitantes, el 50.3% hombres y el 49.3% mujeres (Programa del CGIAR en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria CCAFS 2019). La mayor parte de la población vive en el área rural y depende económicamente de la agricultura y la ganadería. En el área rural se concentra el 85.2% de la población quienes dependen económicamente de las actividades agrícolas y ganaderas (Programa del CGIAR en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria CCAFS 2019).

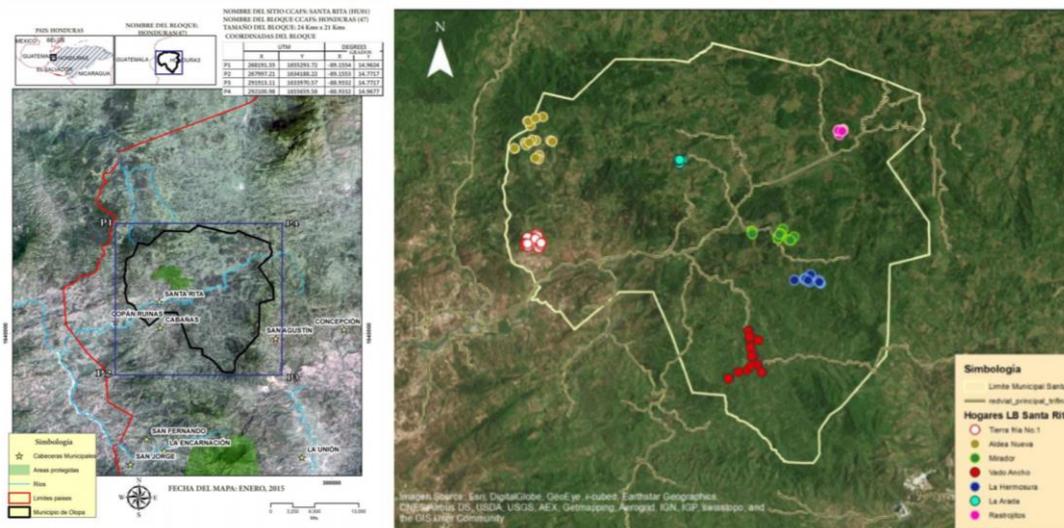


Figura 1. Mapa de localización del municipio de Santa Rita y de las comunidades que integran el TeSAC del departamento de Copán, Honduras. Mercado, Merlo Hernández y Suchini (2015).

Selección de los participantes y recolección de datos

Los datos fueron obtenidos de una encuesta a nivel hogar de 116 hogares distribuidos en las 10 comunidades que integran el TeSAC de Santa Rita. Esta se realizó como parte del Sistema Integrado de Monitoreo ASAC de los territorios sostenibles. El cual es un instrumento estandarizado flexible y aplicado a nivel global para la medición de las tres dimensiones del enfoque ASAC (Bonilla-Findji et al. 2020). Los hogares seleccionados fueron los beneficiarios directos de las prácticas ASAC en el 2019, además, de un grupo adicional (potenciales no adoptantes) que fueron incluidos en la muestra debido a la emergencia del COVID-19 (Bonilla-Findji O, Eitzinger A, Andrieu N, Bejarano G, Ortega A.V, Jarvis A 2020).

La recolección de la información se realizó entre febrero y marzo del 2020 y se utilizó la aplicación Geofarmer Smart Monitoring. Esta herramienta está asociada al Marco Integrado de Monitoreo ASAC y permite la colecta de información en tiempo casi real (Bonilla-Findji et al. 2020). En la aplicación el cuestionario se encuentra estructurado en los siguientes módulos: demografía (1A), sistema agrícola (1B), servicios financieros personales (1C), eventos climáticos (2), servicios climáticos (3), seguridad alimentaria (4) y prácticas ASAC (5) (Bonilla-Findji O, Eitzinger A, Andrieu N, Bejarano G, Ortega A.V, Jarvis A 2020).

En el 2019 fueron priorizadas, seleccionadas e implementadas ocho prácticas ASAC en el TeSAC Santa Rita. En cada hogar los agricultores tuvieron la oportunidad de implementar prácticas individuales o simultaneas de acuerdo con sus intereses y preferencias. En el Cuadro 1 se describe las características de cada práctica ASAC.

Estrategia analítica

El enfoque de los TeSAC consiste en la promoción de portafolios de prácticas ASAC para que los agricultores seleccionen las prácticas de acuerdo con sus intereses particulares (Aggarwal et al. 2018). Debido a que la decisión de adopción es una respuesta que por naturaleza es discreta requiere de modelos de elección binaria para su evaluación (Aryal et al. 2018). Es así como los primeros estudios de adopción ASAC se enfocaron en análisis independientes por práctica ignorando de esta manera la interrelación que puede surgir cuando se difunden múltiples prácticas (Deressa et al. 2009; Teklewold et al. 2013; Aryal et al. 2018).

Por lo que el uso de métodos de análisis múltiples están cobrando mayor relevancia debido a la promoción simultánea de un portafolio de prácticas que pueden o no estar relacionadas (Aggarwal et al. 2018). Dependiendo de los beneficios o barreras asociadas a la implementación de cada práctica, la adopción puede ser interdependiente, ya sea de forma complementaria (correlación positiva) o sustituta (correlación negativa) (Deressa et al. 2009; Teklewold et al. 2013; Kpadonou et al. 2017; Aryal et al. 2018; Senyolo et al. 2018). En este caso, utilizar modelos de adopción individuales por práctica puede

resultar en conclusiones sesgadas debido a que se pueden ignorar posibles correlaciones entre las diferentes ecuaciones de adopción (Dorfman 1996).

Cuadro 1. Descripción de las prácticas ASAC implementadas en el TeSAC de Santa Rita.

No.	Práctica ASAC	Descripción de la práctica
1	Huerto de hortalizas orgánico y diversificado (HO)	Siembra de diferentes hortalizas en el patio de la casa. Se busca la diversidad de cultivos y se maneja de manera orgánica. Es una práctica ASAC ya que se busca reducir la inseguridad alimentaria, la reducción de agroquímicos, la promoción de prácticas agroecológicas y la disminución de los gases de efecto invernadero.
2	Terrazas con barreras vivas con abonos orgánicos (TB)	Terrazas que extienden el área del suelo cultivable, construidas con material disponible en la finca vegetal y/o muerto. Esta práctica ayuda al mejoramiento y conservación de suelos, a la adaptación y mitigación por guardar humedad, evita la erosión causada por escorrentía y vientos fuertes. La incorporación de abonos orgánicos evita el uso de fertilizantes químicos.
3	Variedad mejorada de frijol rojo "Honduras Nutritivo" (FM)	Es una variedad biofortificada y resistente a plagas y enfermedades. Con esta medida se busca mejorar el aporte nutricional del frijol y asegurar la producción para reducir la inseguridad alimentaria. Se considera que es una práctica ASAC, ya que el requerimiento de agua es poco, se reduce el uso de plaguicidas químicos.
4	Bio-preparados insecticidas/fungicidas- (madrifol, sulfa-calcio, microorganismos de montaña, aguas mieles) (BIF)	Esta medida busca reducir los costos de producción y el uso de químicos para combatir plagas y enfermedades. Es una práctica ASAC porque se reduce significativamente el uso de plaguicidas químicos, y, por ende, se reduce la contaminación del aire y las fuentes de agua. Ayuda a la seguridad alimentaria ya que se promueve para la producción. La mayor parte de materia prima es obtenida de la finca y sus alrededores, es fácil de elaborar y no necesita un nivel académico para su elaboración.
5	Cosecha de aguas lluvias de techo (CL)	Esta medida consiste en canalizar el agua lluvia que cae en el techo de las viviendas a un recipiente o área de almacenamiento con el propósito de satisfacer las necesidades básicas de agua para uso doméstico y la irrigación de pequeñas parcelas de hortalizas. Esta práctica permite adaptarse a la época seca. La cosecha de agua procedente de techos conectada a un tanque. El agua se usa para el consumo, pero también para riego.
6	Reservorio de agua para riego (RA)	Esta medida consiste en excavar en agujero en el suelo el cual se llena con agua lluvia que después por escorrentía se utilizará para riego de pequeñas parcelas. Las medidas del reservorio dependerán del tamaño del plástico que se obtenga para su recubrimiento, en este caso $3 \times 1.5 \times 0.8$ m. Esta práctica permite adaptarse a las sequías prolongadas y asegurar parte de la producción en época seca.
7	Reservorio para producción de tilapia y riego (RT)	Esta medida consiste en excavar en agujero en el suelo el cual se llena con agua lluvia. Esta agua se utilizará para la producción de tilapia y riego de pequeñas parcelas. Medida de adaptación a sequías prolongadas, aseguramiento de parte de la producción y diversificación de alimento en época seca. Las medidas dependerán del tamaño del plástico que se obtenga para su recubrimiento.
8	Manejo de sombra en cafetales (SC)	Esta medida consiste en hacer un buen manejo de sombra en los cafetales para permitir la entrada de luz solar, mejorar la producción, diversificar los ingresos por diferentes productos obtenidos (leña, madera para postes, otros) y reducir la proliferación de plagas y enfermedades. Bien asociada a la siembra de leguminosas para incorporación de nitrógeno en el suelo. Regula el microclima en la parcela, produce materia orgánica y ayuda a mitigar emisiones por el poco uso de agroquímicos.

Por tal motivo para identificar los factores que influyen en la adopción e intensidad de adopción se utilizó un enfoque econométrico que incluye dos pasos. El primer paso, consistió en utilizar un modelo probit multivariante para capturar la interdependencia en la decisión de adopción múltiple. El segundo

paso, consistió en utilizar un modelo probit ordenado para identificar qué factores influyen y cuál es su efecto marginal en la intensidad de adopción.

