



Determinantes de la adopción de tecnologías para el manejo eficiente del agua por los cultivadores de palma de aceite en la zona Norte Colombiana

Diana Martínez Arteaga

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agrarias
Departamento de Desarrollo Rural y Agroalimentario
Bogotá, Colombia

2022

Determinantes de la adopción de tecnologías para el manejo eficiente del agua por los cultivadores de palma de aceite en la zona Norte Colombiana

Diana Martínez Arteaga

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Gestión y Desarrollo Rural

Director(a):

Ph.D. Nolver Atanacio Arias Arias

Ph.D. Dursun Barrios

Línea de Investigación:

Desarrollo Empresarial Agropecuario

Grupo de Investigación:

Biogénesis

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias

Departamento de Desarrollo Rural y Agroalimentario

Bogotá, Colombia

2022

Dedicatoria

*A Dios por permitirme ver su obra de amor en mí.
Gratitud hoy y siempre.*

*A mis padres por cultivar en mí, el amor hacia la
educación, hacia lo que hago y a trabajar por los
sueños*

*Son innumerables las personas que han colocado un
granito de arena en este trabajo. Para cada uno de
ellos, luz, salud y mucho amor*

*Finalmente, celebro este logro personal que me
motiva a seguir aprendiendo y a aportar en el
desarrollo de un sector y país*

*Si no te enfrentas a los desafíos no podrás crecer. Si
no asumes riesgos no podrás mejorar. Si no afrontas
tus miedos no descubrirás tu verdadero y enorme
potencial.*

Mario Alonso Puig.

Declaración de obra original

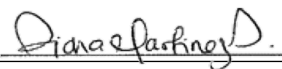
Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.



Diana Martínez Arteaga

28/06/2022

Agradecimientos

Agradezco a Dios por permitirme ser instrumento de su amor.

Agradezco a Jorge Alonso Beltrán Giraldo, por su apoyo incondicional. Asimismo, a Nolver Arias, Dursun Barrios y Aquiles Darghan, por sus valiosos aportes y disposición siempre.

Agradezco a los profesores de la Universidad Nacional de Colombia, que participaron en mi crecimiento académico. Gracias por creer en el sector Palmero Colombiano. En este sentido, un agradecimiento especial al Fondo de Fomento Palmero y al Centro de Investigación de Palma de Aceite - Cenipalma por el apoyo en la financiación del trabajo.

Finalmente, a mi familia por el apoyo en tiempo y recursos.

Resumen

Determinantes de la adopción de tecnologías para el manejo eficiente del agua por los cultivadores de palma de aceite en la zona Norte Colombiana

La palma de aceite es uno de los sectores con más desarrollo en la agricultura colombiana. Los palmicultores, invierten cada año recursos muy importantes (cerca de USD\$10 millones) en investigación y desarrollo de tecnologías para afrontar retos como la eficiencia productiva, competitiva y sostenible. Sin embargo, la adopción de tecnologías de riegos presurizados, nutrición balanceada y manejo fitosanitario ha sido tradicionalmente muy baja.

No obstante, el cultivo de palma de aceite ha venido creciendo en los últimos años en diferentes zonas geográficas del país, observándose siembras en condiciones edafoclimáticas de baja aptitud para la producción agrícola, como es el caso de la zona Norte, que presenta limitaciones en la disponibilidad de agua y desbalance de bases en el suelo, y los agricultores de la región comúnmente utilizan sistemas de riego por superficie, los cuales presentan eficiencias que difícilmente llegan al 50%. Así, con este trabajo de investigación se busca determinar los factores que pueden influir en la adopción de tecnologías para el manejo eficiente del agua por los palmicultores ubicados alrededor de la cuenca del río Sevilla en el departamento del Magdalena. Para lograr el objetivo planteado, se tipificaron los productores de palma de aceite en función de las características demográficas y socioeconómicas, se identificaron las características influyentes en la adopción de riegos presurizados por parte de los productores y se implementó una versión extendida del modelo de aceptación de tecnología para predecir la intención de usar riegos presurizados por parte de los agricultores de palma de aceite. Los resultados revelaron que menos del 15% de los productores adoptan riegos presurizados. Además, los productores de palma de aceite de la muestra eran heterogéneos con respecto a las características socioeconómicas y demográficas. Los factores que más influyen en la adopción de tecnologías son la edad, el tamaño de la plantación y el acceso a extensión. En cuanto, a la aceptación de riegos presurizados puede predecirse adecuadamente a partir de las intenciones de los agricultores. Finalmente, si bien, en esta investigación se quiso integrar los diferentes aspectos que influyen en la adopción de tecnologías, es importante en futuros trabajos considerar la racionalidad económica como impulsor en la adopción de tecnologías.

Palabras clave: extensión agrícola, tecnologías de riego, modelo de aceptación tecnológica, tipología de productores.

Abstract

Determinants of the adoption of technologies for efficient water management by oil palm growers in the Colombian North

Oil palm is one of the most developed agricultural sectors in Colombian agriculture. Palm growers invest significant resources each year (close to USD\$10 million) in the research and development of technologies to meet agribusiness challenges such as productive, competitive and sustainable efficiency. However, the adoption of pressurized irrigation technologies, balanced nutrition and phytosanitary management has traditionally been very low.

However, the adoption of these technologies has traditionally been very low. In recent years, palm oil plantations have expanded to diverse geographic areas across the country. As a result, many new plantings have been done under edaphoclimatic conditions less suitable for agricultural production. The Northern region of Colombia is a great example, with limited water availability and less fertile soils. Farmers in the region commonly use surface irrigation systems, which present efficiencies that hardly reach 50%. Thus, this project seeks the factors that influence the adoption of technologies for efficient water management by palm growers in the Cuenca Rio Sevilla in the department of Magdalena. To achieve the stated objective, oil palm producers were classified according to demographic and socioeconomic characteristics, several factors on the adoption of pressurized irrigation were identified, and an extended version of the technology acceptance model was implemented. The results revealed that less than 15% of the farmers studied adopt pressurized irrigation. In addition, oil palm producers in the sample were heterogeneous with respect to socioeconomic and demographic characteristics. The factors with the most influence are age, size of the plantation, and access to the extension. As for the acceptance of pressurized irrigation, it can be adequately predicted from the intentions of the farmers. Finally, although in this research we have wanted to integrate the different aspects that influence the adoption of technologies, it is important in future works to consider economic rationality as a driving force in the adoption of technologies.

Keywords: agricultural extension, irrigation technologies, technology acceptance model, farm typology.

Contenido

Resumen	VI
Lista de Figuras	IX
Lista de Tablas	X
Lista de Abreviaturas	XII
Introducción	1
1 Tipología socioeconómica y demográfica de los productores de palma aceitera en Colombia a través del análisis de componentes principales categóricos y clúster difuso	5
1.1 Introducción	6
1.2 Metodología	9
1.3 Resultados	12
1.4 Discusión	15
1.5 Conclusiones	18
2 Adopción de tecnologías de riego por parte de los productores de palma de aceite: un análisis con redes neuronales	20
2.1 Introducción	21
2.2 Marco conceptual	23
2.3 Fuente de datos y métodos de análisis	26
2.3.1 Fuente de datos	26
2.3.2 Métodos de análisis	28
2.4 Resultados y Discusión	30
2.5 Conclusiones	34

3	Determinantes de la aceptación de tecnologías para la gestión eficiente del agua por parte de los productores de palma de aceite	36
3.1	Introducción	37
3.2	Marco teórico e hipótesis	38
3.2.1	Modelo de Aceptación de Tecnología (TAM)	38
3.2.2	Extensión de TAM	40
3.3	Metodología	44
3.3.1	Características de los encuestados	44
3.3.2	Diseño y desarrollo del instrumento de medida	44
3.3.3	Técnicas de análisis estadístico	45
3.4	Resultados y Discusión	46
3.5	Conclusiones	55
4	Conclusiones y recomendaciones	57
4.1	Conclusiones	57
4.2	Recomendaciones	58
	Bibliografía	59

Lista de Figuras

1-1	Porcentajes de varianza expresados por dimensiones resultantes de los datos revelados que describen las características de los productores y las plantaciones.	12
1-2	Porcentajes de las variables por grupos de productores de palma de aceite en la zona Norte de Colombia.	15
1-3	Rasgos distintivos de los grupos de productores identificados en la zona Norte de Colombia. .	17
2-1	Representación gráfica de las variables y sus categorías del modelo de adopción de tecnologías de riego.	30
2-2	Variables influyentes en la adopción de tecnologías de riego en el cultivo de palma de aceite. .	31
2-3	Curva ROC de las redes neuronales para las variables influyentes en la adopción de tecnologías de riego en el cultivo de palma de aceite.	34
3-1	Modelo teórico propuesto.	44
3-2	Modelo estructural y coeficientes de trayectoria de las variables latentes del modelo teórico propuesto.	47

Lista de Tablas

1-1	Variables encuestadas que describen las características de los productores y las plantaciones.	11
2-1	Definición de las variables del modelo de adopción de tecnologías de riego.	27
3-1	Evaluación del modelo de medida a través de la fiabilidad compuesta - CR y la varianza media extraída - AVE.	49
3-2	Evaluación del modelo de medida a través de la validez discriminante – HTMT.	50
3-3	Evaluación del modelo de medida a través de la validez discriminante - criterio de carga cruzada.	50
3-4	Evaluación del coeficiente de trayectoria del modelo estructural.	52

Lista de Abreviaturas

Abreviaturas

Abreviatura	Término
ACM	Análisis de Correspondencia Múltiple
Ha	Hectáreas
IPM	Índice de Pobreza Multidimensional
ACP	Análisis de Componentes Principales
RPM	Redes Percepción Multicapa
TAM	Modelo de Aceptación de Tecnología
TPB	Teoría del Comportamiento Planificado
TRA	Teoría de la Acción Razonada

Introducción

La agroindustria de la palma de aceite es uno de los sectores con mayores perspectivas de crecimiento en el mundo [Iskandar et al., 2018]. Estas perspectivas se fundamentan en el gran potencial de mercado de los derivados del fruto de la palma, para suplir una demanda global proyectada de aceites vegetales que se calcula será 70 % superior en el 2050 [Corley, 2009]; [Barcelos et al., 2015]; [Ibragimov et al., 2019]. En consecuencia, se pronostica que la demanda para 2050 será de 240 millones de toneladas por año. Es decir, una demanda proyectada para aumentar sustancialmente en el futuro [Ayompe et al., 2021].

El cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis Jacq*) está siendo ampliamente establecido en América Latina como un cultivo básico a gran escala [Azhar et al., 2017]. No obstante, ha impulsado un rápido crecimiento económico en varios países tropicales y ha contribuido al alivio de la pobreza rural [Sayer et al., 2012]. En Colombia, la palmicultura se ha venido consolidando como uno de los líderes dentro del sector agrícola nacional, por su dinámica productiva, versatilidad y por su creciente compromiso con la sostenibilidad. La tasa de crecimiento anual de la producción durante los años 2011 y 2020 fue del 7.1 %. En consecuencia, la producción alcanzó una participación del 9.1 % en el PIB agrícola nacional y se proyecta como una actividad en alza, con potencial para generar prosperidad económica, en armonía con el medioambiente y con responsabilidad social [Fedepalma, 2020].

Sin embargo, en algunos países del mundo, especialmente en el sudeste asiático la expansión del cultivo de palma de aceite se ha asociado con la deforestación y pérdida de la biodiversidad [Jelsma et al., 2019], y el agotamiento de los recursos hídricos [Santika et al., 2019]. No obstante, las predicciones climáticas muestran que el recurso hídrico es cada vez más escaso y la demanda mundial de agua crecerá alrededor del 20-30 % para 2050 [Castillo et al., 2021]. En consecuencia, la incertidumbre de las lluvias inducida por el cambio climático puede incidir en la productividad de la agricultura, logrando profundas consecuencias sociales y económicas. En este sentido, la variabilidad del clima está desafiando la capacidad de adaptación de las comunidades socio ecológicas en regiones con influencia de palma de aceite [Pérez et al., 2016].

En este escenario, durante la estación seca hay alta demanda de uso de agua para riego, siendo ampliamente extendido entre los palmicultores el riego por inundación o superficial, el cual es ineficiente por las pérdidas registradas desde que el agua sale de la fuente hasta que llega al sitio a ser irrigado [Zhang et al., 2019]. Para lo cual, las innovaciones basadas en el medio ambiente incluyen un grupo de prácticas agrícolas sostenibles, tales como, tecnologías de agricultura de precisión, gestión mejorada de nutrientes y sistemas relacionados con el agua [Adnan et al., 2017], como ejemplo, las tecnologías de riegos presurizados (goteos y aspersores). Para hacer que un sector agrícola sea eficiente y sostenible, la adopción de tecnologías innovadoras es particularmente relevante [Kaliba et al., 2020]. Teniendo en cuenta que las demandas urbanas y rurales determinarán aumentos en el uso de agua, se hace necesario que los productores adopten riegos presurizados (en virtud de la presión a la cual funcionan) que permitan la producción de manera sostenible bajo el escenario de incremento del déficit hídrico que se espera con el cambio y la variabilidad climática [Castillo et al., 2021].

Sin embargo, a pesar del conocimiento de la eficiencia de los riegos presurizados, la adopción de esta tecnología es baja [Araujo et al., 2019]. No obstante, la adopción es el resultado de un complejo, dinámico e interactivo proceso que ocurre dentro de un conjunto heterogéneo de actores [Aguilar-Gallegos et al., 2015]. Junto a esto, existe un desajuste entre las tecnologías disponibles y las circunstancias socioeconómicas de los agricultores, toda vez, que las decisiones de adopción dependen de las diversas necesidades y habilidades de los agricultores [Kaliba et al., 2020]. En consecuencia, la baja adopción de tecnologías, o su subutilización, puede estar asociado a varios factores, entre estos; las características de los usuarios, las tecnologías, o bien, el soporte organizacional [Park et al., 2014]; [Castillo et al., 2021]; [Bernal-Hernández et al., 2021].

Este trabajo de investigación se enfocó en estudiar los determinantes de la adopción de riegos presurizados para el manejo eficiente del agua y para ello se trabajó con los productores ubicados en la cuenca del río Sevilla en el departamento del Magdalena, zona Norte de Colombia. El interés de los productores de esta zona en la investigación radicó en que se encuentran ubicados en un departamento que presenta condiciones edafoclimáticas de baja aptitud para la producción agrícola; con estación seca de cinco a ocho meses sin lluvias, la cual ocasiona graves afectaciones, toda vez que en las plantas el agua es fundamental para que puedan cumplir con su ciclo vital. No

obstante, el recurso hídrico es cada vez más escaso para la producción agrícola, atribuido en parte al cambio climático y al aumento de la población. Para lo cual, los productores, como principal usuario de agua dulce, pueden aumentar significativamente su eficiencia en el uso del agua mediante tecnologías de riegos presurizados. Sin embargo, los agricultores de la región comúnmente utilizan sistemas de riego por superficie, los cuales presentan eficiencias que difícilmente llegan al 50 %.

Para la ejecución de este trabajo se plantearon las siguientes preguntas de investigación: ¿Cuáles son las características demográficas y socioeconómicas de los productores de palma de aceite? ¿Cuáles son las características influyentes por parte de los productores en la adopción de riegos presurizados? ¿Cuáles son los determinantes de la aceptación de riegos presurizados por parte los productores de palma de aceite?

Para dar respuesta a las preguntas de investigación, se han planteado los siguientes objetivos general y específicos

Objetivo general:

Estudiar los determinantes en la adopción de riegos presurizados, para el manejo eficiente del agua por los palmicultores en la zona Norte colombiana.

Objetivos específicos:

- 1) Caracterizar a los productores de palma de aceite en la zona Norte de Colombia.
- 2) Analizar la adopción de la tecnología de riegos presurizados en la producción de palma de aceite en la zona Norte de Colombia.
- 3) Establecer los factores que inciden en la aceptación de la tecnología riegos presurizados, por los palmicultores en la zona Norte.

De acuerdo con los objetivos planteados, a continuación se proporcionan los conceptos centrales en la investigación:

- 1) Adopción de tecnologías: es la integración de una nueva tecnología en la práctica existente [Rogers Everett, 1962]; [Loevinsohn et al., 2013]. La adopción de tecnologías puede estar asociada a varios factores, entre estos; las características de los usuarios, las tecnologías, o bien, el soporte organizacional.

Dentro de los factores asociados a la adopción tecnológica, se destaca las tecnologías. Para lo cual, surge el Modelo de Aceptación de Tecnologías - TAM. Es así, como se deriva el siguiente concepto:

2) Aceptación de tecnologías: se define como “un antagonismo del término rechazo y significa la percepción positiva hacia una tecnología” [Taherdoost, 2018]. La aceptación de una tecnología puede predecirse adecuadamente a partir de la intención de uso. Es decir, la intención de uso explica el comportamiento de la aceptación de la tecnología [Adnan et al., 2017].

Este documento se encuentra distribuido en tres capítulos que corresponde a un artículo científico para cada objetivo. En el primero se presenta la tipología socioeconómica y demográfica de los productores de palma de aceite en Colombia. En el segundo capítulo, se presentan las características influyentes en la adopción de tecnologías de riego por parte de los productores de palma de aceite. Posteriormente, en el capítulo tres, se presentan los determinantes de la aceptación de tecnologías para la gestión eficiente del agua por parte de los palmicultores. Finalmente, las conclusiones y las recomendaciones generales.

1. Tipología socioeconómica y demográfica de los productores de palma aceitera en Colombia a través del análisis de componentes principales categóricos y clúster difuso

Resumen

La palma de aceite es uno de los sectores con más desarrollo en la agricultura colombiana. Los agricultores invierten cada año recursos importantes en investigación y desarrollo de tecnologías para afrontar los retos de la agroindustria e identificar oportunidades. A pesar de estos esfuerzos e inversiones sustanciales en capital físico y humano, la adopción de tecnologías es limitada. Una de las causas de la subutilización o uso incorrecto de la tecnología se debe a la tipología de los usuarios. El objetivo de este estudio fue tipificar a los productores de palma de aceite en función de las características demográficas y socioeconómicas y, la adopción de tecnologías de riego. La visualización de los grupos se logró utilizando componentes principales categóricos y aglomeración difusa. Los resultados evidenciaron que cuatro grupos de productores difieren entre sí. Además, se diferencian en cuanto a sus niveles de adopción, alcanzando mayor uso de la tecnología cuando hay mejores ingresos del cultivo y cuando los productores son más jóvenes. Se concluye que los productores de palma de aceite son heterogéneos. Por tanto, es necesario diseñar estrategias de extensión específicas considerando las brechas entre grupos de productores. En consecuencia, conocer la tipología de los agricultores es un paso fundamental cuando el objetivo es ampliar el proceso de adopción a través de servicios de extensión personalizados o por agrupaciones donde sea mayor la similitud intra-clúster.

Keywords: Farm typology, Cluster analysis, Technology adoption, Agricultural extension, Intensification

1.1. Introducción

El aceite de palma se ha convertido en un importante producto básico y su demanda creciente se asocia con los requerimientos para la industria de alimentos, cosméticos, jabonería, farmacéuticos y biocombustibles [Azhar et al., 2017]. En consecuencia, se pronostica que la demanda para 2050 será de 240 millones de toneladas por año [Corley, 2009]. Es decir, una demanda proyectada con tendencia al incremento.

