

Determinantes de la adopción de tecnologías de Agricultura Climáticamente
Inteligente en Colombia

The determinants of the Adoption of Climate-Smart Agriculture Technologies in
Colombia

MARÍA ANTONIA CHINKOUSKY GIRALDO

MARÍA CAMILA URREGO MORALES

Trabajo de grado

Asesor:

Juan Carlos Muñoz Mora

UNIVERSIDAD EAFIT

ESCUELA DE ECONOMÍA Y FINANZAS

ECONOMÍA

MEDELLÍN

2020

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	6
1. AGRICULTURA CLIMÁTICAMENTE INTELIGENTE: UN MARCO DE REFERENCIA PARA ECONOMÍA.....	9
2. METODOLOGÍA	14
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	16
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	19
REFERENCIAS	22

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Resultados encontrados</i>	17
---	----

RESUMEN

El siguiente trabajo es el producto de una investigación que tiene como objetivo delimitar los determinantes en la adopción de Sistemas Silvopastoriles (SSPI) en la región del Caribe Colombiano y proporcionar información orientadora respecto a las políticas públicas que deberían seguirse en Colombia para lograr un aumento en la implementación de tecnologías climáticamente inteligentes. Este trabajo busca contribuir a los esfuerzos por la mitigación del cambio climático y al mismo tiempo encontrar herramientas que permitan enfrentar los desafíos alimentarios propios de las tendencias de crecimiento poblacional. El resultado de la investigación permitió identificar los factores socioeconómicos y físicos que alientan la adopción de SSPI en esta región, mediante una regresión tipo Probit.

Palabras clave: Sistemas Silvopastoriles, Agricultura Climáticamente Inteligente, Cambio Climático, Desafíos Alimentarios, Huella de Carbono Pecuaria.

ABSTRACT

The following work is the product of a research that aims to delimit the determinants in the adoption of Silvopastoral Systems (SSPI) in the Colombian Caribbean region and provide guidance on the public policies that should be followed in Colombia in order to achieve an increase in the implementation of climate-smart technologies. This work seeks to contribute to the efforts to mitigate climate change and at the same time to find tools to address the food challenges associated with population growth trends. The result of the research allowed to identify the socioeconomic and physical factors that encourage the adoption of SSPI in this region, through a Probit type regression.

Keywords: Silvopastoral Systems, Climate Smart Agriculture, Climate Change, Food Challenges, Livestock Carbon Footprint.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático, el nivel de riesgo planteado por el cambio climático no solo depende de la variación climática, sino de su interacción con otros patrones de evolución de la población, el consumo, la producción, el desarrollo tecnológico y el manejo de la tierra (P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.- O. Pörtner et al., 2019). Respecto al manejo de la tierra, existe una relación entre el cambio climático y ésta. De un lado, el cambio climático ha modificado el manejo del suelo gracias a los distintos fenómenos climatológicos como tormentas, sequías, olas de calor, intensidad de lluvias, inundaciones, aumento en el nivel del mar, erosión costera y descongelamiento de la capa de hielo, además de ocasionar un aumento de las enfermedades y plagas agrícolas, disminuyendo la productividad de los sistemas pastoriles; el cambio en los procesos climáticos deriva en riesgos en el sistema de producción alimentaria, la infraestructura, la salud humana y de los ecosistemas y en general los medios para la subsistencia humana (Banco Mundial et al., 2015). Por otra parte, las prácticas de manejo del suelo contribuyen a la exacerbación del cambio climático, pues la agricultura, la silvicultura y otras actividades relacionadas con el uso de la tierra son responsables de cerca del 13% de las emisiones de CO₂, 44% de Metano CH₄ y 81% de Óxido Nitroso N₂O (Banco Mundial et al., 2015), de esta manera, representan el 23% del total neto de las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero.

En respuesta a lo anterior, es necesario desarrollar estrategias de adaptación para adecuar el producto o servicio a las distintas necesidades y condiciones de cada mercado (ICESI, 2008); y también de mitigación, para limitar o reducir las emisiones de gases efecto invernadero y mejorar los sumideros de Carbono (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, n.d.). Esto con el fin de resolver los problemas de inseguridad alimentaria por medio de una producción sostenible, que tenga la capacidad de adaptarse a las nuevas condiciones medio ambientales y al mismo tiempo mitigue su impacto ambiental, frenando el cambio climático y asegurando el desarrollo y crecimiento económico a largo plazo.

Existe un portafolio de opciones estratégicas de adaptación y mitigación. Muchas de estas estrategias tienen un enfoque específico relacionado con la Sostenibilidad Ambiental, la cual se entiende como la habilidad de satisfacer las necesidades del presente sin comprometer el bienestar de las futuras generaciones (Evans, 2019). Asimismo, se encuentra la opción de Crecimiento Verde, que busca el fomento de crecimiento y desarrollo económico y garantiza que "los activos naturales proporcionen los recursos y servicios ambientales que son la base para el bienestar humano" (OECD, n.d.). Por su parte, la oficina de Sostenibilidad de la Universidad Mary Washington (n.d) define la Sostenibilidad Económica como "*las prácticas que apoyan el crecimiento económico a largo plazo sin afectar negativamente los aspectos sociales, ambientales y culturales de la comunidad*". La Comisión para el Desarrollo Sostenible (CMD) (2011), define el Desarrollo Sostenible como un

enfoque del desarrollo que busca equilibrar las necesidades diferentes y competidoras con una conciencia de las limitaciones ambientales, sociales y económicas que enfrenta la sociedad, es un enfoque del desarrollo que busca un equilibrio entre las necesidades de la sociedad y las limitaciones ambientales, sociales y económicas que tiene la misma.