El modelo probit multivariante es útil para determinar la posible complementariedad o sustitución entre las múltiples prácticas ASAC, al mismo tiempo que considera la correlación entre los términos de error no observados (Greene 2003; Vargas Barrenechea 2003). La decisión de un agricultor en adoptar una práctica en particular está relacionada a si los beneficios percibidos de la adopción son mayores que sin ésta (Wollni et al. 2010; Senyolo et al. 2018). En este sentido, el modelo está representado por dos sistemas de ecuaciones.

Considerando un i -enésimo hogar ($i=1, 2, 3, \dots, N$) frente a la decisión de adopción de la j -enésima práctica ASAC (dónde j indica la elección de huertos orgánicos y diversificados (HO), variedad mejorada de frijol “Honduras Nutritivo” (FM), cosecha de agua de lluvia de techo (CL) y manejo de sombra de café (SC). En donde U_0 y U_1 representan los beneficios obtenidos por un agricultor con la adopción y sin ésta. Un agricultor decide adoptar j -enésima práctica en su finca p si los beneficios netos (B_{ipj}^*) son mayores con la adopción que sin ésta, es decir $B_{ipj}^* = U_j^* - U_0 > 0$. En este caso, los beneficios netos de la adopción es un variable latente, que está determinada por las características del hogar, características de la finca, el acceso a la información, los riesgos climáticos (X_{ip}), y los términos del error (ε_{ip}) como se describe a continuación en la ecuación [1] (Cappellari y Jenkins 2003; Vargas Barrenechea 2003):

$$B_{ipj}^* = X'_{ip}\beta_j + \varepsilon_{ip} \quad (j = HO, FM, CL, SC) \quad [1]$$

En la ecuación [1] se puede presentar en términos de una función. En este caso, las preferencias no observadas en la ecuación [1] se traducen en una ecuación de respuesta binaria para la respuesta de la elección de la práctica ASAC de la siguiente manera en la ecuación [2]:

$$B_{ipj} = \begin{cases} 1 & \text{si } B_{ipj}^* > 0 \\ 0 & \text{lo contrario} \end{cases} \quad (j = HO, FM, CL, SC) \quad [2]$$

En el modelo probit multivariante con la posibilidad de adoptar múltiples prácticas, los términos de error siguen una distribución normal multivariante con media cero condicional, varianza normalizada a la unidad y una matriz simétrica de varianza-covarianza. Si las correlaciones fuera de los elementos de la diagonal en la matriz de covarianza adquieren valores que no son ceros, entonces se justifica la aplicación de este modelo en comparación de la utilización de modelos de adopción individual por cada práctica ASAC (Cappellari y Jenkins 2003; Vargas Barrenechea 2003).

La intensidad de adopción es generalmente medida como la proporción del área en donde se aplica una determinada innovación con respecto al área potencial donde se puede aplicar. Sin embargo, cuando estas se promueven en paquetes tecnológicos o en portafolios, la intensidad es medida por la cantidad de prácticas que un hogar adopta (Wollni et al. 2010; Aryal et al. 2018). Esto debido a que cuando se es transferido un grupo de prácticas, los agricultores tienen la decisión de adoptar el conjunto o solamente una parte.

Es así como para modelar la intensidad de adopción la variable dependiente se convierte en una variable categórica ordinal que toma valores entre 0 y 4. Donde el valor 0 indica la no adopción y a medida que los valores aumentan, la intensidad se incrementa. En casos donde se tienen datos de conteos usualmente se utilizan modelos de regresión Poisson bajo el supuesto subyacente que cada evento tiene la misma probabilidad de ocurrir (Greene 2003). Sin embargo, en este caso la probabilidad de adoptar la primera práctica difiere de la segunda, tercera y cuarta (Wollni et al. 2010).

Esto debido a los beneficios percibidos de la primera adopción y a que las características de las prácticas pueden influir en la decisión de intensificar (Senyolo et al. 2018; Yigezu et al. 2018). Por ejemplo, un requerimiento inicial alto en tiempo y capital pueden convertirse en una limitante para su implementación. Por ende, los factores que determinan su adopción puede diferir una de otra, lo cual se traduce en probabilidades diferenciadas para cada práctica (Kpadonou et al. 2017).

En este caso, para desarrollar el modelo se debe de partir de la definición de una variable latente, no observable, que representa la probabilidad de que un hogar intensifique la adopción. Esto se puede

entender como una tendencia del hogar hacia la intensificación como consecuencia de los efectos de las características propias del agricultor, del hogar, las fuentes de información y la percepción del clima. Si bien, dicha probabilidad es una variable no observable, el que el agricultor no haya adoptado (0), adoptado una, dos, tres y hasta cuatro prácticas si es observable (Daykin y Moffatt 2002; Greene 2003).

Es así como se define la variable observable int_i como el nivel de intensificación de un hogar i que es una variable categórica ordinal que indica los niveles de adopción de 0 ($C_i = 0$), una ($C_i = 1$), dos ($C_i = 2$), tres ($C_i = 3$) y cuatro ($C_i = 4$) prácticas ASAC. En este caso nosotros asumimos que el agricultor decide adoptar un número de prácticas basado en la maximización de una función de utilidad subyacente, ecuación [3] (Daykin y Moffatt 2002; Greene 2003).

$$U_i = V_i(\beta'x_i) + u_i \quad \text{por } i = 1, \dots, n, \quad [3]$$

Donde U_i es la media de la utilidad de la intensificación del agricultor i , V_i es la proporción observada de la función de utilidad del agricultor, se expresa como una función de un vector de variables exógenas del hogar y la finca x_i , y un vector de los parámetros a estimar β , y la proporción no observable de los términos de error u_i . En este modelo se asumió que los errores tienen una distribución normal con media cero y varianza única. El agricultor puede decidir adoptar una práctica adicional si la utilidad ganada de esa adopción es mayor que la utilidad de la no adopción. El nivel de utilidad individual de cada agricultor U_i no es observable, pero nosotros podemos observar en la ecuación [4] que (Daykin y Moffatt 2002; Greene 2003):

$$\begin{aligned} C_i &= 0 \text{ if } U_i \leq \alpha_1, \\ C_i &= 1 \text{ if } \alpha_1 < U_i \leq \alpha_2, \\ C_i &= 2 \text{ if } \alpha_2 < U_i \leq \alpha_3, \quad [4] \\ C_i &= 3 \text{ if } \alpha_3 < U_i \leq \alpha_4, \\ C_i &= 4 \text{ if } U_i > \alpha_4, \end{aligned}$$

Donde $\alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3 < \alpha_4$ son parámetros de umbrales desconocidos que serán estimados con β . Es así como las probabilidades de cada resultado se pueden expresar como:

$$\begin{aligned} \Pr(C = 0|x) &= \Pr(U \leq \alpha_1|x) = \Pr(\beta'x + u \leq \alpha_1|x) = \Phi(\alpha_1 - \beta'x), \\ \Pr(C = 1|x) &= \Phi(\alpha_2 - \beta'x) - \Phi(\alpha_1 - \beta'x), \\ \Pr(C = 2|x) &= \Phi(\alpha_3 - \beta'x) - \Phi(\alpha_2 - \beta'x), \\ \Pr(C = 3|x) &= \Phi(\alpha_4 - \beta'x) - \Phi(\alpha_3 - \beta'x), \\ \Pr(C = 4|x) &= 1 - \Phi(\alpha_4 - \beta'x) \quad [5] \end{aligned}$$

Donde $\Phi(\cdot)$ es la función de probabilidad acumulada normal estándar y para la estimación de los vectores de los parámetros α y β se utilizó la función de máxima verosimilitud (Daykin y Moffatt 2002; Greene 2003).

Los parámetros estimados del modelo probit ordinal permite identificar que variables son determinantes para la intensificación. Sin embargo, sus valores no tienen una interpretación directa. Por ello es conveniente analizar los efectos marginales promedios de las variables explicativas, los cuales indican el impacto de cada una sobre la probabilidad de que un agricultor intensifique la adopción. Para las variables continuas, el impacto esta dado por el incremento de un punto porcentual en cada variable sobre la probabilidad de que un agricultor no adopte ($C=0$), adopte una ($C_i = 1$), dos ($C_i = 2$), tres ($C_i = 3$) y cuatro ($C_i = 4$) prácticas ASAC. Para el caso de las variables explicativas binarias, los efectos marginales se calculan como diferencias en las probabilidades de intensificar la adopción. Finalmente, para todas las variables la dirección de los efectos marginales depende del signo de los parámetros estimados del modelo probit ordenado (Greene 2003; Guillermo Peón y Castañeda Valencia 2020).

Variables

En el TeSAC Santa Rita se promovieron un total de ocho prácticas las cuales fueron implementadas por los agricultores. Sin embargo, para el análisis de adopción como de intensidad únicamente se consideraron las prácticas con un porcentaje de implementación mayor al 25%. Estas prácticas fueron los huertos orgánicos-diversificados, la variedad mejorada de frijol, cosecha de agua lluvia y manejo de sombra para café. Para cada práctica, la adopción fue medida como su implementación en el hogar tomando como principal respuesta la del jefe de hogar. A partir de esta respuesta se construyó una variable binaria para cada práctica asignando un valor de 1 cuando el agricultor reportó haber implementado la práctica y un valor de 0 cuando no la implementó. Estas variables fueron utilizadas como las variables dependientes para el modelo probit multivariante. La intensidad de adopción fue medida por el número de prácticas ASAC que adoptó un hogar. Por lo tanto, se creó una variable categórica ordinal con valores que varían entre 0 y 4. Esta variable fue utilizada como la variable dependiente en el modelo probit ordenado.

Las variables independientes que fueron incluidas en los modelos se seleccionaron con base en la literatura sobre la adopción de tecnologías (Knowler y Bradshaw 2007). Las variables que se consideran con más influencia se agrupan en características del hogar, las características de la finca, el capital social y económico, fuentes de información y percepción sobre los riesgos climáticos (Aryal et al. 2018).

