

## Colegios invisibles y patrones de colaboración en el Sistema de Investigación Agropecuaria en Colombia

Oscar Yandy Romero Goyeneche

*Universidad Nacional de Colombia*

Gabriel Velez Cuartas

*Universidad de Antioquía*

Matías Ramírez

*Universidad de Sussex*

Jorge Robledo Velásquez

*Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín*

Alejandro Balanzó

*Universidad Externado de Colombia*

### RESUMEN

Se analizan los patrones de colaboración del sistema de investigación agropecuario en Colombia que surgen de la conformación de colegios invisibles. El análisis se hace en tres niveles: macro, referido a los patrones generales que organizan la colaboración en colegios invisibles, meso, que describe la capacidad de enlace de las distintas organizaciones en el sistema y micro, la conformación de colegios invisibles que permiten observar la diversidad temática. La combinación de los tres niveles, reflejan un sistema de investigación en proceso de consolidación, pero aún frágil. Para este estudio se consideraron las publicaciones realizadas en revistas Web of Science por autores adscritos al Programa Nacional de CTI en Ciencias Agropecuarias y aquellos relacionados con la emergencia de comunidades temáticas derivadas del acoplamiento bibliográfico. Metodológicamente se aplica un análisis multinivel de redes de co-citación y colaboración empleando coeficientes de correlación, identificando conectores del sistema y detectando las comunidades semánticas que se constituyen en colegios invisibles.

**Palabras clave:** *Redes de Colaboracion Cientifica – Sistemas de Innovacion Agropecuaria – Políticas Publicas en Ciencia, Tecnología e Innovación – Agendas de Investigación – Colegios Invisibles.*

### ABSTRACT

The collaboration patterns of the agricultural research system in Colombia that arise from the formation of invisible colleges are analyzed. The analysis is done in three levels: macro, referring to the general patterns that organize the collaboration, meso, which describes the capacity of link of the different organizations in the system, and micro, the formation of invisible colleges that allow observing the thematic diversity. The combination of the three levels reflects a research system in the process of consolidation, but still fragile. For this study, publications made in Web of Science journals by authors attached to the National Program of CTI in Agricultural Sciences and those related to the emergence of thematic communities derived from the bibliographic link were considered. Methodologically, a multilevel analysis of co-citation and collaboration networks is applied using correlation coefficients, identifying system connectors and detecting the semantic communities that constitute invisible colleges.

**Key words:** *Scientific collaboration networks – Agricultural Innovation Systems – Policy in STI – Research agendas – Invisible Colleges.*

Contacto con los autores: Gabriel Vélez Cuartas ([gjaime.velez@udea.edu.co](mailto:gjaime.velez@udea.edu.co))

La política sectorial de las ciencias agropecuarias y de desarrollo rural de Colombia en los últimos diez años ha fijado sus propósitos fundamentalmente en las siguientes agendas: educación, seguridad alimentaria y nutrición, equidad de género, fortalecimiento de mercados regionales e internacionales, transferencia y desarrollo tecnológico, producción limpia, agroturismo biotecnología y desarrollo agroindustrial a través de cultivos enfocados a la producción de etanol y biodiesel (Olade, 2009; DNP, 2014)

A partir de estas agendas se han creado un conjunto de instrumentos que han buscado el fortalecimiento del sector. La primera iniciativa, en el año 2003, buscó la definición de una Agenda de Investigación única nacional, a través de la identificación de problemáticas tecnológicas inmediatas para cada cadena productiva. La segunda iniciativa, fue el Proyecto Transición de la Agricultura, que da inicio a una serie de estudios en el 2006, con miras a establecer la Agenda Prospectiva de Investigación y Desarrollo Tecnológico, que terminaría en el año 2010, con 25 cadenas productivas estudiadas. Dentro de estas se destaca la generación de agendas en: flores, porcicultura, ovino-caprina, hortalizas, apicultura, algodón, frutas (pitaya y granadilla), piscícola, forestal y un tema transversal de Seguridad Alimentaria en Colombia (Corpoica, 2017).

Adicionalmente, la expedición del Acto Legislativo 5 de 2011 facilitó el acceso a recursos a través de la creación del Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías, que destina el 10 % de las regalías nacionales para la CTI (DNP, 2014). Este fondo permitió entre 2012 y 2016 la financiación de algunos proyectos en las regiones encaminados a fortalecer las capacidades de las diferentes cadenas productivas (Corpoica, 2017). Esto ha significado según el observatorio el Observatorio del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología Agroindustrial (SNCTA) un avance gradual en materia de identificación de cadenas productivas y sus demandas tecnológicas a pesar de ser el cuarto financiador del sector (15.14%) (CORPOICA, 2016).

Sin embargo, el sector aun presenta un conjunto de problemáticas y debilidades que no permiten alcanzar el conjunto de objetivos trazados en la política de CTI. Dentro de ellos se destacan la falta de cooperación y articulación entre los diferentes actores y la falta de investigación aplicada con impacto en las cadenas productivas (Corpoica, 2017). En este sentido, el informe de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) "Reviews of Innovation Policy: Colombia 2014" detectó la

necesidad del fortalecimiento de sectores que permitan al país salir de la dependencia de materias primas que genera dificultades de un desarrollo sostenible en el país. En este informe también se señala la importancia del fortalecimiento de los sectores de biodiversidad y agricultura como ejes de desarrollo del país que no han tenido un papel protagónico en los últimos diez años (Junguito, Perfetti y Becerra (2014).

Así mismo, se presentó como propuesta la política nacional de ciencia y tecnología 2016-2025 (CONPES, 2016). Esta propuesta señaló cuatro problemas específicos de los cuales se derivan un conjunto de debilidades en el sector de CTI, i) baja generación de conocimiento de alto impacto; ii) insuficientes condiciones para la cooperación entre los sectores público y privado en la identificación, demanda y apropiación del conocimiento y la tecnología; iii) baja actividad innovadora y de emprendimiento en el aparato productivo; y iv) debilidad en el actual marco de gobernanza para un adecuado desarrollo de la política.

Sin embargo, el documento CONPES se quedó en borrador y nunca fue promulgado porque los actores no pudieron llegar a un acuerdo. Esta situación alerta sobre el papel de las políticas antes mencionadas y su real efectividad en la presentación de resultados (cerca de 10 años de diseños y desarrollos). Igualmente permite pensar que hay un diseño del sistema a través de múltiples documentos que no ha logrado congregarse a la mayoría de los actores relacionados con el Sistema de CTI en el país y lleva a la pregunta por el real desarrollo de la ciencia y sus posibilidades de generar impacto en otros sectores.

Particularmente, para el sector agropecuario el SNCTI señaló que las principales debilidades se encuentran relacionadas con la ausencia de los siguientes elementos, i) incentivos por parte del Estado para las organizaciones de los diferentes actores sociales en el sector; ii) estudios cualitativos y cuantitativos que evidencien las dificultades y avances en el sector; iii) modelos de generación de conocimiento por parte de los diferentes actores ; iv) generación de redes de cooperación para la investigación y desarrollo tecnológico; v) modelos de aprendizaje como herramienta de gestión sistemática del conocimiento; vi) construcción e implementación de indicadores y sistemas de monitoreo y evaluación de generación de conocimiento (Corpoica, 2006). Este estudio pretende, especialmente abordar estas problemáticas 13 años después de haberse observado este problema.

Este trabajo analiza los patrones de colaboración que permiten observar la diversidad temática y la consolidación de un sistema de investigación.

De esta forma, aporta al conocimiento de las agendas de investigaciones comunes y su relación con las demandas tecnológicas que existen en el sector agropecuario.

Particularmente, tiene en cuenta los componentes que detectó la política nacional de ciencia y tecnología 2016-2025 (CONPES, 2016) en materia de investigación de impacto (entendido este como las publicaciones realizadas en revisas del repositorio WoS y que tienen un alto índice de citación), cooperación (entendida esta como la colaboración entre grupos de investigación) y la gobernanza del sistema (entendida esta como la capacidad de detectar acuerdos y controversias entre los diferentes actores). Aunque no se convirtió en documento oficial, el documento alcanza a formular algunas preguntas del sistema en su diagnóstico que no alcanza a dilucidar en todas sus dimensiones, probablemente una de las razones para no lograr representar a todos los actores. El propósito de este estudio es arrojar luces sobre algunas de esas respuestas no obtenidas en el diagnóstico.

Por otra parte, permite contrastar campos del conocimiento consolidados en el sector Agropecuario con las temáticas que serán de interés en el país en los próximos 10 años (sección 5.2). En ese sentido, Corpoica y COLCIENCIAS han propuesto el Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sector Agropecuario (PECTIA) 2017-2027. Este documento se ha centrado en el fortalecimiento de cinco sectores: (i) seguridad alimentaria, (ii) sostenibilidad ambiental, variabilidad y cambio climático, (iii) tecnologías de la información y las comunicaciones (iv) biodiversidad y biotecnología y (v) agro energías (figura 2). En este sentido, este estudio permite analizar en estas cinco categorías las comunidades de conocimientos que se han consolidado alrededor de estas temáticas y las demandas tecnológicas y que pueden funcionar como ejes articuladores de la política para los próximos 10 años.

En síntesis, este proyecto observa la evolución de la comunicación científica de los actores vinculados al Programa Nacional de Ciencias Agropecuarias de Colciencias, en particular los grupos de investigación del sector agropecuario que hacen visible su producción en la plataforma nacional para evaluar las capacidades en CTI 'Scienti'. En el período de 2006 a 2016 se observaron tres aspectos básicos que se desarrollan en este informe: el crecimiento de la producción en el sistema de investigación del sector, la organización de sus formas de colaboración y la descripción de las capacidades

científicas del Programa Nacional de Ciencias Agropecuarias. Finalmente se presentan algunas conclusiones e implicaciones para la política pública.

## ASPECTOS CONCEPTUALES

### Comunidad científica

La generación de conocimiento es posible por la existencia de dinámicas de construcción comunitaria: reconocimiento del trabajo científico entre pares académicos a través de la citación (Lancho-Barrantes et al, 2013), la colaboración entre pares (Newman, 2001; Larivière, 2015; Ruiz León, 2018; Jung & Ruiz, 2018) y la emergencia de colegios invisibles (De Solla Price, 1965; 1968; Crane, 1972; Palacios-Núñez, 2018). Estas dinámicas se desarrollan por un conjunto de actores individuales, que regularmente tienen adscripciones institucionales a centros de investigación, universidades, organizaciones de la administración pública, empresas, organizaciones cívicas, comunitarias o sin ánimo de lucro. Esto implica que la construcción de conocimiento científico no es exclusiva del ámbito universitario y que la existencia de colaboraciones entre distintos sectores organizacionales puede ser un indicativo de potencial innovación (Sábato, 1979; Etkowitz & Leydesdorff, 2000; Boschma, 2005; Perianes-Rodríguez, 2011).

Adicionalmente, las dinámicas de colaboración y la construcción de colegios invisibles, también son expresión de la integración de conocimiento en problematizaciones que presentan grados de interdisciplinariedad. Estas problematizaciones también pueden ser llamadas agendas o programas de investigación. Este tipo de dinámicas puede ser observada a través de redes de acoplamiento bibliográfico, co-citación e interdisciplinariedad (Rafols y Meyer, 2010; Raan, 2014; Palacios Nuñez, 2018; Leydesdorff, 2018).

El concepto de interdisciplinariedad presentado por Rafols y Meyer (2010) resulta particularmente importante para esta investigación. Ellos proponen la interdisciplinariedad como integración de conocimiento. En ese sentido, los resultados investigativos serían una combinación de conocimientos expertos aportados por individuos con diferentes afiliaciones institucionales, bibliografías que pertenecen a diferentes campos de conocimiento que permiten la integración de conceptos y teorías, herramientas y técnicas o información desde diferentes campos y cuerpos de conocimiento. (Rafols y Meyer, 2010; Rafols, 2014). En particular interesa el concepto de

integración de conocimiento materializado en la constitución de grupos de artículos dedicados a estudiar temas asociados a la investigación agropecuaria en Colombia en donde aparecen diferentes redes de colaboración, especialidades y conceptos interconectados.