El aceite de palma es un producto básico importante que contribuye a los medios de subsistencia de muchas comunidades, al PIB de los países y al logro de varios objetivos de desarrollo sostenible (ODS), incluidos la pobreza, el hambre cero y el trabajo decente y el crecimiento económico [Ayompe et al., 2021]. Este cultivo, se siembra enteramente en los países en desarrollo de los trópicos húmedos, donde a menudo constituye una base importante para las economías locales, tanto para exportación como materia prima para la industria local [Teoh, 2010]. El Grupo del Banco Mundial, con su misión de reducir la pobreza, considera que este producto básico puede desempeñar un papel importante en la promoción del desarrollo económico en estos países, así como en la mejora del nivel de vida de los pobres de las zonas rurales cuando se cumple la gama completa que aborde los riesgos sociales, económicos y de gobernanza y se contribuya a la seguridad alimentaria mundial. En consecuencia, esta agroindustria ha impulsado un rápido crecimiento económico en varios países tropicales, los cuales la promueven como un importante contribuyente al alivio de la pobreza rural, así como la independencia alimentaria y energética [Sayer et al., 2012]; [Pirker et al., 2016].

El área cultivada en palma de aceite aumentó de menos de 5 millones de hectáreas en 1980 a más de 20 millones de hectáreas en 2018; de las cuales el 50 % del área en el mundo está gestionada por pequeños productores [Qaim et al., 2020]. Además, en algunos países los pequeños agricultores tienen el 94 % de la tierra sembrada con palma de aceite [Meijaard et al., 2018]. Para Colombia, la palma de aceite es un sector agroindustrial clave al que apuntan los formuladores de políticas como una estrategia para integrar a los pequeños agricultores en la cadena de valor de los agronegocios para aliviar la pobreza y reducir los niveles de violencia rural asociados con los conflictos por la tierra y

la producción de cultivos ilícitos [Bernal-Hernández et al., 2021]. Así, en 1998 las grandes empresas con planta de beneficio y con cultivos propios manejaban directamente el 52 % del área con palma de aceite y los proveedores de fruto, en su mayoría de pequeña y mediana escala, participaban con 48 % del total del área. En la actualidad, los proveedores de fruto, en su mayoría pequeños productores cultivan el 70 % del área cultivada y las empresas con planta de beneficio, el 30 % [Cenipalma, 2020].

En Colombia, la palmicultura se ha venido consolidando como una de las actividades agrícolas líderes en el ámbito nacional, por su dinámica productiva, versatilidad y por su creciente compromiso con la sostenibilidad. En este sentido, en un estudio global que estima estadísticamente el crecimiento de la palma entre 1989 y 2013 en países y regiones productoras y su aporte a deforestación, en Colombia se identificó una tasa de cero (0) deforestación neta a pesar de un crecimiento palmero del 69.5 % durante este periodo en que hubo alta expansión [Ministerio de ambiente Colombia, 2017]. La Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma) reporta una tasa de crecimiento anual de la producción de 7.1 % durante los años 2011 y 2020. En consecuencia, la producción alcanzó una participación del 9.1 % en el PIB agrícola nacional y se proyecta como una actividad en alza, con potencial para generar prosperidad económica, en armonía con el medioambiente y con responsabilidad social. Sin embargo, a pesar de que la producción de palma de aceite ha experimentado un crecimiento considerable, el rendimiento obtenido del cultivo en Colombia nos ubica ligeramente por encima de Indonesia (3,18 t aceite/ha) y del promedio de América (2,93 t aceite/ha), y debajo del rendimiento de Malasia (3,66 t aceite/ha); cifras lejanas de las metas sectoriales de las 23 toneladas de fruto y de las 5 toneladas de aceite por hectárea promedio país [Fedepalma, 2020]. La explicación de dicha brecha tiene que ver con múltiples factores de gran impacto, entre ellos el déficit hídrico de algunas zonas (especialmente el Norte del país), la falta de infraestructura de riego, entre otros, que sin duda requieren aunar esfuerzos para implementar estrategias que permitan un mejor aprovechamiento del potencial productivo del cultivo bajo un enfoque de sostenibilidad.

En el caso de la zona Norte (departamento del Magdalena), cerca del 90 % del área sembrada con palma de aceite tiene métodos de aplicación de riegos con baja eficiencia, que procuran suplir el déficit hídrico, pero que no permiten complementar la baja oferta ambiental, y a largo plazo estos sistemas ineficientes se vuelven insostenibles por el alto consumo de agua y la baja disponibilidad

del recurso hídrico en esta zona palmera. Así, el agua se está convirtiendo en un recurso escaso debido a condiciones relacionadas con el cambio y la variabilidad climática; además que las explotaciones agrícolas demandan el 60 % del agua extraída en el mundo, y cada día existe más evidencia de la poca disponibilidad de este recurso, lo que implica que cuando un palmicultor decide regar sus cultivos, la eficiencia del sistema para el uso de agua debe ser un elemento para tener en cuenta [Álvarez et al., 2018]. Por lo tanto, los productores necesitan considerar la incorporación de riegos eficientes para compensar las necesidades agrícolas [Mpanga and Idowu, 2021], toda vez que pueden coadyuvar a la sostenibilidad y viabilidad de la agroindustria en regiones con limitaciones de agua. Adicionalmente, la aplicación de riegos eficientes (goteos y aspersores) son una forma de gestión del agua agrícola especialmente en áreas con escasez de recursos hídricos [Piwowar et al., 2021], permitiendo disminuir los impactos asociados con el cambio y la variabilidad climática [Nonvide, 2018].

Para hacer que un sector agrícola sea eficiente y sostenible, la adopción de tecnologías innovadoras es particularmente relevante. No obstante, la adopción es el resultado de un complejo, dinámico e interactivo proceso que ocurre dentro de un conjunto heterogéneo de actores [Aguilar-Gallegos et al., 2015]. Junto a esto, existe un desajuste entre las tecnologías disponibles y las circunstancias socioeconómicas de los agricultores, toda vez, que las decisiones de adopción dependen de las diversas necesidades y habilidades de los agricultores [Kaliba et al., 2020]. En consecuencia, en muchas ocasiones se ha asociado la tipología de los agricultores con la baja implementación de tecnologías y los bajos rendimientos [Jelsma et al., 2019]. Para mejorar la adopción de tecnologías, [Wesley and Faminow, 2014] enfatizaron la importancia del vínculo entre la investigación y la extensión para el desarrollo de servicios de asesoramiento personalizados. En este sentido, vincular la tipología de los agricultores, según ciertos puntos en común o diferencias, es un paso esencial para explorar los factores que explican la adopción; además, la clasificación también ayuda a comprender las limitaciones de adopción existentes, así como a encontrar oportunidades de cambio [Kaliba et al., 2020]. Para tipificar los grupos de productores y encontrar las características más destacadas respecto a la adopción de tecnologías, se usaron análisis de componentes principales categóricos y aglomeración difusa. Bajo los referentes mencionados, este trabajo utiliza los resultados para identificar posibles investigaciones y sistemas de apoyo a la extensión para cada grupo definido. En la siguiente sección, se presenta la descripción y los métodos de investigación utilizados, en la sección 1.3 los resultados que surgen del análisis estadístico, en la sección 1.4 la

correspondiente discusión y finalmente las conclusiones en la sección 1.5.

1.2. Metodología

Se utilizaron las encuestas de campo de 131 productores (área de 3.200 ha de palma de aceite) ubicados en la cuenca del Rio Sevilla, en el departamento del Magdalena, sobre los indicadores socioeconómicos y demográficos, avalados y promulgados por instituciones acreditadas internacionalmente como la Cepal, DANE y FAO [DANE, 2018], realizada por el Centro de Investigación de Palma de Aceite – Cenipalma, durante los meses de mayo y julio de 2021.

Para tratar la matriz de datos generada se utilizó un análisis de componentes principales categóricos (ACPC) [Gifi, 1990], el cual es una forma particular del análisis de componentes principales (ACP) no lineal basado en la codificación categórica de las variables en matrices indicadoras G_1, \dots, G_m que satisfacen las proporcionalidades:

$$x_y \propto m^{-1} \sum_i G_y y_j$$

$$y_j \propto D_j^{-1} G_j' x$$

donde x es el vector de scores de los objetos y y_j es el vector de cuantificaciones de las categorías de la j -ésima variable. Los pasos implementados en el software R implicaron inicialmente la actualización del vector de scores, normalización, actualización de la cuantificación de las categorías y la prueba de convergencia.

Esta metodología permite la extracción de las contribuciones por variables o por observaciones de forma análoga al ACP usual. Con estas contribuciones y con la varianza explicada por las dimensiones extraídas se dispuso de información métrica de las contribuciones por fila de modo que el número de dimensiones que alcance cierto umbral forma la nueva matriz de datos.

Es importante mencionar que actualmente, en las ciencias sociales y del comportamiento se utilizan estas técnicas multivariantes que proporcionan visualizaciones interesantes para datos complejos [Alberti, 2013], obtenidos de encuestas en las que cada pregunta corresponde a una variable y cada posible respuesta es una categoría de esa variable [Gaitan and Ríos, 2020]. Para el ACPC, se seleccionaron 15 variables correspondientes al tamaño de la finca, uso de la tierra, tipo de tenencia de

la tierra, ganancias del cultivo, tipo de trabajadores que contrata al año, actividades económicas, edad, género del productor, educación, adopción de tecnologías de riego y finalmente si empleaban prácticas agrícolas como: aplicación de riego, fertilizantes y esquema de manejo de plagas y enfermedades (Tabla 1-1).

Seguidamente se utilizó el análisis de clúster difuso para formar grupos con las contribuciones individuales. Sin embargo, el algoritmo requiere un parámetro de “fuzziness” o validación de resultados para lo cual, se desarrolló un algoritmo que permitiera optimizar este parámetro junto con el índice de [Xie X L, Beni G, 1991] para seleccionar el número de grupos a construir [Lathief et al., 2020]. Una vez seleccionado el parámetro optimizando por el índice se aplicó el método de análisis de clústeres para posteriormente cerrar con la tipificación o caracterización de los grupos.

El análisis de clúster es una herramienta de exploración diseñada para descubrir las agrupaciones naturales de un conjunto de datos, permitiendo así la generación de criterios de información e identificación de grupos homogéneos de objetos y/o individuos en una base de datos [Li et al., 2021]. En consecuencia, cuando sea mayor la similitud intra-clúster, se puede entender y estudiar mejor la naturaleza del agrupamiento. Por lo tanto, permite comprender las limitaciones de adopción existentes, así como encontrar oportunidades de cambio y sistemas de apoyo a la extensión para cada grupo identificado.

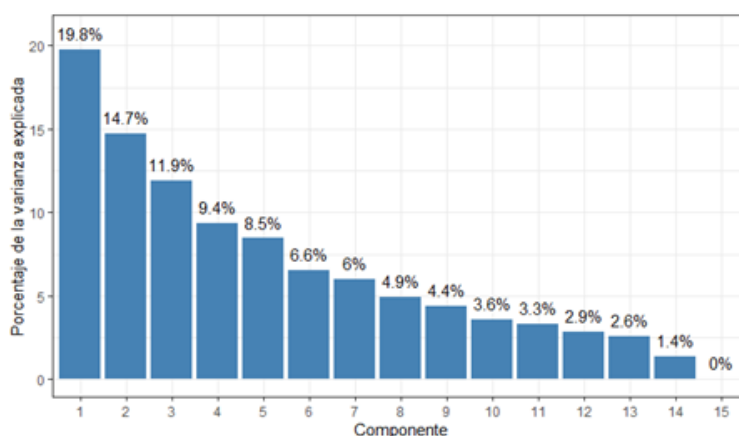
Tabla 1-1: Variables encuestadas que describen las características de los productores y las plantaciones.

Categoría	Variable	Unidad
Demografía y socioeconomía	Edad	Años
	Sexo	1 = Hombre, 2 = Mujer
	Sabe leer y escribir	No, Si
	Nivel de Estudios	0 = Ninguno, 1 = Bajo (primaria), 2 = Medio (secundaria)
	Título de Educación Superior	0 = Ninguno, 1 = Técnico o Tecnólogo, 2 = Profesional
Características de la finca	Tamaño de la finca	1 = <50 ha, 2 = 51-500 ha
	Categoría Fedepalma	
	Uso del predio	1 = Exclusivamente para producción, 2 = Producción y residencia permanente
	Tipo de tenencia	1 = Herencia en suseción, 2 = Propietario con título, 3 = Possedor, 4 = Arrendatario, 5 = Copropietario con título
Actividades productivas	Trabaja en actividades diferentes al cultivo	No, Si
	Tipo de trabajadores	1 = Familiares - Asalariados, 2 = Familiares, 3 = Asalariados
	Ganancias del cultivo de palma (ingrrsos mensuales)	1 = De 0a500.000, 2 = De 500,000a1'500.000, 3 = De 1'500,000a3'000.000, 4 = De 3'000,000a6'000.000, 5 = Más de \$6'000.000
Características en el cultivo	Utiliza sistema de riego	No, Si
	Adopción de tecnologías de riego	1 = si el agricultor tiene riegos por superficie/inundación, 2 = si el agricultor adopta tecnologías de riego eficientes (goteo o aspersores)
	Utiliza fertilizantes	No, Si
	Posee esquema de manejo de plagas y enfermedades	No, Si

1.3. Resultados

Del análisis de componentes principales categóricos se obtuvo como resultado que seis componentes recogieron el 70.8% de la variabilidad de los datos; de este se extrajo la matriz de scores de los componentes que se ilustran en la Figura 1-1.

Figura 1-1: Porcentajes de varianza expresados por dimensiones resultantes de los datos revelados que describen las características de los productores y las plantaciones.



Fuente: Elaboración propia

Para la optimización de los parámetros de número de clúster y fuzziness se comparó el índice Xie y Beni en diferentes escenarios, extrayendo el de mínimo índice. Con la matriz de índices el mínimo se encontró en el clúster 4. Por tanto, se identificaron cuatro conglomerados con el método de validación de grupos introducido por Xie y Beni (XB). Estos grupos fueron el resultado de la proximidad de los datos en un grupo y la distancia entre el centro de un grupo y el otro [Lathief et al., 2020].

El primer grupo - G1 (Población vulnerable) comprendió 43 productores, de los cuales dos eran adoptantes de tecnologías de riego, el segundo grupo - G2 (Población con liderazgo femenino) tuvo 29, con 9 adoptantes, el tercero - G3 (Población diversificada) 23 productores con seis adoptantes y el cuarto - G4 (Población con exclusividad en cultivos de palma de aceite) 36 productores y solo tres adoptantes. A continuación, se describen individualmente los rasgos distintivos de los grupos y se resumen en las Figuras 1-2 y 1-3.

Población vulnerable: el grupo 1 con el 33% de los productores de la muestra, agrupó solo agricul-

tores de pequeña escala (<50 ha) de acuerdo con la definición de pequeño propietario [Rspo, 2022]. En la totalidad son hombres con rangos de edad entre 31-94 años, e incluyó los productores con edades más avanzadas (81 a 94 años - 7%). Asimismo, el 32.23% reportaron los niveles educativos más bajos, correspondientes a primaria o secundaria. En términos de sus unidades de producción, el uso de las plantaciones en su mayoría es para la producción de palma de aceite y más de la mitad se dedicaban exclusivamente a actividades del cultivo; además, gran parte son propietarios con título de sus predios. La principal diferencia de este grupo radica en que la totalidad son hombres; sin embargo, es el grupo más heterogéneo entre sí. En este sentido, las fuentes de trabajo se repartían casi por igual entre la familia y las fuentes externas. Además, las ganancias del cultivo eran de \$500.000 hasta más de \$3'000.000 mensuales. Con respecto al empleo de prácticas agrícolas como: aplicación de riego, fertilizantes y esquema de manejo de plagas y enfermedades, la mayoría de los productores aplicaban esas labores en sus cultivos; sin embargo, a pesar de aplicar riego a sus plantaciones, el 31.46% lo hace de forma ineficiente con métodos tradicionales (riegos por superficie/inundación).

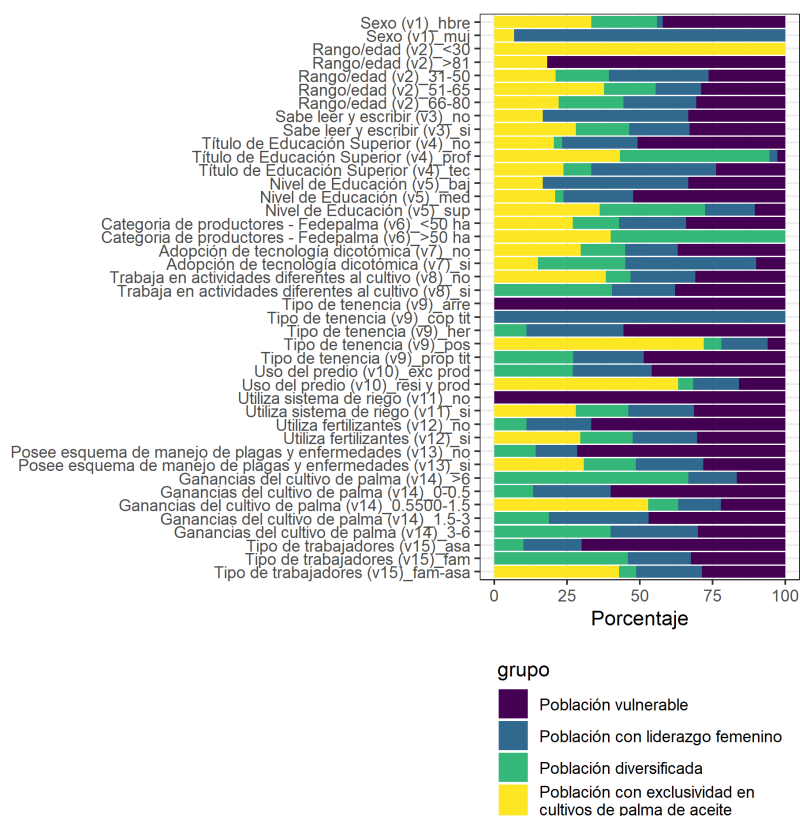
Población con liderazgo femenino: G2 agrupó al 22% de los productores. Este grupo se caracterizó por un número de mujeres que encabezan la producción agrícola (20.48%) y por agrupar solo agricultores de pequeña escala (<50 ha). La edad promedio de estos productores fue de 61 años. Adicionalmente, se encontraron productores que no saben leer y escribir. No obstante, la mayoría reportaron niveles de educación secundaria (15.17%). En cuanto a sus unidades productivas, más de la mitad tenían sus plantaciones para la producción de palma de aceite y el 15.93% eran sostenidos por los ingresos de esta agroindustria. La mayoría son propietarios con título de sus predios y empleaban mano de obra tanto de familiares como asalariados. Además, el ingreso generado por palma de aceite fue desde \$500.000 hasta \$6'000.000 mensuales. Por último, el 22% de los productores de G2, aplicaban regadío en sus plantaciones, entre los que el 6.82% son adoptantes de riegos eficientes (goteo o aspersores). Del 6.82% de los adoptadores, el 5.31% fueron mujeres. En cuanto, a las prácticas de fertilización y esquema de manejo de plagas y enfermedades, el 20.48% las implementaban.

