

Análisis bibliométrico del estudio de arcillas colombianas

Bibliometric analysis of the study of Colombian clays

R. A. García-León  ; N. Afanador-García  ; W. Quintero-Quintero 

DOI: <https://doi.org/10.22517/23447214.24627>

Artículo de investigación científica y tecnológica

Abstract—The growth in demand for masonry products for construction and the use of clays for different industrial applications in Colombia has increased since 2015 due to the excellent quality of the raw material, benefiting the country's ceramic industry. Therefore, in this article, the Bibliometric analysis (BA) of the clays study in Colombia in its different uses, applications, characterizations, and environmental sustainability was carried out using the R Bibliometrix software. The aim of this work is to provide a general visualization of the growth of the Colombian clays research topic across the years, through a historical analysis of the annual publication rate, authors, collaboration networks and institutions on this important topic for the ceramic industry. The results showed a total of 275 documents that were compiled directly from the *Scopus* database using two keywords ("Clays" and "Colombia"), which were published by 1,791 authors from different cities of the world, evidently predominantly Colombian authors; these publications present a growth rate of 5.08% per year from 1972 to 2020, taking into account the first publication of clays by Van Houten FB in 1972. Finally, the most representative magazine in the area of clays is the *DYNA* (Colombia) journal edited by the National University of Colombia, of which 58 articles belong to affiliations of this institution, followed by the Francisco de Paula Santander University with 25 articles.

Index Terms— Authors, Bibliometric, Blocks, Clays, Colombia, Trends

Resumen—El crecimiento de la demanda de productos de mampostería para la construcción y el uso de arcillas para diferentes aplicaciones industriales en Colombia, se ha incrementado desde el 2015 debido a la excelente calidad de la materia prima, beneficiando a la industria cerámica del país. Por lo tanto, en el presente artículo se llevó a cabo el análisis bibliométrico (BA) del estudio de arcillas en Colombia en sus diferentes usos, aplicaciones, caracterizaciones y sostenibilidad ambiental utilizando el software R Bibliometrix. El objetivo de este trabajo es brindar una visualización general del crecimiento del

tema de investigación de las arcillas colombianas a lo largo de los años, a través de un análisis histórico de la tasa de publicación anual, autores, redes de colaboración e instituciones sobre este importante tema para la industria cerámica. Los resultados mostraron un total de 275 documentos que fueron recopilados directamente de la base de datos *Scopus* utilizando dos palabras clave ("Clays" and "Colombia"), los cuales fueron publicados por 1,791 autores de diferentes partes del mundo, predominando evidentemente autores colombianos; estas publicaciones, presentan una tasa de crecimiento del 5.08% anual desde 1972 hasta 2020, teniendo en cuenta la primera publicación de las arcillas realizada por Van Houten FB en 1972. Finalmente, la revista más representativa en el área de las arcillas es la revista *DYNA* (Colombia) editada por la Universidad Nacional de Colombia, de donde 58 artículos pertenecen a filiaciones de esta institución, seguida la Universidad Francisco de Paula Santander con 25 artículos.

Palabras claves— Arcilla, Autores, Bibliométrico, Bloques, Colombia, Tendencias.

I. INTRODUCCIÓN

ACTUALMENTE la industria cerámica en Colombia desempeña un papel importante en los sectores económico y social del país. En estudios realizados en el año 2015 por la Asociación Nacional de Productores de Ladrillo y Derivados de Arcilla (ANFALIT) encontró que la industria de la manufactura de ladrillos en Colombia reporta a nivel nacional una producción de 4.523,367 toneladas anuales de ladrillos. Así mismo, existen 1,924 empresas productoras de ladrillo, de las cuales el 88% están operando, el 2% están liquidadas y el 10% están cerradas temporalmente [1]. Teniendo en cuenta lo anterior, se puede inferir la amplia capacidad que posee el país en la producción de ladrillo y demás productos de mampostería para la construcción de muy buena calidad generando competitividad a nivel nacional en este mercado. El proceso de

This manuscript was sent on January 06, 2021 and accepted on September 02, 2021.

This paragraph of the first footnote will contain the date on which you submitted your paper for review. It will also contain support information, including sponsor and financial support acknowledgment. For example, "This work was supported by the Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, under project of investigation titled: Caracterización físico-química de arcillas en Ocaña, Norte de Santander - Colombia"

R.A. García-León., is professor of the department Mechanical and Civil Engineering, of the Engineering Faculty of the Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Colombia. (ragarcial@ufpso.edu.co)

N. Afanador-García., is professor of the department Civil Engineering of the Engineering Faculty of the Universidad Francisco de Paula Santander, Colombia. (nafanadorg@ufpso.edu.co)

W. Quintero-Quintero, is professor in the Faculty of Administrative and Economic Sciences in the Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Colombia. (quinterowilder@ufpso.edu.co)



fabricación de la arcilla (Fig. 1) está compuesto principalmente de tres etapas, las cuales son preparación, moldeo de la mezcla cerámica y la cocción del producto [2]-[3].

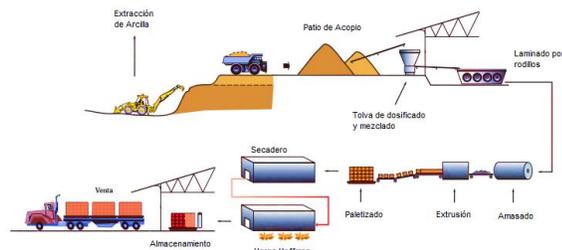


Fig. 1. Proceso productivo de una ladrillera.