Para el estudio de la interdisciplinariedad desde esta perspectiva se han introducido conceptos como diversidad y coherencia (Rafols y Meyer 2010; Rafols 2014; Leydesdorff, Johnson & Ivanova 2017). La diversidad mide que tan diferentes son los campos presentes en una bibliografía. La coherencia permite observar la capacidad de integración que tiene una bibliografía para ordenar esos campos al compartir los artículos referencias comunes. Diversidad y coherencia efectivamente permiten descubrir la cantidad de especialidades presentes en un cuerpo de literatura y si efectivamente hay relaciones entre ellas o no desde el punto de vista disciplinario.

Si bien ambos conceptos en combinación permiten observar la interdisciplinariedad de un cuerpo de literatura, desde su esquema no es posible determinar de manera precisa las comunidades significativas que comparten tanto preocupaciones científicas como grupos de investigadores que colaboran de manera consistente y continua, o las estructuras jerárquicas de liderazgo institucional con respecto a temas específicos. Esta investigación amplió el ámbito de discusión sobre la creación de comunidades interdisciplinarias a la constitución de colegios invisibles. En ese sentido, tanto diversidad como coherencia quedan determinadas por los grupos emergentes de los colegios invisibles (temas encontrados) dando un marco mucho más preciso de delimitación de la literatura respecto a las ciencias agropecuarias y los temas o programas de investigación desarrollados.

### Colegios Invisibles y colaboración científica

El concepto de colegio invisible (De Solla Price, 1963) se entiende como la estructura de comunicación formal y no formal que puede ser identificada a través de los patrones de publicación científica (Teixeira, 2011). Los investigadores y sus grupos de investigación interactúan de manera formal e informal, porque comparten intereses u objetivos científicos en común, en un determinado tema de especialidad (Teixeira, 2011; Palacios-Nuñez et al, 2018). En este trabajo se consideran empíricamente los colegios invisibles como la estructura emergente de temas de investigación que aparecen en tanto investigadores comienzan a compartir un cuerpo de literatura común que les permite organizar su

investigación alrededor de conceptos teóricos y metodológicos comunes. En este sentido, la interacción no es suficiente para describir las emergencias de estas comunidades y es importante remitirse a las redes de comunicación que emergen de la lectura común de textos evidenciada en referencias y citas (Vélez Cuartas, 2012).

Estas comunidades emergentes pueden o no utilizar la colaboración (coautoría) como estrategia de trabajo, por lo que la estructura comunitaria tendrá necesariamente una capa en donde el colegio sea visible únicamente por la bibliografía compartida (referencias comunes) y otra capa dependiente de esta donde los actores generen redes de colaboración o no. A la primera capa se le pueden ir agregando otras: disciplinas o especialidades que confluyen en la comunidad creada, redes de palabras que componen los artículos por coocurrencias, etc. (Gmür 2003; Vélez Cuartas 2012; Palacios Nuñez et al. 2018; Glänzel & Thijs 2017). La caracterización de estas comunidades permite observar la formación de líneas de investigación, en los cuales existe una consolidación temática (alta coherencia temática), diversidad de especialidades ligadas a la emergencia de colegios y formación de redes de colaboración entre investigadores (Kretschmer 1994).

De manera empírica, los colegios se detectan a través de grupos de artículos que comparten referencias comunes. En la literatura de cienciometría, este tipo de procedimientos es comúnmente llamado acoplamiento bibliográfico y permite describir similitudes entre los textos pertenecientes a un corpus bibliográfico (Leydesdorff 2008; Van Eck & Waltman 2009; Steinert & Hoppe 2017). Las comunidades identificadas a través del acoplamiento bibliográfico y la aplicación de algoritmos de modularidad (Newman, 2006; Blondel et al., 2008) permiten agrupar los textos y describir los conceptos comunes trabajados, las organizaciones que colaboran como autoras o coautoras y las especialidades que se derivan del conjunto identificado.

Respecto al análisis de coautorías, su desarrollo se centra especialmente en la descripción de patrones de relación colaborativa (Maia & Caregnato 2008; Russell, Jaramillo & Ainsworth 2009; Aguado López et al 2009), instituciones o países (Luukkonen et al, 2003) dependiendo de los niveles elegidos para entender las dinámicas de construcción comunitaria. Desde esta perspectiva es posible estudiar elementos como el número de actores que interactúan con respecto al número de interacciones que se podrían dar, la intensidad de los vínculos, la estabilidad o persistencia en el tiempo (Gay, 2007; Scott, 2000; Wasserman y Faust, 1994).

Los modelos de Análisis de Redes Sociales (ARS) pueden ayudar al estudio de la colaboración al entender las propiedades emergentes de las redes de coautores en el contexto en el cual se generan nuevos conocimientos, procesos y formas de organización (Callon, 1980; 1986; 1987; 1991; 1999; Callon y Muniesa, 2005; Lundvall, 1988; Nelson, 1993; Nelson y Winter, 1977; OCDE, 2005).

La colaboración se explorará en los niveles macro, meso y micro como constitutivos de un sistema de producción científica. Los tres niveles permiten conectar propiedades microscópicas de este sistema con sus propiedades macroscópicas y establecer las características emergentes (Barabasi y Albert, 1999; Dorogotzev y Mendes, 2003; Newman, 2010). Ejemplos de aplicación pueden ser observados en sistemas como el de citas académicas (Redner, 1998), la Internet (Barabasi y Albert, 1999), sistemas de comunicación, sistemas de transporte, redes tróficas, epidemiología, el arte y la dinámica ambiental entre muchos otros (Newman, 2010).

Desde esta perspectiva, el nivel macro permite describir de manera general si hay algún factor que ordene la organización de la estructura de colaboraciones. Las formas emergentes de estructuras preferenciales se analizan en esta investigación a través del coeficiente de asortatividad. Este coeficiente es derivado de la correlación de Pearson de la centralidad de grado entre dos pares de nodos y características como la afinidad temática, cercanía geográfica o prestigio común de acuerdo con las citas que reciben. Donde  $r=1$  es una red asortativa,  $r=0$  es no asortativa y  $r=-1$  es disortativa (Newman, 2003).

Para el nivel meso se utiliza como aproximación metodológica la detección de roles y posiciones (Barabasi y Albert, 1999). Siguiendo la aproximación propuesta por Guimera & Amaral, (2005), es posible detectar actores periféricos, conectores y hiperconectados. Esta aproximación ha sido estudiada en redes de tráfico aéreo (R Guimerà, Mossa, Turtchi, & Amaral, 2005), metabólicas (Roger Guimerà & Nunes Amaral, 2005), neuronales (Rubinov & Sporns, 2010) y biológicas (Donatti et al., 2011). Sin embargo, este método no se ha utilizado en métodos bibliométricos. Nosotros consideramos que esta metodología es relevante para el entendimiento de la colaboración científica ya que nos permite detectar elementos claves de apalancamiento de agendas científicas a través de la detección de nodos con una alta conectividad y participación en la red.

Específicamente, este método considera la centralidad de grado de cada uno de los nodos

(z) y su coeficiente de participación (p) en comunidades de investigación (grupo de actores que colaboran frecuentemente). Este coeficiente es calculado considerando el número de conexiones de cada actor dentro de su comunidad de investigación y en otras comunidades. Así mismo las comunidades de conocimiento son detectadas a través de la maximización de la modularidad (Grauwin & Jensen, 2011) y la detección de grupos de actores que colaboran fuertemente llamados módulos o comunidades.

La principal ventaja de esta aproximación es que combina aspectos de la conectividad global de la red y la cercanía social o trabajo conjunto, que se representa en las comunidades de colaboración. De esta forma, es posible generar 7 categorías que expresan la conectividad y participación de actores en comunidades de investigación:

I. Ultra-peripheral nodes (role R1): grupos de investigación con pocos vínculos que solo se encuentran en una comunidad

II. Peripheral nodes (role R2): grupos de investigación con pocos vínculos que están en más de una comunidad de investigación

III. Non-hub connectors (role R3): grupos de investigación con pocos vínculos los cuales la mitad están dentro de su comunidad de investigación y la otra mitad de vínculos en otras comunidades.

IV. Non-hub kinless nodes (role R4): grupos de investigación con pocos vínculos los cuales están en diferentes comunidades de investigación

V. Provincial hubs (role R5): grupos de investigación con un alto número de vínculos que están en pocas comunidades de investigación.

VI. Connector hubs (role R6): grupos de investigación con un alto número de vínculos los cuales la mitad de sus vínculos están dentro de su comunidad de investigación y la otra mitad de vínculos en otras comunidades.

VII. Kinless hubs (role R7): grupos de investigación con un alto número de vínculos los cuales se encuentran en diferentes comunidades de investigación. Son los nodos que conectan diferentes temáticas y tienen la posibilidad de coordinar la investigación

El nivel micro se describe en la presentación de los colegios invisibles presentes en el sistema teniendo en cuenta las temáticas, la colaboración entre investigadores y la colaboración entre grupos de investigación respecto a los temas particulares expuestos. En este sentido, se

presentan dos ejemplos de colegios y un listado de la totalidad de los existentes (sección 5.3)

De esta forma, el entendimiento de los colegios invisibles en su diversidad y coherencia, y el desarrollo de las redes de colaboración permiten en su conjunto entender el estado de las capacidades científicas desde los aportes temáticos, su interdisciplinariedad, la capacidad de las instituciones para liderar temas al presentar continuidad temporal en la publicación en uno o varios temas. En este sentido, este trabajo busca a través del abordaje de redes sociales y complejas analizar y caracterizar la forma de organización del sistema de investigación agropecuario en Colombia, entendiendo sus patrones crecimiento y la estructura de los colegios invisibles (comunidades de conocimiento) que existen en el sistema.

## FUENTES DE INFORMACION Y METODOS

Este trabajo tomó datos de todos los artículos que se encuentran en la plataforma Web of Science (WOS) que están relacionados con investigaciones realizadas en Colombia en el período 2006-2016. Se utilizó como fórmula de búsqueda "CU=Colombia". Esto nos permitió encontrar un total de 38156 artículos. Es importante aclarar que esta base de datos está enfocada a revistas de alto impacto científico y comúnmente se asocian las investigaciones a agendas globales de investigación. En este contexto, esta base de datos es de nuestro interés debido a la política nacional de investigación y desarrollo colombiano que se ha enfocado en la generación de incentivos para la publicación en revistas internacionales en los últimos 12 años (Colciencias, 2018). Esta ha tenido particularmente impacto en investigación en ciencias naturales e ingeniería que se ha enfocado en la publicación en este tipo de revistas. Sin embargo, otros sectores principalmente de las ciencias sociales no han seguido la misma ruta y han enfocado su publicación en revistas regionales que podrían ser encontradas en Redalyc o SciELO (Vélez-Cuartas, Lucio-Arias, and Leydesdorff, 2015). Por lo tanto, este artículo no se enfoca en la participación de las ciencias sociales en la investigación en el sector agropecuario.

Así mismo, se tomó información de la base de datos SCIENTI de Colciencias, particularmente aquella relacionada con los grupos de investigación disponible en la base de datos de grupos de la plataforma (GrupLac). La validación de los alcances de la información se hizo con la disponible en el Scienti lo que permitió

establecer que la información disponible efectivamente daba cuenta de los principales aportes colombianos en revistas de alta visibilidad para la comunidad académica internacional, sin desconocer que podría hacerse un mapa más completo con la información de otras bases de datos.

