

DETERMINACIÓN DE MINERALES DE INTERÉS ESTRATÉGICO PARA COLOMBIA

DOCUMENTO EN CONSTRUCCION

Vicepresidencia de Promoción y Fomento
Grupo de Promoción
Octubre de 2023

Agencia Nacional de Minería

Luis Álvaro Pardo Becerra
Presidente

María Piedad Bayter Horta
Vicepresidente de Promoción y Fomento (E)

Fredy Alberto Rodríguez Díaz
Gerente de Promoción

Autores:

María Piedad Bayter Horta
Fredy Alberto Rodríguez Díaz
Hernán José Sierra Montes
Manuel Agustín Ortega Castro
Carlos Javier Tovar Prieto
Jhon Fredy García Ramírez
Juan Fernando Ruíz Rodríguez
Hélmer Fabián Barbosa Lébolo
Jenny Edith Rincón Pineda
Wilman Augusto Cañas Correa

Grupo de Trabajo: Grupo de Promoción

Citación: Agencia Nacional de Minería – Grupo de Promoción; Bayter, M.; Rodríguez, F.; Sierra, H.; Ortega, M.; Tovar, C; García, J; Ruíz, J; Barbosa, H; Rincón, J; Cañas, W (2023).

RESUMEN	4
ABSTRACT	6
INTRODUCCIÓN	8
1. LINEAMIENTOS PARA LA DETERMINACIÓN DE MINERALES DE INTERÉS ESTRATÉGICO PARA COLOMBIA	9
1.1. Listado preliminar de minerales estratégicos	11
2. METODOLOGÍA PARA LA APLICACIÓN DE LOS LINEAMIENTOS	12
2.1 Definición de dimensiones temáticas y transversal	13
2.2 Criterios de selección y calificación de minerales por dimensión	14
3. DEFINICIÓN DE CRITERIOS Y VARIABLES POR CADA DIMENSIÓN	16
3.1 DIMENSIÓN TRANSVERSAL - Existencia de ambientes geológicos favorables y priorización de la investigación	16
3.2 DIMENSIÓN - Desarrollo de la industria asociada a la transición energética	22
3.2.1 Políticas de Transición Energética	23
3.2.2 Demanda de minerales para la transición energética	24
3.2.3 Selección de minerales en la dimensión “Desarrollo de la industria asociada a la transición energética”	27
3.4 DIMENSIÓN - Implementación de políticas de formalización de pequeños mineros mediante esquemas asociativos	42
3.5 DIMENSIÓN - Desarrollo de encadenamientos productivos y reindustrialización	46
3.6 Dimensión - Desarrollo de infraestructura pública	53
3.6.1 Minerales identificados para el desarrollo de infraestructura pública	57
3.7 DIMENSIÓN - Importancia para la fabricación de fertilizantes	60
3.7.1 Minerales utilizados para la elaboración de fertilizantes	61
3.7.2 Panorama del comercio mundial de fertilizantes	63
3.7.3 Explotación y reservas a nivel mundial de los principales minerales requeridos en la fabricación de fertilizantes	66
3.7.4 Panorama nacional de los principales minerales necesarios para la fabricación de fertilizantes	67
4. DETERMINACIÓN DE LOS MINERALES DE INTERÉS ESTRATÉGICO	69
CONCLUSIONES	74
RECOMENDACIONES	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
ANEXOS	91

RESUMEN

Tomando en consideración que el listado de minerales estratégicos establecido por el Ministerio de Minas y Energía en la Resolución 180102 de 2012 debe ser actualizado a las políticas públicas del Gobierno Nacional y el proceso de transición energética justa que lidera el Ministerio de Minas y Energía, la Agencia Nacional de Minería adelantó, desde finales del año 2022, el proceso para actualizar dicho listado.

La función de determinar los minerales de interés estratégico para el país se encuentra asignada a la autoridad minera nacional en el artículo 20 de la Ley 1753 de 2015, correspondiendo dicha competencia a la Agencia Nacional de Minería (ANM) en virtud de la función asignada en el numeral 13 del artículo 17 del Decreto Ley 4134 de 2011, modificado por el Decreto 1681 de 2020.

Para proceder a la actualización del listado, la Vicepresidencia de Promoción y Fomento de la ANM, en ejercicio de la función asignada en el Artículo 4 del Decreto 1681 de 2020¹, elaboró el documento “Lineamientos para el establecimiento de minerales estratégicos en Colombia, marzo de 2023”, el cual fue presentado al Consejo Directivo de la Entidad en sesión del día 28 de abril de 2023, como documento anexo al proyecto de Acuerdo mediante el cual se definen los lineamientos para la determinación de minerales de interés estratégico para el país.

Por disposición del Consejo Directivo, el proyecto de Acuerdo y su documento anexo fueron sometidos a consulta pública en el período comprendido entre el 5 y el 25 de mayo de 2023. Recibidos algunos comentarios, los mismos fueron analizados y su respuesta publicada en la página web de la Agencia Nacional de Minería, en el siguiente link:

https://www.anm.gov.co/sites/default/files/RESPUESTA_A_COMENTARIOS_DE_LA_CIUADANIA.pdf

Es importante anotar que dichos comentarios no supusieron modificaciones al proyecto de Acuerdo ni su anexo.

El Consejo Directivo de la Agencia Nacional de Minería, en ejercicio de la función asignada en el artículo 1º del Decreto 1681 de 2020², definió mediante el Acuerdo 01 del 10 de julio de 2023, los lineamientos que la Agencia Nacional de Minería como autoridad minera nacional debe emplear para determinar los minerales que resultan estratégicos para el país, así:

1. Soberanía del Estado colombiano sobre los recursos minerales de propiedad estatal
2. Existencia de ambientes geológicos favorables y priorización de la investigación
3. Demanda de minerales para la transición energética
4. Demanda de minerales para la seguridad alimentaria
5. Demanda de minerales para el desarrollo industrial y de la infraestructura pública
6. Minerales para el autoabastecimiento
7. Minerales para promover la asociatividad

¹ 13. Dirigir y adelantar los estudios técnicos para la determinación de los minerales estratégicos para el país, coordinando con el Servicio Geológico Colombiano y la Unidad de Planeación Minero Energética la priorización de diagnósticos, investigaciones y análisis sobre el particular, en el marco de sus funciones y de conformidad con lo establecido en la ley y la política pública del sector minero.

² 9. Definir los lineamientos para la determinación de minerales de interés estratégico para el país.

El presente documento establece la metodología para aplicar los lineamientos definidos por el Consejo Directivo, con el fin de determinar el listado de los minerales que resultan ser estratégicos para Colombia.

Como parte de la metodología de aplicación de los lineamientos, se establecieron las siguientes dimensiones:

Tabla A. Lineamientos y dimensiones para el establecimiento de los minerales que resultan estratégicos para el país

		LINEAMIENTOS APROBADOS						
		Demanda de minerales para la transición energética	Demanda de minerales para el desarrollo industrial y de la infraestructura pública	Demanda de minerales para la seguridad alimentaria	Minerales para el autoabastecimiento	Soberanía del Estado colombiano sobre los recursos minerales de propiedad estatal	Minerales para promover la asociatividad	Existencia de ambientes geológicos favorables y priorización de la investigación
DIMENSIONES TEMÁTICAS	Desarrollo de la industria asociada a la transición energética							
	Desarrollo de infraestructura pública							
	Importancia para la fabricación de fertilizantes							
	Soberanía en el suministro para impulsar la reindustrialización nacional							
	Desarrollo de encadenamientos productivos y reindustrialización							
	Implementación de políticas de formalización de pequeños mineros mediante esquemas asociativos							
DIMENSIÓN TRANSVERSAL	Existencia de ambientes geológicos favorables y priorización de la investigación							

Fuente: construcción propia. El color verde oscuro señala las dimensiones relacionadas con cada lineamiento.

Preliminarmente, el contenido del documento y la metodología elaborada por la Agencia Nacional de Minería fueron sometidos a consideración y comentarios del Servicio Geológico Colombiano- SGC en sesiones de trabajo, recibiendo observaciones y realizando los ajustes pertinentes, especialmente lo relacionado con los Anexos No. 3 y 4.

ABSTRACT

Considering that the list of strategic minerals established by the Ministry of Mines and Energy in Resolution 180102 of 2012 must be updated to the public policies of the National Government and the just energy transition process led by the Ministry of Mines and Energy, the National Mining Agency has been carrying out, since the end of 2022, the process to update said list.

The function of determining the minerals of strategic interest to the country is assigned to the national mining authority in article 20 of Law 1753 of 2015, with said competence corresponding to the National Mining Agency (ANM) by virtue of the function assigned in numeral 13 of Article 17 of Decree Law 4134 of 2011, modified by Decree 1681 of 2020.

In order to update the list, the Vice-Presidency for Promotion and Development of the ANM, in exercise of the function assigned in Article 4 of Decree 1681 of 2020³, prepared the document "Guidelines for the establishment of strategic minerals in Colombia, March 2023," which was presented to the Board of Directors of the ANM in the session on April 28, 2023, as an annex document to the draft Agreement by which the guidelines are defined for the determination of minerals of strategic interest for the country.

By provision of the Board of Directors, the draft Agreement and its annex document were submitted to public consultation in the period between May 5 and 25, 2023. Having received some comments, they were analyzed and their response published on the website of the National Mining Agency, at the following link:

https://www.anm.gov.co/sites/default/files/RESPUESTA_A_COMENTARIOS_DE_LA_CIUADANIA.pdf

It is important to note that said comments did not lead to modifications of the draft Agreement or its annex.

The Board of Directors of the National Mining Agency, in exercise of the function assigned in article 1 of Decree 1681 of 2020⁴, defined by means of Agreement 01 of July 10, 2023, the guidelines that the National Mining Agency as the national mining authority must use to determine which minerals are strategic for the country, as follows:

1. Sovereignty of the Colombian State over state-owned mineral resources
2. Existence of favourable geological environments and prioritization of research
3. Demand for minerals for energy transition
4. Demand for minerals for food security
5. Demand for minerals for industrial development and public infrastructure
6. Minerals for self-sufficiency
7. Minerals to promote Associativity

³ 13. To direct and carry out the technical studies for the determination of strategic minerals for the country, coordinating with the Colombian Geological Service and the Mining-Energy Planning Unit to prioritize diagnoses, research and analysis on the matter, within the framework of their functions and in accordance with the provisions of the law and public policy in the mining sector.

⁴ 9. To define the guidelines for determining minerals of strategic interest for the country.

This document establishes the methodology for applying the guidelines defined by the Board of Directors, in order to determine the list of minerals that turn out to be strategic for Colombia.

As part of the methodology for applying the guidelines, the following dimensions were established:

Table A1. Guidelines and dimensions for the establishment of minerals that are strategic for the country

		APPROVED GUIDELINES						
		Demand for minerals for the energy transition	Demand for minerals for the industrial development of public infrastructure	Demand for minerals for food security	Minerals for self-sufficiency	Sovereignty of the Colombian State over state-owned mineral resources	Minerals to promote associativity	Existence of favorable geological environments and prioritization of research
THEMATIC DIMENSIONS	Development of the industry associated with the energy transition							
	Development of public infrastructure							
	Importance for fertilizer manufacturing							
	Sovereignty of supply to boost national reindustrialization							
	Development of productive chains and reindustrialization							
	Implementation of formalization policies for small-scale miners through associative schemes.							
TRANSVERSE DIMENSION	Existence of favorable geological environments and prioritization of research							

Source: own elaboration. The dark green color indicates the dimensions related to each guideline.

Preliminarily, the content of the document and the methodology prepared by the National Mining Agency were submitted for consideration and comments from the Colombian Geological Service - SGC in working sessions, receiving observations and making the pertinent adjustments, especially regarding to Annexes No. 3 and 4.

INTRODUCCIÓN

Mediante la Resolución 180102 de 2012, el Ministerio de Minas y Energía determinó unos minerales de interés estratégico para el país frente a los cuales, la Agencia Nacional de Minería, como autoridad minera nacional, creada mediante el Decreto Ley 4134 de 2011, adelantó un proceso para actualizar dicho listado a las nuevas realidades del entorno global, las políticas del Gobierno Nacional, el Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 Colombia: Potencia Mundial de la Vida y el proceso de transición energética justa que lidera el Ministerio de Minas y Energía.

Considerando que algunos países definen un listado de minerales críticos para su economía en función de la seguridad económica o nacional, las vulnerabilidades de las cadenas de suministro de las materias primas minerales y la volatilidad de los precios de dichos minerales; Colombia establecerá un nuevo listado de los minerales que resultan estratégicos para el país en el marco de un sector minero productivo que apunte al máximo aprovechamiento de los recursos minerales de propiedad del Estado colombiano, para lo cual, el Consejo Directivo de la Agencia Nacional de Minería definió en el Acuerdo 01 del 10 de julio de 2023, los siguientes lineamientos que la ANM debe tener en cuenta para actualizar el listado de minerales de interés estratégico:

1. Soberanía del Estado colombiano sobre los recursos minerales de propiedad estatal
2. Existencia de ambientes geológicos favorables y priorización de la investigación
3. Demanda de minerales para la transición energética
4. Demanda de minerales para la seguridad alimentaria
5. Demanda de minerales para el desarrollo industrial y de la infraestructura pública
6. Minerales para el autoabastecimiento
7. Minerales para promover la asociatividad

Bajo este contexto, el Grupo de Promoción de la Vicepresidencia de Promoción y Fomento elaboró el presente documento técnico, mediante el cual se formula una metodología propia para determinar los minerales de interés estratégico para el país, con base en los lineamientos señalados.

Nota: La información incluida en el presente documento es de carácter público y fue preparada con base en datos disponibles en las diferentes fuentes consultadas a la fecha de su elaboración; sin embargo, estos pueden cambiar, por lo que se recomienda verificar la vigencia de la información y disposiciones aplicables en las fuentes relacionadas.

1. LINEAMIENTOS PARA LA DETERMINACIÓN DE MINERALES DE INTERÉS ESTRATÉGICO PARA COLOMBIA

Mediante Acuerdo 01 del 10 de julio de 2023, el Consejo Directivo de la Agencia Nacional de Minería aprobó siete (7) lineamientos para determinar los minerales de interés estratégico para el país, cuyo alcance se relaciona en el siguiente cuadro:

Tabla 1. Alcance de los lineamientos para el establecimiento de los minerales que resultan estratégicos para el país

LINEAMIENTO APROBADO	ALCANCE DEL LINEAMIENTO
<p>Soberanía del Estado colombiano sobre los recursos minerales de propiedad estatal</p>	<p>Este lineamiento apunta a que los minerales estratégicos permitan transitar hacia una economía productiva que asegure buenas prácticas técnicas, ambientales y sociales, y que posibiliten el aprovechamiento de los recursos minerales desde su extracción hasta su beneficio y procesamiento, incluida la refinación de los minerales metálicos, buscando que el recurso minero del país sea aprovechado para el consumo interno como productos terminados y la exportación de bienes con valor agregado, y que se genere beneficios reales a las comunidades asentadas en las zonas donde se desarrollan los proyectos mineros, y en general para todos los habitantes del país.</p> <p>El concepto de soberanía que subyace este propósito, busca igualmente que el país disponga de los minerales que se requiere para la implementación de las acciones encaminadas a la transición energética, la seguridad alimentaria, el desarrollo de la industria asociada a dicha transición, la infraestructura necesaria para mejorar la competitividad del país y el mejoramiento de la calidad de vida de los colombianos; bajo este contexto, resulta relevante que el país amplíe la generación de conocimiento geológico minero para los minerales estratégicos que se establezcan, para caracterizar el potencial minero existente en el territorio nacional.</p> <p>Se busca que la exploración, extracción, beneficio y transformación de los recursos minerales de los colombianos redunde en el desarrollo de encadenamientos productivos, e impacte efectivamente en el corto y mediano plazo el índice de necesidades básicas insatisfechas de las regiones donde se desarrollan los proyectos mineros, gracias a la focalización de los esfuerzos y recursos hacia la identificación, valoración y aprovechamiento del potencial de minerales estratégicos para el desarrollo del país.</p> <p>Este lineamiento se orienta entonces a disponer de los minerales estratégicos necesarios para que el país acelere la transición energética para incrementar la generación de energías a partir de fuentes limpias (eólica, solar, geotermia, entre otras).</p>
<p>Existencia de ambientes geológicos favorables y priorización de la investigación</p>	<p>Las prioridades en el establecimiento de los minerales estratégicos para el país se centran en la implementación de acciones para la búsqueda de una economía baja en carbono que permita modificar la matriz energética hacia formas de producción de energías limpias, reduciendo la dependencia de fuentes de generación térmica a partir de carbón y gas natural, proceso para el cual se requiere disponer del conocimiento geo-científico sobre la existencia de potencial para los minerales que deben soportar los requerimientos que un proceso como el señalado, van a demandar en el mediano plazo, y de un desarrollo industrial focalizado en la producción de los insumos que son necesarios para facilitar y garantizar la implementación de las políticas públicas previstas en materia de modificación de la matriz energética hacia fuentes de generación de energías limpias no convencionales.</p> <p>Este lineamiento busca igualmente, responder a la necesidad de asegurar la disponibilidad de información geo-científica y de acciones de promoción del aprovechamiento del potencial minero que permitan determinar la existencia o presencia en el territorio nacional de los minerales necesarios para asegurar la soberanía y seguridad alimentaria, de tal forma que las acciones conjuntas de explotación, beneficio, transformación y aprovechamiento de los recursos minerales disponibles permitan en el mediano y largo plazo el mejoramiento de las condiciones de vida de los colombianos.</p>

LINEAMIENTO APROBADO	ALCANCE DEL LINEAMIENTO
<p>Demanda de minerales para la transición energética</p>	<p>Este lineamiento se focaliza en la importancia de los minerales para el desarrollo e implementación de tecnologías y procesos relacionados con la transición energética.</p> <p>Para cumplir los objetivos tanto de cambio climático (1,5°C - 2,0°C o inferior cada año) del Acuerdo de París, como los Objetivos de Desarrollo Sostenible - ODS, en especial el objetivo N° 7. <i>Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna</i>, es necesario disminuir las emisiones de carbono y una forma de hacerlo es a través de la adopción de tecnologías de energía limpia, ya que las emisiones generadas por estas sólo representan una fracción (6%) de las emisiones generadas por las tecnologías basadas en combustibles fósiles.</p> <p>De acuerdo con el Banco Mundial, la fabricación de las tecnologías de energía limpias implica el uso de un mayor número de minerales frente a la generación de energía basada en combustibles fósiles, lo que conducirá a nuevas oportunidades y beneficios para los países que cuenten con el recurso y la capacidad de explotación de estos minerales, por un aumento en la demanda global. De esta manera, la demanda de estos minerales para la transición energética estará determinada por el ritmo de fabricación de paneles solares, turbinas eólicas, vehículos eléctricos, redes eléctricas y baterías, entre otros, de acuerdo con las necesidades del mercado.</p> <p>La Agencia Internacional de Energía – IEA por sus siglas en inglés, ha identificado un grupo de minerales esenciales para la transición energética, entre los que se encuentran: cobre, litio, níquel, manganeso, cobalto, grafito, cromo, molibdeno, zinc, tierras raras y silicio. Así mismo, la IEA señala el aporte de estos minerales en el transporte, a través de la elaboración de vehículos eléctricos y en la generación de energía, a través del tipo de tecnología para la producción. De esta manera, para la elaboración de los vehículos eléctricos se necesitan, entre otros, los siguientes minerales: cobre, litio, níquel, manganeso, cobalto, grafito y tierras raras. Por otro lado, para la generación de energía, el uso de minerales cambia de acuerdo con el tipo de producción y tecnología. En ese sentido, se destaca que la energía eólica fuera de costa es la que usa una mayor diversidad de minerales, entre los que se encuentran: cobre, níquel, manganeso, cromo, molibdeno, zinc y tierras raras. Las otras fuentes de generación utilizan varios de los mismos minerales mencionados anteriormente, y agregan en algunos casos otros como el silicio y el cobalto, manteniendo el cobre en todos los casos.</p>
<p>Demanda de minerales para la seguridad alimentaria</p>	<p>El impacto del cambio climático y las situaciones de crisis económica influyen en la disponibilidad y precio de los alimentos. Así mismo, la producción agrícola y pecuaria en nuestro país presenta una alta dependencia de insumos y fertilizantes importados. Sumado a lo anterior, las tensiones comerciales y las condiciones financieras derivadas del conflicto entre Rusia y Ucrania, pusieron en mayor evidencia la vulnerabilidad de Colombia en materia de la cadena de abastecimiento de fertilizantes. Entre otros, fosfatos, minerales de potasio, azufre y magnesio son algunos de los principales insumos para la fabricación de fertilizantes, por lo cual, su disponibilidad y precio impactan directamente en la estructura de costos de producción de los alimentos en nuestro país.</p>
<p>Demanda de minerales para el desarrollo industrial y de la infraestructura pública</p>	<p>Considerando que el sector minero ha sido fundamental para el desarrollo de la infraestructura del sistema de transporte del país, aportando los materiales y minerales necesarios en el proceso de construcción de la red vial primaria, secundaria y de vías terciarias, fundamentales para garantizar el transporte de alimentos cultivados en los campos hasta los centros de consumo, así como la conectividad terrestre con los grandes puertos ubicados en el caribe y pacífico colombiano, este lineamiento se orienta a implementar acciones que permitan que el país disponga de los minerales y materiales necesarios para el desarrollo de la industria asociada a la transición energética, y al desarrollo de la infraestructura pública que requiere el país para su desarrollo.</p> <p>Si bien Colombia ha venido avanzando en la consolidación de políticas públicas enfocadas a garantizar que los proyectos de infraestructura se articulen con las políticas de mitigación de cambio climático y de esta forma asegurar que los nuevos proyectos de obras civiles sean ambientalmente sostenibles, conforme con los lineamientos establecidos en el CONPES 4060 “<i>Política para el Desarrollo de Proyectos de Infraestructura de Transporte Sostenible: Quinta Generación de Concesiones</i>”, así como en el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible ODS aplicables al sector de infraestructura (ODS 9 industria, innovación e infraestructura, ODS 13 acción por el clima, etc.), aún se presentan cuellos de botella que deben ser resueltos con el fin de avanzar en la consolidación de un sistema de transporte terrestre que dinamice en primera instancia el comercio interno colombiano y se consoliden los procesos de logística y conectividad con el resto del mundo.</p>

LINEAMIENTO APROBADO	ALCANCE DEL LINEAMIENTO
Minerales para el autoabastecimiento	Este lineamiento busca focalizar esfuerzos en la generación de conocimiento geológico minero para identificar el potencial existente en el territorio nacional para minerales que hoy día no son producidos en el país, presentan importaciones significativas o arrojan una balanza comercial deficitaria, entendida como un mayor volumen de importaciones respecto de las exportaciones realizadas en el mismo período.
Minerales para promover la asociatividad	Este lineamiento busca identificar los minerales que, en el marco de una economía baja en carbono y focalizada en acelerar la transición energética, disponen de las condiciones necesarias para promover y consolidar esquemas asociativos que permitan un aprovechamiento racional de los recursos minerales de propiedad del Estado y el mejoramiento de las condiciones de vida de las comunidades mineras.

Fuente: construcción propia.

1.1. Listado preliminar de minerales estratégicos

En el documento “*Lineamientos para el establecimiento de minerales estratégicos en Colombia (ANM; 2023)*”, el cual es parte integral del Acuerdo 01 del 10 de julio de 2023 del Consejo Directivo de la Agencia Nacional de Minería (ANM), se propuso un listado preliminar de minerales estratégicos como punto de partida para llevar a cabo los análisis que permitan determinar los nuevos minerales estratégicos.

Tabla 2. Listado preliminar de minerales estratégicos para el país

Listado Preliminar de Minerales Estratégicos	
Carbón metalúrgico Cobre Coltán (Niobio & Tantalio) Fosfatos Hierro Magnesio Metales del Grupo del Platino (Platino, Paladio, Rutenio) Oro y minerales asociados Potasio Uranio (& otros minerales radioactivos)	Establecidos como minerales estratégicos en la Resolución MME 180102 de 2012
Arenas silíceas (Silicio) Bauxita (Aluminio) Cobalto Grafito Litio Níquel Tierras raras Azufre Caliza Esmeraldas Manganeso Materiales de construcción (arenas, gravas y arcillas) Molibdeno	No incluidos en la Resolución MME 180102 de 2012

Listado Preliminar de Minerales Estratégicos	
Titanio Tungsteno Vanadio Yeso Zinc	No incluidos en la Resolución MME 180102 de 2012

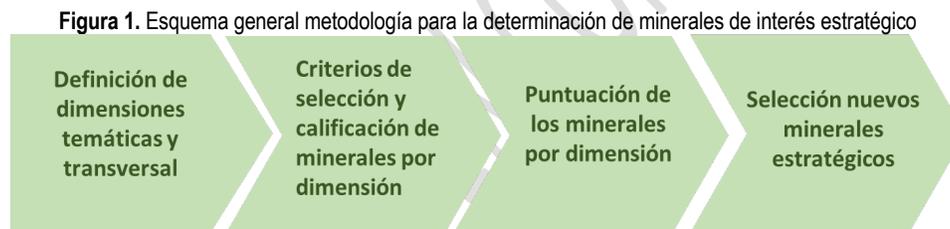
Fuente: construcción propia a partir de datos en la Resolución MME 180102 de 2012.

Nota: se aclara que en desarrollo del documento los siguientes minerales hacen referencia a:

- Oro: Oro (Au) y metales asociados.
- Fosfatos: Fosforita o roca fosfórica y roca fosfática.
- Silicio: Arenas silíceas
- Aluminio: Minerales de aluminio, bauxita, corindón, hidrargirito, diásporo y criolita.
- Materiales de construcción: Arenas, gravas y arcillas.
- Tungsteno: Wolframio (W).
- Uranio: Uranio (U) y otros minerales radiactivos.
- Platino: Elementos del grupo del platino (EGP), rutenio (Ru), rodio (Rh), paladio (Pd), osmio (Os), iridio (Ir) y platino (Pt).

2. METODOLOGÍA PARA LA APLICACIÓN DE LOS LINEAMIENTOS

Para la aplicación de los lineamientos definidos por el Consejo Directivo de la Agencia Nacional de Minería se diseñó y empleó la siguiente metodología:



Fuente: construcción propia.