Fuente: Modificado de [4],[9].

Las arcillas se utilizan como materia prima de la industria cerámica para la construcción, pero el 90% se dedica a la producción de materiales de construcción y agregados, y el 10% restante se dedica a otros sectores como la fabricación de papel, caucho, pinturas, absorbentes, arenas de moldeo, productos agrícolas, químicos y farmacéuticos [5]-[6]. Actualmente, los suelos se consideran arcillosos, compuestos principalmente por una mezcla natural de aluminosilicatos y otros componentes orgánicos [7]. Los minerales presentes en la arcilla son de uso común a nivel de construcción y otros procesos industriales, clasificados según mineralogía, composición química, origen geológico, propiedades físicas y comportamiento geotécnico para determinar las propiedades mecánicas y fases cristalinas de los diferentes tipos de suelos [8]. Por lo tanto, los análisis tecnológicos como granulometría, hidrometría, composición química, fluorescencia de rayos X (XRF), difracción de rayos X (XRD) y análisis térmico diferencial se utilizan para caracterizar arcillas [9]-[10]. Asimismo, se realizaron algunos estudios relacionados con las pruebas físicas, químicas, fisicoquímicas o tecnológicas para determinar la mezcla óptima para la elaboración de productos cerámicos en función de sus propiedades [11]-[12].

El diseño de mezclas de experimentos (M-DoE) se utiliza en este tipo de investigación para estimar el número mínimo de combinaciones necesarias para estimar las propiedades tecnológicas de las arcillas, considerando composiciones químicas y mineralógicas de las diferentes mezclas, lo que proporciona una aproximación semicuantitativa al comportamiento a nivel industrial [13]-[14]. Por otro lado, las normas técnicas colombianas NTC 4017 y 4205 se han utilizado para validar el comportamiento de las materias primas a base de arcilla y así lograr propiedades mecánicas de óptima calidad en cuanto al producto final [15]-[16].

En este trabajo de revisión, se realiza un análisis bibliométrico extrayendo datos de las publicaciones científicas existentes sobre las arcillas Colombianas en la base de datos *Scopus*, con el objetivo principal de obtener una visualización general del crecimiento de este importante tema de investigación a lo largo de los años y como se han creado vínculos y redes de colaboración entre autores y universidades. El desarrollo de esta investigación se logró midiendo las contribuciones de diferentes autores y revistas a lo largo del

tiempo sobre las tecnologías de caracterización de arcillas y aplicaciones industriales, y de esta forma determinar las fuentes más importantes y los principales autores en relación con la calidad y cantidad de la investigación. Asimismo, se presentan resultados y tendencias tecnológicas sobre las arcillas Colombianas, a través de los artículos recopilados y analizados mediante herramientas actuales.

II. MATERIALES Y METODOS

Los minerales de la arcilla, son muy usados en la construcción y otros procesos industriales. Pueden ser clasificados atendiendo una gran cantidad de parámetros; así, las minas que contienen minerales arcillosos en su composición pueden ser clasificados dependiendo de su mineralogía, su composición química, su origen geológico, sus propiedades físicas, su utilización industrial, su comportamiento geotécnico, entre otras clasificaciones. No obstante, la más común y más conocida es la clasificación mineralógica, entre las que podemos encontrar, según su estructura molecular, arcillas de tipo caolín, tipo illita y montmorillonitas [17].

La bibliometría es una ciencia que aplica métodos estadísticos y matemáticos a la literatura de tipo científico teniendo en cuenta a los autores, universidades, revistas, países entre otros aspectos relevantes de las publicaciones. Para realizar los análisis de bibliometría, se tienen en cuenta los comportamientos estadísticos de los datos e información que contienen las publicaciones científicas. Por otra parte, se tienen en cuenta leyes e indicadores bibliométricos de producción tales como crecimiento, productividad, impacto, visibilidad, entre otros; esto permite, establecer tendencias y redes colaborativas en relación a un tema específico [18].

A. Análisis bibliométrico (BA)

El análisis bibliométrico se realizó utilizando la biblioteca Bibliometrix y la plataforma BiblioShiny del software *RStudio*® (V.1.3.1073) [18], el cual es uno de los últimos programas de código abierto más utilizados, desarrollado para analizar y filtrar los campos más importantes de la Literatura científica en temas específicos. En la Fig. 2 se muestran las principales etapas del flujo de trabajo aplicado al análisis de datos obtenidos de *Scopus* [19].



Fig. 2. Flujo de trabajo para el análisis bibliométrico.

Fuente: Elaboración propia.

B. Recolección de datos e información

Los datos fueron recolectados el 20 de septiembre de 2020 directamente de las publicaciones científicas de la base de datos *Scopus* sobre las arcillas en Colombia para documentos publicados a partir de 1972 con la siguiente ecuación de búsqueda: ("Clays *") AND ("Colombia*"), debido a que en la actualidad es una de las bases de datos más importantes para

obtener información de publicaciones científicas [20]. El análisis bibliométrico extrae información cuantitativa sobre métricas de publicación, puntos geográficos, colaboración de autores, principales instituciones de investigación y revistas [18]. Los resultados de este análisis se utilizan para exponer la clasificación más reciente de un tema relevante a lo largo del tiempo utilizando palabras clave específicas. De esta manera, las palabras clave utilizadas teniendo en cuenta el flujo de trabajo (Fig. 2) debido a que las arcillas abarcan un amplio sector industrial en Colombia. De esta forma, el campo temático de la base de datos *Scopus* incluye información relevante sobre las publicaciones como título, resumen, autor, palabras clave, total de citas por documento, filiación, entre otros.

