


Towards a capture tool for appropriate technologies identification and characterization in Colombian agricultural sector

Diego Hernando Flórez-Martínez, Ph.D¹ ,

¹ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Agrosavia. Sede Central. Km. 14 vía Mosquera - Bogotá, Mosquera - Cundinamarca, Colombia, dhflorez@agrosavia.co - <https://orcid.org/0000-0003-1246-6513>

Abstract— Knowledge management processes related to the transfer and acquisition of knowledge assets have become a core issue in agriculture extension and technical assessment services. Furthermore, mapping the adoption, application, and adaptation of technologies by agriculture producers promotes the traceability of innovation dynamics and specificities both from research and development activities as well as those generated by farmers' traditional knowledge. Appropriate technologies are considered objects, processes, practices, or ideas that enhance farm production units, according to agroecological, socioeconomic, and cultural factors. This paper comprises the design of a tool for identifying and characterizing appropriate technologies both from secondary and primary sources. The research methodology comprises a scientometric review of trends related to appropriate technologies, the selection of key dimensions and variables to map these techs, and the design of a digital instrument of capture. Finally, further steps are proposed to pilot the instrument and design an expert system to capture, validate, and evaluate technologies and adoption experiences.

Keywords—Appropriate technologies; knowledge transfer; knowledge acquisition; knowledge management; agriculture knowledge

Hacia el diseño de una herramienta para la identificación y caracterización de tecnologías apropiadas en el sector agropecuario colombiano.

Diego Hernando Flórez-Martínez, Ph.D¹ 

¹ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Agrosavia. Sede Central. Km. 14 vía Mosquera - Bogotá, Mosquera - Cundinamarca, Colombia, dhflorez@agrosavia.co - <https://orcid.org/0000-0003-1246-6513>

Resumen— *Los procesos de gestión del conocimiento relacionados con la captura y transferencia de activos de conocimiento, se ha convertido en un factor crítico para la prestación de servicios de extensión y asistencia técnica agropecuaria. En consecuencia mapear la adopción, aplicación y adaptación de tecnologías por parte de los productores agropecuarios, facilita la trazabilidad de las dinámicas de innovación y sus especificidades, considerando las actividades propias de la investigación científica y el desarrollo tecnológico, así como las actividades relacionadas con el conocimiento tradicional de los agricultores. En este sentido, las tecnologías apropiadas se consideran aquellos objetos, procesos, prácticas o ideas que mejoran las unidades de producción agropecuaria acorde con sus características agroecológicas, socioeconómicas y culturales. Este artículo comprende el diseño de una herramienta para identificar y caracterizar tecnologías apropiadas tanto de fuente primarias como secundarias. El diseño de la investigación comprende una revisión cuantitativa de las tendencias de investigación en publicaciones científicas, la identificación y selección de dimensiones y variables claves para el mapeo de tecnologías apropiadas, y el diseño de un instrumento/herramienta digital de captura. Finalmente, se proponen como pasos a seguir el desarrollo de pilotos de la implementación de la herramienta y el diseño de un sistema experto para la captura, validación, y evaluación de tecnologías o experiencias de adopción.*

Palabras clave— *activos de conocimiento; transferencia de conocimiento; adquisición de conocimiento; gestión del conocimiento; conocimiento agropecuario*

I. INTRODUCCIÓN

La sostenibilidad y sustentabilidad del planeta tierra desde una perspectiva de recursos, puede analizarse en función de la capacidad de generación, transformación y uso de los recursos disponibles en este como un sistema. Esta mirada arquetípica permite delimitar procesos clave que impactan al planeta, a los países, a los ecosistemas, a los sectores productivos, a las organizaciones y a las personas dentro de un marco de referencia de fronteras (*nine planetary boundaries*) [1]. Dentro de estas fronteras planetarias cinco revisten especial importancia para el sector agropecuario y las actividades antropogénicas que para este se desarrollan. Estas son a saber: i) integralidad de la biosfera relacionada con las conservación

y uso sostenible de los recursos de la biodiversidad (microorganismos, plantas y animales) [2]; ii) cambio y variabilidad climática relacionado con la emisión y acumulación de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, potenciados por sistemas de producción extensivos, intensivos y extractivos [3]; iii) flujos biogeoquímicos, relacionado con cambios globales, regionales y locales en los ciclos naturales de elementos clave como fósforo (P), Nitrógeno (N) ocasionados por prácticas no sostenibles de fertilización [4], así como la biodisponibilidad de otros elementos de alto riesgo como los metales pesados (mercurio – Hg, cadmio – Cd, cromo – Cr, plomo – Pb, arsénico – As); iv) cambios en las fuentes hídricas y el ciclo del agua, asociados con las actividades de gestión del recurso hídrico, que impacten su disponibilidad, acceso y calidad [5]; y, v) sistema de gestión del suelo, enfocados en los biomas forestales *core* como lo son el boreal, el templado y el tropical (este último de particular interés en la región de Latinoamérica), la gestión eficiente de su uso sostenible y tenencia responsable [6].

Este contexto de las fronteras planetarias nos presenta la manera como los impactos globales, permean e impactan con una mirada *top-down*, estructuras ecosistémicas en los niveles de país, región y territorio, con demandas para mitigar y reducir los efectos de su traspaso. Lo anterior implica que la inclusión de tecnologías y conocimientos derivados de procesos de investigación, desarrollo e innovación, desde la base territorial como oferta de soluciones (*down-top*), se orienten a beneficiar la sustentabilidad de los ecosistemas en especial aquellos en que se desarrollan los sistemas agroalimentarios [7], a partir de garantizar su propia sostenibilidad.

Las principales tendencias de soluciones basadas en conocimiento, ciencia, tecnología e innovación reconocidas por promover la sostenibilidad holística de unidades de producción, cadenas de valor, cadenas productivas y circuitos de comercialización locales y globales son la agricultura orgánica, la agricultura de precisión, la agricultura regenerativa, la agricultura circular, la agricultura climáticamente inteligente, la bioeconomía y la agroecología [8]. Dichas tendencias han facilitado el desarrollo de

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

innovaciones que promueven la resiliencia, adaptabilidad y reducción en la presión del uso de recursos no renovables. Sin embargo, las dinámicas de adopción, adaptación y apropiación social de conocimientos, tecnologías e innovaciones por parte de los productores agropecuarios, están sujetas a diferentes factores que pueden facilitar (habilitantes) o limitar (restrictivos) dichos procesos, principalmente: i) capacidad de absorción de nuevo conocimiento; ii) capacidad de adaptación y reinención; iii) accesibilidad a servicios de soporte (extensión y asistencia técnica); iv) clasificación etaria de los productores (edad); v) actitud hacia la innovación; vi) aspectos normativos y legales; vii) tamaño de la unidad productiva; viii) compatibilidad de la innovación; ix) complejidad de la innovación; x) actualización continua; xi) costos de implementación; xii) incentivos económicos; xiii) actitud hacia la sostenibilidad ambiental; xiiii) género; xiv) conocimiento disponible en agricultura sostenible (científico, técnico, tradicional, ancestral); xv) redes de articulación de actores; xvi) ventaja relativa percibida de la innovación; xvii) gestión de largo plazo; xviii) alistamiento a la cooperación; xix) condiciones de trabajo; y, xx) impacto estimados vs. impacto percibido [9].

Las tendencias de sostenibilidad afines al sector agropecuario comprenden la adopción de herramientas, prácticas, métodos, metodologías, modelos y tecnologías que limiten las repercusiones a largo plazo de las actividades humanas sobre los recursos de la biodiversidad [9]. En este sentido, el principal enfoque de sostenibilidad comprende como objeto de estudio los sistemas productivos de pequeña escala y su capacidad de adaptación y como objeto de trabajo, las innovaciones que reduzcan la susceptibilidad al cambio y variabilidad climática, las condiciones de pobreza rural, la inseguridad alimentaria y la pérdida de recursos ecosistémicos [10].

