



Revista científica

ISSN: 0124-2253

ISSN: 2344-8350

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Sánchez-Céspedes, Juan-Manuel; Rodríguez-Miranda, Juan-Pablo; Salcedo-Parra, Octavio-José  
Aplicación de la inteligencia artificial en la formulación de políticas  
públicas relacionadas con la vocación agrícola de las regiones  
Revista científica, vol. 44, núm. 2, 2022, Mayo-Agosto, pp. 172-187  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas

DOI: <https://doi.org/10.14483/23448350.18576>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=504371984002>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en [redalyc.org](https://www.redalyc.org)

UAEM [redalyc.org](https://www.redalyc.org)

Sistema de Información Científica Redalyc  
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso  
abierto



## Aplicación de la inteligencia artificial en la formulación de políticas públicas relacionadas con la vocación agrícola de las regiones

### Application of Artificial Intelligence in the Formulation of Public Policies Related to the Agricultural Vocation of the Regions

### Aplicação da inteligência artificial na formulação de políticas públicas relacionadas à vocação agrícola das regiões

Juan-Manuel Sánchez-Céspedes <sup>1</sup>

Juan-Pablo Rodríguez-Miranda <sup>2</sup>

Octavio-José Salcedo-Parra <sup>3</sup>

**Recibido:** septiembre de 2021

**Aceptado:** abril de 2022

**Para citar este artículo:** Sánchez-Céspedes, J. M., Rodríguez-Miranda, J. P. y Salcedo-Parra, O. J. (2022). Aplicación de la inteligencia artificial en la formulación de políticas públicas relacionadas con la vocación agrícola de las regiones. *Revista Científica*, 44(2), 172-187. <https://doi.org/10.14483/23448350.18576>

#### Resumen

El objetivo de este trabajo fue realizar una revisión sobre el uso de las técnicas de inteligencia artificial (IA) aplicadas a la formulación de políticas públicas que contribuyan a la vocación agrícola de las regiones, para lo cual se usó una metodología descriptiva con enfoque mixto. El diseño metodológico utilizado fue el PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*). Las publicaciones analizadas fueron tomadas de la base de datos de Scopus. Para el análisis cuantitativo se utilizaron las herramientas informáticas VosViewer y la librería Bibliometrix del lenguaje R. Como resultado se encontró que las técnicas de IA se han aplicado para identificar zonas con vocación agrícola o para encontrar mejores prácticas agrícolas que promuevan el desarrollo sostenible. Se concluyó que esta área de investigación es incipiente y que

es necesario generar nuevos modelos que sean más robustos e incluyan variables demográficas, sociales, ambientales, económicas y políticas.

**Palabras clave:** desarrollo sostenible; inteligencia artificial; política pública; seguridad alimentaria; vocación agrícola.

#### Abstract

The objective of this work was to conduct a review on the use of artificial intelligence (AI) techniques applied to the formulation of public policies that contribute to the agricultural vocation of the regions. To this effect, a descriptive methodology with a mixed approach was employed. The methodological design used was PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*). The analyzed publications were taken from the Scopus database. For the quantitative analysis, the

1. Universidad Distrital "Francisco José de Caldas", Bogotá Distrito Capital, Colombia. Contacto: [jmsanchezc@udistrital.edu.co](mailto:jmsanchezc@udistrital.edu.co)
2. Universidad Distrital "Francisco José de Caldas", Bogotá Distrito Capital, Colombia. Contacto: [jprodriguez@udistrital.edu.co](mailto:jprodriguez@udistrital.edu.co)
3. Universidad Distrital "Francisco José de Caldas", Bogotá Distrito Capital, Colombia. Contacto: [osalcedo@udistrital.edu.co](mailto:osalcedo@udistrital.edu.co)

VosViewer software and the Bibliometrix R language library were used. As a result, it was found that AI techniques are employed to identify areas with an agricultural vocation or to find better agricultural practices that promote sustainable development. It was concluded that this research area is incipient and that it is necessary to generate new models that are more robust and include demographic, social, environmental, economic, and political variables.

**Keywords:** agricultural vocation; artificial intelligence; food security; public policy; sustainable development.

## Resumo

O objetivo deste artigo foi realizar uma revisão da literatura sobre o uso de técnicas de inteligência artificial (IA) aplicadas na formulação de políticas públicas que contribuam para a vocação agrícola das regiões. Foi utilizada uma metodologia descritiva com abordagem mista. O desenho metodológico utilizado foi PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). As publicações analisadas foram extraídas da base de dados Scopus. Para a análise quantitativa, foram utilizados o software VosViewer e a biblioteca da linguagem Bibliometrix R. Como resultado, constatou-se que o I.A. Eles têm sido aplicados para identificar áreas com vocação agrícola ou para encontrar melhores práticas agrícolas que promovam o desenvolvimento sustentável. Concluiu-se que esta área de pesquisa é incipiente e é necessário gerar novos modelos mais robustos que incluam variáveis demográficas, sociais, ambientais, econômicas e políticas.

**Palavras-chaves:** desenvolvimento sustentável; inteligência artificial; políticas públicas; segurança alimentar; vocação agrícola.

## Introducción

El nuevo milenio ha evidenciado nuevos problemas y retos para la población mundial, debido a diferentes causas políticas, económicas, ambientales, culturas, sociales y tecnológicas. Una de las mayores preocupaciones es cómo asegurar la supervivencia de los seres humanos a través del tiempo, por este motivo varias naciones han planteado

la necesidad de formular políticas públicas que fomenten el desarrollo sostenible ([Sánchez, García y Narváez, 2020](#)). Entendiendo como desarrollo sostenible “las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras, para satisfacer sus propias necesidades” ([ONU, 2018](#)), equilibrando el desarrollo económico, el desarrollo social y la protección del medio ambiente ([ONU, 2018](#)).

Uno de los mayores problemas que afronta la humanidad actualmente y compromete la supervivencia actual y la de generaciones futuras es la inseguridad alimentaria que se presenta en algunas regiones como Asia, y especialmente en Latinoamérica y África, donde se estima que 9 de cada 10 personas están subalimentadas ([Aghmas-hhadi et al., 2019](#); [FAO et al., 2017](#); [Moon et al., 2019](#); [Prüss-Ustün et al., 2016](#); [Van Leeuwen et al., 2011](#)). Una de las razones por las cuales se presentan estos problemas de alimentación e inseguridad alimentaria es debido a la pérdida de la vocación agrícola en algunas regiones del mundo, lo cual hace que la producción de alimentos se vea afectada. Un ejemplo claro de la pérdida de la vocación agrícola es lo que se presenta en Colombia, el país cuenta con 37 millones de hectáreas aptas para el cultivo, pero solamente se usan para ello 5,3 millones de hectáreas ([IGAC, 2015](#)), esto quiere decir que solo el 14,32 % del área cultivable se está usando con este propósito ([Sánchez-Céspedes, Rodríguez-Miranda y Ramos-Sandoval, 2020](#)), lo cual evidencia que el país cuenta con una gran vocación agrícola de sus suelos, pero la población no tiene la motivación para el uso de estos en la agricultura, esta situación se presenta también en otras regiones del mundo ([Badiani et al., 2017](#); [Martín Carrillo, 2015](#); [Diack et al., 2017](#); [Gottero, 2019](#); [Mazzocchi, Sali y Corsi, 2013](#); [Nehaï y Guettouche, 2020](#); [Paquette y Domon, 2003](#); [Sofer, 2001](#)).

El presente artículo muestra cómo las herramientas de Inteligencia Artificial (I.A.) pueden ayudar a formular políticas agrarias que fomenten la vocación agrícola en las regiones. Está compuesto

por la actual introducción, luego se explica el concepto de vocación agrícola y los factores que lo afectan, posteriormente se presenta qué es I.A. y las técnicas que se han utilizado en este contexto. Más adelante está la metodología que se utilizó para el estudio. Posteriormente están los resultados y el análisis de estos, en el cual ya se evidencia cómo se utilizó estas herramientas I.A. en temas relacionados con formulación de políticas de vocación agrícola. Por último se encuentran las conclusiones.