En el marco de esta metodología, un mineral será seleccionado como estratégico en función de la puntuación obtenida en la dimensión transversal y en las dimensiones temáticas que le sean aplicables, lo que permitirá que los minerales seleccionados, además de ser la base para garantizar la soberanía en el abastecimiento de la demanda interna de minerales, se proyecten como los insumos necesarios para el desarrollo de la industria nacional, la infraestructura y el sector agrícola. Así mismo, a través de la determinación de los minerales de interés estratégico se buscará impulsar la creación de esquemas asociativos para promover la formalización del sector minero colombiano, lo que se reflejaría en mejores condiciones económicas, técnicas y ambientales en las actividades llevadas a cabo en el marco de la pequeña minería en el país.

Además, con el fin de incorporar en el análisis las tendencias globales frente a la demanda de minerales en el mediano y largo plazo, se incluye la transición energética como un eje fundamental al considerar los insumos para la fabricación de tecnologías e infraestructura bajas en emisiones de carbono, acorde con el cumplimiento de objetivos nacionales e internacionales relacionados. Lo anterior, no solo permitirá evaluar las oportunidades de Colombia para participar en los mercados globales de materias primas, vía exportaciones, ya que también indicará los minerales esenciales para impulsar el desarrollo de la transición energética en el país.

2.1 Definición de dimensiones temáticas y transversal

La selección de los minerales estratégicos se realiza con base en la definición de 7 dimensiones que desarrollan los lineamientos aprobados por el Consejo Directivo de la Agencia Nacional de Minería. Una dimensión es una agrupación de criterios y variables de aspectos relevantes asociados a uno o varios de los lineamientos, cuyo análisis y evaluación conducirá a una puntuación soportada en datos y elementos objetivos.

De las dimensiones establecidas, 6 se denominan temáticas y son las que desarrollan de manera específica los diferentes lineamientos asociados a la política de reindustrialización del país, así como al autoabastecimiento, la formalización del sector minero y la transición energética; mientras que la dimensión de existencia de ambientes geológicos favorables se cataloga como transversal, para los minerales objeto de análisis, según se detalla más adelante. En algunos casos, una dimensión estará en concordancia con uno de los lineamientos definidos anteriormente, mientras que en otros casos varias dimensiones impactarán un mismo lineamiento.

Dimensión transversal:

- Existencia de ambientes geológicos favorables y priorización de la investigación.

Dimensiones temáticas:

- Desarrollo de la industria asociada a la transición energética.
- Soberanía en el suministro para impulsar la reindustrialización nacional.
- Desarrollo de infraestructura pública.
- Implementación de políticas de formalización de pequeños mineros mediante esquemas asociativos.
- Desarrollo de encadenamientos productivos y reindustrialización.
- Importancia para la fabricación de fertilizantes.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, la dimensión “*Existencia de ambientes geológicos favorables y priorización de la investigación*” se designa con el mismo nombre del lineamiento de “*Existencia de ambientes geológicos favorables y priorización de la investigación*”. Entre tanto, a manera de ejemplo, la dimensión de Desarrollo de la industria asociada a la transición energética relaciona los lineamientos de “*Demanda de minerales para la transición energética*” y “*Demanda de minerales para el desarrollo industrial*”; otro caso similar es el de la dimensión “*Importancia para la fabricación de fertilizantes*” que apunta a los lineamientos “*Demanda de minerales para la seguridad alimentaria*” y “*Minerales para el autoabastecimiento*”.

Es de anotar que, para el desarrollo del análisis en el documento, la dimensión de “*Existencia de ambientes geológicos favorables y priorización de la investigación*” se maneja de forma transversal, ya que permite identificar el grado de conocimiento geocientífico que se tiene sobre los recursos minerales. Por lo tanto, la puntuación de los minerales en cada dimensión temática se compara con la puntuación de la existencia de ambientes geológicos favorables, con el fin de señalar en cuáles existiría una mayor viabilidad para la exploración y en cuáles se deberían aunar esfuerzos para incrementar el conocimiento geocientífico (ver anexos 1 al 8).

Además, es importante mencionar que los minerales estratégicos orientan en gran medida la asignación de los recursos del Sistema General de Regalías para conocimiento y cartografía geológica del subsuelo, de acuerdo

con lo establecido en el artículo 15 de la Ley 2056 de 20205, razón por la cual, su determinación se relaciona con la posibilidad de disponer de información oficial generada o aportada por el Servicio Geológico Colombiano, como entidad encargada de producir la información geo-científica y cartográfica oficial en el país.

En la siguiente tabla se establece la relación entre las dimensiones que se desarrollan en el documento y los lineamientos definidos previamente.

Tabla 3. Dimensiones a desarrollar según lineamientos aprobados

		LINEAMIENTOS APROBADOS						
		Demanda de minerales para la transición energética	Demanda de minerales para el desarrollo industrial y de la infraestructura pública	Demanda de minerales para la seguridad alimentaria	Minerales para el autoabastecimiento	Soberanía del Estado colombiano sobre los recursos minerales de propiedad estatal	Minerales para promover la asociatividad	Existencia de ambientes geológicos favorables y priorización de la investigación
DIMENSIONES TEMÁTICAS	Desarrollo de la industria asociada a la transición energética							
	Desarrollo de infraestructura pública							
	Importancia para la fabricación de fertilizantes							
	Soberanía en el suministro para impulsar la reindustrialización nacional							
	Desarrollo de encadenamientos productivos y reindustrialización							
	Implementación de políticas de formalización de pequeños mineros mediante esquemas asociativos							
DIMENSIÓN TRANSVERSAL	Existencia de ambientes geológicos favorables y priorización de la investigación							

Fuente: construcción propia. El color verde oscuro señala las dimensiones relacionadas con cada lineamiento.

2.2 Criterios de selección y calificación de minerales por dimensión

⁵ **ARTÍCULO 15. CONOCIMIENTO Y CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DEL SUBSUELO.** El conocimiento y cartografía geológica del subsuelo, como actividad del ciclo de las regalías, deberá estar orientado principalmente al desarrollo de actividades de investigación con el objeto de obtener, complementar y profundizar el conocimiento del potencial del país en los recursos naturales no renovables del suelo y del subsuelo colombiano.

Una vez definida la dimensión transversal y las dimensiones temáticas, se establecen criterios y variables propias para cada dimensión, las cuales permiten llevar a cabo una clasificación de los minerales relevantes para cada una de ellas.

Por otro lado, una vez se establecen los criterios y variables es necesario realizar una aproximación para cuantificar los resultados, de modo que a cada mineral se le pueda otorgar una puntuación. En este sentido, se realiza una clasificación de cada mineral en un rango de 1 a 5, en el que 1 significa “bajo” y por lo tanto el mineral no es muy relevante para la dimensión, mientras que 5 significa “alto”, señalando que el mineral es muy importante para la dimensión.

La siguiente tabla señala los rangos y la puntuación correspondiente.

Tabla 4. Rango y puntuación para los minerales preliminares que resultan estratégicos para el país, según cada dimensión

RANGO	PUNTUACIÓN
Bajo	1
Bajo medio	2
Medio	3
Medio alto	4
Alto	5

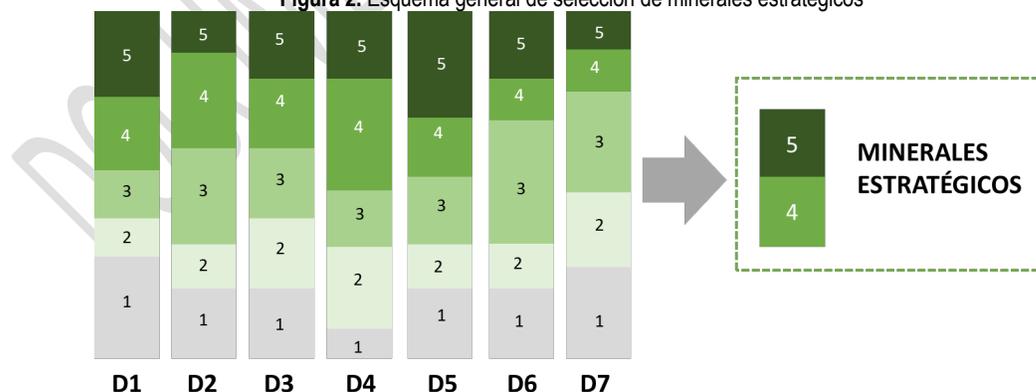
Fuente: construcción propia.

Después de obtener la puntuación para cada uno de los minerales en cada dimensión, se seleccionan aquellos minerales que se consideraron relevantes al obtener una puntuación superior a 4 (rangos medio alto y alto).

Para la selección final de los minerales estratégicos, se realiza una comparación de los resultados obtenidos en cada una de las 7 dimensiones **y se escogen aquellos que se encuentran ubicados entre la franja de puntuación 4 y 5 (rangos medio alto y alto) en la dimensión transversal, y en por lo menos una dimensión temática.** Estos resultados se pueden observar en la Tabla 27.

En el siguiente gráfico se muestra el proceso de forma ilustrativa:

Figura 2. Esquema general de selección de minerales estratégicos



Fuente: construcción propia. D1 a D7 hace referencia de forma ilustrativa a las dimensiones temáticas y transversal.

3. DEFINICIÓN DE CRITERIOS Y VARIABLES POR CADA DIMENSIÓN

A continuación, se desarrollan los criterios y variables que permitirán seleccionar los minerales presentes en cada dimensión y determinar su respectiva puntuación.

3.1 DIMENSIÓN TRANSVERSAL - Existencia de ambientes geológicos favorables y priorización de la investigación

La existencia de ambientes geológicos favorables es una dimensión esencial en la definición de minerales estratégicos para Colombia, ya que permite visualizar las posibilidades de suministro de los minerales primordiales para la transición energética, la seguridad alimentaria, el desarrollo industrial, la infraestructura pública, el autoabastecimiento y la promoción de la asociatividad como ejes claves para el desarrollo del país.

El desarrollo de esta dimensión permitirá identificar el grado de conocimiento técnico y científico con el que cuenta la nación, entendiendo las investigaciones geológicas como cruciales para determinar los minerales de interés estratégico, de acuerdo con los lineamientos definidos para tal fin.

La definición de los minerales estratégicos necesariamente conllevará a la priorización de investigaciones que permitan identificar áreas con alto potencial mineral, mediante estudios geológicos realizados por parte del Servicio Geológico Colombiano (SGC) y/o por terceros contratados por la Autoridad Minera Nacional para delimitar y declarar Áreas de Reserva Estratégica Minera, de acuerdo con el Art. 20 Ley 1753 de 2015.

Se destaca que el SGC acoge la definición de potencial mineral como la probabilidad para la ocurrencia de depósitos minerales no descubiertos en un área, en función de la favorabilidad para los ambientes geológicos definidos en términos de geología, geofísica y geoquímica (López et al., 2018). La necesidad de priorizar la investigación en estos ambientes geológicos favorables se basa en la importancia económica y estratégica de los minerales para el desarrollo del país, teniendo presente que Colombia posee una geología diversa y compleja que contribuye a la presencia de una amplia gama de minerales fundamentales para diversificar la industria minera y reducir la dependencia de los tradicionalmente explotados sin valor agregado.

La Tabla No. 5 presenta los criterios de evaluación para cualificar y categorizar la escala de existencia de ambientes geológicos favorables para identificar los eventuales minerales de interés estratégico para el país. Así, en la medida que un mineral cuente con mayor conocimiento geocientífico en el país, su puntuación será mayor.

El rango o puntuación más alto obtenido por el mineral en los diferentes criterios de valoración será la calificación otorgada, considerando que el conocimiento técnico es ascendente.

La siguiente señala los criterios de valoración y su respectiva puntuación.

Tabla 5. Criterios para la puntuación y valoración de los minerales estratégicos respecto del lineamiento “Existencia de ambientes geológicos favorables y priorización de la investigación”

CRITERIOS DE VALORACIÓN	RANGO / PUNTUACIÓN					ANEXO
	Bajo Puntuación: 1	Bajo medio Puntuación: 2	Medio Puntuación: 3	Medio alto Puntuación: 4	Alto Puntuación: 5	
Existencia de manifestaciones u ocurrencias del mineral en el país.						1 y 3

Registro de anomalías geoquímicas regionales para el mineral en el Atlas Geoquímico de Colombia del SGC (2020)						2
Existencia de favorabilidad geológica o potencialidades minerales sin categorizar, identificadas en estudios disponibles.						3
Existencia de uno o varios proyectos en etapa de exploración temprana.						4
Identificación de cinturones metalogénicos asociados al mineral, según el Mapa Metalogénico de Colombia - MMC (2020).						5
Existencia de distritos metalogénicos asociados al mineral, en el MMC (2020).						6
Existencia de prospectos del mineral en el país con estudios detallados a fin de determinar su verdadero valor económico.						1 y 4
Existencia de uno o varios proyectos en etapa de exploración intermedia.						4
Existencia de depósitos o yacimientos con recursos y/o reservas del mineral como subproducto o elemento/s secundario, para uno o varios proyectos en el país.						4 y 7
Existencia de uno o varios proyectos en etapa de exploración avanzada.						4
Existencia de depósitos o yacimientos con recursos y/o reservas del mineral como coproducto o elemento/s principal, para uno o varios proyectos en el país.						4 y 7
Registros de explotación del mineral en el país durante 2021 y/o 2022.						8

Fuente: construcción propia acorde con la información en los anexos relacionados. Lo resaltado en color verde oscuro señala los ítems que definen cada rango de puntuación, el color verde claro indica el avance en el conocimiento geocientífico ligado a la puntuación.

A continuación, se describen las características asociadas a cada uno de los rangos que determinan la puntuación:

Bajo (1). Categoría o puntuación más baja asignada a los minerales identificados en el país como manifestaciones u ocurrencias, las cuales corresponden a indicios superficiales del mineral en su forma natural o alterada, localizados en un área objeto de exámenes de interés científico o técnico. Se asocian a indicadores de mineralización que justifican una investigación posterior más amplia (López et al., 2018). En este rango también se encuentran las anomalías geoquímicas identificadas en el Atlas Geoquímico de Colombia, versión 2020, a las que podría asociarse acumulación de minerales asociados con el o los elementos anómalos. Sin embargo, estas anomalías no necesariamente representan acumulaciones aprovechables de los minerales identificados; para ello se deben realizar otros estudios técnicos que permitan cuantificar volúmenes de mineral.

Bajo - Medio (2). Rango asignado a aquellos minerales con favorabilidades geológicas para su presencia o con potencialidades, sin categorizar, identificadas por el SGC a través de informes diagnósticos, además de documentos técnicos generados por otras entidades tanto públicas como privadas. Dichos informes diagnósticos carecen de la categorización del potencial mineral en rangos altos, medios o bajos y, por tanto, merecen una mayor profundización del conocimiento geo-científico de las áreas estudiadas.

Medio (3). En este rango se ubican los minerales identificados en las primeras fases de búsqueda y evaluación de blancos de exploración, definidos con estudios de potencial mineral determinado con actividades de reconocimiento y prospección. Los proyectos en etapa de exploración temprana presentan levantamientos de información geológica, geoquímica y geofísica que permiten determinar si vale la pena continuar con estudios más detallados, como la exploración del subsuelo. También se asigna este puntaje a los minerales que presentan cinturones metalogénicos identificados en el MMC (2020), los cuales son descritos por el SGC como

una “unidad” predictiva para depósitos no descubiertos que explican, agrupan y distribuyen algunos tipos de depósitos a manera de cinturones o franjas, marcadamente lineales y continuos, con un rango de edad determinada que se relacionan entre sí (López et al., 2018).

Medio - Alto (4). En este rango se encuentran los minerales asociados a Distritos Metalogénicos identificados en el MMC (2020); los distritos corresponden a concentraciones de depósitos minerales, que en general son parte del mismo proceso formador de mineralización y, por tanto, tienen una relación genética que permite que estén bien delimitados cartográficamente (Sepúlveda et al., 2020). Dentro de este rango también se encuentran los prospectos minerales en vía de ser categorizados como depósitos o yacimientos, pero que aún no confirman la presencia de recursos minerales significativos, de acuerdo con proyectos de exploración en etapa intermedia, que sugieren que hay un interés continuo en la búsqueda de nuevos recursos minerales.

Adicionalmente, en este rango se pueden encontrar los elementos químicos y minerales de carácter secundario o definidos como subproductos minerales de depósitos o yacimientos declarados. Los depósitos se definen como concentraciones naturales de sustancias minerales útiles; las cuales, bajo circunstancias favorables pueden ser extraídas con beneficios económicos⁶. En consecuencia, los depósitos cuentan con recursos minerales en cantidades y calidades razonables para una eventual explotación minera económicamente rentable.

Alto (5). Este rango y puntuación se otorgan a minerales presentes en proyectos en etapa de exploración avanzada. Estos proyectos cuentan con información técnica detallada, fruto de exhaustivos muestreos, perforaciones profundas y estudios minuciosos de geofísica y geoquímica. Tales investigaciones les permite identificar con precisión los cuerpos mineralizados, evaluando su calidad y cantidad para determinar la viabilidad técnica y económica del yacimiento. Estas características reflejan una elevada confianza en la existencia de recursos minerales primarios o coproductos asociados.

Los *recursos minerales* pueden ser del tipo inferido, indicado o medido, clasificaciones que dependen del nivel de confianza de la información técnica disponible para definir la cantidad, calidad, densidad, forma y características físicas del depósito, datos que deben soportar la planeación minera detallada y la evaluación final de la viabilidad económica. Los minerales en rango alto también pueden hacer parte de los *recursos* medidos y/o indicados de su parte económicamente explotable, llamada *reserva mineral* y definida apropiadamente por estudios de Pre-Factibilidad o Factibilidad, que incluyen la aplicación de *factores modificadores* que afectan la extracción mineral, tales como: factores mineros, de procesamiento, metalúrgicos, económicos, de mercado, legales, medioambientales, de infraestructura, sociales y gubernamentales⁷.

Con esta puntuación también se identifican los minerales sobre los que se reporta explotación en el país asociada al pago de regalías, lo cual demuestra la existencia de recursos explotables y un entorno propicio para la minería. Se da la mayor valoración a este criterio porque refleja la viabilidad económica de la actividad minera.

⁶ Glosario Técnico Minero, Ministerio de Minas y Energía (2003).

<https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/glosariominero.pdf>

⁷ Un Recurso Mineral es una concentración u ocurrencia de un material sólido con interés económico, en o sobre la corteza terrestre, de tal forma, cantidad, tenor o calidad, que hay perspectivas razonables para una eventual extracción económica. La ubicación, cantidad, calidad, continuidad y otras características geológicas de un Recurso Mineral son conocidas, estimadas o interpretadas a partir de evidencias y conocimientos geológicos específicos, incluyendo el muestreo”. En: Estándar Colombiano para el reporte público de Resultados de Exploración, Recursos y Reservas Minerales (2018).

https://www.anm.gov.co/sites/default/files/ecrr_espanol_version_final.pdf

En la siguiente tabla se consolida la información disponible por mineral, en desarrollo de la dimensión transversal “Existencia de ambientes geológicos favorables y priorización de la investigación”, además del puntaje asignado en la dimensión a cada uno de los minerales identificados preliminarmente. Como se mencionó anteriormente, el puntaje asignado a cada mineral corresponde al criterio con mayor puntuación según los criterios de valoración definidos en la Tabla No.5:

Tabla 6. Consolidación información disponible por mineral y puntaje asignado en la dimensión “Existencia de ambientes geológicos favorables y priorización de la investigación”

MINERALES DE:	INFORMACIÓN SOBRE AMBIENTES GEOLÓGICOS FAVORABLES (Ocurrencias/manifestaciones/prospectos y depósitos)	PUNTAJACIÓN
Litio	<ul style="list-style-type: none"> Se registran anomalías geoquímicas regionales para el mineral en el Atlas Geoquímico de Colombia SGC (2020). Existe favorabilidad geológica para litio, de acuerdo con estudios disponibles. 	2
Cobre	<ul style="list-style-type: none"> Existen manifestaciones u ocurrencias minerales en el país. (MMC 2020). Se registran anomalías geoquímicas regionales para el mineral en el Atlas Geoquímico de Colombia SGC (2020). Existe favorabilidad geológica de acuerdo a estudios disponibles Se han identificado 7 cinturones metalogénicos para cobre en el país. Se han identificado varios distritos metalogénicos para cobre en el país. Se han identificado varios prospectos y depósitos para el mineral en el país. Se cuenta con varios proyectos mineros en etapa de exploración intermedia y avanzada. Se han estimado recursos y reservas para varios proyectos cupríferos en el país, como mineral principal y secundario. Se explota el mineral por lo menos en un proyecto minero a mediana escala, en el país. Se presentan pequeñas, artesanales e intermitentes explotaciones de minerales de cobre en los municipios de San Diego y La Paz, departamento del Cesar. 	5
Níquel	<ul style="list-style-type: none"> Existen manifestaciones u ocurrencias minerales en el país (MMC 2020) y cuerpos ultramáficos reportados en Antioquia y Chocó. Se registran anomalías geoquímicas regionales para el elemento químico en el Atlas Geoquímico de Colombia SGC (2020). Existe favorabilidad geológica establecida en estudios disponibles. Se ha identificado el Cinturón Ofiolítico de Ni – Fe – Co del Cretácico Se han identificado varios prospectos y depósitos para el mineral en el país. Existencia de depósitos o yacimientos con recursos y/o reservas del mineral como coproducto (co-product) o elemento/s principal, para uno o varios proyectos en el país. Registro de explotación del mineral en el país. 	5
Cobalto	<ul style="list-style-type: none"> Se registran anomalías geoquímicas regionales para el mineral en el Atlas Geoquímico de Colombia SGC (2020). Existe favorabilidad geológica establecida en estudios disponibles. Se ha identificado el Cinturón Ofiolítico de Ni – Fe – Co del Cretácico. El mineral puede ser obtenido como subproducto en menas polimetálicas. 	3
Grafito	<ul style="list-style-type: none"> Existen manifestaciones u ocurrencias minerales en el país. (MMC 2020). Existe favorabilidad geológica establecida en estudios disponibles Se registró explotación del mineral en el país asociada al pago de regalías en el año 2019, sin embargo, como no hay registros de explotación en el 2021 y 2022 no se tiene en cuenta para la valoración. 	2
Uranio	<ul style="list-style-type: none"> Existen manifestaciones u ocurrencias minerales en el país. (MMC 2020). Se registran anomalías geoquímicas regionales para el mineral en el Atlas Geoquímico de Colombia SGC (2020). Existe favorabilidad geológica establecida en estudios disponibles. Se registran mineralizaciones en el país. Se cuenta con un proyecto minero en etapa de exploración avanzada. Se cuenta para un proyecto con recursos indicados e inferidos, publicados. 	5
Tierras raras	<ul style="list-style-type: none"> Se han documentado ocurrencias o manifestaciones de minerales de tierras raras en varios departamentos del país. 	4

MINERALES DE:	INFORMACIÓN SOBRE AMBIENTES GEOLÓGICOS FAVORABLES (Ocurrencias/manifestaciones/prospectos y depósitos)	PUNTUACIÓN
	<ul style="list-style-type: none"> Se registran anomalías geoquímicas regionales para los elementos de interés de REE, en el Atlas Geoquímico de Colombia SGC (2020). Existe favorabilidad geológica establecida en estudios disponibles. Se cuenta con un proyecto en etapa de exploración avanzada que incluye algunos elementos de tierras raras como subproductos. Se cuenta con estimativos de recursos de Ytrio y Neodimio como subproductos, para un proyecto minero. 	
Zinc	<ul style="list-style-type: none"> Existen manifestaciones u ocurrencias minerales en el país. (MMC 2020). Se registran anomalías geoquímicas regionales para el elemento químico en el Atlas Geoquímico de Colombia SGC (2020). Se cuenta con estimativos de recursos de zinc como subproducto, para un proyecto minero. Se registró explotación del mineral en el país asociada al pago de regalías en el 2022. 	5
Molibdeno	<ul style="list-style-type: none"> Existen manifestaciones u ocurrencias minerales en el país. (MMC 2020) Se registran anomalías geoquímicas regionales para el elemento químico en el Atlas Geoquímico de Colombia SGC (2020). Se tiene identificado el Cinturones Metalogénicos Pórfido Epitermal de Cu-Mo(-Au) del Eoceno. Existencia de depósitos o yacimientos con recursos y/o reservas del mineral como subproducto. 	4
Coltán (Niobio & Tantalio)	<ul style="list-style-type: none"> Existen manifestaciones u ocurrencias minerales en el país. (MMC 2020) Se registran anomalías geoquímicas regionales para el mineral en el Atlas Geoquímico de Colombia SGC (2020). Se han identificado algunos depósitos de placeres en el territorio nacional. Se registró explotación del mineral en el país asociada al pago de regalías en el 2020, sin embargo, como no hay registros de explotación actuales no se tiene en cuenta para la valoración. 	4
Oro	<ul style="list-style-type: none"> Existen manifestaciones u ocurrencias minerales en el país. (MMC 2020) Se registran anomalías geoquímicas regionales para el mineral en el Atlas Geoquímico de Colombia SGC (2020). Existe favorabilidad geológica establecida en estudios disponibles. Se han identificado varios prospectos y depósitos para el mineral en el país. Se cuenta con varios proyectos mineros en etapa de exploración avanzada e intermedia. Se han identificado 5 cinturones metalogénicos para Au y 3 para Cu-Au, en el país. Se han identificado varios distritos metalogénicos para oro en el país. Existencia de depósitos o yacimientos con recursos y/o reservas del mineral como coproducto (co-product) o elemento/s principal, para uno o varios proyectos en el país. Se presentan pequeñas explotaciones mineras, explotaciones artesanales y minería de subsistencia(barequeo) en distintas regiones productoras del país. Se registra explotación asociado al pago de regalías 	5
Platino	<ul style="list-style-type: none"> Existen manifestaciones u ocurrencias minerales en el país. (MMC 2020) Se registran anomalías geoquímicas regionales de platino y paladio en el Atlas Geoquímico de Colombia SGC (2020). Se identifica un proyecto minero en Condoto (Departamento de Chocó). Se registra explotación del mineral en el país asociada al pago de regalías. 	5
Hierro	<ul style="list-style-type: none"> Existen manifestaciones u ocurrencias minerales en el país. (MMC 2020) Se registran anomalías geoquímicas regionales para el elemento químico en el Atlas Geoquímico de Colombia SGC (2020). Se han identificado algunos yacimientos, depósitos y prospectos para el mineral en el país. Se ha identificado el Cinturón Ofolítico de Ni – Fe – Co del Cretácico. Existencia de depósitos o yacimientos con recursos y/o reservas del mineral como coproducto (co-product) o elemento/s principal, para uno o varios proyectos en el país. Se registra explotación del mineral en el país asociada al pago de regalías, de tipo oolítico en el distrito metalogénico de Paz del Río desde hace varias décadas 	5