Con el fin de detectar los artículos que están relacionados con el sector agropecuario desarrollamos un método de minería de datos que nos permite encontrar una mayor diversidad de temáticas que los métodos convencionales. Este método difiere de las fórmulas de búsqueda o del filtro de información por áreas temáticas, en que permite mantener artículos relacionados con un área temática de interés. Por ejemplo, si se buscaran términos relacionados con el sector agropecuario, las fórmulas de búsqueda detectarían artículos en los cuales se consideran las palabras relacionadas con este sector en el título, resumen y palabras claves. En contraste, nuestro método nos permite mantener artículos que expresan estos temas en la bibliografía.

Específicamente, el método consiste en construir una semilla de búsqueda con artículos hechos por investigadores colombianos que pertenecen al SCIENTI y buscar estos artículos en la red de co-bibliografía de una país o región determinada. Posteriormente se mantienen todos los artículos de un colegio invisible en el cual se encuentra a la menos uno de los artículos de la semilla de búsqueda.

Para este propósito es importante contar con la información total de publicaciones del país o región de interés a ser evaluado. En nuestro caso 38156 publicaciones que fueron detectadas en Web of Science en el periodo evaluado. Luego de esto, construimos una semilla de búsqueda con 272 artículos de Web of Science (WoS). Esta semilla fue construida a partir de los productos presentados por parte de los investigadores del sector agropecuario en la base de datos Scienti. Finalmente, estos artículos fueron detectados dentro de la red de co-bibliografía de investigación colombiana (38156 artículos).

Luego de esto se utilizó el método de maximización de la modularidad. Para esto se siguió el método propuesto por Grauwijn & Jensen (2011) para la detección de comunidades de conocimiento (colegios invisibles). Para esto se establece un umbral de referencias en común entre los artículos en el cual se detecta el mayor número de comunidad y un valor alto de modularidad que indica que las comunidades están claramente definidas en términos de la conectividad de los artículos. Para este ejercicio se estableció un umbral de al menos un número peso del vínculo igual a 4 (referencias compartidas) que permitió definir comunidades

de artículos con alta probabilidad de compartir temas en común.

Es importante aclarar que este método tiene como efecto la pérdida de un número considerable de artículos que no comparten un número significativo de bibliografía. Adicionalmente, en nuestro método de detección de artículos relacionados con el sector agropecuario se pierden todas aquellas comunidades en las cuales no se detectaron artículos de nuestra semilla, es decir que no están fuertemente relacionados con el sector agropecuario. Sin embargo, es posible detectar comunidades en las cuales puede no haber muchos artículos que tratan directamente sobre agricultura pero que expresan cercanía temática a esta disciplina a través de su bibliografía. De esta forma es posible encontrar una mayor diversidad temática alrededor de los temas agropecuarios considerando la bibliografía como dimensión cognitiva en el proceso de búsqueda de artículos científicos.

De esta manera se consideraron artículos denominados por la base de datos ScienTi como del área Agropecuaria, considerando sus autores como los investigadores reconocidos institucionalmente, la producción de WoS que no alcanzó a registrar el sistema ScienTi y aquella asociada a esos artículos por compartir referencias en común que es difícil de detectar a través de sistemas institucionalizados y que hacen parte del trabajo interdisciplinario importante para el área.

Este ejercicio de minería de datos permitió encontrar 923 artículos, 1080 actores (grupos de investigación, universidades extranjeras y actores no registrados en Colciencias) y 35 colegios invisibles relacionados con el sector agropecuario. Es importante aclarar que los 923 artículos son expresamente artículos que hacen parte de conjuntos bibliográficos que comparten temas en común (colegios invisibles). Esto significa que no está representada toda la producción colombiana en el sector agropecuario, sino aquella que ha tenido continuidad temática en el tiempo. Así, por ejemplo, en una búsqueda sencilla en WoS sería posible identificar por lo menos 2800 artículos relacionados con el sector agropecuario, pero no necesariamente todos ellos han tenido continuidad en el tiempo, son temas emergentes o no han logrado plantear una línea de investigación que se sostenga y produzca investigación que pueda ser identificada en revistas WoS.

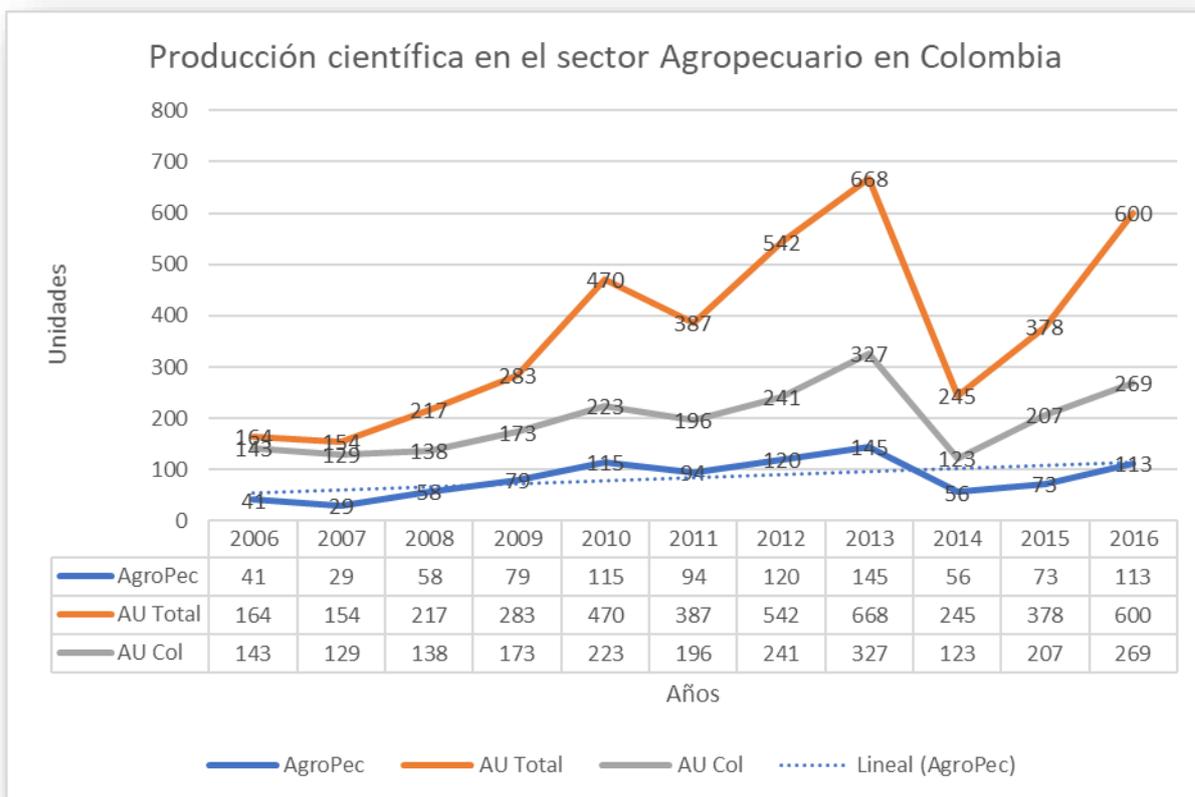
Finalmente, es importante tener en cuenta que estos datos hablan de toda la producción científica de impacto global presente en WoS realizada por grupos que realizan investigación en Colombia y sus colaboradores nacionales e internacionales. Así mismo, esta investigación ofrece resultados sobre el desarrollo endógeno de la investigación científica de alto impacto y el papel de sus colaboradores en la institucionalización de las ciencias agropecuarias en Colombia.

## RESULTADOS: ESTRUCTURA Y DINAMICA DE INVESTIGACION DEL SECTOR AGROPECUARIO EN COLOMBIA

### Organización del Sistema de Investigación Agropecuario en los niveles macro y meso.

Este estudio encontró 923 artículos que hacen parte de alguna comunidad temática. Estas comunidades no solo muestran el número de artículos sino también campos del conocimiento que expresan capacidades de investigación desarrolladas por el sistema por participar de colegios invisibles.

En el período 2006-2016, esta producción tuvo un crecimiento anual hasta el 2013 que alcanzó tres veces el tamaño de la producción de 2006 con algunas variaciones anuales. A partir de este período en 2014 se llegó al nivel de producción de 2008 y se observó alguna recuperación hasta el 2016 (gráfico 1). Esta disminución se puede encontrar relacionada con la crisis económica del 2014 que generó una desaceleración de la publicación científica en la región. Esto podría indicar que este sector es ampliamente vulnerable a este tipo de eventos. La tendencia muestra un crecimiento a pesar de los altibajos en la producción. El comportamiento de la cantidad de actores participando en la elaboración de artículos tiene un comportamiento muy similar con respecto a la cantidad de investigadores nacionales y la suma de investigadores nacionales e internacionales. Lo que quiere decir que la afectación de la producción en número de artículos necesariamente afecta la participación del número de investigadores en el sistema. Así pues, no necesariamente se aumentan las capacidades de los grupos existentes, sino la inclusión de nuevos actores.

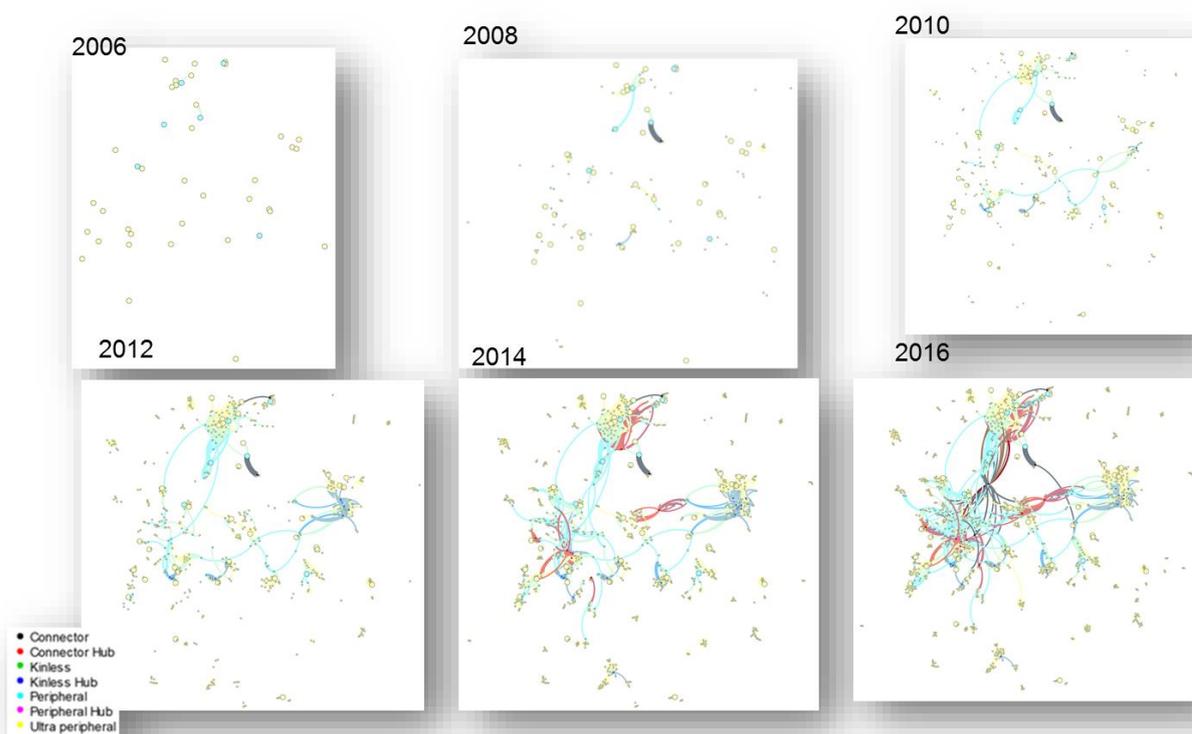


**Figura 1.** Número de artículos producidos del año 2006-2016 (AgroPec); número de autores nacional (AU Col) y número de autores nacionales e internacionales (AU Total) que publican temas agropecuarios. Fuentes: OCYT 2016, MinEducación, DNP, Colciencias. Cálculo: Elaboración propia.