## Vocación agrícola

Se puede entender como vocación agrícola a la intención que tiene una persona de dedicarse a actividades agrícolas. Pero cuando ya se habla de vocación agrícola de una región, se refiere a toda la población de dicha región. La vocación agrícola se ve materializada a través de la cantidad de cultivos que hay, para lo cual se deben completar dos condiciones: la vocación agrícola de la población y la vocación agrícola de la tierra, que se refiere a las cualidades fisicoquímicas que permiten que los suelos sean más fértiles para cultivar. Por lo cual, a más áreas de tierra que la región tenga dedicadas al sector agrícola, mayor será su vocación agrícola.

Pero la vocación agrícola de una región puede variar, dependiendo de diferentes factores que pueden afectar las características fisicoquímicas de la tierra o la intención de la población en dedicarse a actividades agrícolas. A continuación se explicará qué factores afectan la vocación agrícola de la tierra y de las personas.

La vocación agrícola de la tierra se ve afectada por factores ambientales como los climáticos ([Martínez Hernández, 2017](#)) y también por las prácticas agrícolas utilizadas que pueden ser amigables o no con el medio ambiente ([Firbank et al., 2008](#); [Gutiérrez García et al., 2020](#); [Gutiérrez García et al., 2020](#); [Picuno, Cillis y Statuto, 2019](#)). Otro factor que puede afectar la vocación agrícola de las tierras es el crecimiento desordenado de zonas urbanas que toman terrenos aptos

para el cultivo para construcción de viviendas ([Alvarado-Quiroa y Araya-Rodríguez, 2014](#); [Badiani et al., 2017](#); [Hernández-Flores et al., 2009](#); [Maz-zocchi et al., 2013](#); [Zhang y Huang, 2015](#)).

Con respeto a la vocación agrícola de las personas, esta se ve afectada por factores como la educación que han tenido, la cual en los últimos años no incentiva la vocación agrícola, sino que en cambio promueve la vida en zonas urbanas ([Gutiérrez García et al., 2020](#); [Muñoz-Rios, Vargas-Villegas y Suarez, 2020](#); [Nawroski, 2019](#)); esto más otros factores culturales ([Paquette y Domon, 2003](#)) han provocado la migración de zonas rurales a zonas urbanas en busca de una mejor calidad de vida, especialmente por parte de los jóvenes ([Deep y Saklani, 2014](#); [Oliveros, Pitti y Montenegro, 2020](#); [Paquette y Domon, 2003](#); [Rodrigues y Mosso, 2018](#); [Téllez, 2017](#)), lo cual hace que no se presente un cambio generacional del sector ([Diack et al., 2017](#); [Martínez Hernández, 2017](#); [Muñoz-Rios et al., 2020](#)).

También existe una falta de apropiación y uso de tecnologías de la información y telecomunicaciones (TIC) dentro de los agricultores que hace que pierda competitividad ([Lyttos et al., 2020](#)). El nivel de asociatividad es un factor relevante porque permite a los pequeños agricultores ser más competitivos en el mercado, frente a los latifundistas ([Gutiérrez García et al., 2020](#)), aparte de que la mayoría de las tierras aptas para el cultivo es de propiedad de unos pocos, lo que también perjudica al pequeño agricultor ([Muñoz-Rios et al., 2020](#); [Oliveros et al., 2020](#)) y fomenta la desigualdad social ([Baudasse y Calderón, 2009](#); [Gómez, 2016](#); [Morales, Morales y Rizo, 2017](#); [Mendoza Ospina, 2017](#); [Soto, 2003](#); [Vargas et al., 2016](#)).

La influencia de políticas públicas agrícolas de largo y corto plazo relacionadas con subsidios estatales, apertura económica, importación, exportación, impuestos, construcción de vías de acceso a zonas rurales ([Beltrán y Piñeros, 2013](#); [Restrepo, Rodríguez y Medina, 2016](#); [Cano y Contreras, 2006](#); [Cárdenas y Vallejo, 2016](#); [Cortés, 2014](#); [dos Santos y Marta, 2014](#); [Helfand, 2003](#); [Muñoz-Rios](#)

[et al., 2020](#); [Rodríguez, Martínez y Mora, 2015](#); [Rodríguez Espinosa, Ramírez Gómez y Restrepo Betancur, 2016](#); [Sánchez Jiménez, Nieto Gómez y Giraldo Díaz, 2018](#); [Szegedy, 2017](#); [Téllez, 2017](#); [Vázquez García, 2020](#)) puede promover o desincentivar al sector agrícola, lo cual afecta la vocación agrícola de una región.

También existen factores económicos que hacen que el sector agrícola sea muy riesgoso, lo cual induce a que las personas prefieran irse a otros sectores económicos más seguros, por ejemplo la minería, la ganadería o el turismo ([Lozada Ordóñez et al., 2018](#); [Mora Pacheco, 2015](#); [Rodríguez Araújo, 2005](#); [Sánchez Jiménez et al., 2018](#)). Entre los factores económicos que hacen que el sector agrícola sea muy riesgoso por su alto grado de incertidumbre están la volatilidad de los precios de los productos agrícolas ([Muñoz-Rios et al., 2020](#); [Sofer, 2001](#)), los altos costo de producción como el valor de los insumos y el valor de la tierra ([Martínez Hernández, 2017](#); [Muñoz-Rios et al., 2020](#)).

También se presenta pérdida de la vocación agrícola en países con altos niveles de violencia. Un ejemplo es Colombia, donde la presencia de grupos ilegales ha contribuido a la migración de las zonas rurales a las zonas urbanas y al cambio a otros sectores productivos de carácter ilegal como el narcotráfico o la minería ilegal ([Restrepo et al., 2016](#); [Cano y Contreras, 2006](#); [Gómez, 2016](#); [Gómez, Barbosa y Rojas, 2016](#); [OCDE, 2015](#); [Mendoza Ospina, 2017](#); [Perfetti et al., 2017](#); [Romero, 2011](#); [Sánchez León, 2017](#); [Sánchez, Rincón y Lugo, 2013](#); [Szegedy, 2017](#); [Vargas et al., 2016](#)).

Todos estos factores hacen que la vocación agrícola de una región sea un sistema complejo debido a la gran cantidad de variables que influyen en este. Por lo cual, las herramientas de I.A. pueden ser de gran utilidad para su modelamiento.

## Inteligencia artificial

La inteligencia artificial (I.A.) la definen como “la capacidad de una máquina para realizar funciones cognitivas que asociamos con las mentes

humanas, como percibir, razonar, aprender, interactuar con el entorno, resolver problemas e incluso ejercitar la creatividad” ([Manyika et al., 2017](#)). Hay múltiples técnicas de I.A. A continuación se explicarán las utilizadas en el tema de estudio.

### Autómata celular

Autómata celular es una sucesión infinita de máquinas de estados finitos. Cada máquina de estados finitos es llamada célula. La célula cambia de estado de acuerdo a su función de transición local, a su estado previo al cambio y a los estados de sus vecinos que son otras células ([Martin, 2007](#); [Sánchez, Rodríguez y Espitia, 2020](#)).

### Redes neuronales artificiales

Las redes neuronales artificiales son sistemas computacionales inspirados en una red neuronal biológica. Estas son máquinas de aprendizaje distribuidas, adaptativas y generalmente no lineales, construidas a partir de muchos elementos de procesamiento llamados neuronas. Cada neurona recibe conexiones de otras neuronas o de sí misma. Estas conexiones llevan señales que van siendo ajustadas a través de unos parámetros llamados pesos. Las neuronas suman todas estas contribuciones y producen una salida que es una función no lineal ([Guresen y Kayakutlu, 2011](#); [Sánchez et al., 2020](#)).