Entre las características del hogar se consideraron variables como tamaño y acceso a crédito agrícola. Así como variables que describen al jefe del hogar como su edad, género y nivel de educación (Deressa et al. 2009; Kpadonou et al. 2017; Aryal et al. 2018; Tsige et al. 2020). Entre las variables que describen a la finca se consideraron el tamaño de la finca y el estatus de la tenencia de la tierra. Estas variables son importantes al momento de implementar prácticas que estén dirigidas al suelo como prácticas de conservación, debido a la intensidad de manejo que requieren ciertas prácticas (Knowler y Bradshaw 2007; Murray et al. 2016).

Para evaluar el acceso a la información, se consideró si el agricultor participó o se benefició de las actividades realizadas por el programa CCAFS, dado que el programa se enfoca directamente en la promoción de las prácticas ASAC, la participación es un factor que influye directamente en la adopción (Amadu et al. 2020). El acceso a información y asistencia técnica son factores determinantes de la adopción de tecnología (Mittal y Mehar 2015; Mehar et al. 2016). Asimismo, la percepción de los agricultores sobre la probabilidad de que un evento climático genere impacto en su producción, puede influir en la decisión de cómo actuar sobre el (Grothmann y Patt 2005). En este estudio la percepción de los efectos del clima fue incluida como la respuesta del agricultor sobre si experimentó reducción en la productividad por efectos del clima.

Los factores que influyen en la decisión de adopción de tecnologías pueden ser muchos. Sin embargo, es necesario controlar el número de variables independientes al momento de utilizar el modelo probit multivariante. La utilización de este modelo puede estar condicionado por el tamaño de muestra, problemas de multicolinealidad y heterocedasticidad en las variables independientes. El tamaño de la muestra puede convertirse en un problema para la estimación cuando se utilizan muchas variables explicativas. Esto debido a que los estimadores son predichos basados en la teoría asintótica el cual requiere tamaños de muestras grandes (Greene 2003). Para identificar cuantas variables explicativas se podían agregar al modelo según el tamaño de muestra, se utilizó el siguiente criterio $1.5k(k + 1)$, que representa el número de datos necesarios para calcular el modelo con k variables (Jöreskog y Sörbom 1993).

La multicolinealidad se presenta cuando dos variables explicativas que presentan un alto grado de relación lineal se incluyen en el modelo, esto puede conducir a resultados incorrectos (Greene 2003). Para identificar esta relación entre las variables independientes se utilizó el factor de inflación de la varianza (VIF, por sus siglas en inglés) y el valor de tolerancia (tol). Se utilizó como criterio para seleccionar las variables a incluir en el modelo las que tuvieron valores VIF menores a 5 y tol mayores a 0.2 (Kim 2019). Para el caso de la heterocedasticidad se utilizó la prueba White Breusch-Paga/Cook-Weisberg en donde se buscó valores mayores de p-valor > 0.05 para no rechazar la hipótesis nula (Greene 2003).

Cuadro 2. Descripción de variables utilizadas en los modelos probit multivariante y probit ordenado.

VARIABLES	DESCRIPCIÓN	Media	D.E.
VARIABLES DEPENDIENTES			
Huerto orgánico-diversificado ^a	1= implementó	0.48	0.5
Variedad de frijol mejorada ^a	1= implementó	0.28	0.45
Cosecha de agua lluvia ^a	1= implementó	0.32	0.47
Manejo de sombra de café ^a	1= implementó	0.34	0.47
Intensidad de adopción ^b	# prácticas	1.43	1.33
VARIABLES INDEPENDIENTES			
Características del hogar			
Edad	Años del jefe de hogar	42.47	13.67
Género	1= si es mujer el jefe de hogar	0.2	0.4
Tamaño del hogar	Número de miembros	5.18	1.96
Educación	1= si tuvo acceso a educación formal	0.71	0.45
Crédito	1= si tiene acceso a crédito	0.38	0.49
Características de la finca			
Área de la finca	Tamaño de la finca (ha)	1.53	2.24
Tenencia de la tierra	1= si la tenencia de la tierra es propia	0.39	0.49
Información y conocimiento técnico			
Participación en el programa CCAFS	1= si participó en el programa CCAFS	0.81	0.39
Impactos del clima			
Impactos del clima en la productividad	1= si su producción se redujo por el clima	0.59	0.49

^aRepresenta las variables dependientes utilizadas en el modelo probit multivariante.

^bRepresenta la variable dependiente utilizada con el modelo probit ordinal.

Resultados y discusión

Los resultados se presentan en dos partes. En primer lugar, se presenta la frecuencia de adopción de las ocho prácticas ASAC y la intensidad de adopción de las cuatro prácticas que superaron el 25% de adopción individual. En la segunda parte se presentan los resultados del modelo probit multivariante y del modelo probit ordinal.

Adopción e intensidad de adopción

La adopción fue medida como la implementación de las prácticas ASAC en las fincas u hogares. En general, el 68% de los hogares adoptaron al menos una de los ocho prácticas promovidas en el TeSAC. Sin embargo, los huertos orgánicos y diversificados (48%), el manejo de sombra de café con (34%), la cosecha de agua de lluvia (32%) y la variedad mejorada de frijol (28%) fueron las prácticas con mayor adopción, superando cada una el 25%. Por el contrario, las de menor adopción son los reservorios de agua para riego (9%) y el reservorio de agua para riego y la producción de tilapia (6%) (Figura 2).

La intensidad de adopción de las prácticas ASAC fue medida como la cantidad de prácticas que implementó un hogar. En general, los resultados indican un rango de adopción simultánea entre una y ocho, con un promedio de tres por hogar. Sin embargo, para realizar el modelo de adopción e intensidad de adopción solo se consideraron las cuatro prácticas que superaron el 25% de adopción individual. En el Cuadro 3 se describen los resultados obtenidos sobre la frecuencia absoluta y acumulada de la adopción simultánea de estas cuatro prácticas. Los niveles de intensidad adopción que presentan los mayores porcentajes son las categorías de 0 (no adopción), 1 y 2 que representan el 34%, 23% y 19% respectivamente.

Factores determinantes de la adopción múltiple de las prácticas ASAC

Los resultados muestran que la hipótesis sobre la probabilidad de correlación entre los términos de error cuando se utiliza un modelo de decisión múltiple es cierta (Cuadro 4). Lo que indica que utilizar métodos multivariados para medir la decisión de adopción. Asimismo, los resultados de la prueba de razón de verosimilitud ($\chi^2(6) = 68.5065$; Prob > $\chi^2 = 0.0000$) fue significativa por lo que se rechazan la hipótesis nula (H_0 : las covarianzas de los términos de error a través de las ecuaciones están correlacionadas). Nuestros resultados concuerdan con los obtenidos por Aryal et al. (2018), Deressa et al. (2009), Kpadonou et al. (2017), Mailumo et al. (2021), Teklewold et al. (2013) y Teklewold et al. (2019) quienes identificaron interdependencia en la decisión de adopción. Es decir que la probabilidad de

adoptar una determinada práctica está condicionada por la adopción de prácticas previas. Por ende, la evaluación independiente no sería conveniente ya que esta no consideraría esta interdependencia en la decisión de adopción múltiple.

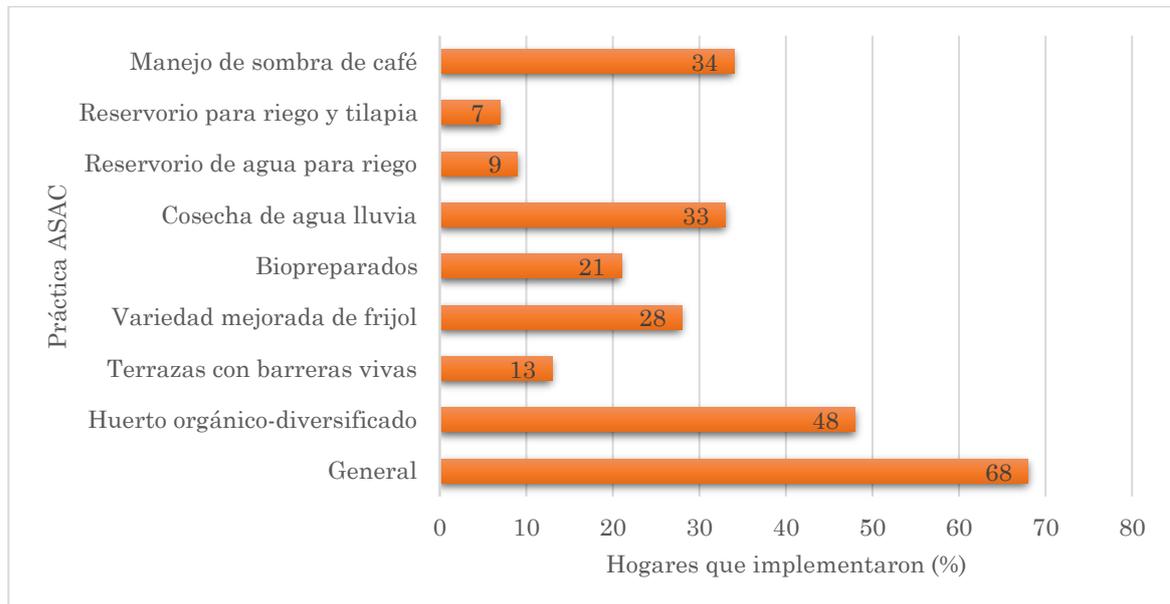


Figura 2. Frecuencia de adopción en porcentaje de agricultores que implementaron cada una de las ocho prácticas promovidas en el TeSAC de Santa Rita.

Cuadro 3. Intensidad de adopción de las prácticas ASAC en el TeSAC de Santa Rita, Copan, Honduras.