MINERALES DE:	INFORMACIÓN SOBRE AMBIENTES GEOLÓGICOS FAVORABLES (Ocurrencias/manifestaciones/prospectos y depósitos)	PUNTUACIÓN
Manganeso	<ul style="list-style-type: none"> Existen manifestaciones u ocurrencias minerales en el país. (MMC 2020) Se registran anomalías geoquímicas regionales para el elemento químico en el Atlas Geoquímico de Colombia SGC (2020). Se registra explotación del mineral en el país asociada al pago de regalías durante el 2021 y 2022 	5
Carbón metalúrgico	<ul style="list-style-type: none"> Existen manifestaciones u ocurrencias minerales en el país. (MMC 2020) Se tienen identificadas cuatro cuencas carboníferas que incluyen carbón metalúrgico, por lo que se tienen identificados yacimientos para el mineral. Existencia de depósitos o yacimientos con recursos y/o reservas del mineral para uno o varios proyectos en el país. Se registra explotación del mineral en el país asociada al pago de regalías, en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Santander y Norte de Santander. 	5
Fosfatos	<ul style="list-style-type: none"> Existen manifestaciones u ocurrencias minerales en el país. (MMC 2020) Se registran anomalías geoquímicas regionales de P₂O₅ en el Atlas Geoquímico de Colombia SGC (2020). Existe favorabilidad geológica establecida en estudios disponibles. Existencia de depósitos o yacimientos con recursos y/o reservas del mineral para uno o varios proyectos en el país. Se registra explotación de roca fosfórica asociada al pago de regalías en varias zonas del país. 	5
Magnesio	<ul style="list-style-type: none"> Existen manifestaciones u ocurrencias minerales en el país. (MMC 2020) Se registran anomalías geoquímicas regionales de MgO en el Atlas Geoquímico de Colombia SGC (2020). Se registra explotación de magnesita en el país asociada al pago de regalías, para la producción de fertilizantes agrícolas. igualmente, también se registra explotación de dolomita. 	5
Potasio	<ul style="list-style-type: none"> Existencia de manifestaciones u ocurrencias del mineral en el país. Se registran anomalías geoquímicas regionales del elemento en el Atlas Geoquímico de Colombia SGC (2020). Existe favorabilidad geológica establecida en estudios disponibles. 	3
Azufre	<ul style="list-style-type: none"> Se registran ocurrencias del mineral en el país. Se registran algunas anomalías geoquímicas regionales para el elemento en el Atlas Geoquímico de Colombia SGC (2020). Se registró explotación del mineral en el país asociada al pago de regalías hasta el 2017, sin embargo, como no hay registros de explotación actuales no se tiene en cuenta para la valoración. 	2
Aluminio	<ul style="list-style-type: none"> Se registran algunas ocurrencias de bauxita en el país. Se registran anomalías geoquímicas regionales de Al₂O₃ en el Atlas Geoquímico de Colombia SGC (2020). Se registró explotación de Bauxita en el país asociada al pago de regalías hasta el 2021. 	5
Materiales de construcción*	<ul style="list-style-type: none"> * Circunscrito a gravas, arcillas y arenas. Existe favorabilidad geológica establecida en estudios disponibles. Se cuenta con varios proyectos mineros en etapa de explotación, por lo que se registra explotación del de arenas, gravas y material de arrastre en el país asociada al pago de regalías 	5
Silicio	<ul style="list-style-type: none"> Se registran anomalías geoquímicas regionales de silicio (SiO₂) en el Atlas Geoquímico de Colombia SGC (2020). Existe favorabilidad geológica establecida en estudios disponibles. Se registran depósitos en el país. Se registra explotación del mineral (arenas silíceas) en el país asociada al pago de regalías 	5
Titanio	<ul style="list-style-type: none"> Se registran algunas ocurrencias del mineral en el país (ocurrencias de arenas negras titaníferas) Se registran anomalías geoquímicas regionales de TiO₂ en el Atlas Geoquímico de Colombia (SGC 2020). 	1

MINERALES DE:	INFORMACIÓN SOBRE AMBIENTES GEOLÓGICOS FAVORABLES (Ocurrencias/manifestaciones/prospectos y depósitos)	PUNTUACIÓN
Vanadio	<ul style="list-style-type: none"> Se registran anomalías geoquímicas regionales para el mineral en el Atlas Geoquímico de Colombia SGC (2020). Se cuenta con estimación de recursos para un proyecto minero que tiene como mineral principal Uranio. 	4
Tungsteno	<ul style="list-style-type: none"> Se han identificado algunas manifestaciones en concentrados de batea en San Luis (Departamento del Tolima). Se registró explotación de Wolframio en el país asociada al pago de regalías en el 2020, sin embargo, como no hay registros de explotación actuales, no se tiene en cuenta para la valoración. 	1
Caliza (CaCO ₃)	<ul style="list-style-type: none"> Se registran anomalías geoquímicas regionales de CaO en el Atlas Geoquímico de Colombia (SGC 2020). Se registran depósitos en el país. Existencia de depósitos o yacimientos con recursos y/o reservas del mineral para uno o varios proyectos en el país. Se registra explotación del mineral en el país asociada al pago de regalías 	5
Yeso (CaSO ₄ · ½H ₂ O)	<ul style="list-style-type: none"> Se registran algunas ocurrencias del mineral en el país. Se han identificado algunas manifestaciones del mineral. Se registran depósitos en el país. Se registra explotación del mineral en el país asociada al pago de regalías. 	5
Esmeraldas (Be ₃ Al ₂ (SiO ₃) ₆)	<ul style="list-style-type: none"> Se registran algunas ocurrencias del mineral en el país. Se registran anomalías geoquímicas regionales de Berilio (Be) en el Atlas Geoquímico de Colombia (SGC 2020). Se registran depósitos en el país. Se presenta una intensa actividad minera de barequeo. Se han identificado dos cinturones esmeraldíferos en el país [Cinturón Esmeraldífero Occidental (municipios de Muzo, Otanche, San Pablo de Borbur, Maripí, Yacopí y La Palma), y Cinturón Esmeraldífero Oriental (municipios de Gachalá, Ubalá, Macanal y Chivor). Se registra explotación del mineral en el país asociada al pago de regalías. 	5
Cromo	<ul style="list-style-type: none"> Se han identificado ocurrencias y manifestaciones del mineral en el país. Se registran anomalías geoquímicas regionales para el mineral en el Atlas Geoquímico de Colombia SGC (2020). Se ha identificado el Cinturón metalogénico ofiolítico de Cr del Permo-Triásico en el Valle de Aburrá al noroccidente de la Cordillera Central Se ha identificado por lo menos un prospecto en Santa Elena (Antioquia) Se registra explotación del mineral en el país asociada al pago de regalías. 	5

Fuente: construcción propia acorde con información en anexos 1 al 8.

3.2 DIMENSIÓN - Desarrollo de la industria asociada a la transición energética

En esta dimensión se consideró como factor principal de análisis el contexto internacional de los principales minerales que se requerirán para la transición energética, la cual estará determinada tanto por las políticas enfocadas al cambio climático y a la generación de economías con bajas emisiones de carbono, como por el desarrollo de tecnologías, equipos e infraestructura asociados a la transición.

De esta forma, a diferencia de las otras dimensiones trabajadas, el análisis se realizará con base en las estimaciones de demanda internacional de minerales asociados a la transición energética, lo que permitirá considerar las oportunidades del país para participar en los mercados globales de materias primas y de aumentar sus ingresos a través de un mayor crecimiento de las exportaciones relacionadas.

La transición energética será esencial para el desarrollo económico de las naciones y consecuentemente ejercerá presión para una mayor explotación de los minerales requeridos en el proceso. La Organización para

la Cooperación y el Desarrollo Económico⁸ (OCDE) señala que, desde 2010, la cantidad de minerales necesarios para generar energía ha aumentado un 50% y en un escenario neto de cero emisiones se cuadruplicaría esa cantidad. Además, se considera que la transición energética tendrá un alto impacto en la generación de empleos directos e indirectos relacionados con tecnologías renovables y eficiencia energética, frente a los demandados en la industria de combustibles fósiles⁹.

3.2.1 Políticas de Transición Energética

El lineamiento “Demanda de minerales para la transición energética” es consecuente con las políticas del Gobierno Nacional, establecidas en un principio, por la Ley 2099 de 2021 que moderniza la legislación colombiana en términos de transición energética, dinamización del mercado energético a través de la utilización, desarrollo y promoción de fuentes no convencionales, reactivación económica del país y, en general, la definición de normas para el fortalecimiento de los servicios públicos de energía eléctrica y gas combustible.

El documento CONPES 4075 “Política de Transición Energética” tiene como objetivo principal consolidar el proceso de transición energética a través de la formulación e implementación de acciones y estrategias intersectoriales que fomenten el crecimiento económico, energético, tecnológico, ambiental y social del país. El diagnóstico del documento resalta, entre otros problemas, la baja inversión nacional en exploración de minerales estratégicos para la transición energética y su consecuente deficiencia en el conocimiento del potencial geológico del territorio; además, considera las recomendaciones de la Misión de Transformación Energética, las Hojas de Rutas del Hidrógeno y Energía Eólica Costa Afuera, el Plan Energético Nacional 2020 - 2050 (PEN) y la Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica (ENME), entre otras iniciativas y lineamientos¹⁰.

Entre tanto, el Plan Nacional de Desarrollo 2022 - 2026 “Colombia, Potencia Mundial de la Vida” propone grandes transformaciones, entre ellas, la generación de alternativas de desarrollo con energías limpias que transformen la matriz energética del país, a través de una política de transición energética justa, segura, confiable y eficiente.

El Gobierno Nacional proyecta impulsar y acelerar la generación de energías renovables con tecnologías que permitan el desarrollo del potencial eólico, solar, geotérmico, biomásico, entre otras energías no convencionales que impulsen el desarrollo económico del país, esto a partir de una eficiencia energética innovadora que involucre el estudio de minerales estratégicos para la transición. Para ampliar la información de los recursos y reservas minerales y lograr su aprovechamiento, el gobierno nacional adelantará un Plan Nacional de Conocimiento Geocientífico, con el objeto de proveer conocimiento e información geocientífica a escalas adecuadas para la planificación y uso del suelo y el subsuelo, el cuidado y la gestión del agua, la evaluación y monitoreo de amenazas de origen geológico, la investigación y prospección de los recursos minerales estratégicos para la transición energética, la industrialización, la seguridad alimentaria y la infraestructura pública¹¹.

Las políticas energéticas nacionales apuntan a cumplir compromisos y acuerdos internacionales como el objetivo del cambio climático (crecimiento de la temperatura global por debajo de los 2,0°C cada año) del Acuerdo de París y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas, especialmente el

⁸ <https://www.oecd.org/coronavirus/en/data-insights/minerals-critical-to-the-energy-transition>

⁹ McKinsey. *How a post-pandemic stimulus can both create jobs and help the climate*

¹⁰ Documento CONPES 4075 del 29 de marzo de 2022 en

<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/4075.pdf>.

¹¹ Plan Nacional de Conocimiento Geocientífico previsto en el artículo 229 de la Ley 2294 de 2023, por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2022 – 2026.

objetivo # 7 “Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna”; entre otros. Para lograr lo anterior, es necesario disminuir las emisiones de carbono globales y una forma de hacerlo es a través de la adopción de tecnologías de energía limpia, ya que las emisiones generadas por estas sólo representan una fracción (6%) de las emisiones generadas por las tecnologías basadas en combustibles fósiles¹².

3.2.2 Demanda de minerales para la transición energética

De acuerdo con *Standard and Poor's*:

La transición energética se refiere al cambio del sector energético global de sistemas de producción y consumo de energía basados en fósiles - incluidos el petróleo, el gas natural y el carbón - a fuentes de energía renovables como la eólica y la solar, así como a las baterías de iones de litio. (S&P, *What is Energy Transition?*, 2020)¹³

Este cambio estará impulsado por dos principales factores: En primer lugar, por el cumplimiento de los compromisos globales asociados al cambio climático (Acuerdo de París COP21) y a los ODS, lo que impulsará la adopción de políticas a favor de la reducción de emisiones nacionales de carbono; y en segundo lugar, por la reducción de costos en la fabricación de tecnologías asociadas a la transición energética¹⁴, así como por la mayor eficiencia en la generación de energía por parte de las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER).

Con base en lo anterior, en los próximos años se espera un incremento sustancial en la participación de las FNCER, en especial la eólica y la solar, en la generación de energía.

La siguiente figura muestra, de acuerdo con el *Energy Institute*¹⁵, cómo ha sido la evolución del consumo de energía primaria por participación según fuente:

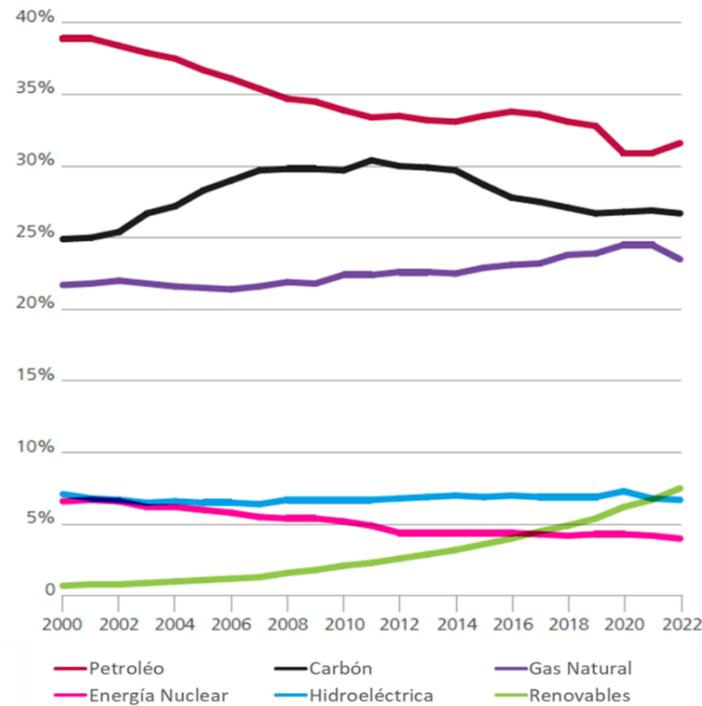
Figura 3. Proporción de consumo energía primaria mundial

¹² World Bank Group. *Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition*.

¹³ Standard and Poor's. *What is Energy Transition?* (2020). <https://www.spglobal.com/en/research-insights/articles/what-is-energy-transition>.

¹⁴ IRENA. *Renewable power generation costs in 2021*.

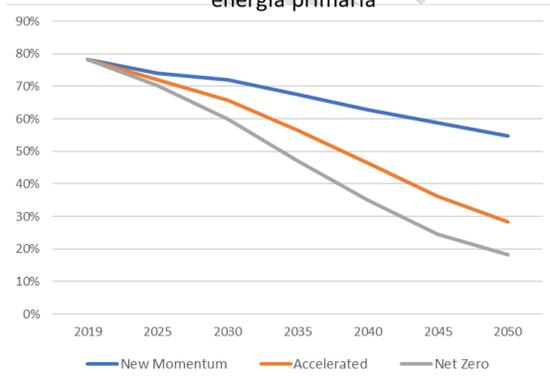
¹⁵ Energy Institute. *Statistical Review of World Energy.2023*



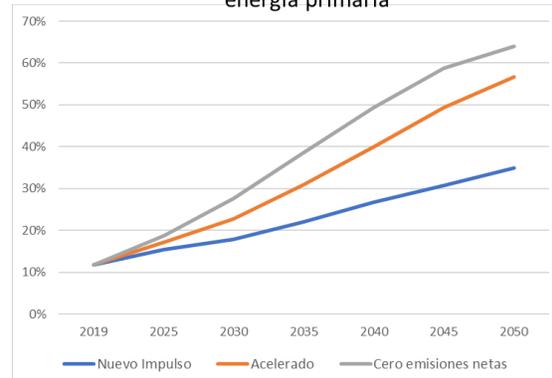
Fuente: *Energy Institute. Statistical Review of World Energy 2023.*

Por otra parte, en la siguiente figura se muestran las proyecciones de las fuentes fósiles y renovables para la energía primaria por participación sobre el total, realizadas por BP¹⁶. Así, de acuerdo con BP para 2050, en un escenario conservador denominado "nuevo impulso", las fuentes de renovables representarán el 34,9% del consumo de energía primaria:

Figura 4. Estimaciones de la participación de los combustibles fósiles y de las renovables en la energía primaria mundial
Combustibles fósiles como proporción de energía primaria



Renovables como proporción de energía primaria



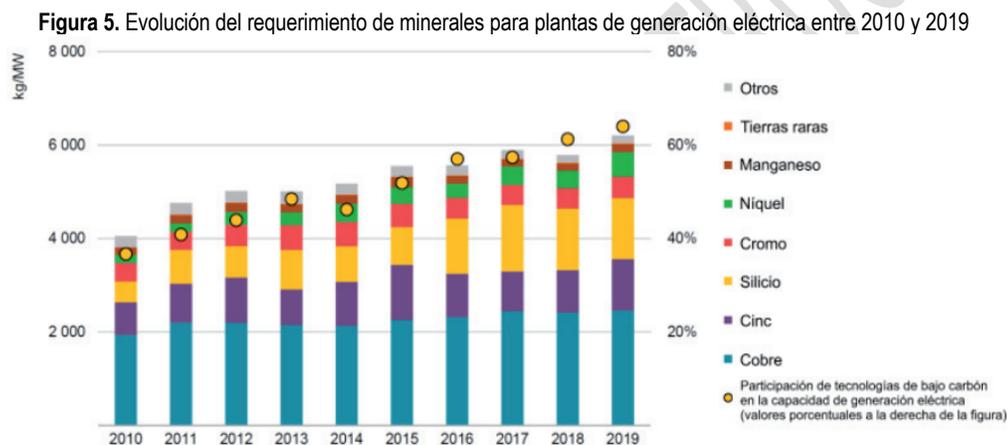
Fuente: tomado de BP. *Energy Outlook 2023*

¹⁶ BP. *Energy Outlook 2023*

De otro lado, de acuerdo con el Banco Mundial¹⁷, “un futuro con bajas emisiones de carbono requerirá una gran intensidad de minerales porque las tecnologías de energía limpia necesitan más materiales que las tecnologías de generación de electricidad basadas en combustibles fósiles”, lo que conducirá a nuevas oportunidades y beneficios para los países que cuenten con el recurso y la capacidad de explotación de estos minerales, por un aumento en la demanda global.

De esta manera, la demanda de los minerales para la transición energética estará determinada por el ritmo de fabricación de tecnologías como: paneles solares, turbinas eólicas, vehículos eléctricos, redes eléctricas y baterías de almacenamiento, entre otros, de acuerdo con las necesidades del mercado.

La siguiente figura tomada de la Agencia Internacional de Energía (IEA por sus siglas en inglés) muestra la evolución ascendente que ha tenido la demanda de algunos minerales para la generación de energía eléctrica entre 2010 y 2019. Además, de acuerdo con lo señalado en la figura 5, se espera que esta tendencia se mantenga, ya que la generación de energía eléctrica por parte de fuentes renovables cada vez tendrá una mayor participación.



Fuente: tomado de IEA 2021

Si bien, instituciones como la IEA o IRENA (Agencia Internacional de las Energías Renovables) han establecido algunos de los minerales esenciales para la transición energética, al determinar su demanda para la construcción de tecnologías bajas en emisiones de carbono como: la generación de energía, los vehículos eléctricos, las baterías de almacenamiento y el hidrógeno verde, entre otros, es importante mencionar que existen diferencias entre la demanda potencial de estos minerales. En este sentido, el Banco Mundial¹⁸ señala que algunos minerales se caracterizan por ser más transversales frente a otros, al ser necesarios en una variedad de tecnologías bajas en carbono; mientras que otros tienen una alta concentración en tecnologías específicas. En el escenario de transversalidad se encuentran minerales como el cobre, el aluminio, el cromo y el molibdeno, entre otros, mientras que en el escenario de uso específico o alta concentración se destacan el litio, el grafito y cobalto, al ser necesarios sólo para una o dos tecnologías.

El Banco Mundial¹⁹ también señala que el hecho de que un mineral tenga una mayor transversalidad se refleja en una demanda más estable, mientras que, por el contrario, si es un mineral con una alta concentración en

¹⁷ Ibid.

¹⁸ Ibid

¹⁹ Ibid

una o dos tecnologías, su demanda podría presentar una mayor incertidumbre debido a las disrupciones tecnológicas.

La siguiente figura de la IEA señala el nivel de uso de algunos minerales en la fabricación de tecnologías asociadas a la transición energética. Como se puede apreciar, mientras el cobre y el aluminio son transversales, ya que se requieren en varias tecnologías, el litio solo tiene una alta concentración en la fabricación de baterías de almacenamiento.

Figura 6. Síntesis del requerimiento de minerales en tecnología de energías limpias

	Cobre	Cobalto	Níquel	Litio	ETR	Cromo	Cinc	EGP	Aluminio
Solar PV	●	○	○	○	○	○	○	○	●
Eólica	●	○	●	○	●	●	●	○	●
Hidroeléctrica	●	○	○	○	○	●	●	○	●
Termosolar	●	○	●	○	○	●	●	○	●
Bioenergía	●	○	○	○	○	○	●	○	●
Geotérmica	○	○	●	○	○	●	○	○	○
Nuclear	●	○	●	○	○	●	○	○	○
Redes eléctricas	●	○	○	○	○	○	○	○	●
Baterías de almacenamiento	●	●	●	●	●	○	○	○	●
Hidrógeno	○	○	●	○	●	○	○	●	●

● = alto ; ● = moderado ; ○ = bajo

Fuente: tomado de IEA 2021.

3.2.3 Selección de minerales en la dimensión “Desarrollo de la industria asociada a la transición energética”

Si bien el desarrollo de la transición energética demandará una amplia diversidad de minerales, es importante hacer una selección de aquellos que se consideran más relevantes, en aras de establecer políticas y programas para su explotación.

Para este análisis se tuvo en cuenta la información suministrada por la IEA en el reporte: *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions (2021)*, en el que se señalan cuáles serán los principales minerales para el desarrollo de tecnologías para la transición energética.

Así, el estudio la IEA suministra los datos de la potencial demanda (en miles de toneladas) por mineral para la fabricación de tecnologías para 2020, 2030 y 2040. Si bien la IEA contempla dos escenarios de demanda de minerales: el escenario de Políticas Declaradas (STEPS por sus siglas en inglés) y el escenario de Desarrollo Sostenible, para este ejercicio se considera solo el de Desarrollo Sostenible, debido a su importancia para el cumplimiento de los objetivos nacionales e internacionales sobre el cambio climático.

La siguiente figura señala, bajo la metodología de la IEA, la demanda de minerales por tecnología. Así mismo, a manera de ejemplo se ilustra para el caso de los paneles solares los minerales requeridos para su desarrollo.

Figura 7. Demanda de minerales por tecnología en el escenario de desarrollo sostenible

GRUPO	TECNOLOGÍA	DEMANDA (miles de ton.)	
		2020	2040
Generación baja en carbono	Solar (PV)	743	1.822
	Eólica	644	1.705
	Hidroeléctrica	81	128
	Biomasa	25	59
	CSP	4	361
	Geotérmica	144	606
	Nuclear	51	68
	Total	1.692	4.749
Vehículos eléctricos y baterías	Vehículos Eléctricos	401	11.803
	Baterías de Almacenamiento	26	847
	Total	426	12.650
Redes eléctricas	Transmisión	5.985	9.326
	Distribución	7.700	16.161
	Trasformación	395	848
	Total	14.932	26.335
Hidrógeno	Electrólisis del agua	0,0	17,5
	FCEV	0,1	61,5
	Total	0,1	79,1

Fuente: elaboración propia con datos IEA 2021.

SOLAR (PV)	DEMANDA (miles de ton.)	
	2020	2040
Arsénico	0,00	6,91
Cadmio	0,20	0,31
Cobre	345,97	989,13
Estaño	0,63	1,78
Galio	0,00	2,77
Indio	0,02	0,07
Otros	0,21	0,58
Plata	1,96	2,33
Plomo	0,61	1,70
Selenio	0,04	0,07
Silicio	389,97	807,53
Telurio	0,21	0,33
Zinc	3,17	8,96
Total	743,0	1.822,4

De acuerdo con la información reportada por la IEA, el mayor consumo de minerales para 2040 se dará en las áreas o tecnologías asociadas a las redes eléctricas como distribución y transmisión de energía, seguido por la fabricación de vehículos eléctricos y luego por la generación de energía baja de carbono, grupo en el que resalta la generación de energía a través de paneles solares y la energía eólica.

Entre tanto, para el caso específico de la fabricación de paneles solares, de acuerdo con la Figura 7, se observa que el cobre, el silicio y el zinc serán los minerales más requeridos. El detalle de los minerales requeridos para cada tecnología se especifica en el Anexo 12.

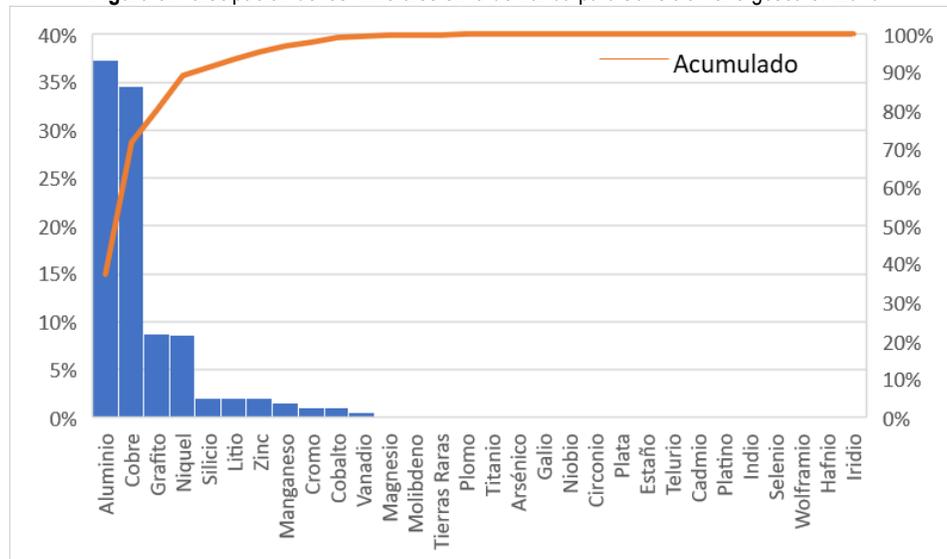
De acuerdo con lo anterior, se realiza el análisis de los minerales estratégicos para la transición energética a través de 3 variables: la participación de cada mineral en la demanda total a 2040, transversalidad en 2040 y variación de la demanda del mineral entre 2020 y 2040. Es de anotar que, para este ejercicio, los minerales de tierras raras se agruparon, dado que en el reporte de la IEA se diferenciaban algunos de los demás. El total del ejercicio contempla 31 minerales.