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

A. Resumen de las publicaciones y resultados estadísticos

En la Tabla I se muestra la base de datos global sobre el análisis de arcillas en Colombia, considerando 275 tipos de documentos diferentes en idioma inglés, y los resultados estadísticos de los datos utilizados, de acuerdo con la metodología propuesta en la Fig. 2.

TABLA I.
ANÁLISIS GLOBAL DE LOS RESULTADOS

Descripción	Resultado
Periodo de tiempo	1972-2020
Publicaciones (Revistas, libros etc.)	275
Citaciones	2,934
Años promedio desde la publicación	10.80
Citas promedio por documentos	10.67
Citas promedio por año por documento	0.80
Palabras clave	2.39
Tasa de crecimiento	5.08%
Tipos de documentos	
Artículos	199
Capítulos de libros	3
Artículos de negocio	1
Artículos de conferencias	66
Revisión de conferencias	1
Artículos de revisión	5
Autores	
Cantidad total de autores	1,791
Documentos de un solo autor	28
Documentos por autor	0.33
Autor por documentos	3.05
Co-Autor por documentos	3.46
Índice de colaboración	3.30

Fuente: Elaboración propia.

B. Resumen de las publicaciones.

El análisis de resultados de los 275 documentos presentan una tasa de crecimiento del 5.08% anual desde 1972 hasta el 2020, este comportamiento se muestra en la Fig. 3. Es evidente que el estudio de las arcillas colombianas ha tenido un crecimiento mayor desde el 2012 donde se evidencia un número de publicaciones de 12 artículos hasta el 2019 que fueron 37. Por otra parte, el 72.36% de las publicaciones corresponden a

artículos publicados en revistas científicas, el 24% artículos publicados en conferencias y el restante 3.64% corresponde a capítulos de libros, artículos de negocio, revisión de conferencias y artículos de revisión.

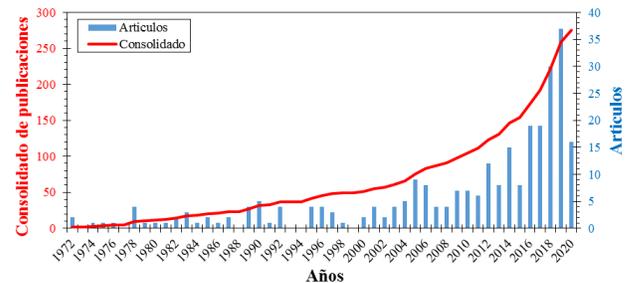


Fig. 3. Tendencia del número de publicaciones y consolidación a lo largo de los años. Fuente: Elaboración propia.

C. Evolución del uso de las palabras clave a lo largo de los años

Las palabras clave (Keywords) fueron extraídas directamente por la herramienta Bibliometrix, la cual analiza la frecuencia de aparición de cada palabra clave en las publicaciones, estas palabras clave brindan una idea de forma general de los temas trabajados en las publicaciones. Para este análisis fueron utilizadas las palabras clave de los autores debido a que son más completas que las palabras clave plus, que son generadas automáticamente de los títulos de los artículos que son citados. Estas palabras clave, fueron analizadas mediante la evolución de las más representativas, a lo largo de los años en tres periodos de tiempo, como se muestra en la Fig. 4.

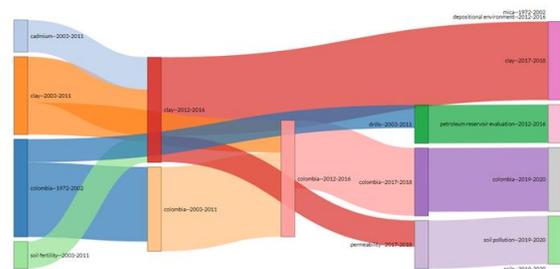


Fig. 4. Diagrama de Sankey de la evolución de las principales palabras clave durante tres periodos de tiempo distintos 1972-2002, 2003-2011, 2012-2016 y 2017-2020. Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, la Fig. 5 muestra las 20 palabras clave más utilizadas y la frecuencia de aparición para el análisis de los resultados obtenidos. La palabra clave más representativa es Colombia, seguida de Clay (Arcilla) y Soils (Suelo), estas palabras se encuentran en inglés debidos a que la mayoría de las publicaciones se encuentran en inglés. La interacción, entre el uso y frecuencia de aparición entre las palabras clave se muestra en la Fig. 6, donde de las 2,393 palabras clave encontradas, por lo menos 20 palabras aparecen 9 veces en las publicaciones, atribuyendo una mayor aparición después del año 2012.