### Máquinas de soporte vectorial

Máquinas de soporte vectorial es una técnica de aprendizaje supervisado que toma el conocimiento aprendido a través de los puntos más informativos, denominados “vectores de apoyo” ([Sánchez et al., 2020](#); [Velásquez, Olaya y Franco, 2010](#)).

### Redes de Markov

Las redes de Markov es una técnica de I.A. que usa las probabilidades condicionales de las variables. Cada uno de los posibles valores de las variables



son llamados estados. El modelamiento se hace a través de un gráfico que puede tener ciclos y representa los estados del sistema y las probabilidades condicionales, también se modela a través de la tabla de transición de estados, la cual contiene las probabilidades condicionales del sistema ([Amayri et al., 2017](#); [Cozman, 2013](#); [Ghahramani, 2001](#); [Hossain y Muromachi, 2012](#); [Jamroga, 2008](#)).

## Modelo basado en agentes

El modelado basado en agentes se usa para modelar procesos de comportamientos de grupos representativos a partir de interacciones entre diferentes agentes en un entorno predeterminado. Cada agente tiene sus propias motivaciones y comportamientos. Cada agente es capaz de afectar su entorno; por tanto, los agentes deben tener autonomía para perseguir sus motivaciones y adaptar sus comportamientos de acuerdo con sus necesidades. Para facilitar la interacción entre agentes, se establece un conjunto de reglas que deben obedecer ([Dauby y Upholzer, 2011](#); [Sánchez et al., 2020](#)).

## Algoritmos evolutivos

Los algoritmos evolutivos son un grupo de algoritmos que buscan optimizar y encontrar soluciones basadas en procesos biológicos. Estos algoritmos usan reglas de transición probabilísticas en lugar de reglas deterministas para actualizar las soluciones y encontrar la solución global ([Sánchez et al., 2020](#); [Shah et al., 2018](#)). Entre los algoritmos evolutivos más utilizados están los genéticos, enjambre de partículas y colonia de hormigas ([Jang et al., 2011](#); [Man, Tang y Kwong, 1996](#); [Pavlidis, Parsopoulos y Vrahatis, 2005](#)).

## Metodología

La metodología utilizada es de carácter descriptivo ([Tamayo y Tamayo, 2011](#)) con enfoque mixto ([Creswell, 2014](#)). El diseño metodológico usado fue PRISMA (Preferred Reporting Items for

Systematic Reviews and Meta-Analyses), el cual es el recomendado para artículos de revisión sistemática ([Liberati et al., 2009](#); [Urrutia y Bonfill, 2010](#)).

PRISMA se divide en cuatro etapas: identificación, selección, elegibilidad, inclusión. La primera etapa tiene como objetivo identificar inicialmente las posibles publicaciones que pertenecen al objeto de estudio. La búsqueda de información se realizó en la base de datos Scopus. Los temas que se buscaron inicialmente en la base de datos fueron inteligencia artificial, toma de decisiones, políticas públicas y vocación agrícola, pero no se encontraron resultados, por lo cual se cambió vocación agrícola por agricultura y la búsqueda detallada relacionada con vocación agrícola se dejó para una fase posterior. El periodo de búsqueda incluyó publicaciones de los años 2001 al 2020. Se encontraron 110 publicaciones. Los criterios de inclusión y exclusión se nombran respectivamente en las [Tablas 1](#) y [2](#). Todos los datos bibliométricos se almacenaron en un archivo de Excel que incluía el resumen. Las versiones completas de los artículos se almacenaron en el Software Mendeley.

La fase de selección empleó los criterios de inclusión y exclusión presentados en las [Tablas 1](#) y [2](#); se verificó manualmente con títulos y resúmenes, en esta etapa ya se aplicó el criterio de vocación agrícola, por lo cual de las 110 publicaciones identificadas inicialmente se redujeron a 20. Posteriormente, se llevó a cabo la fase de elegibilidad sobre la muestra obtenida en la fase anterior, aplicando los mismos controles, pero sobre el texto completo de todas las muestras, en esta etapa quedaron 13 publicaciones. Finalmente, en la fase de inclusión, se analizaron en profundidad los estudios restantes, se realizó un análisis de forma cualitativa, para seleccionar y clasificar las investigaciones, según el uso de las técnicas de I.A. y su aplicación. Al final se obtuvieron 11 estudios, los cuales se clasificaron en dos grupos, el primero fue uso y localización de tierras con vocación agrícola y el segundo fue desarrollo sostenible y mejores prácticas agrícolas. El proceso manual consistió en que cada autor realizara la verificación de las

**Tabla 1.** Criterios de inclusión

Investigación académica o comercial enfocada en la adopción de la I.A. como solución para la toma de decisiones en el proceso de formulación de políticas públicas relacionadas con vocación agrícola
Presencia de términos relacionados con la I.A. en inglés como “artificial intelligence”, “cybernetics”, “neural network”, “fuzzy logic”, “machine learning”, “data mining”, “expert systems”, “genetic algorithms”, “neuro-fuzzy”, “agent-based mode”, “particle swarm”, “cellular automata”, “ant colony optimization”, “big data” y “bayesian network”
Presencia de términos relacionados con la política pública en inglés como “public poli*”, “national poli*”, “government poli*”, “political decision-mak” y “policy mak*”
Presencia de términos relacionados con toma de decisiones en inglés como “decision mak*” y “decision supp*”
Presencia de términos relacionados con agricultura en inglés como “agricultur*”, “agro*”, “agrarian” y “farm*”
Presencia de temas relacionados con vocación agrícola, este criterio se utilizó a partir de la fase de selección
Estudios publicados en inglés entre los años 2001 y 2020

**Tabla 2.** Criterios de exclusión

Publicaciones anteriores al año 2001
Investigaciones enfocadas en soluciones del sector privado que no determinan beneficios para el sector público
Investigación que solo aplica al sector ganadero

publicaciones de manera individual y luego socializarla y consensuar su selección.

Después del análisis cualitativo, se realizó un análisis cuantitativo, para lo cual se usaron las herramientas de software VosViewer y la librería de Bibliometrix de R. En el análisis cuantitativo se analizó la producción científica histórica, la producción científica por países, las publicaciones más citadas y se realizó un análisis temático, para lo cual se revisaron las palabras clave más usadas y se agruparon los temas, utilizando el método por asociación (Luukkonen *et al.*, 1993).

## Resultados

### Uso de inteligencia artificial para formulación de políticas públicas en temas relacionados con la vocación agrícola: análisis cualitativo

El análisis se dividió de acuerdo al uso y los objetivos de las investigaciones halladas. Se encontró que las técnicas de I.A. se han usado principalmente en dos aplicaciones. La primera aplicación se refiere a que estas técnicas en conjunto con

otras herramientas como SIG o bases de datos, entre otras, permiten clasificar y localizar las áreas de tierras según su uso, como uso urbanístico, cultivo, barbecho, vegetación, matorrales, no uso por ser tierra estéril y arenosa, o cuerpos de agua. La segunda aplicación se refiere al uso de las técnicas de I.A. para encontrar mejores prácticas agrícolas que busquen un desarrollo sostenible en la región.