La interacción entre objeto de estudio y objeto de trabajo está limitado por desconexiones entre el trabajo de investigación y las necesidades específicas (acorde con las condiciones agroecológicas, socioeconómicas y culturales del contexto particular de implementación) para ofrecer soluciones a la medida (*tailored made*); y, la baja sistematización de las innovaciones *in situ* desarrolladas por los productores para solventar los retos de su entorno [11]. En este sentido la vinculación de conocimientos y tecnologías debe tener en consideración que tan apropiadas son para el contexto de implementación [12], lo cual facilitaría la adopción y apropiación de estas.

Las tecnologías apropiadas como concepto y práctica se han desarrollado de manera paralela a la categorización de las acciones e impactos derivadas del accionar humano (antropogénicas), principalmente, atribuyendo a estas tecnologías la propiedad de control por parte del usuario final [13]. Para esta investigación se consideraron diferentes definiciones de tecnologías apropiadas para configurar un

concepto integral: i) El manual compilatorio de tecnologías apropiadas de 2013 las define como cualquier objeto, proceso, idea o práctica que mejore la realización humana a través de la satisfacción de las necesidades humanas. Son compatibles con las condiciones locales, culturales y económicas, y utiliza materiales y recursos energéticos disponibles localmente, con herramientas y procesos mantenidos y controlados operativamente por la población local [14]; ii) Larena define que las tecnologías apropiadas se derivan de actividades de desarrollo tecnológico con impacto social e incorporan innovaciones cognitivas (creación de conocimiento) para resolver necesidades prácticas. Estas deben ser relevantes, pertinentes, orientadas a la demanda y su grado de novedad u originalidad circunscrito a lo local [15], [16]; iii) Tecnologías y soluciones basadas en conocimiento que buscan empoderar a los individuos y comunidades en el ámbito territorial, promoviendo el control y uso eficiente de los Recursos naturales disponibles para mejorar su calidad y estándar de vida [17]; iv) conjunto de tecnologías que requiere una baja inversión de capital, altamente adaptables, flexibles a las condiciones de su entorno, y fácilmente accesibles para el usuario final [18], [19]; v) se caracterizan por contribuir al sostenimiento y empoderamiento de las comunidades, requerimientos técnicos alcanzables y matices de innovación, alineada con las necesidades socioculturales, promueven un rol activo de las partes interesadas, y son ambientalmente sostenibles [20]; y vi) su diseño implica mantener un alcance “*place-based*” acorde con las condiciones del entorno de adopción y adaptación.

Para el sector agropecuario colombiano y en general para los países de la región de América latina y el caribe, se hace necesario poder generar una transición en los modelos productivos agropecuarios para nuestros pequeños productores, con un enfoque de resiliencia y sostenibilidad. Lo anterior implica que la vinculación efectiva de los resultados de I+D+i deben contemplar que estos desde su concepción hasta su transferencia, consideren aspectos como uso compartido de la tecnologías (enfocado en pequeñas comunidades o asociaciones de productores); prevención y mitigación de daños a la flora y fauna conexas a la unidad productiva (especies benéficas de los cultivos); minimizar el impacto de zonas de bosque y áreas protegidas o de manejo especial; adopción escalonada de tecnologías habilitantes, exponenciales o modificadoras (*game changers*) como sistemas de sensores remotos, paneles solares, mecanización a medida, automatización, drones, entre otras; y, contemplar toda la cadena de valor, productivo o de suministros en que este embebido el sistema agroalimentario [21].

Es así como esta investigación tiene por objetivo construir una herramienta para la identificación y caracterización de tecnologías apropiadas (a partir de información primaria y secundaria), que permita la conformación de un repositorio de tecnologías disponibles y experiencias de adopción y adaptación de dichas tecnologías, que posteriormente, pueda

evolucionar en un sistema experto de recomendaciones. La herramienta comprende un instrumento de captura con dimensiones y factores de caracterización que se identificaron en la literatura especializadas y en los modelos de referencia de [15], [22]–[24].

En las siguientes secciones se presentan el diseño metodológico de la investigación, los resultados de la implementación del diseño y las conclusiones y trabajos futuros.

II. DISEÑO METODOLÓGICO

El diseño metodológico implementado en esta investigación comprende cuatro fases secuenciales que integran métodos de búsqueda y recuperación de información científica indexada de bases de datos especializadas [25], análisis de tendencias científicas a partir de métodos bibliométricos y cuantitativos [26], [27]; validación con expertos y sistematización del instrumento.

A. Fase I, búsqueda y recuperación de información

La recuperación de información científica relacionada con tecnologías apropiadas se desarrolló a través del diseño de una estrategia de búsqueda en el motor de indexación de publicaciones científicas de Elsevier® Scopus®. La estrategia comprende una ecuación de búsqueda estructurada con dos componentes. El primer componente relacionado con el objeto de estudio de la investigación las **tecnologías apropiadas** y el segundo relacionado con el objeto de trabajo relacionado con el ámbito de aplicación, contexto de uso o usuarios de dichas tecnologías, en este caso, **los pequeños productores agropecuarios**.

TITLE-ABS-KEY (("small farm*" OR "family farm*" OR "subsistence farm*" OR "organic farm*" OR "peasant econom*" OR "small produc*" OR "smallholder agriculture" OR "smallholder farm*" OR "small family farm*" OR "smallholder family farm*" OR "small scale food produc*" OR "small scale farm*" OR "small scale agriculture" OR "resource poor farm*" OR "low-income farm*" OR "low input farm*" OR "low technology farm*" OR "agroecolog* farm*" OR "communit* farm*" OR "polyculture* farm*") AND ("suitable tech*" OR "appropriate tech*" OR "acceptable tech*" OR "fittable tech*" OR "advisable tech*" OR "applicable tech*" OR "convenient tech*" OR "good enough tech*" OR "reasonable tech*" OR "relevant tech*" OR "satisfactory tech*" OR "sufficient tech*" OR "suited tech*")) (1)

B. Fase II, análisis de tendencias científicas

En esta fase se implementan métodos de análisis cuantitativo para la identificación de tendencias generales, específicas y complementarias. Las tendencias se identifican a partir del análisis de las estructuras de metadatos de las publicaciones por medio del aplicativo VOSviewer v1.6.20 [28] para: i) palabras claves (tópicos que representan el alcance de la investigación, ejes temáticos, áreas de conocimiento y tendencias generales) para la construcción de la red de coocurrencia temática [27]; y títulos (análisis de la

intencionalidad de la investigación desde el objeto de estudio y el objeto de trabajo) y resúmenes (tópicos asociados al objetivo, la metodología, los resultados y la gran conclusión de la investigación para mapear tendencias específicas) [29] para la construcción de la red de coocurrencia de textos clave.

A partir de estos dos paisajes científicos, se construyen los ejes temáticos principales y los específicos para tecnologías apropiadas como área de conocimiento.

Finalmente, se desarrolla la construcción del mapa de categorización temática de líneas de investigación en Bibliometrix 4.1.4 [30], basado en una distribución bidimensional (de dos dimensiones) [31], [32]: i) Grado de relevancia (centralidad): mide el grado de interacción del clúster con otros clústeres. En otras palabras, es una medida de la importancia del clúster temático en el campo de investigación; y, ii) Grado de desarrollo (densidad), mide la fortaleza interna de cada clúster temático con base en la relación de los tópicos que la integran. En otras palabras, es una medida del grado de desarrollo del clúster. A partir de estas dos dimensiones, los clústeres se categorizan en cuatro grupos [33], [34]:

- Temas motor (altas centralidad y densidad): comprenden los “hot topics” o la corriente principal de investigación (mainstream).
- Temas nicho (baja centralidad y alta densidad): temas “Ivory towers”, aquellos con un alto nivel de desarrollo (especializados), pero que aún son marginales para el campo de investigación (frontera).
- Temas emergentes o en declive (bajas centralidad y densidad): los temas emergentes (“new trends”) con potencial de contribución al campo de investigación o aquellos que ya están perdiendo importancia en este (“disappearing”).
- Temas básicos o transversales (alta centralidad y baja densidad): temas básicos o transversales (“Bandwagon”) importantes como línea base del campo de conocimiento o de otras disciplinas o contextos.