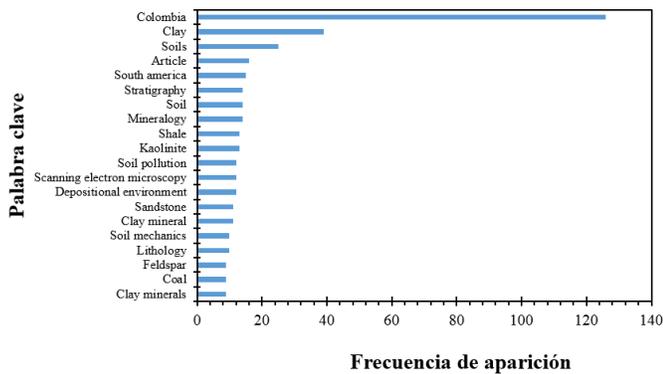


Fig. 5. 20 palabras clave más comunes utilizadas en las publicaciones. Fuente: Elaboración propia.

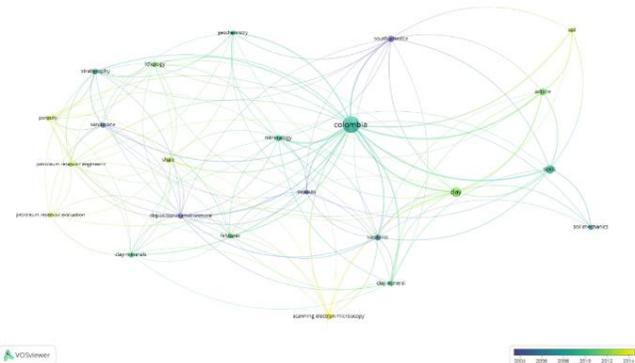


Fig. 6. Interacción entre las palabras claves. Fuente: Elaboración propia.

La estructura conceptual trata de explicar los principales temas y tendencias del mundo científico en un área específica, es decir, de lo que habla la ciencia. En el análisis, la Fig. 7 muestra dos grupos conceptuales (o temas) que fueron definidos por las palabras clave utilizadas por los autores. Estos grupos muestran una frecuencia mínima de grupo de 2 por mil documentos y un número mínimo de 9 repeticiones por palabra clave; en el clúster 1 representado de color rojo concentra el 41.79% de las palabras clave utilizadas por los autores, dentro de los documentos analizados, donde se estudian temas como la porosidad, permeabilidad, textura, hidrocarbano, contaminación del suelo, entre otras que se encuentran principalmente en la temática de mineralogía. Asimismo, el clúster 2 de color azul, el 23.65% relacionado con temáticas de humanos, absorción y química de las arcillas; el restante porcentaje, representa palabras claves sin interacción o poco repetidas unas con otras relacionadas a una temática en común.

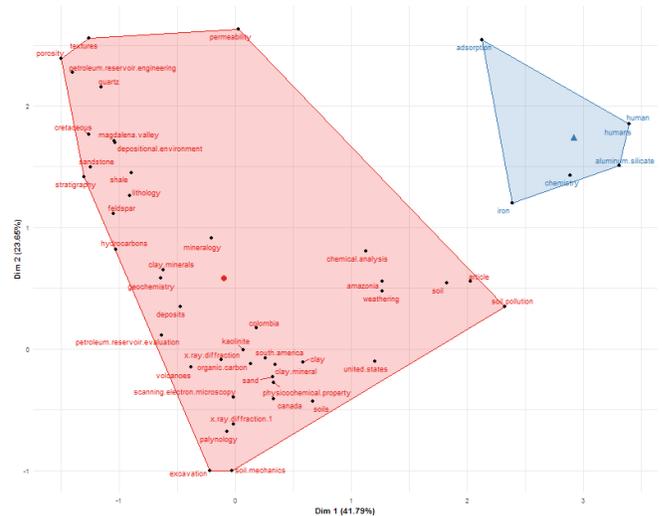


Fig. 7. Mapa de estructura conceptual de grupos de palabras clave. Fuente: Elaboración propia.

D. Importancia de las revistas

Actualmente, las revistas más importantes que agrupan la mayor cantidad de artículos en el área de arcillas colombianas, son las revistas DYNA (Colombia) y la revista de series de conferencias IOP (Fig. 8), las cuales representan el 12.8% del total de las publicaciones; al mismo tiempo ambas revistas presentan un $h_{index}=2$ en el cuartil Q3 sobre la temática, representando un total de citaciones de 18, la evolución de estas dos importantes revistas, se muestra en la Fig. 9, mostrando un alto crecimiento desde el año 2012 con el aumento del número de publicaciones en el área. Por otra parte, se evidencia que las revistas Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology y Geoderma muestran una significancia importante entre el número de citaciones y h_{index} .

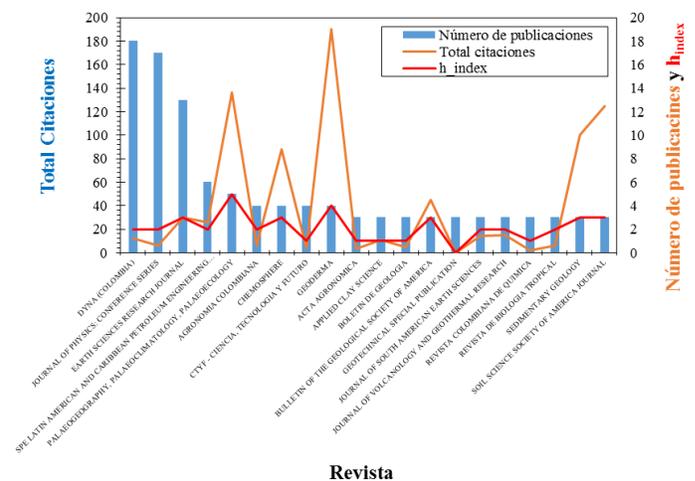


Fig. 8. Las 20 revistas más influyentes. Fuente: Elaboración propia.