No. Prácticas	Frecuencia absoluta (%)	Frecuencia acumulada (%)
0	34	33
1	23	57
2	19	76
3	15	91
4	9	100

Los signos positivos de los coeficientes y el nivel de significancia de la correlación por pares indican que los agricultores adoptan más de una práctica en términos de complementariedad. Esto se da cuando la adopción de una práctica favorece el desempeño de otra, por ejemplo, el uso de prácticas dirigidas a mejorar en los nutrientes del suelo y la retención de humedad con variedades resistentes a estrés hídrico o enfermedades (Makate C et al. 2019).

Entre las combinaciones de mayor preferencia seleccionadas por los agricultores, los resultados indican una relación alta (99%) entre los huertos, la variedad mejorada y la cosecha de agua de lluvia. Está relación se puede explicar a qué responde a las necesidades percibidas de los agricultores en el estudio de línea base, sobre incrementar la producción de los cultivos a través de la diversificación, mejorar rendimientos de los cultivos e implementar infraestructura de riego (Mercado y Padilla et al. 2015). Es así como el efecto combinado de las prácticas puede incrementar los beneficios generales, no solo en producción sino también como mayores ingresos (Khonje et al. 2018; Makate C et al. 2019; Abegunde et al. 2020).

Cuadro 4. Coeficientes de correlación por pares entre las prácticas adoptadas en el TeSAC de Santa Rita, Copán, Honduras.

Prácticas ASAC	Coefficiente	DV	p-valor
HO × FM	0.779	0.106	0.00***
HO × CL	0.745	0.097	0.00***
HO × SC	0.326	0.165	0.05**
FM × CL	0.831	0.085	0.00***
FM × SC	0.383	0.166	0.02**
CL × SC	0.337	0.162	0.04**

Prueba de razón de verosimilitud de $\rho_{21} = \rho_{31} = \rho_{41} = \rho_{32} = \rho_{42} = \rho_{43} = 0$: $\chi^2(6) = 68.5065$ Prob $> \chi^2 = 0.0000$. HO: huertos orgánicos y diversificados; FM: variedad mejorada de frijol Honduras Nutritivo; CL: cosecha de agua de lluvia de techo y SC: manejo de la sombra del café. *, **, ***Significancia al $p \leq 0.1$, $p \leq 0.05$ y $p \leq 0.01$, respectivamente.

La práctica de manejo de sombra de café fue la segunda con mayor adopción, sin embargo, su relación con las tres anteriores es menor (95% de significancia). El café es un cultivo característico en la zona, ocupa el 27% de la cobertura y uso del suelo y representa una de las principales actividades económicas del municipio (Mercado y Padilla et al. 2015). Esta característica del cultivo puede explicar que la elección de las tres prácticas anteriores se da de forma complementaria, pero como segunda opción ya que no contribuye en el desempeño del café. Además, dada la relevancia del cultivo en la zona se han desarrollado proyectos para transformar a sistemas sostenibles de producción de café (Mercado y Padilla et al. 2015). Por lo tanto, la alta adopción de la práctica no se puede relacionar directamente con el proceso de promoción realizado en el TeSAC.

A nivel de finca, los agricultores implementan diferentes estrategias de adaptación para hacer frente a los eventos climáticos. En nuestro caso, el uso de la variedad mejorada de frijol y la implementación de huertos diversificados, ambos contribuyen en mejorar la disponibilidad de alimentos en cantidad y diversidad. Sin embargo, la combinación de estas prácticas no siempre será complementaria. Por ejemplo Aryal et al. (2018), identificaron una relación de sustitución entre adoptar variedades mejoradas y la diversificación de cultivos. Esto se debe a que la elección de estrategias que un agricultor implementa, están influenciada por su percepción del riesgo, el nivel de conciencia sobre los efectos y su capacidad de respuesta para actuar sobre él (Grothmann y Patt 2005; Adger et al. 2009; Brüssow et al. 2017). Por lo tanto, las respuestas pueden variar entre pequeñas adecuaciones a las actividades agrícolas, hasta acciones culturales y religiosas (Harmer y Rahman 2014).

A pesar de que la decisión de adopción es interdependiente entre las prácticas, los factores que influyen en la adopción difieren entre ellas. Los resultados de la prueba Walt (Wald $\chi^2(36) = 61.67$; Prob $> \chi^2 = 0.0049$) para la hipótesis nula del modelo (H_0 : todos los coeficientes de la regresión en cada ecuación son iguales a ceros) fue estadísticamente significativa, por lo que se rechaza (Cuadro 5).

Para el caso de la práctica de huertos orgánico-diversificado las variables que resultaron positiva y estadísticamente significativas son el tamaño de la finca, la participación en las actividades del programa CCAFS y la percepción de los impactos del clima. Los hogares con mayor tamaño de finca tendrán mayor probabilidad de implementar la práctica. Esto se puede explicar debido a que agricultores con fincas grandes tienen mayor probabilidad de experimentar con nuevos cultivos (Wekesa et al. 2018). En la zona del TeSAC, la diversificación de los cultivos es baja debido a que culturalmente se producen granos básicos para el consumo y el café y cacao como productos para la venta (Mercado, Merlo Hernández y Suchini 2015). Por lo tanto, la disposición a diversificar puede estar condicionado a tener terreno adicional para experimentar.

La participación en el programa CCAFS para esta práctica es positiva y altamente significativa (99%) esto indica que es una práctica que está relacionada al aprendizaje e incentivos que se obtiene de su participación. Esto debido a que la práctica responde a oportunidades de producción identificadas por los agricultores en la línea base (Mercado y Padilla et al. 2015). Además, la participación facilita el proceso de aprendizaje y experimentación de prácticas que culturalmente no han sido muy utilizadas en la zona (Mercado, Merlo Hernández y Suchini 2015). Es así como la exposición a espacios de creación de

conciencia, provisión de conocimientos y habilidades a mejorar su capacidad de comprensión para elegir y adaptar las prácticas a su contexto (Senyolo et al. 2018; Jellason et al. 2021). Además, su participación les permite obtener insumos externos lo cual facilita la adopción (Amadu et al. 2020). Asimismo, la vinculación del programa CCAFS con instituciones locales genera un ambiente de confianza entre los agricultores lo cual contribuye a la transferencia de conocimiento y a la adopción (Makate 2019).

Cuadro 5. Coeficientes de estimación de los factores que influyen en la adopción múltiple de las prácticas ASAC en el TeSAC de Santa Rita: Modelo de regresión probit multivariante.

Variable	HO	FM	CA	SC
Intercepto	-0.513	-0.830	-0.691	-0.369
Edad (años)	-0.014	0.011	-0.001	-0.009
Género del jefe de hogar (1=Mujer)	-0.232	-0.966***	-0.229	-1.130***
Educación del jefe de hogar (1=Formal)	-0.097	-0.088	-0.178	0.622*
Tamaño del hogar (Miembros)	-0.085	-0.170**	-0.062	-0.135*
Acceso a crédito (1=Sí)	-0.012	0.250	-0.104	0.727***
Área de la finca (ha)	0.121*	-0.191*	-0.057	0.008
Tenencia de la tierra (1=propia)	-0.314	0.210	0.266	0.485*
Participante programa CCAFS (1=Sí)	1.535***	0.672*	0.946***	0.179
Impacto del clima en producción (1=Sí)	0.497*	0.562**	-0.115	0.079

Logaritmo de probabilidad = -223.63; Wald $\chi^2(36) = 61.67$; Prob > $\chi^2 = 0.0049$.

HO: huertos orgánicos-diversificados; FM: variedad mejorada de frijol Honduras Nutritivo; CL: cosecha de agua de lluvia de techo y SC: manejo de la sombra del café. P, *, **, ***Significancia al $p \leq 0.1$, $p \leq 0.05$ y $p \leq 0.01$, respectivamente.

Para el caso de la variedad mejorada de frijol, cinco factores son determinantes para su adopción. La participación en el programa CCAFS y la percepción de los impactos del clima en la producción, influyen de forma positiva. Esto significa que a medida que el agricultor perciba pérdidas en su producción por efectos del clima, estará más motivado a experimentar con variedades nuevas que se adapten a las condiciones del clima y que aumenten la producción. Esto se justifica ya que el TeSAC se ubica en la zona del corredor seco que es caracterizado por lluvias esporádicas y poco o nulo uso de estructuras de riego (Mercado y Padilla et al. 2015). En condiciones similares de bajas lluvias y alta temperatura, Jellason et al. (2021), posterior a un proceso de aprendizaje participativo sobre la adopción de prácticas ASAC, encontraron que la implementación de variedades mejoradas fueron las que resultaron con mayor adopción. Esto indica que la adopción de esta práctica es utilizada como un mecanismo para adaptarse a las condiciones cambiantes del clima.

Por el contrario, los factores que influyen de forma negativa en la adopción son el tamaño del hogar, el tamaño de la finca de producción y el género del jefe de hogar. Para las dos variables de tamaño indica que, a mayor tamaño hay una menor probabilidad de adopción de la variedad mejorada. Nuestros resultados difieren de los reportados por Aryal et al. (2018), en donde se encontró una relación positiva con respecto al tamaño de la finca, pero negativa con el tamaño del hogar. De la misma forma, si el hogar es liderado por una mujer la probabilidad de adopción se reduce. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Gebre et al. (2019) y Anang et al. (2020), en donde también encontraron menor adopción de variedades mejoradas por hogares liderados por mujeres y mayor cuando el jefe de hogar es un hombre.

La baja adopción de variedades mejoradas por las mujeres puede indicar mayor preferencia por las variedades criollas o nativas. Esta preferencia puede estar asociada a que las variedades mejoradas requieren de mayores requerimientos en insumos y trabajo lo cual representa una limitante para las mujeres dado su limitado acceso a recursos de producción (Quisumbing et al. 2014) y por el aumento en la carga de trabajo agrícola (Njuguna et al. 2016). Además, las mujeres suelen conservar variedades que no son tan productivas o resistentes pero que tienen beneficios ocultos y que son valorados por ellas (Njuki et al. 2016). Esto también se pudo observar en el estudio de Gebre et al. (2019), donde se identificó que la intensidad de adopción de variedades mejoradas disminuyó cuando se consideró la opinión de la mujer en la decisión de adoptar. Lo cual indica que, al considerar la opinión de la mujer, la adopción de

variedades mejoradas será en términos de complementariedad y no en términos de sustitución como sucede en el caso de los hombres.