- **Participación en la demanda en 2040 (grupo 1)**

Para determinar la participación se agrega la demanda potencial por mineral y posteriormente se establece su peso relativo frente a la demanda total de minerales estimada por la IEA para 2040, de 43.812,62 miles de toneladas para el escenario de desarrollo sostenible. El objetivo de esta medición es evaluar cuáles minerales serán los más relevantes al considerar su potencial demanda, para el desarrollo de tecnologías más limpias o sostenibles.

De acuerdo con lo anterior, en la siguiente figura se señala la demanda potencial de minerales de acuerdo con su peso relativo en la demanda total:

Figura 8. Participación de los minerales en la demanda para transición energética en 2040



Fuente: elaboración propia con datos IEA 2021.

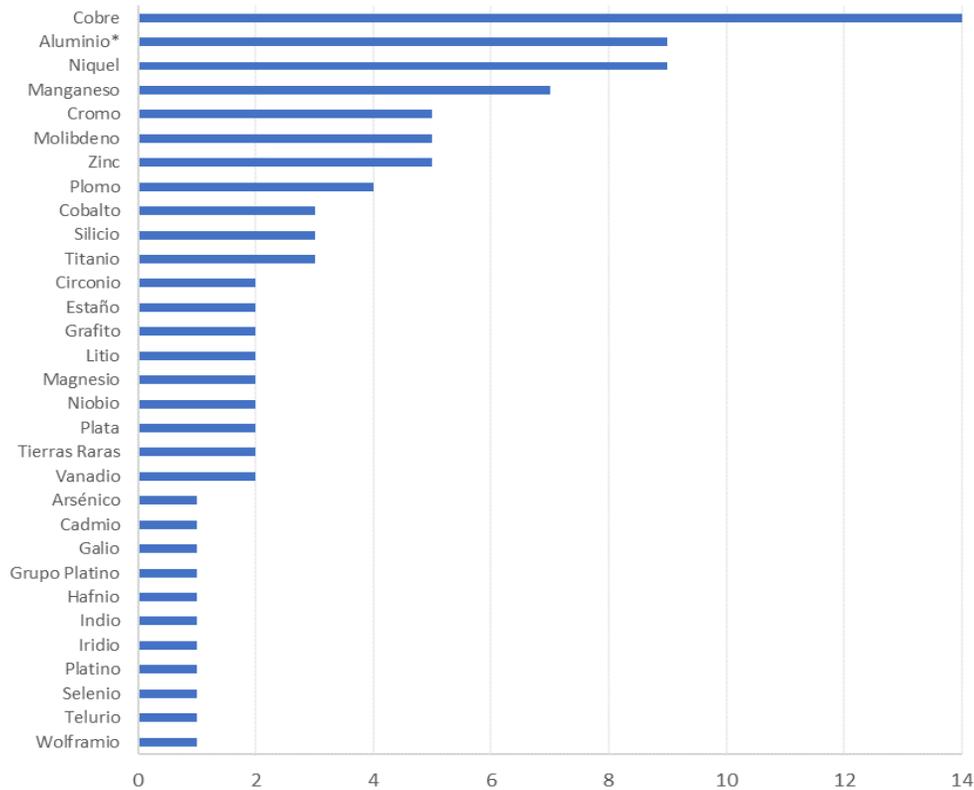
En la gráfica, el eje izquierdo señala la participación por mineral, mientras que el eje derecho muestra la participación acumulada en la demanda total. Así, se observa que para 2040, en el escenario de desarrollo sostenible de la IEA, el aluminio y el cobre son los minerales que tendrán la mayor participación, con el 37,27% y el 34,57% respectivamente. También se destacan minerales como el grafito, el níquel, el silicio, el litio y el zinc, con menores participaciones, entre otros.

- **Transversalidad en 2040 (grupo 2)**

Como se mencionó anteriormente, la información de la IEA discrimina la demanda en 14 tecnologías que están relacionadas con las siguientes áreas: generación de energía baja en carbono, vehículos eléctricos y baterías, redes electricidad e hidrogeno. En este contexto, se observa que algunos de los minerales están más diversificados frente a otros al participar en un mayor número de tecnologías. Este es el caso del cobre, mineral que se utiliza para la construcción de las 14 tecnologías listadas. Como se mencionó previamente, el hecho de que un mineral sea necesario para la elaboración de varias tecnologías mitiga los riesgos sobre la demanda del mismo, ya que la demanda es más estable al estar más diversificada.

En la siguiente figura se muestran los minerales de acuerdo con el número de tecnologías en que son utilizados en la demanda a 2040:

Figura 9. Clasificación de los minerales según transversalidad



Fuente: elaboración propia con datos IEA 2021. Nota: *Cifra de aluminio ajustada.

Como se puede apreciar en la figura, los minerales de cobre, aluminio, níquel, manganeso, cromo, molibdeno y zinc son los que aparecen más veces como insumos para fabricación de tecnologías asociadas a la transición energética.

Es de anotar que en el caso específico del aluminio se realizó un ajuste frente a la información presentada por la IEA para proyecciones de demanda, ya que esa institución solo considera en sus proyecciones el uso del mineral para el desarrollo de 2 tecnologías asociadas a la construcción de redes eléctricas (distribución y transmisión) porque el aluminio está intrínsecamente ligado al cobre en el desarrollo de líneas de cuadrícula; sin embargo, en la misma publicación, la IEA señala la importancia del aluminio en la fabricación de otras tecnologías (paneles solares, energía eólica, hidroeléctrica, termosolar y baterías de almacenamiento, entre otras), como lo señala la figura 3. Teniendo en cuenta esta información, se contabilizó que participa en aproximadamente en nueve (9) tecnologías.

- **Variación demanda del mineral entre 2020 y 2040 (grupo 3)**

Finalmente, la tercera variable de análisis es la variación estimada de cada mineral entre la demanda estimada de 2020 y la demanda proyectada para 2040. Este cálculo permitirá inferir cuáles minerales tendrán el crecimiento más acelerado durante el período mencionado. Además, se espera que algunos de los minerales que podrían tener una alta concentración en tecnologías específicas, como se mencionó anteriormente, se destaquen en este apartado como los más relevantes.

En la siguiente figura se señalan los minerales ordenados por la magnitud de su variación. Para facilidad de visualización, se utilizan rangos relacionados con el número de veces en que se incrementará el mineral tomando como base el año 2020, en lugar de la variación porcentual.



Fuente: elaboración propia con datos IEA 2021

De acuerdo con la figura, minerales como el arsénico, el vanadio, el iridio, el platino y el galio, entre otros, serán los que presenten los mayores incrementos en su demanda para 2040.

- **Ponderación y clasificación final**

Una vez definidos los minerales que más destacan por las tres variables o grupos, se procede a ordenar cada uno de los tres grupos, de mayor a menor. Así, el grupo 1 está encabezado por los minerales con la mayor participación en la demanda total en 2040, el grupo 2 por los minerales con la mayor transversalidad en 2040 y el grupo 3 por los minerales que registrarían el mayor crecimiento entre 2020 y 2040.

Dado que cada grupo está conformado por 31 minerales, se divide cada muestra en 4 categorías de 6 minerales y una de 7. Posteriormente, se procede a asociar cada categoría con un puntaje entre el rango 1 a 5. A la primera categoría, que contiene los 6 minerales mejor calificados de acuerdo con la variable de referencia, se les asigna la puntuación de 5, mientras que, a la última categoría que contiene los 7 minerales peor calificados, se les asigna la puntuación de 1.

Finalmente, se obtiene un promedio ponderado de la puntuación para cada mineral, que refleja la puntuación final y que será la base para la selección de los minerales estratégicos para la transición energética.

Es de anotar que, en la ponderación, la participación para el grupo 1 (participación en la demanda en 2040) fue de 40%; la participación para el grupo 2 (transversalidad en 2040) fue de 40% y la participación para el grupo 3 (variación demanda del mineral entre 2020 y 2040) fue de 20%. La menor participación para el grupo 3 está explicada por los riesgos que se pueden dar para la estabilidad de la demanda del mineral, debido a la alta concentración para la fabricación de pocas tecnologías, como se explicó anteriormente.

La siguiente tabla resume los criterios de puntuación para las variables consideradas:

Tabla 7. Rango y puntuación para los minerales

Dimensión	Rango	Puntuación
Desarrollo de la industria asociada a la transición energética	Bajo	1
	Bajo medio	2
	Medio	3
	Medio alto	4
	Alto	5

Fuente: construcción propia.

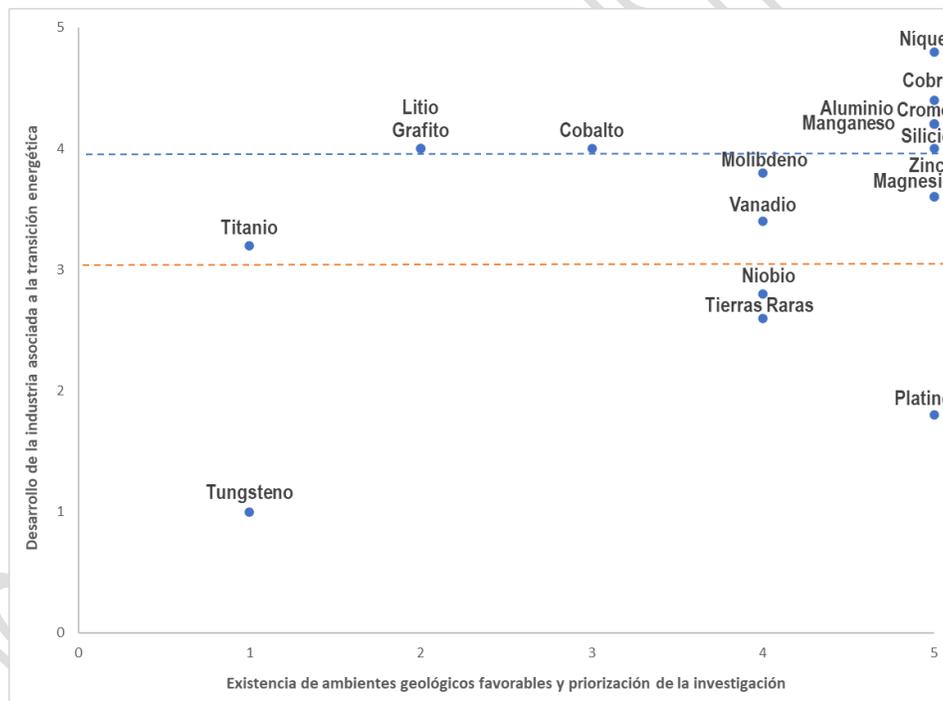
Tabla 8. Puntuación de los minerales identificados preliminarmente, según participación y transversalidad (agregado)

Mineral	Puntaje en cada variable			Promedio*
	% participación demanda a 2040	Transversalidad	Variación % demanda del mineral 2020 -2040	Ponderado
Níquel	5	5	4	4,8
Cobre	5	5	2	4,4
Aluminio	5	5	1	4,2
Cromo	4	5	3	4,2
Manganeso	4	5	3	4,2
Cobalto	4	4	4	4,0
Grafito	5	3	4	4,0
Litio	5	3	4	4,0
Silicio	5	4	2	4,0
Molibdeno	3	5	3	3,8
Magnesio	4	3	4	3,6
Zinc	4	4	2	3,6
Vanadio	4	2	5	3,4
Titanio	3	4	2	3,2
Arsénico	3	2	5	3,0
Circonio	2	4	3	3,0
Galio	3	2	5	3,0
Plomo	3	4	1	3,0
Niobio	2	3	4	2,8
Tierras Raras	3	2	3	2,6

Estaño	2	3	2	2,4
Grupo Platino	1	2	5	2,2
Plata	2	3	1	2,2
Cadmio	2	2	1	1,8
Iridio	1	1	5	1,8
Platino	1	1	5	1,8
Indio	1	1	3	1,4
Telurio	2	1	1	1,4
Selenio	1	1	2	1,2
Hafnio	1	1	1	1,0
Wolframio	1	1	1	1,0

Fuente: construcción propia

Figura 11. Diagrama de selección - "Desarrollo de la industria asociada a la transición energética" vs "Existencia de ambientes geológicos favorables y priorización de la investigación"



Fuente: construcción propia. con datos de las Tablas No. 6 y 8.

Es de anotar que, en la figura, el aluminio se relaciona con bauxita, roca que contiene alta concentración del mineral; para el análisis desarrollado la fuente fue la IEA, en la que se hace referencia al aluminio.

De acuerdo con lo anterior, al implementar la metodología mencionada, 9 minerales se encuentran ubicados entre la franja de puntuación 4 y 5 (rango alto) de las escalas. Estos minerales son: **Níquel, Aluminio (bauxita), Cobalto, Cobre, Cromo, Grafito, Litio, Manganeso y Silicio (arenas silíceas)**, por lo que se recomienda su inclusión en el listado de minerales estratégicos para el país.

De los demás minerales, **Molibdeno, Magnesio y Zinc** son los más cercanos a la franja de puntuación 4 y 5 (rango alto), por lo que se recomienda considerar su inclusión en el listado de minerales estratégicos para Colombia según los resultados obtenidos en las demás dimensiones.

3.3 DIMENSIÓN - Soberanía en el suministro para impulsar la reindustrialización nacional

Con el fin de identificar los principales minerales para el autoabastecimiento, se consideraron datos disponibles sobre minerales que hoy día son explotados en Colombia, de acuerdo con la cuenta satélite minería - balance oferta utilización, balanza comercial del sector minero y datos 2018 - 2022 sobre explotación de minerales e importaciones relacionadas en el país.

La información incluida en las siguientes tablas es la base para la valoración de los minerales identificados preliminarmente, acorde con la escala de puntuación definida para la dimensión y su aplicación en el diagrama de selección:

Tabla 9. Exportaciones, Importaciones y Balanza Comercial 2022 según CIU Rev. 4

CIU	Descripción	Importaciones		Exportaciones	Balanza
		USD Millones FOB	Toneladas métricas	USD Millones FOB	USD Millones FOB
B	Sector minero (sin petróleo y gas)	114,03	69.823,84	10.760,43	10.646,40
05	Extracción de carbón de piedra y lignito	0,94	4.590,82	10.504,60	10.503,66
051	Extracción de hulla (carbón de piedra)	0,71	4.228,86	10.504,60	10.503,89
052	Extracción de carbón lignito	0,23	361,96		- 0,23
07	Extracción de minerales metalíferos	10,76	28.783,50	214,72	203,96
071	Extracción de minerales de hierro	0,01	5,42		- 0,01
072	Extracción de minerales metalíferos no ferrosos	10,75	28.778,08	214,72	203,97
08	Extracción de otras minas y canteras	102,33	36.449,51	41,11	- 61,22
081	Extracción de piedra, arena, arcillas, cal, yeso, caolín, bentonitas y similares	37,90	89.854,50	13,73	- 24,17
082	Extracción de esmeraldas, piedras preciosas y semipreciosas	0,16	27,94	19,39	19,22
089	Extracción de otros minerales no metálicos n.c.p.	64,27	346.567,07	7,99	- 56,27

Fuente: construcción propia a partir de datos DANE sobre importaciones del año 2022. N.C.P.: No Clasificado Previamente.

En la tabla se muestra la balanza comercial de minerales para Colombia del año 2022, identificando mayores importaciones de carbón lignito, minerales de hierro, piedra, arena, arcillas, cal, yeso, caolín, bentonitas y similares, y otros minerales no metálicos n.c.p., que los que se exportan, evidenciando el posible déficit en la explotación nacional de los minerales relacionados para garantizar el autoabastecimiento.

Para identificar el consumo interno de minerales, la información publicada por el DANE en la Cuenta Satélite de Minería permite individualizar la actividad minera relacionada con la extracción de: hulla (carbón), minerales de hierro, oro y otros metales preciosos, piedra, arena, arcillas comunes, yeso y anhidrita, arcillas de uso industrial, caliza, caolín y bentonitas, esmeraldas, piedras preciosas y semipreciosas, minerales como la roca fosfórica para la fabricación de abonos y productos químicos, halita (sal) y otros minerales no metálicos N.C.P.

En la siguiente tabla se relacionan los minerales incluidos en la Cuenta Satélite de Minería del DANE, con datos provisionales para el año 2020, los cuales se encuentran actualizados al 6 de julio de 2022:

Tabla 10. Cuenta Satélite Minería 2020^P - Balance Oferta Utilización

Descripción	Unidad de Medida	Cantidad Explotada	Importaciones	Consumo Intermedio	Exportaciones
Carbón coquizable o metalúrgico	Tonelada	6.896.424		5.200.670	1.695.754
Carbón térmico	Tonelada	54.168.573	78.807	2.346.963	51.900.417
Minerales de hierro	Tonelada	786.559		786.559	
Minerales de oro y sus concentrados	Kilogramo	48.497		541	48.002
Minerales de plata y sus concentrados	Kilogramo	22.691		3.669	19.022
Minerales de platino y sus concentrados	Kilogramo	414			414
Minerales de níquel y sus concentrados	Tonelada	36.094			36.094
Minerales de cobre y sus concentrados	Tonelada	40.465			40.465
Bauxita, minerales de cromo, estaño, manganeso, niobio, tantalio, vanadio o circonio, volframio (tungsteno y sus concentrados) y sus concentrados	Tonelada	19.911	42.417	51.982	10.346
Mármol y travertino en bruto (para construcción)	Metros cúbicos	147.009	3.009	148.898	
Arenas y gravas silíceas, arcilla común (cerámicas, ferruginosas y misceláneas) y piedra pómez	Tonelada	2.460.526	1.473	2.471.347	
Asfalto natural o asfaltita	Tonelada	623.517		617.409	
Arenas, gravas y cantos rodados, caolín y arcillas industriales	Tonelada	35.876.426		35.876.426	
Roca fosfática (en bruto), o fosforita sin moler	Tonelada	82.190		85.268	
Salmueras y sus sales, agua de mar	Tonelada	359.559		359.559	
Roca o piedra caliza en bruto (para construcción)	Tonelada	17.353.865		17.353.865	
Esmeraldas sin tallar	Quilates	74.392		1.605	72.788
Magnesita (o giobertita) de carbonato de magnesio natural, mica en bruto (incluso en laminas), talco pulverizado y dolomita	Tonelada	155.251		141.727	
Feldespatos	Tonelada	134.846	2.120	136.657	650
Yeso Natural	Tonelada	225.779	579.223	804.277	726

Fuente: construcción propia a partir de datos DANE sobre la Cuenta Satélite de Minería del año 2020. P: Datos provisionales actualizados al 06/07/2022.

Con los datos del año 2020 relacionados con la Cuenta Satélite de Minería es posible identificar volúmenes de importación de algunos minerales, que para algunos supera la cantidad explotada en el país, como es el caso del yeso natural y minerales metálicos no ferrosos como la bauxita, minerales de cromo, manganeso y niobio.

Teniendo en cuenta que los datos más recientes disponibles en la cuenta satélite de minería del DANE corresponden a la vigencia 2020, se hace necesario considerar los datos de la vigencia 2022 y el promedio anual de los últimos años, relacionados con el volumen explotado e importado de los minerales identificados preliminarmente. En la siguiente tabla se relaciona la cantidad explotada preliminar del año 2022 y el promedio anual durante el período 2018-2022 con datos al 31 de julio de 2023, y la cantidad importada en Colombia para

cada uno de los minerales listados acorde con las subpartidas arancelaras identificadas y relacionadas en la tabla para los mismos periodos, sin considerar las importaciones relacionadas con manufacturas o productos con mayor valor agregado:

Tabla 11. Cantidad explotada en Colombia de los minerales identificados preliminarmente, e importación de minerales relacionados durante el año 2022^{Pr} y periodo 2018-2022^{Pr}.

Mineral	Unidad de Medida	Cantidad Explotada 2022 ^{Pr}	Cantidad Explotada Promedio Anual (2018-2022)	Cantidad Importada 2022	Cantidad Importada Promedio Anual (2018-2022)	Valor CIF Cantidad Importada 2022 (USD miles)	Subpartida Arancelaria Importación	Descripción Subpartida Arancelaria	Participación en valor total importaciones 2022 (USD 158,64 millones)	Total cantidad disponible. Promedio Anual (2018-2022)	Porcentaje importaciones en cantidad disponible. Promedio Anual (2018-2022)
Litio	Toneladas	0	0	35,40	38,14	1.667,61	2825200000	Oxido e hidróxido de litio	1,05%	46,56	100%
				9,09	8,42	481,87	2836910000	Carbonatos de litio	0,30%		
Cobre	Toneladas	6.917*	8.609*	76,51	72,96	832,07	7403190000	Los demás cobres refinados	0,52%	8.682	0,84%
Níquel	Toneladas	41.815	39.967	91,55	92,59	2.369,78	7502100000	Níquel en bruto	1,49%	40.060	0,23%
Cobalto	Toneladas	0	0	44,36	41,73	3.286,04	8105200000	Matas de cobalto y demás productos intermedios de la metalurgia del cobalto; cobalto en bruto; polvo	2,07%	42	100,00%
Grafito	Toneladas	0	27	469,73	446,45	751,15	2504100000	Grafito natural, en polvo o en escamas	0,47%	795	96,61%
		2019: 135		107,79	322,04	132,54	2504900000	Los demás grafitos naturales	0,08%		
Uranio	Kilogramos	0	0	2,18	10,77	13,52	2844100000	Uranio natural y sus compuestos; aleaciones, dispersiones	0,01%	11	100,00%
Tierras Raras		0	0	0	0	0	2805300000	Metales de las tierras raras, escandio e itrio, incluso mezclados o aleados entre si	0,00%	0	0,00%
Zinc	Toneladas	37,00	7,39	10.437,04	9.744,41	39.641,11	7901110000	Zinc en bruto sin alear, con un contenido de zinc superior o igual al 99,99 % en peso	24,99%	16.411	99,95%
				5.376,72	6.659,12	20.195,05	7901120000	Zinc en bruto sin alear con un contenido de zinc inferior al 99,99 % en peso.	12,73%		
Molibdeno	Kilogramos	0	0	0,04	3,17	0,08	8102940000	Molibdeno en bruto, incluidas las barras simplemente obtenidas por sinterizado	0,0001 %	3	100,00%
Niobio	Kilogramos	0	4.886	1.226,00	48.697,20	40,77	7202930000	Ferroniobio	0,03%	53.583	90,88%
	2020: 94										

Mineral	Unidad de Medida	Cantidad Explotada 2022 ^{Pr}	Cantidad Explotada Promedio Anual (2018-2022)	Cantidad Importada 2022	Cantidad Importada Promedio Anual (2018-2022)	Valor CIF Cantidad Importada 2022 (USD miles)	Subpartida Arancelaria Importación	Descripción Subpartida Arancelaria	Participación en valor total importaciones 2022 (USD 158,64 millones)	Total cantidad disponible. Promedio Anual (2018-2022)	Porcentaje importaciones en cantidad disponible. Promedio Anual (2018-2022)
Tantalio	Kilogramos	0	126.854	0	0,16	0	8103200000	Tantalio en bruto, incluidas las barras simplemente obtenidas por sinterizado; polvo	0,00%	126.854	0,0001%
		2020: 75									
Oro	Toneladas	48,02	45,17	0,00002	0,00448	5,91	7108120000	Oro, incluido el oro platinado, en las demás formas en bruto, para uso no monetario.	0,004%	45,18	0,03%
				0	0,008	0	2616901000	Minerales de oro y sus concentrados	0,00%		
Platino	Kilogramos	466,66	385,39	0	42,43	0	7110110000	Platino en bruto o en polvo	0,00%	443,24	13,05%
				11,16	15,42	282,30	7110210000	Paladio en bruto o en polvo	0,18%		
Cromo	Toneladas	35,37	48,37	769,80	757,98	584,78	2610000000	Minerales de cromo y sus concentrados	0,37%	806,35	94,00%
Fosfatos (Roca Fosfórica)	Toneladas	41.467	57.205	31.563,04	50.342,03	10.916,98	2510200000	Fosfatos de calcio naturales, fosfatos aluminocálcicos naturales y cretas fosfatadas molidos	6,88%	107.547	46,81%
Magnesio (Magnesita)	Toneladas	2.694	1.955	251,10	207,96	1.634,52	8104110000	Magnesio en bruto, con un contenido de magnesio superior o igual al 99.8% en peso	1,03%	2.163	9,61%
Potasio	Toneladas	0	0	4.940,35	4.580,46	9.331,59	2815200000	Hidróxido de potasio (potasa caustica)	5,88%	4.580	100,00%
Azufre	Toneladas	0	0	33.014,34	13.878,84	9.007,39	2503000000	Azufre de cualquier clase, excepto el sublimado, el precipitado y el coloidal	6%	13.879	100,00%
		2017: 1.017									
Hierro	Toneladas	497.481	655.496	9,60	4,18	2,12	7206900000	Hierro y acero sin alear, en otras formas primarias, con exclusión del hierro de la partida 72.03	0,001%	655.516	0,003%
				0	0,52	0	7203100000	Productos féreos obtenidos por reducción directa de minerales de hierro	0,00%		