C. Fase III, consulta con expertos

La consulta con experto a través de una metodología de grupo focal se realizó con cinco investigadores en áreas de conocimiento y líneas de investigación agropecuaria afines al uso o diseño de tecnologías agropecuarias (manejo del sistema productivo, manejo de suelos y aguas, manejo de plagas y arvenses, gestión de la innovación y transferencia tecnológica y agricultura climáticamente inteligente). Los expertos en función de las tendencias y los modelos de referencia definieron las dimensiones y factores clave para la identificación y caracterización de tecnologías apropiadas.

D. Fase IV, Diseño del instrumento de captura y caracterización

Esta versión preliminar se construyó en Microsoft Excel 365®, pero su finalidad es convertirse en un formulario de captura web que alimente un repositorio digital.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se presentan los resultados por fase del diseño metodológico descrito.

A. Fase I, búsqueda y recuperación de información

A través de la implementación de la ecuación de búsqueda estructurada se recuperaron de Scopus®, 217 publicaciones indexadas. En la figura 1, se presentan las principales métricas bibliográficas de este núcleo de conocimiento.

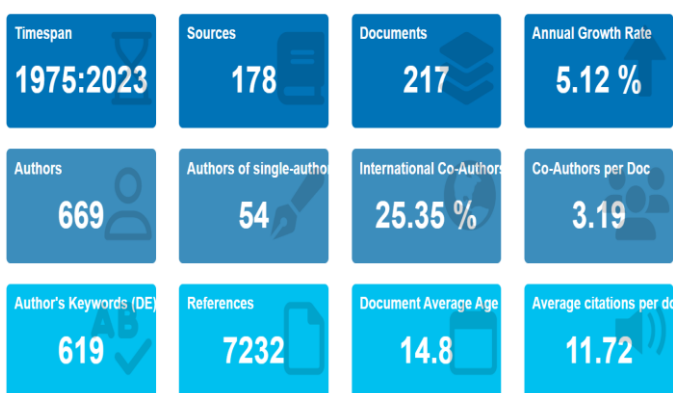


Fig. 1 Métricas núcleo de conocimiento en tecnología apropiadas
Fuente. Elaboración propia a partir de datos de Scopus® consultados en Octubre de 2023. Software de análisis Bibliometrix® v 4.1.4

Se destaca que el crecimiento exponencial de la ciencia en este núcleo de conocimiento especializado es del 5,2% y que la colaboración internacional es del 25,35% es decir que de cuatro artículos uno cuenta con autores de diferentes nacionalidades. Finalmente, el promedio de citas por publicación es de 11,72.

B. Fase II, análisis de tendencias científicas

A partir del análisis de metadatos específicos asociados a las 217 publicaciones se desarrollaron cuatro análisis cuantitativos. El primer análisis para identificar las tendencias generales, abarcó el análisis de coocurrencia de las 1.451 palabras clave definidas por los autores y por los parámetros de indexación de la revista en que se publicó cada investigación. Para garantizar la calidad y pertinencia del análisis se realizó un proceso de normalización (sinonimización, inclusión y exclusión), que derivó en 512 palabras clave. Se definieron como parámetros de análisis que al menos cada palabra tuviera un valor de ocurrencia de 2. En la Figura 2 se presenta el mapa de coocurrencia obtenido, el cual abarca nueve clústeres temáticos (tendencias generales)

que integran un total de 191 tópicos de investigación que interactúan a través de 2.535 enlaces.



Fig. 2 Tendencias generales en tecnologías apropiadas
Fuente. Elaboración propia a partir de datos de Scopus® consultados en Octubre de 2023. Software de análisis VOSviewer® v 1.6.20.
<https://tinyurl.com/29jtb44s>

Clúster Rojo – Desarrollo rural (32 tópicos): en este clúster las tecnologías apropiadas contribuyen al desarrollo rural integral a partir del conocimiento científico que las genera, así como la interacción con el conocimiento tradicional de los productores y el rol de los servicios de extensión [35]. Sin embargo, es clave que el desarrollo de estas tecnologías y su apropiación se apalanque de las interacciones entre investigadores, productores y extensionistas, y los marcos de política pública que faciliten el interrelacionamiento, considerando aspectos legales, étnicos, económicos y de gestión [36].

Clúster Verde – necesidades tecnológicas (30 tópicos):

En este clúster se identifican las principales necesidades tecnológicas que puedan atenderse a través de metodologías de transferencia de tecnología, enfocadas en áreas rurales con condiciones agroecológicas específicas [37]. Se destacan necesidades tecnológicas en poscosecha que impacten en el desarrollo de productos de valor agregado (mínimamente procesados y procesados), apertura a mercados diferenciales, gestión eficiente de la cadena de suministros y tecnologías de secado de bajo costo [38]. Consecuentemente, las tecnologías deben considerar el uso de bioenergías para uso sostenible como la biomasa, energía solar, eólica y mecanismos para almacenamiento de energía [39]. Otro componente clave son tecnologías para la gestión y uso sostenible del suelo, como mecanización de bajo impacto ambiental [40]. Finalmente, estas tecnologías deben contribuir a la implementación de la

planificación regional y el fomento de cooperación internacional para el desarrollo.

Clúster azul – alcance de las tecnologías apropiadas (29 tópicos): en este clúster se perfilan las generalidades de este tipo de tecnologías, las cuales están en principio orientadas a los pequeños productores agropecuarios, a diversificar las prácticas agrícolas con enfoque de sostenibilidad, la intensificación sostenible, el escalamiento a media (*fit for purpose*), eficiencia técnica relacionada con los factores de productividad del sistema productivo, el fomento de la autoselección, enfoques diferenciales (género, etarios, étnicos), enfoques de agricultura campesina, familiar, étnica y comunitaria (ACFEC) [41], [42]. Las tecnologías apropiadas deben cumplir con fomentar la inclusión social, la adopción-apropiación y la mejora de las condiciones de vida de los productores.

Clúster amarillo – sistemas de soporte para agricultura climáticamente inteligente (25 tópicos): en este clúster se considera como tecnologías de soporte a la toma de decisiones o tecnologías complementarias que aceleren la adopción y apropiación de prácticas de manejo de suelos, aguas, diseño de maquinaria, diseños experimentales in situ, específicamente con enfoque de sistemas agroalimentarios y ecosistemas productivos, así como amigables con el usuario (*user friendly*) [43], [44]. Es clave vincular de manera transformativa herramientas de apoyo como la inteligencia artificial.

Clúster violeta - seguridad y soberanía alimentaria (21 tópicos): las tecnologías apropiadas deben estar orientadas a mejorar el bienestar de los productores, a promover la diversificación de los modelos productivos agrícolas, forestales y pecuarios [45]; diseño de sistemas mixtos de producción, sistemas agroforestales y silvopastoriles [46]; enfoque en sistemas locales de alimentación, reducción de gases de efecto invernadero, y gestión de costos de producción. Complementariamente, el diseño, adopción y adaptación de dichas tecnologías debe basarse en investigación en finca (*research on farm*) [47].

Clúster azul – sistemas locales de tecnologías (18 tópicos): en este clúster se ejemplifica el componente de desarrollo social de las tecnologías apropiadas, desde una perspectiva de la articulación de capacidades de productores, extensionistas y científicos. Se destaca el diseño e implementación de tecnologías de irrigación[48], sistemas locales de producción de semillas, redes de colaboración para fomentar sistemas de ACFEC como soporte a la calidad de vida de las comunidades [49].

Clúster naranja – agricultura sostenible (17 tópicos): clúster enfocado en tecnologías que contribuyan a el monitoreo y evaluación de la calidad de los productos agropecuarios, en aspectos clave como la residualidad de pesticidas y metales pesados [50].

Clúster Café – desarrollo de cadenas de valor (14 tópicos): este clúster comprende la interacción de las unidades productivas con los diferentes actores de las cadenas de valor, para mejorar la productividad y competitividad [51].

Clúster fucsia – cambio y variabilidad climática (6 tópicos): desarrollar tecnologías apropiadas que potencien las estrategias de mitigación y adaptación.

A partir del análisis de los metadatos de títulos y resúmenes se identificaron tendencias específicas en torno a los beneficios y retos de las tecnologías apropiadas (Figura 3).