Población diversificada: G3 comprendió el 17.55% de la muestra; en su totalidad son hombres. Los productores de este grupo son los más jóvenes con edad promedio de 57 años. Respecto al nivel educativo, el 14.49% de los productores son profesionales. En consecuencia, son los productores con

más habilidades para decodificar conocimiento explícito de acuerdo con los niveles de escolaridad. En cuanto, a las características de la finca, la gran mayoría son productores con plantaciones de menos de 50 hectáreas dedicadas exclusivamente a la producción de palma de aceite. En consecuencia, esta agroindustria les aportaba la totalidad de sus ingresos; además, son propietarios con título formal de sus predios. Con respecto al tipo de trabajadores, más de la mitad de la mano de obra empleada en estas fincas provenía de fuentes externas y familiar. Las ganancias recibidas por estos productores rondaban entre \$1'500.000 y \$6'000.000 por toneladas de palma mensuales. En cuanto, a las prácticas de riego, fertilización y esquema de manejo de plagas y enfermedades, el 16.78 % las implementaban. Sin embargo, tan solo el 4.57 % fueron adoptantes de tecnologías eficientes. No obstante, es de los grupos con más adopción de tecnologías de riego.

Población con exclusividad en cultivos de palma de aceite: G4 comprendió el 27.48 % de los productores. La mayoría eran hombres con edades entre 31 y 81 años. Además, fueron los que mayor educación superior reportaron. La principal diferencia de este grupo radicó en que diversas variables registraron sus valores más altos, como: uso de las plantaciones (producción agrícola y residencia permanente), personas trabajando solamente en el cultivo de palma de aceite, propietarios con títulos de sus predios, las fuentes de trabajo se repartían entre la familia y las fuentes externas y, las ganancias del cultivo fueron de \$500.000 a \$1'500.000 mensuales. Además, todos aplicaban riegos, fertilización y esquema de manejo de plagas y enfermedades. Sin embargo, solo el 2.29 % de los productores adoptaban tecnologías eficientes para el manejo del recurso hídrico.

Figura 1-2: Porcentajes de las variables por grupos de productores de palma de aceite en la zona Norte de Colombia.



Fuente: Elaboración propia

1.4. Discusión

La caracterización según tipologías comunes de los productores de palma de aceite, ubicados en la zona Norte de Colombia, y la descripción de aspectos causantes de diferenciación son el soporte para la adopción de tecnologías a través de sistemas de apoyo a la extensión para cada grupo definido. De los resultados de este estudio, se observa mayor adopción de tecnologías en los grupos que presentan mejor generación de valor económico; es decir, más ganancias del cultivo. Además, conforme se incrementa la edad, la adopción de tecnologías disminuye; es decir, los productores de edades mayores tienen menor propensión a innovar o, los productores jóvenes son más receptivos a la innovación [Aguilar et al., 2013].

En este sentido, se encontró que la adopción de tecnologías depende de diversas variables que concuerdan con trabajos anteriores sobre adopción tecnológica [Aguilar-Gallegos et al., 2015]. Los más destacados por su distribución de frecuencias o estadísticas asociadas fueron la edad del productor, los ingresos obtenidos de la producción, el tamaño de la plantación y el uso de sus plantaciones. Con respecto a esta última variable, se observó mayor adopción cuando las plantaciones solo tenían fines productivos. Cabe mencionar que el uso de riegos presurizados permite a los agricultores el incremento en la eficiencia del uso del agua, el aumento de la cantidad y calidad de los cultivos y la disminución de costos. En consecuencia, cuando los productores están lejos de sus plantaciones invierten en tecnologías que acentúan el consumo del tiempo, la intensidad de la mano de obra y el desperdicio de los recursos hídricos.

Se encontró en los diferentes grupos una alta implementación de riegos, fertilización y esquema de manejo de plagas y enfermedades. Sin embargo, una baja adopción de tecnologías para el manejo eficiente del agua. Cabe mencionar que dicha adopción fue medida por el grado de uso de la nueva tecnología en equilibrio a largo plazo. Es decir, alcance e intensidad del uso de la tecnología en lugar de la decisión inicial de adoptar una nueva práctica en corto tiempo [Loevinsohn et al., 2013].

Los resultados revelaron una homogeneidad en distribución en variables como el tipo de tenencia, actividades exclusivas al cultivo de palma, tipo de trabajadores y número de hectáreas. En cuanto a tenencia de la tierra es importante, considerando que la palma de aceite es un cultivo perenne (30 años aproximadamente de ciclo productivo) y requiere inversiones a largo plazo. Las fuentes de trabajo se repartían casi por igual entre la familia y las fuentes externas. En consecuencia, la palma de aceite es inclusiva. No obstante, las iniciativas sociales de formalización laboral es un factor para tener en cuenta, considerando la dinámica productiva y la actividad en alza del cultivo en Colombia.

Debido al conocimiento de la heterogeneidad de los productores y sus características, los esfuerzos de investigación y extensión dirigidos a capacitar a los agricultores en la adopción de tecnologías eficientes para el manejo del agua tendrán un resultado más efectivo. Además, los grupos identificados permiten ampliar el proceso de adopción a través de servicios de extensión focalizados o manejo grupo-específico. Asimismo, fortalecer el trabajo conjunto con los investigadores involucrados con riegos presurizados a aliviar algunos de los obstáculos de la adopción de estos.

A continuación, los gráficos de radar/araña de la Figura 1-3 presentan las características resumidas de los grupos de agricultores identificados.

Figura 1-3: Rasgos distintivos de los grupos de productores identificados en la zona Norte de Colombia.



Fuente: Elaboración propia

En los gráficos se presentan los rasgos distintivos de los grupos de productores identificados en la zona Norte de Colombia, donde el centro de la rueda o el eje x representa un valor mínimo, que es cero para los clústeres; el ciclo medio y los últimos ciclos representan los valores medios y máximos relativos a la muestra. En cada radio, cuanto más lejos hacia el borde de la rueda, mayor es el valor de la variable. En resumen, las unidades de cada variable del modelo están repartidas en los 3 gráficos respectivos.

1.5. Conclusiones

Se identificaron cuatro grupos de productores, que difieren en cuanto a sus características demográficas, socioeconómicas y, a la adopción de tecnologías de riego. Las características más destacadas en los grupos con mejor adopción de tecnologías son las ganancias del cultivo y la edad de los productores.

Si bien la adopción de tecnologías depende de diversas variables, es importante considerar el grupo de productores vulnerables. En particular, las características socioeconómicas de estos usuarios pueden indicar la capacidad potencial para acceder a recursos, servicios y apoyo técnico diferenciado.

Con base en los resultados, las estrategias de transferencia de tecnologías deben tener en cuenta la tipología de los productores y los grupos conformados para ampliar el proceso de adopción a través de servicios de extensión. Es decir, hacer un manejo tipo-específico considerando la distinción entre estos.

Las características de los agricultores permitirán ser más sensibles en el diseño de estrategias de extensión, una vez que los pequeños agricultores suelen tener limitaciones en activos para la producción, las tecnologías y los créditos institucionales. En consecuencia, se deben vincular sistemas públicos de apoyo para satisfacer las necesidades inmediatas de los agricultores; una vez que la coordinación de esfuerzos entre investigación, extensión y política pública es fundamental para promover tecnologías agrícolas de fácil acceso destinadas a resolver problemas localizados.

Dado que la adopción de tecnologías es un proceso complejo y las variables no se limitan a las estudiadas, para futuras investigaciones se recomienda incluir como parte del modelo, la asistencia técnica, los créditos, la experiencia, entre otros, que podrían ser útiles en el futuro para fortalecer estos análisis de tipificación o establecer relaciones de causalidad.

2. Adopción de tecnologías de riego por parte de los productores de palma de aceite: un análisis con redes neuronales

Resumen

El agua junto con la nutrición y la disponibilidad de mano de obra es uno de los factores más determinantes en la obtención de altos rendimientos en cultivos de palma de aceite. Por esta razón, cuando la oferta ambiental de agua es baja, es necesario aportarla al cultivo con el mayor grado de eficiencia. Sin embargo, aunque se dispone de tecnologías de riego, por diversas razones los productores siguen utilizando sistemas de riego ineficientes, ocasionando pérdidas del recurso y la escasez de agua se está convirtiendo en un reto para la sostenibilidad de la palma de aceite. El objetivo de este estudio fue analizar la adopción de tecnologías de riego para la gestión del agua en cultivos de palma de aceite y las características que más influyen en su adopción por parte de los productores. Los métodos para la identificación de las características influyentes se basaron en Análisis de Correspondencia Múltiple y Redes Neuronales Perceptrón. Los resultados mostraron que menos del 15% de los productores adoptan tecnologías de riego eficiente. Además, el análisis con redes perceptrón reveló que la edad de los palmicultores, el tamaño de la plantación y el acceso a extensión son las características de los productores que más influyen en la adopción de tecnologías de riego. Estos resultados son la base para la formulación de estrategias de extensión efectivas y focalizadas según las características de los grupos de productores, la especificidad local y tecnológica. Asimismo, vincular conjuntamente entes gubernamentales que promuevan capital social y económico para facilitar que los productores accedan a tecnologías que impulsen el uso eficiente del agua, aumentar los rendimientos de los cultivos, y el incremento de la sostenibilidad a través del tiempo.

Keywords: Farmers, Agriculture, Irrigation efficiency, Water-saving technologies, Perceptron neural networks

2.1. Introducción

La agroindustria de la palma de aceite es uno de los sectores con mayores expectativas de crecimiento en el mundo [Iskandar et al., 2018]). Estas expectativas se fundamentan en el gran potencial de mercado de los derivados del fruto de la palma, para suplir una demanda global proyectada de aceites vegetales que se calcula será 70 % superior en el 2050 [Corley, 2009]; [Barcelos et al., 2015]; [Ibragimov et al., 2019]. Esta agroindustria ha impulsado un rápido crecimiento económico en varios países tropicales y ha contribuido al alivio de la pobreza rural [Sayer et al., 2012]. Sin embargo, en algunos países del mundo, especialmente en el sudeste asiático, la expansión del cultivo de palma de aceite se ha asociado con la deforestación y pérdida de la biodiversidad [Jelsma et al., 2019]. En consecuencia, la agroindustria de la palma aceite, debe considerar entre varios aspectos ambientales, una buena gestión del recurso hídrico, una vez que en palma de aceite el agua es un factor determinante en el rendimiento [Woittiez et al., 2017]. Adicionalmente, el recurso hídrico es cada vez más escaso para la producción agrícola. Es así, como los problemas de escasez de agua están recibiendo mayor atención.

La escasez de agua, atribuida en parte al cambio climático y al aumento de la población, se ha convertido en un desafío mundial [Castillo et al., 2021], que no solo amenaza la seguridad alimentaria, sino que también ha provocado pérdidas económicas en los últimos años [Chen et al., 2014]; [Alam, 2015]; [Zhang et al., 2019]. Los peligros por la escasez de agua y la sequía son motivo de preocupación, toda vez que la demanda mundial de agua crecerá alrededor del 20-30 % para 2050 en los componentes industria, doméstico y agrícola, en el que la agricultura se destaca como el principal consumidor de agua dulce [Boretti and Rosa, 2019]. Se proyecta que se intensificará el debate sobre la distribución de recursos hídricos entre los diferentes sectores económicos, al igual que la necesidad de incrementar la eficiencia en el uso del agua [Fader et al., 2016]. Por lo tanto, el agua como recurso fundamental con limitaciones, ha sido un factor restrictivo para la producción agrícola a nivel mundial [Tan et al., 2017]. Sin embargo, en el control y distribución del agua para compensar las necesidades agrícolas, el riego juega un papel vital en las economías de los estados, ya que las tierras de regadío actualmente aportan alrededor del 40 % de los alimentos y la pro-

ducción de fibra [Mpanga and Idowu, 2021]. Además, la aplicación de riego se considera una de las prácticas para disminuir los impactos asociados con el cambio y la variabilidad climática, generando efectos positivos en el rendimiento de los cultivos y el aumento de la producción de alimentos [Nonvide, 2018]. Adicionalmente, la práctica de regar los cultivos es de vital importancia para la seguridad alimentaria y el desarrollo económico [Fader et al., 2016].

En términos de gestión y protección de los recursos hídricos los aspectos tecnológicos y técnicos son de interés [Piwowar et al., 2021], como ejemplo, las tecnologías de riego (goteos y aspersores) son una forma de gestión del agua agrícola [Bjornlund and Bjornlund, 2019], que aporta beneficios especialmente en áreas con escasez de recursos hídricos, [Galioto et al., 2020]; [Jordán and Speelman, 2020], permitiendo la reducción de pérdidas causadas por la evaporación, la escorrentía o el drenaje subterráneo [Yang, 2012]; [Nikouei et al., 2012]. Sobre los impulsores de la adopción de riegos eficientes [Bjornlund et al., 2009] concluyeron que los principales fueron: garantizar la seguridad del suministro de agua durante la sequía, aumentar la cantidad y la calidad de los cultivos y la disminución de costos. En este mismo sentido, [Aitken et al., 2016] destacan que el uso de tecnologías de riego puede reducir en 19% la escasez del recurso y ahorrar el 35% del agua agrícola [Koech and Langat, 2018]. Sin embargo, la adopción de tecnologías de riego es generalmente baja [Castillo et al., 2021] y se caracteriza por una lenta difusión, especialmente cuando las tecnologías requieren una alta inversión inicial [Yigezu et al., 2018]. De acuerdo con esto, en todo el mundo, solo el 14% del total de 275 millones de hectáreas de tierras de regadío utilizan riegos eficientes [Araujo et al., 2019].

En este escenario con limitaciones de agua, existe la necesidad de un uso más eficiente de los recursos hídricos, en el que la cooperación de los usuarios tiene un impacto en la sostenibilidad del agua [Engler et al., 2016]. Teniendo en cuenta la relación entre las actividades agrícolas y su entorno circundante, los agricultores deben ser el principal grupo destinatario para la concientización del uso eficiente del agua. Por tanto, el proceso de adopción de tecnologías en la agricultura ha atraído considerable atención entre los economistas del desarrollo y ha planteado cuestionamientos sobre cómo promover la incorporación de riegos que incrementen la eficiencia en el uso del agua por parte de los productores. Hasta la fecha se han realizado estudios para comprender los impulsores o motivadores de las decisiones de los agricultores con respecto a la adopción de tecnologías

eficientes en el uso del agua, encontrándose la racionalidad económica como mayor impulsor, sujeto a factores relacionados con características demográficas, sociales y gubernamentales, entre otros [Abdulai et al., 2011]; [Chen et al., 2014]; [Cascallar et al., 2015].

Como complemento a la información consultada, este estudio aporta a la comprensión de los factores relevantes asociados con la adopción de tecnologías de acuerdo con las características y preferencias del agricultor, según la especificidad local y tecnológica [Rossi et al., 2020]. El objetivo de este estudio fue analizar la adopción de tecnologías de riego para la gestión del agua en cultivos de palma de aceite y las características que más influyen en su adopción por parte de los productores. Los resultados obtenidos amplían el marco conceptual disponible, lo que podría ayudar a los gobiernos, los gremios y las instituciones a comprender las barreras y los impulsores de la adopción tecnológica por parte de los palmicultores y que permitirán promover estrategias de extensión y comunicación de tecnologías más eficientes. El documento está organizado de la siguiente manera: la sección 2.2 proporciona un marco conceptual para sentar las bases de esta investigación. La sección 2.3 presenta la fuente de datos y los métodos de análisis. La sección 2.4 analiza los resultados empíricos y la sección final proporciona conclusiones.

2.2. Marco conceptual

La adopción tecnológica puede definirse como la integración de una nueva tecnología en la práctica existente [Rogers Everett, 1962]; [Loevinsohn et al., 2013] y se ha encontrado que los comportamientos de adopción varían heterogéneamente y se relacionan con diversos factores. De acuerdo con [Abdulai et al., 2011] las características del hogar y de la plantación, la educación del agricultor, el acceso a los agentes de extensión y los patrones de cultivo tienden a influir en la adopción de sistemas de riego en cultivos de arroz en Ghana. [Alam, 2015] concluyó que los agricultores con más experiencia, mayor escolaridad, derechos de tenencia más seguros, mejor acceso a la electricidad, presencia institucional, y conciencia sobre los efectos climáticos, presentan mayor probabilidad de escoger estrategias para evitar la escasez de agua en cultivos de arroz en Bangladesh. Además, [Cremades et al., 2015] enfatizaron que el gobierno, los subsidios y las políticas de servicios de extensión han jugado un papel importante en la promoción de la adopción de tecnologías modernas de riego en China. Sumado a lo anterior, [Engler et al., 2016] concluyeron que el tamaño de la plantación, junto con las redes y la confianza son factores importantes para explicar la adopción

de tecnologías de riego por parte de agricultores de uva en Chile.

Por otra parte, [Zhang et al., 2019] revelaron que la educación, el tamaño de la plantación, la demostración en campo, la capacitación, el acceso a la formación, la existencia de asociaciones de uso del agua, los agricultores vecinos y las políticas de subsidio mejoraron significativamente la adopción de tecnologías para la escasez de agua en China. [Yang et al., 2020], concluyeron que la edad, el nivel de educación, el tamaño de la plantación y la utilidad percibida de los agricultores de su red social tuvieron un impacto positivo sobre la adopción de tecnologías de riego en cultivos de tomate en China. Finalmente, [Oyetunde-Usman et al., 2021] señalaron que la adopción de tecnologías e intensidad dependen significativamente de factores como la edad del jefe del hogar, el género, el nivel de educación, el tamaño del hogar, el acceso a los servicios de extensión y la situación patrimonial de los hogares de pequeños agricultores en Nigeria. En este estudio se incorpora, al marco conceptual actual, información relacionada con los factores influyentes en la adopción de tecnologías de riego, como las características del jefe del hogar, las características de la plantación, el capital social y los indicadores de bienestar.

Con respecto a las características del jefe del hogar se relacionan la edad, el nivel de educación del agricultor y el género. Se ha establecido ampliamente que la edad tiene un impacto negativo sobre la adopción de tecnologías de riego, una vez que la probabilidad de adopción disminuye con la edad creciente [Wang et al., 2015]. [Liu et al., 2019], concluyeron que los agricultores de mayor edad tienen mayor disposición por confiar y preferir prácticas agrícolas tradicionales y, por lo tanto, sería menos probable que adopten nuevas tecnologías. [Yang et al., 2020] encontraron que los agricultores más jóvenes son más innovadores y dispuestos a probar cosas nuevas. Por otro lado, las personas con nivel de educación superior son más propensas a adoptar tecnologías [Alam, 2015]; [Cremades et al., 2015], asociado con la obtención de información y sus niveles cognitivos [Wandel and Smithers, 2000], consistente con la noción de que la educación ayuda a los agricultores a tomar decisiones sobre la adopción de nuevas tecnologías [Abdulai et al., 2011]. Por tanto, a mayor nivel instruccional e interés, los agricultores suelen estar en mejores condiciones para comprender y apreciar las ventajas de adoptar tecnologías de riego [Zhang et al., 2019]. Otra característica a nivel del hogar que influye para impulsar o restringir la adopción es el género del agricultor, que puede relacionarse con las características de la tecnología y las diferencias y roles

de un género en la población agrícola [Oyetunde-Usman et al., 2021].