Mineral	Unidad de Medida	Cantidad Explotada 2022 ^{Pr}	Cantidad Explotada Promedio Anual (2018-2022)	Cantidad Importada 2022	Cantidad Importada Promedio Anual (2018-2022)	Valor CIF Cantidad Importada 2022 (USD miles)	Subpartida Arancelaria Importación	Descripción Subpartida Arancelaria	Participación en valor total importaciones 2022 (USD 158,64 millones)	Total cantidad disponible. Promedio Anual (2018-2022)	Porcentaje importaciones en cantidad disponible. Promedio Anual (2018-2022)
				0	15,00	0	7201100000	Fundición en bruto sin alea con un contenido de fósforo inferior o igual a 0,5 % en peso, en lingote	0,00%		
Aluminio (Bauxita)	Toneladas	0 2021: 28.567	13.972	12.074,14	14.759,19	3.547,25	2606000000	Minerales de aluminio y sus concentrados	2,24%	28.731	51,37%
Carbón Metalúrgico	Millones de Toneladas	1,93 Coque: 4,66	1,69 Coque: 3,88	100 kg	20,4 kg	7,24	270112090	Las demás hullas bituminosas	0,005%	5.572.899**	0,0000004 %
Manganeso	Toneladas	408	280	33,22	7,90	98,67	8111001100	Manganeso en bruto; polvo de manganeso	0,06%	288	2,74%
Silicio (Arenas silíceas)	Metros Cúbicos	245.229	317.525	2.183 toneladas	4.639 toneladas	1.365,24	2505100000	Arenas naturales silíceas y arenas cuarzosas, incluso coloreadas	0,86%	512.679	0,90%
Titanio	Toneladas	0	0	0,80	1,71	41,29	8108200000	Titanio en bruto; polvo de titanio	0,03%	2	100,00%
Vanadio	Kilogramos	0	0	0	0,68	0	2615900000	Los demás minerales de niobio, de tántalo o tantalio, de vanadio y sus concentrados.	0,00%	43	100,00%
				152,70	42,42	25,39	2825300000	Óxidos e hidróxidos de vanadio	0,02%		
Tungsteno (Wolframio)	Kilogramos	0 2020: 750	151	1,72	0,34	6,02	2611000000	Minerales de volframio (tungsteno) y sus concentrados	0,00%	151	0,22%
Materiales de Construcción (gravas, arcillas y arenas)	Millones de Metros Cúbicos	11,43	14,19	92,248 ton	508,03 ton	70,49	2517100000	Cantos, grava, piedras	0,04%	24.122.163	0,002%
	Millones de Toneladas	4,61	4,94	90409,34 ton	65713,11 ton	36.205,66	2508	Las demás arcillas	22,82%	5.010.958	1,31%
	Millones de Metros Cúbicos	4,52	6,12	142.87 ton	185,25 ton	58,07	2505900000	Las demás arenas naturales	0,04%	9.799.529	0,002%
Caliza	Millones de Toneladas	22,23	20,62	0,03	0,04	41,33	6802920000	Las demás piedras calizas de talla o de construcción	0,03%	21	0,19%
Yeso	Toneladas	470.182	376.009	380.446,50	399.489,47	15.988,60	2520100000	Yeso natural; anhidrita	10,08%	775.498	51,51%
Esmeraldas	Quilates	1.092.006	2.527.911	2.519,00	17.508,00	3,51	7103101000	Esmeraldas en bruto o simplemente aserradas o desbastadas, clasificadas, sin montar	0,002%	2.548.250	0,80%

Mineral	Unidad de Medida	Cantidad Explotada 2022 ^{Pr}	Cantidad Explotada Promedio Anual (2018-2022)	Cantidad Importada 2022	Cantidad Importada Promedio Anual (2018-2022)	Valor CIF Cantidad Importada 2022 (USD miles)	Subpartida Arancelaria Importación	Descripción Subpartida Arancelaria	Participación en valor total importaciones 2022 (USD 158,64 millones)	Total cantidad disponible. Promedio Anual (2018-2022)	Porcentaje importaciones en cantidad disponible. Promedio Anual (2018-2022)
				1.285,00	2.830,60	9,34	7103912000	Esmeraldas trabajadas de otro modo, clasificadas, sin montar	0,01%		

Fuente: construcción propia a partir de datos DANE y DIAN (SIEX) sobre importaciones del año 2018 a 2022. Pr: Datos preliminares ANM al 31/07/2023 (Volúmenes de explotación de minerales asociados a pagos de regalías); para carbón metalúrgico datos DANE sobre exportaciones de carbón metalúrgico y coque. CIF: Costo + Seguro + Flete. * Incluye información publicada por *Atico Mining Corporation* sobre explotación de cobre en el proyecto "El Roble". **Cantidad disponible carbón metalúrgico estimada considerando la de cantidad exportada de carbón metalúrgico y coque, más consumo interno de coque, y la cantidad total importada en el país. Densidad gravas: 1M³ = 1.700 Kg.; Densidad arenas: 1M³ = 1.600 Kg.

A continuación, se incluyen los rangos de puntuación y los criterios de valoración para el grupo de minerales identificados preliminarmente, respecto la dimensión "Soberanía en el suministro para impulsar la reindustrialización nacional":

Tabla 12. Criterios para la puntuación y valoración de los minerales respecto la dimensión "Soberanía en el suministro para impulsar la reindustrialización nacional"

Rango	Puntuación	Criterios de Valoración - Variable 1.	Criterios de Valoración - Variable 2.
Bajo	1	La cantidad disponible del mineral en el país no incluye importaciones del mineral	No se registró importaciones del mineral en el país durante el período 2018-2022 o se registraron importaciones promedio anuales menores a 10 toneladas
Bajo medio	2	La cantidad disponible del mineral en el país incluye importaciones menores al 25% del mineral	La cantidad importada promedio anual del mineral en el país durante el período 2018-2022 fue mayor a 10 toneladas y menor a 100 toneladas
Medio	3	La cantidad disponible del mineral en el país incluye importaciones mayores al 25% y menores al 50% del mineral	La cantidad importada promedio anual del mineral en el país durante el período 2018-2022 fue mayor a 100 toneladas y menor a 10.000 toneladas
Medio alto	4	La cantidad disponible del mineral en el país incluye importaciones mayores al 50% y menores al 75% del mineral	La cantidad importada promedio anual del mineral en el país durante el período 2018-2022 fue mayor a 10.000 toneladas y menor a 100.000 toneladas
Alto	5	La cantidad disponible del mineral en el país incluye importaciones mayores al 75% del mineral	La cantidad importada promedio anual del mineral en el país durante el período 2018-2022 fue mayor a 100.000 toneladas

Fuente: construcción propia.

Teniendo en cuenta la información incluida en la Tabla No.11, se identifican tres variables para valorar los minerales identificados preliminarmente en la dimensión "Soberanía en el suministro para impulsar la reindustrialización nacional": 1. Participación porcentual de la cantidad importada en la cantidad disponible promedio anual del mineral (cantidad explotada + cantidad importada) durante el período 2018-2022, 2. Cantidad importada promedio anual del mineral en el país durante el período 2018-2022, y 3. Participación porcentual del valor importado del mineral en el valor total de las importaciones de minerales del año 2022.

Una vez identificadas las variables para la valoración de los minerales identificados preliminarmente, se procede a otorgar la puntuación definida en la Tabla No.12 a cada uno de los minerales en las tres variables, así: en las variables 1 y 2 se otorga puntuación acorde con los criterios de valoración incluidos en la Tabla No.12; y en la variable 3 se otorga mayor puntaje a los minerales con mayor participación en el valor de las importaciones de minerales durante el año 2022.

Al obtener los resultados para cada mineral en la variable 3, se ordenan de mayor a menor y se divide cada segmento de manera uniforme en 5 grupos de 6 minerales, para un total de 30 minerales; otorgando mayor puntaje a los minerales por grupos acorde con la puntuación establecida en la Tabla No. 12.

Una vez establecido el puntaje para los minerales en cada una de las variables, se procedió a calcular el promedio simple de los puntajes en las tres variables para cada mineral, el cual resulta ser el puntaje del mineral en la dimensión. Para su visualización, los minerales con sus puntajes en cada variable se relacionan en la siguiente tabla:

Tabla 13. Puntuación respecto la dimensión “Soberanía en el suministro para impulsar la reindustrialización nacional”

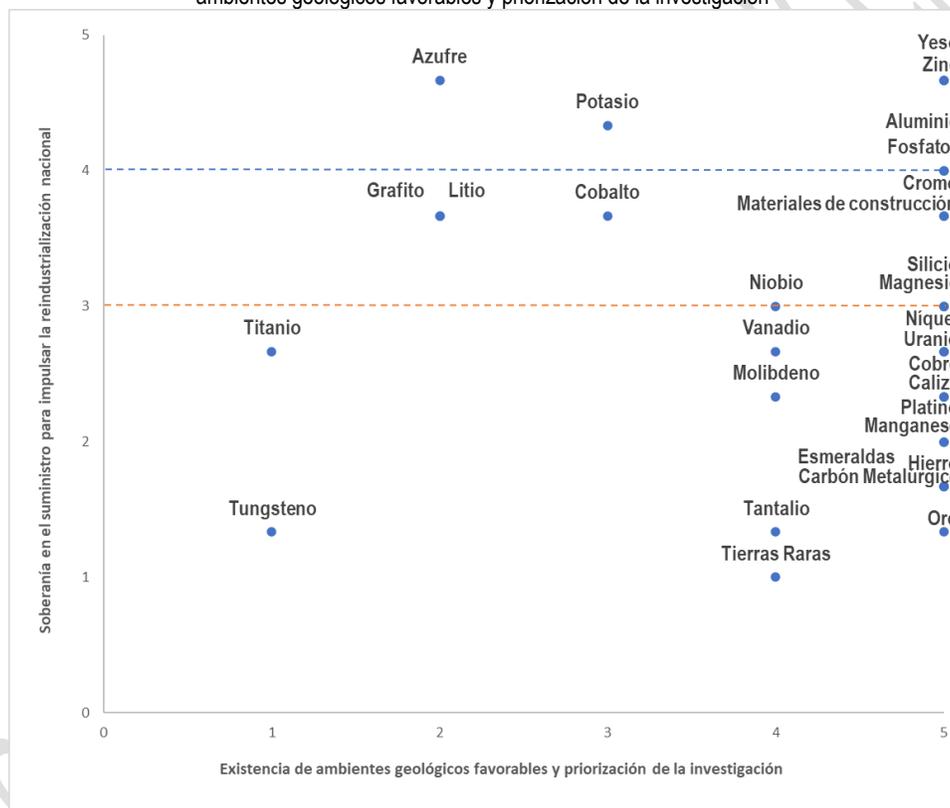
Mineral	Participación importaciones en cantidad disponible. Promedio Anual (2018-2022)		Cantidad Importada. Promedio Anual (2018-2022) (Toneladas)		Participación en valor total importaciones 2022 (USD 158,64 millones)		Puntaje Promedio
	%	Puntaje	Toneladas	Puntaje	%	Puntaje	
Yeso	51,51%	4	399.489,47	5	10,08%	5	4,7
Zinc	99,95%	5	16.403,53	4	37,72%	5	4,7
Azufre	100%	5	13.878,84	4	5,68%	5	4,7
Potasio	100%	5	4.580,46	3	5,88%	5	4,3
Aluminio	51,37%	4	14.759,19	4	2,24%	4	4,0
Fosfatos	46,81%	3	50.342,03	4	6,88%	5	4,0
Grafito	96,61%	5	768,49	3	0,56%	3	3,7
Litio	100%	5	46,56	2	1,35%	4	3,7
Cromo	94,19%	5	757,98	3	0,37%	3	3,7
Cobalto	100%	5	41,73	2	2,07%	4	3,7
Materiales de Construcción	1,32%	2	66.406,39	4	22,90%	5	3,7
Silicio	0,90%	2	4.639,00	3	0,86%	4	3,0
Magnesio	9,61%	2	207,96	3	1,03%	4	3,0
Niobio	90,88%	5	48,70	2	0,03%	2	3,0
Níquel	0,23%	2	92,59	2	1,49%	4	2,7
Titanio	100%	5	1,71	1	0,03%	2	2,7
Uranio	100%	5	0,01	1	0,01%	2	2,7
Vanadio	100%	5	0,04	1	0,02%	2	2,7
Caliza	0,19%	2	36,40	2	0,03%	3	2,3
Molibdeno	100%	5	0,003	1	0,0001%	1	2,3
Cobre	0,84%	2	72,96	2	0,52%	3	2,3
Manganeso	2,74%	2	7,90	1	0,06%	3	2,0
Platino	13,05%	2	0,06	1	0,18%	3	2,0
Carbón Metalúrgico	0,0000004%	2	0,02	1	0,005%	2	1,7
Esmeraldas	0,80%	2	0,004	1	0,01%	2	1,7
Hierro	0,003%	2	19,70	2	0,001%	1	1,7
Tungsteno	0,22%	2	0,0003	1	0,004%	1	1,3
Oro	0,03%	2	0,01	1	0,004%	1	1,3
Tantalio	0,0001%	2	0,0002	1	0,00%	1	1,3

Mineral	Participación importaciones en cantidad disponible. Promedio Anual (2018-2022)		Cantidad Importada. Promedio Anual (2018-2022) (Toneladas)		Participación en valor total importaciones 2022 (USD 158,64 millones)		Puntaje Promedio
	%	Puntaje	Toneladas	Puntaje	%	Puntaje	
Tierras Raras	0,00%	1	0	1	0,00%	1	1,0

Fuente: construcción propia con datos incluidos en las Tablas No. 11 y 12. Materiales de construcción: arenas, gravas y arcillas.

En la siguiente figura se muestra el resultado del diagrama de selección para la dimensión “Soberanía en el suministro para impulsar la reindustrialización nacional” vs “Existencia de ambientes geológicos favorables y priorización de la investigación”, para los minerales considerados preliminarmente:

Figura 12. Diagrama de selección – “Soberanía en el suministro para impulsar la reindustrialización nacional” vs “Existencia de ambientes geológicos favorables y priorización de la investigación”



Fuente: construcción propia a partir de los datos de las Tablas No. 6 y 13.

En los resultados de la matriz de selección se observa que los minerales **Zinc, Yeso, Azufre, Potasio, Fosfatos (roca fosfórica) y Aluminio (bauxita)**, se encuentran ubicados entre la franja de puntuación 4 y 5 (rango alto) de las escalas, lo cual los cataloga como los principales minerales para garantizar soberanía en el suministro a partir de datos considerados previamente en el desarrollo de la dimensión. Por lo anterior, se recomienda su inclusión en el listado de minerales estratégicos para Colombia.

De los demás minerales, **Materiales de Construcción (arenas, gravas y arcillas), Cromo, Cobalto, Grafito y Litio**, son los más cercanos a la franja de puntuación 4 y 5 (rango alto), por lo que se recomienda considerar

su inclusión en el listado de minerales estratégicos para Colombia según los resultados en las demás dimensiones.

3.4 DIMENSIÓN - Implementación de políticas de formalización de pequeños mineros mediante esquemas asociativos

Esta dimensión busca identificar los minerales en los que se puede promover y consolidar esquemas de minería asociativa, que permitan aprovechar de forma racional los recursos minerales de propiedad del Estado y mejorar las condiciones de vida de las comunidades mineras.

De acuerdo con el artículo 229 de la Ley 2294 de 2023 “Por el cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2022- 2026 “Colombia potencia mundial de la vida”, la autoridad minera nacional podrá delimitar y otorgar a pequeños y medianos mineros organizados bajo las figuras asociativas previstas en la ley, áreas de reserva estratégica minera con alto potencial para minerales estratégicos necesarios para la transición energética, la industrialización, la seguridad alimentaria y la infraestructura pública, de conformidad con lo previsto en el artículo 20 de la Ley 1753 de 2015.

En este sentido, los esquemas de asociatividad se conciben como un eje fundamental para el desarrollo del sector, al aprovechar las ventajas de las economías de escala que puede brindar tanto la pequeña minería como la tradicional para el desarrollo de proyectos mineros.

Para determinar los minerales que más se destacarían en los esquemas de asociatividad se consideraron 4 figuras relacionadas con la pequeña minería, las cuales se describen a continuación:

- **Plataforma Génesis**

Genesis es una plataforma tecnológica implementada por la Agencia Nacional de Minería (ANM) para el registro de los mineros de subsistencia, con el fin de realizar la trazabilidad en el origen de los minerales en el país y la legalidad en el sector. Los mineros de subsistencia en Colombia, según la normatividad vigente, son personas naturales o grupos de personas que se dedican a la extracción de minerales, principalmente arenas, gravas, arcillas metales y piedras preciosas, a cielo abierto, por medios y herramientas manuales, sin la utilización de ningún tipo de equipo mecanizado o maquinaria, ni tampoco de explosivos.

- **Áreas de Reserva Especial (ARES)²⁰**

Es un mecanismo contemplado en el artículo 31 de la Ley 685 de 2001 que permite al Gobierno nacional regularizar la actividad minera informal de comunidades de pequeños mineros tradicionales, desarrollada en áreas libres, cuyos beneficiarios deben acreditar haber realizado la explotación de la zona, y que esa labor constituye su principal fuente de ingresos. En las áreas susceptibles de este procedimiento no se admitirán temporalmente nuevas propuestas, se adelantarán estudios geológico-mineros, y -con base en sus resultados- se decidirá sobre el desarrollo de proyectos mineros estratégicos para el país, en los términos del artículo 248 del Código de Minas.

- **Solicitudes de formalización de minería tradicional (artículo 325, Ley 1955 de 2019)²¹**

²⁰ Plan Único de legalización y Formalización Minera (Artículo 5, Ley 2250 de 2022).

²¹ Plan Único de legalización y Formalización Minera (Artículo 5, Ley 2250 de 2022).

Las personas naturales, grupos o asociaciones que presentaron solicitud de formalización de minería tradicional hasta el 10 de mayo de 2013 ante la autoridad minera competente y que a la fecha de promulgación de esta ley se encuentran vigentes y en área libre, continuarán su trámite con el fin de verificar la viabilidad técnica del desarrollo del proyecto minero de pequeña minería. Si la solicitud no se encuentra en área libre esta se rechazará, salvo lo dispuesto en el inciso tercero del artículo 325 de la Ley 1955; en contraste, si la superposición es parcial, se procederá a los recortes respectivos.

- **Subcontratos de Formalización Minera²².**

El subcontrato de formalización minera es un acuerdo de voluntades entre el titular minero y mineros de pequeña escala o pequeños mineros, que requiere la autorización y aprobación de la autoridad minera para materializarse. Este tipo de contrato debe estar destinado a la formalización de las actividades de mineros a pequeña escala, que desarrollan sus actividades dentro de áreas de títulos mineros desde antes de la expedición de la Ley 1658 de 2013, esto es, 15 de julio de 2013. Cuando el titular minero manifiesta su intención de adelantar procesos de formalización bajo esta modalidad, se activan los protocolos de mediación, se solicita el expediente para verificar el estado del título minero en términos de vigencia y cumplimiento de sus obligaciones, y se examina la antigüedad de las labores mineras por parte del pequeño minero. Quienes demuestren que han desarrollado sus labores desde antes del mes de julio de 2013, podrán ser reconocidos por la autoridad minera si sujetan sus operaciones al Programa de Trabajos y Obras Complementario (PTOC) y a la licencia ambiental. El subcontrato de formalización se suscribirá por un período de duración no inferior a cuatro años, prorrogable de manera sucesiva, sin que supere el término de duración o la vigencia del título minero.

Para la selección de minerales se realizó un ejercicio cuantitativo para obtener una aproximación de los minerales que más se destacarían al momento de implementar esquemas de asociatividad, considerando la información de:

- Número de personas registradas en la plataforma Génesis.
- Número de solicitudes de ARES en trámite
- Número de solicitudes de formalización minera en trámite
- Número de subcontratos Vigentes.

Tabla 14. Figuras relacionadas con pequeña minería, según mineral

Mineral	FIGURAS CON POTENCIAL ASOCIATIVO			
	Programa Génesis (No. personas)	No. de solicitudes de ARES en trámite	No. de solicitudes de formalización minera en trámite	No. de subcontratos Vigentes
Silicio (Arenas Silíceas)	0	0	2	5
Aluminio (Bauxita)	0	0	0	1
Caliza	0	5	11	2
Carbón metalúrgico	0	8	16	8

²² Plan Único de legalización y Formalización Minera (Artículo 5, Ley 2250 de 2022).

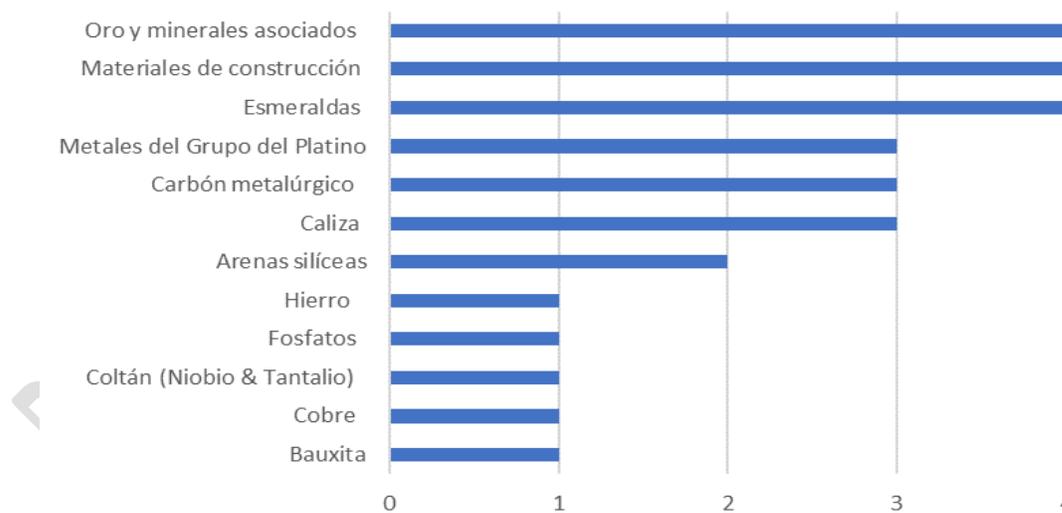
Mineral	FIGURAS CON POTENCIAL ASOCIATIVO			
	Programa Génesis (No. personas)	No. de solicitudes de ARES en trámite	No. de solicitudes de formalización minera en trámite	No. de subcontratos Vigentes
Cobre	0	1	0	0
Coltán (Niobio & Tantalio)	0	0	1	0
Esmeraldas	2.975	3	12	4
Fosfatos	0	0	2	0
Hierro	0	0	3	0
Materiales de construcción	2216	15	115	18
Metales del Grupo del Platino*	730	0	25	10
Oro y minerales asociados	92196	12	80	154

Fuente: construcción propia. * Platino, Paladio, Rutenio.

De acuerdo con lo anterior, se observa para los registros de personas en la plataforma Génesis, una alta concentración en 4 minerales (esmeraldas, materiales de construcción, oro y grupo de platino). Entre tanto, frente a las ARES existen 6 minerales en los que se relacionan áreas en trámite. Por otro lado, las solicitudes de formalización minera se concentran en 10 minerales, mientras que, al momento de elaborar este informe, existían 8 subcontratos de formalización minera.

Una vez se establece la participación del mineral en cada figura de pequeña minería con potencial asociativo, se determina el número de figuras en las que se relaciona un mineral. Por ejemplo, el oro está presente en las 4 figuras, mientras que el cobre aparece solo en una. La siguiente figura resume lo anterior:

Figura 13. Clasificación de los minerales según figuras con potencial de asociatividad



Fuente: construcción propia

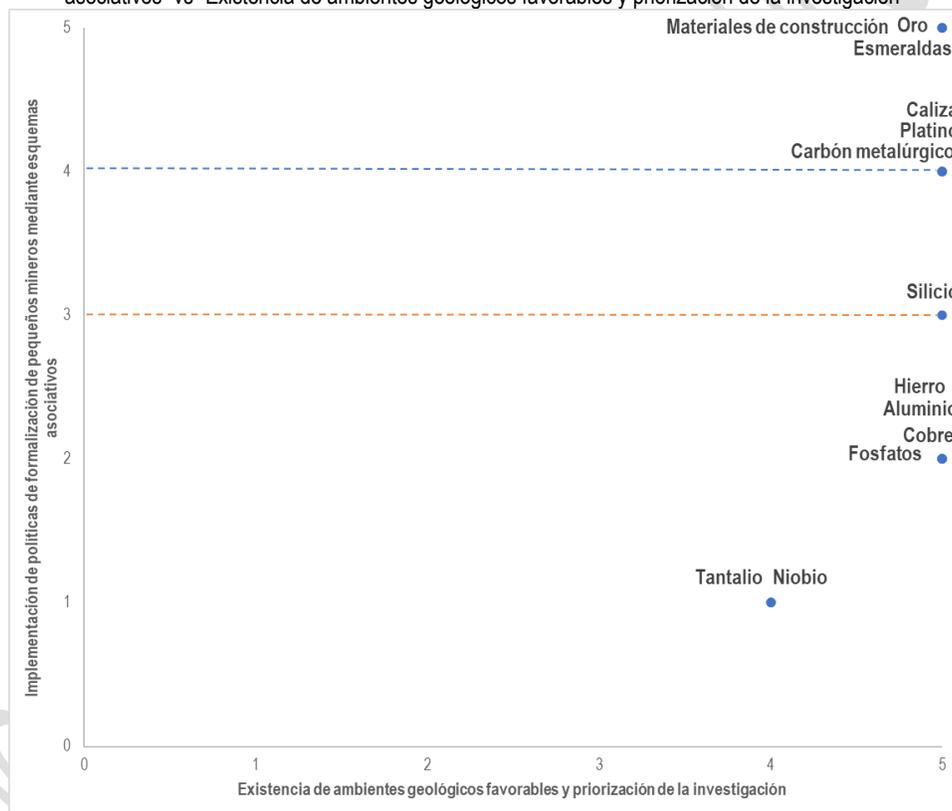
Por último, se establecen los criterios de puntuación y valoración, los cuales se resumen en la siguiente tabla. Es de anotar que, dado que para la construcción de esquemas asociativos es fundamental que exista explotación del mineral en el país, se incluye la producción de 2021 y 2022 como una variable adicional a considerar:

Tabla 15. Criterios para la puntuación y valoración de los minerales estratégicos respecto de la dimensión “Implementación de políticas de formalización de pequeños mineros mediante esquemas asociativos”

Rango	Puntuación	Criterios de Valoración
Bajo	1	El mineral está presente al menos una figura con potencial asociativo, pero no registró producción entre 2021 y 2022.
Bajo medio	2	El mineral está presente en al menos 1 figura con potencial asociativo y registró producción entre 2021 y 2022.
Medio	3	El mineral está presente en al menos 2 figuras con potencial asociativo y registró producción entre 2021 y 2022.
Medio alto	4	El mineral está presente en al menos 3 figuras con potencial asociativo y registró producción entre 2021 y 2022.
Alto	5	El mineral está presente en las 4 figuras con potencial asociativo y registró producción entre 2021 y 2022.