### *Investigaciones relacionadas con el uso de inteligencia artificial para determinar el uso y la localización de tierras*

Las primeras investigaciones que se presentan son las relacionadas con el uso y la localización de tierras, entre las cuales se encuentran las tierras con vocación agrícola. La primera investigación a destacar fue la realizada en Irán, donde generaron un modelo usando autómatas celulares y redes neuronales artificiales para detectar trayectorias de crecimiento urbano y de esta forma prevenir tierras con vocación agrícola (Arasteh, Ali Abbaspour y Salmanmahiny, 2019). En China se realizó un proyecto similar, en el cual preocupados por la seguridad alimentaria del país, las pocas tierras con vocación

agrícola y el crecimiento desmedido y desordenado de las zonas urbanas, diseñaron un modelo de zonificación para protección de zonas agrícolas, usando minería de datos, redes neuronales artificiales y autómatas celulares (Ma et al., 2017). En Malasia usaron las técnicas de máquinas de soporte vectorial en conjunto con redes neuronales artificiales para monitorear áreas protegidas por su biodiversidad y el efecto de las actividades humanas alrededor de estas como la agricultura, en el cual pueden tomar las áreas protegidas para el uso de la agricultura y por consiguiente el aumento de la vocación agrícola, pero esto afectaría al ecosistema y estaría en contraposición con el desarrollo sostenible (Shaharum et al., 2018). En India, sobre la cuenca del Alto Narmada, se desarrolló una investigación que buscó determinar los cambios de los patrones de uso y cobertura de la tierra debido a la expansión de la agricultura, las calamidades ambientales, las inundaciones y las políticas gubernamentales (Pandey y Khare, 2017). En otra investigación en India, esta vez en el distrito de Allahabad, realizaron un monitoreo sobre el uso y la localización de las tierras, entre los años 1990 y 2000, utilizando técnicas de teledetección, sistemas de información geográfica, autómatas celulares y modelos de cadenas de Markov, en el cual indicaron que los factores socioeconómicos y biofísicos han influido significativamente en el crecimiento de las tierras con vocación agrícola y los asentamientos en el área, y por ello es necesario en estudios futuros integrar estos tipos de variables (Singh et al., 2015). En un estudio muy similar al anterior, también desarrollado en India, en la ciudad de Dehradun, usaron también sistemas de información geográfica, autómatas celulares y modelos de cadenas de Markov para determinar el uso y la localización del suelo entre los años 2004 y 2009, encontrando que los cambios más relevantes se produjeron en las áreas urbanizadas, en las áreas con vocación agrícola y en las tierras en barbecho (Deep y Saklani, 2014). Para las regiones de Uttar Pradesh y Bihar, en India, usaron la técnica de máquinas de soporte de vectores, en conjunto

con computación en la nube y Google Earth para hacer un mapeo del uso y la cobertura de la tierra, las tierras se clasificaron en urbanísticas, tierras de cultivo, tierra en barbecho, vegetación, matorrales y pastizales, tierra estéril y arenosa, y cuerpos de agua, la investigación demostró la gran utilidad de estas herramientas para el mapeo y la clasificación de los terrenos (Praveen, Mustak y Sharma, 2019).

Las investigaciones determinaron como se ven afectadas las tierras urbanas, agrícolas, forestales, entre otras; y la influencia entre ellas, y la gran utilidad de las técnicas de I.A. para este fin. Pero investigaciones como las de Pandey y Khare (2017) y Singh et al. (2015) enuncian que estas variaciones son causadas por factores ambientales, políticos, sociales y económicos; por lo cual es necesario desarrollar futuras investigaciones que implementen estos tipos de variables y cuantifiquen el grado de afectación de estas en el uso y la localización de la tierra, y en el caso de la investigación planteada, en el uso y la localización de tierras con vocación agrícola.

### ***Investigaciones relacionadas con el uso de inteligencia artificial para determinar mejores prácticas agrícolas y desarrollo sostenible***

El segundo grupo de investigaciones se refiere a temas en los cuales se pierden las características bioquímicas del suelo por el desarrollo de técnicas de agricultura intensiva, lo cual provoca una pérdida de la vocación agrícola de estos; por tal motivo, desarrollaron modelos para determinar mejores prácticas agrícolas, buscando desarrollar una agricultura sostenible, logrando así conservar la vocación agrícola de los suelos. En el primer estudio presentado desarrollaron un modelo conceptual en el que se propone un modelo basado en agentes que simule escenarios para determinar la viabilidad a largo plazo de una región agrícola en Australia y así mantener la vocación agrícola de la región, en el cual se tuvieran en cuenta uso del suelo, percepción y gestión del riesgo de salinidad, cambio climático futuro, introducción y adopción de nuevas tecnologías, cambios



en políticas, mercados, redes sociales, evolución del valor social (Su *et al.*, 2005). En Alemania se usó autómatas celular para simular diferentes escenarios en el uso de la tierra y se evaluaron los beneficios o riesgos para los servicios ecosistémicos de importancia regional, con lo cual se puede promover un desarrollo sostenible (Füst *et al.*, 2010). Investigadores de China y Australia usaron algoritmos evolutivos en conjunto con autómatas celular para simular diferentes escenarios para el uso sostenible de la tierra, teniendo en cuenta variables como el uso del agua y la reducción del impacto ambiental negativo (Feng, Liu y Han, 2011). En la ciudad de Shenzhen en China usaron optimización multiobjetivo basada en algoritmos evolutivos para optimizar el uso del suelo, buscando reducir el impacto ambiental negativo y así lograr una agricultura sostenible (Zhang y Huang, 2015).

Como se observa, se han usado con éxito diferentes técnicas de I.A. como modelos basados en agentes, autómatas celular y algoritmos evolutivos, para determinar mejores prácticas agrícolas que busquen conservar la vocación agrícola de los suelos y de su entorno, y de esta manera lograr un desarrollo sostenible. A continuación se presenta un análisis cuantitativo.

## Uso de inteligencia artificial para formulación de políticas públicas en temas relacionados con la vocación agrícola: análisis cuantitativo

### Producción científica histórica

En la [Figura 1](#) se presenta la producción histórica de las publicaciones científicas del tema.

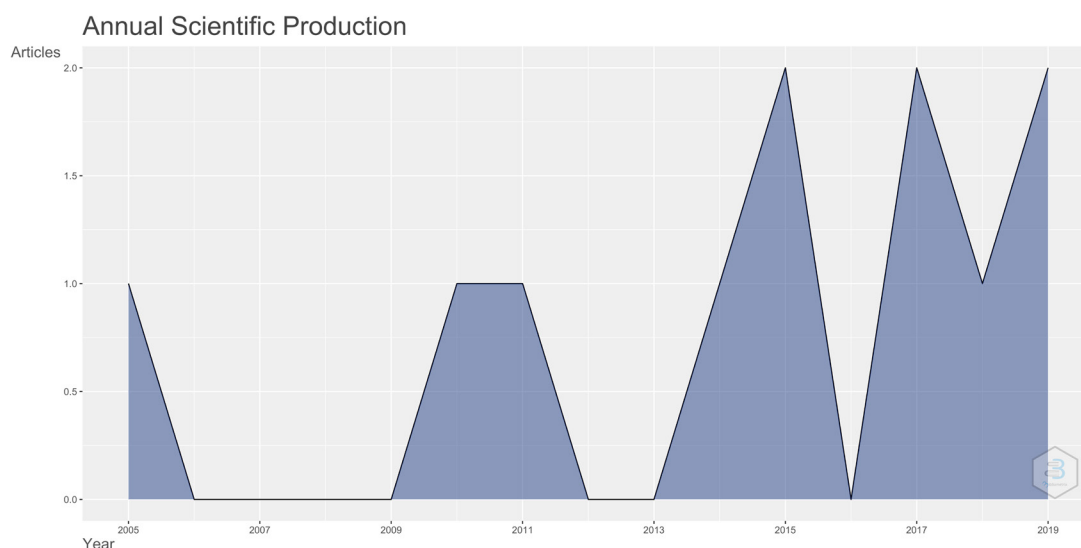
Como se observa, el uso de técnicas de I.A. en el desarrollo de políticas públicas relacionadas con vocación agrícola es incipiente todavía; a partir del 2015 se presenta un leve aumento en la producción científica.