Sumado a los factores mencionados se incluye el tamaño de la plantación, utilizado con frecuencia en modelos de adopción para capturar el impacto de la riqueza en el proceso de decisión [Abdulai et al., 2011], lo que significa que las plantaciones más grandes tienen más probabilidades de adoptar nuevas tecnologías que las plantaciones más pequeñas [Wang et al., 2015]. La relación recíproca entre la adopción de tecnología y el tamaño de la plantación puede ser causado por restricciones crediticias y acceso al capital, lo cual guarda relación con las economías de escala de una inversión, en la que el capital puede estar más disponible para las plantaciones más grandes, de modo que, aunque todos los tipos de productores desean adoptar es más probable que los propietarios de plantaciones más grandes lo hagan [Engler et al., 2016]. Finalmente, [Yang et al., 2020] enfatizaron que la tecnología puede ser más útil para los agricultores con plantaciones más grandes, por tanto, son más capaces de adoptar nuevas tecnologías. Sin embargo, estudios sobre adopción de tecnologías indican que no hay una relación significativa entre el tamaño de la plantación y la restricción para la adopción de tecnologías [Zhang et al., 2019]. Por otra parte, el vínculo entre el hogar y el cultivo puede ocasionar una mejora de adoptar tecnologías cuando la relación es más estrecha o cuando los agricultores por el sentido de derechos en su vivienda [Oyetunde-Usman et al., 2021] asumen la responsabilidad debido a la relación entre las actividades agrícolas y su entorno circundante.

Otro de los factores relacionados con la adopción de tecnologías es el capital social, el cual se considera como un agregado de recursos reales o potenciales para adquirir información [Chen et al., 2014], compartir ideas y obtener conocimiento y se caracteriza por redes, normas y confianza que faciliten la cooperación y coordinación de las personas para lograr los objetivos deseados y el beneficio mutuo [Hunecke et al., 2017]. De acuerdo con esto, la pertenencia a una red social se constituye en un medio a través de la cual los agricultores pueden obtener información sobre nuevas tecnologías, ofreciendo oportunidades para el intercambio de información que mejora la comprensión de los beneficios de optimizar la eficiencia del riego [Wang et al., 2015]. Es así, como la participación de los agricultores en las organizaciones es un factor clave que influye en la adopción de las tecnologías de riego [Ramirez, 2013]. Sin embargo, los efectos sociales pueden ser adversos cuando las redes son muy grandes, debido a retrasos que se producen cuando la adopción no ocurre incluso siendo la nueva tecnología más rentable [Bouma et al., 2008]. Adicionalmente, a nivel mundial, la

extensión agrícola tiende a ser una fuente importante de información sobre mejoras tecnológicas en el sector, especialmente cuando las tecnologías implican prácticas diferentes [Abdulai et al., 2011]. [Nakano et al., 2018] concluyeron que los extensionistas son un medio eficaz para difundir nuevas tecnologías, aumentar la productividad de las plantaciones y aliviar la pobreza rural. Igualmente, [Kaliba et al., 2020], señalaron que los servicios de extensión ayudan a los agricultores a evaluar los costos, determinar el perfil de riesgo y la rentabilidad de las nuevas innovaciones. Sin embargo, muchas veces la información proporcionada por los extensionistas puede ser limitada respecto al rendimiento esperado de una tecnología, pero, son una fuente importante de información sobre cómo y cuándo utilizar una nueva tecnología [Abdulai et al., 2011]. Por último, [Wang et al., 2015], encontraron que existen diferencias entre el acceso a la información técnica y el nivel de adopción de tecnología agrícola. Finalmente, si los productores se enfrentan a limitaciones en calidad de vida, se hace difícil que puedan invertir en innovaciones tecnológicas que mejoren los ingresos [Abdulai et al., 2011]. En consecuencia, cuando las personas no tienen los insumos básicos u óptimos para el desarrollo social y físico de un individuo o su familia la adopción de tecnologías se verá afectada.

2.3. Fuente de datos y métodos de análisis

2.3.1. Fuente de datos

Los datos utilizados en este estudio se generaron del censo de 110 productores ubicados en la cuenca del Río Sevilla, en el departamento del Magdalena, Colombia. La fuente de datos fue una encuesta de campo a través de entrevista presencial con los productores sobre las características sociales y económicas, realizada por el Centro de Investigación de Palma de Aceite – Cenipalma, durante los meses de mayo y julio de 2021, información que se registró en un aplicativo móvil, diseñado por Cenipalma. Para cumplir con los objetivos de esta investigación, se seleccionaron las variables que a menudo se han declarado como influyentes, predecible y consistente en los resultados de la adopción. Estas variables incluyeron las características del jefe del hogar y de la plantación, el capital social y los indicadores de bienestar. En más detalle, los siguientes aspectos: primero, las características básicas sobre los agricultores y sus plantaciones, entre estos el género, la edad, el nivel de educación y el número de hectáreas. Para medir la variable indicadores de bienestar, se utilizó el Índice de Pobreza Multidimensional (IPM) de acuerdo con la metodología del Departamento

Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE) [DANE, 2018], la cual permite establecer indicadores socioeconómicos, avalados y promulgados por instituciones acreditadas internacionalmente. Otro aspecto medido fue el acceso a los servicios de extensión y las asociaciones o cooperativas donde participan los productores (Tabla 2-1). En segundo lugar, se recopilaron los datos sobre la adopción de tecnologías de riego como foco central para analizar la adopción por parte de los agricultores de palma. Por último, se indagó sobre las razones para implementar tecnologías de riego y las principales necesidades respecto al agua.

Tabla 2-1: Definición de las variables del modelo de adopción de tecnologías de riego.

Variable	Definición	Media	D.E.
Edad	Años	60	15.23
Tamaño de la plantación	Área total en palma de aceite (ha)	18	35.33
		Porcentaje	
Características del jefe del hogar			
Género	1 masculino	81.8	0.39
	2 femenino	18.2	
Nivel de educación	1 no sabe leer y escribir	3.6	0.56
	2 sin educación superior	53.6	
	3 con educación superior	42.7	
Características de la plantación			
Uso de la plantación	1 para producción y residencia permanente	12.7	0.33
	2 exclusivamente para producción	87.3	
Capital social			
Agentes de extensión	1 sin acceso	27.3	0.44
	2 con acceso	72.7	
Asociaciones o Cooperativas	1 no pertenecen	44.5	0.50
	2 pertenecen	55.5	

Variable	Definición	Porcentaje	D. E
Indicadores de bienestar			
Índice de pobreza multidimensional (IPM)	1 tiene IPM (>0.33)	17.3	0.38
	2 no tiene IPM (<0.33)	82.7	

2.3.2. Métodos de análisis

Para el análisis de la adopción de tecnologías se consideraron las respuestas de los agricultores sobre los sistemas de riego utilizados en su plantación. La codificación de la variable asociada a la adopción estuvo representada por las siguientes variables:

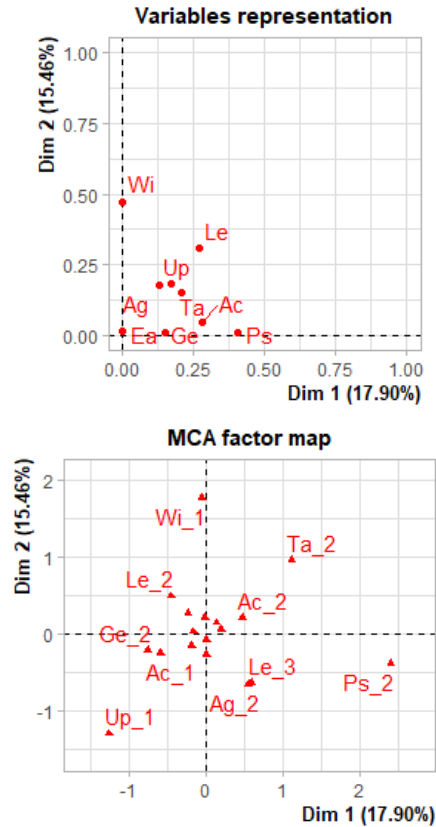
- 1: si el agricultor adopta algunas tecnologías de riego eficientes (goteo o aspersores)
- 0: si el agricultor tiene riegos por superficie/inundación

En cuanto a la metodología para identificar los factores influyentes en la adopción por parte de los productores se utilizó inicialmente el Análisis de Correspondencia Múltiple (ACM) con la intención de reducir dimensionalidad una vez que el ACM identifica de manera integral las relaciones de dependencia que se establecen entre las variables cualitativas observadas en un mismo conjunto de datos. El ACM es un método especializado del grupo de multidimensionales que resuelve la clasificación de objetos descritos simultáneamente por características de variables u objetos, medidos en una escala nominal, dando la posibilidad de un análisis en profundidad del fenómeno estudiado. Posteriormente, identificadas las variables informativas y discriminantes se emplearon las Redes Perceptrón Multicapa (RPM) para identificar los factores que más influyen en la adopción de tecnologías de riego. Debido al entorno complejo, la interacción dinámica y la naturaleza de los datos que muestran propiedades no lineales de los sistemas agrícolas, el uso del aprendizaje automático proporciona soluciones a problemas complicados de manera eficaz. Las RPM permiten analizar diferentes variables e identificar las más importantes o con mayor influencia en los datos observados y son muy eficientes en el aprendizaje particularmente en situaciones donde los datos no son lineales [Kaliba et al., 2020]; ya que admiten trabajar en principio con modelos en varios periodos y multivariados, sin problemas como la multicolinealidad, ni tener la necesidad de especificar previamente el tipo de relación funcional. Las RPM implican la posibilidad de utilizar todas

las interacciones entre variables explicativas para lograr una mejor estimación de la variable de resultado y poseen la capacidad de obtener una selección o predicción incluso cuando las variables independientes y dependientes están relacionadas de forma no lineal [Cascallar et al., 2015]; [Rodríguez-Hernández et al., 2021].

Para la realización del ACM, se utilizó la muestra dirigida que incluyó a todos los adoptantes (14.5 %) y no adoptantes (85.5 %) de la muestra. En total se analizaron 110 filas y nueve columnas incluyendo la variable respuesta adopción de tecnologías. El ACM a partir de las tablas de Burt o tablas de contingencia generalizadas [Parra Olivares, 2011], permitió eliminar categorías que no aportaban o contribuían en la variabilidad total (Figura **2-1**). Seguidamente, se realizó el análisis con RPM y se mantuvo la partición del 70 % de la muestra como un conjunto de datos de entrenamiento óptimo para aprender y encontrar los pesos para la estructura de la red neuronal, 20 % para la muestra de prueba y 10 % para la muestra reservada. Este 10 % de muestra reservada se usó considerando que el algoritmo se construye con los datos de entrenamiento y prueba. Por lo tanto, los resultados o salidas de la red neuronal pueden estar sesgados. Por otra parte, cabe mencionar que el número de casos de adoptantes disponibles para el desarrollo del modelo es limitado y desequilibrado y existe el riesgo de que tengan una pobre representatividad, ya que los algoritmos de clasificación favorecen la clase más frecuente. Sin embargo, con el ACM se redujo el número de categorías para suavizar este problema, una vez que se recomienda descartar algunas de las variables, incluso aquellas que contengan datos originales para evitar el sobre entrenamiento de la red neuronal [Siderska, 2017]. El desempeño y los resultados del modelo se analizaron a través de la curva ROC (Receiver operating characteristics), la cual representa visualmente la susceptibilidad por especificidad de los puntos de corte, donde un valor próximo a uno indica que el modelo tiene una buena capacidad de clasificación [González, 2015]. Finalmente, el tipo de red empleado es un perceptrón multicapa entrenado con algoritmo de tangente hiperbólica y función de activación softmax del software SPSS versión 26 y para el ACM se utilizó el software R [R Core Team, 2019].

Figura 2-1: Representación gráfica de las variables y sus categorías del modelo de adopción de tecnologías de riego.



Las abreviaturas en el gráfico indican Ag= age, Ge= gender, Ps= plantation size, Le= level of education, Up=use of the plantation, Ea= extension agencies, Ac= association or cooperative, Wi= well-being indicators, Ta= technology adoption

Fuente: Elaboración propia

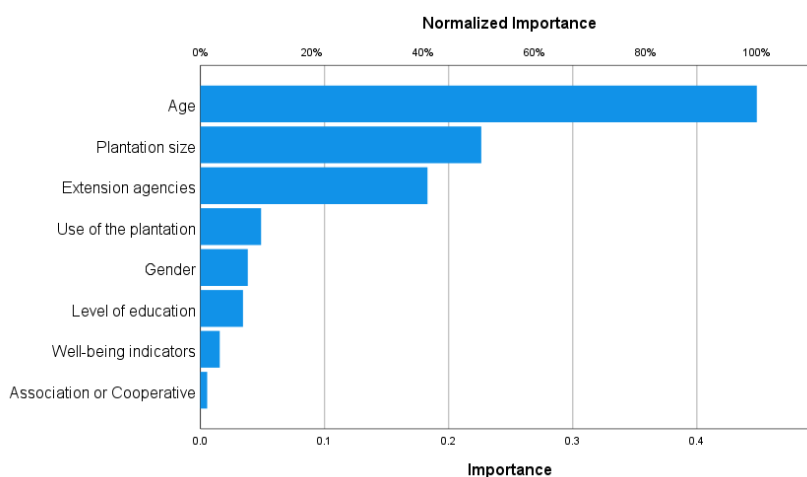
2.4. Resultados y Discusión

Con el Análisis de Correspondencia Múltiple, se identificaron las variables y categorías que contribuyeron a la variabilidad total. De las 20 categorías consideradas en la encuesta, 17 fueron incluidas en el análisis con Redes Perceptrón Multicapa para identificar los factores influyentes en la adopción de tecnologías de riego.

El análisis con Redes Perceptrón indicó que los mejores valores de significancia se encontraron en las variables edad del productor, tamaño de la plantación y acceso a los servicios de extensión

(Figura 2-2). Cabe mencionar que el modelo clasificó las variables influyentes sobre la adopción por parte de los productores, las cuales concuerdan con trabajos anteriores sobre adopción de tecnologías [Aguilar et al., 2013]; [Yang et al., 2020]; [Oyetunde-Usman et al., 2021].

Figura 2-2: Variables influyentes en la adopción de tecnologías de riego en el cultivo de palma de aceite.



Fuente: Elaboración propia

La edad de los productores fue un factor influyente en la adopción de tecnologías de riego. Este resultado es consistente con otros estudios sobre la adopción de tecnologías. Por ejemplo, [Liu et al., 2019] resaltaron que los productores mayores tienen más posibilidad de preferir y depender de técnicas tradicionales y por lo tanto, sería menos probable que adopten nuevas tecnologías. Sumado a lo anterior, el tiempo de uso de la tecnología tradicional y el desconocimiento e impacto de los resultados de la nueva tecnología traen consigo que los agricultores de mayor edad prefieran prácticas agrícolas tradicionales. Otro factor influyente en la adopción de tecnologías de riego fue el tamaño de la plantación. Esto es similar a lo señalado por [Yang et al., 2020] quien afirma que a menor cantidad de hectáreas, menor es la adopción de tecnologías complejas, porque la tecnología puede ser más útil para los agricultores con plantaciones más grandes. Además, porque los ingresos mayores facilitan la reinversión en las nuevas tecnologías. Sin embargo, se encontraron plantaciones con promedio de ocho hectáreas con adopción de tecnologías de riego. Por tanto, el tamaño de la plantación es una variable relevante y se asocia a una mayor probabilidad de aumentar la

adopción [Jara-Rojas et al., 2013], pero no es la restricción clave para no adoptar. Adicionalmente, dependiendo de la escasez del recurso hídrico en una explotación agrícola es más probable que la tecnología sea adoptada.

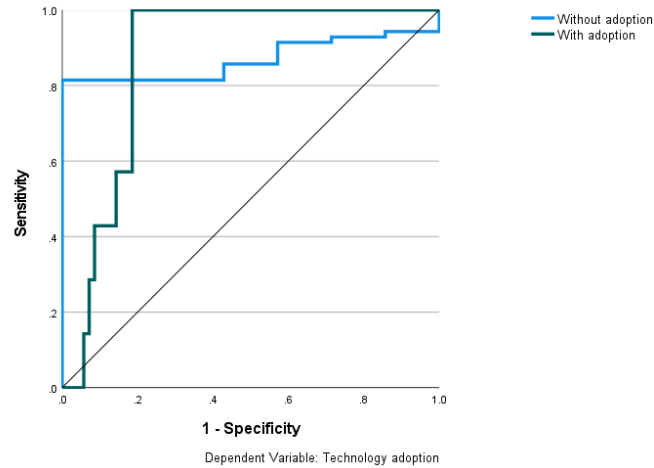
El acceso a extensión agrícola, referido a las visitas de asesorías o acompañamiento que reciben los productores por parte del gremio palmero, fue otro factor influyente en la adopción. Este hallazgo está en concordancia con otras investigaciones relacionadas en las que se encontró una fuerte relación entre la extensión y el comportamiento de adopción de los agricultores [Engler et al., 2016]. Una posible explicación es por que los agentes de extensión son una fuente importante de información sobre mejoras tecnológicas en el sector. Además, los extensionistas ejercen presión social y el fortalecimiento de la autoconfianza percibida por los agricultores en la comunidad o entidades respectivas [Castillo et al., 2021]. No obstante, solo el 12 % de los agricultores con acceso a extensión adoptaban tecnologías de riego. En consecuencia, es consistente con la teoría del comportamiento, toda vez que el conocimiento puede conducir a un cambio en la intención de adoptar tecnologías. Sin embargo, es la influencia de factores como las restricciones económicas, el acceso al crédito, los incentivos del mercado y la financiación.

El uso de la plantación presentó un efecto marginal. No obstante, cuando la plantación solo tiene fines productivos, es cuando más adopción de tecnologías se encontró. Esto se debe, a que, en el cultivo de palma de aceite la mayoría de los productores migra hacia lugares con mejores condiciones para vivir e invierte en tecnologías que acentúan el consumo del tiempo, la intensidad de la mano de obra y el desperdicio de los recursos hídricos. En consecuencia, los agricultores ahorran recursos y reducen los costos a través de la adopción de tecnologías de riego. En cuanto al género, este factor puede estar influenciado por la menor participación del rol femenino en la población agrícola (18.2%). El nivel de educación influyó de forma marginal. Sin embargo, es un moderador para que los productores perciban que las tecnologías son beneficiosas y rentables en un entorno complejo por la escasez de agua y donde las tecnologías de riego son una vía para que el sector agrícola sea eficiente y sostenible. Adicionalmente, agricultores que están mejor educados tienen mayor capacidad para procesar información y buscar tecnologías que sean adecuadas para sus limitaciones de producción en comparación con los agricultores que tienen menos educación.

Otro factor marginal fueron los indicadores de bienestar. No obstante, los productores sin condiciones básicas como infraestructura, salud, formalidad laboral, entre otros, tuvieron menos adopción de tecnologías de riego. En consecuencia, aunque deseen adoptar es más probable que los propietarios con plantaciones óptimas para el desarrollo social y físico lo hagan. Adicionalmente, durante las visitas de campo se observó que la economía rural y los medios de vida para algunos productores eran secundarios. Respecto a las asociaciones o cooperativas tuvieron una baja importancia y se relaciona con la participación de los agricultores en las organizaciones. Los resultados sugieren que los efectos sociales influyen en la adopción de tecnologías. Sin embargo, puede tener efectos negativos, cuando las redes son grandes, debido a retrasos que se producen cuando la adopción no ocurre incluso siendo la nueva tecnología más rentable o cuando la asociación no es fortalecida. Adicionalmente, cuando la información sobre la importancia de adoptar tecnologías de riego puede estar avanzando lentamente o sin el grado requerido.