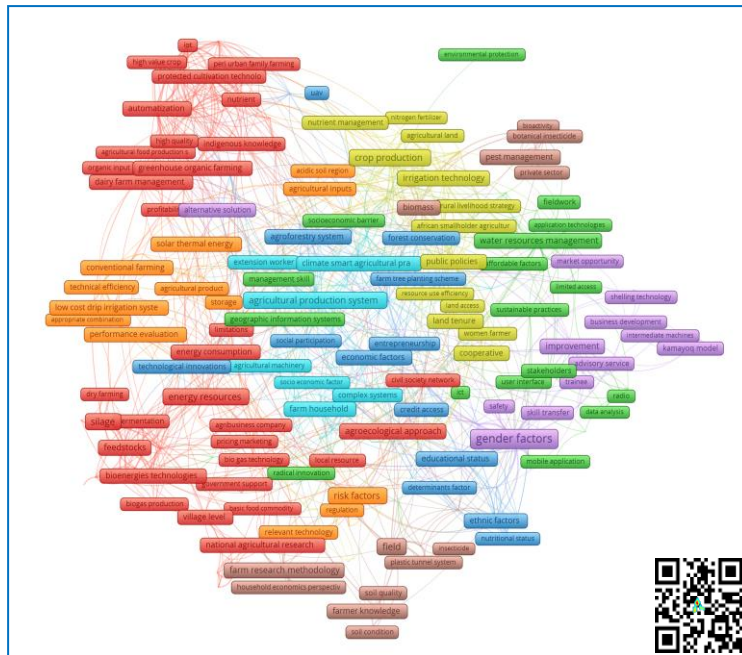


Fig. 3 Tendencias específicas en tecnologías apropiadas
Fuente. Elaboración propia a partir de datos de Scopus® consultados en Octubre de 2023. Software de análisis VOSviewer® v 1.6.20
<https://tinyurl.com/25h56mhw>

Clúster rojo – tecnologías y alternativas energéticas: optimización del recurso energético, tecnologías de biogás, producción de energía a partir del uso de biomasa residual, generación de energía eléctrica para procesos de secado en la finca, escalamiento de tecnologías desde lo local a lo regional [52]. Tecnologías que faciliten la transición energética y generen sostenibilidad en los ingresos y egresos [39]. Tecnologías de automatización escalables [53].

Clúster verde – tecnologías de gestión del agua: tecnologías para monitoreo de la disponibilidad de fuentes hídricas y tecnologías para acceso y distribución [54]

Clúster azul – tecnologías diferenciales: tecnologías con enfoque étnico [24] e innovaciones con enfoque de emprendimiento [55]

Clúster amarillo – tecnologías para gestión de la tierra: tecnologías que contribuyan al uso eficiente de las zonas de producción, atendiendo a lineamientos de políticas de uso y tenencia sostenible de la tierra [56], [57], especialmente para la gestión de la biodiversidad.

Clúster violeta – movilización de tecnologías: mecanismos de transferencia de conocimiento y tecnologías a través de servicios de asistencia técnica y extensión rural, con

enfoque de género, desarrollo de habilidades, diseño de modelos de negocio, movilización de paquetes tecnológicos y validación de dominios de recomendación [58], [59].

Clúster cian - tecnologías para agricultura climáticamente inteligente: tecnologías para optimizar la sustentabilidad de los sistemas productivos desde y hacia las cadenas de valor [43], [44], [60].

Clúster naranja - evaluación y factores de riesgo: metodologías para la evaluación de los beneficios y nivel de adopción de tecnologías apropiadas y factores de riesgo en sistemas de agricultura tradicional [49], [61]

Clúster amarillo – gestión del conocimiento tradicional y ancestral: metodologías para el mapeo de conocimientos y tecnologías apropiadas basadas en conocimientos ancestrales y tradicionales que puedan potenciarse con conocimiento científico y viceversa [62], [63].

Una vez se identificaron las tendencias generales y específicas, estas se clasificaron por medio del método de análisis temático que mide el grado de desarrollo de cada tendencia y su grado de relevancia en el núcleo de conocimiento.

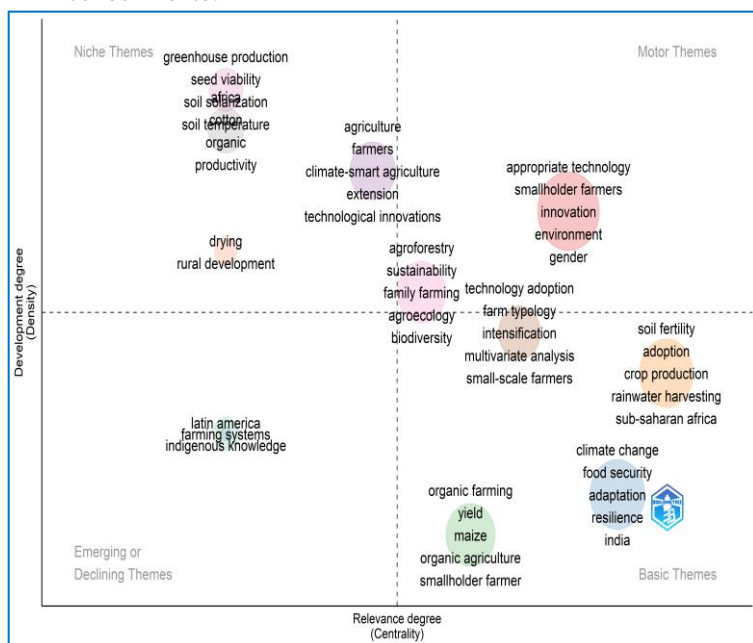


Fig. 4 Categorización de tendencias por grado de desarrollo y grado de relevancia

Fuente. Elaboración propia a partir de datos de Scopus® consultados en Octubre de 2023. Software de análisis Bibliometrix® v 4.1.4

Tendencias motor: estas tendencias comprenden los temas prioritarios para el desarrollo de tecnologías apropiadas, abarcando principalmente un enfoque al pequeño productor, fomentando las innovaciones incrementales y radicales, así como facilitar las innovaciones frugales (aquellas orientadas al rediseño de productos y servicios tecnológicos minimizando el uso de insumos y reducir costos a lo largo del ciclo de vida [64]), en especial aquellas con factores diferenciales de

sostenibilidad, sistemas de producción de múltiples cultivos, fortalecimiento de modelos productivos de ACFEC, enfoques de agroecología y agricultura regenerativa, uso sostenible de la biodiversidad y agricultura climáticamente inteligente.

Tendencias línea base: estas tendencias comprenden los pilares para el desarrollo de tecnologías apropiadas e innovaciones frugales, como lo son las metodologías de transferencia de conocimientos y tecnologías, la caracterización de las unidades productivas, el análisis multivariable y multiactor, el uso sostenible de recursos suelo y agua, las condiciones agroecológicas, el enfoque de adaptación y resiliencia y los enfoques de agricultura orgánica.

Tendencias especializadas: estas tendencias se consideran temas exploratorios o de alto nivel de especialización, en el cual se destacan tecnologías apropiadas e innovaciones frugales en poscosecha (específicamente procesos de secado), tecnologías para diseño de infraestructuras de agricultura protegida con energías sostenibles, servicios de extensión diferenciales para pequeño productor y basados en desarrollo rural integral.

Tendencias emergentes: estas tendencias se configuran como temas de alto potencial para las tecnologías apropiadas, especialmente para el desarrollo de enfoques transdisciplinarios basados en ciencia ciudadana, ciencia comunitaria y diálogos de saberes.