### Producción científica por países

En la [Tabla 3](#) se observa la producción científica por países y en la [figura 2](#) los países con mayores citas referentes al tema.

**Tabla 3.** Criterios de exclusión

INDIA	7
AUSTRALIA	6
CHINA	4
USA	4
GERMANY	3
MALAYSIA	3
IRAN	2
HUNGARY	1



**Figura 1.** Producción histórica (2000-2020)

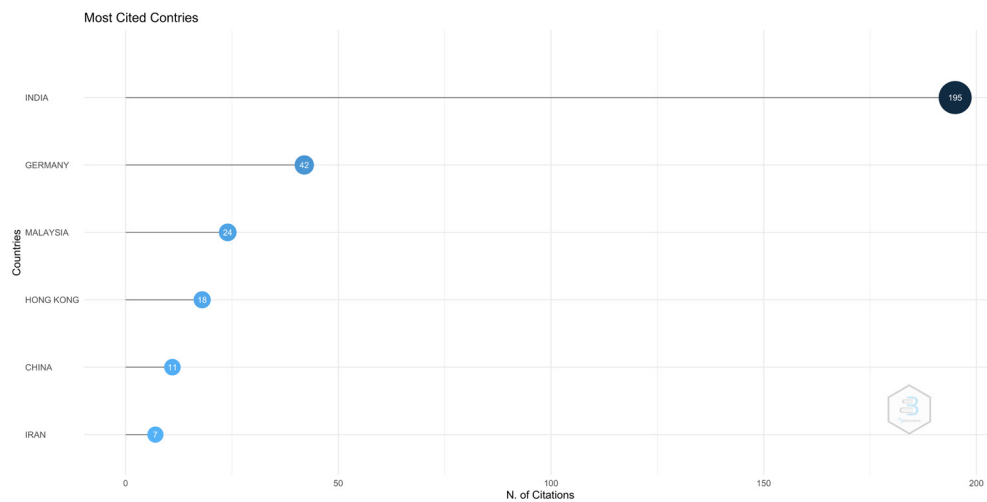


Figura 2. Citación científica por países

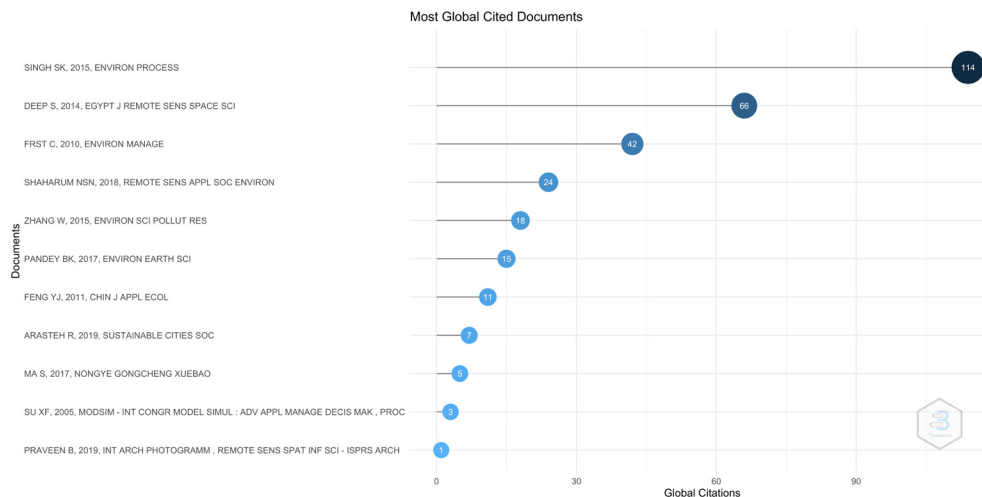


Figura 3. Citación científica por publicación

Como se observa en la [Tabla 3](#) y la [Figura 2](#), el país líder en producción científica y también referente en el tema es India, el cual tiene siete publicaciones sobre el tema y un total de 195 citaciones. La razón de este liderazgo mundial se debe a que en India el 60,3 % de su territorio tiene vocación agrícola y la agricultura representa el 17,4 % del PIB, adicionalmente, el 49 % de su población trabaja directamente en el sector agrícola, y un 65 % lo hace de forma indirecta ([Izquierdo, 2014](#)). Adicionalmente, el 15 % de su población se encuentra en estado de desnutrición ([Banco Mundial, 2021](#)). Por lo todo esto,

investigaciones que promuevan la preservación de la vocación agrícola, en pro de asegurar la seguridad alimentaria de la región, son de gran utilidad para el país.

### Publicaciones más citadas

En la [Figura 3](#) se observan las publicaciones más citadas sobre el tema.

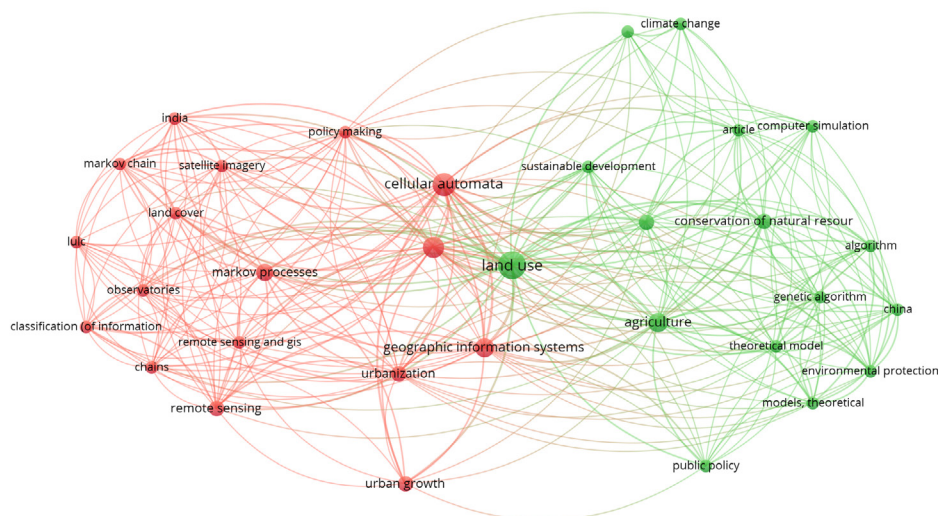
La publicación más citada es la de [Singh et al. \(2015\)](#), en esta investigación plantean la necesidad de incluir en estudios futuros variables socioeconómicas debido a que estas influyen significativamente en el crecimiento de la vocación agrícola.

En la [Figura 4](#) se presentan los temas más mencionados, estos son uso de la tierra, agricultura, autómatas celulares, China, toma de decisiones, sistemas de información geográfica, urbanización y cambio climático. Al observar las palabras clave que más aparecen en las publicaciones, se determina que las investigaciones se han enfocado en determinar

servar en la [Figura 5](#).



**Figura 4.** Citación científica por publicación



**Figura 5.** Red de agrupación temática por asociación

La técnica por asociación agrupó en dos grupos los temas. El primero es el que se encuentra en lado izquierdo de la [Figura 5](#) en color rojo, son temas relacionados con urbanización, crecimiento urbano, sistema de información geográfica, autómata celular; este grupo se refiere a cómo se han producido los cambios y usos de la tierra, afectados por factores como crecimiento urbano, para lo cual las investigaciones han usado autómata celular y sistemas de información geográfica al realizar estos estudios. El segundo grupo es el del lado derecho de la [Figura 5](#) en color verde, este aborda temas de uso de la tierra, agricultura, política pública, desarrollo sostenible, protección del medio ambiente, conservación de los recursos naturales, algoritmos genéticos; estos temas están más relacionados con el desarrollo sostenible en el sector agrícola, de tal forma que se puedan desarrollar buenas prácticas agrícolas que sean amigables con el medio ambiente y así generar políticas públicas acordes, para el cumplir con este objetivo usaron la técnica de algoritmos genéticos. Lo encontrado en el análisis temático usando la técnica con asociación es acorde al análisis cualitativo realizado, en el que el uso de las técnicas de inteligencia artificial en la formulación de políticas públicas relacionadas con la vocación agrícola ha tenido dos enfoques: el primero, el uso y la localización de las tierras y el segundo el desarrollo de buenas prácticas agrícolas para el desarrollo sostenible.