Por otra parte, los principales impulsores para la adopción de tecnologías de riego en orden de importancia fueron: ahorro del agua, impacto en la producción y facilidad de manejo de los equipos de riego. En síntesis, los productores son conscientes que deben optimizar el recurso, manteniendo los rendimientos más altos atribuible al riego. En cuanto a las mayores necesidades para la implementación de tecnologías de riego, la financiación, fue la respuesta más frecuente por parte de los productores. Estos resultados corroboraron lo percibido en campo, ya que la mayoría de los productores cuestionaron la falta de subsidios, el acceso a crédito y el apoyo a la comercialización de productos sostenibles ambientalmente. Finalmente, el área bajo la curva ROC (Figura**2-3**) fue de 0.869 y es un valor razonablemente alto para un análisis multivariado basado en datos no lineales de los sistemas agrícolas. Por tanto, el modelo redes perceptrón desarrollado en este estudio fue adecuado y permitió la selección de los factores influyentes en la adopción de tecnologías de riego.

Figura 2-3: Curva ROC de las redes neuronales para las variables influyentes en la adopción de tecnologías de riego en el cultivo de palma de aceite.



Fuente: Elaboración propia

2.5. Conclusiones

Respecto a las RPM se puede concluir que la edad del productor, el tamaño de la plantación y el acceso a los servicios de extensión influyen en la adopción de tecnologías de riego. Estos resultados coinciden con hallazgos de investigaciones desarrolladas con otras técnicas estadísticas.

Si bien, en esta investigación se quiso integrar los diferentes aspectos que a menudo se han declarado como influyentes, predecible y consistente en los resultados de la adopción, es importante en futuros trabajos considerar la racionalidad económica en dicho modelo de adopción.

El modelo utilizado indica que la adopción de tecnologías de riego son el resultado de una influencia común de las características del jefe de hogar, las características de la plantación y el capital social, mientras que el uso de la plantación, el género, el nivel de educación, los indicadores de bienestar y la participación en asociaciones plantean un efecto marginal. No obstante, estas últimas variables se dejaron en el modelo, con el fin de hacerle seguimiento a este trabajo y poder ampliarlo en diferentes zonas del país con palma de aceite.

Dado que la adopción de tecnologías es un proceso complejo y las variables que influyen no se limitan a las estudiadas, para futuras investigaciones se recomienda incluir como parte del modelo la interacción entre las empresas que brindan asistencia técnica para encontrar el efecto que éstas tienen sobre la difusión y el soporte integral (apoyo en insumos, créditos, mejores pagos por el fruto, bonos por calidad o sostenibilidad del cultivo, tecnologías blandas, entre otras) en la adopción de tecnologías. También se recomienda abundar más sobre las características intrínsecas del cultivo o en su efecto como la cultura o posicionamiento de un cultivo puede ser un elemento importante que limite una mayor adopción de tecnologías.

Los resultados de este estudio tienen varias implicaciones. Primero, hay un espacio significativo para la promoción de tecnologías de riego basado en la capacidad de producción de los agricultores. Además, la financiación o créditos que permitan la facilidad de los productores para acceder a tecnologías agrícolas.

Conociendo los factores influyentes en la adopción de tecnologías es necesario desarrollar estrategias diferenciadas de extensión para ayudar a los agricultores a comprender la aplicabilidad de adoptar tecnologías de riego.

Finalmente, los principales impulsores de la adopción fueron ahorrar agua, impacto en la producción y facilidad de manejo de los equipos de riego, mientras que los principales impedimentos fueron las limitaciones financieras.

3. Determinantes de la aceptación de tecnologías para la gestión eficiente del agua por parte de los productores de palma de aceite

Resumen

En el sector agrícola, las tecnologías que impulsen el uso eficiente del agua, el aumento de los rendimientos de los cultivos y el incremento de la sostenibilidad a través del tiempo están obteniendo un gran interés entre los agricultores e investigadores debido al incremento del déficit hídrico asociado con el cambio y la variabilidad climática. Sin embargo, la adopción de riegos eficientes (presurizados) ha sido tradicionalmente muy baja. Por tanto, el objetivo en esta investigación es implementar una versión extendida del modelo de aceptación de tecnología que integra las condiciones facilitadoras, la influencia social, la compatibilidad y la demostrabilidad de resultados en el clásico TAM (percepción de facilidad de uso y utilidad percibida) para predecir la intención de usar riegos presurizados por parte de los agricultores de palma de aceite ubicados en la cuenca del Río Sevilla en Magdalena, Colombia. El modelo propuesto se probó empíricamente mediante una encuesta dirigida a 124 productores. El TAM extendido explicó el 70 % de la varianza en la intención de los agricultores de usar riegos presurizados. Los resultados evidenciaron que la influencia social, la demostrabilidad de resultados, la percepción de facilidad de uso y la utilidad percibida como sugiere el TAM original predijeron significativamente la intención de usar riegos presurizados; no siendo así el caso de las condiciones facilitadoras y la compatibilidad. Estos resultados representan una guía para ayudar a los agentes de cambio a evaluar las percepciones de los agricultores en diferentes lugares y sistemas afines.

Keywords: Technology adoption model, Pressurized irrigation, Structural equation modeling, Behavioral psychology, Agricultural extension

3.1. Introducción

El cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq) está siendo ampliamente establecido en América Latina como un cultivo básico a gran escala [Azhar et al., 2017]. Sin embargo, el aumento de la variabilidad ambiental debido al cambio climático está desafiando la capacidad de adaptación de las comunidades socioecológicas en estas regiones. Por tanto, la incertidumbre de las lluvias inducida por el cambio climático puede obstaculizar la productividad de la agricultura de regadío, logrando profundas consecuencias sociales y económicas [Pérez et al., 2016]. En consecuencia, las sequías pueden afectar seriamente el crecimiento y productividad de los cultivos en todo el mundo incluyendo a la palma de aceite [Daryanto et al., 2017]. En palma de aceite, la sequía prolongada causa una disminución en la producción debido al cerramiento de los estomas, la reducción de la tasa fotosintética y de la transpiración, la variación en la proporción de inflorescencias masculinas y femeninas y el incremento de la temperatura foliar, entre otras [Romero et al., 2007]. Durante la estación seca hay alta demanda de uso de agua para riego, siendo ampliamente extendido entre los palmicultores el riego por inundación o superficial, el cual es ineficiente por las pérdidas ocasionadas desde que el agua sale de la fuente hasta que llega al sitio a ser irrigado [Zhang et al., 2019]. No obstante, las predicciones climáticas muestran que el recurso hídrico es cada vez más escaso y la demanda mundial de agua crecerá alrededor del 20-30 % para 2050 [Castillo et al., 2021].

Las innovaciones basadas en el medio ambiente incluyen un grupo de prácticas agrícolas sostenibles, tales como, tecnologías de agricultura de precisión, gestión mejorada de nutrientes y sistemas relacionados con el agua (tecnologías de riegos presurizados -goteos y aspersores) [Adnan et al., 2017]. Teniendo en cuenta que las demandas urbanas y rurales determinarán aumentos en la extracción de agua, se hace necesario que los productores adopten riegos presurizados (en virtud de la presión a la cual funcionan) que permitan la producción de manera sostenible bajo el escenario de incremento del déficit hídrico que se espera con el cambio y la variabilidad climática. Con las prácticas generales de cultivo, la producción de alimentos y su impacto en el medio ambiente, es indispensable que los agricultores adopten innovaciones eficientes que intensifiquen la productividad y reduzcan el daño ambiental [Adnan et al., 2017].

Sin embargo, a pesar del conocimiento de la eficiencia de los riegos presurizados, la adopción de esta tecnología es baja. En este escenario, existen estudios que se han centrado en las preocupaciones económicas que influyen en la decisión y adopción de tecnologías [Flett et al., 2004]; [Castillo et al., 2021]). No obstante, la comunidad académica ha realizado esfuerzos de investigación pioneros en el desarrollo y aplicaciones de modelos y teorías de adopción de tecnologías que incorporan elementos relacionados con el comportamiento y motivación de un individuo para explicar la aceptación de nuevas tecnologías y su intención de uso [Lai, 2017]. En este sentido, se destacan la Teoría de la difusión de la innovación (DIT) [Rogers Everett, 1962], la Teoría de la acción razonada (TRA) [Fishbein, 1975]), la Teoría del comportamiento planificado (TPB) [Ajzen, 1991], el Modelo de aceptación tecnológica (TAM) [Davis, 1989], el Modelo de aceptación tecnológica 2 (TAM2) [Venkatesh and Davis, 2000], la Teoría unificada de aceptación y uso de tecnología (UTAUT), [Venkatesh et al., 2003] y el Modelo de aceptación tecnológica 3 (TAM3) [Venkatesh and Bala, 2008], entre otros.

Comprender los elementos esenciales que determinan la intención de usar riegos presurizados amplía el marco conceptual disponible y proporciona información que ayudará a que las intervenciones conlleven a una mayor aceptación y utilización efectiva de la tecnología. En consecuencia, el objetivo de este estudio fue conocer los factores que inciden en la aceptación de riegos presurizados por los productores de palma de aceite. Los resultados obtenidos pueden orientar el desarrollo de estrategias para promover la aceptación de riegos y ayudar a los investigadores involucrados con riegos presurizados a aliviar algunos de los obstáculos de la aceptación de estos. El documento está organizado de la siguiente manera: la sección 3.2 se refiere a los conceptos y marco que apoyarán las hipótesis de investigación. La sección 3.3 presenta la metodología. La sección 3.4 analiza y discute los resultados empíricos y la sección final proporciona conclusiones.

3.2. Marco teórico e hipótesis

3.2.1. Modelo de Aceptación de Tecnología (TAM)

La aceptación y uso de la tecnología ha sido estudiada a través de dos paradigmas: el primero trata sobre cómo los rasgos de un individuo explican el uso de la tecnología, mientras que el segundo se centra en cómo los aspectos de una determinada tecnología pueden influir en la percepción y

el uso por parte de un individuo [Porter and Donthu, 2006]. En 1989, Davis, a partir de la Teoría de la acción razonada (TRA) y la Teoría del comportamiento planificado (TPB) usó el TAM para explicar el comportamiento o los determinantes de la aceptación informática, proporcionando una base para rastrear el impacto de los factores externos en las creencias internas, actitudes e intenciones de una persona; en síntesis, las actitudes de una persona hacia una tecnología juegan un papel importante en determinar su comportamiento hacia esta. [Fishbein, 1975] definieron actitud como la evaluación individual de un objeto, creencia como un vínculo entre un objeto y algún atributo, y comportamiento como resultado o intención; dichas actitudes son afectivas y basadas en un conjunto de creencias sobre el objeto de comportamiento, y condicionan las normas subjetivas de las personas acerca de lo que percibe como inmediato.

El TAM incluye y prueba dos creencias específicas; la utilidad percibida (PU) y la percepción de facilidad de uso (PEOU). Davis (1989), definió PU como el grado en que una persona cree que usar un sistema en particular mejoraría su desempeño laboral y PEOU como el grado en que una persona cree que usar un sistema en particular estaría libre de esfuerzo. En un importante número de investigaciones, se han considerado estos dos factores psicológicos (PU y PEOU) como elementos centrales que condicionan la toma de decisiones para aceptar una tecnología. Según el TAM, la utilidad percibida y la percepción de facilidad de uso son creencias que se presume que influyen en las actitudes hacia las nuevas tecnologías [Davis, 1989]. Sin embargo, en versiones más recientes de TAM, la actitud hacia el uso se elimina del modelo; mientras que la intención conductual suele ser más poderosa que el comportamiento real. [Ajzen, 1991], observó que la intención conductual es un determinante inmediato de la conducta real; y, cuando se alcanza una medida adecuada de intención, esto resultará en la predicción de comportamiento más precisa [Adnan et al., 2017].

Basado en lo anterior, se proponen las siguientes hipótesis:

H1. La utilidad percibida tiene un efecto directo sobre la intención de uso.

H2. La percepción de facilidad de uso tiene un efecto directo sobre la intención de uso.

TAM, es uno de los marcos teóricos más valiosos utilizados para explicar diversas intenciones y comportamientos en diferentes entornos [Rezaei et al., 2020], demostrando ser altamente predictivo de la aceptación de la tecnología [Venkatesh and Bala, 2008]). Es así como TAM ha sido aplicado

a diversas tecnologías emergentes y ha sido ampliamente utilizado para evaluar cómo las personas toman decisiones con respecto a la aceptación de nuevas tecnologías; y que, a través del tiempo, continúa siendo fundamental en el dominio de la investigación e innovación [Wahbeh et al., 2018]. Sin embargo, debido a las limitaciones en términos de poder explicativo de TAM (R^2), [Lai, 2017] y su restricción en la predicción de que la tecnología es aceptada si es útil y fácil de usar (Venkatesh Bala, 2008), existen extensiones de TAM que proporcionan una explicación y un predictivo aún más fuerte de por qué un sistema en particular puede ser aceptado o no [Abdullah and Ward, 2016].

3.2.2. Extensión de TAM

A través de cuatro estudios longitudinales [Venkatesh and Davis, 2000] propusieron el modelo conocido como TAM2. La aspiración era mantener las variables latentes o estructuras originales del modelo TAM e incluir determinantes clave adicionales de utilidad percibida, intención de uso, y comprender cómo el efecto de estos determinantes cambia al aumentar la experiencia de los usuarios a lo largo del tiempo con el sistema objetivo. Sin embargo, TAM2 solo se centró en los determinantes de utilidad percibida e intención de uso. Por tanto, [Venkatesh, 2000] identificaron determinantes de la facilidad de uso, y fue así como [Venkatesh and Bala, 2008] presentaron el TAM3 como una red nomológica completa de los determinantes de la aceptación de tecnología; justificando, que las intervenciones basadas en los predictores de la utilidad percibida y la facilidad de uso, son clave para ayudar a los gerentes a tomar decisiones efectivas e influir en los determinantes conocidos de la aceptación y, en consecuencia, el éxito de las nuevas tecnologías.

El TAM extendido con estructuras internas o externas no solo predice la intención de usar la tecnología, sino que también proporciona una explicación de la aceptación o no de un sistema, ayudando a que los investigadores y profesionales sigan los pasos correctivos apropiados [Abdullah and Ward, 2016]. Junto a esto, las variables adicionales en el TAM proporcionan un valor predictivo aún más fuerte [Legrís et al., 2003]. En un metanálisis de 88 estudios de TAM, [King and He, 2006] encontraron el desarrollo de cuatro modificaciones principales: Primero, factores previos/externos en el modelo que afectan la utilidad y percepción de facilidad de uso [Wu et al., 2007]. En segundo lugar, incorporaron factores adicionales sugeridos por otras teorías que influyen directamente en la intención o el uso real, como la innovación personal [Liang et al., 2003]. En tercer lugar, incluyeron en el modelo como moderadores, los

factores contextuales: características del usuario [Venkatesh et al., 2003], características de la tecnología [Sun and Zhang, 2006] y factores organizacionales [Venkatesh and Davis, 2000]. Por último, el modelo fue extendido para incluir medidas de consecuencias, como la percepción [Moon and Kim, 2001] y uso actual [Davis and Venkatesh, 2004]. [Venkatesh and Davis, 1996] afirmaron que el reconocimiento de los determinantes de la utilidad percibida y la facilidad de uso, son necesarias para explicar la aceptación de la tecnología por parte del usuario [Rezaei et al., 2020].

En este sentido, se han usado extensiones del TAM en diversos sectores con el fin de examinar los determinantes del comportamiento de un individuo para aceptar una tecnología. En el sector agrícola, se han estudiado las actitudes de comportamiento hacia el ahorro de agua [Gilg and Barr, 2006], los factores que influyen en los comportamientos de consumo sostenible [Wang et al., 2014], la intención y comportamiento de los agricultores con respecto a la conservación del agua [Yazdanpanah et al., 2014], la intención de los agricultores de realizar medidas agroambientales no subvencionadas [van Dijk et al., 2016], la predicción de la aceptación del control biológico entre los productores de arroz iraníes [Sharifzadeh et al., 2017], las intenciones de los agricultores de conservar la biodiversidad en las fincas [Maleksaeidi and Keshavarz, 2019], el comportamiento de los agricultores con respecto a la conservación ecológica [Rezaei et al., 2020], la comprensión del comportamiento de los agricultores hacia tecnologías de riegos presurizados [Castillo et al., 2021], entre otros.

Las condiciones facilitadoras (FC), representan el soporte organizacional que suministra el uso de una tecnología [Venkatesh and Bala, 2008]. Las FC, también se definen como el grado en que un individuo cree que una organización puede apoyar en el uso del sistema [Venkatesh, Morris, 2003]. [Thompson et al., 1991] citan que el comportamiento no puede ocurrir si las condiciones objetivas del entorno lo impiden; definiendo las condiciones facilitadoras como "factores objetivos" que dependen de otras mediaciones ya sean jueces u organizaciones para acordar un acto fácil de hacer. Los resultados empíricos indican que facilitar las condiciones tiene una influencia directa en el uso más allá de lo explicado por intenciones conductuales. Igualmente, estas condiciones se modelan como un antecedente de uso (es decir, no totalmente mediado por intención) [Venkatesh et al., 2003]. La provisión de soporte a los usuarios de una tecnología, la disponibilidad de personal de apoyo [Bergeron et al., 1990], los consultores [Cragg and King, 1993], el apoyo en

la formación [Igbaria et al., 1997] y las capacitaciones y ayudas a los usuarios cuando encuentren dificultades [Zulkefli and Syahlan, 2017] son una serie de condiciones que pueden influir en la utilización del sistema. Finalmente, el apoyo se ha introducido como una estructura que refleja ayuda o barreras al comportamiento asociado con condiciones externas [Park et al., 2014].

Con los antecedentes descritos se puede establecer la siguiente hipótesis:

H3. Las condiciones facilitadoras tienen un efecto directo sobre la intención de uso.

Sobre la influencia social (SI) [Ajzen, 1991], definió que la SI o normas subjetivas ocurren cuando un individuo recibe presión social de grupos de personas u otras personas que son importantes en su vida y desean que actúe de una manera específica. Por otra parte, [Venkatesh and Davis, 2000] definen la SI como la percepción que se hace un individuo de la mayoría de las personas que son importantes para él, sobre si debe o no debe realizar el comportamiento en cuestión. Esta variable captura varios procesos y mecanismos sociales que guían a las personas a la formación de percepciones tardías de varios aspectos [Venkatesh and Bala, 2008]. En su comparación empírica de TAM y TRA, [Davis et al., 1989] encontraron que la norma subjetiva no tenía efecto sobre las intenciones más allá de la utilidad percibida. Sin embargo, otros investigadores mencionan que SI demostró que afectan la intención conductual de manera positiva, y que cuando las personas consideran que deben realizar un comportamiento específico, tendrán más intención debido a un mayor grado de presión social [Adnan et al., 2017]. En síntesis, las personas aprenden y aplican comportamientos basados en lo que observan en agrupaciones sociales [Rezaei et al., 2020].

Con este soporte surge la hipótesis:

H4. La influencia social tiene un efecto directo sobre la intención de uso.

La compatibilidad (C), tradicionalmente definida como el grado en el que una innovación se percibe como coherente con la existente [Rogers Everett, 1962]. Es decir, que una innovación se considera consecuente con los valores, recursos, necesidades y experiencias de los posibles adoptantes [Moore and Benbasat, 1991]. Esta variable resalta que un individuo no tendrá la intención de aceptar una innovación o tecnología incompatible con su día a día [Rezaei et al., 2020]. Igualmente, en el TAM2 se teoriza que las personas usan una representación mental para evaluar los objetivos la-

borales importantes y las consecuencias de utilizar un sistema como base para formar juicios sobre la continuidad de uso.

Con estas aseveraciones se establece la hipótesis:

H5. La compatibilidad tiene un efecto directo sobre la intención uso.