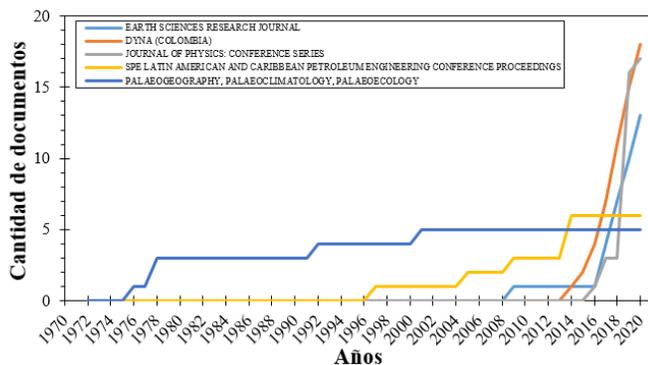


Fig. 9. Evolución a lo largo del tiempo de las 10 principales revistas. Fuente: Elaboración propia.

E. Autores relevantes

La Fig. 10 muestra el comportamiento a través de los años de los 20 autores más relevantes en la temática de las arcillas en Colombia. Asimismo, la Fig. 10a muestra la cantidad de documentos por autor evidenciando una mayor aparición de los autores, de esta forma se encontró que la mayor cantidad de publicaciones de los autores es de 3 por año. Por otro lado la Fig. 10b muestra que el número de citas por los autores para el mismo periodo de tiempo es bajo, y que una mayor frecuencia de citas de evidencia entre 1979 y 2009 para la cantidad de artículos publicados por año.

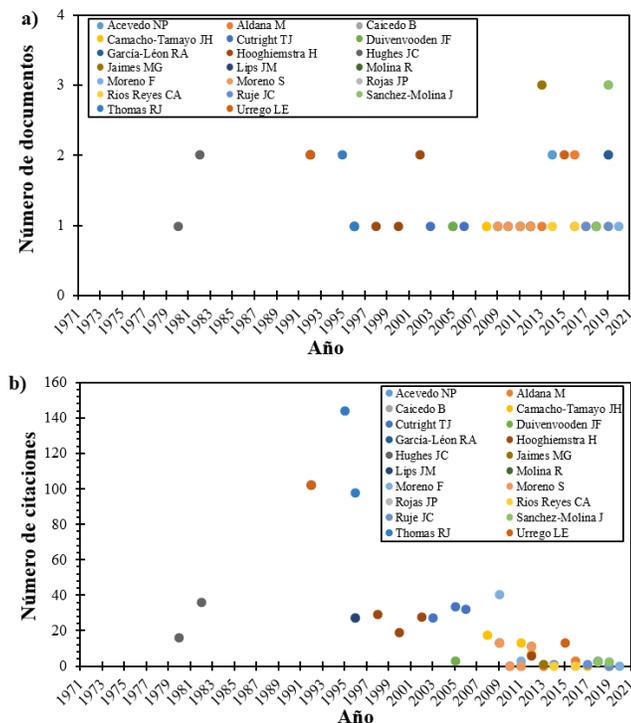


Fig.10. Impacto de los autores principales por a) documentos y b) citas a lo largo de los años. Fuente: Elaboración propia.

F. Instituciones más importantes

Las 18 instituciones más productivas se muestran en la Fig.

11, teniendo en cuenta el número de publicaciones desde 1972. Estas instituciones están relacionadas con la cantidad de publicaciones por autor y la frecuencia por filiación; de esta forma, la Universidad Nacional de Colombia es la institución donde más se han desarrollado investigaciones relacionadas con caracterizaciones químicas, físicas y análisis de arcillas colombianas en la zona central colombiana, con un total de 58 publicaciones. Asimismo, la Universidad Francisco de Paula Santander está en el segundo lugar con un total de 25 publicaciones, realizando análisis mayormente de la región Norte de Santander. En tercer y cuarto lugar, están la Universidad de Ámsterdam y la Universidad Industrial de Santander con 15 publicaciones. De la Fig. 11, las restantes 14 instituciones han publicado menos de 9 documentos.

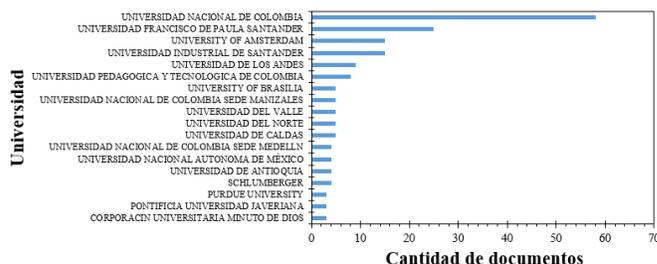


Fig. 11. Instituciones más productivas por cantidad de documentos. Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta la colaboración entre y las instituciones, la Fig. 12 muestra los países más importantes del mundo en base a la frecuencia de aparición. En este caso, Colombia está relacionada con varias instituciones a nivel mundial y la cantidad de autores con la misma filiación, por lo que la frecuencia de aparición se hace mayor. Por otra parte, la Fig. 13 muestra el total y el promedio de citas para cada país a nivel, es evidente que los países con más publicaciones no son los que presentan el mayor promedio de citas, quizás esté relacionado con el hecho de la calidad e impacto de las publicaciones, que en la mayoría de los casos hablan de mejoramiento las propiedades de la materia prima para obtener productos con calidad, y en otra ocasiones, se abordan temáticas en el área de la maquinaria, tecnologías utilizadas y formas de mejoramiento para el medio ambiente.