C. Fase III, consulta con expertos

A partir de los resultados de la Fase II del diseño metodológico, se realizó una consulta con expertos a través de una sesión de socialización y revisión de los modelos de referencia y las tendencias generales y específicas. A partir de esta revisión se definieron tres dimensiones de análisis y variables o factores de caracterización relacionados con la tecnología apropiada. En la Tabla 1 se sintetizan las dimensiones y variables definidas

TABLA I
DIMENSIONES Y VARIABLES DE CARACTERIZACIÓN PARA TECNOLOGÍAS APROPIADAS

DIMENSIONES	VARIABLES
<i>Descriptorios generales de la tecnología apropiada</i>	Origen de la información
	Sistemas productivos y especies asociadas a la tecnología
	Producto de conocimiento que la sistematiza
	Lugar de implementación o dominio de recomendación de la tecnología
	Características del contexto de implementación
	Tipo de innovación
	Mecanismos de financiación para el desarrollo de la tecnología
	Aspectos de propiedad intelectual
	Organizaciones vinculadas al desarrollo de la tecnología
	<i>Características de la tecnología apropiada</i>
Tipologías Manual de Hazeltine	

DIMENSIONES	VARIABLES
	<ul style="list-style-type: none"> Otras
Enfoque o modelo de manejo del sistema productivo	<ul style="list-style-type: none"> Agroecológico Pequeña escala Mediana escala Gran escala Producción intensiva Orgánico ACFEC Producción extensiva Agroforestería Forestal Silvopastoriles Agricultura de conservación Agricultura protegida
Tipología del adoptante (productor)	<ul style="list-style-type: none"> Pequeño productor Mediano productor Gran productor
Características de la tecnología	<ul style="list-style-type: none"> Técnicas Económicas Ambientales Culturales Político normativas
Impactos de la tecnologías (asociadas a su promesa de valor o documentadas en su implementación)	<ul style="list-style-type: none"> Impacto Social Impacto económico Impacto ambiental Impacto cultural Impacto científico-tecnológico
Promesa de valor y beneficios de la tecnología	<ul style="list-style-type: none"> Valor agregado Ventaja competitiva Ventaja comparativa
Producción de conocimiento en el desarrollo del proyecto	Nuevo conocimiento generado en el proyecto que soporta la tecnología apropiada
Documentación del conocimiento producido y compartido	Evidencias de documentación de los resultados del proyecto que soporta la tecnología apropiada
Originalidad de la solución desarrollada	Grado de innovación de la tecnología apropiada acorde con el contexto y el estado del arte
Relevancia de la solución para el adoptante	La tecnología apropiada contribuye o contribuirá a mejorar el estado actual del adoptante
Relevancia de la solución para el contexto del adoptante	La tecnología apropiada contribuyes o contribuirá a mejorar el estado actual del contexto de adopción.
Resolución efectiva de un problema práctico	La tecnología apropiada contribuye a la solución de un problema, problemática o demanda práctica.
Consistencia entre el problema y la solución (circularidad de la investigación)	Nivel de correspondencia entre el problema delimitado y la solución propuesta (tecnología apropiada)
Vinculación efectiva del demandante	El desarrollo de la tecnología apropiada conto con la participación de los actores que delimitaron la

Características del proceso de investigación que dio origen a la tecnología apropiada

DIMENSIONES	VARIABLES
	problemática
Vinculación efectiva del adoptante	El desarrollo de la tecnología apropiada conto con la participación de los actores que adoptaran la tecnología apropiada
Percepción del adoptante de la solución	Nivel de percepción de favorabilidad o satisfacción del adoptante con respecto a los beneficios o promesa de valor de la tecnología apropiada
Mejora o potencial de mejora con la adopción de la solución	Efectividad de la tecnología en términos de mejora de los indicadores del adoptante
Transferencia de capacidades	El proceso de desarrollo de la tecnología apropiadas contribuyó a la formación de capacidades en los actores involucrados

Fuente. Elaboración propia a partir de [14], [15], [68]–[71], [16], [22], [24], [47], [61], [65]–[67]

D. Fase IV, Instrumento de sistematización

A partir de la estructuras de dimensiones y variables propuestas con base en el análisis de tendencias, los modelos de referencia y la consulta con expertos, se diseñó una primera versión de un instrumento de caracterización de tecnologías apropiadas. El [instrumento](#) está conformado por dos formatos, uno de caracterización de la tecnología apropiadas en función de información secundaria y primaria disponible, y otro para la captura de información relacionada con métricas cuantitativas y cualitativas utilizadas para la valoración de la tecnología reportadas en datos e información asociados a estas (Figura 5). Complementariamente, el instrumento cuenta con consolidado de definiciones requeridas para su diligenciamiento. Actualmente, el instrumento está en fase de pilotaje analizando cinco tecnologías apropiadas.

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA(S) TECNOLOGÍAS APROPIADAS	
INFORMACIÓN GENERAL DE LA TECNOLOGÍA APROPIADA	
Fuente de documentación	Descripción de la fuente (título de la publicación)
Ruta de acceso a la fuente	URL o ruta de acceso al contenido digital (SI aplica)
Nombre de la tecnología	
Sistema Productivo o cadena productiva asociada a la tecnología	
Especie	(Mencione si aplica la especie o especies a las cuales va dirigida la tecnología apropiada)
Tipología del resultado de Investigación que origina la tecnología apropiada	1. Productos resultados de actividades de Generación de Nuevo Conocimiento
Tipología del producto de conocimiento	
Lugar de diseño o implementación de la tecnología	Identifique con el mayor nivel de detalle posible la información geográfica del diseño o implementación de la tecnología (Continente, País, Región, Departamento/provincia, municipio/condado/localidad, vereda)
	Altura sobre el nivel del mar (m.s.n.m)
	Humedad relativa (%)
	Temperatura (°C o °F)
Tiempo(características del contexto local referenciado (ecosistema)	Clima (Ej. Bosque húmedo subtropical, semárido)
	Suelo (andisoles, oxisoles, entre otros)
	Otros
Financiación	
Red de innovación afín	
Enfoques estratégicos de I+D+i afines y líneas de acción afines	
Tipo de innovación	
Protección de PI	
	Nombre de la organización
	Nombre de la organización
Organizaciones líderes del desarrollo de la tecnología apropiada	Nombre de la organización
	Nombre de la organización

CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DE LA TECNOLOGÍA APROPIADA		
Categoría de la tecnología y Tipología de la tecnología (Basada en Hazlett, R. & Bull, C. (Eds.). (2008). <i>Field guide to appropriate technology</i> . Elsevier.)		
Tipología de manejo del sistema productivo		Describe de manera sucinta la población con la cual se desarrolló la tecnología apropiada
Tipología del productor/Población de trabajo		Pequeño productor
Características de la tecnología (directas e indirectas)	Técnicas	Documente las características técnicas asociadas a la tecnología incluyendo aspectos relacionales
	Económicas	Documente las características económicas asociadas a la tecnología incluyendo aspectos relaciónales como en productividad, costos totales de producción, costos unitarios, valor agregado de la tecnología
	Sociales	Documente las características sociales asociadas a la tecnología incluyendo aspectos relacionales como poblaciones diferenciadas, vinculación efectiva del beneficiario, beneficiarios indirectos.
	Ambientales	Documente las características ambientales asociadas a la tecnología incluyendo aspectos relacionales
	Culturales	Documente las características culturales asociadas a la tecnología incluyendo aspectos relacionales como factores culturales de las comunidades y actores vinculados al desarrollo de la tecnología apropiada
Político-normativas	Documente las características político-normativas asociadas a la tecnología incluyendo aspectos relacionales	
Impacto social		Documente evidencias cualitativas y cuantitativas relaciónales de la tecnología que generen o tengan un impacto social
Impacto económico		Documente evidencias cualitativas y cuantitativas relaciónales de la tecnología que generen o tengan un impacto económico
CARACTERÍSTICAS INFERIDAS DEL PROCESO DE INVESTIGACIÓN (Basado en Góndaro & Ferrández. <i>Ex post evaluation system of Social Technological Development Projects in Argentina</i> [2020])		
Producción de conocimiento en el desarrollo del proyecto	¿Se generó nuevo conocimiento en el desarrollo de la tecnología? ¿Se produjeron innovaciones cognitivas basadas en conocimiento transdisciplinar? Se refiere al nuevo conocimiento producido en sentido amplio (de conocimiento y de práctica, por ejemplo) que afecta a diferentes áreas y surge de un análisis transdisciplinar de pares entendidos (conocimiento agregado).	Evidencias de la fuente de consulta
Documentación del conocimiento producido y compartido	¿Se generaron publicaciones o evidencias formales documentadas de haber producido y compartido conocimiento asociado a la tecnología? ¿Se refiere a el conocimiento producido, fue compartido con la comunidad en general. Con indicadores propios diseñados de tecnología estuvieron bajo un acuerdo de confidencialidad entre las partes.	Evidencias de la fuente de consulta
Originalidad de la solución desarrollada	¿La tecnología desarrollada se percibe como original desde la perspectiva del nivel local? Se refiere a la solución desarrollada produjo innovación a nivel local conforme el estado actual del conocimiento.	Evidencias de la fuente de consulta
Relevancia de la solución para el adoptante	¿La tecnología desarrollada es relevante para el adoptante? Se refiere a si la solución desarrollada fue o será relevante para el adoptante en términos de su expectativa. Es decir, si la solución desarrollada generó o generará una mejora sustantiva en procesos, productos o indicadores.	Evidencias de la fuente de consulta
Relevancia de la solución para el contexto del adoptante	¿La tecnología desarrollada es relevante para el sector local del adoptante? Se refiere a si la solución desarrollada fue o será relevante para el sector local al que pertenece el adoptante. Es decir, si la solución desarrollada generó o podría generar una mejora sustantiva en los procesos, productos o indicadores del sector local. Para que esto ocurra, es condición que la solución desarrollada sea, al menos, potencialmente adaptable por otros actores en el mismo sector.	Evidencias de la fuente de consulta
Resolución efectiva de un problema práctico	¿Se logró resolver, efectivamente, un problema de carácter práctico? Se refiere a si el problema finalmente resuelto es el mismo, tal y como se lo tenía planteado, o simplemente a que dio lugar al proyecto.	Evidencias de la fuente de consulta
Consistencia entre el problema y la solución (circunvalidad de la investigación)	¿Hubo consistencia entre el problema resuelto y la tecnología propuesta? Se refiere a si el problema finalmente resuelto es el mismo, tal y como se lo tenía planteado, o simplemente a que dio lugar al proyecto.	Evidencias de la fuente de consulta