El factor común de las diferentes estrategias anteriores es la necesidad de adelantar acciones de adaptación y mitigación desde sus diferentes aproximaciones conceptuales, basadas en el desarrollo y la sostenibilidad económica y ambiental, donde se busca promover actividades productivas que logren conciliar la sostenibilidad con la producción. En este contexto, la Agricultura Climáticamente Inteligente (ACI) provee un enfoque pluralista, que no solo integra la adaptación y mitigación, sino que además incorpora la productividad como uno de sus pilares objetivo, de allí que la ACI se considere la versión más refinada de las distintas estrategias ya existentes, pues apunta a realizar de manera conjunta tres objetivos:

- A. Incrementar de manera sostenible la productividad agrícola, para apoyar aumentos equitativos en los ingresos agrícolas, la seguridad alimentaria y el desarrollo;
- B. Adaptar y desarrollar la resiliencia de los sistemas de seguridad agrícola y alimentaria al cambio climático en múltiples niveles; y
- C. Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de la agricultura (incluidos los cultivos, la ganadería y la pesca) (CCFAS & CGIAR, n.d.)

De este modo, la ACI ayuda a enfrentar desafíos importantes pues resuelve los problemas relacionados con la inseguridad alimentaria como la obesidad y la desnutrición; contribuye a combatir la pobreza ayudando a los grupos marginados quienes tienen como principal fuente de ingresos las actividades agrícolas, al desarrollo de estrategias que lleven al aumento de la productividad bajo el marco de las actuales condiciones climáticas y que al mismo tiempo conduzcan a un manejo responsable del suelo (CCFAS & CGIAR, n.d.).

En Colombia la adopción de la ACI empezó hace más de dos décadas. Según el Centro Internacional de Agricultura Tropical -CIAT-, la agro-forestaría está siendo implementada en más del 35% de los sistemas cafeteros colombianos (Banco Mundial et al., 2015); mientras que en el Cauca se ha implementado tecnologías de ACI para el fortalecimiento de los cultivos de leguminosas y el Banco Mundial realiza actualmente la implementación del programa internacional *Climate Smart Villages* que aborda proyectos relacionados con la silvicultura y la rotación de cultivos. Por otra parte, en la región Caribe el Ministerio de Agricultura ha creado las llamadas Mesas Agroclimáticas, donde los campesinos se reúnen periódicamente con expertos en meteorología para discutir y recibir información climática que les permite tomar decisiones respecto a sus cultivos, también se ha realizado proyectos relacionados con los sistemas silvopastoriles en la región.

No obstante, la implementación de la ACI en Colombia ha sido limitada, sus tasas de adopción son bajas y no se tiene un seguimiento sistemático de sus implementaciones (Banco Mundial et al., 2015). En este sentido, se necesita un fortalecimiento institucional que permita generar procesos de planificación y una "estrategia integrada para la gestión del riesgo" (Banco Mundial et al., 2015). También, es crucial aumentar la inversión en investigación y desarrollo que actualmente solo representa el 0.2% del PIB nacional (Banco Mundial et al., 2015). La evidencia proporcionada por distintos estudios muestra que hay múltiples oportunidades de entrada para la ACI en Colombia (Banco Mundial et al., 2015). Una oportunidad importante de estudio es la implementación de sistemas silvopastoriles en la costa Caribe, pues según el CIAT y el Ministerio de Agricultura de Colombia, esta región es la mayor productora de carne bovina. En el año 2010 FEDEGAN, el Banco Mundial y otras organizaciones internacionales comienzan una iniciativa encaminada a ejercer sistemas silvopastoriles en 48.000 hectáreas de pastizales, muchos de los que pertenecen a pequeños productores campesinos.

Teniendo en cuenta la definición de la ACI y el grado de implementación en Colombia mencionados anteriormente, cobra relevancia que se investigue acerca de esta. En este orden de ideas, es importante preguntarse ¿cuáles son los principales determinantes para una adopción adecuada de los sistemas silvopastoriles asociados a la Agricultura Inteligente al Cambio Climático en Colombia? Resolver esta pregunta resulta vital para determinar las políticas públicas óptimas para la adaptación al cambio climático, la mitigación de los efectos contaminantes provocadas por el mal uso de la tierra y el aumento de la productividad de forma sostenible. En particular es importante indagar si factores como la educación, la edad y la tenencia o no de la tierra, el área total de esta, la proporción de cultivos sembrados en la misma, el acceso al crédito, las capacitaciones y la genética de los animales, son relevantes para la adopción de Sistemas silvopastoriles.

Con base en lo anterior, el objetivo de este texto es analizar los determinantes de la adopción del sistema de mejora de pastales en Colombia con el fin de buscar alternativas de Agricultura Climáticamente Inteligente que se puedan implementar en la zona del Caribe colombiano, comprendida por los departamentos de Córdoba, Sucre, Bolívar, Magdalena, Cesar y La Guajira.

A través de una revisión de literatura para construir un marco teórico que permita tener un contexto general de la Agricultura Climáticamente Inteligente y su relevancia económica; también, mediante la identificación de los determinantes del sistema de mejora de pastales en Colombia, mediante la aplicación de un modelo Probit, para establecer relaciones causales entre las variables relevantes y; delimitando algunos aspectos importantes del sistema, que permitan establecer elementos generales que se puedan aproximar a la implementación de una política pública en el sector de la agricultura.

Este trabajo esta compuesto por cuatro secciones, la primera expone un marco de referencia teórico; la segunda sección presenta la metodología que se utilizó para la realización del trabajo; en la tercera se encuentran los resultados encontrados y, por último, en la cuarto se termina con unas conclusiones y recomendaciones.

1. AGRICULTURA CLIMÁTICAMENTE INTELIGENTE: UN MARCO DE REFERENCIA PARA ECONOMÍA

La teoría de la empresa busca explicar cómo se toman las decisiones de producción minimizando sus costos, está depende de tres componentes: la tecnología de la producción, que representa la forma en la que se transforman los factores (capital, trabajo, materias primas) en productos (bienes o servicios); la restricción de los costos, que ilustra el valor que tienen los factores; y las elecciones de factores, que son las decisiones que se toman a la hora de combinar los factores para lograr una producción más eficiente.