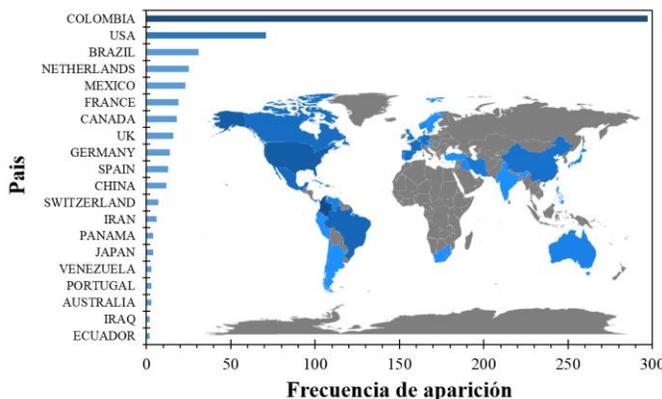


Fig. 12. Países más importantes por frecuencia de aparición. Fuente: Elaboración propia.

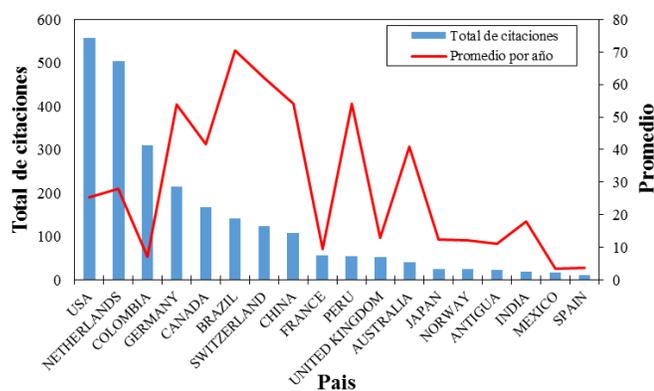


Fig. 13. Países más relevantes por total y promedio de citaciones.
Fuente: Elaboración propia.

Evidentemente como la materia prima (Arcillas) son de origen Colombiano, Colombia ha desarrollado redes de trabajo a nivel mundial, como se muestra en la Fig. 14. Es evidente la colaboración directa en países como España, México, Brasil, Estados Unidos, Alemania, Reino Unido y Suiza. En la mayoría de los casos, se basan en acuerdos de estudio y análisis de propiedades de las arcillas utilizadas en Colombia, principalmente en el sector de la mampostería para la construcción.

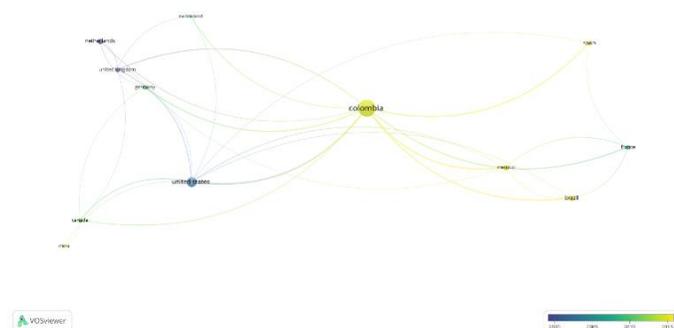


Fig. 14. Colaboración entre países.
Fuente: Elaboración propia.

G. Artículos más citados

El 28% de las citaciones corresponden a 8 artículos, del total general como se muestra en la Tabla II, siendo el investigador Lima HN el más citado en la temática de arcillas colombianas. Nótese que ninguna de las revistas hace parte de aquellas en las cuales se evidencio la mayor cantidad de publicaciones, como se muestra en la Fig. 8 y Fig. 9.

TABLA II.
ARTÍCULOS MÁS CITADOS A LA FECHA.

Ref.	Autor	Año	Revista	Total Citaciones
[21]	Lima HN	2002	Geoderma	139
[22]	Ninkovich D	1975	Earth and Planetary Science Letters	122
[23]	Guggenberger G	1995	Soil Biology and Biochemistry	110
[24]	Liu A	2005	Soil Science Society of America Journal	106
[25]	Guggenberger G	1996	Applied Soil Ecology	98

[26]	Dekker LW	2005	Australian Journal of Soil Research	89
[27]	Neuwerth R	2006	Sedimentary Geology	85
[28]	Chalmers GRL	2012	Marine and Petroleum Geology	70
Suma para publicaciones con más de 70 citaciones (8 artículos)				819
Suma para publicaciones entre 11-69 citaciones (60 artículos)				1,703
Suma para publicaciones entre 1-10 citaciones (103 artículos)				412
Suma para publicaciones que no han sido citadas (102 artículos)				0
Suma total de citaciones				2,934

Fuente: Elaboración propia.

IV. CONCLUSIONES

El estudio de revisión bibliométrica depende fuertemente de una adecuada clasificación, calidad y distribución de los datos recolectados; además, debido a la restricción de operadores lógicos (uso de acentuación en los nombres de los autores) que no son reconocidos por el software. Sin embargo, se tuvo en cuenta el mínimo margen de error, con la edición y revisión de algunos errores durante la importación de los datos en Excel.