Fuente: construcción propia

Figura 14. Diagrama de selección – “Implementación de políticas de formalización de pequeños mineros mediante esquemas asociativos” vs “Existencia de ambientes geológicos favorables y priorización de la investigación”



Fuente: construcción propia a partir de los datos de las Tablas No.6 y 15.

En los resultados del diagrama de selección se observa que los minerales **Oro, Esmeraldas, Materiales de Construcción (arenas, gravas y arcillas), Carbón Metalúrgico, Caliza y Platino**, se encuentran ubicados entre la franja de puntuación 4 y 5 (rango alto) de las escalas, lo cual los cataloga como los principales minerales para implementar políticas de formalización de pequeños mineros mediante esquemas asociativos, a partir de los datos considerados previamente en el desarrollo de la dimensión. Por lo anterior, se recomienda su inclusión en el listado de minerales estratégicos para Colombia.

3.5 DIMENSIÓN - Desarrollo de encadenamientos productivos y reindustrialización

Teniendo en cuenta que el lineamiento “*Soberanía del Estado colombiano sobre los recursos minerales de propiedad estatal*” busca que la exploración, extracción, beneficio y transformación de los recursos minerales de los colombianos redunde en el desarrollo de encadenamientos productivos, a partir del aprovechamiento del potencial de minerales estratégicos para el desarrollo del país, en desarrollo de la presente dimensión se identificarán los principales minerales requeridos en procesos industriales desarrollados actualmente en Colombia, considerando principalmente el valor y la cantidad importada de manufacturas o productos con valor agregado relacionados con los minerales identificados preliminarmente, además de la capacidad de fabricar localmente los productos y su beneficio, considerando futuras oportunidades de diversificación mediante el desarrollo de productos relacionados.

Lo anterior, permitirá considerar la determinación de algunos de los minerales identificados preliminarmente como minerales estratégicos para posteriormente focalizar esfuerzos en la generación de conocimiento geocientífico, información fundamental para fortalecer su explotación y disponibilidad para el suministro a la industria nacional en los próximos años.

La política de reindustrialización en Colombia tiene como objetivo principal transitar de una economía extractivista hacia una economía del conocimiento, productiva y sostenible²³. Para lograr lo anterior, entre otros ejes importantes de trabajo, se deben fortalecer los encadenamientos productivos y diversificar y sofisticar la oferta interna y exportable.

A través del fortalecimiento de encadenamientos productivos se busca mejorar el valor agregado de la cadena de suministro del bien o producto, lo que se reflejará en reducción de costos, aumentos de productividad y mayor competitividad. Entre tanto, en la diversificación y sofisticación de la oferta interna y exportable no solo se buscará producir nuevos bienes y productos por parte de la industria nacional frente a la canasta actual, sino que además se buscará que estos sean más complejos y avanzados.

Así, el sector minero tiene un rol importante en esta reindustrialización al proveer una gran cantidad de materias primas que se requieren para la elaboración de productos manufacturados, como los metales no ferrosos (aluminio, cobre y zinc), los materiales ferrosos como acero (hierro) y los minerales no metálicos (calizas, sílices y arcillas), entre muchos otros.

Sin embargo, es importante avanzar en la complejidad de los insumos que provee el sector minero a la industria manufacturera del país y a otros sectores como el de la construcción y el agrícola, con el fin de que sea mayor su aporte en la cadena de suministro de las industrias. Así, lo que se busca es pasar de la oferta de materias primas a insumos derivados de los minerales que tengan algún grado de procesamiento o manufactura y que en la actualidad se importan en el país.

Para la valoración de los minerales identificados preliminarmente, acorde con la escala de puntuación definida para la dimensión y su aplicación en la matriz de selección, se consideró inicialmente la información sobre valor y cantidad importada de algunos productos con valor agregado relacionados directamente con los minerales identificados preliminarmente, acorde con el código del arancel de aduanas que corresponde, y su participación porcentual en el valor total de los productos relacionados:

²³ Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. Política de Reindustrialización. 2023

Tabla 16. Cantidad explotada en Colombia de los minerales identificados preliminarmente e importación de productos relacionados durante el año 2022^{Pr} y período 2018-2022^{Pr}.

Mineral	Unidad de Medida	Cantidad Explotada 2022 ^{Pr}	Cantidad Explotada Promedio Anual (2018-2022)	Cantidad Importada 2022	Cantidad Importada Promedio Anual (2018-2022)	Valor CIF Cantidad Importada 2022 (USD miles)	Capítulo, partida o subpartida del arancel - Importación	Descripción Subpartida Arancelaria	Participación respecto del valor total importaciones 2022 (USD 6.706,8 millones)
Litio	Toneladas	0	0	35,4	38,14	1.667,61	2825200000	Oxido e hidróxido de litio	0,03%
				9,09	8,42	481,87	2836910000	Carbonatos de litio	
Cobre	Toneladas	6.917*	8.609*	43.371,88	44.989,80	423.030,69	74	Cobre y manufacturas de cobre	6,31%
Níquel	Toneladas	41.815	39.967	621,94	296,62	6993,92	75	Níquel y manufacturas de níquel	0,10%
Cobalto	Toneladas	0	0	44,36	41,73	3286,04	8105200000	Matas de cobalto y demás productos intermedios de la metalurgia del cobalto; cobalto en bruto; polvo	0,05%
Grafito	Toneladas	0	27	5.603,57	4.688,63	13.809,91	6815	Manufacturas de grafito o de otros carbonos, para usos distintos de los eléctricos	0,21%
Uranio	Kilogramos	0	0	2,18	10,77	13,52	2844100000	Uranio natural y sus compuestos; aleaciones, dispersiones	0,0002%
Tierras Raras		0	0	0	0	0	2805300000	Metales de las tierras raras, escandio e itrio, incluso mezclados o aleados entre sí	0,00%
Zinc	Toneladas	37	7,39	20.024,72	20.334,29	75.585,15	79	Zinc y manufacturas de zinc	1,13%
Molibdeno	Kilogramos	0	0	2.041,49	632,09	53,36	8102	Molibdeno en bruto, incluidas las barras simplemente obtenidas por sinterizado	0,001%
Niobio (Coltán)	Kilogramos	0	4.886	1.226,00	48.697,20	40,77	7202930000	Ferroniobio	0,001%
Tantalio (Coltán)	Kilogramos	0	126.854	3,6	228,63	0,684	8103	Tantalio en bruto, incluidas las barras simplemente obtenidas por sinterizado; polvo	0,00001%
Oro	Toneladas	48,02	45,17	0,00002	0,00448	5,91	7108120000	Oro, incluido el oro platinado, en las demás formas en bruto, para uso no monetario.	0,00009%
				0	0,008	0	2616901000	Minerales de oro y sus concentrados	
Platino	Kilogramos	446,66	385,39	0	42,43	0	7110110000	Platino en bruto o en polvo	0,004%
				11,16	15,42	282,3	7110210000	Paladio en bruto o en polvo	
Cromo	Toneladas	35,37	48,37	0	0	0	8112209000	las demás manufacturas de cromo.	0,00%
	Toneladas	41.467	57.205	5.639,85	4.591,85	6.131,60	3103	Abonos minerales o químicos fosfatados.	7,99%

Mineral	Unidad de Medida	Cantidad Explotada 2022 ^{Pr}	Cantidad Explotada Promedio Anual (2018-2022)	Cantidad Importada 2022	Cantidad Importada Promedio Anual (2018-2022)	Valor CIF Cantidad Importada 2022 (USD miles)	Capítulo, partida o subpartida del arancel - Importación	Descripción Subpartida Arancelaria	Participación respecto del valor total importaciones 2022 (USD 6.706,8 millones)
Fosfatos (Roca Fosfórica)				538.986,34	482840,76	518.846,39	3105	Abonos minerales o químicos, con dos o tres de los elementos fertilizantes: nitrógeno, fósforo y potasio; los demás abonos; productos de este Capítulo en tabletas o formas similares	
				31.563,04	50.342,03	10.916,98	2510200000	Fosfatos de calcio naturales, fosfatos aluminocálcicos naturales y cretas fosfatadas molidos	
Magnesio (Magnesita)	Toneladas	2.694	1.955	268,2	227,27	1836,97	8104	Magnesio y sus manufacturas, incluidos los desperdicios y desechos.	0,03%
Potasio	Toneladas	0	0	480.222,46	613.999,59	414.933,18	3104	Abonos minerales o químicos potásicos.	6,33%
				4.940,35	4.580,46	9.331,59	2815200000	Hidróxido de potasio (potasa caustica)	
Azufre	Toneladas	0	0	33.014,34	13.878,84	9.007,39	2503000000	Azufre de cualquier clase, excepto el sublimado, el precipitado y el coloidal	0,13%
Hierro	Toneladas	497.481	655.496	605.087,12	506.190,63	1.466.993,09	73	Manufacturas de fundición, de hierro o de acero	59,09%
				2.239.408,38	2.418.079,20	2.495.925,35	72	Productos férreos obtenidos por reducción directa de minerales de hierro	
Aluminio (Bauxita)	Toneladas	0	13.972	162.835,53	132.593,60	721.594,98	76	Aluminio y manufacturas de aluminio	10,76%
Carbón Metalúrgico	Millones de Toneladas	1,93	1,69	100 kg	20,4 kg	7,24	270112090	Las demás hullas bituminosas	0,0001%
		Coque:4,66	Coque: 3,88						
Manganeso	Toneladas	408	280	352,49	98,93	1.117,37	8111	Manganeso y sus manufacturas incluidos los desperdicios y desechos.	0,02%
Silicio (Arenas Silíceas)	Metros Cúbicos	245.229	317.525	316.468,82 ton	220.702,51 ton	424.735,56	70	Vidrio y manufacturas de vidrio	6,33%
Titanio	Toneladas	0	0	16,88	24,1	1.938,14	8108	Titanio y sus manufacturas, incluidos los desperdicios y desechos.	0,03%
Vanadio	Kilogramos	0	0	0	0	0	8112409000	las demás manufacturas de vanadio.	0,0004%
				0	0,68	0	2615900000	Los demás minerales de niobio, de tantalio o tantalio, de vanadio y sus concentrados.	
				152,7	42,42	25,39	2825300000	Óxidos e hidróxidos de vanadio	
Tungsteno (Volframio)	Kilogramos	0	150	23.964,80	12.493,51	1.618,78	8101	Volframio (tungsteno) y sus manufacturas, incluidos los desperdicios y desechos.	0,02%

Mineral	Unidad de Medida	Cantidad Explotada 2022 ^{Pr}	Cantidad Explotada Promedio Anual (2018-2022)	Cantidad Importada 2022	Cantidad Importada Promedio Anual (2018-2022)	Valor CIF Cantidad Importada 2022 (USD miles)	Capítulo, partida o subpartida del arancel - Importación	Descripción Subpartida Arancelaria	Participación respecto del valor total importaciones 2022 (USD 6.706,8 millones)
Materiales de Construcción (gravas, arcillas y arenas)	Millones de Metros Cúbicos	11,43	14,19	92,248 ton	508,03 ton	70,49	2517100000	Cantos, grava, piedras	0,54%
	Millones de Toneladas	4,61	4,94	90409,34	65713,11	36.205,66	2508	Las demás arcillas	
	Millones de Metros Cúbicos	4,52	6,12	142.87 ton	185,25 ton	58,07	2505900000	Las demás arenas naturales	
Caliza	Millones de Toneladas	22,23	20,62	0,61	0,74	41.139,80	2523100000	Cementos sin pulverizar ("Clínter")	0,61%
Yeso	Toneladas	470.182	376.009	97.906,10	66.832,36	19.108,68	6809	Manufacturas de yeso fraguable o de preparaciones a base de yeso fraguable.	0,2%
Esmeraldas	Quilates	1.092.006	2.527.911	1.285,00	2.830,60	9,34	7103912000	Esmeraldas trabajadas de otro modo, clasificadas, sin ensartar, montar ni engarzar	0,0001%

Fuente: construcción propia a partir de datos DANE y DIAN (SIEX) sobre importaciones del año 2018 al 2022. Pr: Datos preliminares ANM al 31/07/2023 (Volúmenes de explotación de minerales asociados a pagos de regalías). CIF: Costo + Seguro + Flete. Valor CIF total importaciones relacionadas para el año 2022: USD 6.706,8 millones. * Incluye información publicada por Atico Mining Corporation sobre explotación de cobre en el proyecto "El Roble".

Para estimar la capacidad de fabricar localmente los productos relacionados y su beneficio al considerar futuras oportunidades de diversificación, mediante el desarrollo de productos relacionados, se consideraron los indicadores de Distancia y Oportunidad de Ganancia, desarrollados en el Atlas de la Complejidad Económica²⁴.

El objetivo de incluir estas mediciones del Atlas de Complejidad Económica es identificar para el caso del indicador de Distancia cuáles productos, definidos por su partida arancelaria, son más fáciles de producir en Colombia de acuerdo con las capacidades (conocimientos) existentes en el país. Así, un producto "cercano" de menor distancia requiere capacidades afines a las existentes y, por lo tanto, su desarrollo tiene mayor probabilidad de éxito²⁵. Entre tanto, con el indicador de Oportunidad de Ganancia se busca identificar cuáles productos al desarrollarse le darán un mayor beneficio al país, en términos de complejidad económica. Así, un mayor índice de Oportunidad de Ganancia implica que un producto está cerca de más productos y/o de productos que son más complejos, lo que al final se refleja en un potencial de diversificación considerando productos con mayor valor agregado²⁶.

²⁴ El Atlas de Complejidad Económica es una herramienta de visualización de datos creada en la *Harvard Kennedy School of Government*, que permite explorar los flujos comerciales mundiales, seguir su dinámica a lo largo del tiempo e identificar nuevas oportunidades de crecimiento para cada país. <https://atlas.cid.harvard.edu/>

²⁵ Distancia: mide la capacidad de un país para fabricar un producto específico, considerando lo estrechamente relacionado que está un producto con sus exportaciones actuales. La distancia de un producto se cuantifica de 0 a 1, de tal forma que un producto "cercano a 0" requiere capacidades afines a las existentes, con mayores probabilidades de éxito. Para mayor información sobre los indicadores de complejidad económica consultar <https://atlas.cid.harvard.edu/glossary>

²⁶ Oportunidad: mide el beneficio de un país con la apertura de futuras oportunidades de diversificación mediante el desarrollo de un producto concreto. El beneficio en la perspectiva de oportunidad clasifica el valor estratégico de un producto en función de la apertura de diversificación en sectores más complejos. Para mayor información sobre los indicadores de complejidad económica consultar <https://atlas.cid.harvard.edu/glossary>

Tabla 17. Productos relacionados con los minerales preliminares en el Atlas de Complejidad Económica (Harvard) - datos año 2021

Mineral	Código productos en arancel de aduanas	Distancia*	Oportunidad**
Caliza	6810	0,820	0,532
Azufre	2503	0,853	-0,164
Materiales Construcción (arenas, gravas y arcillas)	2517, 2505, 2508	0,862	0,101
Silicio	7001 al 7020	0,896	0,676
Litio	2836	0,861	0,141
Cobre	7402, 7403, 7405 al 7415, 7418, 7419	0,889	0,565
Fosfatos	3103	0,862	-0,067
Aluminio	7603, 7605 al 7609, 7611, 7613, 7616	0,879	0,696
Oro	7113	0,872	0,373
Potasio	3104	0,878	0,126
Esmeraldas	7116	0,879	0,379
Cobalto	8105, 2822	0,895	0,025
Tierras Raras	2805	0,883	0,168
Grafito	2504	0,890	0,468
Hierro	7201 al 7229, 7301 al 7326	0,880	0,610
Tantalio	8103	0,897	0,982
Magnesio	8104	0,898	0,755
Uranio	2844	0,900	0,432
Zinc	2817, 7902, 7903, 7905, 7907	0,869	0,476
Cromo	2819	0,901	0,420
Níquel	7504 al 7508	0,907	0,862
Manganeso	8111	0,904	0,002
Tungsteno	8101	0,905	1,070
Titanio	8108	0,908	0,756
Yeso	2520	0,840	-0,140
Platino	7110	0,909	0,772
Molibdeno	8102	0,912	0,936
Niobio	7202	#N/A	#N/A
Carbón Metalúrgico	2701	#N/A	#N/A
Vanadio	8112	#N/A	#N/A

Fuente: construcción propia a partir de datos 2021 en el Atlas de Complejidad Económica (<https://atlas.cid.harvard.edu/>) sobre distancia y oportunidad de diversificación, para los productos con códigos del arancel de aduanas relacionados. Los códigos resaltados en negrilla corresponden a productos minerales sin mayor transformación o procesamiento, requeridos para el análisis de datos. #N/A: sin datos relacionados en la fuente consultada.

Distancia*: Se priorizan los productos, por partida arancelaria, con menor distancia.

Oportunidad**: Se priorizan los productos, por partida arancelaria, con mayor oportunidad de ganancia.

Tabla 18. Puntuación y criterios para la valoración de los minerales respecto la dimensión “Desarrollo de encadenamientos productivos y reindustrialización”

Rango	Puntuación	Criterios de Valoración - Variable 1.
Bajo	1	No se registró pago de regalías del mineral en el país durante el período 2018-2022
Bajo medio	2	El valor promedio anual del pago de regalías del mineral en el país durante el período 2018-2022 fue menor a COP 10 millones de pesos
Medio	3	El valor promedio anual del pago de regalías del mineral en el país durante el período 2018-2022 fue mayor a COP 10 millones de pesos y menor a COP 100 millones de pesos
Medio alto	4	El valor promedio anual del pago de regalías del mineral en el país durante el período 2018-2022 fue mayor a COP 100 millones de pesos y menor a COP 1.000 millones de pesos
Alto	5	El valor promedio anual del pago de regalías del mineral en el país durante el período 2018-2022 fue mayor a COP 1.000 millones de pesos

Fuente: construcción propia.

Teniendo en cuenta la información incluida en las tablas No.16 y 17, y en anexos No. 8 y 16, se identifican cuatro variables para valorar los minerales identificados preliminarmente en la dimensión “Desarrollo de encadenamientos productivos y reindustrialización” : 1. Valor recaudado por el pago de regalías del mineral en el país durante el período 2018-2022 (Anexo No.16), 2. Participación porcentual de los minerales relacionados en el valor de las importaciones del año 2022 (Tabla No. 16), 3. Distancia de los minerales relacionados para la elaboración de productos en el país (Tabla No.17), y 4. Oportunidad y beneficio del país con la apertura de futuras oportunidades de diversificación mediante el desarrollo de productos relacionados con los minerales considerados preliminarmente (Tabla No.17).

Una vez definidas las variables para la valoración de los minerales identificados preliminarmente, se procede a otorgar la puntuación definida en la Tabla No.18 a cada uno de los minerales en las cuatro variables, así: en la variable 1 se otorga puntuación a los minerales acorde con los criterios de valoración de la Tabla No. 18; en la variable 2 se otorga mayor puntuación a los minerales con más alto porcentaje de participación en el valor total de las importaciones relacionadas en la Tabla No.16; en la variable 3 se otorga mayor puntaje a los minerales con productos relacionados en la Tabla No.17 con “distancia” más cercana a “0”; y en la variable 4 se otorga mayor puntaje a los minerales con productos relacionados en la Tabla No.17 con más alta “oportunidad”.

Al obtener los resultados para cada mineral en las diferentes variables, se ordenan de mayor a menor para las variables 2, 3 y 4, y se divide cada segmento de manera uniforme en 5 grupos de 6 minerales, para un total de 30 minerales; tras lo cual, con los resultados por mineral en cada variable, se procedió a calcular el promedio simple, que resulta ser el puntaje para cada mineral en la dimensión “Desarrollo de encadenamientos productivos y reindustrialización”. Para su visualización, los minerales con sus puntajes se relacionan en la siguiente tabla:

Tabla 19. Puntuación respecto la dimensión “Desarrollo de encadenamientos productivos y reindustrialización”

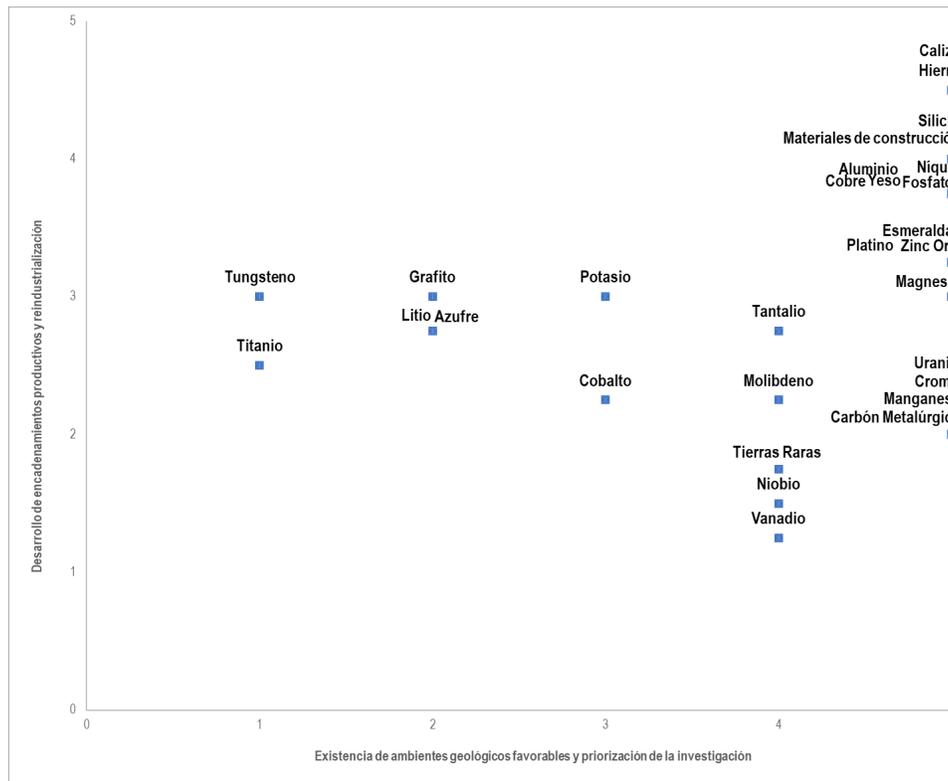
Mineral	Regalías Recaudadas Promedio Anual (2018-2022)		Porcentaje participación respecto valor importaciones 2022		Distancia		Oportunidad		Puntaje Promedio
	COP Millones	Puntaje	%	Puntaje	Distancia	Puntaje	Oportunidad	Puntaje	
Caliza	1.830,84	5	0,61%	4	0,8200	5	0,5320	4	4,5
Hierro	3.266,85	5	59,09%	5	0,8804	4	0,6098	4	4,5
Silicio	151,68	4	6,33%	5	0,8955	3	0,6756	4	4,0
Materiales de Construcción**	5.147,95	5	0,54%	4	0,8617	5	0,1009	2	4,0

Aluminio	8,82	2	10,76%	5	0,8789	4	0,6956	4	3,8
Cobre	30,82	3	6,31%	5	0,8893	3	0,5653	4	3,8
Níquel	233.848,65	5	0,10%	3	0,9068	2	0,8624	5	3,8
Fosfatos	205,01	4	7,99%	5	0,8620	5	-0,0673	1	3,8
Yeso	1.169,38	5	0,28%	4	0,8400	5	-0,1400	1	3,8
Esmeraldas	6.812,15	5	0,0001%	1	0,8790	4	0,3790	3	3,3
Oro	237.813,20	5	0,00009%	1	0,8720	4	0,3730	3	3,3
Platino	1.747,22	5	0,004%	2	0,9090	1	0,7720	5	3,3
Zinc	3,68	2	1,13%	4	0,8694	4	0,4762	3	3,3
Grafito	0,04	2	0,21%	4	0,8900	3	0,4680	3	3,0
Magnesio	21,52	3	0,03%	3	0,8980	2	0,7550	4	3,0
Potasio	-	1	6,33%	5	0,8780	4	0,1260	2	3,0
Tungsteno	0,63	2	0,02%	3	0,9050	2	1,0700	5	3,0
Azufre	-	1	0,13%	4	0,8530	5	-0,1640	1	2,8
Litio	-	1	0,03%	3	0,8610	5	0,1410	2	2,8
Tantalio	4,17	2	0,00001%	1	0,8970	3	0,9820	5	2,8
Titanio	-	1	0,03%	3	0,9080	1	0,7560	5	2,5
Cobalto	-	1	0,05%	3	0,8945	3	0,0252	2	2,3
Molibdeno	-	1	0,001%	2	0,9120	1	0,9360	5	2,3
Carbón Metalúrgico*	229.207,92	5	0,0001%	1	#N/A	1	#N/A	1	2,0
Cromo	1,33	2	0,00%	1	0,9010	2	0,4200	3	2,0
Manganeso	5,33	2	0,02%	2	0,9040	2	0,0016	2	2,0
Uranio	-	1	0,0002%	2	0,9000	2	0,4320	3	2,0
Tierras Raras	-	1	0,00%	1	0,8830	3	0,1680	2	1,8
Niobio	0,47	2	0,001%	2	#N/A	1	#N/A	1	1,5
Vanadio	-	1	0,0004%	2	#N/A	1	#N/A	1	1,3

Fuente: construcción propia con datos incluidos en las Tablas No.16, 17 y 18. #N/A: sin datos relacionados en la fuente consultada.
 *Estimación de regalías considerando la proporción de cantidad exportada de carbón metalúrgico y coque, más consumo interno, frente a la cantidad total explotada de carbón en el país en Anexo No. 8, y datos sobre regalías en Anexo No.16. **Arenas, gravas y arcillas.

En la siguiente figura se muestra el resultado del diagrama de selección para la dimensión “Desarrollo de encadenamientos productivos y reindustrialización”:

Figura 15. Diagrama de selección – “Desarrollo de encadenamientos productivos y reindustrialización” vs “Existencia de ambientes geológicos favorables y priorización de la investigación”



Fuente: construcción propia a partir de los datos de las Tablas No. 6 y 19.

En los resultados de la matriz de selección se observa que los minerales **Hierro, Caliza, Silicio (arenas silíceas) y Materiales de Construcción (arenas, gravas y arcillas)** se encuentran ubicados en la franja de puntuación 4 y 5 (rango alto) de las escalas, lo cual los cataloga como los principales minerales para desarrollar encadenamientos productivos a partir de datos considerados previamente en el desarrollo de la dimensión. Por lo anterior, se recomienda su inclusión en el listado de minerales estratégicos para Colombia.