Fig. 5 Instrumento de caracterización de tecnologías apropiadas
Fuente. Elaboración propia

IV. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Las tecnologías apropiadas como concepto y área de conocimiento han evolucionado en conjunto con los nuevos enfoques de sostenibilidad para el sector agropecuario, siendo reconocidas como tecnologías que favorecen megatendencias como la bioeconomía, la agricultura climáticamente inteligente, los nuevos hábitos de consumo, tecnologías 4.0 para el agro, tecnologías enfocadas en el rendimiento y calidad de los suelos agrícolas, economía circular, transformación digital, desarrollo sostenible, innovación social, los nuevos acuerdos ecológicos (pactos verdes) y la transición energética. En el contexto actual del desarrollo científico y tecnológico para el sector agropecuario, generar tecnologías alineadas con las características del entorno de implementación, no dependientes de insumos que difícil acceso o consecución y de fácil adaptabilidad por parte de los beneficiarios, contribuyen al cumplimiento de la agenda 2030, desde principios de inclusión social en el desarrollo tecnológico. Esta inclusión

social en el desarrollo tecnológico facilita que las tecnologías orientadas por demanda puedan ser abordadas desde la interacción de conocimientos, científicos, tradicionales y ancestrales, logrando: i) tecnologías e innovaciones basadas en la coinnovación de proyectos multiactor; ii) sistematización de experiencias a lo largo del ciclo de vida del proyecto; iii) fomento de la innovación a partir de la originalidad de las tecnologías frente al contexto de implementación; iii) cierre de brechas entre la dinámica de la oferta y demandas de soluciones basadas en CTel; iv) fortalecimiento de capacidades instaladas en territorios; y v) descentralización de las capacidades de análisis del entorno.

En este sentido, es necesario que la construcción de un portafolio o inventario de tecnologías apropiadas se realicen mapeos (ex ante, in agenda y ex post) de los resultados de investigación propuestos, en construcción y generados en proyectos de investigación, desarrollo e innovación. Lo anterior implica la necesidad de contar con un marco de referencia sectorial (agricultura o CTel), para la sistematización de las tecnologías mapeadas.

En consecuencia, es clave sistematizar no solo la tecnología per se, sino las experiencias de adopción y adaptación, en especial aquella que evidencien impactos en el bienestar de los productores o la diversificación de sus fuentes de ingresos. Dicha sistematización de la experiencia y de las evidencias de impacto, debe contribuir a responder de manera general si una tecnología apropiada: i) ¿vincula efectivamente conocimientos occidentales y ancestrales?; ii) ¿es diseñada para una región específica o estandarizada para un alcance más amplio?; iii) ¿se limita solo a materiales locales y mano de obra local?; iv) ¿responde a necesidades individuales o colectivas?; v) ¿limita la vinculación de tecnologías de soporte a la automatización?; y; vi) ¿contempla un balance entre accesible y durable?.

Finalmente, los pasos a seguir son el desarrollo de pilotos específicos en tecnologías diseñadas para el pequeño productor por centros de investigación sectoriales, por asociaciones gremiales y por productores. Estos pilotos permitirán refinar la herramienta y generar versiones adaptativas por origen de la tecnología apropiada, diseñar analogías a metodologías de caracterización como los niveles de alistamiento tecnológico y niveles de madurez. Lo anterior a través de la inclusión transdisciplinar de la ingeniería y sus diversas ramas para potenciar el conocimiento agrícola.

AGRADECIMIENTOS

A la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria por su soporte en el desarrollo de esta investigación exploratoria, en particular, a su Dirección de Investigación y Desarrollo y al Centro de Investigación La Selva.