Para el caso de práctica de cosecha de agua de lluvia de techo, la única variable que explica su adopción es la participación en el programa CCAFS. Esto indica que la implementación de la práctica está condicionada a la participación en el programa. Estos datos concuerdan con los obtenidos por Amadu et al. (2020), en donde indica que la adopción de prácticas que tienen una demanda alta en recursos de capital, serán implementadas solo si se recibe algún tipo de apoyo externo. En este caso, las características de la práctica es lo que limita la adopción debido a su alto requerimiento de inversión inicial (Senyolo et al. 2018).

Para el caso del manejo de sombra de café, las variables que influyen positivamente en la adopción son el nivel de educación del jefe de hogar, el acceso a crédito y la tenencia de la tierra. Por el contrario, si el hogar es liderado por una mujer y el tamaño del hogar es mayor, hay menor probabilidad de adoptar la práctica. Esto indica que los hogares tienen mayor probabilidad de adoptar la práctica si el jefe de hogar ha tenido acceso a educación formal, es dueño de la tierra y tiene acceso a fuentes de crédito agrícola. El café es un cultivo que requiere de un alto uso de recursos de capital y trabajo para incrementar su productividad. Por ende, el acceso a crédito es fundamental para mejorar sus prácticas de manejo y acceso a insumos (Gomez 2016).

Sin embargo, el acceso a crédito suele estar condicionado a la garantía en el pago que los agricultores puedan ofrecer. Los agricultores pueden garantizar el pago del crédito a través de la acumulación de activos como la tenencia de la tierra y al aseguramiento de las cosechas. Estas características del cultivo son también condicionantes a que los hogares liderados por mujeres tengan menos probabilidades de adopción. Estudios realizados en zonas cafetaleras cercanas a donde se encuentra el TeSAC, han identificado que las mujeres tienen limitado acceso a recursos de producción y manejo sobre los ingresos del hogar (Dietz et al. 2018). Esta tendencia también fue observada en el estudio realizado por Hammond et al. (2017) en donde se encontraron una relación inversa entre la adopción de cultivos orientados al mercado y el índice de equidad de género. Por lo tanto, se puede decir que la adopción está condicionada por género, ya que los factores que influyen positivamente en la adopción representan una barrera para las mujeres, debido a su limitado acceso en la zona.

Factores que explican la intensidad de adopción

Los resultados de la prueba de chi² del modelo fue altamente significativa (LR chi² (9) = 25.860, p-chi² = 0.002) por lo cual se rechaza la hipótesis nula (H₀: todos los valores de los coeficientes son iguales a cero) (Cuadro 6). A nivel general, las variables del género del jefe de hogar, el tamaño del hogar y la participación en el programa CCAFS resultaron ser estadísticamente significativas al 95% y 99% como determinantes para que un hogar intensifique la adopción.

El efecto del género indica que los hogares liderados por mujeres tienen menor probabilidad de adoptar varias prácticas simultáneamente en comparación a los dirigidos por hombres. Estos datos concuerdan con los reportados por Kpadonou et al. (2017), en donde se identificó que los hogares dirigidos por hombres tienen a incrementar el número de prácticas. La baja capacidad de intensificación de adopción por las mujeres se debe a su limitado acceso a tierra, crédito y participación en espacios de aprendizajes (Hammond et al. 2017).

Para el caso del tamaño del hogar indica que a mayor tamaño del hogar la probabilidad de intensificar se reduce. Esto indica a que los agricultores elegirán invertir en servicios básicos en lugar que invertir en mejorar sus actividades agrícolas. Este efecto negativo también fue reportado por Aryal et al. (2018) y Kpadonou et al. (2017). Por el contrario, si el hogar participa en las actividades del programa CCAFS estará más orientado a implementar más de una práctica en su hogar o finca. Esto debido a que la exposición a espacios de aprendizaje contribuye no solo en la intensificación, sino también en mejorar la capacidad de los agricultores para elegir prácticas más efectivas (Deressa et al. 2009; Nyberg et al. 2021).

La magnitud y la dirección de la influencia de estas variables fueron evaluadas a través de los efectos marginales promedios de cada variable en cada categoría de intensificación. Los valores y los signos varían a través de los diferentes niveles de intensidad de adopción (Cuadro 7). Por ejemplo, el efecto de la variable género es positivo en los dos primeros niveles de adopción 0 y 1, pero se vuelve negativo a

partir del tercer nivel de intensidad. La probabilidad de no adopción es mayor en 21 porcentuales si el jefe de hogar es mujer. Sin embargo, cuando la intensidad aumenta, la probabilidad de adoptar dos, tres y cuatro prácticas se reduce en 4, 8 y 11 puntos respectivamente. Estos datos están en línea con la literatura sobre las limitaciones de género en el acceso a recursos y oportunidades de producción incluida la tierra y el trabajo (Quisumbing et al. 2014). Además, esta baja adopción puede estar influenciada por el conocimiento requerido para implementarlas. Por ejemplo, Nyberg et al. (2021) encontraron que las mujeres que adoptaron menos prácticas se sintieron más limitadas en conocimiento en comparación con los hombres.

Cuadro 6. Descripción de los parámetros estimados para la intensidad de adopción: modelo probit ordenado.

Variable	Coefficiente	Dev. Est.	p-valor
Edad (años)	-0.003	0.008	0.727
Género del jefe de hogar (1=Mujer)	-0.670	0.280	0.017**
Educación del jefe de hogar (1=Formal)	0.024	0.245	0.923
Tamaño del hogar (Miembros)	-0.131	0.056	0.020**
Acceso a crédito (1=Sí)	0.251	0.223	0.260
Área de la finca (ha)	0.006	0.053	0.911
Tenencia de la tierra (1=Propia)	0.168	0.228	0.462
Participante programa CCAFS (1=Sí)	0.949	0.303	0.002***
Impacto del clima en la producción (1=Sí)	0.247	0.219	0.258
N			116
Logaritmo de probabilidad			-164.075
LR chi ² (9)			25.860
Probabilidad > chi ²			0.002***
Pseudo R ²			0.073

*, **, ***Significancia al $p \leq 0.1$, $p \leq 0.05$ y $p \leq 0.01$, respectivamente.

Esta misma tendencia se observa con la variable del tamaño del hogar, los resultados indican que el incremento de un miembro en el hogar aumentará la probabilidad en 4 puntos porcentuales que un hogar no adopte prácticas. Por el contrario, la probabilidad disminuirá en 1, 2 y 2 puntos porcentuales para las categorías de dos y tres y cuatro prácticas respectivamente.

Finalmente, para la variable de participación en las actividades del CCAFS, se observa un efecto negativo en los dos primeros niveles y luego se vuelve positivo. Es decir, participar en este tipo de proyecto por un lado reduce la probabilidad en 30 puntos de no adoptar y por el otro incrementa la probabilidad de adoptar dos, tres, cuatro prácticas en 6, 12 y 15 puntos porcentuales más respectivamente en comparación con los agricultores que no participan.

Cuadro 7. Descripción de los parámetros estimados de los efectos marginales promedios de cada variable independiente para cada nivel de intensidad de adopción: modelo probit ordenado.

Variable	Pr(Y=0 X)	Pr(Y=1 X)	Pr(Y=2 X)	Pr(Y=3 X)	Pr(Y=4 X)
Edad (años)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Género del jefe de hogar (Mujer)	0.21**	0.02	-0.04**	-0.08**	-0.11**
Educación del jefe de hogar (Formal)	-0.01	-0.00	0.00	0.00	0.00
Tamaño del hogar (Miembros)	0.04**	0.00	-0.01**	-0.02**	-0.02**
Acceso a crédito (Sí)	-0.08	-0.01	0.02	0.03	0.04
Área de la finca (ha)	-0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tenencia de la tierra (propia)	-0.05	-0.00	0.01	0.02	0.03
Participante programa CCAFS (Sí)	-0.30***	-0.03	0.06**	0.12***	0.15***
Impacto del clima en producción (1=Sí)	-0.08	-0.01	0.02	0.03	0.04

*, **, ***Significancia al $p \leq 0.1$, $p \leq 0.05$ y $p \leq 0.01$, respectivamente.

Si bien, hay tres variables determinantes para la intensificación, al obtener los efectos marginales para cada nivel, se observa que, para la adopción de una práctica, el efecto marginal de las variables independientes no es determinante. Esto quiere decir, por un lado, que el requerimiento de inversión para adoptar la primera práctica está al alcance de cualquier hogar. Por el otro, los beneficios percibidos de adoptar una práctica, cualquiera que sea, no representa un cambio significativo, en comparación con la magnitud de los cambios que se obtienen de adoptar dos, tres y cuatro prácticas. Esto debido a las potenciales sinergias que se pueden dar entre las tecnológicas utilizadas (Wainaina et al. 2018).

Por tal motivo, con la adopción se pueden obtener mayores beneficios en productividad, ingresos y mejoras en la nutrición (Makate C et al. 2019; Teklewold et al. 2019). Sin embargo, el nivel de intensificación estará determinada por la capacidad de inversión inicial y los beneficios estarán condicionados a las condiciones iniciales en donde se desarrollen las prácticas. Por lo tanto, las combinaciones de prácticas presentarán variaciones espaciales y temporales. En este caso, las mujeres presentarán limitaciones para la intensificación debido a sus limitaciones en el acceso a recursos (Makate C et al. 2019). Nuestros resultados concuerdan con esta tendencia, ya que al ser mujer el jefe de hogar la probabilidad de incrementar el número de prácticas se reduce en mayor magnitud.