Los productores cuentan con diversas combinaciones mediante las que pueden transformar los factores en productos. La relación entre la producción y los factores del proceso puede describirse por medio de una función de producción. Una función de producción, indica el máximo nivel de producción que puede obtener una empresa con cada combinación específica de factores. Dentro, de la variedad de factores que puede utilizar una empresa para su función de producción se encuentra el trabajo, el capital y la tecnología. A medida que la tecnología es más avanzada y la función de producción varía, una empresa puede obtener más producción con un conjunto dado de factores (Pindyck & Rubinfeld, 2013).

Para el interés de este trabajo, se busca entender la producción de los pequeños productores. En este sentido, se utilizará el Modelo Agrícola de Hogares, explicado por Singh et al (1986). De esta manera, para cualquier ciclo de producción los pequeños productores maximizan su utilidad con los productos agrícolas (x_a), la compra del bien en el mercado (x_m) y el ocio (x_l).

$$U = U(X_a, X_m, X_l) \quad (1)$$

La maximización del pequeño productor esta sujeta a una restricción de ingreso, que serían los precios del mercado (p_m) y los precios del producto agrícola (p_a). Respectivamente Q es la producción, entonces $Q - X_a$ es el superávit del mercado, w es el salario del mercado, L es el trabajo y F es el trabajo familiar, entonces $L - F$ si es positivo se contrata mano de obra y si es negativo no se contrata.

$$p_m X_m = p_a(Q - X_a) - w(L - F) \quad (2)$$

Igualmente, los pequeños productores se enfrentan una restricción de tiempo, puesto deben balancear entre su tiempo de ocio, trabajo en la granja y tiempo del hogar. Entonces, T es el tiempo total de pequeño productor.

$$X_l + F = T \quad (3)$$

También, existe una restricción de producción tecnológica que representa la relación entre inputs y outputs. En esta ecuación A es la cantidad fija de tierra que posee el pequeño productor.

$$Q = Q(L, A) \quad (4)$$

Las tres restricciones del pequeño productor pueden expresarse en una misma ecuación de restricción, sustituyendo la restricción de producción por la restricción del ingreso del producto agrícola para Q y sustituyendo la restricción del tiempo por la restricción del ingreso del producto agrícola para F, lo que produce una sola restricción, donde $\pi = p_a Q(L, A) - wL$ y es una medida de las ganancias de la granja.

$$p_m X_m + p_a X_a + wX_l = wT + \pi \quad (5)$$

En esta ecuación (5), la parte izquierda representa el gasto del pequeño productor y en el lado derecho se muestra una representación de Becker, acerca de la renta en donde el valor del tiempo (wT) es lo que posee el pequeño productor y además se incluye una medida de las ganancias de la granja con los costos del trabajo a valor del mercado. En estas ecuaciones el pequeño productor puede escoger el nivel de consumo para tres productos y el total de trabajo dedicado a la producción agrícola, pero se necesita maximizar para conocer su óptimo. De esta manera para el trabajo la condición de primer orden es.

$$\frac{p_a \partial Q}{\partial L} = w \quad (6)$$

En este sentido, el pequeño productor iguala el ingreso marginal del trabajo con lo salarios del mercado laboral. Esta ecuación solo contiene una variable endógena L. En consecuencia, la ecuación puede resolverse para L como una función de los precios (p_a y w), por los parámetros tecnológicos de la función de producción y por el área fija de tierra. Estas decisiones se pueden tomar independiente del consumo y el ocio. De esta manera, L quedaría de la siguiente forma.

$$L^* = L^*(w, p_a, A) \quad (7)$$

Esta ecuación, puede sustituirse por la parte derecha de la ecuación (5) para obtener el valor del ingreso total cuando las ganancias agrícolas se han maximizado a través de una elección adecuada de insumos laborales. Así, la ecuación (5) podría reescribirse donde Y^* es el valor del ingreso total asociado con la maximización de las ganancias.

$$p_m X_m + p_a X_a + wX_l = Y^* \quad (8)$$

Maximizando la utilidad sujeta a la nueva versión de la ecuación, las condiciones de primero orden serían las condiciones estándares de la teoría de demanda del consumidor.

$$\frac{\partial U}{\partial X_m} = \lambda p_m \quad (9)$$

$$\frac{\partial U}{\partial X_a} = \lambda p_a \quad (10)$$

$$\frac{\partial U}{\partial x_l} = \lambda w \quad (11)$$

En este sentido, el consumo depende de los precios y el ingreso. En el caso de los pequeños productores el ingreso está determinado por las actividades productivas del mismo. De esta manera, se deduce que los cambios en los factores de producción influyen en las variaciones de Y^* y, por lo tanto, el comportamiento del consumo. El comportamiento de consumo no es independiente del comportamiento de producción.

Los gobiernos, son responsables de gran parte de los avances tecnológicos, pues a través de políticas públicas llevan a cabo programas y proyectos que le apuntan a el aumento de conocimiento y en ocasiones adquisición de capital. La manera, en la que los pequeños productores responden a las intervenciones estatales, en temas de agricultura, es una forma crítica para determinar los méritos de las alternativas planteadas por las políticas aplicadas. En este punto, cobra relevancia conocer como el comportamiento de los pequeños trabajadores afecta el consumo y el trabajo.

En este sentido, los Modelos Agrícolas de Hogares están diseñados para capturar la relación del análisis teórico con la aplicación empírica, para ilustrar las consecuencias de la intervención de una política pública, principalmente en tres dimensiones: el efecto del bienestar de los pequeños agricultores; el efecto que tienen las políticas gubernamentales en otros segmentos de la población rural; y el desempeño del sector agricultura, desde una perspectiva multisectorial, teniendo en cuenta que la agricultura es una fuente de ingresos públicos y afecta el mercado de divisas.