## Conclusiones

Las investigaciones relacionadas con el uso de I.A. en los procesos de formulación de políticas agrarias, enfocadas en preservar y fomentar la vocación agrícola, es apenas incipiente y se ha comenzado a presentar en los últimos cinco años. El país líder en estos temas de investigación es India, debido a la preocupación que tiene en poder generar seguridad alimentaria a la totalidad de su población, entendiendo que actualmente el 15 % de ella se encuentra en estado de desnutrición. Además, el sector agrícola es pilar de la economía india, este

sector representa el 17,4 % del PIB y genera el 45 % de empleos directos dentro de la población.

La aplicación de las técnicas de I.A. que contribuyan a formular políticas agrarias relacionadas con vocación agrícola se ha enfocado principalmente en identificar zonas con vocación agrícola y proyectar su comportamiento. El otro uso que ha tenido la I.A ha sido con un enfoque ambiental, en el cual las investigaciones se han planteado determinar las mejores prácticas agrícolas que busquen preservar la vocación agrícola de los suelos, y de esta manera promover la agricultura sostenible.

Los modelos desarrollados hasta la fecha han tenido en cuenta variables de crecimiento urbano o ambiental, por lo cual, como lo plantean [Pandey y Khare \(2017\)](#) y [Singh et al. \(2015\)](#), es necesario generar nuevos modelos que sean más robustos, los cuales incluyan adicionalmente variables de tipo demográfico, político, social y económico.

## Referencias

- Aghmashhadi, A. H., Cirella, G. T., Zahedi, S., Kaze-mi, A. (2019). Water resource policy support system of the Caspian Basin. *AIMS Environmental Science*, 6(4), 242-261. <https://doi.org/10.3934/environsci.2019.4.242>
- Alvarado-Quiroa, H. O., Araya-Rodríguez, F. (2014). Cambios de uso del suelo y crecimiento urbano. Estudio de caso en los municipios conurbados de la Mancomunidad Metrópoli de Los Altos, Quetzaltenango, Guatemala. *Tecnología en Marcha*, 27(1), 104-113. <https://doi.org/10.18845/tm.v27i1.1701>
- Amayri, M., Ngo, Q.-D., El Safadi, E. A., Ploix, S. (2017). Bayesian network and Hidden Markov Model for estimating occupancy from measurements and knowledge. En *Proceedings of the 2017 IEEE 9th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS*, 690-695. <https://doi.org/10.1109/IDAACS.2017.8095179>
- Arasteh, R., Ali Abbaspour, R., Salmanmahiny, A. (2019). A modeling approach to path dependent

- and non-path dependent urban allocation in a rapidly growing region. *Sustainable Cities and Society*, 44, 378-394. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.10.029>
- Badiani, B., Barontini, S., Bettoni, B., Bonati, S., Peli, M., Pietta, A., Scala, B., Tononi, M., Vitale, N. (2017). Lake Garda lemon houses (Italy): Opportunities of a sensitive, marginal area in urban planning. *Change and Adaptation in Socio-Ecological Systems*, 3(1), 111-118. <https://doi.org/10.1515/cass-2017-0010>
- Banco Mundial. (2021). Prevalencia de desnutrición (% de la población) - India. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <https://datos.bancomundial.org/indicador/SN.ITK.DEFC.ZS?locations=IN>
- Baudasse, T., Calderón, C. (2009). Integración comercial del sector agrícola y desigualdad económica en los países en vías de desarrollo. *Investigación Económica*, 68(269), 37-72
- Beltrán, J. A., Piñeros, A. (2013). *Sector agropecuario colombiano: su realidad económica y perspectiva* [Trabajo de grado]. Universidad EAN, Colombia. <http://repository.ean.edu.co/bitstream/handle/10882/4629/BeltranJorge2013.pdf>
- Cano, L. P., Contreras, J. H. (2006). La economía colombiana en el contexto mundial. principales elementos de la apertura económica y la globalización. *Mundo Económico y Empresarial*, 4, 83-88
- Cárdenas, J. I., Vallejo, L. E. (2016). Agricultura y desarrollo rural en Colombia 2011-2013: una aproximación. *Apuntes del CENES*, 35(62), 87-123
- Cortés, L. A. (2014). *El sector agrícola en Colombia: un marginado del comercio internacional* [Trabajo de Grado]. Universidad Militar Nueva Granada, Colombia
- Cozman, F. G. (2013). Independence for full conditional probabilities: Structure, factorization, non-uniqueness, and Bayesian networks. *International Journal of Approximate Reasoning*, 54(9), 1261-1278. <https://doi.org/10.1016/j.ijar.2013.08.001>
- Creswell, J. W. (2014). *Research Design; Qualitative, Quantitative, and mixed Methods Approaches*, 4th ed. SAGE Publications
- Dauby, J. P., Upholzer, S. (2011). Exploring behavioral dynamics in systems of systems. *Procedia Computer Science*, 6, 34-39. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2011.08.009>
- Deep, S., Saklani, A. (2014). Urban sprawl modeling using cellular automata. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 17(2), 179-187. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2014.07.001>
- Diack, M., Loum, M., Diop, C. T., Holloway, A. (2017). Quantitative risk analysis using vulnerability indicators to assess food insecurity in the Niayes agricultural region of West Senegal. *Jàmbá : Journal of Disaster Risk Studies*, 9(1). <https://doi.org/10.4102/jamba.v9i1.379>
- dos Santos, D. A., Marta, J. M. C. (2014). The Kandir Law and the development of Mato Grosso: Analysis of the period 1990-2009. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, 10(1), 206-228
- FAO, FIDA, UNICEF, PMA, OMS. (2017). El estado de la seguridad alimentaria y nutricional en el mundo. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). <http://www.fao.org/3/a-l7695s.pdf>
- Feng, Y., Liu, Y., Han, Z. (2011). Land use simulation and landscape assessment by using genetic algorithm based on cellular automata under different sampling schemes. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 22(4), 957-963.
- Firbank, L. G., Petit S., Smart, S., Blain, A., Fuller, R. J. (2008). Assessing the impacts of agricultural intensification on biodiversity: A British perspective. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 363(1492), 777-787. <https://doi.org/http://doi.org/10.1098/rstb.2007.2183>
- Fürst, C., Volk, M., Pietzsch, K., Makeschin, F. (2010). Pimp your landscape: A tool for qualitative evaluation of the effects of regional planning measures on ecosystem services. *Environmental Management*, 46(6), 953-968. <https://doi.org/10.1007/s00267-010-9570-7>
- Ghahramani, Z. (2001). An Introduction to hidden Markov models and Bayesian networks. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 15(1), 9-42. <https://doi.org/10.1142/S0218001401000836>