Actualmente, la mayoría de estudios y/o caracterización de la materia prima de arcillas en Colombia, es publicada en revistas colombianas que no se encuentran en la base de datos de *Scopus*, de esta forma los resultados están limitados a los artículos publicados en esta prestigiosa y confiable base de datos.

El análisis de las palabras clave mostró que se han desarrollado y analizado diversos procesos de caracterización de las arcillas colombianas durante los últimos 48 años, y las últimas investigaciones destacadas están asociadas con emisiones tóxicas para los humanos y propiedades químicas, mostrando una fuerte importancia de las arcillas en el sector industrial.

REFERENCIAS

- [1] C. A. Pacheco Flórez and J. Severiche Cruz, "Plan de negocios para la producción comercialización de ladrillos ecológicos - ecoladrillo," Universidad de Santander, 2015.
- [2] R. A. Muñoz, J. A. Muñoz, P. Mancilla, and J. E. Rodríguez, "Caracterización fisicoquímica de arcillas del municipio de Guapi- costa pacífica caucana (Colombiana)," *Química*, vol. 31, pp. 537–544, 2007.
- [3] R. A. García-León, C. Acevedo-Peñaloza, and J. P. Rojas-Suarez, *Metodología para la fabricación del bloque H-10 para la industria cerámica de Norte de Santander*, ECOE Ed. Bogota-Colombia, 2019.
- [4] T. V. Rodríguez, *Los minerales industriales en Castilla y León.*, Domènech e., vol. 1, no. 1500. España, 2007.
- [5] E. García and M. Suárez, "Las arcillas (propiedades y usos)," *Univ. Complut. (Madrid); Univ. Salamanca*, p. 25, 2004.
- [6] R. A. García-León and E. Flórez Solano, "Determinación de la ventana del proceso productivo en la fabricación de bloques H-10 en Ocaña Norte de Santander y la región," *Ingenio UFPSO*, vol. 09, no. 2011–642X, pp. 35–43, 2016.
- [7] I. Bernal, H. M. Cabeza, J. Espitia, J. Mojica, and J. Quintero, "Análisis próximo de arcillas para cerámica," *Rev Acad. Colomb. Cienc.*, vol. XXVII, no. 105, pp. 569–578, 2003.