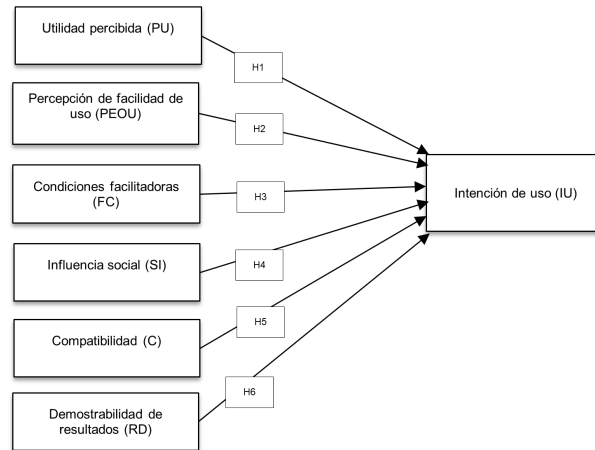
La demostrabilidad de resultados (RD), definida por [Moore and Benbasat, 1991] como la tangibilidad del uso de la innovación. Se puede esperar que los individuos formen percepciones más positivas de la utilidad de un sistema si la covariación entre el uso y los resultados positivos se distinguen fácilmente. Las características de la tecnología pueden ayudar a las personas a desarrollar percepciones favorables (o desfavorables) sobre la utilidad o percepción de facilidad de uso de una tecnología [Venkatesh and Bala, 2008]. Los sistemas efectivos pueden no lograr la aceptación del usuario si presentan dificultad para atribuir ganancias en su desempeño laboral específicamente a su uso del sistema. Esto indica que cuando los resultados tangibles de la tecnología son evidentes, los potenciales adoptantes pueden comprender las ventajas de usar nueva tecnología para bien de su trabajo.

Esto permite establecer una última hipótesis:

H6. La demostrabilidad de los resultados tiene un efecto directo sobre la intención de uso.

Con el conjunto de hipótesis establecidas previamente, se propone el modelo (Figura **3-1**).

Figura 3-1: Modelo teórico propuesto.



3.3. Metodología

3.3.1. Características de los encuestados

El presente estudio, se desarrolló con 124 productores ubicados en la cuenca del río Sevilla, en el departamento del Magdalena, Colombia. Dicha encuesta fue realizada por el Centro de Investigación de Palma de Aceite – Cenipalma, durante los meses de mayo y julio de 2021. En 2019, el departamento del Magdalena, contribuyó con el 19.4 % de la participación del sector palmero en el producto interno bruto (PIB) Agropecuario del país. Esta región se enfrenta a una estación seca de cinco a ocho meses sin lluvias, la cual ocasiona graves afectaciones, toda vez que en las plantas el agua es fundamental para que puedan cumplir con su ciclo vital.

3.3.2. Diseño y desarrollo del instrumento de medida

Para dar cumplimiento a los objetivos propuestos en la investigación, se realizó una encuesta en campo a productores habituales de sistemas de riego, con la que se midió la percepción de los palmicultores acerca de las condiciones facilitadoras, la influencia social, la compatibilidad, la demostrabilidad de resultados, la utilidad percibida, la percepción de facilidad de uso y finalmente la intención de uso. El cuestionario fue desarrollado con base a una revisión de la literatura en aplicaciones agrícolas para asegurar que se incluyó una lista completa de medidas [Sharifzadeh et al., 2017]; [Rezaei et al., 2020]. La información se ajustó y validó para el contexto de riegos presurizados. El

tipo de respuesta fue una escala Likert de 5 puntos desde 'muy de acuerdo' hasta 'muy en desacuerdo'.

Como primer paso, antes de aplicar las encuestas, se hizo un estudio piloto con alrededor de 25 palmicultores del área de estudio que fueron excluidos de la encuesta final. La prueba piloto utilizó el instrumento de encuesta para asegurar la comprensión de los componentes de la encuesta y las escalas de medición por parte de los agricultores participantes. Igualmente, el cuestionario fue enviado para revisión a tres funcionarios con experiencia práctica en el uso de riegos presurizados y con conocimiento de la zona de estudio. Una vez completados los cuestionarios, validez de contenido (coeficiente de confiabilidad alfa de Cronbach), comentarios de los palmicultores encuestados y las observaciones de los investigadores, se tuvieron en cuenta para la versión final.

3.3.3. Técnicas de análisis estadístico

El modelo se probó utilizando el método multivariante de segunda generación denominado modelación de ecuaciones estructurales con mínimos cuadrados parciales PLS-SEM (basado en varianza). Este método está teniendo gran aceptación y prevalencia en la comunidad científica en el área de ciencias sociales por tener un enfoque alternativo, robusto y más flexible que el SEM tradicional, basado en covarianza [Hair et al., 2017]; toda vez, que el tamaño de la muestra afecta significativamente la confiabilidad y validez de las estimaciones de los parámetros, el ajuste del modelo y el poder estadístico del SEM [Wang et al., 2019].

No obstante, se han sugerido varias reglas para establecer el tamaño de muestra mínimo para estimar un modelo; una de ellas, determinado por la regla de las 10 veces en PLS-SEM (el tamaño de la muestra debe ser diez veces mayor que el número de las rutas existentes en el modelo; o mayor a la variable endógena con el mayor número de estructuras exógenas que lo predicen) [Hair et al., 2017]. En este caso, la construcción endógena con el mayor número de construcciones exógenas es la intención de uso (IU) que tiene seis predictores exógenos. Esto implica, que se requiere una muestra mínima de 60 elementos (10x6). Por tanto, teniendo en cuenta la recomendación sobre el tamaño de la muestra, en el estudio se proponen 124 respuestas de la población objetivo, las cuales son suficientes para estimar el modelo [Alambaigi and Ahangari, 2016].

PLS-SEM emergió como una técnica para analizar las complejas relaciones entre variables latentes que permiten explicar los datos observados y el análisis predictivo como elemento relevante en la investigación científica; tiene como objetivo principal el análisis causal predictivo en el cual los problemas analizados son multifacéticos, complejos y el conocimiento teórico puede ser escaso [Martínez Ávila and Fierro Moreno, 2018]. Por tanto, las hipótesis se prueban investigando la causa y relaciones de efecto para predecir la intención de uso. Basado en los estudios sobre las técnicas de análisis estadístico, PLS-SEM se consideró la elección adecuada en asociación con el objetivo de este estudio, que es para predecir la intención de usar riegos presurizados por parte de los productores de palma de aceite. Se utilizó SMARTPLS 3.0 para ejecutar el análisis factorial confirmatorio (AFC) y para verificar la consistencia interna, la confiabilidad y la validez del modelo teórico a la encuesta definitiva. Para estimar los coeficientes de ruta, se utilizó el método Bootstrap que prueba parámetros significativos a través de la simulación y por método de remuestreo. Con el fin de realizar una estimación exacta de los modelos, un número mínimo de remuestreo equivalente a 500 proporciona resultados fiables [Alambaigi and Ahangari, 2016].

3.4. Resultados y Discusión

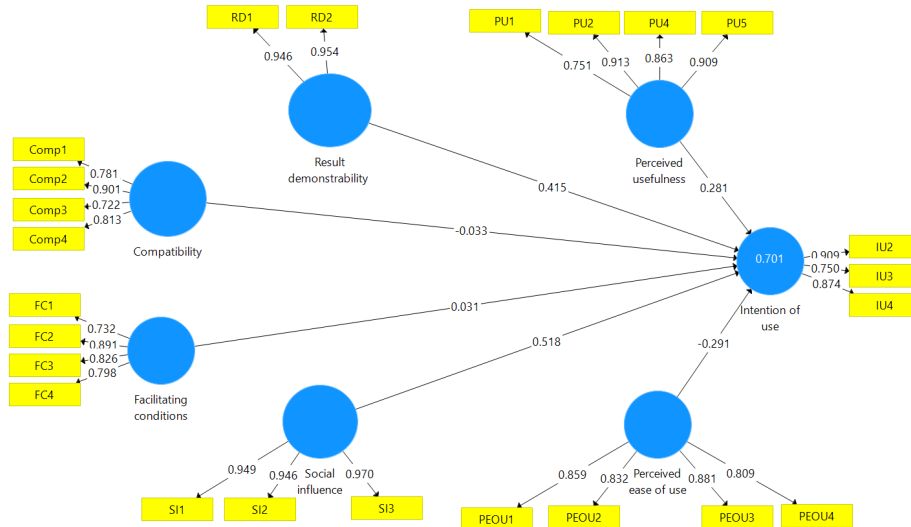
De los 124 encuestados, se encontró que tenían una edad promedio de 60 años y el 78.8% correspondió al género masculino. Por tanto, puede sugerir menos roles femeninos en la población agrícola (Oyetunde-Usman et al., 2021). Por otra parte, el promedio de las plantaciones fue de 11.2 ha.

El análisis factorial de la aceptación de tecnología identificó siete variables latentes: las condiciones facilitadoras (FC), la influencia social (SI), la compatibilidad (C), la demostrabilidad de resultados (RD), la utilidad percibida (PU), la percepción de facilidad de uso (PEOU) y finalmente la intención de uso (IU). Las variables latentes consisten en seis variables exógenas, cargadas en promedio con cuatro indicadores o elementos de investigación, y una variable endógena cargada con tres elementos de investigación (IU).

Se estableció el coeficiente de determinación valor R^2 para evaluar la precisión predictiva de la variable endógena (IU) del modelo estructural. Se obtuvo que R^2 (0.701) evalúa un poder predictivo adecuado [Chin, 1998]; [Hair et al., 2017]. En consecuencia, las seis variables exógenas (FC, SI, C, RD, PU y PEOU) explicaron el 70% de la varianza en IU. El modelo natural junto con sus

coeficientes de trayectoria se ilustra en la Figura 3-2.

Figura 3-2: Modelo estructural y coeficientes de trayectoria de las variables latentes del modelo teórico propuesto.



Fuente: Elaboración propia

La evaluación del modelo de medida se llevó a cabo a través de: 1) la consistencia interna (fiabilidad compuesta - CR); 2) la validez convergente (fiabilidad del indicador y la varianza media extraída - AVE) y 3) la validez discriminante (relación heterotrait-monotrait - HTMT y cargas cruzadas entre indicadores y variables latentes).

La CR mide la consistencia interna (grado en que los indicadores que hacen parte de una variable latente están correlacionados) teniendo en cuenta la carga exterior de los indicadores. Los valores de CR superiores a 0.7 pueden considerarse satisfactorios [Wang et al., 2019].

La validez convergente indica que un conjunto de indicadores representan a una única variable subyacente [Henseler, 2010], el cual es validado con la AVE, que mide que la varianza de la variable se puede explicar a través de los indicadores elegidos [Martínez Ávila and Fierro Moreno, 2018]. Valores de carga iguales o superiores a 0.7 se consideran en contra de la hipótesis nula respectiva, lo que indica una adecuada validez convergente. La AVE deberá ser mayor o igual a 0.5 y proporciona

la cantidad de varianza que una estructura obtiene de sus indicadores en relación con la cantidad de varianza debida al error de medida; esto significa que cada estructura explicaron al menos el 50 % de la varianza de los indicadores [Hair et al., 2017].

La validez discriminante determina la medida en que las variables latentes son verdaderamente distintas de otras variables en el modelo. Según, Fornell-Lacker, las raíces cuadradas de AVE en cada variable latente se pueden utilizar para establecer la validez discriminante si el valor es mayor que otros valores de correlación entre las variables latentes [Chin, 1998]. Sin embargo, [Henseler et al., 2015] al realizar estudios de simulación, demostraron que la falta de validez se detecta de mejor forma por medio de la ratio HTMT. Si las correlaciones monotrait-heteromethod (correlaciones entre los indicadores que miden la misma variable) son mayores que las heterotrait-heteromethod (correlaciones entre los indicadores que miden diferentes variables) habrá validez discriminante. Así, la ratio HTMT debe estar por debajo de uno.

En la evaluación del modelo de medida, los indicadores de investigación que no lograron medir adecuadamente las variables latentes (IU1, PU3, RD3) se eliminaron de las pruebas empíricas posteriores. Todos los indicadores presentaron una carga superior a 0.7, el cual se considera aceptable [Wang et al., 2019]. En otras palabras, todos los indicadores alcanzaron el valor umbral; por eso, se logró una fiabilidad satisfactoria del indicador. En cuanto a la fiabilidad de la consistencia interna, se observó que todas las variables latentes también alcanzaron el nivel satisfactorio de CR (>0.7) [Hair et al., 2017]. La varianza media extraída (AVE) se evaluó para todas las variables para verificar la validez convergente. Se pudo observar que todas las variables cumplieron un nivel satisfactorio de AVE (>0.5); por lo tanto, la validez convergente fue confirmada. En consecuencia, se concluye que las variables latentes cumplieron con la confiabilidad y la convergencia, requisito de validez en esta etapa. Los valores de carga de cada variable, la CR y su AVE se presentan en la Tabla **3-1**.

Tabla 3-1: Evaluación del modelo de medida a través de la fiabilidad compuesta - CR y la varianza media extraída - AVE.

Construcción	Elementos	Cargas (>0.7)	Fiabilidad Compuesta - CR (>0.7)	Varianza Media Extraída - AVE (>0.5)
Intención de uso (IU)	IU2	0.909	0.883	0.718
	IU3	0.750		
	IU4	0.874		
Compatibilidad (C)	C1	0.781	0.881	0.651
	C2	0.901		
	C3	0.722		
	C4	0.813		
Condiciones de facilitamiento (FC)	FC1	0.732	0.886	0.662
	FC2	0.891		
	FC3	0.826		
	FC4	0.798		
Facilidad de uso percivida (PEOU)	PEOU1	0.859	0.909	0.715
	PEOU2	0.832		
	PEOU3	0.881		
	PEOU4	0.809		
Utilidad percivida (PU)	PU1	0.751	0.920	0.742
	PU2	0.913		
	PU4	0.863		
	PU5	0.909		
Demostrabilidad de resultados (RD)	RD1	0.946	0.949	0.902
	RD2	0.954		
Influencia social (SI)	SI1	0.949	0.969	0.912
	SI2	0.946		
	SI3	0.970		

En cuanto a la validez discriminante mediante la ratio HTMT (Tabla 3-2), ninguno del intervalo de confianza de los valores de HTMT para la estructura de rutas contiene el valor de 1, lo que indica una suficiente validez discriminante (Henseler et al., 2015). Para el criterio de carga cruzada, todas las variables latentes fueron más altos que las cargas en las demás variables (Tabla 3-3), lo que indica que los indicadores de diferentes variables son distintos. La diferencia entre cargas a través de variables no fue menos de 0.1 [Chin, 1998]; [Wang et al., 2019].

Tabla 3-2: Evaluación del modelo de medida a través de la validez discriminante – HTMT.

	C	FC	IU	PEOU	PU	RD	SI
C	——						
FC	0.209	——					
IU	0.693	0.285	——				
PEOU	0.896	0.228	0.654	——			
PU	0.858	0.223	0.735	0.886	——		
RD	0.712	0.276	0.837	0.755	0.583	——	
SI	0.797	0.258	0.865	0.785	0.785	0.774	——

Tabla 3-3: Evaluación del modelo de medida a través de la validez discriminante - criterio de carga cruzada.

	C	FC	IU	PEOU	PU	RD	SI
C1	0.781	0.002	0.468	0.581	0.676	0.312	0.607
C2	0.901	0.170	0.673	0.722	0.780	0.602	0.808
C3	0.722	0.141	0.277	0.541	0.414	0.523	0.353
C4	0.813	0.201	0.431	0.620	0.543	0.551	0.526
FC1	0.217	0.732	0.147	0.254	0.150	0.350	0.211

	C	FC	IU	PEOU	PU	RD	SI
FC2	0.112	0.891	0.215	0.164	0.181	0.175	0.196
FC3	0.098	0.826	0.152	0.150	0.135	0.104	0.173
FC4	0.111	0.798	0.235	0.065	0.157	0.148	0.168
IU2	0.626	0.210	0.909	0.513	0.611	0.660	0.823
IU3	0.468	0.207	0.749	0.402	0.506	0.457	0.439
IU4	0.452	0.197	0.875	0.506	0.470	0.688	0.666
PEOU1	0.685	0.114	0.378	0.875	0.699	0.478	0.559
PEOU2	0.615	0.175	0.369	0.849	0.598	0.506	0.453
PEOU3	0.639	0.168	0.648	0.859	0.696	0.650	0.788
PEOU4	0.677	0.154	0.471	0.807	0.660	0.621	0.623
PU1	0.468	0.135	0.487	0.555	0.741	0.381	0.419
PU2	0.660	0.228	0.512	0.667	0.915	0.410	0.614
PU4	0.708	0.139	0.479	0.686	0.872	0.427	0.669
PU5	0.814	0.163	0.655	0.775	0.908	0.565	0.771
RD1	0.550	0.210	0.661	0.652	0.451	0.946	0.648
RD2	0.613	0.222	0.710	0.626	0.542	0.954	0.709
SI1	0.737	0.225	0.720	0.733	0.705	0.658	0.949
SI2	0.726	0.213	0.777	0.698	0.723	0.703	0.946
SI3	0.706	0.214	0.751	0.661	0.665	0.686	0.970

Después de validar que las variables latentes se midieron correctamente, usando el modelo estructural, se revisaron las relaciones causales entre las estructuras. En este estudio se desarrollaron seis hipótesis directas. Para probar el nivel de significancia estadística t para todos los caminos, se utilizó la función Bootstrap (submuestra 500) SMARTPLS 3.0. [Hair et al., 2017], afirmaron que en el modelo estructural los investigadores evalúan el R^2 , el valor t correspondiente y la beta. Adicionalmente, informar la relevancia predictiva (Q^2) y el tamaño del efecto (f^2). Seis factores de

aceptación, a saber, CF, SI, RD, C, PEOU y UP, se han identificado a partir de diversas literaturas, para predecir la intención de uso. A partir del análisis factorial, se observó un poder predictivo adecuado (R^2 0.701), lo que indica que las seis estructuras moderaron la predicción de IU y esto es acorde con lo expresado por [Hair et al., 2017]. Con respecto a la relevancia predictiva [Chin, 1998] propuso que un modelo valida una buena relevancia predictiva una vez que su evaluación Q^2 sea mayor que cero. En la línea de esta investigación la relevancia predictiva Stone-Geisser's Q^2 para la estructura endógena IU estuvo por arriba de cero y del umbral medio, lo que indica que las variables exógenas (CF, SI, RD, C, PEOU y UP) tienen una relevancia predictiva para la estructura endógena IU. La evaluación del coeficiente de trayectoria se muestra en la Tabla 3-4.

Tabla 3-4: Evaluación del coeficiente de trayectoria del modelo estructural.

Hipótesis	Relación	Error Estándar	Valor-t	R^2	f^2	Q^2
H1	PU ->IU	0.133	2.107	0.701	0.071	0.437
H2	PEOU ->IU	0.109	2.667		0.079	
H3	FC ->IU	0.061	0.502		0.003	
H4	SI ->IU	0.142	3.646		0.248	
H5	C ->IU	0.128	0.258		0.000	
H6	RD ->IU	0.149	2.792		0.242	

Cuatro de las seis hipótesis (H1, H2, H4 y H6) tenían un valor $t > 1.645$, con evidencia en contra de la hipótesis nula respectiva. Específicamente, los predictores PU, PEOU, SI y RD están positivamente relacionados en IU. Adicionalmente, tener un valor $t > 1.645$ para un nivel de significancia del 5 por ciento implica que PU, PEOU, SI y RD tienen fuertes relaciones positivas con IU [Hair et al., 2017]. Finalmente, SI es el predictor más fuerte, seguido de RD, PEOU y PU. Estos resultados evidencian que la tendencia de los agricultores de palma de aceite a aceptar riegos presurizados se vio afectada por la influencia social, la demostrabilidad de resultados, la percepción de facilidad de uso y la utilidad percibida.