- Gómez, P. P. (2016). *Evaluación de la política pública de reforma agraria en Colombia (1991-2010): estudios de caso en seis municipios del país* [Tesis de Maestría]. Universidad Nacional de Colombia, Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/57278>
- Gómez, D. T., Barbosa, E. M., Rojas, W. E. (2016). Política agraria y posconflicto en Colombia. *Inclusión y Desarrollo*, 3(1), 74-82. <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inclusion.3.1.2016.74-84>
- Gottero, E. (2019). Identifying vulnerable farmland: An index to capture high urbanisation risk areas. *Ecological Indicators*, 98, 61-67. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.10.037>
- Guresen, E., Kayakutlu, G. (2011). Definition of artificial neural networks with comparison to other networks. *Procedia Computer Science*, 3, 426-433. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2010.12.071>
- Gutiérrez García, G. A., Gutiérrez-Montes, I., Hernández Núñez, H. E., Suárez Salazar, J. C., Casanoves, F. (2020). Relevance of local knowledge in decision-making and rural innovation: A methodological proposal for leveraging participation of Colombian cocoa producers. *Journal of Rural Studies*, 75, 119-124. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.01.012>
- Helfand, S. M. (2003). The Impact of Agricultural Policy Reforms on the Agricultural Sector in Brazil in the 1990s: Implications for Pro-Poor Agricul. *OECD Global Forum on Agriculture: Designing and Implementing Pro-Poor Agricultural Policies*, 56
- Hernández-Flores, J. Á., Martínez-Corona, B., Méndez-Espinoza, J. A., Pérez-Avilés, R., Ramírez-Juárez, J., Navarro-Garza, H. (2009). Rurales y periurbanos: una aproximación al proceso de conformación de la periferia poblana. *Papeles de Población*, 15(61), 275-295.
- Hossain, M., Muromachi, Y. (2012). A Bayesian network based framework for real-time crash prediction on the basic freeway segments of urban expressways. *Accident Analysis and Prevention*, 45, 373-381. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.08.004>
- IGAC. (2015). Solo el 16 por ciento de los suelos de Colombia está blindado contra la “depredación ambiental” del hombre. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. <https://noticias.igac.gov.co/es/contenido/solo-el-16-por-ciento-de-los-suelos-de-colombia-esta-blindado-contra-la-depredacion>
- Izquierdo, M. J. (2014). Liderazgo y seguridad alimentaria: india en la defensa de sus intereses. *Instituto Español de Estudios Estratégicos*, (58)
- Jamroga, W. (2008). A temporal logic for Markov chains. *Proceedings of the 7th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, 697-704.
- Jang, S.-H., Roh, J.-H., Kim, W., Sherpa, T., Kim, J.-H., Park, J.-B. (2011). A novel binary ant colony optimization: Application to the unit commitment problem of power systems. *Journal of Electrical Engineering and Technology*, 6(2), 174-181. <https://doi.org/10.5370/JEET.2011.6.2.174>
- Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gøtzsche, P. C., Ioannidis, J. P. A., Clark, M., Devereaux, P. J., Kleijnen, J., Moher, D. (2009). The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: Explanation and elaboration. *PLoS Medicine*, 6(7), e1000100. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000100>
- Lozada Ordóñez, L., Dias da Cruz, D., Oliveira de Andrade, M. (2018). Ecosystem services and use of Afro-descendant land in the Colombian North Pacific: Transformations in the traditional production system. *Land Use Policy*, 75, 631-641. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.01.043>
- Luukkonen, T., Tijssen, R. J. W., Persson, O., Sivertsen, G. (1993). The measurement of international scientific collaboration. *Scientometrics*, 28(1), 15-36. <https://doi.org/10.1007/BF02016282>
- Lytos, A., Lagkas, T., Sarigiannidis, P., Zervakis, M., Livanos, G. (2020). Towards smart farming: Systems, frameworks and exploitation of multiple sources. *Computer Networks*, 172, e107147. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107147>
- Ma, S., Wu, K., Lao, C., Zhong, Y., Zhang, T., Huang, T. (2017). Establishment and application of iZone system for intelligently identifying preserved zones of permanent prime farmland. *Transactions of the*

- Chinese Society of Agricultural Engineering*, 33(2), 276-282
- Man, K. F., Tang, K. S., Kwong, S. (1996). Genetic algorithms: Concepts and applications. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 43(5), 519-534. <https://doi.org/10.1109/41.538609>
- Manyika, J., Chui, M., Miremadi, M., Bughin, J., George, K., Willmott, P., Dewhurst, M. (2017). *Un futuro que funciona: automatización, empleo y productividad*. McKinsey Global Institute
- Martin, B. (2007). Damage spreading and  $\mu$ -sensitivity on cellular automata. *Ergodic Theory and Dynamical Systems*, 27(2), 545-565. <https://doi.org/10.1017/S0143385706000782>
- Martín Carrillo, M. (2015). *Efectos de la capacidad de uso en la calidad de los suelos en la denominación de origen montilla-moriles* [Tesis doctoral]. Universidad de Córdoba, España
- Martínez Hernández, C. (2017). *El abandono de campos de cultivo en la Región de Murcia: causas y consecuencias medioambientales y socioeconómicas* [Tesis doctoral]. Universidad de Murcia, España. <https://www.tdx.cat/handle/10803/405714>
- Mazzocchi, C., Sali, G., Corsi, S. (2013). Land use conversion in metropolitan areas and the permanence of agriculture: Sensitivity Index of Agricultural Land (SIAL), a tool for territorial analysis. *Land Use Policy*, 35, 155-162. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.05.019>
- Mendoza Ospina, D. M. (2017). *Reivindicando al campesinado en Colombia: análisis de las fallas de redistribución y de reconocimiento en la implementación de las políticas agrarias de los siglos XX-XXI, y en la política pública de víctimas y restitución de tierras* [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de Colombia, Colombia
- Moon, S.-H., Kim, Y.-H., Lee, Y.-H., Moon, B.-R. (2019). Application of machine learning to an early warning system for very short-term heavy rainfall. *Journal of Hydrology*, 568, 1042-1054. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.11.060>
- Mora Pacheco, K. G. (2015). Monotonía, aislamiento y atraso agrícola. Descripciones de viajeros del siglo XIX e historia agraria de la Sabana de Bogotá (Colombia). *HiSTOReLo. Revista de Historia Regional y Local*, 7(14), 180-213. <https://doi.org/10.15446/historelo.v7n14.48625>
- Morales, S. L., Morales, M. R., Rizo, R. (2017). Metodología para procesos de inteligencia de negocios con mejoras en la extracción y transformación de fuentes de datos. *Publicando*, 4(11), 107-119
- Muñoz-Rios, L. A., Vargas-Villegas, J., Suarez, A. (2020). Local perceptions about rural abandonment drivers in the Colombian coffee region: Insights from the city of Manizales. *Land Use Policy*, 91, e104361. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104361>
- Nawroski, A. (2019). A educação na sociedade rural e o curso agrícola para rapazes brasileiros na Polônia (1918-1938). *Tempo e Argumento*, 11(28), 67-97. <https://doi.org/10.5965/2175180311282019067>
- Nehaï, S. A., Guettouche, M. S. (2020). Soil loss estimation using the revised universal soil loss equation and a GIS-based model: A case study of Jijel Wilaya, Algeria. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(4), e5160. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-5160-z>
- OCDE. (2015). Revisión de la OCDE de las políticas agrícolas: Colombia 2015. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. <https://www.oecd.org/colombia/Colombia-Revision-OCDE-Politicas-Agricolas-2015.pdf>
- Olivares, B. O., Pitti, J., Montenegro, E. (2020). Socioeconomic characterization of Bocas del Toro in Panama: An application of multivariate techniques. *Revista Brasileira de Gestao e Desenvolvimento Regional*, 16(3), 59-71
- ONU. (2018). Desarrollo sostenible. *Presidente de la Asamblea General de las Naciones Unidas*. <https://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml>
- Pandey, B. K., Khare, D. (2017). Analyzing and modeling of a large river basin dynamics applying integrated cellular automata and Markov model. *Environmental Earth Sciences*, 76(22), e7133. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-7133-4>
- Paquette, S., Domon, G. (2003). Changing ruralities, changing landscapes: Exploring social recomposition using a multi-scale approach. *Journal of Rural Studies*, 19(4), 425-444. [https://doi.org/10.1016/S0743-0167\(03\)00006-8](https://doi.org/10.1016/S0743-0167(03)00006-8)