De los demás minerales, **Aluminio (bauxita), Níquel, Yeso, Cobre y Fosfatos** son los más cercanos a la franja de puntuación 4 y 5 (rango alto), por lo que se recomienda considerar su inclusión en el listado de minerales estratégicos para Colombia según los resultados en las demás dimensiones.

3.6 Dimensión - Desarrollo de infraestructura pública

En el desarrollo de esta dimensión se consideran aspectos directamente relacionados con los lineamientos: Demanda de minerales para el desarrollo de la infraestructura pública y Minerales para el autoabastecimiento, con el fin de identificar los minerales estratégicos empleados en los procesos de construcción de infraestructura pública en el país.

La producción de materiales para el desarrollo de proyectos de infraestructura requiere la aplicación de procesos industriales requeridos para la transformación de minerales en productos finales que servirán de insumo para la construcción de obras públicas, como es el caso de la producción de cemento, material fundamental para la elaboración de concretos, cementos asfálticos e infraestructura civil pública como puentes, carreteras, edificaciones institucionales y deportivas etc.

La producción de cemento portland en Colombia durante el año 2022, de acuerdo con la información reportada por el DANE en el Boletín Técnico Estadísticas de Cemento Gris (ECG) a febrero de 2023, señala que se produjeron 14.612.972 toneladas, de las cuales se requirieron 13.504.530 toneladas para atender la demanda del mercado local. Para la producción de cemento gris portland, el proceso requiere disponer de insumos minerales como se señala más adelante.

El cemento es un producto de origen mineral que, al mezclarse con agua, da como resultado una masa que fragua y se endurece incluso bajo el agua, totalmente impermeable y que mantiene sus propiedades en contacto con el agua. El cemento portland es una de las materias primas de la construcción más populares e indispensables hoy en día, el cual, al ser mezclado con arena y gravas forma hormigón que es indispensable para el desarrollo de proyectos de infraestructura pública y privada. De igual forma, algunas materias primas minerales como arena y gravas son utilizadas directamente en el desarrollo de las obras de infraestructura.

Las materias primas para fabricar el clinker, base para la fabricación del cemento, son esencialmente la piedra caliza (75%) y las arcillas (20%). Además, se emplean minerales de hierro y sílice en cantidades pequeñas para obtener la composición deseada. La transformación mineralógica o proceso de producción de clinker en hornos rotatorios, que consume la mayor parte de la energía utilizada, comienza con la descomposición térmica del carbonato cálcico (CaCO_3) a unos 900°C que libera dióxido de carbono (CO_2). En la fase de clinkerización a alta temperatura (típicamente $1400 - 1500^\circ\text{C}$), el óxido de calcio reacciona con la sílice, la alúmina y el hierro para formar silicatos, aluminatos y ferritos de calcio que están presentes en los minerales clinkerizados. Posteriormente, se muele el clinker junto con sulfato cálcico (yeso) en una proporción de 80% / 20% respectivamente y otras adiciones para producir diferentes tipos de cemento.

Se pueden usar varios combustibles fósiles para obtener la energía térmica necesaria en el proceso de fabricación del cemento en los procesos tanto de precalentamiento como de cocción del clinker en los respectivos hornos, para lo cual pueden emplear carbón pulverizado (hulla y lignito), petcoque, gasóleo o gas natural.

Por ejemplo, una planta con una capacidad de producción de 3.000 toneladas de clinker/día, produciría cerca de 1 millón de toneladas de clinker/año²⁷ y 1,23 millones de toneladas de cemento/año (relación cemento/clinker = 1,23 media en la UE). Frente a lo anterior, se identificó que, para la producción de una (1) tonelada de cemento, se requiere aproximadamente 1.270 kg de material crudo (piedras calizas, margas, arcillas, pizarras). Posterior al proceso de cocción en los hornos, se obtienen alrededor de 800 kg de clinker, el cual se mezcla con 200 kg de yeso en el proceso de molienda para la producción final del cemento portland y, al enfriarse, se procede con el empaqueo para su respectiva distribución.

En ese sentido se infiere que, para la producción de 13.504.530 toneladas de cemento para atender la demanda nacional, se requeriría de material crudo (caliza, arcilla, esquisto y mineral de hierro) aproximadamente de 10.803.624 toneladas, de las cuales 8.102.718 toneladas serían piedra caliza, 2.160.725 toneladas de arcillas, 540.181 toneladas de minerales de hierro y sílice y 2.700.906 toneladas de yeso.

Por otra parte, los costos energéticos (combustibles y electricidad) para la producción de cemento portland se calculan alrededor del 30% de los costos totales. Particularmente, en cuanto al consumo de electricidad

²⁷ Construcción propia a partir de los datos obtenidos en informes y estudios sobre cemento portland, Introducción a la fabricación y Normalización de Cemento Portland, Miguel Ángel Sanjuan Barbudo y Servando Chinchón Yepes, Miguel Ángel Sanjuán Barbudo y Servando Chinchón Yepes, Publicaciones Universidad de Alicante, <https://core.ac.uk/download/pdf/32322379.pdf> y Materiales de Construcción. Últimos avances Vol. 7. N° 82, julio agosto de 1957, Los combustibles y la combustión en los hornos de cemento, Darío López Peciña, de la compañía General de Asfaltos y Portland - Asland, Consejo Superior de Investigaciones Científicas,

utilizada, se encuentran procesos como la alimentación de las bandas transportadoras que llevan material crudo y clínker, hasta los equipos de trituración que en promedio emplean de 90 a 130 kWh/tonelada de cemento, valores que dependen de diversos aspectos como molturación de los materiales, la eficiencia energética de los molinos y la finura del material.

Adicionalmente, es importante señalar que industrias como la cementera representan una alta concentración de emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero, representando un 8% de los aportes anuales mundiales. Así mismo, los análisis realizados internacionalmente señalan que, por 1.000 g de cemento producido, se generan 900 gr de CO₂. La más importante (60% de las emisiones) es la calcinación de piedra caliza (CaCO₃) ya que, cuando sobrepasa los 900 °C, libera CO₂ y pasa a convertirse en óxido de calcio (CaO), la segunda fuente (40% de las emisiones) proviene de la quema de carbón/combustible para los procesos de calcinación y formación de Clínter; por ello es necesario que el diseño y construcción de las plantas de fabricación de cemento implementen buenas prácticas en los hornos de calcinación y en general del beneficio y procesamiento de minerales, con el fin de controlar las emisiones atmosféricas dentro de límites permisibles por la legislación ambiental.

Aunado a los requerimientos de piedras calizas para la producción de cemento, este mineral se emplea como insumo para la elaboración de cal, en cuyo proceso se requiere del uso de piedra caliza de alta pureza, entre el 90 al 98%²⁸ de carbonato de calcio, menos de 5% de carbonato de magnesio y menos de 3% de otras impurezas, los cuales pasan por un proceso de calcinado de la piedra caliza a 2.000 °C para obtener la cal viva para distintos usos en sectores como la construcción, metalúrgicos e industriales.

Las piedras calizas se emplean en la construcción de infraestructura como agregado pétreo en la elaboración de asfaltos. De acuerdo con lo señalado por el Boletín Técnico Indicador de Mezcla Asfálticas (IMA) elaborado por el DANE, el consumo de asfaltos en Colombia durante 2022, tanto la producción como el despacho de este producto, fue de 3.477.564 m³, de los cuales, 1.175.721 m³ se utilizaron para atender infraestructura vial urbana y 2.229.176 m³ para atender infraestructura vial interurbana.

La mezcla asfáltica es el resultado de combinar material asfáltico con agregados pétreos en proporciones exactas. Vale la pena señalar que cada mezcla asfáltica tiene un uso específico, por ello, las cantidades de los materiales agregados pueden variar dependiendo de la finalidad de la misma. El asfalto es uno de los componentes principales de las mezclas. A nivel internacional, la *American Society for Testing and Materials* (ASTM) lo define como un material con capacidad ligante, el cual es de color marrón oscuro a negro. Además, está constituido, en su mayoría, por betunes naturales o que se obtienen por refinación del petróleo.

Por otra parte, los agregados y triturados también son elementos que conforman la mezcla asfáltica y se pueden definir como materiales granulares de diferentes tamaños o dimensiones. Entre los principales están la arena, grava y piedras. Las mezclas asfálticas se utilizan en la construcción de carreteras, aeropuertos y pavimentos industriales, entre otros, sin olvidar que se utilizan en las capas inferiores de los firmes para tráfico pesados intensos.

Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90% de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral (*filler*) y otro 5% de ligante asfáltico. Los componentes mencionados anteriormente son de gran importancia para el correcto funcionamiento del pavimento y la falta de calidad en alguno de ellos afecta el conjunto. El ligante asfáltico y el polvo mineral son los dos elementos que más influyen, tanto en la calidad de la mezcla asfáltica, como en su costo total.

²⁸ <https://www.ennomotive.com/es/produccion-de-cemento/>

Particularmente, en el sector metalúrgico los minerales calcáreos como calizas y dolomitas se utilizan en procesos metalúrgicos en forma directa o como cal. La caliza en la metalurgia se utiliza principalmente como fundente y purificador del vidrio y del acero. También constituyen la base de los fundentes en la pirometalurgia del cobre, plomo, zinc, manganeso, arsénico y antimonio. Por último, la caliza se usa en la refinación de bauxita para producir alúmina y posteriormente aluminio.

La industria azucarera consume calizas para la elaboración de cal viva, la cual se requiere para el proceso de refinación del azúcar. La caliza también es utilizada en otros procesos de manufactura como son cerámica, grasas lubricantes y refinación de petróleo.

Por otra parte, es importante señalar que uno de los principales usos del carbón metalúrgico a nivel mundial se encuentra en el sector industrial y particularmente para la producción del acero. En el año 2019, el 70% del acero mundial fue producido usando el método de Alto Horno-Horno Básico de Oxígeno, conocido como BF-BOF, por sus siglas en inglés, el cual usa el coque como combustible para el calentamiento de los hornos en el proceso de fundición de los minerales de hierro y otros minerales empleados en aleaciones. En primera instancia, se recolecta el carbón metalúrgico procedente en su mayoría de minas subterráneas, al cual se le aplican procesos físico - químicos para el lavado del carbón para eliminar materiales inertes que vengán adosados al mineral. A continuación, se procede con el triturado del carbón hasta alcanzar el tamaño necesario requerido para la producción del coque.

Posteriormente, se inicia el proceso de coquización en el que el carbón metalúrgico es cargado en hornos precalentados entre 400 y 700 °C y en ausencia de oxígeno se produce la carbonización del carbón, llegando a temperaturas de hasta 1.300 °C por un período de entre 12 y 36 horas para limpiar el alquitrán, gases y agua, hasta originar el coque, el cual luego es enfriado con agua. Entre las principales características del coque se encuentra que arde sin llama y tiene gran poder calorífico, contiene en su mayor parte carbono (92%)²⁹ y el resto ceniza (8%) y se emplea principalmente como reductor en la industria siderúrgica para la fabricación de acero.

Frente a lo anteriormente señalado, es importante mencionar que en el proceso de producción de coque se presentan pérdidas durante la cocción del carbón metalúrgico. En este sentido, por cada tonelada de coque producido se pierden entre un 25% a 30% del peso de la carga inicial de carbón, como efecto del desprendimiento de vapor y gases que son recolectados para su tratamiento. Entre los subproductos de la carbonización que generalmente pueden llegar a ser refinados dentro de las plantas de coque, se encuentran productos químicos básicos tales como azufre elemental, sulfato de amonio, benceno, tolueno, xileno y naftaleno.

Para producir una tonelada de acero virgen³⁰ se necesitan 1.500 kg de ganga de hierro, 225 kg de piedra caliza y 750 kg de carbón (en forma de coque). La obtención del acero pasa por la eliminación de las impurezas que se encuentran en el arrabio o en las chatarras, y por el control, dentro de unos límites especificados según el tipo de acero, de los contenidos de los elementos que influyen en sus propiedades.

En cuanto a la producción nacional de roca o piedra caliza en bruto (para construcción), de acuerdo con los datos parciales del DANE sobre la Cuenta Satélite de Minería del año 2020, se explotaron 17.353.865 ton; sin

²⁹ Cadena de Carbón, Unidad de Planeación Minero Energética- UPME, 2012, http://www.upme.gov.co/Docs/Cadena_Carbon_2012.pdf.

³⁰ Universidad Politécnica de Cataluña, L Medina Romero, 2006, <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3319/55868-7.pdf?sequence=7&isAllowed=y>

embargo, en datos revisados para años anteriores se observó una producción nacional de 20.514.839 ton para el año 2015 y 20.430.205 ton en 2016 que atenderían la demanda de piedra caliza para las industrias cementeras y de acero. Así mismo, la producción nacional de carbón coquizable o metalúrgico para 2020 se calculó parcialmente, de acuerdo con los datos del DANE, en 6.896.423 ton, de los cuales, 5.200.670 ton son para atender la demanda nacional y 1.695.754 ton para exportación.

Respecto de los minerales de hierro, en 2020 los reportes del DANE indican una producción nacional de 786.559 ton, sin reportar producción para exportaciones. Adicionalmente, este mismo reporte recoge información agregada del balance para 2020 en la utilización de bauxita y demás minerales de aluminio, y sus minerales asociados, derivados o concentrados, minerales de cromo, estaño, manganeso, niobio, tantalio, vanadio o circonio, volframio (tungsteno y sus concentrados), con un total de 62.327.757 ton, de las cuales, 19.911.079 ton corresponden a producción nacional y 42.416.679 ton de importaciones.

En ese sentido, se podrían proyectar los materiales necesarios para la fabricación del acero teniendo en cuenta que en Colombia, al finalizar el año 2022, se registró una producción de 1.373.000 ton³¹. En caso de que toda la producción fuera con materia prima de ganga de hierro, se requeriría un total de 2.059.000 ton en promedio para la elaboración de este material; no obstante, la producción de hierro para el año 2022 sólo alcanza 369.496,6 ton/año, según lo reportado por el DANE, de las cuales, 369.487 ton/año son explotadas y 9,6 ton/año importadas. Por otra parte, en cuanto al consumo de piedra caliza para la producción del acero, se requirieron 308.925 ton/año.

Empresas como Paz del Río, Gerdau Diaco, Sidenal, SIDOC y Ternium, emplean chatarra en el proceso de producción del acero, con lo cual se reduce el impacto ambiental y se asegura una economía circular sobre este material, puesto que la chatarra para diversos sectores económicos no constituye un producto relevante. Sin embargo, para el sector siderúrgico es un elemento fundamental, puesto que esta materia prima es esencial para su producción. Ahora bien, la elaboración del acero empleará aleaciones con distintos minerales que dependerán de las necesidades en el sector de infraestructura e industria y, por consiguiente, los minerales como níquel, manganeso, bauxita y demás minerales de aluminio, y sus minerales asociados, derivados o concentrados, cobre, cromo, zinc, titanio, tungsteno, vanadio, confieren al acero determinadas características físico químicas que modifican la dureza o flexibilidad del material conforme a los requerimientos demandados para el producto final.

3.6.1 Minerales identificados para el desarrollo de infraestructura pública.

Teniendo en cuenta la descripción previamente realizada, es importante identificar los minerales requeridos en los procesos productivos para la elaboración y/o fabricación de materiales que son indispensables en el desarrollo de infraestructura pública o que son utilizados como insumos dentro de procesos industriales, para lo cual se requiere determinar la disponibilidad de estos minerales en el mercado colombiano, considerando la información sobre explotación de minerales relacionados en país y las necesidades importación para cubrir la demanda nacional de productos relacionados con los minerales identificados.

En ese sentido, se consideró el promedio de toneladas requeridas por año, partiendo de la información histórica entre los años 2018 a 2022 y de esta forma, tener una visión clara de la capacidad de suministro de estos minerales frente a los retos del Gobierno Nacional para garantizar el desarrollo de la producción interna, conforme a la disponibilidad de los recursos mineros.

³¹ América Latina en cifras 2022, Asociación Latinoamericana del Acero (alacero)
https://cms.alacero.org/uploads/Alacero_America_latina_en_cifras_Espanh73ol_47683530c0.pdf

Teniendo en cuenta la información incluida en la Tabla No.16, se identifican dos variables para valorar los minerales identificados para el desarrollo de la dimensión “Importancia nacional para el desarrollo de infraestructura pública” : 1. Cantidad explotada promedio anual del mineral durante el período 2018-2022, 2. Cantidad importada promedio anual del mineral en el país durante el período 2018-2022, con las cuales se recopiló la información de los minerales relacionados en una nueva variable incluida en la Tabla No 21 denominada: total cantidad disponible promedio anual (cantidad explotada + cantidad importada) durante el período 2018-2022, con la cual se valoraron los minerales relacionados acorde con la puntuación definida en la siguiente Tabla:

Tabla 20. Rango y puntuación para los minerales

Dimensión	Rango	Puntuación
Importancia nacional para el desarrollo de infraestructura pública	Bajo	1
	Bajo medio	2
	Medio	3
	Medio alto	4
	Alto	5

Fuente: construcción propia.

Una vez definida la variable para la valoración de los minerales identificados para la dimensión, se procede a ordenar de mayor a menor y se divide por segmentos en 5 grupos. Teniendo en cuenta las cantidades relacionadas, los tres primeros grupos incluyen tres minerales cada uno y los otros dos grupos incluyen dos minerales cada uno, para un total de 13 minerales relacionados; otorgando mayor puntaje a los minerales con mayor cantidad disponible promedio anual durante el período 2018-2022 por grupos, acorde con la puntuación establecida en la Tabla No. 21. El puntaje asignado resulta ser el puntaje del mineral en la dimensión “Desarrollo de infraestructura pública”. Para su visualización, los minerales, junto con los datos relacionados y sus puntajes se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 21. Cantidad disponible y puntaje asignado a los minerales relacionados con la dimensión “Desarrollo de infraestructura pública”

Mineral	Material	Unidad	Cantidad Explotada Promedio Anual (2018 - 2022)	Cantidad Importada Promedio Anual (2018 - 2022)	Total - Cantidad Disponible Promedio Anual (2018 - 2022)	Posición por Mayor cantidad disponible	Puntaje
Materiales de Construcción (gravas, arcillas y arenas)	Gravas - Asfalto	Ton	24.121.655	508,03	24.122.163	1	5
	Arcillas – Cemento, Asfalto	Ton	4.945.245	65.713,11	5.010.958		
	Arenas - Asfalto	Ton	9.799.344	185,25	9.799.529		
Caliza	Acero Cemento	Ton	20.621.059	740.000	21.361.059	2	5
Carbón Metalúrgico (metalúrgico + coque)	Acero Cemento	Ton	5.572.899	0,02	5.572.899	3	5
Hierro	Acero	Ton	655.496	2.924.269,83	3.589.966	4	4
Silicio (Arenas silíceas)	Acero	Ton	508.040	220.702,51	728.742	5	4
Yeso	Cemento	Ton	376.009	66.832,36	442.841	6	4
Aluminio (Bauxita)	Acero	Ton	13.972	132.593,60	146.566	7	3
Asfaltita	Asfalto	Ton	35.053	1.776,63	36.830	8	3
Zinc	Acero	Ton	7,40	20.334,29	20.342	9	3

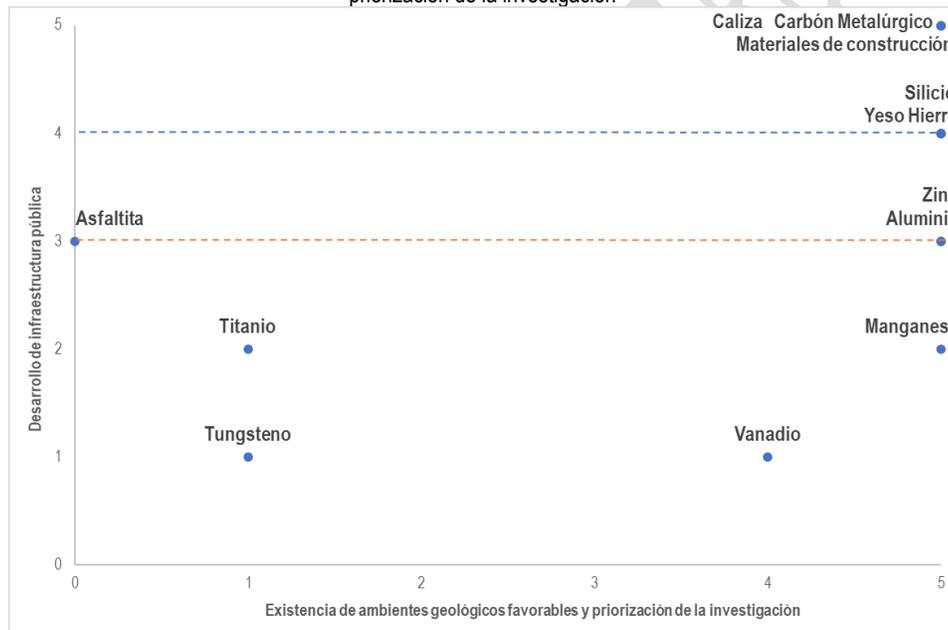
Página 58 de 159

Mineral	Material	Unidad	Cantidad Explotada Promedio Anual (2018 - 2022)	Cantidad Importada Promedio Anual (2018 - 2022)	Total - Cantidad Disponible Promedio Anual (2018 - 2022)	Posición por Mayor cantidad disponible	Puntaje
Manganeso	Acero	Ton	280	98,93	379	10	2
Titanio	Acero	Ton	0,00	24,10	24	11	2
Tungsteno (Wolframio)	Acero	Ton	0,15	12,49	13	12	1
Vanadio	Acero	Ton	0,00	0,03	0,03	13	1

Fuente: construcción propia a partir de datos de la Tabla No. 16.

En la siguiente figura se encuentra el resultado de la matriz de selección para la dimensión “Desarrollo de infraestructura pública”, acorde con la valoración de los minerales identificados preliminarmente según lo considerado en desarrollo de la dimensión:

Figura 16. Diagrama de selección – “Desarrollo de infraestructura pública” vs “Existencia de ambientes geológicos favorables y priorización de la investigación”



Fuente: construcción propia a partir de los datos de las Tablas No. 6 y 21.

Los resultados preliminares obtenidos al aplicar la matriz para la dimensión - desarrollo de infraestructura pública, muestran que las mayores necesidades de minerales para atender la demanda del mercado nacional se concentran en caliza, materiales de construcción (arenas, gravas y arcillas), carbón metalúrgico, silicio, yeso y hierro. Sin embargo, esta figura también muestra que minerales como zinc, aluminio y asfaltita cuentan con unos importantes requerimientos anuales para, entre otros, atender la producción de materiales relacionados con infraestructura. En cuanto a minerales como el titanio, vanadio, manganeso y tungsteno, si bien es cierto los ambientes geológicos indican la probabilidad de contar con depósitos en el país, actualmente se explotan bajas cantidades o no se explotan, como en el caso del titanio y el vanadio, cuya oferta en el país depende totalmente de su importación.

Por otra parte, es importante señalar que las importaciones de estos minerales son necesarias para el desarrollo de la industria, puesto que se constituyen en materias primas en la producción de materiales que son indispensables para la construcción de infraestructura, así como para la elaboración de insumos utilizados en procesos industriales como, por ejemplo, la producción del acero y sus respectivas aleaciones, el cemento y el asfalto, que requieren minerales tales como el hierro, la piedra caliza, el yeso, así como el uso de coque, el cual es empleado como combustible para la cocción en los hornos de la industria siderúrgica. Adicionalmente, también se observa que la producción de estos materiales para infraestructura no dispone de minerales sustitutos directos, por lo que el gobierno nacional deberá generar las condiciones necesarias para garantizar su importación y de esta forma se continúe el desarrollo de la industria nacional, manteniendo los flujos de distribución de materiales y de esta forma se avance en el desarrollo de los proyectos de infraestructura que se adelantan en el país.

Finalmente, se puede concluir que minerales como el hierro y el aluminio (bauxita) y sus minerales asociados, derivados o concentrados, concentran el 62,24% del total de las importaciones promedio anuales entre 2018 y 2022. No obstante, es importante resaltar que las importaciones para atender cada proceso productivo variarán dependiendo de los requerimientos de estos minerales en la elaboración de materiales de infraestructura, los cuales alcanzan hasta un 100% como en el caso del titanio o vanadio, o del 98,81% para el caso del tungsteno. Sin embargo, minerales como el hierro y aluminio (bauxita) que cuentan con el mayor porcentaje de importaciones anuales, tal como se señaló previamente, alcanzan requerimientos de importación del 81,69% y 90,47% respectivamente, por lo que se identifica la necesidad de contar con un mayor nivel de producción nacional que aporte en mayor medida a cubrir las necesidades anuales para atender la demanda interna de minerales en los diferentes sectores de la economía.

Acorde con lo anterior, en los resultados de la matriz de selección se observa que los minerales **Caliza, Materiales de Construcción (arenas, gravas y arcillas), Carbón Metalúrgico, Silicio, Yeso y Hierro**, se encuentran ubicados entre la franja de puntuación 4 y 5 (rango alto) de las escalas, lo cual los cataloga como los principales minerales para el desarrollo de infraestructura pública, a partir de datos considerados previamente en el desarrollo de la dimensión; por lo cual, se recomienda su inclusión en el listado de minerales estratégicos para Colombia.

3.7 DIMENSIÓN - Importancia para la fabricación de fertilizantes

En el marco de los lineamientos: “Minerales para el autoabastecimiento” y “Demanda de minerales para la seguridad alimentaria”, para el desarrollo de la dimensión “Importancia para la fabricación de fertilizantes” se consideraron los minerales incluidos en el listado preliminar de minerales estratégicos para el país, con el fin de identificar aquellos necesarios para la fabricación de fertilizantes.

Los fertilizantes o abonos son sustancias de origen animal, mineral, vegetal o sintético, que proveen nutrientes esenciales para el desarrollo y rendimiento de los cultivos, al mejorar las características físicas, químicas y biológicas del suelo. Según la fuente consultada³², los fertilizantes se pueden clasificar en:

- Fertilizantes químicos
- Fertilizantes químico-inorgánicos
- Biofertilizantes
- Fertilizantes orgánicos
- Fertilizantes Inorgánicos

³² https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=249

Así, el análisis realizado en esta dimensión se concentra en los fertilizantes **químico-inorgánicos**, ya que para su fabricación se requiere de elementos de origen mineral, extraídos del suelo o del subsuelo.