Los estudios han demostrado la importancia de estas estructuras (PU, PEOU, SI y RD) en el modelo de aceptación tecnológica. Por tanto, es coherente con la predicción planteada. Con base en estos resultados, una razón de la importancia de la influencia social en la intención de uso se debe a

que cuando las tecnologías requieren una inversión, que a su vez trae riesgos objetivos y subjetivos, la percepción que se hace un individuo de la mayoría de las personas que son importantes para él, sobre si debe o no debe realizar el comportamiento en cuestión, forman discernimientos de confianza. En investigaciones pasadas se ha demostrado que las normas subjetivas afectan la intención conductual de manera positiva, y sobresalta aún más que cuando las personas consideran que debe realizar un comportamiento específico, debido a un mayor grado de presión [Adnan et al., 2017]. Además, las personas aprenden y aplican comportamientos basados en lo que observan en agrupaciones sociales [Venkatesh and Davis, 2000]; [Rezaei et al., 2020]. Es decir, los comportamientos de otros influyen en el observador y hace que emule esos comportamientos. La presión social muestra un papel importante en afectar el comportamiento de los productores de palma de aceite en Colombia. Por lo tanto, opiniones de referentes podrían ser la base para promover el uso de riegos presurizados, considerando que los agricultores tienden a mantener las opiniones y sugerencias de sus compañeros en alta estima, incluso cuando no están inclinados a hacerlo.

Otro hallazgo causal en la intención de uso es la demostrabilidad de resultados; cuanto más evidentes sean los resultados del uso de la tecnología de riegos presurizados más útil se percibe la tecnología. Cuando una innovación produce resultados relevantes observables que son fácilmente reconocibles por los individuos, la percepción se ve considerablemente afectada. Los agricultores suelen percibir tecnologías que tienen efectos tangibles y visibles y prácticamente que puedan resolver sus necesidades y problemas de manera más útil en comparación con aquellos que solo tienen resultados subjetivos. Por tanto, en los procesos de extensión, la principal alternativa debería basarse en el establecimiento de áreas de demostración en los que los agricultores puedan observar los resultados de las tecnologías de riegos de manera práctica y real. Este hallazgo es consistente con otros trabajos anteriores realizados por [Zhang et al., 2008]; [Rezaei et al., 2020]).

Otros resultados en este estudio indicaron que la percepción de facilidad de uso tiene un efecto positivo en la intención de los agricultores hacia el uso de riegos presurizados. Un aumento en la percepción de facilidad de uso crea la intención para usar las tecnologías. Más específicamente, la percepción de facilidad de uso tiene que ver con la naturaleza de una tarea y preocupaciones con los atributos intrínsecos de una tecnología, tales como la claridad y la flexibilidad. De hecho, cuando los individuos saben cómo usar la tecnología y / o se sienten más cómodos usándola, es

más probable que desarrollen actitudes favorables hacia él también. [Venkatesh and Davis, 2000], afirmaron que el menor esfuerzo en el uso de un sistema es el mayor rendimiento laboral que se obtendrá al usarlo. En consecuencia, en los procesos de comunicación es necesario tomar las medidas adecuadas para impactar positivamente las estructuras de creencias de los agricultores (es decir, facilidad de uso), en particular los agentes de extensión para facilitar la formación de actitudes entre los agricultores hacia riegos presurizados. Este hallazgo está de acuerdo con los resultados de [Verma and Sinha, 2018].

Adicionalmente, se encontró en este estudio que la utilidad percibida es un predictor de la intención de uso de riegos presurizados. Cabe mencionar que PU ha sido siempre un fuerte determinante de la intención de uso en estudios previos [Sharifzadeh et al., 2017]. La utilidad es una respuesta a la investigación del usuario en sus resultados y propósitos extrínsecos, es decir, orientados a la tarea, como la eficiencia de la tarea y eficacia [Rezaei et al., 2020]. En este caso, los riegos presurizados permiten a los agricultores el incremento en la eficiencia del uso del agua, aumentar la cantidad y calidad de los cultivos y la disminución de costos. En otras palabras, los riegos presurizados tienen numerosos beneficios para los agricultores. En consecuencia, si los agricultores conocen bien los beneficios de estas tecnologías, es probable que formen una actitud favorable hacia estos.

Los hallazgos del estudio indicaron que la compatibilidad y las condiciones facilitadoras no tuvieron un impacto positivo en la intención de uso. En cuanto a la compatibilidad, este factor sugiere que los agricultores pueden considerar la utilidad de la tecnología si la creen simultáneo con los valores, necesidades y experiencias de los posibles adoptantes. A pesar de, este resultado es diferente a los encontrados por [Sharifzadeh et al., 2017] y [Rezaei et al., 2020]). Una posible explicación de la no relevancia de la compatibilidad en la intención de uso es el hecho de que los riegos tradicionales siguen desarrollándose continuamente en el área de estudio. Por tanto, no está adecuadamente identificado entre los agricultores los riegos presurizados. Por ende, afecta la experiencia y el uso real, lo cual va más allá de una formación o conocimiento teórico. Además, cabe mencionar que la compatibilidad también se mide por la coherencia de los riegos presurizados con la situación financiera. Es decir, por la asequibilidad de los agricultores hacia estos sistemas.

Otro factor que no fue concurrente son las condiciones facilitadoras. Cabe mencionar, que este factor apoya la opinión de que los agricultores que reciben los servicios de extensión y la capacitación con frecuencia provocarían cualquier posibilidad de fomentar el uso de riegos presurizados en sus plantaciones. Los servicios de extensión ayudan a los agricultores a evaluar los costos, determinar el perfil de riesgo y la rentabilidad de las nuevas innovaciones [Kaliba et al., 2020]. Sin embargo, cuando la información proporcionada por los extensionistas es limitada (relación costo-beneficio), y el apoyo económico de las organizaciones no es visible, la variable condiciones facilitadoras perdió su importancia para explicar la aceptación de riegos presurizados. En consecuencia, una posible explicación para la diferencia entre este hallazgo en comparación con estudios en otros sectores podrían ser proporcionados por la composición de la muestra [Sharifzadeh et al., 2017]; además de la comunicación asistida por tecnología y la calidad de la relación entre las partes interesadas. [Adnan et al., 2017] señalaron que la comunicación asistida por tecnología implica varios aspectos, por ejemplo, el aspecto psicológico, la cohesión y la interacción social. Estos elementos están muy relacionados a la teoría del comportamiento planificado.

3.5. Conclusiones

El TAM es una teoría bien conocida de aceptación de tecnología y la evidencia existente sugiere que se mantiene bien en el contexto agrícola. En este estudio, se utilizó TAM extendido para predecir el comportamiento de aceptación, el cual explica adecuadamente el 70% la aceptación de riegos presurizados por parte de los productores de palma de aceite. Los resultados de esta investigación conducirán a la difusión de más información que podría brindar más opciones para aumentar la producción de palma de aceite sostenible y ofrecer orientación a los tomadores de decisiones en el diseño de estrategias efectivas.

Usando el TAM extendido que integró las condiciones facilitadoras, la influencia social, la compatibilidad y la demostrabilidad de resultados en el clásico TAM se ha desarrollado y probado un nuevo modelo. El análisis de ruta mostró que cuatro de las seis hipótesis fueron comprobadas. A pesar del gran volumen de investigación con el uso del TAM en otras áreas, en el contexto de palma de aceite y más específico sobre riegos presurizados, la implementación de este modelo no se conoce que se haya informado en la literatura.

Al igual que en muchas investigaciones, las estructuras centrales del modelo (influencia social, demostrabilidad de resultados, percepción de facilidad de uso y utilidad percibida) tenían una influencia fuerte y significativa en la intención de los agricultores de utilizar riegos presurizados.

Según los resultados encontrados, la aceptación de riegos presurizados por parte de los agricultores puede predecirse adecuadamente a partir de las intenciones de los agricultores, que fueron significativamente afectados por la influencia social, la demostrabilidad de resultados, la percepción de facilidad de uso y la utilidad percibida.

Aunque las seis estructuras exógenas (FC, SI, C, RD, PU y PEOU) explican el 70 % de la varianza en IU, hay un 30 % atribuible a otros factores. Por tanto, la investigación futura debe buscar otras variables latentes para ampliar aún más el TAM y mejorar su capacidad explicativa.

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1. Conclusiones

Se identificaron cuatro grupos de productores, que difieren en cuanto a sus características demográficas, socioeconómicas y, a la adopción de tecnologías de riego. Las características más destacadas en los grupos con mejor adopción de tecnologías son las ganancias del cultivo y la edad.

Se puede concluir que las características influyentes en la adopción de tecnologías de riego bajo las condiciones del estudio son: la edad, el tamaño de la plantación y el acceso a extensión. Los resultados de este estudio coinciden con trabajos anteriores sobre adopción de tecnologías.

Según los resultados encontrados, la aceptación de riegos presurizados por parte de los agricultores puede predecirse a partir de la intención de los agricultores, que fue significativamente afectada por la influencia social, la demostrabilidad de resultados, la percepción de facilidad de uso y la utilidad percibida.

El TAM es una teoría conocida de aceptación de tecnología y la evidencia existente sugiere que tiene aplicabilidad en el contexto agrícola. En este estudio, se utilizó TAM extendido para predecir el comportamiento de aceptación, el cual explica adecuadamente el 70 % la aceptación de riegos presurizados por parte de los productores de palma de aceite. Los resultados de esta investigación conducirán a la difusión de más información que podría brindar más opciones para aumentar la producción de palma de aceite sostenible y ofrecer orientación a los tomadores de decisiones en el diseño de estrategias efectivas.

Finalmente, los resultados y las implicaciones del estudio son importantes para promover estrategias de extensión eficientes, una vez que conociendo las características de los agricultores, la heterogeneidad presentada y los factores influyentes en la adopción, la extensión pueda ser focalizada teniendo en cuenta la especificidad local, los intereses y las necesidades de los productores de palma de aceite en Colombia.

4.2. Recomendaciones

El presente estudio tiene algunas limitaciones, que indican la necesidad de un trabajo futuro en esta área. Es decir, se puede ampliar el número de productores o realizarse en cada una de las zonas con influencia de palma de aceite. Además, incluir variables relacionadas con apoyos organizacionales y como el acceso a créditos y condiciones facilitadoras pueden influir a que haya una mayor adopción de tecnologías.

Adicionalmente, se puede realizar estudios con otras tecnologías que también son de importancia en el cultivo de palma de aceite y que en conjunto con tecnologías de riego aumenten los rendimientos de los cultivos y el incremento de la sostenibilidad a través del tiempo.

Aunque las seis estructuras exógenas (FC, SI, C, RD, PU y PEOU) explican el 70 % de la varianza en IU, hay un 30 % atribuible a otros factores. Por tanto, la investigación futura debe buscar otras variables latentes para ampliar aún más el TAM y mejorar su capacidad explicativa.

Dado que la adopción de tecnologías es un proceso complejo y las variables que influyen no se limitan a las estudiadas, para futuras investigaciones se recomienda incluir como parte del modelo la interacción entre las empresas que brindan asistencia técnica para encontrar el efecto que éstas tienen sobre la difusión y el soporte integral (apoyo en insumos, créditos, mejores pagos por el fruto, bonos por calidad o sostenibilidad del cultivo, tecnologías blandas, entre otras) en la adopción de tecnologías. También se recomienda abundar más sobre las características intrínsecas del cultivo o en su efecto como la cultura o posicionamiento de un cultivo puede ser un elemento importante que limite una mayor adopción de tecnologías.

Bibliografía

- [Abdulai et al., 2011] Abdulai, A., Owusu, V., and Bakang, J. . E. A. (2011). Adoption of safer irrigation technologies and cropping patterns: Evidence from Southern Ghana. *Ecological Economics*, 70.
- [Abdullah and Ward, 2016] Abdullah, F. and Ward, R. (2016). Developing a general extended technology acceptance model for E-Learning (GETAMEL) by analysing commonly used external factors. *Computers in Human Behavior*, 56:238–256.
- [Adnan et al., 2017] Adnan, N., Nordin, S. M., and bin Abu Bakar, Z. (2017). Understanding and facilitating sustainable agricultural practice: A comprehensive analysis of adoption behaviour among Malaysian paddy farmers. *Land Use Policy*, 68(May):372–382.
- [Aguilar et al., 2013] Aguilar, G. N., Muñoz, R. M., Santoyo, C. V. H., and Aguilar, Á. J. (2013). Influencia del perfil de los productores en la adopción de innovaciones en tres cultivos tropicales. *Teuken Bidikay*, 4:207–228.
- [Aguilar-Gallegos et al., 2015] Aguilar-Gallegos, N., Muñoz-Rodríguez, M., Santoyo-Cortés, H., Aguilar-Ávila, J., and Klerkx, L. (2015). Information networks that generate economic value: A study on clusters of adopters of new or improved technologies and practices among oil palm growers in Mexico. *Agricultural Systems*, 135:122–132.
- [Aitken et al., 2016] Aitken, D., Rivera, D., Godoy-Faúndez, A., and Holzapfel, E. (2016). Water scarcity and the impact of the mining and agricultural sectors in Chile. *Sustainability (Switzerland)*, 8, 128(2).
- [Ajzen, 1991] Ajzen (1991). The Theory of Planned Behavior Organizational Behavior and Human Decision Processes. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50(2):179–211.

- [Alam, 2015] Alam, K. (2015). Farmers' adaptation to water scarcity in drought-prone environments: A case study of Rajshahi District, Bangladesh. *Agricultural Water Management*, 148:196–206.
- [Alambaigi and Ahangari, 2016] Alambaigi, A. and Ahangari, I. (2016). Technology Acceptance Model (TAM) As a predictor model for explaining agricultural experts behavior in acceptance of ICT. *International Journal of Agricultural Management and Development*, 6(2):235–247.
- [Alberti, 2013] Alberti, G. . (2013). An R script to facilitate Correspondence Analysis: a guide to the use and the interpretation of results from an archaeological perspective. *Archeologia e Calcolatori*, pages 25–53.
- [Álvarez et al., 2018] Álvarez, O., Ruiz, E., Mosquera, M., and Humberto, J. (2018). Evaluación económica de sistemas de riego para plantaciones de palma aceitera en la Zona Norte de Colombia. *Revistas Palmas*, 39(1):69–85.
- [Araujo et al., 2019] Araujo, D. F., Costa, R. N., and Mateos, L. (2019). Pros and cons of furrow irrigation on smallholdings in northeast Brazil. *Agricultural Water Management*, 221(May):25–33.
- [Ayompe et al., 2021] Ayompe, L. M., Schaafsma, M., and Egoh, B. N. (2021). Towards sustainable palm oil production: The positive and negative impacts on ecosystem services and human wellbeing. *Journal of Cleaner Production*, 278:123914.
- [Azhar et al., 2017] Azhar, B., Saadun, N., Prideaux, M., and Lindenmayer, D. B. (2017). The global palm oil sector must change to save biodiversity and improve food security in the tropics. *Journal of Environmental Management*, 203:457–466.
- [Barcelos et al., 2015] Barcelos, E., De Almeida Rios, S., Cunha, R. N., Lopes, R., Motoike, S. Y., Babiychuk, E., Skiryicz, A., and Kushnir, S. (2015). Oil palm natural diversity and the potential for yield improvement. *Frontiers in Plant Science*, 6(MAR):1–16.
- [Bergeron et al., 1990] Bergeron, F., Rivard, S., and De Serre, L. (1990). Investigating the support role of the information center. *MIS Quarterly: Management Information Systems*, 14(3):247–260.
- [Bernal-Hernández et al., 2021] Bernal-Hernández, P., Ramirez, M., and Mosquera-Montoya, M.

- (2021). of environmental and economic performance of combined.pdf. *Journal of Rural Studies*, 83(March 2020):215–225.
- [Bjornlund et al., 2009] Bjornlund, H., Nicol, L., and Klein, K. K. (2009). The adoption of improved irrigation technology and management practices-A study of two irrigation districts in Alberta, Canada. *Agricultural Water Management*, 96(1):121–131.
- [Bjornlund and Bjornlund, 2019] Bjornlund, V. and Bjornlund, H. (2019). Understanding agricultural water management in a historical context using a socioeconomic and biophysical framework. *Agricultural Water Management*, 213(November 2017):454–467.
- [Boretti and Rosa, 2019] Boretti, A. and Rosa, L. (2019). Reassessing the projections of the World Water Development Report. *NPJ Clean Water*, 2(1-6).
- [Bouma et al., 2008] Bouma, J., Bulte, E., and Van Soest, D. (2008). Trust and cooperation: Social capital and community resource management. *Journal of Environmental Economics and Management*, 56(2):155–166.
- [Cascallar et al., 2015] Cascallar, E., Musso, M., Kyndt, E., and Dochy, F. (2015). Modelling for understanding AND for prediction/classification - the power of neural networks in research. *Frontline Learning Research*, 2(5):67–81.
- [Castillo et al., 2021] Castillo, G. M. L., Engler, A., and Wollni, M. (2021). Planned behavior and social capital: Understanding farmers’ behavior toward pressurized irrigation technologies. *Agricultural Water Management*, 243(March 2020):106524.
- [Cenipalma, 2020] Cenipalma (2020). Lineamientos para la Asistencia Técnica del gremio palmero Con apoyo del Fondo de Fomento Palmero. pages 1–21.
- [Chen et al., 2014] Chen, H., Wang, J., and Huang, J. (2014). Policy support, social capital, and farmers’ adaptation to drought in China. *Global Environmental Change*, 24.
- [Chin, 1998] Chin, W. W. (1998). Commentary issues and opinion on Structural Equation Modeling Clear reporting. *Modern methods for business research Methodology for business and management*, 22(1):vii–xvi.
- [Corley, 2009] Corley, R. H. (2009). How much palm oil do we need? *Environmental Science and Policy*, 12(2):134–139.

- [Cragg and King, 1993] Cragg, P. B. and King, M. (1993). Small-Firm Computing: Motivators and inhibitors. *MIS Quarterly*, 17(1):47.
- [Cremades et al., 2015] Cremades, R., Wang, J., and Morris, J. (2015). Policies, economic incentives and the adoption of modern irrigation technology in China. *Earth System Dynamics*, 6.
- [DANE, 2018] DANE (2018). National Council for Economic and Social Policy. *Glosario*, 61:4.
- [Daryanto et al., 2017] Daryanto, S., Wang, L., and Jacinthe, P. A. (2017). Global synthesis of drought effects on cereal, legume, tuber and root crops production: A review. *Agricultural Water Management*, 179:18–33.
- [Davis, 1989] Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly: Management Information Systems*, 13(3):319–339.
- [Davis et al., 1989] Davis, F. D., Bagozzi, R. P., and Warshaw, P. R. (1989). User Acceptance of Computer Technology: A Comparison of Two Theoretical Models. *Management Science*, 35(8):982–1003.
- [Davis and Venkatesh, 2004] Davis, F. D. and Venkatesh, V. (2004). Toward preprototype user acceptance testing of new information systems: Implications for software project management. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 51(1):31–46.
- [Engler et al., 2016] Engler, A., Jara-Rojas, R., and Bopp, C. (2016). Efficient use of water resources in vineyards: A recursive joint estimation for the adoption of irrigation technology and scheduling. *Water Resources Management*, 30(14):5369–5383.
- [Fader et al., 2016] Fader, M., Shi, S., Von Bloh, W., Bondeau, A., and Cramer, W. (2016). Mediterranean irrigation under climate change: More efficient irrigation needed to compensate for increases in irrigation water requirements. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(2):953–973.
- [Fedepalma, 2020] Fedepalma (2020). Informe de Gestión.
- [Fishbein, 1975] Fishbein (1975). Belief, attitude, intention, and behavior: An introduction to theory and research. *Journal of Business Venturing*, 5(3):177–189.
- [Flett et al., 2004] Flett, R., Alpass, F., Humphries, S., Massey, C., Morriss, S., and Long, N. (2004). The technology acceptance model and use of technology in New Zealand dairy farming. *Agricultural Systems*, 80(2):199–211.