Es notable que la participación nacional es correlativa a la participación internacional en colaboración. La participación internacional, de manera notable duplica la cifra de investigadores que hacen investigación desde Colombia o con colombianos, lo que inicialmente sugiere la importancia de la colaboración internacional para el desarrollo de la investigación nacional.

Estas colaboraciones se distribuyen en colegios invisibles que han ido fortaleciendo la producción en especialidades dentro del área. La figura 1

presenta una evolución de la conformación de comunidades científicas en el sector agropecuario en Colombia. Cada grafo representa la progresión acumulada año a año los artículos relacionados por producir en temáticas similares. A cada bienio se le han agregado los artículos de los bienios anteriores y las relaciones de referencias compartidas de acuerdo con el umbral establecido. Las redes de artículos representan colecciones bibliográficas sobre temas en común.



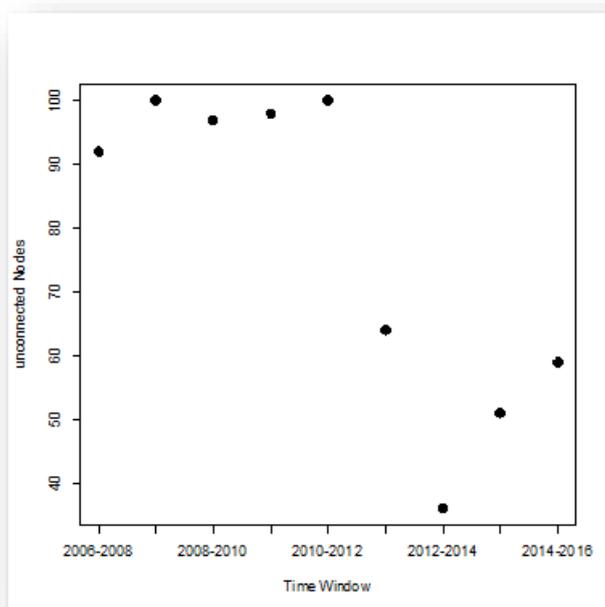
**Figura 1.** Emergencia de colegios invisibles en el sector Agropecuario en Colombia. Los colores representan desde los nodos más conectados por número de relaciones compartidas. Los de mayor conexión: kinless hub, connector hub, connector y kinless; y los que tienen menor cantidad de referencias compartidas: ultra peripheral, peripheral hub y peripheral. Elaboración propia.

Los grafos evidencian la forma en la cual se han venido estructurando las comunidades temáticas o colegios invisibles en los últimos 10 años. Así mismo, se muestra como en el año 2012 empiezan a aparecer artículos que permiten conectar diferentes comunidades que se encontraban separadas y desagregadas en el sistema (figura 2). Por otra parte, estas comunidades muestran un proceso importante de organización del sistema en términos de la generación y consolidación de algunos temas de investigación

Sin embargo, si se hace un corte de la producción únicamente considerando los artículos publicados en el período se pueden observar discontinuidades en la acumulación de

conocimiento propio de la investigación en ciencias agropecuarias en Colombia.

La figura 2 muestra el número de artículos que no hacen parte de colegios invisibles y se encuentran aislados. Los períodos de 2006 a 2012 coinciden en la observación de artículos desconectados, pequeños grupos que representan emergencias de colegios invisibles. La red comienza a densificarse y poblarse de colegios invisibles desde el 2012 al 2014, siendo el período 2012-2014 uno de los más conectados en la red. Así mismo la disminución de nuevos artículos generó que la red no siguiera creciendo, sino que los nuevos artículos se asociaron fuertemente con temáticas previamente establecidas.

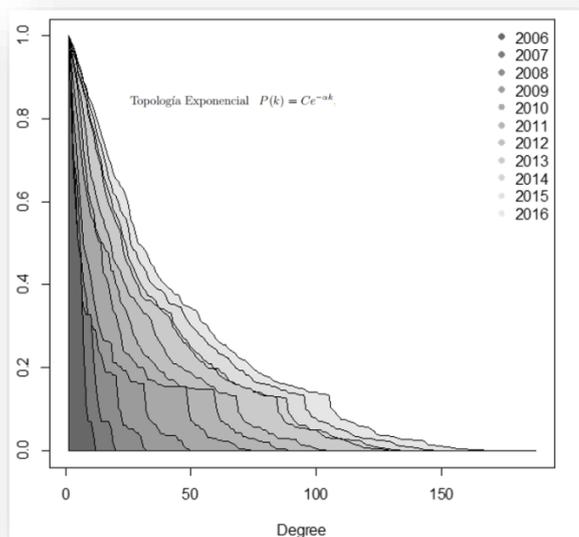


**Figura 2.** Cantidad de artículos aislados de colegios invisibles. Elaboración propia.

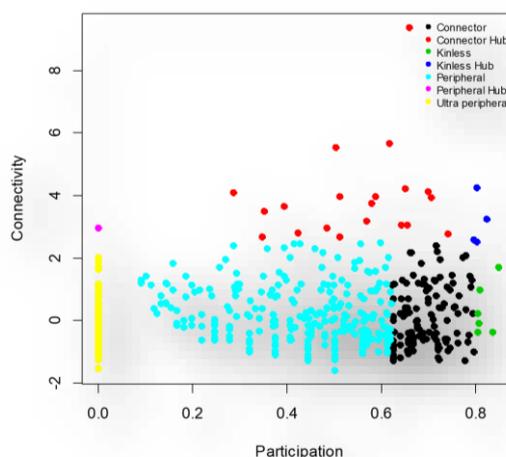
A partir del 2014 se sostienen los colegios ya logrados por la consolidación de comunidades temáticas (figura 1). Sin embargo, empiezan a aparecer nuevos artículos no enlazados a esos colegios ya existentes en el 2014-2016, lo que implica una reorganización del sistema en temas emergentes diferentes a los de las trayectorias logradas en el período de 10 años analizado (figura 3).

La colaboración puede explicar la configuración de estas comunidades, si se considera la cercanía geográfica de los grupos, los posibles intereses comunes o el prestigio adquirido por citación, especialmente desde la definición de De Solla Price de colegios invisibles a partir de las interacciones. Sin embargo, no fue posible distinguir patrones de interacción que permitieran mostrar una comunidad consolidada o en consolidación.

Los índices de asortatividad oscilaron entre 0,3 y -0,2 (baja correlación). Están llegando nuevos actores como se mencionó anteriormente, pero no hay un orden de inclusión en el sistema a partir de patrones de interacción. En este sentido, el crecimiento del sistema no está respondiendo a dinámicas esperadas del comportamiento ordenado de las comunidades científicas. Estos nuevos investigadores podrían estar más articulados a comunidades internacionales que nacionales (figura 3). Esto justamente da cuenta de la colaboración como un fenómeno emergente, aunque se puedan observar comunidades temáticas o colegios invisibles en consolidación. Sin embargo, la producción ha crecido y hay un orden emergente que puede ser observado en los niveles meso y micro como se verá a continuación.



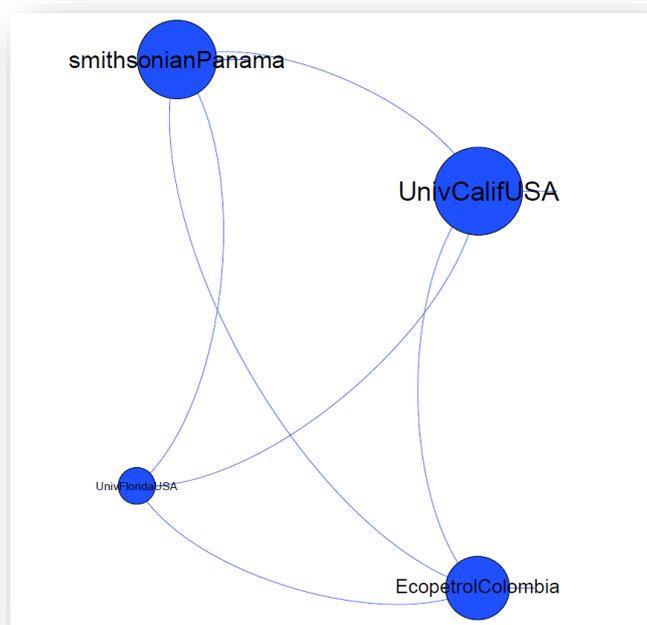
**Figura 3.** Topología exponencial. Se encontró una distribución de probabilidad de grado ajustada a una función exponencial con un  $R^2=0.996$ . Esta distribución aparece en el contexto del crecimiento de redes como el resultado de lo que se llama enlace igualitario, es decir, en una situación en la cual cada nodo nuevo que se añade a la red se puede enlazar a cualquiera de los nodos ya existentes con la misma probabilidad (Drăgulescu y Yakovenko, 2001).



**Figura 4.** Cartografía de roles de conectividad del Sistema de Investigación Agropecuario en Colombia.

En el nivel meso, la red presenta una estructura centro-periferia, que es típica de redes exponenciales. La distribución exponencial muestra que existen muy pocos nodos hiperconectados dentro de la red (figura 4). La mayor parte de los nodos dentro de la red son periféricos o ultraperiféricos. Esto denota que los grupos de investigación y sus instituciones no tienen la capacidad de generar colaboraciones masivas.

Existen algunos fragmentos de la estructura de la red en donde aparecen conectores e hiperconectores especialmente en color rojo, azul oscuro y verde en la figura 4. Estos actores tendrían influencia importante en la definición de agendas en los temas a los que están asociados, pero no necesariamente para todo el conjunto total de colegios invisibles.



**Figura 5.** Nodos hiper-conectados dentro de la red.

La estructuración de estos colegios o fragmentos dependería en gran medida del rol que jueguen los actores intermediarios o conectores y los nodos hiper-conectados. Por lo regular estos actores dominarían algunas de las agendas de investigación que pueden estar organizando parte del sistema. En este sentido, hay cuatro nodos que cumplen el rol de Kinless Hubs o nodos hiperconectados: Ecopetrol (Colombia), Universidad de California (Estados Unidos), Universidad de la Florida (Estados Unidos) y el Instituto Smithsonian de Panamá (Estados Unidos-Panamá) (Figura 5).