Conclusiones

Los sistemas agroalimentarios de los pequeños agricultores que se ubican en la región Trifinio son particularmente vulnerables a los efectos del cambio y la variabilidad climática. El implementar acciones que contribuyan a la construcción de la resiliencia de los sistemas productivos y de los productores es parte fundamental para reducir estos impactos. A nivel de finca, la adopción de prácticas ASAC forma parte de las estrategias que los agricultores pueden utilizar para adaptar sus sistemas productivos. El presente estudio tuvo como fin aportar al conocimiento de la adopción ASAC en uno de los tres sitios de referencia de la región Trifinio. Los resultados muestran que más de la mitad de los hogares del TeSAC han adoptado al menos una de las prácticas promovidas.

Sin embargo, a nivel de práctica las tasas de adopción fueron relativamente bajas, siendo las de mayor preferencia las que están relacionadas a los cultivos tradicionales y a la condición climática de la zona. El análisis de adopción múltiple identificó que la decisión de adopción es interdependiente, por lo tanto, la elección de una está condicionada por la adopción de prácticas previas. Esta interdependencia está dada en términos de complementariedad, lo que indican que los agricultores las eligen para garantizar obtener mejores beneficios, en este caso la producción y diversidad de alimentos. Estas cuatro prácticas responden a las recomendaciones expuestas por Hammond et al. (2017), donde sugieren promover la diversidad de cultivos, utilizar variedades mejoradas resistentes a sequía y cultivos dirigidos al mercado.

Los huertos orgánicos-diversificados fue la práctica con mayor implementación, esta es relativamente nueva, ya que los agricultores de la zona producen entre dos y tres cultivos principales, donde la producción de hortalizas no es común (Mercado y Padilla et al. 2015). Por otro lado, la variedad de frijol “Honduras Nutritivo” fue la cuarta con mayor adopción. Este cultivo es de importancia alimenticia para el país y es producido generalmente en las zonas de ladera y marginales, con bajos insumos (Rosas et al. 2003). A pesar de que el análisis no incluyó variables que expliquen las motivaciones para su implementación, la preferencia de uso nos puede indicar que responde a las necesidades de aumentar y diversificar la producción de alimentos para aumentar la disponibilidad en la finca (Aguilar Carrillo y Suchini 2019).

El cultivo de café es característico en la zona de estudio, esto influyó a que la práctica de sombra de café fuera la segunda con mayor implementación, debido a que la presencia del cultivo en la finca fue la primer condicionante para su uso. Por otro lado, su uso también puede estar influenciado a que forma parte de las prácticas de manejo del cultivo recomendada por las instituciones que trabajan con los productores de café en la zona. Esto debido a que la crisis provocada por la roya condujo a implementar prácticas para construir resiliencia en el cultivo donde se promovió principalmente la variación varietal y el manejo de la sombra (Ward et al. 2017).

Para el caso de la práctica de cosecha de agua lluvia, es una práctica que viene a responder a las necesidades de agua para consumo principalmente, debido a que los agricultores indican mala calidad en el agua obtenida de las fuentes naturales a la vez que responde a las necesidades de implementar infraestructuras de riego (Mercado y Padilla et al. 2015).

Las prácticas con bajas tasas de adopción fueron las destinadas al manejo del suelo, agua/riego y al control de plagas y enfermedades. Esto a pesar de que en la zona los agricultores han manifestado degradación de los suelos y problemas de producción debido a la falta de agua para riego (Mercado y Padilla et al. 2015). Por lo tanto, se hace necesario identificar cuáles son las causas de la baja elección para que las siguientes intervenciones puedan ajustar este tipo de prácticas. Esto es importante ya que el suelo y el agua son dos recursos fundamentales para la producción, por ende, cualquier práctica sobre manejo de cultivo que se implemente, el desempeño estará influenciado por las condiciones iniciales que se tenga.

El estudio también permitió identificar las características de los hogares que determinan tanto la adopción como la intensidad. Estas varían entre prácticas, pero la dirección del efecto es igual para las variables del género del jefe de hogar y el tamaño del hogar, que influyen de manera negativa. Por el contrario, el nivel de educación, el acceso a crédito, la participación en el programa CCAFS y la percepción del impacto del clima influye de forma positiva. Sin embargo, para las variables del área de la finca y la tenencia de la tierra el efecto es tanto positivo como negativo. Para el caso de la intensidad de adopción, el género del jefe de hogar, el tamaño de hogar y la participación en el programa CCAFS son las variables determinantes. Sin embargo, la dirección y la magnitud del efecto de cada variable varía a través de los cinco niveles de intensidad evaluados.

La difusión simultánea de prácticas en el TeSAC permite que los agricultores puedan implementar diversas estrategias que vayan dirigidas a diferentes componentes del sistema productivo y con ello mejorar el desempeño en conjunto. Tal como lo señala Wainaina et al. (2018), los beneficios serán mayores cuando se integran tecnologías de variedades mejoradas con prácticas de gestión de recursos, por ejemplo, las dirigidas al manejo de fertilidad del suelo. Además, el portafolio de prácticas a ser promovidas debe considerar la opinión de los agricultores para considerar sus preferencias no solo en la implementación sino también en el diseño (Senyolo et al. 2018). Así como ser adecuadas al contexto para reducir la incertidumbre de los agricultores en su decisión de elección (Kuhl 2020; Jellason et al. 2021).

Un factor que incide en la agencia de los agricultores para actuar es la percepción del riesgo climático. Los resultados mostraron un efecto positivo en la adopción debido a la percepción de los daños que el clima puede ocasionar a sus cultivos. Esto demuestra mayor conciencia por parte de los agricultores para responder a los eventos climáticos. Por lo tanto, es importante seguir generando espacios verticales y horizontales donde los agricultores puedan seguir aprendiendo sobre el cambio y la variabilidad climática y los potenciales efectos en sus sistemas productivos (Mailumo et al. 2021). Este conocimiento les permitirá estar más informados, fortalecer su capacidad para elegir prácticas más efectivas, pero también garantizar su funcionalidad (Kuhl 2020).

Si bien, la adopción múltiple de las prácticas ASAC contribuyen a la adaptación y a mejorar la productividad. Es necesario tener en cuenta que estos beneficios no suelen ser inmediatos y, por lo tanto, es necesario considerar aspectos de financiamiento para aquellas prácticas con alta inversión inicial y con periodos de retorno largos, tal como la práctica de manejo de sombra de café y las dirigidas al manejo del suelo. Por tal motivo, es necesario considerar en toda intervención ASAC opciones no solo técnicas sino también, aquellas que favorezcan su acceso, aplicación y funcionamiento.

Tal como lo señala Makate (2019), los esfuerzos institucionales y de políticas que reduzcan las limitaciones al acceso a recursos de producción, al conocimiento y a la creación de capacidades con sensibilidad a género deben ser considerados una prioridad para la ASAC. Debido a que cuando la transferencia de tecnología se da de manera aislada, y no como un enfoque holístico, las estrategias de adaptación basadas en la adopción no generan los beneficios esperados, debido a que los agricultores para adoptar primero deben superar las barreras de acceso, la incertidumbre de su decisión y la incertidumbre de la variabilidad climática (Kuhl 2020).

Por lo que, la adopción no solo debería ser medida de forma puntual en un momento dado, sino debería incluir evaluaciones periódicas para comprender como los agricultores van superando estas limitaciones. Por lo que incluir análisis de datos de panel sería relevante para comprender la adopción no solo como una acción de sustitución, sino como un proceso dinámico que se va ajustando a través del tiempo. A la vez, la inclusión de métricas que permitan identificar y medir las sinergias que se pueden dar entre la combinación de las prácticas y cómo éstas contribuyen al logro de los tres pilares de la ASAC.

Finalmente se concluye que la ASAC fue desarrollada como un enfoque que busca la transformación de los sistemas agrícolas a través de ciertas condiciones técnicas, políticas y de inversión. Pero si estas no se desarrollan en armonía, difícilmente los pequeños agricultores con diversas vulnerabilidades lograrán la transformación y adaptación de sus sistemas productivos. Esto debido a que las tasas de adopción de prácticas ASAC, aunque relevantes para la toma de decisiones, limitan el análisis a una simple sustitución de técnicas, sin considerar todos los procesos y elementos que interfieren en el proceso de cambio tecnológico para lograr la transformación agrícola, tal como la que persigue el enfoque ASAC.

Agradecimientos

El desarrollo de este estudio fue posible gracias al apoyo del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) en el marco del proyecto “Generating evidence on gender sensitive Clima-Smart Agriculture to inform policy in Central America” y a la Fundación Nippon.