- [Gaitan and Ríos, 2020] Gaitan, S. B. and Ríos, M. D. (2020). Socio-economic and technological typology of avocado cv. Hass farms from Antioquia (Colombia). *Ciencia Rural*, 50(7):1–17.
- [Galioto et al., 2020] Galioto, F., Chatzinikolaou, P., Raggi, M., and Viaggi, D. (2020). The value of information for the management of water resources in agriculture: Assessing the economic viability of new methods to schedule irrigation. *Agricultural Water Management*, 227(September 2019):105848.
- [Gifi, 1990] Gifi, A. (1990). *Nonlinear multivariate analysis*. Wiley-Blackwell.
- [Gilg and Barr, 2006] Gilg, A. and Barr, S. (2006). Behavioural attitudes towards water saving? Evidence from a study of environmental actions. *Ecological Economics*, 57(3):400–414.
- [González, 2015] González, V. (2015). The use of the multilayer perceptron for the classification of patterns in addictive behaviors. page 55.
- [Hair et al., 2017] Hair, J., Hult, G., Ringle, C., and Sarstedt, M. (2017). A Primer on partial least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM). Sage Publications. *European Journal of Tourism Research*, 6(2):211–213.
- [Henseler, 2010] Henseler, J. (2010). On the convergence of the partial least squares path modeling algorithm. *Computational Statistics*, 25(1):107–120.
- [Henseler et al., 2015] Henseler, J., Ringle, C. M., and Sarstedt, M. (2015). A new criterion for assessing discriminant validity in variance-based structural equation modeling. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 43(1):115–135.
- [Hunecke et al., 2017] Hunecke, C., Engler, A., Jara-Rojas, R., and Poortvliet, P. M. (2017). Understanding the role of social capital in adoption decisions: An application to irrigation technology. *Agricultural Systems*, 153(2017):221–231.
- [Ibragimov et al., 2019] Ibragimov, A., Sidique, S. F., and Tey, Y. S. (2019). Productivity for sustainable growth in Malaysian oil palm production: A system dynamics modeling approach. *Journal of Cleaner Production*, 213:1051–1062.
- [Igbaria et al., 1997] Igbaria, M., Zinatelli, N., Cragg, P., and Cavaye, A. L. (1997). Personal computing acceptance factors in small firms: A structural equation model. *MIS Quarterly: Management Information Systems*, 21(3):279–301.

- [Iskandar et al., 2018] Iskandar, M. J., Baharum, A., Anuar, F. H., and Othaman, R. (2018). Palm oil industry in South East Asia and the effluent treatment technology—A review. *Environmental Technology and Innovation*, 9(May 2017):169–185.
- [Jara-Rojas et al., 2013] Jara-Rojas, R., Bravo-Ureta, B. E., Engler, A., and Díaz, J. (2013). An analysis of the joint adoption of water conservation and soil conservation in Central Chile. *Land Use Policy*, 32.
- [Jelsma et al., 2019] Jelsma, I., Woittiez, L. S., Ollivier, J., and Dharmawan, A. H. (2019). Do wealthy farmers implement better agricultural practices? An assessment of implementation of Good Agricultural Practices among different types of independent oil palm smallholders in Riau, Indonesia. *Agricultural Systems*, 170(January):63–76.
- [Jordán and Speelman, 2020] Jordán, C. and Speelman, S. (2020). On-farm adoption of irrigation technologies in two irrigated valleys in Central Chile: The effect of relative abundance of water resources. *Agricultural Water Management*, 236(March):106147.
- [Kaliba et al., 2020] Kaliba, A. R., Mushi, R. J., Gongwe, A. G., and Mazvimavi, K. (2020). A typology of adopters and nonadopters of improved sorghum seeds in Tanzania: A deep learning neural network approach. *World Development*, 127:104839.
- [King and He, 2006] King, W. R. and He, J. (2006). A meta-analysis of the technology acceptance model. *Information and Management*, 43(6):740–755.
- [Koech and Langat, 2018] Koech, R. and Langat, P. (2018). Improving irrigation water use efficiency: A review of advances, challenges and opportunities in the Australian context. *Water (Switzerland)*, 10(12).
- [Lai, 2017] Lai, P. (2017). the Literature review of Technology Adoption Models and Theories for the Novelty Technology. *Journal of Information Systems and Technology Management*, 14(1):21–38.
- [Lathief et al., 2020] Lathief, M. F., Soesanti, I., and Permanasari, A. E. (2020). Combination of Fuzzy C-Means, Xie-Beni Index, and Backpropagation Neural Network for Better Forecasting Result. (Iccetim 2019):72–77.

- [Legris et al., 2003] Legris, P., Ingham, J., and Colletette, P. (2003). Why do people use information technology? A critical review of the technology acceptance model. *Information and Management*, 40(3):191–204.
- [Li et al., 2021] Li, M., Bi, X., Wang, L., and Han, X. (2021). A method of two-stage clustering learning based on improved DBSCAN and density peak algorithm. *Computer Communications*, 167(January):75–84.
- [Liang et al., 2003] Liang, H., Xue, Y., and Byrd, T. A. (2003). PDA usage in healthcare professionals: testing an extended technology acceptance model. *International Journal of Mobile Communications*, 1(4):372–389.
- [Liu et al., 2019] Liu, Y., Ruiz-Menjivar, J., Zhang, L., Zhang, J., and Swisher, M. E. (2019). Technical training and rice farmers’ adoption of low-carbon management practices: The case of soil testing and formulated fertilization technologies in Hubei, China. *Journal of Cleaner Production*, 226:454–462.
- [Loevinsohn et al., 2013] Loevinsohn, M., Sumberg, J., Diagne, A., and Whitfield, S. (2013). Under what circumstances and conditions does adoption of technology result in increased agricultural productivity? A Systematic Review (Prepared for the Department for International Development). (July).
- [Maleksaeidi and Keshavarz, 2019] Maleksaeidi, H. and Keshavarz, M. (2019). What influences farmers’ intentions to conserve on-farm biodiversity? An application of the theory of planned behavior in fars province, Iran. *Global Ecology and Conservation*, 20:e00698.
- [Martínez Ávila and Fierro Moreno, 2018] Martínez Ávila, M. and Fierro Moreno, E. (2018). *Application of the PLS-SEM technique in Knowledge Management: a practical technical approach*, volume 8.
- [Meijaard et al., 2018] Meijaard, E., Futures, B., Garcia-ulloa, J., Sheil, D., and Wich, S. (2018). *A situation analysis by the IUCN Oil Palm Task Force*. Number June.
- [Ministerio de ambiente Colombia, 2017] Ministerio de ambiente Colombia (2017). Acuerdo De Voluntades Para La Deforestación Cero En La Cadena De Aceite De Palma En Colombia. pages 1–21.

- [Moon and Kim, 2001] Moon, J. W. and Kim, Y. G. (2001). Extending the TAM for a World-Wide-Web context. *Information and Management*, 38(4):217–230.
- [Moore and Benbasat, 1991] Moore, G. C. and Benbasat, I. (1991). Development of an Instrument to Measure the Perceptions of Adopting an Information Technology Innovation.
- [Mpanga and Idowu, 2021] Mpanga, I. K. and Idowu, O. J. (2021). A decade of irrigation water use trends in Southwest USA: The role of irrigation technology, best management practices, and outreach education programs. *Agricultural Water Management*, 243(August 2020):106438.
- [Nakano et al., 2018] Nakano, Y., Tsusaka, T. W., Aida, T., and Pede, V. O. (2018). Is farmer-to-farmer extension effective? The impact of training on technology adoption and rice farming productivity in Tanzania. *World Development*, 105:336–351.
- [Nikouei et al., 2012] Nikouei, A., Zibaei, M., and Ward, F. A. (2012). Incentives to adopt irrigation water saving measures for wetlands preservation: An integrated basin scale analysis. *Journal of Hydrology*, 464-465:216–232.
- [Nonvide, 2018] Nonvide, G. M. A. (2018). Irrigation adoption: A potential avenue for reducing food insecurity among rice farmers in Benin. *Water Resources and Economics*, 24(May):40–52.
- [Oyetunde-Usman et al., 2021] Oyetunde-Usman, Z., Olagunju, K. O., and Ogunpaimo, O. R. (2021). Determinants of adoption of multiple sustainable agricultural practices among smallholder farmers in Nigeria. *International Soil and Water Conservation Research*, 9(2):241–248.
- [Park et al., 2014] Park, N., Rhoads, M., Hou, J., and Lee, K. M. (2014). Understanding the acceptance of teleconferencing systems among employees: An extension of the technology acceptance model. *Computers in Human Behavior*, 39:118–127.
- [Parra Olivares, 2011] Parra Olivares, J. E. (2011). Multiple correspondence analysis model. *Revista de Ciencias Sociales*, 2(2).
- [Pérez et al., 2016] Pérez, I., Janssen, M. A., and Anderies, J. M. (2016). Food security in the face of climate change: Adaptive capacity of small-scale social-ecological systems to environmental variability. *Global Environmental Change*, 40:82–91.
- [Pirker et al., 2016] Pirker, J., Mosnier, A., Kraxner, F., Havlík, P., and Obersteiner, M. (2016). What are the limits to oil palm expansion? *Global Environmental Change*, 40:73–81.

- [Piwowar et al., 2021] Piwowar, A., Dziku, M., and Dziku, M. (2021). Water management in Poland in terms of reducing the emissions from agricultural sources – current status and challenges. 2(March).
- [Porter and Donthu, 2006] Porter, C. E. and Donthu, N. (2006). Using the technology acceptance model to explain how attitudes determine Internet usage: The role of perceived access barriers and demographics. *Journal of Business Research*, 59(9):999–1007.
- [Qaim et al., 2020] Qaim, M., Sibhatu, K. T., Siregar, H., and Grass, I. (2020). Environmental, economic, and social consequences of the oil palm boom. *Annual Review of Resource Economics*, 12:321–344.
- [R Core Team, 2019] R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. 2:1–12.
- [Ramirez, 2013] Ramirez, A. (2013). The Influence of Social Networks on Agricultural Technology Adoption. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 79:101–116.
- [Rezaei et al., 2020] Rezaei, R., Safa, L., and Ganjkanloo, M. M. (2020). Understanding farmers’ ecological conservation behavior regarding the use of integrated pest management- an application of the technology acceptance model. *Global Ecology and Conservation*, 22:e00941.
- [Rodríguez-Hernández et al., 2021] Rodríguez-Hernández, C. F., Musso, M., Kyndt, E., and Cascallar, E. (2021). Artificial neural networks in academic performance prediction: Systematic implementation and predictor evaluation. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 2(March):100018.
- [Rogers Everett, 1962] Rogers Everett (1962). Diffusion of Innovations. *third ed. Free Press, New York, USA.*, 24(3):355–368.
- [Romero et al., 2007] Romero, H. M., Ayala, I., and Ruiz, R. (2007). Ecofisiología de la palma de aceite. *PALMAS Especial*, 28:176–184.
- [Rossi et al., 2020] Rossi, F. R., Filho, H. M. d. S., Miranda, B. V., and Carrer, M. J. (2020). The role of contracts in the adoption of irrigation by Brazilian orange growers. *Agricultural Water Management*, 233(October 2019):106078.

- [Rspo, 2022] Rspo (2022). Smallholders retrieved from: <https://www.rspo.org/smallholders/>. Accessed: 2022-03-18.
- [Santika et al., 2019] Santika, T., Wilson, K. A., Budiharta, S., Law, E. A., Poh, T. M., Ancrenaz, M., Struebig, M. J., and Meijaard, E. (2019). Does oil palm agriculture help alleviate poverty? A multidimensional counterfactual assessment of oil palm development in Indonesia. *World Development*, 120:105–117.
- [Sayer et al., 2012] Sayer, J., Ghazoul, J., Nelson, P., and Klintuni Boedhihartono, A. (2012). Oil palm expansion transforms tropical landscapes and livelihoods. *Global Food Security*, 1(2):114–119.
- [Sharifzadeh et al., 2017] Sharifzadeh, M. S., Damalas, C. A., Abdollahzadeh, G., and Ahmadi-Gorgi, H. (2017). Predicting adoption of biological control among Iranian rice farmers: An application of the extended technology acceptance model (TAM2). *Crop Protection*, 96(December 2018):88–96.
- [Siderska, 2017] Siderska, J. (2017). Neural model for assessing the value of social capital. *Procedia Engineering*, 182:643–650.
- [Sun and Zhang, 2006] Sun, H. and Zhang, P. (2006). The role of moderating factors in user technology acceptance. *International Journal of Human Computer Studies*, 64(2):53–78.
- [Taherdoost, 2018] Taherdoost, H. (2018). A review of technology acceptance and adoption models and theories. *Procedia Manufacturing*, 22:960–967.
- [Tan et al., 2017] Tan, Q., Cai, Y., and Chen, B. (2017). An enhanced radial interval programming approach for supporting agricultural production decisions under dual uncertainties and differential aspirations. *Journal of Cleaner Production*, 168:189–204.
- [Teoh, 2010] Teoh, C. H. (2010). "Key Sustainability Issues in the Palm Oil Sector." Discussion Paper , WBG Multi-Stakeholders Collaboration. *World Bank Group*.
- [Thompson et al., 1991] Thompson, R. L., Higgins, C. A., and Howell, J. M. (1991). Personal computing: Toward a conceptual model of utilization. *MIS Quarterly: Management Information Systems*, 15(1):125–142.

- [van Dijk et al., 2016] van Dijk, W. F., Lokhorst, A. M., Berendse, F., and de Snoo, G. R. (2016). Factors underlying farmers' intentions to perform unsubsidised agri-environmental measures. *Land Use Policy*, 59(December):207–216.
- [Venkatesh, 2000] Venkatesh, V. (2000). Determinants of perceived ease of use: integrating perceived behavioral control, computer anxiety and enjoyment into the technology acceptance model. *Information Systems Research*, 11(1):3–11.
- [Venkatesh and Bala, 2008] Venkatesh, V. and Bala, H. (2008). Technology acceptance model 3 and a research agenda on interventions. *Decision Sciences*, 39(2):273–315.
- [Venkatesh and Davis, 1996] Venkatesh, V. and Davis, F. D. (1996). A Model of the Antecedents of Perceived Ease of Use: Development and Test. *Decision Sciences*, 27(3):451–481.
- [Venkatesh and Davis, 2000] Venkatesh, V. and Davis, F. D. (2000). Theoretical extension of the Technology Acceptance Model: Four longitudinal field studies. *Management Science*, 46(2):186–204.
- [Venkatesh et al., 2003] Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., and Davis, F. D. (2003). User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View. 27(3):425–478.
- [Venkatesh, Morris, 2003] Venkatesh, Morris, D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *Choice Reviews Online*, 45(12):45–6743–45–6743.
- [Verma and Sinha, 2018] Verma, P. and Sinha, N. (2018). Integrating perceived economic well-being to technology acceptance model: The case of mobile based agricultural extension service. *Technological Forecasting and Social Change*, 126(September 2016):207–216.
- [Wahbeh et al., 2018] Wahbeh, H., Sagher, M. C. R. A., Back, W., Pundhir, M. A. P., and Travis, F. (2018). Review a S Ystematic R Eview of T Ranscendent S Tates. *Explore: The Journal of Science and Healing*, 14(1):19–35.
- [Wandel and Smithers, 2000] Wandel, J. and Smithers, J. (2000). Factors affecting the adoption of conservation tillage on clay soils in southwestern Ontario, Canada. *American Journal of Alternative Agriculture*, 15(4):181–188.

- [Wang et al., 2015] Wang, J., Klein, K. K., Bjornlund, H., Zhang, L., and Zhang, W. (2015). Adoption of improved irrigation scheduling methods in Alberta: An empirical analysis. *Canadian Water Resources Journal*, 40(1):47–61.
- [Wang et al., 2019] Wang, L. Y. K., Lew, S. L., Lau, S. H., and Leow, M. C. (2019). Usability factors predicting continuance of intention to use cloud e-learning application. *Heliyon*, 5(6):e01788.
- [Wang et al., 2014] Wang, P., Liu, Q., and Qi, Y. (2014). Factors influencing sustainable consumption behaviors: A survey of the rural residents in China. *Journal of Cleaner Production*, 63:152–165.
- [Wesley and Faminow, 2014] Wesley, A. S. and Faminow, M. (2014). BACKGROUND PAPER : research AND Development.
- [Woittiez et al., 2017] Woittiez, L. S., Wijk, M. T. V., Slingerland, M., Noordwijk, M. V., and Giller, K. E. (2017). Yield gaps in oil palm : A quantitative review of contributing factors. *European Journal of Agronomy*, 83:57–77.
- [Wu et al., 2007] Wu, J. H., Wang, S. C., and Lin, L. M. (2007). Mobile computing acceptance factors in the healthcare industry: A structural equation model. *International Journal of Medical Informatics*, 76(1):66–77.
- [Xie X L, Beni G, 1991] Xie X L, Beni G (1991). A validity measure for fuzzy clustering.
- [Yang, 2012] Yang, C.-M. (2012). Technologies to Improve Water Management for Rice Cultivation to Cope with Climate Change Editor’s View. *Crop, Environment Bioinformatics*, 8:193–207.
- [Yang et al., 2020] Yang, Q., Zhu, Y., and Wang, J. (2020). Adoption of drip fertigation system and technical efficiency of cherry tomato farmers in Southern China. *Journal of Cleaner Production*, 275:123980.
- [Yazdanpanah et al., 2014] Yazdanpanah, M., Hayati, D., Hochrainer-Stigler, S., and Zamani, G. H. (2014). Understanding farmers’ intention and behavior regarding water conservation in the Middle-East and North Africa: A case study in Iran. *Journal of Environmental Management*, 135:63–72.

- [Yigezu et al., 2018] Yigezu, Y. A., Mugeru, A., El-Shater, T., Aw-Hassan, A., Piggini, C., Haddad, A., Khalil, Y., and Loss, S. (2018). Enhancing adoption of agricultural technologies requiring high initial investment among smallholders. *Technological Forecasting and Social Change*, 134(April):199–206.
- [Zhang et al., 2019] Zhang, B., Fu, Z., Wang, J., and Zhang, L. (2019). Farmers' adoption of water-saving irrigation technology alleviates water scarcity in metropolis suburbs: A case study of Beijing, China. *Agricultural Water Management*, 212.
- [Zhang et al., 2008] Zhang, N., Guo, X., and Chen, G. (2008). IDT-TAM Integrated Model for IT Adoption. *Tsinghua Science and Technology*, 13(3):306–311.
- [Zulkefli and Syahlan, 2017] Zulkefli, F. and Syahlan, S. (2017). An Overview of Acceptance and Adoption of Agricultural Innovation and Technology for Sustainable Palm Oil Industry. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 7(11).