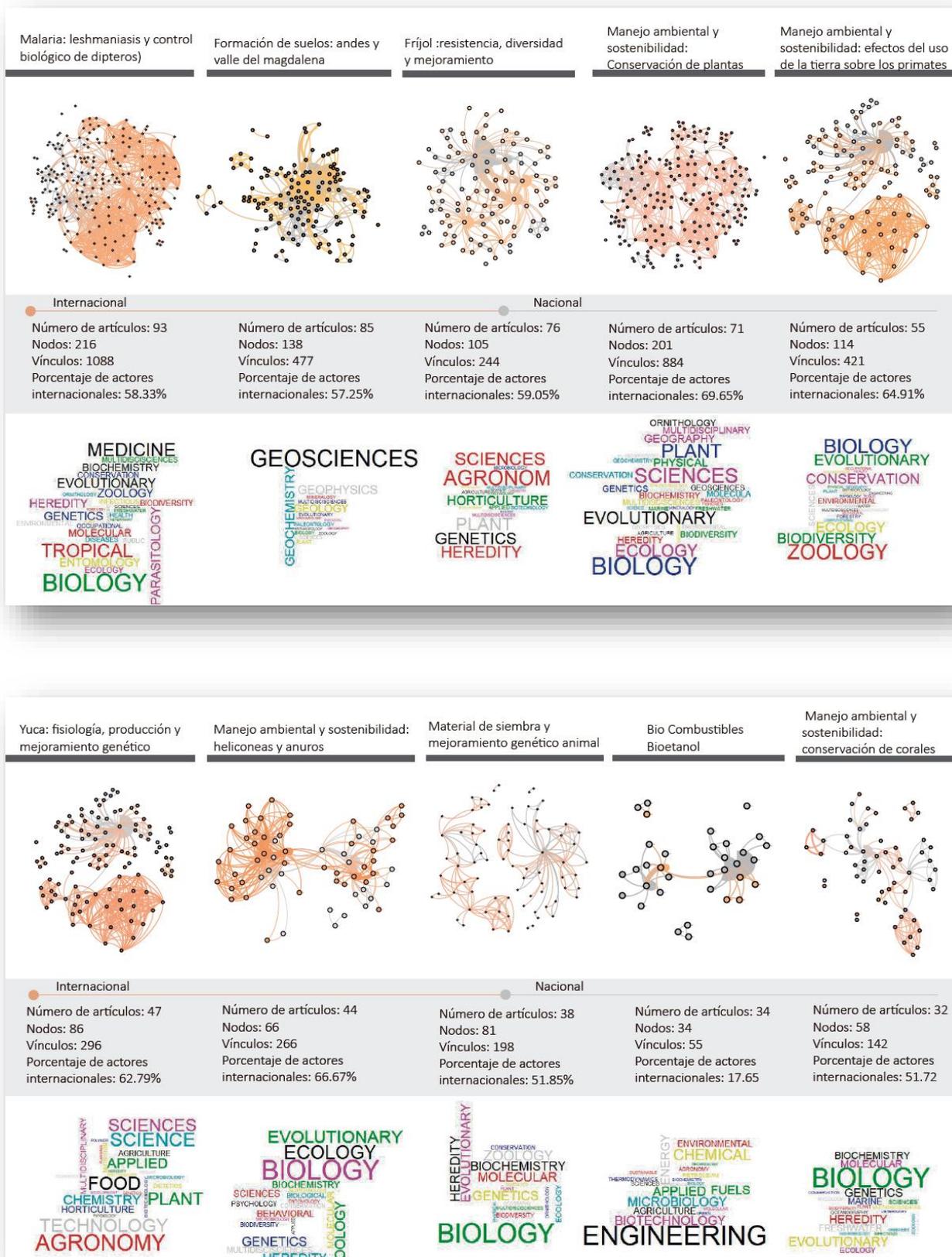
Estos kinless hubs operan como apalancamiento de algunos temas básicos presentados por los colegios invisibles, no de toda la red. Ecopetrol es la empresa de petróleos nacional y las otras son instituciones académicas internacionales. La presencia de una empresa petrolera y de centros de investigación internacionales como los articuladores más importantes del sistema de investigación denota la ausencia de otros actores como los grupos de investigación colombianos en el ordenamiento más macro del sistema y las consecuencias que pueda traer ello para el diseño de programas de largo plazo para el país.

Este comportamiento es resultado de los incentivos a la cooperación internacional o la

condición de los procesos de medición de la ciencia que premian el grado de colaboración con actores internacionales. Este tipo de incentivos es parte de las condiciones de convocatoria de Colciencias (ej. Colombia Científica, Modelo de Medición de Grupos) y de preocupaciones que expresan consultorías especializadas, como las de Scimago (Scimago, 2013). También del interés indirecto de la empresa privada en la explotación de suelos y sus efectos sobre el sector agropecuario.

Si observamos de manera más detallada las dinámicas de colaboración es posible encontrar en todos los componentes actores de distintas nacionalidades con diferentes centralidades de intermediación que indicarían su papel en la coordinación del sistema. Se muestran los diez colegios con mayor productividad en la figura 6.

Si consideramos la totalidad de roles en la red de colaboración completa de actores que hacen parte de colegios invisibles del sector agropecuario, encontramos que el 84.7% son actores periféricos y el 70% de los conectores son extranjeros. En los colegios se identificaron actores de Estados Unidos, país que mayores apalancamientos proporciona, seguido de Brasil, Francia, España y Panamá (Gráfico 2).

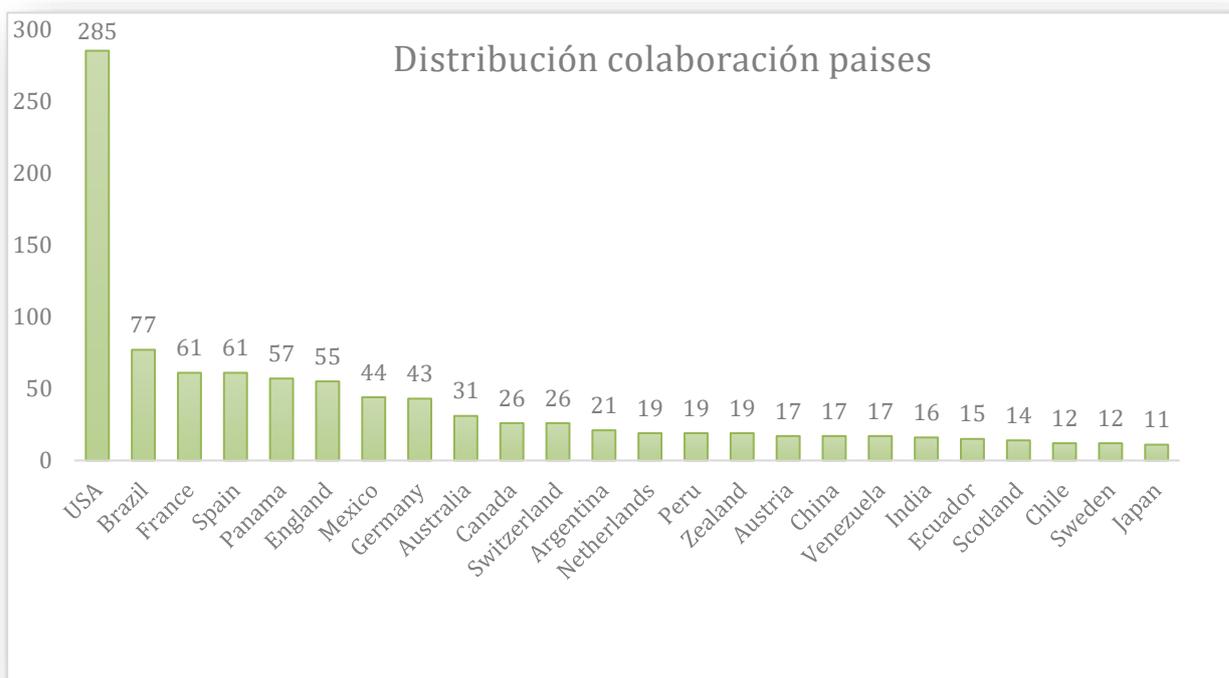


**Figura 6.** Los diez colegios invisibles con mayor número de artículos. Los nodos son grupos de investigación vinculados por artículos. El color naranja destaca actores internacionales, y el gris nacionales. Las temáticas se presentan según categorías WoS.

Por otra parte, los conectores colombianos emergentes más importantes son grupos de investigación de la Universidad Nacional (e.g. Grupo de Horticultura), la Universidad de Antioquia y el CIAT. Los actores internacionales más importantes por número de colaboraciones son el CIAT (internacional), la Universidad Nacional Autónoma de México (México), la Universidad de Texas y la Universidad de Washington (Estados Unidos).

El contraste entre el hallazgo de los kinless hubs internacionales y los resultados presentados en

las figuras 5, 6 y el gráfico 2 sugieren que hay un apalancamiento importante en actores internacionales pero que comienzan a producirse algunos liderazgos locales. En parte importante de los gráficos aparecen intermediarios colombianos que van dando cuenta de la emergencia de una comunidad nacional, en la cual se observa, por ejemplo, en el tema del frijol que la mayor parte de la participación de actores es extranjera, pero existe un rol importante de los actores nacionales en la comunidad temática.



**Gráfico 2.** Países con los que se ha realizado más de 10 colaboraciones en los últimos 10 años.

Igualmente se destaca que a pesar de que el número de grupos e instituciones ha crecido, el sistema de investigación agropecuario depende en gran medida de un número pequeño de grandes organizaciones influyentes en el centro de la red.

### Capacidades científicas del programa nacional de ciencias agropecuarias: el nivel micro.

El nivel micro permite observar las capacidades científicas a través del análisis de colegios

invisibles. Al desagregar los diversos conjuntos bibliográficos, se hallan 68 grupos de artículos.

Podemos llamar colegios invisibles a los que albergan mayor cantidad de producción, con más de cinco artículos: treinta y cinco en total. Veintiuno de ellos están consolidados o en proceso de consolidación con más de diez artículos orientados al mismo tema (esto es, temas con una alta coherencia). Esos veintiún colegios están descritos en la tabla 1. Igualmente se hallaron conjuntos bibliográficos emergentes alrededor de un tema que cuentan con una cantidad de artículos relacionados no menor de cinco ni mayor a nueve. Están descritos en la tabla 2.

**Tabla 1***Colegios invisibles con más de diez artículos producidos.*

Temática general	Temas específicos	No. Artículos
Enfermedades tropicales	Leshmaniasis y control biológico de dípteros	93
Geológico asociado a formación de suelos	Formación Andes y Valle del Magdalena	85
Fríjol	resistencia, diversidad y mejoramiento	76
Manejo ambiental y sostenibilidad (cambio climático)	Conservación de plantas	71
Manejo ambiental y sostenibilidad (cambio climático)	Efectos del uso de la tierra sobre los primates	55
Yuca	Fisiología, producción y mejoramiento genético	47
Manejo ambiental y sostenibilidad	Helicóneas, anuros y procesos de especiación	44
Material de siembra y mejoramiento genético animal	Microsatélites, genética y secuenciación	38
Biocombustibles	Bioetanol y producción	34
Acuícola Marino y Manejo ambiental y sostenibilidad	Filogenética y conservación de corales	32
Acuícola - Acuicultura continental de aguas cálidas (Manejo ambiental y sostenibilidad)	Caracterización de peces en el Magdalena	26
Fríjol y Maíz	Respuesta y adaptación	24
Manejo ambiental y sostenibilidad (Amazonia)	Conservación de delfines	21
Carne Bovina	Caracterización, microsatélites, genética	17
Socioeconomía, inteligencia competitiva y desarrollo empresarial	Modelación de competencia empresarial	17
Material de siembra y mejoramiento genético	Xanthomonas, patógenos	15
Plantas aromáticas	Esencias de Lippia sp.	13
Fisiología vegetal y nutrición	Pirolisis, activación y absorción	13
Carne Bovina	Genética, modelos de regresión	13
Café	Híbridos, modificación genética	11
Frijol	Microsatélites, evolución y origen	11

**Tabla 2***Colegios invisibles emergentes con menos de diez artículos producidos.*

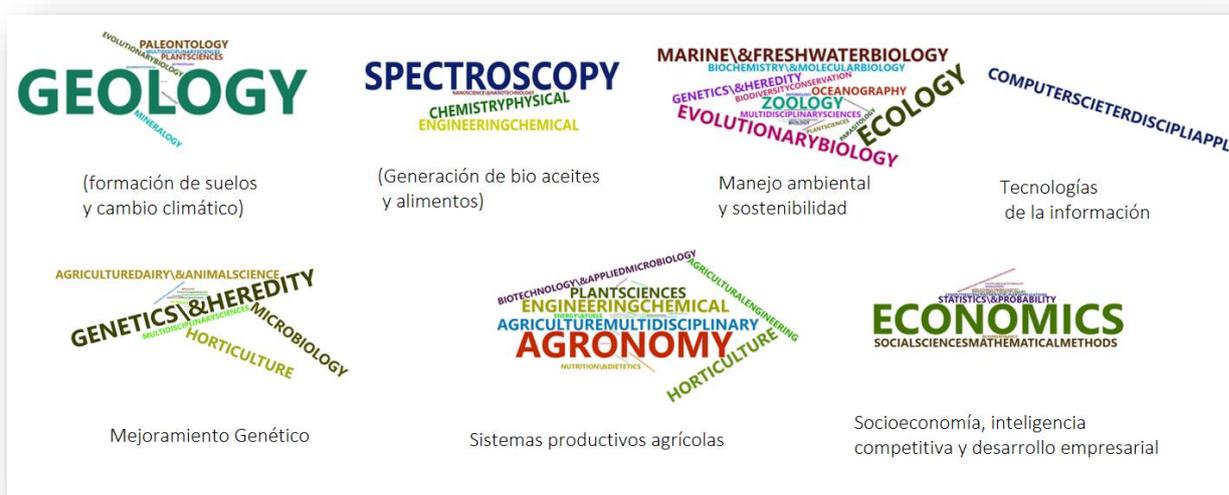
Temática general	Temas específicos	No. Artículos
Manejo de suelos y aguas	Geoestadística	8
Malaria	Resistencia plasmodium sp.	8
Café	Extracción de compuestos	7
Material de siembra y mejoramiento genético	Bacillus Thuringiensis (variedades bt)	7
Material de siembra y mejoramiento genético	Aflatoxina, enzimas y bioactivación	6
Fisiología vegetal y nutrición	Espectroscopia frutas	6
Hongos	Sulzbacheromyces sp	6
Forestal	Restauración Bosques tropicales	5
Frutas Amazónicas (tema Emergente)	Araza, Camu-Camu	5
Fisiología vegetal y nutrición	Estolides	5
Manejo sanitario y fitosanitario	Lepidoptera neoleucinodes	5
Manejo ambiental y sostenibilidad	Evolución y diversidad de primates	5
Geológico asociado a formación de suelos	Formación tectónica de Santander	5
Geológico asociado a formación de suelos	Historia formación de rocas en los Andes	5

Es importante anotar que la aparición de temas como malaria, efectos del uso de la tierra sobre los primates, investigaciones sobre anuros, corales y delfines, que no son muy frecuentes en las agendas asociadas al sector agropecuario, están vinculados a través de las variaciones que permiten los intereses encontrados en los colegios invisibles.