Literatura citada

- Abegunde VO, Sibanda M, Obi A. 2020. Determinants of the Adoption of Climate-Smart Agricultural Practices by Small-Scale Farming Households in King Cetshwayo District Municipality, South Africa. *Sustainability*. 12(1):195. en. <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/1/195/htm>. doi:10.3390/su12010195.
- Acosta M, Bonilla-Findji O, Howland F, Twyman J, Gumucio T, Martínez-Barón D, Le Coq JF. 2019. Paso a paso para la inclusión de género en iniciativas de agricultura sostenible adaptada al clima para Guatemala: Guía inclusión de Género Guatemala. 1ª ed. Wageningen, Países Bajos: Programa de Investigación del CGIAR en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria (CCAFS). 60 p.
- Adger WN, Dessai S, Goulden M, Hulme M, Lorenzoni I, Nelson DR, Naess LO, Wolf J, Wreford A. 2009. Are there social limits to adaptation to climate change? *Climatic Change*. 93(3):335–354. En;en. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10584-008-9520-z.pdf>. doi:10.1007/s10584-008-9520-z.
- Aggarwal PK, Jarvis A, Campbell B, Zougmore R, Khatri-Chhetri A, Vermeulen S, Loboguerrero AM, Sebastian L, Kinyangi J, Bonilla-Findji O, et al. 2018. The climate-smart village approach: framework of an integrative strategy for scaling up adaptation options in agriculture. *Ecology and Society*. 23(1). en. doi:10.5751/ES-09844-230114.
- Aguilar Carrillo A, Suchini JG. 2019. Construcción y desarrollo de los TeSAC en Centroamérica en los territorios de "El Tuma-La Dalia" en NicaCentral, Nicaragua, y "Olopa" y "Santa Rita" en la región del Trifinio de Guatemala y Honduras. [sin lugar]. 51 p; [consultado el 7 de jul. de 2020]. <https://cgspace.cgiar.org/rest/bitstreams/165797/retrieve>.
- Amadu FO, McNamara PE, Miller DC. 2020. Understanding the adoption of climate-smart agriculture: A farm-level typology with empirical evidence from southern Malawi. *World Development*. 125:1–22. doi:10.1016/j.worlddev.2019.104692.
- Anang BT, Bäckman S, Sipiläinen T. 2020. Adoption and income effects of agricultural extension in northern Ghana. *Scientific African*. 7:e00219. doi:10.1016/j.sciaf.2019.e00219.
- Aryal JP, Rahut DB, Maharjan S, Erenstein O. 2018. Factors affecting the adoption of multiple climate-smart agricultural practices in the Indo-Gangetic Plains of India. *Nat Resour Forum*. 42(3):141–158. doi:10.1111/1477-8947.12152.
- Bell P, Namoi N, Lamanna C, Corner-Dolloff C, Girvetz EH, Thierfelder C, Rosenstock TS. 2018. A practical guide to climate-smart agriculture technologies in Africa. Wageningen, the Netherlands: CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security. 77 p. CCAFS Working paper Informe no. 224; [consultado el 16 de mar. de 2021]. https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/92003/CCAFS_WP224.pdf.
- Bonilla-Findji O, Eitzinger A, Andrieu N. 2020. Monitoreo del Territorio Sostenible Adaptado al Clima. [sin lugar]: Programa del CGIAR en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria CCAFS. 43 p.
- Bonilla-Findji O, Eitzinger A, Andrieu N, Bejarano G, Ortega A.V, Jarvis A. 2020. Standard Indicators results - 2020 Integrated CSA monitoring framework: Tracking adoption and perceived impacts of Climate Smart Agricultural options at household level - Implementation 2020. Wageningen, Netherlands: CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security; [consultado el 8 de jul. de 2020]. <https://geofarmer.org/tesac-santarita/archives/33e785c3-8174-451b-8866-c7177dabdd80>.

- Brüssow K, Faße A, Grote U. 2017. Implications of climate-smart strategy adoption by farm households for food security in Tanzania. *Food Sec.* 9(6):1203–1218. doi:10.1007/s12571-017-0694-y.
- Cappellari L, Jenkins SP. 2003. Multivariate Probit Regression using Simulated Maximum Likelihood. *The Stata Journal.* 3(3):278–294. doi:10.1177/1536867X03003300305.
- Daykin AR, Moffatt PG. 2002. Analyzing Ordered Responses: A Review of the Ordered Probit Model. *Understanding Statistics.* 1(3):157–166. doi:10.1207/S15328031US0103_02.
- Deressa TT, Hassan RM, Ringler C, Alemu T, Yesuf M. 2009. Determinants of farmers' choice of adaptation methods to climate change in the Nile Basin of Ethiopia. *Global Environmental Change.* 19(2):248–255. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.01.002>. doi:10.1016/j.gloenvcha.2009.01.002.
- Dietz T, Estrella Chong A, Font Gilabert P, Grabs J. 2018. Women's empowerment in rural Honduras and its determinants: insights from coffee communities in Ocotepeque and Copan. *Development in Practice.* 28(1):33–50. doi:10.1080/09614524.2018.1402862.
- Dorfman JH. 1996. Modeling Multiple Adoption Decisions in a Joint Framework. *American Journal of Agricultural Economics.* 78(3):547–557. en. <https://doi.org/10.2307/1243273>. doi:10.2307/1243273.
- [FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2010. "Climate-Smart" Agriculture: Policies, Practices and Financing for Food Security, Adaptation and Mitigation. Rome, Italy: [sin editorial]; [actualizado el 9 de abr. de 2012; consultado el 28 de jun. de 2020]. <http://www.fao.org/3/i1881e/i1881e00.htm>.
- [FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2013. *Climate-Smart Agriculture: Sourcebook*. [sin lugar]: FAO. 570 p. ISBN: 978-92-5-107721-4; [consultado el 22 de jun. de 2020].
- Gebre GG, Isoda H, Rahut DB, Amekawa Y, Nomura H. 2019. Gender differences in the adoption of agricultural technology: The case of improved maize varieties in southern Ethiopia. *Womens Stud Int Forum.* 76:1–11. eng. doi:10.1016/j.wsif.2019.102264.
- Glover D, Sumberg J, Ton G, Andersson J, Badstue L. 2019. Rethinking technological change in smallholder agriculture. *Outlook Agric.* 48(3):169–180. doi:10.1177/0030727019864978.
- Gomez A. 2016. *Honduras Coffee Annual 2016*. Washington, D. C.: United State Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service. 9 p. HO1603; [consultado el 5 de jul. de 2021]. https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/report/downloadreportbyfilename?filename=Coffee%20Annual_Tegucigalpa_Honduras_4-26-2016.pdf.
- Greene WH. 2003. *Econometric analysis*. 5ª ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall. xxx, 1026. ISBN: 0130661899; [consultado el 20 de may. de 2021]. <https://cutt.ly/imqOLVg>.
- Grothmann T, Patt A. 2005. Adaptive capacity and human cognition: The process of individual adaptation to climate change. *Global Environmental Change.* 15:199–213. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095937800500004X>. doi:10.1016/j.gloenvcha.2005.01.002.
- Guillermo Peón SB, Castañeda Valencia AM. 2020. Efectos de los factores macroeconómicos e individuales sobre la movilidad socioeconómica en México: análisis mediante la estimación de un Modelo Probit Ordenado Generalizado. *eq.* 18(1):75–115. doi:10.18381/eq.v18i1.7197.
- Hammond J, Fraval S, van Etten J, Suchini JG, Mercado L, Pagella T, Frelat R, Lannerstad M, Douchamps S, Teufel N, et al. 2017. The Rural Household Multi-Indicator Survey (RHOMIS) for rapid characterisation of households to inform climate smart agriculture interventions: Description and applications in East Africa and Central America. *Agricultural Systems.* 151:225–233. doi:10.1016/j.agsy.2016.05.003.
- Hannah L, Donatti CI, Harvey CA, Alfaro E, Rodriguez DA, Bouroncle C, Castellanos E, Diaz F, Fung E, Hidalgo HG, et al. 2017. Regional modeling of climate change impacts on smallholder agriculture and ecosystems in Central America. *Climatic Change*; [consultado el 17 de may. de 2021]. 141(1):29–45. doi:10.1007/s10584-016-1867-y.
- Harmer N, Rahman S. 2014. Climate Change Response at the Farm Level: A Review of Farmers' Awareness and Adaptation Strategies in Developing Countries. *Geography Compass.* 8(11):808–822. en. doi:10.1111/gec3.12180.
- Hidalgo HG, Alfaro EJ, Amador JA, Bastidas Á. 2019. Precursors of quasi-decadal dry-spells in the Central America Dry Corridor. *Clim Dyn.* 53:1307–1322. doi:10.1007/s00382-019-04638-y.
- Jellason NP, Conway JS, Baines RN. 2021. Understanding impacts and barriers to adoption of climate-smart agriculture (CSA) practices in North-Western Nigerian drylands. *The Journal of Agricultural Education and Extension.* 27(1):55–72. doi:10.1080/1389224X.2020.1793787.