- Pavlidis, N. G., Parsopoulos, K. E., Vrahatis, M. N. (2005). Computing Nash equilibria through computational intelligence methods. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 175(1), 113-136. <https://doi.org/10.1016/j.cam.2004.06.005>
- Perfetti, J. J., Botero, J., Oviedo, S., Foreo, D., Higuera, S., Correa, M., García, J. (2017). *Política comercial agrícola: nivel, costos y efectos de la protección en Colombia*. Fedesarrollo
- Picuno, P., Cillis, G., Statuto, D. (2019). Investigating the time evolution of a rural landscape: How historical maps may provide environmental information when processed using a GIS. *Ecological Engineering*, 139, e10. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.08.010>
- Praveen, B., Mustak, S., Sharma, P. (2019). Assessing the transferability of machine learning algorithms using cloud computing and earth observation datasets for agricultural land use/cover mapping. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(3/W6), 585-592. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-W6-585-2019>
- Prüss-Ustün, A., Wolf, J., Corvalán, C., R Bos, Neira, M. (2016). *Preventing disease through healthy environments: A global assessment of the environmental burden of disease from environmental risks*. World Health Organization
- Restrepo Betancur, F., Rodríguez Espinosa, H., Medina Sierra, M. (2016). Dinámica de la superficie agrícola cultivada en Colombia, 1960- 2010. *UG-Ciencia*, 22, 85-98
- Rodrigues, F. A., Mosso Moreira, F. (2018). ICT, Data and Rural Youth: challenges of the current context. *RECoDAF - Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar*, 4(2), 15-25
- Rodríguez Araújo, E. (2005). Perfiles de la economía boyacense. *Apuntes del Cenes*, 25(39), 95-124
- Rodríguez, E., Martínez, G. L., Mora, J. (2015). La crisis del sector agropecuario colombiano: ¿cuál es la responsabilidad de las políticas públicas? *Tendencias*, XVII(1), 159-174. <https://doi.org/10.22267/rtend.151601.38>
- Rodríguez Espinosa, H., Ramírez Gómez, C. J., Restrepo-Betancur, L. F. (2016). Análisis comparativo de la dinámica de desarrollo agrícola en Suramérica en el período 1980-2010. *Luna Azul*, 42, 15-29
- Romero, Y. (2011). Incidencia del PIB agropecuario en el PIB nacional. Evolución y transformación. *Revista Gestión y Desarrollo*, 8(2), 49-60
- Sánchez, J. M., García, C. A., Narváez, E. (2020). Problematic of the decision-making process in the formulation of public agricultural policies in Colombia: Review article. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, 10(6), 139-146
- Sánchez, V., Rincón, M. A., Lugo, L. J. (2013). Imaginarios rurales y agropecuarios y políticas agrarias en el departamento del Caquetá, Colombia. *Ingenierías & Amazonia*, 6(1), 37-46
- Sánchez, J. M., Rodríguez, J. P., Espitia, H. E. (2020). Review of artificial intelligence applied in decision-making processes in agricultural public policy. *Processes* 2020, 8(11). <https://doi.org/10.3390/PR8111374>
- Sánchez-Céspedes, J. M., Rodríguez-Miranda, J. P., Ramos-Sandoval, O. L. (2020). Artificial intelligence, an alternative for generating agricultural public policies in Colombia - A review. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, 10(3), 15677-15692
- Sánchez Jiménez, W., Nieto Gómez, L. E., Giraldo Díaz, R. (2018). Cambio estructural de la vocación agrícola y pecuaria en el municipio de Purificación, Tolima, Colombia. *Libre Empresa*, 15(2), 137-148. <https://doi.org/10.18041/1657-2815/libreempresa.2018v15n2.5361>
- Sánchez León, N. C. (2017). *Tierra en transición. Justicia transicional, restitución de tierras y política agraria en Colombia*. Centro de Estudios de Derecho, Justicia y Sociedad, Dejusticia.
- Shah, H., Tairan, N., Garg, H., Ghazali, R. (2018). A quick Gbest guided artificial bee colony algorithm for stock market prices prediction. *Symmetry*, 10(7), e292. <https://doi.org/10.3390/sym10070292>
- Shaharum, N. S. N., Shafri, H. Z. M., Gambo, J., Abidin, F. A. Z. (2018). Mapping of Krau Wildlife Reserve

- (KWR) protected area using Landsat 8 and supervised classification algorithms. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 10, 24-35. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.01.002>
- Singh, S. K., Mustak, S., Srivastava, P. K., Szabó, S., Islam, T. (2015). Predicting spatial and decadal LULC changes through cellular automata markov chain models using earth observation datasets and geo-information. *Environmental Processes*, 2(1), 61-78. <https://doi.org/10.1007/s40710-015-0062-x>
- Sofer, M. (2001). Pluriactivity in the Moshav: Family farming in Israel. *Journal of Rural Studies*, 17(3), 363-375. [https://doi.org/10.1016/S0743-0167\(01\)00012-2](https://doi.org/10.1016/S0743-0167(01)00012-2)
- Soto, C. (2003). La agricultura comercial de los distritos de riego en México y su impacto en el desarrollo agrícola. *Investigaciones Geográficas*, 50, 173-195. <https://doi.org/10.14350/ig.30439>
- Su, X. F., Asseng, S., Campbell, P., Cook, F., Schilizzi, S., Nancarrow, B., Poole, M., Carlin, G., Brockman, H. (2005). A conceptual model for simulating farmer decisions and land use change. En *International Congress on Modelling and Simulation: Advances and Applications for Management and Decision Making, Proceedings*, 156-161
- Szegedy, I. (2017). Políticas públicas agrícolas en Colombia desde los años 1970 hasta los gobiernos Uribe - La historia de recurrentes cuestiones políticas sin resolver. *Vniversitas*, 66(134), 363-398. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.vj134.appc>
- Tamayo y Tamayo, M. (2011). *El proceso de la investigación científica* (5a Ed.). México: Limusa
- Téllez, D. C. (2017). *La incidencia de la política agraria en el Gobierno Santos en el desarrollo del sector papero del departamento de Boyacá* [Trabajo de grado]. Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario, Colombia. <https://repository.urosario.edu.co/handle/10336/13608>
- Urrutia, G., Bonfill, X. (2010). Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistematicas y metaanálisis. *Medicina Clínica*, 135(11), 507-511. <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2010.01.015>
- Van Leeuwen, W., Hutchinson, C., Drake, S., Doorn, B., Kaupp, V., Haithcoat, T., Likholetov, V., Sheffner, E., Tralli, D. (2011). Benchmarking enhancements to a decision support system for global crop production assessments. *Expert Systems with Applications*, 38(7), 8054-8065. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.12.145>
- Vargas, C., Téllez, G., Cubillos, A., Pulido, J., Gómez, P., Garzón, Lady. (2016). Análisis de los beneficiarios de la política pública de reforma agraria en el marco del desarrollo rural en Colombia (1994-2010). *Pampa: Revista Interuniversitaria de Estudios Territoriales*, 13, 31-53
- Vázquez García, V. (2020). Venta de tierras y transformación del waterscape en San Salvador Atenco, Estado de México. *Cuicuilco: Revista de Ciencias Antropológicas*, 27(77), 185-206
- Velásquez, J. D., Olaya, Y., Franco, C. J. (2010). Predicción de series temporales usando máquinas de vectores de soporte. *Ingeniare: Revista Chilena de Ingeniería*, 18(1), 64-75. <https://doi.org/10.4067/s0718-33052010000100008>
- Zhang, W., Huang, B. (2015). Soil erosion evaluation in a rapidly urbanizing city (Shenzhen, China) and implementation of spatial land-use optimization. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(6), 4475-4490. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3454-y>