Entendiendo esto, se puede ver que la tecnología afecta la producción de los pequeños productores y la implementación de esta puede mejorar sus ingresos. La tecnología, es un factor plenamente reconocido en la actualidad y juega un papel muy importante, tanto para la organización como para la economía. Sin embargo, no todos los actores económicos tienen una idea clara de su significado pues a lo largo de la historia ha sido asociado, principalmente, a los activos duros o tangibles, sin tener en cuenta, las llamadas tecnologías blandas o no tangibles. Por lo que es oportuno abordar, esta definición para una mejor comprensión del término:

"Conjunto de conocimientos e información propios de una actividad que pueden ser utilizados en forma sistemática para el diseño, desarrollo, fabricación y comercialización de productos o la prestación de servicios, incluyendo la aplicación de las técnicas asociadas a la gestión (CITMA, 2012). Citado por Valdés (2019)."

De esta manera, se evidencia que la tecnología puede ser aplicada en cualquier tipo de organización, pues las actividades que lleva a cabo están determinadas por el saber hacer. La tecnología, no puede reducirse a las maquinas, los equipos y las instalaciones físicas, que sirven para transformar los factores en producto, por el contrario, también incluye la información, conocimiento, experiencias y habilidades, que, junto con los bienes tangibles, conforman un cuerpo dotado de capacidades para tomar decisiones y actuar para lograr los objetivos socioeconómicos necesarios.

Según Schumpeter (1934), la innovación es la combinación de todas las nuevas formas de comercialización basada en la aplicación de cualquiera de los siguientes: nuevos materiales y componentes, la introducción de nuevos procesos, la apertura de nuevos mercados y la introducción de nuevas formas organizacionales (Anokhin et al., 2015). De esta manera, el aumento de la eficiencia de la utilización de los recursos es innovación. La teoría de Schumpeter tuvo su mayor impacto en el campo de la empresa, dado que, dentro de la misma, se le da a la empresa el rol detrás de la fuerza de la innovación, sin embargo, también se menciona que el Estado (a través de las políticas públicas), tendría un papel activo dentro del tema de la innovación porque las empresas por si solas no serían capaces de asumir el peso que trae consigo la implementación de las nuevas tecnologías. En este sentido, se asume que los hacedores de política se convertirían en un objeto de análisis importante, en términos de innovación, sobre todo a nivel nacional y regional, puesto que la adopción de políticas en pro de la innovación generaría que empresas de todos los tamaños tuvieran la oportunidad de acceder a tecnologías para implementar dentro de sus procesos y ser más eficientes, generando mejoras en la función de producción.

En este sentido, se identifican distintas formas de innovación a partir de la implementación de tecnologías con el fin de generar funciones de producción más eficientes, que puedan producir más productos o de mejor calidad, con los mismos o menos recursos. Teniendo en cuenta el contexto ambiental actual y que la mayoría de los países en desarrollo conservan la agricultura como principal recurso, es importante que los enfoques innovadores que se desarrollen para la productividad de pequeños productores, consideren mecanismos de adaptación al cambio climático de las variedades existente y de las que se generen en el futuro, deben ser considerados en los programas de mejoramiento genético y de manejo de agronómico de los cultivos (Gómez-Merino et al., 2014).

Según el Banco Mundial (2015), la ACI es uno de los componentes del manejo de la tierra climáticamente inteligente. "Se trata de un enfoque para el mejoramiento

del manejo del sistema agrícola y alimenticio, para simultáneamente incrementar la productividad y resiliencia y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero”.

Dentro de las múltiples opciones que existen de ACI, se encuentra los sistemas silvopastoriles (SSPI). La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), describe los sistemas silvopastoriles como "una forma de combinar árboles con pasturas y animales dentro de una parcela" (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), n.d.). Así mismo, Según Vargas (n.d.), los tipos de Sistemas Silvopastoriles son:

- Árboles dispersos en potreros: Establecimiento de diferentes tipos de árboles que generan beneficios ambientales, como, fijación y nitrógeno y beneficios productivos, entre ellos, madera, frutos, leña y forraje.
- Cercas vivas: Siembra árboles y arbustos establecidos que tienen por objetivo el reemplazo de postes muertos hechos de madera o cemento.
- Barreras corta viento: Franjas de árboles múltiples que ayudan a reducir el efecto negativo de los vientos sobre los pastos y animales. Sus principales aportes son el forraje, madera y frutos.
- Corredores ribereños: Se forman franjas de vegetación a lo largo de los ríos o quebradas, ayudan a disminuir el efecto negativo de plaguicidas y contaminantes orgánicos y proteger al mismo.
- Bancos mixtos de forraje: Cultivos que asocian especies herbáceas, arbóreas y arbustivas de alto valor nutricional, el objetivo principal de estos cultivos es obtener forrajes ricos en proteína, minerales, azúcares, fibra y vitaminas para la alimentación del ganado.
- Sistema Silvopastoril intensivo: es un modelo que combina el cultivo de pasturas con arbustos forrajeros en alta densidad y árboles maderables o frutales para la industria, el autoconsumo y la protección de la biodiversidad.

Teniendo en cuenta, las características anteriormente mencionadas de la ACI y los SSPI, como una alternativa que le apunta a los objetivos de las ACI, se entiende como una innovación en temas de agricultura, a partir de la implementación de nuevas tecnologías que les permite a los pequeños productores mitigar los daños realizados al planeta, proteger sus cultivos de cambios climáticos drásticos y además construir modelos productivos más eficientes.

Como resultado de la revisión teórica, se espera que un incremento en la innovación cree un aumento en la producción, manteniendo todo lo demás constante (*ceteris paribus*). No obstante, la adopción de tecnologías de ACI y específicamente SSPI, pueden tener costos de entrada que limiten su implementación. Estos últimos, asociados a niveles de educación, acceso a crédito y capacitación en el tema. En este sentido, la hipótesis principal del trabajo espera que los factores determinantes en la adopción de ACI (en este caso, SSPI), por parte de los campesinos que

habitan la región del caribe colombiano, puntualmente en los departamentos de Córdoba, Sucre, Bolívar, Magdalena, Cesar y La Guajira, sean la educación, la edad y la tenencia o no de la tierra, el área total de esta, la proporción de cultivos sembrados en la misma, el acceso al crédito, las capacitaciones y la genética de los animales.