- Jöreskog KG, Sörbom D. 1993. *Lisrel 8: Structural equation modeling with the SIMPLIS command language*. Hove: Lawrence Erlbaum Associates; Chicago (LISREL 8: Structural Equation Modeling with the SIMPLIS Command Language). ISBN: 9780894980336. <https://books.google.hn/books?id=f61i3quHcv4C>.
- Khonje MG, Manda J, Mkandawire P, Tufa AH, Alene AD. 2018. Adoption and welfare impacts of multiple agricultural technologies: evidence from eastern Zambia. *Agricultural Economics*. 49(5):599–609. doi:10.1111/agec.12445.
- Kim JH. 2019. Multicollinearity and misleading statistical results. *Korean J Anesthesiol*. 72(6):558–569. eng. doi:10.4097/kja.19087.
- Knowler D, Bradshaw B. 2007. Farmers' adoption of conservation agriculture: A review and synthesis of recent research. *Food Policy*. 32(1):25–48. doi:10.1016/j.foodpol.2006.01.003.
- Kpadonou RAB, Owiyo T, Barbier B, Denton F, Rutabingwa F, Kiema A. 2017. Advancing climate-smart-agriculture in developing drylands: Joint analysis of the adoption of multiple on-farm soil and water conservation technologies in West African Sahel. *Land Use Policy*. 61:196–207. doi:10.1016/j.landusepol.2016.10.050.
- Kuhl L. 2020. Technology transfer and adoption for smallholder climate change adaptation: opportunities and challenges. *Climate and Development*. 12(4):353–368. doi:10.1080/17565529.2019.1630349.
- Lipper L, Thornton P, Campbell BM, Baedeker T, Braimoh A, Bwalya M, Caron P, Cattaneo A, Garrity D, Henry K, et al. 2014. Climate-smart agriculture for food security. *Nature Clim Change*; [consultado el 3 de jul. de 2021]. 4(12):1068–1072. <http://www.fao.org/3/ax747e/ax747e.pdf>. doi:10.1038/nclimate2437.
- Magrin GO, Marengo JA, Boulanger J-P, Buckerindge MS, Castellanos E, Poveda G, Scarano FR, Vicuña S. 2014. Central and South America. En: Barros VR, Field CB, Dokken DJ, Mastrandrea MD, Mach KJ, Bilir TE, Chatterjee M, Ebi KL, Estrada YO, Genova RG, et al., editores. *Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability Working Group II contribution to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. New York NY: Cambridge University Press. p. 1499–1566.
- Maharjan KL, Joshi NP. 2013. *Climate Change, Agriculture and Rural Livelihoods in Developing Countries*. Tokyo: Springer Japan. 184 p. ISBN: 978-4-431-54342-8.
- Mailumo SS, Onuwa GC, Oyewole S. 2021. Adoption of Climate Smart Agriculture among food crop farmers in Birnin-Kudu local government area, Jigawa State, Nigeria. *RJOAS*. 110(2):169–176. doi:10.18551/rjoas.2021-02.20.
- Makate C. 2019. Local institutions and indigenous knowledge in adoption and scaling of climate-smart agricultural innovations among sub-Saharan smallholder farmers. *IJCCSM*. 12(2):270–287. doi:10.1108/IJCCSM-07-2018-0055.
- Makate C, Makate M, Mango N, Siziba S. 2019. Increasing resilience of smallholder farmers to climate change through multiple adoption of proven climate-smart agriculture innovations. Lessons from Southern Africa. *Journal of Environmental Management*. 231:858–868. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479718312039>. doi:10.1016/j.jenvman.2018.10.069.
- Mehar M, Mittal S, Prasad N. 2016. Farmers coping strategies for climate shock: Is it differentiated by gender? *Journal of Rural Studies*. 44:123–131. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jrurstud.2016.01.001>. doi:10.1016/j.jrurstud.2016.01.001.
- Mercado L, Merlo Hernández N, Suchini JG. 2015. CCAFS Informe de Línea Base de Hogares-sitio Santa Rita, Copán, Honduras. [sin lugar]: CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security. 30 p; [consultado el 23 de may. de 2021]. https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/77768/Honduras%20Santa%20Rita%20HHBS%20report_FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Mercado L, Padilla D, Hernández L, Merlo Hernández N. 2015. Estudio de línea base a nivel de comunidad: Reporte de análisis de la comunidad Tierra Fría, Santa Rita, Copán, Honduras. [sin lugar]: CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security. 51 p. <https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/80488/VBS%20Site%20report%20Santa%20Rita%20Honduras.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Mica A. 2013. From Diffusion to Translation and Back. *Disembedding-Re-embedding and Re-invention in Sociological Studies of Diffusion*. *Polish Sociological Review*. 181(1):3–19. English. <https://www.ceeol.com/search/article-detail?id=7737>.

- Mittal S, Mehar M. 2015. Socio-economic Factors Affecting Adoption of Modern Information and Communication Technology by Farmers in India: Analysis Using Multivariate Probit Model. *Journal of Agricultural Education and Extension*. 22(2):1–14. doi:10.1080/1389224X.2014.997255.
- Mujeyi A, Mudhara M, Mutenje MJ. 2020. Adoption determinants of multiple climate smart agricultural technologies in Zimbabwe: Considerations for scaling-up and out. *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development*. 12(6):735–746. doi:10.1080/20421338.2019.1694780.
- Murray U, Gebremedhin Z, Brychkova G, Spillane C. 2016. Smallholder Farmers and Climate Smart Agriculture: Technology and Labor-productivity Constraints amongst Women Smallholders in Malawi. *Gend Technol Dev*. 20(2):117–148. eng. doi:10.1177/0971852416640639.
- Njuguna E, Brownhill L, Kihoro E, Muhammad L, Hickey G. 2016. Gendered technology adoption and household food security in semi-arid Eastern Kenya. En: Njuki J, Parkins JR, Kaler A, editores. *Transforming Gender and Food Security in the Global South*. 1ª ed. New York NY: Routledge Taylor & Group. p. 260–282.
- Njuki J, Parkins JR, Kaler A, editores. 2016. *Transforming Gender and Food Security in the Global South*. 1ª ed. New York NY: Routledge Taylor & Group. 326 p.
- Nyberg Y, Wetterlind J, Jonsson M, Öborn I. 2021. Factors affecting smallholder adoption of adaptation and coping measures to deal with rainfall variability. *International Journal of Agricultural Sustainability*; [consultado el 19 de may. de 2021]. 19(2):175–198. doi:10.1080/14735903.2021.1895574.
- Orellana Peña JH. 2019. La socioeconomía del café y las intervenciones desarrollistas en la región occidental de Honduras. *Economía y Administración*. 10(1):6–23. es. <https://www.lamjol.info/index.php/EyA/article/view/9045>. doi:10.5377/eya.v10i1.9045.
- Programa del CGIAR en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria CCAFS. 2019. Santa Rita Climate-Smart Village, Honduras. [sin lugar]: [sin editorial]; [actualizado el 5 de dic. de 2020; consultado el 7 de jul. de 2020]. <https://ccafs.cgiar.org/santa-rita-climate-smart-village-honduras>.
- Quisumbing AR, Meinzen-Dick R, Raney TL, Croppenstedt A, Behrman JA, Peterman A. 2014. Closing the Knowledge Gap on Gender in Agriculture. En: Quisumbing AR, Meinzen-Dick R, Raney TL, Croppenstedt A, Behrman JA, Peterman A, editores. *Gender in Agriculture: Closing the Knowledge Gap*. Dordrecht: The Food and Agriculture Organization of the United Nations and Springer Science +Business Media B.V., Dordrecht. p. 3–30.
- Rogers EM. 1995. *Diffusion of Innovations*. 4ª ed. New York NY: The Free Press. ISBN: 0-02-874074-2; [consultado el 21 de may. de 2021]. <https://cutt.ly/TmqCwA3>.
- Rosas, Carlos J, Gallardo, Omar, Jiménez, José. 2003. Mejoramiento genético del frijol común mediante enfoques participativos en Honduras. *Agronomía Mesoamericana*; [consultado el 30 de may. de 2021]. 14(1):1–9. <https://www.redalyc.org/pdf/437/43714101.pdf>.
- Senyolo MP, Long TB, Blok V, Omta O. 2018. How the characteristics of innovations impact their adoption: An exploration of climate-smart agricultural innovations in South Africa. *Journal of Cleaner Production*. 172:3825–3840. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617311885>. doi:10.1016/j.jclepro.2017.06.019.
- Teklewold H, Gebrehiwot T, Bezabih M. 2019. Climate smart agricultural practices and gender differentiated nutrition outcome: An empirical evidence from Ethiopia. *World Development*; [consultado el 30 de abr. de 2020]. 122:38–53. doi:10.1016/j.worlddev.2019.05.010.
- Teklewold H, Kassie M, Shiferaw B. 2013. Adoption of Multiple Sustainable Agricultural Practices in Rural Ethiopia. *J Agric Econ*. 64(3):597–623. doi:10.1111/1477-9552.12011.
- Torquebiau E, Rosenzweig C, Chatrchyan AM, Andrieu N, Khosla R. 2018. Identifying Climate-smart agriculture research needs. *Cah. Agric*; [consultado el 28 de jun. de 2020]. 27(2):26001. doi:10.1051/cagri/2018010.
- Tsige M, Synnevåg G, Aune JB. 2020. Gendered constraints for adopting climate-smart agriculture amongst smallholder Ethiopian women farmers. *Scientific African*. 7:1-11. doi:10.1016/j.sciaf.2019.e00250.
- van der Zee Arias A, van der Zee J, Meyrat A, Poveda C, Picado L. 2012. Estudio de caracterización del Corredor Seco Centroamericano Tomo I. 1ª ed. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 92 p. Tomo I; [consultado el 17 de may. de 2021]. https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/tomo_i_corredor_seco.pdf.
- Vargas Barrenechea M. 2003. Estimación del Modelo Probit Multivariante: Una Mejora. La Paz, Bolivia: [sin editorial]; [actualizado 2003]. MPRA paper. en;es. <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/591/>.

Tax-Sapón VM, Sanders A, Cárcamo J. 2021. Adopción de prácticas de agricultura sostenible adaptadas al clima: estudio de caso en Honduras. *Ceiba. Zamorano Investiga*: 1–21.

- Wainaina P, Tongruksawattana S, Qaim M. 2018. Synergies between Different Types of Agricultural Technologies in the Kenyan Small Farm Sector. *The Journal of Development Studies*. 54(11):1974–1990. doi:10.1080/00220388.2017.1342818.
- Ward R, Gonthier D, Nicholls C. 2017. Ecological resilience to coffee rust: Varietal adaptations of coffee farmers in Copán, Honduras. *Agroecology and Sustainable Food Systems*. 41(9-10):1–18. doi:10.1080/21683565.2017.1345033.
- Wekesa BM, Ayuya OI, Lagat JK. 2018. Effect of climate-smart agricultural practices on household food security in smallholder production systems: micro-level evidence from Kenya. *Agric & Food Secur*. 7(1):1–14. En;en. <https://agricultureandfoodsecurity.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40066-018-0230-0?optIn=false>. doi:10.1186/s40066-018-0230-0.
- Wollni M, Lee DR, Thies JE. 2010. Conservation agriculture, organic marketing, and collective action in the Honduran hillsides. *Agricultural Economics*. 41(3-4):373–384. doi:10.1111/j.1574-0862.2010.00445.x.
- Yigezu YA, Mugeru A, El-Shater T, Aw-Hassan A, Piggitt C, Haddad A, Khalil Y, Loss S. 2018. Enhancing adoption of agricultural technologies requiring high initial investment among smallholders. *Technological Forecasting and Social Change*. 134:199–206. doi:10.1016/j.techfore.2018.06.006.

Recibido octubre 21, 2021; aceptado noviembre 8, 2021.

Cómo citar: Tax-Sapón VM, Sanders A, Cárcamo J. 2021. Adopción de prácticas de agricultura sostenible adaptadas al clima: estudio de caso en Honduras. *Ceiba. Zamorano Investiga*: 1–21.