REFERENCIAS

- [1] K. Richardson et al., "Earth beyond six of nine planetary boundaries," *Sci. Adv.*, vol. 9, no. 37, 2023, doi: 10.1126/sciadv.adh2458.
- [2] J. Rockström et al., "A safe operating space for humanity," *Nature*, vol. 461, no. 7263, 2009, doi: 10.1038/461472a.
- [3] Intergovernmental Panel on Climate Change, *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis*. 2023.
- [4] B. M. Campbell et al., "Agriculture production as a major driver of the earth system exceeding planetary boundaries," *Ecol. Soc.*, vol. 22, no. 4, 2017, doi: 10.5751/ES-09595-220408.
- [5] T. Gleeson et al., "The Water Planetary Boundary: Interrogation and Revision," *One Earth*, vol. 2, no. 3, 2020, doi: 10.1016/j.oneear.2020.02.009.
- [6] M. K. Nisha et al., "An assessment of data sources, data quality and changes in national forest monitoring capacities in the Global Forest Resources Assessment 2005-2020," *Environmental Research Letters*, vol. 16, no. 5, 2021, doi: 10.1088/1748-9326/abd81b.
- [7] C. R. Foguesatto, J. A. R. Borges, and J. A. D. Machado, "A review and some reflections on farmers' adoption of sustainable agricultural practices worldwide," *Science of the Total Environment*, vol. 729, 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138831.
- [8] E. Sachet et al., "Agroecological Transitions: A Systematic Review of Research Approaches and Prospects for Participatory Action Methods," *Frontiers in Sustainable Food Systems*, vol. 5, 2021, doi: 10.3389/fsufs.2021.709401.
- [9] G. Rizzo, G. Migliore, G. Schifani, and R. Vecchio, "Key factors influencing farmers' adoption of sustainable innovations: a systematic literature review and research agenda," *Org. Agric.*, no. 0123456789, 2023, doi: 10.1007/s13165-023-00440-7.
- [10] B. Campbell, W. Mann, R. Meléndez-Ortiz, C. Streck, and T. Tennyson, *Agriculture and Climate Change: A Scoping Report*, no. June, 2011.
- [11] C. Chatterjee, "Mitigating Climate Change Through Agriculture," *eSocialSciences Work. Pap.*, 2011.
- [12] C. P. Bishop, "Sustainability lessons from appropriate technology," *Curr. Opin. Environ. Sustain.*, vol. 49, pp. 50–56, 2021, doi: 10.1016/j.cosust.2021.02.011.
- [13] D. Nieuwsma and D. Riley, "Designs on development: Engineering, globalization, and social justice," *Eng. Stud.*, vol. 2, no. 1, 2010, doi: 10.1080/19378621003604748.
- [14] B. Hazeltine and C. Bull, *Field Guide to Appropriate Technology*. San Diego, CA: ACADEMIC PRESS, 2003.
- [15] R. Giordano Lerena and A. Fernández Guillermet, "Ex post evaluation system of Social Technological Development Projects in Argentina," *Proc. LACCEI Int. Multi-conference Eng. Educ. Technol.*, vol. 2023-July, no. July 2023, pp. 17–21, 2023, doi: 10.18687/laccei2023.1.1.982.
- [16] R. G. Lerena and A. F. Guillermet, "Technological and social development projects as drivers for local innovation," 2022.
- [17] J. Tharakan, "Appropriate technology across the hemispheres: Asia, Africa and the Americas," 2010.
- [18] K. Darrow and M. Saxenian, "Appropriate technology sourcebook: a guide to practical books for village and small community technology. Revised and enlarged edition.," *Appropri. Technol. Sourceb. a Guid. to Pract. books village small community Technol. Revis. Enlarg. Ed.*, 1986.
- [19] A. Akubue, "Appropriate Technology for Socioeconomic Development in Third World Countries," *J. Technol. Stud.*, vol. 26, no. 1, 2000, doi: 10.21061/jots.v26i1.a.6.
- [20] J. Patnaik and B. Bhowmick, "Revisiting appropriate technology with changing socio-technical landscape in emerging countries," *Technol. Soc.*, vol. 57, no. March 2017, pp. 8–19, 2019, doi: 10.1016/j.techsoc.2018.11.004.
- [21] W. Franco, F. Barbera, L. Bartolucci, T. Felizia, and F. Focanti, "Developing intermediate machines for high-land agriculture," *Dev. Eng.*, vol. 5, p. 100050, 2020, doi: 10.1016/j.deveng.2020.100050.
- [22] S. Manrique, M. N. Wróblewska, and B. Good, "Rethinking Research Impact Assessment: A multidimensional Approach," no. 722295, pp. 204–205, 2019, doi: 10.22163/iteval.2019.395.
- [23] D. Green, "Small farm households at the cutting edge: Appropriate technology and sustainable rural development," *Transform. An Int. J. Holist. Mission Stud.*, vol. 17, no. 2, pp. 70–74, 2000, doi: 10.1177/026537880001700205.
- [24] S. Bradfield, *Appropriate methodology for appropriate technology*. Wiley, 2015.
- [25] F. Palop and J. F. Martínez, "Guía Metodológica de Práctica de la Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Competitiva," *Proy. Pilot. Transf. y Desarrollo. Capacidades Reg. en Vigil. Tecnológica e Intel. Compet.*, 2012.
- [26] J. Mingers and L. Leydesdorff, "A review of theory and practice in scientometrics," *European Journal of Operational Research*. 2015, doi: 10.1016/j.ejor.2015.04.002.
- [27] N. Gerdtsri and A. Kongthon, *Bibliometrics and social network analysis supporting the research development of emerging areas: Case studies from Thailand*. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2018.
- [28] N. J. van Eck and L. Waltman, "Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping," *Scientometrics*, 2010, doi: 10.1007/s11192-009-0146-3.
- [29] B. Sohrabi, I. R. Vanani, S. M. J. Jalali, and E. Abedin, "Evaluation of Research Trends in Knowledge Management: A Hybrid Analysis through Burst Detection and Text Clustering," *J. Inf. Knowl. Manag.*, vol. 18, no. 4, 2019, doi: 10.1142/S0219649219500436.
- [30] M. Aria and C. Cuccurullo, "bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis," *J. Informetr.*, 2017, doi: 10.1016/j.joi.2017.08.007.
- [31] M. Callon, J. P. Courtial, and F. Laville, "Co-word analysis as a tool for describing the network of interactions between basic and technological research: The case of polymer chemistry," *Scientometrics*, vol. 22, no. 1, 1991, doi: 10.1007/BF02019280.
- [32] M. J. Cobo, A. G. López-Herrera, E. Herrera-Viedma, and F. Herrera, "An approach for detecting, quantifying, and visualizing the evolution of a research field: A practical application to the Fuzzy Sets Theory field," *J. Informetr.*, vol. 5, no. 1, 2011, doi: 10.1016/j.joi.2010.10.002.
- [33] M. Aria, C. Cuccurullo, L. D'aniello, M. Misuraca, and M. Spano, "Thematic Analysis as a New Culturometric Tool: The Social Media Coverage on COVID-19 Pandemic in Italy," *Sustain.*, vol. 14, no. 6, 2022, doi: 10.3390/su14063643.
- [34] M. Giannakos, Z. Papamitsiou, P. Markopoulos, J. Read, and J. P. Hourcade, "Mapping child-computer interaction research through co-word analysis," *Int. J. Child-Computer Interact.*, vol. 23–24, 2020, doi: 10.1016/j.ijcci.2020.100165.
- [35] M. V. Nikolaev and K. R. Saubanov, "On the role of small business in the development of economic systems," *J. Econ. Econ. Educ. Res.*, vol. 17, no. 4, pp. 105–111, 2016, [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85010430724&partnerID=40&md5=8ccc82a5f0b9c6538080a84f5fb99db>.
- [36] M. C. Feito, "Visibility and recovery of peri-urban family farming. Public policy interventions in La Matanza [Visibilización y valorización de la agricultura familiar periurbana. Intervenciones de políticas públicas en el partido de La Matanza]," *Mundo Agrar.*, vol. 18, no. 38, 2017, doi: 10.24215/15155994e055.
- [37] E. Isgren and B. Ness, "Agroecology to promote just sustainability transitions: Analysis of a civil society network in the Rwenzori region, western Uganda," *Sustain.*, vol. 9, no. 8, 2017, doi: 10.3390/su9081357.
- [38] D. Kc, T. Maraseni, C. Jamir, R. Thapa Magar, and F. Tuladhar, "Effectiveness of Gravity Goods Ropeways in market participation of smallholder farmers in uplands," *Transportation (Amst.)*, vol. 47, no. 3, pp. 1393–1414, 2020, doi: 10.1007/s11116-018-9970-8.
- [39] B. Winkler, I. Lewandowski, A. Voss, and S. Lemke, "Transition towards renewable energy production? Potential in smallholder agricultural systems in West Bengal, India," *Sustain.*, vol. 10, no. 3, 2018, doi: 10.3390/su10030801.
- [40] K. A. Mottaleb, T. J. Krupnik, and O. Erenstein, "Factors associated with small-scale agricultural machinery adoption in Bangladesh: Census findings," *J. Rural Stud.*, vol. 46, pp. 155–168, 2016, doi: 10.1016/j.jrurstud.2016.06.012.
- [41] L. A. Yarzabal and E. J. Chica, "Microbial-Based Technologies for Improving Smallholder Agriculture in the Ecuadorian Andes: Current Situation, Challenges, and Prospects," *Front. Sustain. Food Syst.*, vol. 5, 2021, doi: 10.3389/fsufs.2021.617444.
- [42] W. Franco, F. Barbera, L. Bartolucci, T. Felizia, and F. Focanti, "Developing intermediate machines for high-land agriculture," *Dev. Eng.*,