2. METODOLOGÍA

El objetivo empírico del presente trabajo es estimar los determinantes en la aplicación de sistemas silvopastoriles en el Caribe colombiano, a partir del análisis de factores como la educación, la edad y la tenencia o no de la tierra, el área total de esta, la proporción de cultivos sembrados en la misma, el acceso al crédito, las capacitaciones y la genética de los animales. Para esto se utilizó un modelo de respuesta binaria tipo Probit, dada la naturaleza binaria (si/no) de las preguntas realizadas a los campesinos.

La principal fuente de información es la encuesta realizada por la Universidad de Harvard en el 2017 titulado "Study of pasture adoption in the Colombian Caribbean". Esta encuesta, fue realizada a 388 pequeños productores dedicados a la ganadería ubicados en los departamentos de Córdoba, Sucre, Bolívar, Magdalena, Cesar y La Guajira, quienes diligenciaron un cuestionario de más de 800 preguntas. El tipo de preguntas realizadas brindan información acerca de aquellos determinantes biológicos y socioeconómicos que influyen en la adopción de SSPI en el Caribe Húmedo Colombiano.

Como se menciona anteriormente, se decidió realizar un análisis de probabilidades a partir de un modelo de respuesta binaria donde se busca estimar la probabilidad los determinantes de la Adopción de SSPI, de la siguiente manera:

$$P(\text{Adopción del SSPI} | x)$$

Donde x es un vector de variables $x = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9\}$ donde

$x_1 = \text{Educación del Jefe}$

$x_2 = \text{Edad del Jefe}$

$x_3 = \text{Tenencia de tierra}$

$x_4 = \text{Área de la finca}$

$x_5 = \text{Área de cultivos}$

$x_6 = \text{Distancia al distrito agrícola más cercano}$

$x_7 = \text{Acceso al crédito}$

$x_8 = \text{Capacitaciones}$

$x_9 = \text{Chequeos reproductivos}$

Aparte de los controles mencionados, se incluyeron efectos fijos a nivel de región con el fin de controlar por posibles variables omitidas a este nivel geográfico. Para la realización del modelo se incluyó para la variable Y (dependiente) los datos recopilados en la encuesta que responden a la pregunta: “¿ha implementado Sistemas Silvopastoriles?”, mientras que las variables que explican los determinantes de la implementación de SSPI están dadas por un bloque de variables relacionadas con el pequeño productor: educación, edad y tenencia o no de la tierra; un bloque de variables concernientes a la finca: el área total de esta y la proporción de cultivos sembrados en la misma; la variable categórica departamento, el acceso al crédito, las capacitaciones y una variable concerniente a la genética de los animales.

Estimar un Modelo de Probabilidad Lineal (MPL), dice Wooldridge (2002), tiene desventajas como que las probabilidades ajustadas pueden ser menores que cero o mayores que uno y el efecto parcial de cualquier variable explicativa (si aparece en la ecuación en su nivel) es constante. Sin embargo, un modelo de respuesta binaria puede superar esas limitaciones. Este último, trabaja con variables dependientes cuyo rango de valores está restringido de forma importante, en este sentido, solo asume dos valores, el cero y el uno. Así mismo, su interés yace en la probabilidad de respuesta donde y es igual a cero o uno dado una x que denota el conjunto total de variables explicativas. Para evitar las limitaciones del MPL, se considera un modelo de respuesta binaria que incluya una función creciente, que se denotará como G , que asume valores estrictamente entre cero y uno: $0 < G(z) < 1$ para todos los números reales z .

$$P(y = 1 | x) = G(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k) = G(\beta_0 + X\beta)$$

$$X\beta = \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k$$

En el caso del modelo Probit (Wooldridge, 2009), G es la función de distribución acumulada normal estándar, que se expresa como una integral y su distribución $\Phi(z)$ es la densidad normal estándar. Esta elección de G asegura que todos los valores de los parámetros y las x_j estén estrictamente entre cero y uno.

$$G(z) = \Phi(z) = \int_{-\infty}^z \phi(v) dv$$

$$\phi(z) = (2\pi)^{-\frac{1}{2}} \exp\left(\frac{-z^2}{2}\right)$$

El modelo Probit puede derivarse de un modelo de variable latente subyacente. De esta manera, sea y^* una variable inobservable o latente subyacente. Así, se introduce la variable que se determinaría así.

$$y^* = \beta_0 + x\beta + e$$

$$y = 1[y^* > 0]$$

Por tanto, y es uno si $y^* > 0$ y y es cero si $y^* \leq 0$. Se supone que e es independiente de x y tiene una función de distribución logística estándar o normal estándar, de esta manera distribuye simétricamente en torno a cero. En el presente trabajo, y esta representada por una variable que se pregunta por la adopción de SSPI en las distintas fincas.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tabla 1. Determinantes de la adopción del SSPI en la Costa Caribe colombiana.

Resultados efectos marginales de la regresión Probit

Variable dependiente Y: ¿Ha implementado SSPI?