El carácter interdisciplinario del sector agropecuario, le permite diálogos con campos de frontera entre este sector y otros. En términos

de política es posible establecer límites temáticos claros, en términos de construcción académica, las fronteras son más fluidas y porosas.

Al agrupar estos 35 colegios a través de un análisis factorial se pueden observar siete grandes campos de conocimiento de acuerdo con las categorías WoS (figura 7). Estos siete campos representarían el saber científico acumulado en Colombia del sector Agropecuario del 2006 al 2016.



**Figura 7.** Principales temáticas de investigación encontradas en el sector agropecuario.

Si los colegios se evalúan a la luz del porcentaje de investigadores colombianos y las citas que reciben estos grupos se puede especificar de mejor manera la capacidad de generar conocimiento validado y reconocido por la comunidad académica, por tanto, posiblemente transferible a otros sectores sociales. En este sentido, se puede observar que los grupos colombianos representan el 54.1% de los actores en cada colegio invisible. Los 21 primeros de mayor producción y número de citas registran el

42.61% en promedio de los nacionales (tabla 3). Esto definitivamente, subraya que aún los actores nacionales no alcanzan una consolidación en la construcción de comunidad. Las instituciones internacionales juegan un papel más visible como palancas del desarrollo temático de la ciencia agropecuaria en Colombia, aunque puedan distinguirse casos puntuales de liderazgo local.

**Tabla 3**

*Distribución de la colaboración nacional (NAL) e internacional (INT) y citas alcanzadas por los artículos de los 35 colegios invisibles del sector agropecuario colombiano.*

Temática general	Temática particular	No. Artículos	NAL	INT	Total Inv.	% Col.	Citas
Malaria	Leshmaniasis y control biológico de dipteros	93	90	126	216	41.7	1497
Geológico asociado a formación de suelos	Formación andes y valle del Magdalena	85	59	79	138	42.8	569
Fríjol	resistencia, diversidad y mejoramiento	76	43	62	105	41.0	408
Manejo ambiental y sostenibilidad (cambio climático)	Conservación de plantas	71	61	140	201	30.3	487
Manejo ambiental y sostenibilidad (cambio climático)	Efectos del uso de la tierra sobre los primates	55	40	74	114	35.1	243
Yuca	Fisiología, producción y mejoramiento genético	47	32	54	86	37.2	390
Manejo ambiental y sostenibilidad	Helicóneas, anuros y procesos especiación	44	22	44	66	33.3	264
Material de siembra y mejoramiento genético animal	Microsatélites, genética y secuenciación	38	39	42	81	48.1	219
Bio Combustibles	Bioetanol y producción	34	28	6	34	82.4	117
Acuícola Marino y Manejo ambiental y sostenibilidad	Filogenética y conservación de corales	32	28	30	58	48.3	152
Acuícola - Acuicultura continental de aguas cálidas (manejo ambiental y sostenibilidad)	Caracterización de peces en el Magdalena	26	9	6	15	60.0	82
Fríjol y Maíz	Respuesta y adaptación	24	9	36	45	20.0	155
Manejo ambiental y sostenibilidad (Amazonía)	Conservación de delfines	21	18	45	63	28.6	478
Carne Bovina	Caracterización, microsatélites, genética	17	23	25	48	47.9	99
Socioeconomía, inteligencia competitiva y desarrollo empresarial	Modelación de competencia empresarial	17	5	5	10	50.0	43
Material de siembra y mejoramiento genético	Xanthomonas sp, patógenos	15	26	39	65	40.0	177
Fisiología vegetal y nutrición	Pirolisis, activación y absorción	13	22	5	27	81.5	58
Plantas aromáticas	Esencias Lippia sp.	13	6	1	7	85.7	32
Carne Bovina	Genética, modelos de regresión	13	17	8	25	68.0	58
Fríjol	Microsatélites, evolución y origen	11	14	16	30	46.7	67
Café	Híbridos, modificación genética	11	11	23	34	32.4	80
Manejo de suelos y aguas	Geoestadística	8	11	2	13	84.6	24
Malaria	Resistencia Plasmodium sp	8	8	16	24	33.3	56
Material de siembra y mejoramiento genético	Bacillus Thuringiensis (variedades bt)	7	8	3	11	72.7	37
Café	Extracción de compuestos	7	20	10	30	66.7	260
Material de siembra y mejoramiento genético	Aflatoxina, enzimas y bioactivación	6	6	1	7	85.7	19
Fisiología vegetal y nutrición	Espectroscopia frutas	6	5	3	8	62.5	23
Hongos	Sulzbacheromyces sp	6	3	21	24	12.5	48
Manejo ambiental y sostenibilidad	Evolución y diversidad de primates	5	8	5	13	61.5	27

Manejo sanitario y fitosanitario	Lepidoptera neoleucinodes	5	6	2	8	75.0	21
Geológico asociado a formación de suelos Forestal	Formación tectónica de Santander	5	2	2	4	50.0	27
Frutas Amazónicas (tema Emergente) Fisiología vegetal y nutrición	Restauración Bosques tropicales	5	6	1	7	85.7	17
Geológico asociado a formación de suelos	Araza, Camu-Camu	5	4	1	5	80.0	11
Biolubricantes (bio oil)	Historia formación de rocas en los Andes	5	5	1	6	83.3	14
	Estolides	5	4	6	10	40.0	21

Desde otro punto de vista, la tabla también presenta el número de citas por cada colegio invisible. Es interesante ver que las citas superan en la mayoría de los casos tres o muchas más veces el número de artículos producidos en cada colegio, lo que implica que es información no sólo validada por la comunidad académica sino también utilizada para generar más conocimiento. Inclusive los colegios emergentes presentan niveles superiores de citación en contraste con la cantidad de artículos que lo componen.

Algunos de los casos con mayores capacidades científicas desarrolladas son los del frijol y la yuca. El frijol presenta diversidad de temas específicos y alta cantidad de citas. Ambos casos se presentan como ilustración (figuras 13 y 14). En los colegios invisibles del frijol y la yuca se destaca la presencia de la diada conformada por grupos de investigación de la Universidad Nacional (ej. Horticultura) y el CIAT. La colaboración entre ambas instituciones

presentes en estos y otros colegios invisibles expresan alta diversidad y coherencia temática que dan cuenta de continuidad en el trabajo investigativo. Este tipo de colaboraciones comienzan a evidenciar la tendencia a la estabilización de comunidades, que hasta el momento ha sido calificada como frágil por la falta de patrones en los niveles macro y micro que expresen tendencias en la interacción para la constitución de relaciones sólidas.

En las figuras 13 y 14 se representan las estructuras multinivel que permiten dar cuenta de colegios invisibles. Se muestra a) la colaboración entre instituciones (grupos de investigación) b) frecuencia de las palabras en los títulos de los artículos c) categorías temáticas WoS de los artículos d) red de co-referencias (los nodos son artículos, los vínculos referencias en común) e) red de coautoría (gris representa autores colombianos, naranja autores internacionales).

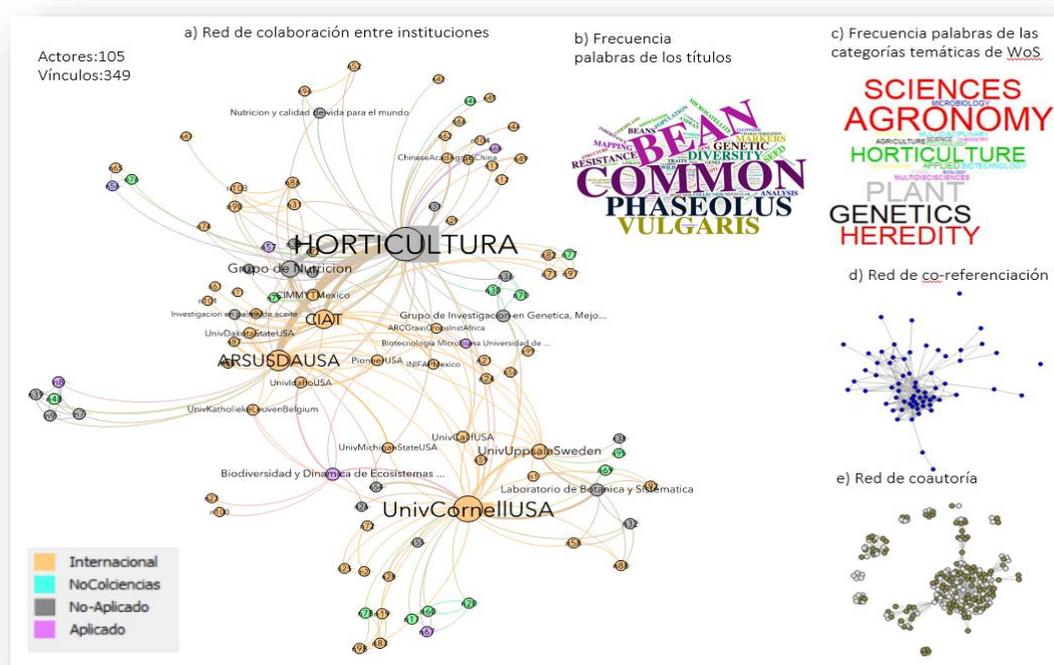


Figura 13. Colegio invisible del frijol.