- [8] S. Mahmoudi, E. Srasra, and F. Zargouni, "The use of Tunisian Barremian clay in the traditional ceramic industry: Optimization of ceramic properties," *Appl. Clay Sci.*, vol. 42, no. 1–2, pp. 125–129, Dec. 2008, doi: 10.1016/j.clay.2007.12.008.
- [9] R. S. Macedo, R. R. Menezes, G. A. Neves, and H. C. Ferreira, "Estudo de argilas usadas em cerâmica vermelha," *Ceramica*, vol. 54, no. 332, pp. 411–417, 2008, [Online]. Available: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-60849129479&partnerID=tZOtx3y1>.
- [10] C. M. F. Vieira, R. Sánchez, and S. N. Monteiro, "Characteristics of clays and properties of building ceramics in the state of Rio de Janeiro, Brazil," *Constr. Build. Mater.*, vol. 22, no. 5, pp. 781–787, May 2008, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2007.01.006.
- [11] D. Zuluaga Castrillón *et al.*, "Caracterización térmica, química y mineralógica de un tipo de arcilla roja propia de la región andina Colombiana, empleada para la producción de ladrillos para construcción," *Rev. Colomb. Mater.*, no. 9, pp. 53–63, 2016.
- [12] L. J. Quintero and R. J. Gallardo, "Caracterización mineralógica de arcillas expansivas con fines de estabilización," *Ingenio UFPSO*, vol. 8, no. 1, pp. 83–92, 2015, doi: <https://doi.org/10.22463/2011642X.2050>.
- [13] S. a Ibitoye and a a Afonja, "Characterization of Cold Briquetted Iron (CBI) By X-Ray Diffraction Technique," *J. Miner. Mater. Charact. Eng.*, vol. 7, no. 1, pp. 39–48, 2007.
- [14] R. R. Menezes, H. G. M. Neto, L. N. L. Santana, H. L. Lira, H. S. Ferreira, and G. A. Neves, "Optimization of wastes content in ceramic tiles using statistical design of mixture experiments," *J. Eur. Ceram. Soc.*, vol. 28, no. 16, pp. 3027–3039, 2008, doi: 10.1016/j.jeurceramsoc.2008.05.007.
- [15] R. A. García-León, R. Bolívar-León, and E. Flórez-Solano, "Validación de las propiedades físico-mecánicas de Bloques H-10 fabricados en Ocaña Norte de Santander y la región," *Ingenio UFPSO*, vol. 10, no. 2011–642X, pp. 17–26, 2016, doi: <https://doi.org/10.22463/2011642X.2075>.
- [16] R. A. García-León, E. Flórez-Solano, and M. Rodríguez-Castilla, "Application of the procedure of the ISO 50001:2011 standard for energy planning in a company ceramic sector," *DYNA*, vol. 86, no. 209, pp. 120–126, 2019, doi: <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n209.70915>.
- [17] R. A. García-León and R. Bolívar-León, "Caracterización Hidrométrica de las Arcillas Utilizadas en la Fabricación de Productos Cerámicos en Ocaña, Norte de Santander," *INGE CUC*, vol. 13, no. 1, pp. 53–60, 2017, doi: <http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.13.1.2017.05>.
- [18] M. Aria and C. Cuccurullo, "bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis," *J. Informetr.*, vol. 11, no. 4, pp. 959–975, 2017, doi: 10.1016/j.joi.2017.08.007.
- [19] R. A. García-León, J. Martínez-Trinidad, and I. Campos-Silva, "Historical Review on the Boriding Process using Bibliometric Analysis," *Trans. Indian Inst. Met.*, vol. 74, no. March, pp. 541–557, 2021, doi: 10.1007/s12666-020-02174-6.
- [20] I. F. Aguillo, "Is Google Scholar useful for bibliometrics? A webometric analysis," *Scientometrics*, vol. 91, no. 2, pp. 343–351, 2012, doi: 10.1007/s11192-011-0582-8.
- [21] H. N. Lima, C. E. R. Schaefer, J. W. V. Mello, R. J. Gilkes, and J. C. Ker, "Pedogenesis and pre-Colombian land use of 'Terra Preta Anthrosols' ('Indian black earth') of Western Amazonia," *Geoderma*, vol. 110, no. 1, pp. 1–17, 2002, doi: [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(02\)00141-6](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(02)00141-6).
- [22] D. Ninkovich and N. J. Shackleton, "Distribution, stratigraphic position and age of ash layer 'L', in the Panama Basin region," *Earth Planet. Sci. Lett.*, vol. 27, no. 1, pp. 20–34, 1975, doi: [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(75\)90156-9](https://doi.org/10.1016/0012-821X(75)90156-9).
- [23] G. Guggenberger, W. Zech, and R. J. Thomas, "Lignin and carbohydrate alteration in particle-size separates of an oxisol under tropical pastures following native savanna," *Soil Biol. Biochem.*, vol. 27, no. 12, pp. 1629–1638, 1995, doi: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(95\)00080-X](https://doi.org/10.1016/0038-0717(95)00080-X).
- [24] A. Liu, B. L. Ma, and A. A. Bomke, "Effects of Cover Crops on Soil Aggregate Stability, Total Organic Carbon, and Polysaccharides," *Soil Sci. Soc. Am. J.*, vol. 69, no. 6, pp. 2041–2048, Nov. 2005, doi: 10.2136/sssaj2005.0032.
- [25] G. Guggenberger, R. J. Thomas, and W. Zech, "Soil organic matter within earthworm casts of an anecic-endogeic tropical pasture community, Colombia," *Appl. Soil Ecol.*, vol. 3, no. 3, pp. 263–274, 1996, doi: [https://doi.org/10.1016/0929-1393\(95\)00081-X](https://doi.org/10.1016/0929-1393(95)00081-X).
- [26] L. W. Dekker, K. Oostindie, and C. J. Ritsema, "Exponential increase of publications related to soil water repellency," *Soil Res.*, vol. 43, no. 3, pp. 403–441, 2005, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1071/SR05007>.
- [27] R. Neuwerth, F. Suter, C. A. Guzman, and G. E. Gorin, "Soft-sediment deformation in a tectonically active area: The Plio-Pleistocene Zarzal Formation in the Cauca Valley (Western Colombia)," *Sediment. Geol.*, vol. 186, no. 1, pp. 67–88, 2006, doi: <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2005.10.009>.
- [28] G. R. L. Chalmers and R. M. Bustin, "Geological evaluation of Halfway-Doig-Montney hybrid gas shale-tight gas reservoir, northeastern British Columbia," *Mar. Pet. Geol.*, vol. 38, no. 1, pp. 53–72, 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2012.08.004>.



Ricardo Andres García-León was born in Barranquilla (Colombia) in 1990. Received the BSc. in Engineer in Mechanical Engineering from the Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Colombia in 2014, MSc. in Industrial Engineering of the Universidad de Pamplona, Colombia. Is PhD in Mechanical Engineering at Instituto

Politecnico Nacional of Mexico. Linked since 2015 as professor in the Department of Mechanical Engineering of the Faculty of Engineering of the Universidad Francisco de Paula Santander, Ocaña, Colombia. Researcher and leader of the research topic related to Materials and Industrial Processes in the INGAP Research Group. His areas of interest are mainly the development of mechanical systems, ceramics, thermal treatments, thermochemical treatments, industrial processes and engineering materials.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2734-1425>



Nelson Afanador-García, received the BSc. Eng. in Civil Engineering and graduate in mathematics and Physic in 1990, the MSc degree Civil Engineering with emphasis in structures at the Universidad of the Andes Colombia in 2008 and PhD in Structures at the University of Brasilia. Since 2003 to actually, he work for Francisco of Paula Santander University Ocaña in the department of civil engineering. His

lines of research are mechanical fracture, stochastic processes, fatigue and viscoelasticity.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5463-2036>



Wilder Quintero-Quintero was born in Ocaña (Colombia) in 1982. He received the BSc. in Public Accounting from the Universidad Cooperativa of Colombia in 2007, MSc. in Organization Administration from the Universidad Nacional Abierta and Distancia, Colombia. He is a doctoral student in administration at the Universidad Simón

Bolívar, Colombia. He has been linked since 2008 as a professor in the Department of Accounting and Financial Sciences of the Faculty of Administrative and Economic Sciences of the Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Colombia. He is the researcher and coordinator of the local and regional development research line of the GIDSE Research Group. His areas of interest are mainly knowledge management, intellectual capital, information technology.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3260-6923>