<i>Variables explicativas</i>	<i>Bloques de variables</i>				
	<i>Individuales</i>	<i>Individuales Finca</i>	<i>Individuales Finca Crédito</i>	<i>Individuales Finca Crédito Capacitación</i>	<i>Individuales Finca Crédito Capacitación Chequeos reproductivos</i>
<i>Cesar</i>	0.205**	0.2046**	0.1855*	0.1805*	0.1704*
<i>Guajira</i>	0.219*	0.2290*	0.2165*	0.2131*	0.2175*
<i>Córdoba</i>	0.131*	0.1183*	0.1050	0.1040	0.0611
<i>Sucre</i>	0.239***	0.2324**	0.2064**	0.2104**	0.1598*
<i>Bolívar</i>	0.0255	0.0277	0.0326	0.0294	0.0166
<i>Educación del jefe</i>	0.010**	0.0097**	0.0097**	0.0088*	0.01083**
<i>Edad del jefe</i>	0.002*	0.0025*	0.0031*	0.0030*	0.0030*
<i>Tenencia de la tierra</i>	-0.062	-0.0357	-0.0662	-0.0663	-0.0407
<i>Área de la finca</i>		0.000081*	0.000077*	0.00007*	0.0001
<i>Área de cultivos</i>		0.0005	0.0011	0.0012	0.0012

<i>Distancia al distrito agrícola más cercano</i>		-0.0001	0.0001	0.0001	0.000001
<i>Acceso al crédito</i>			0.11690***	0.1119**	0.1166***
<i>Capacitaciones</i>				0.0541	0.0440
<i>Chequeos reproductivos</i>					0.0257
<i>Constante</i>	-0.54	-0.5596	-0.5981	-0.5867	-0.6010

Nota: *p < 0.1; **p < 0.05; ***p < 0

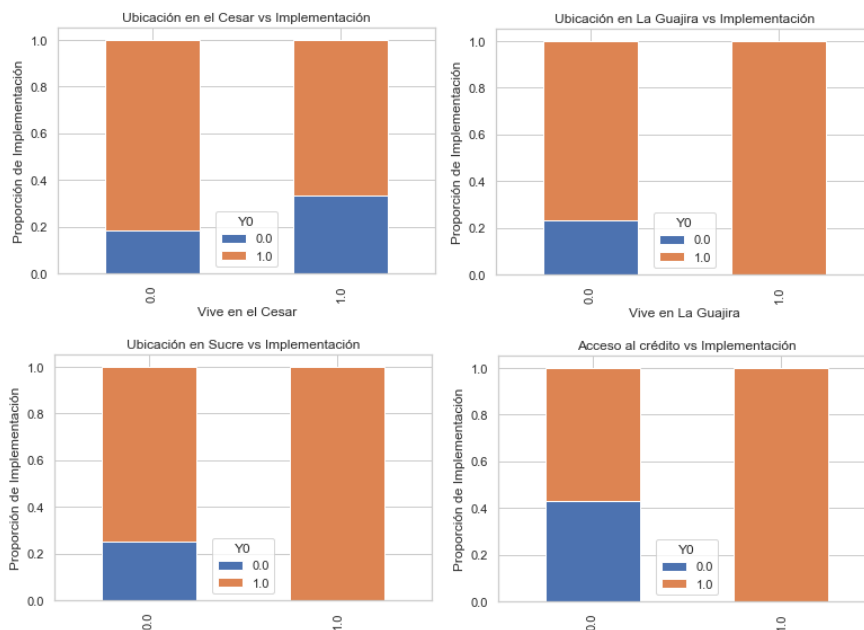
Observaciones: 388

Fuente: Elaboración propia. Datos: Harvard University. (2018). *Study of pasture adoption in the Colombian Caribbean*. - CIAT - International Center for Tropical Agriculture Dataverse. <https://dataverse.harvard.edu/dataset.xhtml?persistentId=doi:10.7910/DVN/Y5EOTN>

A diferencia de los modelos lineales donde los resultados son arrojados directamente por medio de la estimación de los coeficientes o los Betas, en los modelos de respuesta binaria como el Probit, son los efectos marginales los que brindan resultados más informativos pues los presentan como cambios o diferencias marginales en las probabilidades.

Mediante la estimación de efectos fijos se eliminó la heterocedasticidad inobservable de la variable departamento y usando el Magdalena como variable omitida se encontró que las variables Cesas, Guajira y Sucre son estadísticamente significativas, esto significa que los pequeños productores que viven en estos departamentos son más propensos a implementar SSPI que aquellos que viven en el Magdalena.

Figura 1. Resultados encontrados



Fuente: Elaboración propia. Datos: Harvard University. (2018). *Study of pasture adoption in the Colombian Caribbean*. - CIAT - International Center for Tropical Agriculture Dataverse. <https://dataverse.harvard.edu/dataset.xhtml?persistentId=doi:10.7910/DVN/Y5EOT>

Además de la variable departamento, las variables que tuvieron un nivel de significancia suficiente fueron: edad y educación del jefe de familia, área de la finca y acceso al crédito. Los efectos marginales respectivos informan que, si el jefe de familia cuenta con un mayor nivel educativo se incrementa la probabilidad de adoptar SSPI en 1.083 puntos porcentuales, asimismo si este tiene una edad madura la probabilidad de que adopte SSPI aumenta en 0.3 puntos porcentuales, además si se posee una finca con un área considerablemente grande la probabilidad de que se implemente SSPI aumenta en 0.07 puntos porcentuales, por último si se tiene acceso al crédito se incrementa la probabilidad de que se adopte SSPI en 11.19 puntos porcentuales. (Ver Figura 1). Estos resultados explican la baja tasa de adopción de los SSPi, puesto que, la mayoría de personas encuestadas solo cuentan con educación primaria; además, estos en su mayoría son de bajos recursos y aunque son dueños de propiedades, las hectáreas que poseen no son suficientes para implementar un sistema silvopastoril; asimismo, independientemente de la cantidad de personas que solicitan un crédito en esta población, son muy pocos los que logran acceder al crédito y por tanto, son muy pocos quienes cuentan con el capital físico para la implementación de los SSPi.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Desde el siglo XIX, comenzó la preocupación por el calentamiento global tras el descubrimiento de alteraciones en los glaciares. La comunidad científica, argumentó que las emisiones humanas del efecto invernadero podían generar cambios en el clima, sin embargo, los datos suministrados no lograron que se generaran los cambios pertinentes. Durante el siglo XX, el aumento del calentamiento atmosférico y la mejora de las tecnologías lograron que el tema tuviera más visibilidad y credibilidad.