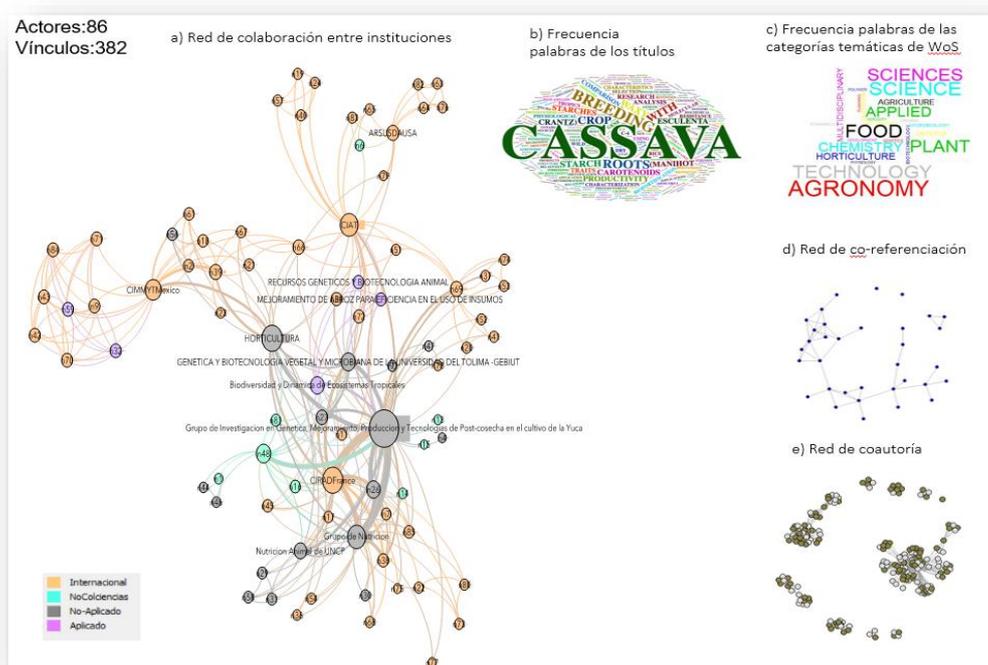


Figura 14. Colegio invisible de la yuca.

Finalmente, en contraste, la figura 13 muestra una estructura de colaboración polarizada. El grupo de Horticultura lidera un polo de la investigación en la especialidad y el otro abanderado por La Universidad de Cornell. De un lado Horticultura logra tener consistencia temática, del otro, la Universidad de Cornell jalona instituciones con baja productividad y dependientes de los programas de investigación de una institución extranjera.

La figura 14 muestra una estructura diferente donde un grupo de grupos e instituciones colombianas están al centro de la configuración de las relaciones de colaboración. Esta vez se puede concluir que el liderazgo está del lado nacional. Estructuras similares a estas dos figuras se observaban en la figura 6. Confirma la importancia de la colaboración internacional en el apalancamiento de la investigación nacional y la emergencia de liderazgos nacionales.

## DISCUSIÓN

Parte importante de los instrumentos de política para el fomento de la investigación en Colombia han estado orientados a la internacionalización y la generación de producción académica. Los incentivos a los profesores investigadores de las universidades públicas ofrecen nivelaciones salariales a partir de la publicación de artículos en revistas más que en la generación de proyectos extensionistas de investigación (MinEducación, 2002). La colaboración internacional también es bien calificada por los

modelos de evaluación de la investigación vigentes desde la última década (Colciencias, 2018). Estas políticas se ven reflejadas en los resultados en la producción.

El crecimiento de la inversión en I+D (2,6 veces en 10 años) y la producción de artículos que conforman colegios invisibles (2,7 veces) ha ido a la par (Tabla 4). Este crecimiento hace pensar en la posibilidad de una tendencia a la consolidación de las comunidades académicas si la tendencia sigue creciente, aunque haya habido altibajos.

Tabla 4

Inversión nacional (millones de pesos) en I+D y número de artículos que hacen parte de un colegio invisible

Año	I+D	AgroPec
2006	\$752.553	41
2007	\$989.875	29
2008	\$1.116.262	58
2009	\$884.701	79
2010	\$1.007.462	115
2011	\$923.129	94
2012	\$1.433.120	120
2013	\$1.500.364	145
2014	\$1.590.607	56
2015	\$1.853.783	73
2016	\$2.005.468	113

Fuente: Pardo & Cotte, 2017.

De manera mucho más focalizada, estas cifras de inversión se contrastan con las del Plan Nacional para el Sistema de Investigación Agropecuario PECTIA que muestra unas cifras crecientes de inversión en el sector como porcentaje del PIB general que van de 0,1% en 1990 a 1,42% en el 2014. Esto confirma las posibilidades del sistema, pero también de la necesidad de proponer instrumentos de política que consideren la generación de liderazgos nacionales.

El éxito de la política de internacionalización de Colciencias es innegable, pero también los efectos colaterales como la dependencia de la colaboración internacional. Un estudio de Scimago en el 2013 hace una medición del porcentaje de colaboración internacional para Colombia en el período 2003-2011. El promedio de actores extranjeros coautores es de 48,5%, en contraste con el 54,1% de las colaboraciones con extranjeros en los colegios invisibles del sistema de investigación agropecuario.

Si lo contrastamos con las proporciones de colaboración de los países de la región y el continente con mayores capacidades investigativas en Estados Unidos tenemos 35,4%, Brasil 32,5%, o México 41,7% de acuerdo a las mediciones de Scimago Country Rank (<https://www.scimagojr.com/>) en el 2017. Esto implica que el estadio de desarrollo en el que se encuentra el sistema debe ser cobijado por una política más integral que piense en el desarrollo de comunidades nacionales con el fortalecimiento de recursos para consolidar los campos de estudio existentes y permitir la emergencia de nuevos que diversifique la producción.

De otro lado, al comparar los colegios invisibles fuertes en Colombia (tablas 1 y 2) con las agendas de investigación planteadas en los próximos diez años por el PECTIA (Corpoica, 2017), se puede observar que las capacidades científicas no cubren todas las expectativas. Los 35 colegios invisibles muestran diferentes tipos de capacidades que dan respuesta a algunas de las agendas políticas en el sector agropecuario.

Por ejemplo, hay siete temas de los colegios que tienen alguna correspondencia con 5 temas de la agenda del PECTIA. De los colegios: formación de suelos y cambio climático; generación de bioaceites y alimentos; manejo ambiental y sostenibilidad; tecnologías de la información; mejoramiento genético; sistemas productivos agrícolas; socioeconomía, inteligencia competitiva y desarrollo empresarial. Del PECTIA: seguridad alimentaria; sostenibilidad ambiental y cambio climático; tecnologías de la información y de la comunicación; acceso a registros genéticos y propiedad intelectual; gestión de conocimiento y asistencia técnica.

En contraste, este estudio no encontró información sobre colegios invisibles en temas cruciales para el PECTIA como el desarrollo rural y capacidades muy débiles en seguridad y soberanía alimentaria para este sector. Llama la atención que en revistas de alto impacto internacional no hay una publicación fuerte en estas temáticas.

El sistema político ha puesto una expectativa alta en el relacionamiento del sistema de investigación para la generación de desarrollo social y económico. En favor de toda la literatura sobre transferencia de conocimiento, es un objetivo noble de alcanzar. Sin embargo, antes de la transferencia está la generación de conocimiento, y si las comunidades científicas son débiles, requieren un impulso en la diversidad de aspectos necesarios para establecer colegios invisibles consolidados en el país: fomento a la investigación en sus múltiples dimensiones de formación, proyectos semilla, programas de largo plazo, inversión en investigación básica que no necesariamente se convierta en productos tecnológicos en sus primeras etapas, cooperación regional y no sólo con países con grandes capacidades científicas, entre otro tipo de instrumentos.

La financiación de la investigación debe considerar un equilibrio entre las prioridades sociopolíticas y las capacidades desarrolladas. En ese sentido cualquier sistema de incentivos y capitalización de la investigación debe considerar la aparición de temas emergentes para la financiación de nuevos investigadores y programas de becas doctorales y posdoctorales; y de otro lado, fortalecer los temas actuales asociados a estas agendas sociopolíticas trazadas como horizonte de exploración de país. El campo de investigación agropecuaria todavía no ha llegado a su techo en posibilidades de producción científica y tecnológica, de allí la importancia de las decisiones en equilibrio.

Desde el punto de vista metodológico la presentación de tres niveles de análisis macro, meso y micro permite ir más allá de las medidas cuantitativas tradicionales para la observación del crecimiento de la producción científica. El factor de impacto, el índice H, los índices de colaboración muestran patrones generales en un nivel macro del comportamiento de los investigadores en una geografía o institución específica, pero no permite observar el detalle de su posición en la estructura respecto a su entorno mediato e inmediato.

De otro lado, son frecuentes las investigaciones que presentan perfiles y mapas de la producción científica por ejemplo Nuñez Espinoza et al (2017) propone mapas reticulares para mirar la especialización temática, Leydesdorff & Rafols (2011) y Rafols & Meyer (2008) desarrollan

metodologías para presentar mapas de diversidad y coherencia en las relaciones entre disciplinas. Si bien estos mapas representan un avance importante en la proyección de metodologías que observen el comportamiento estructural de una forma más detallada, no permiten observar el nivel de desarrollo de las capacidades de investigación en geografías con desarrollos emergentes de comunidades de conocimiento. Ese es un vacío que pretende llenar el modelo presentado en esta investigación.

La falta de un patrón explicativo de las colaboraciones en el nivel macro en contraste con la evolución creciente de colegios invisibles, evidencia la falta de consolidación del sistema de investigación. Los niveles meso y micro muestran un comportamiento tendiente a la formación de comunidades de investigadores con programas similares. Igualmente, permiten orientar de mejor manera la lectura de la situación de un sistema de investigación con desarrollos precarios desde una mirada de conjunto. En este caso, los niveles meso y micro muestran una estructura emergente de investigación en proceso de consolidación, pero con un balance frágil que no puede cumplir todas las expectativas generadas por el sector político y económico sino se plantean instrumentos de política adecuados. Así mismo, se hacen explícitos los temas ganadores que potencialmente podrían ser observados como nichos de innovación para otros sectores sociales y económicos.

## CONCLUSIONES

Los resultados muestran una creciente organización del Programa Nacional de Ciencias Agropecuarias en Colombia hasta el año 2013 en términos del número de actores que ingresan al sistema y las colaboraciones que se generan. Sin embargo, este crecimiento ha tenido proceso de fluctuación en los últimos cuatro años. No encontramos factores claramente explicativos que permitan entender la forma en la cual ha crecido el sistema en términos de orientación a la colaboración con actores prestigiosos, geográficamente próximos o por compartir algún tipo de temática.

Sin embargo, hay elementos que si pueden influir de manera significativa en los patrones de colaboración. Primero, vemos diferentes tipos de vinculaciones, las cuales están determinadas por una mayor proporción de actores internacionales. En este sentido, los actores extranjeros tienen importancia en términos de la conectividad del sistema. Esto muestra una tendencia general a potenciar las capacidades de investigación a través de actores internacionales que permiten apalancar la investigación

colombiana y ponerla en contextos globales de investigación. Pero también implica dependencia. Este resultado observa la necesidad de hacer revisiones y reflexiones cuidadosas de políticas de estímulos sobre el desarrollo del conocimiento endógeno producido por actores locales apalancados tanto en actores nacionales como internacionales, los incentivos institucionales en el sector y la respuesta específicas a demandas de las cadenas productivas.

Segundo, los colegios invisibles dan visiones particulares de cada una de las cadenas productivas y de algunas demandas en el sector. Cada uno tiene un comportamiento particular dada la dinámica propia de investigación que puede estar relacionada con demandas locales de las cadenas productivas, como aspectos del mercado que podrían determinar las dinámicas encontradas. En este sentido, se encontraron 35 colegios invisibles en los cuales existe una participación de investigadores en temas de interés agropecuario que se han trazado en las agendas de investigación. En estos sectores como el del café, el frijol y la yuca han acumulado esfuerzos por trazar líneas y campos de investigación de relevancia e importancia para el país. Sin embargo, otros sectores relacionados con el desarrollo rural no se encuentran dentro de estas dinámicas globales de publicación al contrastar con las metas trazadas.

Al relacionar las agendas del programa Pectia y las capacidades del sector investigativo agropecuario, se abre la posibilidad de pensar en estrategias de generación de incentivos y financiación que permitan generar equilibrio en la consolidación de programas en los que el país se ha especializado y trazar una ruta sociopolítica que permita abrir nuevas rutas de financiación y orientación del SNCTI, especialmente orientados al fortalecimiento de comunidades de conocimiento y por reflejo, la generación de capacidades investigativas para atender demandas del sector agropecuario.

Faltan más organizaciones capaces de definir agendas de investigación que sean polos de atracción para nuevos investigadores. Esto plantea preguntas importantes sobre las formas de fortalecer la institucionalidad investigativa en el sector, generando incentivos públicos e institucionales para la emergencia de líderes colombianos en distintos temas de la ciencia con capacidad de intermediación para la consolidación de agendas temáticas.