- vol. 5, 2020, doi: 10.1016/j.deveng.2020.100050.
- [43] G. Zerssa, D. Feyssa, D.-G. Kim, and B. Eichler-Löbermann, "Challenges of smallholder farming in Ethiopia and opportunities by adopting climate-smart agriculture," *Agric.*, vol. 11, no. 3, pp. 1–26, 2021, doi: 10.3390/agriculture11030192.
- [44] D. B. Akouwerabou, P. K. Zanré, K. Savadogo, and P. J. W. Kaboré, "Promoting farmers' adoption of climate-smart agricultural technologies in Burkina Faso: the role of coordination along the value chain," *Int. J. Agric. Resour. Gov. Ecol.*, vol. 18, no. 3, pp. 287–308, 2022, doi: 10.1504/IJARGE.2022.10049343.
- [45] C. Muriithi, C. Mwongera, W. Abera, C. G. K. Chege, and I. Ouedraogo, "A scalable approach to improve CSA targeting practices among smallholder farmers," *Heliyon*, vol. 9, no. 10, 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e20526.
- [46] C. A. Francis and P. Porter, *Multicropping*, vol. 3. Elsevier Inc., 2016.
- [47] M. T. Bastanchury-López, C. De-Pablos-heredero, S. Martín-Romo-Romero, and A. García, "Assessment of Key Feeding Technologies and Land Use in Dairy Sheep Farms in Spain," *Land*, vol. 11, no. 2, 2022, doi: 10.3390/land11020177.
- [48] D. Mashnik, H. Jacobus, A. Barghouth, E. Jiayu Wang, J. Blanchard, and R. Shelby, "Increasing productivity through irrigation: Problems and solutions implemented in Africa and Asia," *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 22, pp. 220–227, 2017, doi: 10.1016/j.seta.2017.02.005.
- [49] F. R. Bagambilana and W. M. Rugumamu, "Small-Scale Farmers' Vulnerability to Biophysical and Socio-Economic Risks in Semi-Arid Lowlands of Mwanza District, Kilimanjaro Region, Tanzania," *Environ. Manage.*, vol. 72, no. 2, pp. 275–293, 2023, doi: 10.1007/s00267-023-01793-1.
- [50] K. H. Pinheiro, J. V. M. Bittencourt, and A. C. de Francisco, "Level of knowledge of small producers and family based on the organics certification process [Nível de conhecimento de pequenos produtores de base familiar no processo de certificação de produtos orgânicos]," *Rev. Bras. Gest. e Desenv. Reg.*, vol. 7, no. 3, pp. 233–249, 2011, [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-80053607487&partnerID=40&md5=71e4f2eb564c6a265f8184adaeb1192b>.
- [51] F. Mazzetto, G. Carabin, L. Becce, A. Mandler, and P. Sacco, "Technological Solutions for Implementing Sustainable Cereal-Based Value-Chains in High Mountain Areas," *Lect. Notes Civ. Eng.*, vol. 337 LNCE, pp. 733–741, 2023, doi: 10.1007/978-3-031-30329-6_75.
- [52] R. Czubaszek, A. Wysocka-Czubaszek, and P. Banaszuk, "Importance of Feedstock in a Small-Scale Agricultural Biogas Plant," *Energies*, vol. 15, no. 20, 2022, doi: 10.3390/en15207749.
- [53] M. Hasan et al., *IoT and Sensor-Based Water and Nutrient Management for Protected Cultivation Technology*. CRC Press, 2023.
- [54] A. Vushe, *Proposed research, science, technology, and innovation to address current and future challenges of climate change and water resource management in Africa*. Springer International Publishing, 2021.
- [55] K. Mujeyi, J. Mutambara, S. Siziba, W. Z. Sadomba, and T. K. Manyati, "Entrepreneurial innovations for agricultural mechanisation in Zimbabwe: Evidence from an informal metal industry survey," *African J. Sci. Technol. Innov. Dev.*, vol. 7, no. 4, pp. 276–285, 2015, doi: 10.1080/20421338.2015.1082367.
- [56] A. C. Gama-Rodrigues, M. W. Müller, E. F. Gama-Rodrigues, and F. A. T. Mendes, "Cacao-based agroforestry systems in the Atlantic Forest and Amazon Biomes: An ecoregional analysis of land use," *Agric. Syst.*, vol. 194, 2021, doi: 10.1016/j.agry.2021.103270.
- [57] R. Adelhelm and J. Kotschi, "Environmental protection and sustainable land use: implications for technical cooperation in the rural tropics.," *Q. J. Int. Agric.*, vol. 25, no. 2, pp. 100–111, 1986, [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0022830046&partnerID=40&md5=1aaf27f482182afbd0bcc148ac8c4e7e>.
- [58] A. Nagar, D. K. Nauriyal, and S. Singh, "Improving farmers access to agricultural extension services delivery systems: Lessons from a field study in western Uttar Pradesh, India," *J. Trop. Agric.*, vol. 59, no. 2, pp. 206–214, 2022, [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85125567840&partnerID=40&md5=f0cf668d41c20225ee4eca1f3d32e2c8c>.
- [59] T. P. Masere and S. Worth, "Influence of public agricultural extension on technology adoption by small-scale farmers in Zimbabwe," *South African J. Agric. Ext.*, vol. 49, no. 2, pp. 25–42, 2021, doi: 10.17159/2413-3221/2021/v49n2a12785.
- [60] M. P. Senyolo, T. B. Long, V. Blok, and O. Omta, "How the characteristics of innovations impact their adoption: An exploration of climate-smart agricultural innovations in South Africa," *J. Clean. Prod.*, vol. 172, pp. 3825–3840, 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.06.019.
- [61] K. M. Davalo, A. N. Yuba, and J. O. P. Pinto, "Implementation and Performance Evaluation of a Community-Scale Adobe Evaporative Cooling Chamber for Vegetable Preservation," *Buildings*, vol. 13, no. 6, 2023, doi: 10.3390/buildings13061401.
- [62] D. I. Contreras-medina, S. E. Medina-cuéllar, and J. M. Rodríguez-garcía, "Roadmapping Industry 5.0 Technologies in Agriculture: A Technological Proposal for Developing the Coffee Plant Centered on Indigenous Producers' Requirements in Mexico, via Knowledge Management," *Plants*, vol. 11, no. 11, 2022, doi: 10.3390/plants11111502.
- [63] J. Martin A.A., M. C. Madrid, and V. M. Dumrique, "Indigenous knowledge and concepts on soil quality enhancement and management of farmers in cagayan valley, Philippines bases for the establishment of sustainable agricultural production systems," *Int. J. Sci. Technol. Res.*, vol. 9, no. 4, pp. 3552–3558, 2020, [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-8508390281&partnerID=40&md5=5ed7a1c068bf988ee8b888021c29d505>.
- [64] R. Tiwari, K. Kalogerakis, and C. Herstatt, "Frugal Innovations in the mirror of scholarly discourse: Tracing theoretical basis and antecedents," *R&D Manag. Conf. "From Sci. to Soc. Innov. Value Creat.*, no. July, 2016.
- [65] C. Bhanu et al., "Knowledge based assessment of trained certified farm advisors (CFA) on organic farming," *Indian J. Agric. Sci.*, vol. 92, no. 1, pp. 85–89, 2022, doi: 10.56093/ijas.v92i1.120845.
- [66] J. K. Bang, "Participatory research with farmers: Lessons gained from postgraduate training courses in Vietnam," *Livest. Res. Rural Dev.*, vol. 11, no. 2, pp. 41–64, 1999, [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-3042662443&partnerID=40&md5=ba83a20da45eadbe80edb65944b18756>.
- [67] N. Roling, "Appropriate opportunities as well as appropriate technology.," *Ceres*, vol. 17, no. 1, pp. 15–19, 1984, [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0021574663&partnerID=40&md5=7a32a9778c68f017df252ec3322baef4>.
- [68] B. G. Sims, "Small-holder farming under fire: Agricultural engineering options for the future," *Sci. Technol. Dev.*, vol. 14, no. 1, pp. 70–79, 1996, [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0030390275&partnerID=40&md5=0239b5ce2cc3608dadbcfae3197cc1f2>.
- [69] D. Green, "Small farm households at the cutting edge: Appropriate technology and sustainable rural development," *Transform. An Int. J. Holist. Mission Stud.*, vol. 17, no. 2, pp. 70–74, 2000, doi: 10.1177/026537880001700205.
- [70] J. E. Taylor, T. G. Bellarmine, D. Timlin, and V. R. Reddy, "Developing appropriate technology for small farm populations," in *4th International Conference on Environmental Informatics, ISEIS 2005*, 2005, pp. 1–3, [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84926463292&partnerID=40&md5=09b523c846a10c4ebd67447df7e2472b>.
- [71] "Appropriate agriculture - The next ten years," *Approp. Technol.*, vol. 37, no. 1, pp. 42–43, 2010, [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-77950782979&partnerID=40&md5=4f50eb008481131f992303a897631511>.