Latinoamérica y el Caribe son un territorio propenso a sufrir desastres naturales y escasez de agua, en su mayoría se encuentran países en vía de desarrollo que no están preparados para enfrentar fenómenos naturales. Las prácticas relacionadas con el uso de la tierra, como la deforestación, la degradación forestal y la agricultura son responsables de casi el 50% de las emisiones de la región (World Bank, 2016). Esto sumado al incremento en el uso de combustibles fósiles, señala que los cambios en el clima serán mucho más frecuentes e intensos en los próximos años, lo cual representa un obstáculo para el crecimiento económico de los países de la zona.

El Banco Mundial recomienda aumentar la inversión en estrategias que permitan “proteger la competitividad agrícola de climas extremos y de cambios en la hidrología, introducir nuevos productos para impulsar la resiliencia de las pequeñas economías agrícolas” (2016). Un plan, que implemente este tipo de estrategias permitirá que por medio de políticas pública se aproveche de manera óptima los recursos naturales en la región, generando beneficios en los sectores social, industrial y ambiental; así como contribuyendo al crecimiento económico sostenible para estos países en vía de desarrollo.

Este proceso, evoca un esfuerzo por parte de campesinos, investigadores y hacedores de política, donde se asuma el desafío que representa el cambio climático y de manera colectiva se transforme la agricultura y el sistema de comida.

En el caso de Colombia, desde 1994 el gobierno ha tomado acciones con respecto al calentamiento global y cambio climático. Dentro de estas se encuentra varias leyes, CONPES y resoluciones en pro del medio ambiente y el desarrollo (Ministerio de Ambiente de Colombia, n.d.). Adicionalmente, Colombia, realizó un análisis de las características fisicobióticas y socioeconómicas para determinar la vulnerabilidad del país ante los efectos adversos del cambio climático con base en los principales cambios hidrometeorológicos relacionados con el fenómeno. De los resultados, se obtiene que Colombia es altamente vulnerable a los efectos de la variabilidad del clima, lo que pone en riesgo la sostenibilidad del desarrollo y hace necesaria la elaboración de una estrategia coordinada para la adaptación a los impactos que tendrán estos fenómenos sobre la población, el medio ambiente y la economía del país. Actualmente el país, cuenta con proyectos que contienen medidas de mitigación, pero para sectores como el industrial, energético, forestal,

de residuos y de transporte en el ámbito nacional, que cuentan con mayor capital y oportunidad de invertir en este tipo de medidas. Lo que implica, que haya barreras para los pequeños productores y campesinos del país.

El convenio "Clima y sector agropecuario colombiano - Adopción para la sostenibilidad productiva" realizado por el Gobierno Colombiano y el Centro para la Investigación en sistemas sostenibles de producción agropecuaria (CIPAV), encontró que la implementación de Sistemas Silvopastoriles Intensivos (SSPI) como instrumento para la mitigación de gases de efecto invernadero producto de la actividad ganadera, es una apuesta ganadora en cuanto a agriculturas "que busquen trabajar en el campo por la seguridad alimentaria, con mejores ingresos y disminuyendo su impacto ambiental" (Banco Mundial et al., 2015).

Es una realidad, que el cambio climático ha afectado a la agricultura y ha generado grandes pérdidas a los productores, por lo que se vuelve necesario que se presenten mejoramientos en el suplemento de paquetes de tecnología y se mejoren las estrategias y políticas que puedan mitigar los cambios causados y las consecuencias futuras.

En cuanto a los resultados, se encontró que las variables socioeconómicas concernientes a los pequeños productores son determinantes fundamentales en la adopción de SSPI; dado que los beneficios de estos se obtienen a largo plazo, los años de educación son vitales para que los productores identifiquen y entiendan los beneficios que tendrá el implementar esta tecnología climáticamente inteligente. Además, estar en edad madura también es determinante en la adopción de estos sistemas, pues la experiencia es un aliciente para ello. Por otra parte, los campesinos de la costa caribe no cuentan con el capital físico suficiente para incursionar en nuevos métodos agrícolas de este tipo, por lo que tener acceso a créditos especializados es un factor que alienta la implementación de SSPI. Asimismo, los SSPI son un sistema diseñado para ser implementado en pastales de grandes extensiones, por lo que el área de las fincas es un factor decisivo y necesario para la adopción de estos.

En este sentido, para la región estudiada es importante considerar, a la hora de diseñar e implementar políticas públicas, el papel de los ingresos extras obtenidos por ocupaciones secundarias de los campesinos y de la intervención genética en animales, como factores determinantes de la adopción de SSPI, también considerar factores como la educación en estas nuevas herramientas para que los campesinos entiendan la importancia y los diferentes beneficios que trae consigo la implementación de los SSPI, puesto que el desconocimiento de los procedimientos lleva consigo una desconfianza a la hora de adentrarse en nuevas transiciones que a mediano y largo plazo son beneficiosas tanto para los pequeños productores, en términos de producción, como para la mitigación y prevención del cambio climático, en este punto es importante reconocer las características socioeconómicas de la ruralidad colombiana y las desventajas con las que cuenta este sector, de manera que la inversión en lo rural, como se ha mencionado a lo largo del trabajo, es

importante y necesaria en este punto. De la mano de estrategias de educación y capacitaciones, deben existir también acceso a préstamos y créditos con tasas de interés que estimulen la adquisición de estos, para que sea posible que los pequeños campesinos tengan la iniciativa y posibilidad de implementar los SSPI en sus fincas y cumplir con sus respectivos pagos.