Finalmente, esta investigación aporta al conocimiento de posibles respuestas de cadenas productivas y de demandas tecnológicas por parte de las comunidades de investigación que se detectaron en el sector agropecuario. De esta

forma, las capacidades y particularidades encontradas en cada una de ellas permiten hacer gestión del conocimiento y plantear políticas públicas que fortalezcan al sector en los próximos 10 años. En este sentido, se evidenciaron capacidades importantes en temáticas relacionadas con manejo ambiental y sostenibilidad y material de siembra y mejoramiento genético que pueden responder a demandas tecnológicas específicas de las cadenas productivas.

## REFERENCIAS

- Aguado-López, E., Rogel-Salazar, R., Garduño-Oropeza, G., Becerril-García, A., Zúñiga-Roca, M. F., & Velázquez-Álvarez, A. (2009).** Patrones de colaboración científica a partir de redes de coautoría. (Spanish). *Patters of Scientific Collaboration Based on Co-Authorship Networks.* (English), 16, 225–258.
- Barabási, A. L., & Albert, R. (1999).** Emergence of scaling in random networks. *science*, 286(5439), 509-512.
- Blondel, V. D., Guillaume, J.-L., Lambiotte, R., & Lefebvre, E. (2008).** Fast unfolding of communities in large networks. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2008(10), P10008. <https://doi.org/10.1088/1742-5468/2008/10/P10008>
- Boschma, R. (2005).** Proximity and innovation: a critical assessment. *Regional studies*, 39(1), 61-74.
- Callon, M. (1986).** Some elements of a sociology of translation: domestication of the scallops and the fishermen of St. Brieuc Bay. *Power, action, and belief: A new sociology of knowledge*, 32, 196-223.
- Callon, M. (1987).** Society in the making: the study of technology as a tool for sociological analysis. *The social construction of technological systems: New directions in the sociology and history of technology*, 83-103.
- Callon, M. (1991).** **Techno-economic networks and irreversibility.** *The Sociological Review*, 38(S1), 132-161.
- Callon, M. (1999).** The role of lay people in the production and dissemination of scientific knowledge. *Science, Technology and Society*, 4(1), 81-94.
- Callon, M., & Muniesa, F. (2005).** *Peripheral Vision Economic Markets as Calculative Collective.*
- Callon, M., Law, J. y Rip, A. (1980).** *Mapping the dynamics of science and technology.* Book.
- [Corpoica] Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (2016).** *Estrategia de desarrollo agropecuario y ruralcolombiano.* Bogotá, Colombia: Corpoica. Capítulo 2, Ciencia, tecnología e innovación.
- [Corpoica] Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (2017).** *Plan estratégico de ciencia, tecnología e innovación agroindustrial colombiano – PECTIA. Diagnóstico e identificación de limitantes y oportunidades de la ciencia, la tecnología y la innovación en el sector agropecuario.*
- Departamento Nacional de Planeación. República de Colombia. Conpes de política nacional de ciencia y tecnología 2016-2025.**
- Crane, D. (1969).** Social structure in a group of scientists: A test of the "invisible college" hypothesis. *American sociological review*, 335-352.
- De Price, D. J. D. S. (1965).** Networks of scientific papers. *Science*, 510-515.
- De Solla Price, D. J. (1968).** *The difference between Science and Technology.* Thomas Alva Edison Foundation.
- Departamento Nacional de Planeación. República de Colombia. (2010, 2014).** *Plan Nacional de Desarrollo.*
- Donatti, C. I., Guimarães, P. R., Galetti, M., Pizo, M. A., Marquitti, F. M. D., & Dirzo, R. (2011).** Analysis of a hyper-diverse seed dispersal network: modularity and underlying mechanisms. *Ecology Letters*, 14(8), 773–781. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01639.x>
- Dorogovtsev, S. N., & Mendes, J. F. (2003).** Evolution of networks. *Advances in physics*, 51(4), 1079-1187.
- Etzkowit, H., & Leydesdorff, L. (2000).** The dynamics of innovation: from National Systems and "Mode 2" to a Triple Helix of university–industry–government relations. *Research policy*, 29(2), 109-123.
- Freeman, L. (2004).** *The development of social network analysis. A Study in the Sociology of Science.* University of California
- Gay, G., Cho, H., Davidson, B., & Ingrassia, A. (2007).** Social networks, communication styles, and learning performance in a CSDL community. *Computers & Education*, 49(2), 309-329.
- Glänzel, W., & Thijs, B. (2017).** Using hybrid methods and "core documents" for the representation of clusters and topics: the astronomy dataset. *Scientometrics*, 111(2), 1071–1087. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11192-017-2301-6>

- Gmür, M. (2003).** Co-citation analysis and the search for invisible colleges? A methodological evaluation. *Scientometrics*, 57(1), 27–57. <https://doi.org/10.1023/A:1023619503005>
- Grauwin, S., & Jensen, P. (2011).** Mapping scientific institutions. *Scientometrics*, 89(3), 943–954. <https://doi.org/10.1007/s11192-011-0482-y>
- Guimera, Roger and Amaral, Luis A Nunes (2005).** Cartography of complex networks: modules and universal roles. *J Stat Mech.* 2005 February 1; 2005(P02001): P02001-1–P02001-13. doi:10.1088/1742-5468/2005/02/P02001.
- Guimerà, R, Mossa, S., Turtschi, A., & Amaral, L. A. N. (2005).** The worldwide air transportation network: Anomalous centrality, community structure, and cities' global roles. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(22), 7794–7799. <https://doi.org/10.1073/pnas.0407994102>
- Guimerà, Roger, & Nunes Amaral, L. A. (2005).** Functional cartography of complex metabolic networks. *Nature*, 433(7028), 895–900. <https://doi.org/10.1038/nature03288>
- Russell, J. Jaramillo, M. J. M., & Ainsworth, S. (2009).** El análisis de redes en el estudio de la colaboración científica. (Spanish). *Redes*, 17(1), 39–47.
- Junguito, Perfetti, & Becerra. (marzo 2014).** Desarrollo de la agricultura colombiana. Cuadernos FEDESARROLLO 48.
- Kretschmer, H. (1994).** Coauthorship networks of invisible-colleges and institutionalized communities. *Scientometrics*, 30(1), 363–369. <https://doi.org/10.1007/BF02017234>
- Leydesdorff, L. (2008).** On the normalization, and visualization of author cocitation data: Salton's cosine versus the jaccard index. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 59 (1), pp. 77-85. DOI: 10.1002/asi.20732
- Leydesdorff, L., Johnson, M. W., & Ivanova, I. (2017).** Toward a Calculus of Redundancy: The feedback arrow of expectations in knowledge-based systems. arXiv preprint arXiv:1701.02455.
- Lucio, Jorge et al (2016).** Indicadores de Ciencia y Tecnología, Colombia 2016. Bogotá: Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología. Disponible en línea: [http://ocyt.org.co/wp-content/uploads/2017/07/indicadores-2016\\_web.pdf](http://ocyt.org.co/wp-content/uploads/2017/07/indicadores-2016_web.pdf)
- Lundvall, B. A. (2009).** Innovation as an interactive process: 59-producer interaction to the national system of innovation: research paper. *African journal of science, technology, innovation and development*, 1(2 & 3), 10-34.
- Luukkonen, T., Tussen, R. J. W., Persson, O., & Sivertsen, G. (1993).** The measurement of international scientific collaboration. *Scientometrics*, 28(1), 15–36.
- Maia, M. de F. S., & Caregnato, S. E. (2008).** Co-autoria como indicador de redes de colaboração científica. (Portuguese). Co-Authorship as an Indicator of Scientific Collaboration Network. (English), 13(2), 18–31.
- Nelson, R. (1993).** National Innovation Systems: A Comparative Analysis University of Illinois at Urbana-Champaign's Academy for Entrepreneurial Leadership Historical Research Reference in Entrepreneurship.
- Nelson, R. R. y Winter, S. G. (1977).** In search of a useful theory of innovation. In *Innovation, Economic Change and Technology Policies* (pp. 215-245). Birkhäuser Basel.
- Newman, M. (2010).** Networks: an introduction. Oxford University Press. Oxford, New York. DOI: 10.1093/acprof:oso/9780199206650.001.0001
- Newman, M. E. (2001).** The structure of scientific collaboration networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(2), 404-409.
- Newman, M. E. J. (2006).** Modularity and community structure in networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103(23), 8577–8582. <https://doi.org/10.1073/pnas.0601602103>
- OECD (2005).** Guía para la recogida e interpretación de datos sobre innovación. Francia.
- OECD (2014),** OECD Reviews of Innovation Policy: Colombia 2014, OECD Publishing, Paris.
- Olade. (2009).** IV Seminario Internacional de Biocombustibles. Disponible en <http://www.olade.org/biocombustibles2009/ponencias.html>
- Palacios-Núñez G Vélez-Cuartas G Botero J (2018).** Developmental tendencies in the academic field of intellectual property through the identification of invisible colleges. *Scientometrics* 115 (3) pp 1561-1574. DOI: 10.1007/s11192-018-2648-3
- Rafols, I. & Meyer, M. (2010)** Diversity and network coherence as indicators of interdisciplinarity: case studies in bionanoscience. *Scientometrics* 82 (2): 263. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0041-y>
- Rubinov, M., & Sporns, O. (2010).** Complex network measures of brain connectivity: Uses

and interpretations. *NeuroImage*, 52(3), 1059–1069.  
<https://doi.org/10.1016/J.NEUROIMAGE.2009.10.003>

**Rafols, I. (2014).** Knowledge integration and diffusion: Measures and mapping of diversity and coherence. In *Measuring Scholarly Impact* (pp. 169-190). Springer International Publishing.

**Redner, S. (1998).** How popular is your paper? An empirical study of the citation distribution. *The European Physical Journal B-Condensed Matter and Complex Systems*, 4(2), 131-134.

**Sábato, Jorge (1979).** *Ensayos en campera*. Buenos Aires: Juarez Editor. ISBN 987-558-028-7

**SCImago Research Groups (2013).** Principales indicadores cientométricos de la actividad científica de la Universidad de Antioquia. Madrid-Valparaiso-Bogotá, Mayo de 2013.

**Scott T.L. (2000).** Ties that bind: A social network approach to understanding student integration and persistence. *The journal of higher education*, 71(5), 591-615.

**Steinert, L., & Hoppe, H. U. (2017).** A comparative analysis of network-based similarity measures for scientific paper recommendations. In *Proceedings - 2016 3rd European Network*

*Intelligence Conference, ENIC 2016* (pp. 17–24). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/ENIC.2016.011>

**Teixeira, A. A. (2011).** Mapping the (in) visible college (s) in the field of entrepreneurship. *Scientometrics*, 89(1), 1-36.

**Van Eck, N.J., & Waltman, L. (2009).** How to normalize cooccurrence data? An analysis of some well-known similarity measures. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 60(8), 1635–1651

**Vélez-Cuartas, G. (2012).** Las redes de sentido como modelo para la observación de la ciencia: Luhmann desde un punto de vista estructural. In Estrada Saavedra, M. & Millán, R. *La Teoría de los Sistemas de Niklas Luhmann a Prueba*. México: El Colegio de México, Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 219-274. ISBN 978-607-462-375-8

**Vélez-Cuartas, G., Lucio-Arias, D., & Leydesdorff, L. (2015).** Regional and global science: Latin American and Caribbean publications in the SciELO Citation Index and the Web of Science. arXiv preprint arXiv:1510.02453.

**Wasserman, S. & Faust, K. (1994).** *Social network analysis: Methods and applications*. Cambridge university press, (Vol. 8), p. 345  
doi:10.1017/cbo9780511815478.

**Remitido:** 09-02-2019

**Corregido:** 21-05-2019

**Aceptado:** 23-05-2019