Como se ha resaltado a lo de este largo del trabajo, Colombia es un país que cuenta con las características para aplicar diferentes métodos de ACI y así mismo con políticas públicas y normativas que cobijan y defienden estos temas ambientales. Sin embargo, son reducidas las estrategias que le apuntan a la implementación de estas tecnologías, por lo que es importante que este proceso sea un esfuerzo conjunto entre campesinos, investigadores y hacedores de política pública, donde se asuma el desafío que representa el cambio climático y de manera colectiva la transformación de la agricultura en el país. Lo anterior, aplicado al Modelo Agrícola de Hogares, permitiría que los pequeños productores mejoren su productividad a través de estrategias innovadoras y mejoras tecnológicas de la mano del gobierno central, departamental y local que tendría repercusiones directas en el sector agrícola y en la zona rural.

Finalmente, esta investigación coincide con los resultados encontrados en la literatura consultada en cuanto a la importancia que tienen la educación y el acceso al crédito a la hora de estudiar los determinantes de adopción de SSPi en pequeños productores; no obstante, de acuerdo con lo consultado, podría resultar controversial el hecho de que según los resultados de este trabajo las capacitaciones no son un factor que determine la implementación de SSPi.

REFERENCIAS

- Anokhin, S., Wincent, J., & Ylinenpää, H. (2015). Technological Expansions, Catching-Up „Innovations and Technological Shifts at the Regional Level: Conceptual Considerations and Empirical Illustration. *Regional Studies*, 50(8), 1433–1448. <https://doi.org/10.1080/00343404.2015.1027886>
- Banco Mundial, CIAT, & CATIE. (2015). *Agricultura Climáticamente Inteligente en Colombia*. 2da. ed. Washington D.C.: Grupo del Banco Mundial., 1–12. https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/51367/CSA-en-Colombia_Spanish.pdf
- Banco Mundial, CIAT, & CATIE. (2015). *Agricultura Climáticamente Inteligente en Colombia*. 2da. ed. Washington D.C.: Grupo del Banco Mundial., 1–12. https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/51367/CSA-en-Colombia_Spanish.pdf
- CCFAS & CGIAR. (n.d.). *Home | Climate-Smart Agriculture Guide*. Retrieved March 13, 2020, from <https://csa.guide/csa/references#main-index>
- Evans, M. (2019). *What Is Environmental Sustainability?* <https://www.thebalancesmb.com/what-is-sustainability-3157876>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (n.d.). *Sistemas Silvopastoriles*. Retrieved March 12, 2020, from <http://www.fao.org/3/ah647s/ah647s05.htm>
- Gómez-Merino, F., Trejo-Téllez, L., Morales-Ramos, Salazar-Ortiz, Velasco-Velasco, Sentíes-Herrera, H., & Ladewig, P. (2014). NECESIDADES DE INNOVACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 7(2), 22–26. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Harvard University. (2018). *Study of pasture adoption in the Colombian Caribbean*. - CIAT - International Center for Tropical Agriculture Dataverse. <https://dataverse.harvard.edu/dataset.xhtml?persistentId=doi:10.7910/DVN/Y5EOTN>
- ICESI, C. de C. E. U. (2008). *ESTRATEGIA DE ADAPTACION Y DE ESTANDARIZACION | CONSULTORIO DE COMERCIO EXTERIOR*. <https://www.icesi.edu.co/blogs/icecomex/2008/02/08/estrategia-de-adaptacion-y-de-estandarizacion/>

- Ministerio de Ambiente de Colombia. (n.d.). *Historia de Colombia Frente al Cambio Climático* | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Retrieved February 24, 2020, from <https://www.minambiente.gov.co/index.php/convencion-marco-de-naciones-unidas-para-el-cambio-climatico-cmnucc/historia-de-colombia-frente-al-cambio-climatico>
- Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (n.d.). *Mitigación* | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Retrieved May 12, 2020, from <https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/461-plantilla-cambio-climatico-17>
- OECD. (n.d.). *Green growth and sustainable development - OECD*. Retrieved February 24, 2020, from <https://www.oecd.org/greengrowth/>
- P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.- O. Pörtner, D. C. R., P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. P., & Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.). (2019). *IPCC, 2019: Summary for Policymakers. In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. 1–34.
- Pindyck, R. S., & Rubinfeld, D. L. (2013). *Microeconomía (8a. ed.)*. Pearson Educación. <https://www.bajalibros.com/CO/Microeconomia8ED-Robert-S-Pindyck-y-Daniel-L-Rubinfeld-eBook-471536>
- Singh, I., Squire, L., Strauss, J., & World Bank. (1986). *Agricultural household models : extensions, applications, and policy*. 335.
- Sustainable Development Commission. (2011). *What is sustainable development?* <http://www.sd-commission.org.uk/pages/what-is-sustainable-development.html>
- University Mary Washington. (n.d.). *Sostenibilidad Económica* | Oficina de sostenibilidad. Retrieved February 23, 2020, from <https://sustainability.umw.edu/areas-of-sustainability/economic-sustainability/>
- Valdés García, C. (2019). *Reflexiones sobre definiciones de innovación, importancia y tendencias Reflections on definitions of innovation, importance and trends* (Vol. 21, Issue 4). <http://www.ciget.pinar.cu/ojs/index.php/publicaciones/article/view/488/1581>

Vargas Gairán, K. (n.d.). *Sistema silvopastoril: simbiosis positiva*. Retrieved March 12, 2020, from <https://www.elcampesino.co/que-son-los-sistemas-silvopastoriles/>

Wooldridge, J. M. (2009). *Introducción a la econometría Un enfoque moderno*.

World Bank. (2016). *World Bank Group Climate Action Plan*. <http://pubdocs.worldbank.org/pubdocs/publicdoc/2016/4/677331460056382875/WBG-Climate-Change-Action-Plan-public-version.pdf>

World Bank. (2016). *World Bank Group Climate Action Plan*. <http://pubdocs.worldbank.org/pubdocs/publicdoc/2016/4/677331460056382875/WBG-Climate-Change-Action-Plan-public-version.pdf>