3.7.1 Minerales utilizados para la elaboración de fertilizantes

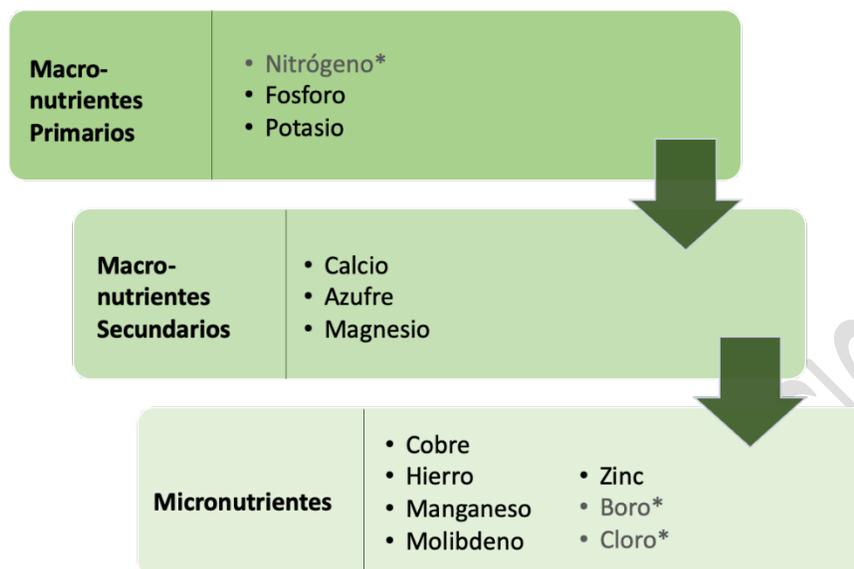
En general, los nutrientes que requieren las plantas y cultivos se pueden clasificar en tres grandes grupos que se describen a continuación:

- **Macronutrientes primarios:** corresponden a los 3 elementos principales que requieren las plantas y corresponden al Nitrógeno (N), **Fósforo (P) y Potasio (K)**. Dado que existen diferentes tipos de fertilizantes, que dependen de las características y necesidades del cultivo, estos nutrientes se pueden aplicar de forma individual (fertilizantes simples) o combinada (fertilizantes multi nutrientes).
- **Macronutrientes secundarios:** corresponden a los elementos necesarios para el crecimiento de las plantas, pero en menor proporción frente a los macronutrientes primarios, los elementos son: **Calcio (Ca), Azufre (S) y Magnesio (Mg)**.
- **Micronutrientes:** son elementos adicionales para el desarrollo de los cultivos, necesarios en pequeñas cantidades. De acuerdo con la FAO³³ el uso de los micronutrientes requiere de un cuidado especial ya que existe un margen estrecho, al momento de su aplicación, entre el exceso y la insuficiencia, ya que su uso en exceso tendría un efecto perjudicial para el cultivo. Los micronutrientes son Boro (B), Cloro (Cl), **Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Molibdeno (Mo) y Zinc (Zn)**.

En la siguiente figura se indican los elementos que componen los macronutrientes y micronutrientes según su importancia. Es de anotar que para este análisis se omiten el nitrógeno, el boro y el cloro:

Figura 17. Principales Macronutrientes y Micronutrientes usados en la fabricación de fertilizantes

³³ FAO (Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). Los fertilizantes y su uso. 2002.



Fuente: construcción propia. * El Nitrógeno, Boro y Cloro no fueron incluidos en el análisis.

Por otro lado, según datos también publicados por el Banco Mundial³⁴, la composición de los principales fertilizantes, en forma granulada³⁵, se resume en la siguiente tabla:

Tabla 22. Fórmulas comunes de los fertilizantes granulados

Nombre del Fertilizante	% NITRÓGENO	% FOSFATO	% POTASIO
Urea	46	0	0
Nitrato de Amonio	33	0	0
Fosfato Diamónico (DAP)*	18	46	0
Superfosfato Triple (TSP)*	0	46	0
Cloruro de Potasio (MOP)**	0	0	60

Fuente: construcción propia con datos del Banco Mundial. *Abreviaciones en idioma inglés.**También conocido como muriato de potasio o MOP.

De acuerdo con el Banco Mundial (2023)³⁶ los fertilizantes a base de nitrógeno, como la urea, se utilizan principalmente para mejorar el crecimiento de las hojas. Además, estos son los más utilizados, representando casi el 60% del suministro de nutrientes³⁷. Entre tanto, el uso de fertilizantes a base de fósforo (DAP) facilita el crecimiento de semillas y frutas, mientras que los fertilizantes a base de potasio (MOP) se utilizan para promover el crecimiento del tallo.

³⁴ <https://blogs.worldbank.org/latinamerica/plant-fork-rapid-assessment-fertilizer-and-food-crisis-central-america>

³⁵ Los fertilizantes granulados (sólidos) son los fertilizantes químicos más utilizados por los pequeños y medianos agricultores en Latinoamérica.

³⁶ Información tomada del *Commodity Markets Outlook, World Bank Report, April 2023*

³⁷ *World Bank. Commodity Markets Outlook. April 2023*

Por otra parte, los requerimientos de micronutrientes en los cultivos son pequeños en comparación con los de los macronutrientes. La siguiente tabla señala la cantidad mínima de micronutrientes en la fabricación de fertilizantes:

Tabla 23. Cantidad mínima de micronutrientes en la fabricación de fertilizantes

Elemento	Símbolo	Unidad	Cantidad
Hierro	Fe	%	0,1
Cloro	Cl	%	0,1
Zinc	Zn	%	0,05
Manganeso	Mn	%	0,05
Cobre	Cu	%	0,05
Boro	B	%	0,02
Molibdeno	Mo	ppm	5 = 0.0005%

Fuente: construcción propia con datos en: <https://www.tecnicoagricola.es/riqueza-o-concentracion-de-los-abonos-o-fertilizantes-npk/>.

3.7.2 Panorama del comercio mundial de fertilizantes

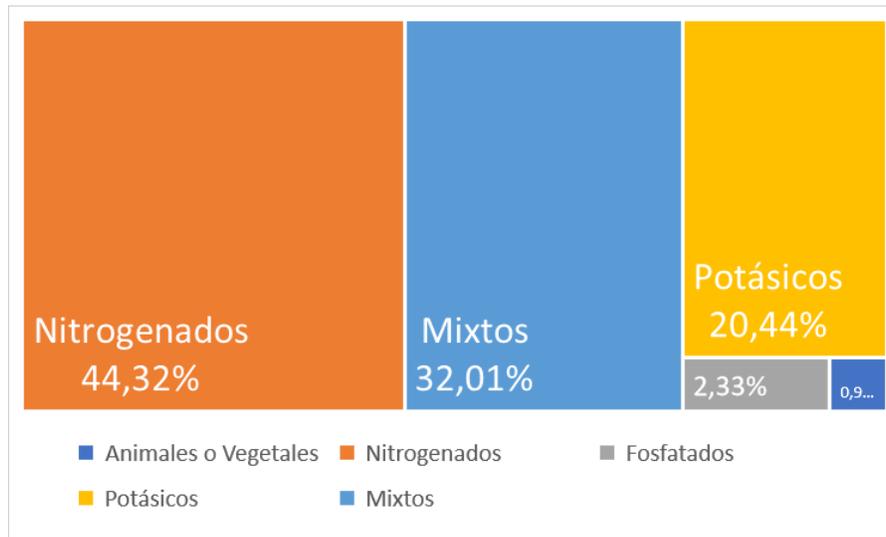
- **Comercio internacional**

El mercado global de fertilizantes es diverso, ya que depende de la producción del tipo de elemento principal (nitrógeno, potasio y fósforo) o de sus respectivas derivaciones y formas compuestas. En este sentido, de acuerdo con la clasificación industrial de Sistema Armonizado (HS por sus siglas en inglés), el comercio de fertilizantes se consolida en cinco grandes grupos o subpartidas: fertilizantes de origen animal o vegetal, fertilizantes minerales o químicos nitrogenados, fertilizantes minerales o químicos fosfatados, fertilizantes minerales o químicos potásicos, fertilizantes minerales o químicos, con dos o tres de los elementos fertilizantes (mixtos).

Así, de acuerdo con el Centro de Comercio Internacional (ITC por sus siglas en inglés), en 2022 las exportaciones de fertilizantes totalizaron USD 133.257 millones. Los fertilizantes nitrogenados fueron los que registraron las mayores ventas, seguidos por mixtos, los potásicos, los fosfatados y finalmente por los de origen animal o vegetal.

El siguiente gráfico resume el comercio mundial de fertilizantes según subpartida

Figura 18. Participación por país en las exportaciones mundiales de fertilizantes 2021



Fuente: construcción propia a partir de datos de ITC.

Así mismo, la siguiente gráfica relaciona los principales países exportadores de fertilizantes según subpartida:

Tabla 24. Principales países exportadores 2021, según el tipo de fertilizante³⁸

País	Nitrogenados	País	Mixtos	País	Potásicos	País	Fosfatados
Rusia	12,3%	Rusia	18,9%	Canadá	47,2%	Marruecos	26,8%
Omán	8,6%	Marruecos	16,4%	Rusia	20,0%	China	18,8%
China	8,5%	China	13,7%	Bielorrusia	7,6%	Israel	16,5%
Qatar	6,2%	US	10,1%	E.E.U.U	7,5%	Egipto	6,9%
Países Bajos	4,8%	Arabia Saudita	9,4%	Jordán	3,9%	Bulgaria	4,7%
Resto	59,8%	Resto	31,5%	Resto	13,8%	Resto	26,3%

Fuente: construcción propia a partir de datos de ITC.

De acuerdo con la anterior tabla, se puede observar que la mayor concentración en las exportaciones globales de fertilizantes se da en los potásicos, ya que los 5 principales países representan más del 86% de las exportaciones, seguido por los fosfatados con una acumulación de 73,7%.

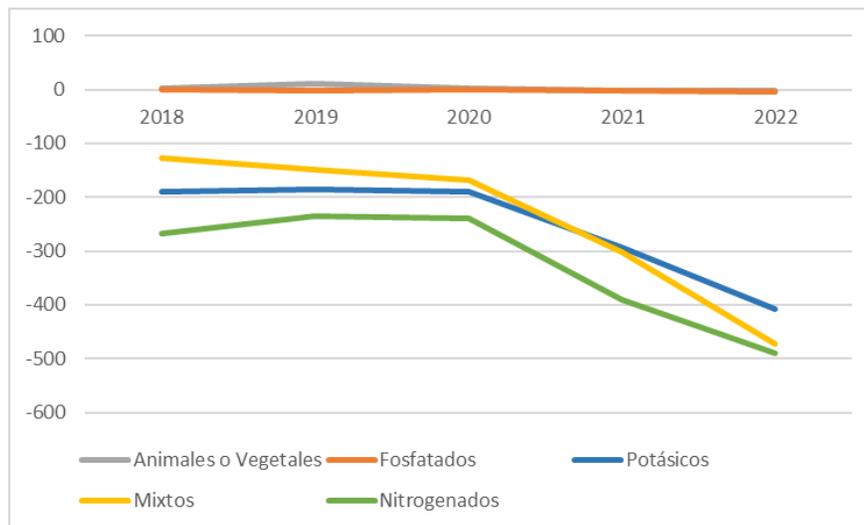
Frente a las importaciones de fertilizantes, estas son lideradas por los principales países productores de alimentos del mundo. En 2022, las importaciones de fertilizantes alcanzaron USD 151.005 millones y los países que registraron las mayores compras fueron: Brasil (16,4%), India (11,4%), EE.UU. (8,8%), China (3,3%) y Francia (3,2%). Se destaca que en este año Colombia ocupó el puesto 24, al totalizar importaciones por USD 1.469 millones, cifra equivalente al 0,97% del comercio mundial.

Con relación al comercio de fertilizantes de Colombia, en 2022 el país registró una balanza comercial negativa de USD 1.376 millones. Es de anotar que el principal déficit se registró en los fertilizantes nitrogenados, seguido

³⁸ Se omiten los fertilizantes de origen animal o vegetal

por los mixtos y por los potásicos. Así mismo, se destaca que en 2021 y 2022 el déficit de la balanza comercial de fertilizantes registró variaciones anuales de 66% y 39%, respectivamente.

Figura 19. Balanza comercial de Colombia de fertilizantes según el tipo de fertilizante



Fuente: construcción propia a partir de datos de ITC.

- **Precios internacionales**

De acuerdo con el Banco Mundial³⁹, si bien en 2023 se ha observado una caída de los precios de los fertilizantes, estos aún se mantienen por encima de los niveles registrados entre 2015 y 2019, de tal forma que aún se perciben los efectos de la reducción de los suministros derivados del conflicto entre Rusia y Ucrania⁴⁰. Así mismo, se espera que esta caída en los precios se mantenga, aunque con menores variaciones en lo que resta de 2023 y en 2024.

La siguiente grafica muestra la variación anual (%) de los precios de los fertilizantes entre 2013 y agosto de 2023. Aunque desde el último trimestre de 2022 se registran variaciones negativas en los precios, los niveles aún permanecen por encima de los observados antes de la pandemia. Se destaca el caso de la roca fosfórica, cuyo precio entre diciembre de 2019 y agosto de 2023 pasó de USD72,5 a USD 346,25, con una variación anual de 378%

Figura 20. Precio de los fertilizantes durante los últimos 10 años (% de variación anual)

³⁹ World Bank. *Commodity Markets Outlook. April 2023*

⁴⁰ Como se señaló en la Tabla 24, Rusia es uno de los principales países exportadores de fertilizantes del mundo; por lo tanto, las sanciones comerciales impuestas por la Unión Europea y por los Estados Unidos generaron una disminución de la oferta global de abonos, lo que se reflejó en un aumento de los precios internacionales de los fertilizantes.



Fuente: construcción propia con datos del Banco Mundial.

Es de anotar que los precios de los fertilizantes a base de nitrógeno tienden a moverse en conjunto con los precios del gas natural, dado que la producción de fertilizantes a base de nitrógeno es un proceso intensivo en energía. La producción de urea, metano y fertilizantes DAP implica el uso de gas natural o (en menor medida) carbón para suministrar hidrógeno y capturar nitrógeno del aire.

3.7.3 Explotación y reservas a nivel mundial de los principales minerales requeridos en la fabricación de fertilizantes⁴¹

A continuación, se presenta información de interés sobre los principales minerales relacionados con la elaboración de fertilizantes incluida en la publicación “*Mineral Commodity Summaries 2023*” del *United States Geological Survey (USGS)*:

1. Roca fosfórica: en 2022, la producción mundial de roca fosfórica se acercó a 220 millones de toneladas, en donde China resultó ser el país con mayor producción, con 85 millones de toneladas. Ahora bien, a nivel mundial se estiman reservas minerales de roca fosfórica del orden de 72.000 millones de toneladas, de las cuales, Marruecos contaría con 50.000 millones de toneladas.

2. Potasio: se estimó que en 2022 el consumo a nivel global de potasio para la elaboración de fertilizantes disminuyó a niveles entre 35 y 39 millones de toneladas, respecto de 40,6 millones de toneladas en 2021. Sin embargo, se espera que cerca al año 2025 la producción mundial alcance niveles cercanos a 66 millones de toneladas, gracias a nuevas minas y proyectos de expansión en algunos de los principales países productores.

De tal forma que la producción mundial se acercó a 40 millones de toneladas y las reservas minerales de potasio a niveles de 11.000 millones de toneladas, donde Canadá fue el mayor productor durante el año, con 16 millones de toneladas, con las mayores reservas minerales, del orden de 4.500 millones de toneladas.

⁴¹ U.S. Geological Survey “*Mineral Commodity Summaries 2023*”

3. **Magnesio:** China es el principal productor de magnesita y magnesio en el mundo, con cerca de 17 millones de toneladas de los aproximadamente 27 millones de toneladas explotadas en el mundo durante 2022. Las reservas minerales mundiales para el año se estimaron en 6.800 millones de toneladas, de las cuales, Rusia contaría con las mayores reservas de mineral, con 2.300 millones de toneladas; además de las reservas de magnesita, existen grandes reservas de magnesio en salmueras de pozos y lagos y en agua de mar de las que se pueden recuperar compuestos de magnesio.
4. **Azufre:** la producción mundial en 2022 se mantuvo en niveles cercanos a los del año anterior, con aproximadamente 82 millones de toneladas, de las cuales, China produjo cerca de 18 millones, siendo el mayor productor mundial.

De acuerdo a la información del *United States Geological Survey (USGS)*, Colombia no se encuentra entre los principales productores de minerales necesarios para la fabricación de fertilizantes.

3.7.4 Panorama nacional de los principales minerales necesarios para la fabricación de fertilizantes

Como se mencionó anteriormente, minerales que contienen elementos tales como el Fósforo (P), Potasio (K), Azufre (S) y Magnesio (Mg), se encuentran entre las principales materias primas para la elaboración de fertilizantes de uso agrícola, sin dejar de lado la caliza, a partir de la cual se obtiene cal (CaO), la cual también es utilizada como insumo en la elaboración de fertilizantes; además, el yeso es una de las fuentes de calcio para uso agrícola. A continuación, se presenta información de los minerales relacionados, en el contexto colombiano.

En cuanto al balance oferta utilización de roca fosfórica y magnesita (magnesio), de acuerdo con información de la Cuenta Satélite de Minería del DANE del año 2020 (Tabla No.9), se evidencia que no se registró exportación de estos minerales durante el año, debido a que la producción se consumió en su totalidad en el país para cubrir la demanda interna; además, no se registraron importaciones relacionadas con los minerales en bruto.

Ahora bien, respecto de los minerales potasio y azufre, de acuerdo con la información asociada al pago de regalías desde el año 2012, no hay registro sobre explotación de potasio en el país, en tanto que el último registro sobre explotación de azufre corresponde al año 2014, razón por la cual, las cantidades requeridas de estos minerales por la industria nacional son importadas en su totalidad, como se evidencia en la información incluida en la Tabla No.10.

En el listado preliminar de minerales estratégicos (Tabla No. 2) se identifican los siguientes minerales que contienen macronutrientes principales y secundarios para la elaboración de fertilizantes: fosfatos (roca fosfórica), potasio, caliza, azufre, yeso y magnesio. En cuanto a minerales que aportan micronutrientes, se encuentran el cobre, hierro, zinc, molibdeno y manganeso.

Para realizar la puntuación y valoración de los minerales en la dimensión “Importancia para la fabricación de fertilizantes”, se identificaron dos variables:

Variable 1: Composición de un fertilizante químico – inorgánico: Teniendo en cuenta que hay una gran variedad de fertilizantes, para su valoración se organizan los minerales según su relevancia composicional en la fabricación de fertilizantes. Así mismo, no existe un valor promedio general para los macronutrientes, mientras que para los micronutrientes se considera la información de la Tabla No. 22, con lo cual, se otorgará puntuación

a cada uno de los minerales según los criterios relacionados en la Tabla No. 24. Aunque esta variable es de gran importancia, hay gran variedad de fertilizantes y es posible que su composición varíe, por lo que, al promediar los resultados para cada mineral, se otorgará el 50% en la ponderación.

Variable 2: Importaciones del mineral en el país, considerando los datos sobre cantidad promedio importada en 2018-2022 y la participación en el valor total de las importaciones para el año 2022, según los datos y puntajes incluidos en la Tabla No.12, para los minerales definidos para la elaboración de fertilizantes. Teniendo en cuenta que los datos que conforman esta variable resultan relevantes para valorar los minerales en la presente dimensión, y que también se han considerado en el desarrollo de otras dimensiones, en el cálculo del promedio de los resultados de los minerales en la dimensión se ponderará con 25% el puntaje relacionado con “Cantidad Importada. Promedio Anual (2018-2022)”, mientras que el restante 25% corresponderá al puntaje relacionado con “Participación en valor total importaciones 2022”.

Tabla 25. Criterios para la puntuación y valoración de los minerales respecto de la dimensión “Importancia del mineral para la fabricación de fertilizantes”

Rango	Puntuación	Criterios de Valoración - Variable 1
Bajo	1	Corresponde a un mineral, roca o elemento dentro del grupo de micronutrientes necesarios para fabricación de fertilizantes en cantidades menores al 0,05%
Bajo medio	2	Corresponde a un mineral, roca o elemento dentro del grupo de micronutrientes necesarios para fabricación de fertilizantes en cantidad del 0,05%
Medio	3	Corresponde a un mineral, roca o elemento dentro del grupo de micronutrientes necesarios para fabricación de fertilizantes con una cantidad del 0,1 %
Medio alto	4	Corresponde a un mineral, roca o elemento dentro del grupo de macronutrientes secundarios para la fabricación de fertilizantes
Alto	5	Corresponde a un mineral, roca o elemento dentro del grupo de macronutrientes fundamentales para la fabricación de fertilizantes

Fuente: construcción propia. Se analiza acorde con la composición mineral para la fabricación de fertilizantes según datos en numeral 3.7.1 y Tabla No. 23.

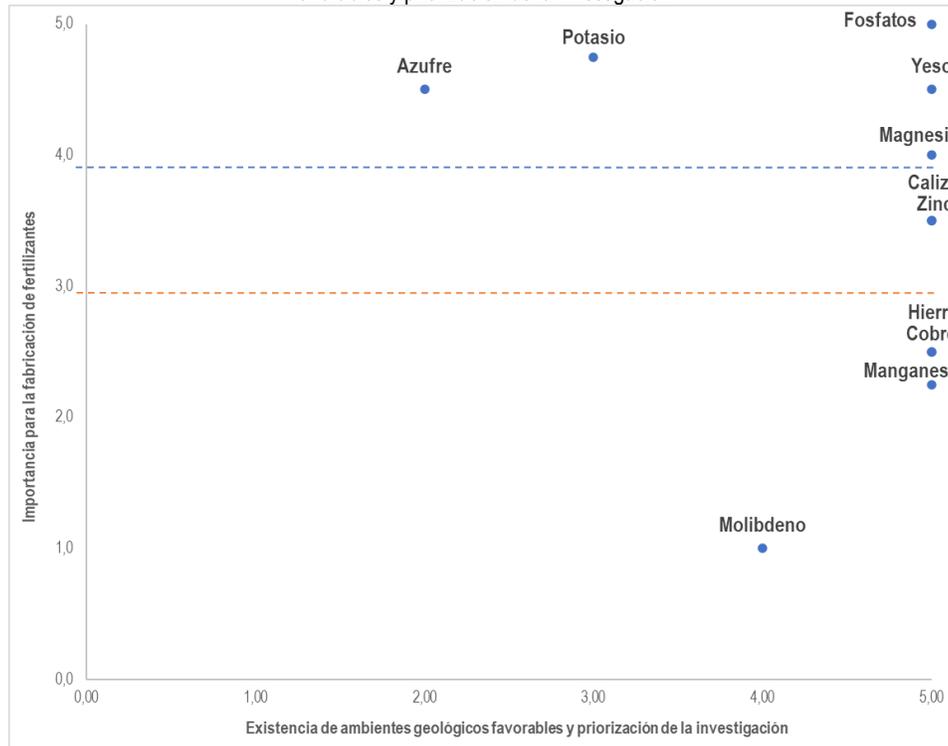
Tabla 26 Puntuación de los minerales en la dimensión “Importancia para la fabricación de fertilizantes”

Mineral	Variable 1: Composición de un fertilizante químico - inorgánico	Variable 2: Importaciones del mineral en el país, respecto de puntajes para las variables relacionadas en la Tabla No. 12		Puntaje Promedio Ponderado
	Puntaje	Cantidad Importada. Promedio Anual (2018-2022)	Participación en valor total importaciones 2022	
		Puntaje	Puntaje	
Fosfatos	5	5	5	5,0
Potasio	5	4	5	4,8
Azufre	4	5	5	4,5
Yeso	4	5	5	4,5
Magnesio	4	4	4	4,0
Caliza	4	3	3	3,5
Zinc	2	5	5	3,5
Hierro	3	3	1	2,5
Cobre	2	3	3	2,5
Manganeso	2	2	3	2,3
Molibdeno	1	1	1	1,0
Ponderación	50%	25%	25%	100%

Fuente: construcción propia.

En la siguiente figura se muestra el resultado de la matriz de selección para la dimensión “Importancia para la fabricación de fertilizantes”, considerando los minerales identificados y analizados:

Figura 21. Diagrama de selección – “Importancia para la fabricación de fertilizantes” vs “Existencia de ambientes geológicos favorables y priorización de la investigación”



Fuente: construcción propia a partir de los datos de las Tablas No. 6 y 26.

En los resultados de la matriz de selección se observa que los minerales **Fosfatos, Potasio, Azufre, Yeso y Magnesio** se encuentran ubicados en la franja de puntuación 4 y 5 (rango alto) de las escalas, lo cual los cataloga como los principales minerales para la fabricación de fertilizantes, a partir de datos considerados previamente en el desarrollo de la dimensión. Por lo anterior, se recomienda su inclusión en el listado de minerales estratégicos para Colombia.

De los demás minerales, el **Zinc** y la **Caliza** son los más cercanos a la franja de puntuación 4 y 5 (rango alto), por lo que se recomienda considerar su inclusión en el listado de minerales estratégicos para Colombia, según los resultados en las demás dimensiones.

4. DETERMINACIÓN DE LOS MINERALES DE INTERÉS ESTRATÉGICO

La siguiente tabla resume los resultados de la valoración efectuada en cada una de las dimensiones consideradas en desarrollo de los lineamientos para la determinación de minerales estratégicos para Colombia, teniendo en cuenta que el puntaje obtenido por cada mineral en la dimensión transversal es definitivo para su determinación como mineral estratégico para el país. Las celdas sombreadas en verde claro destacan los puntajes en rangos altos (entre 4 y 5) obtenidos por el respectivo mineral y la última columna indica el sentido

de la recomendación del presente documento frente a cada mineral, con base en dicha puntuación. Las celdas con la expresión “N.A.” indican las dimensiones en las cuales no fue considerado el mineral:

Tabla 27. Selección de minerales estratégicos para Colombia, según puntuación obtenida por los minerales identificados preliminarmente

Dimensión	Existencia de ambientes geológicos favorables y priorización de la investigación	Desarrollo de la industria asociada a la transición energética	desarrollo de infraestructura pública	Soberanía en el suministro para impulsar la reindustrialización nacional	Importancia para la fabricación de fertilizantes	Implementación de políticas de formalización de pequeños mineros mediante esquemas asociativos	Desarrollo de encadenamientos productivos y reindustrialización	¿Se recomienda como Mineral Estratégico?
Mineral	Puntaje	Puntaje	Puntaje	Puntaje	Puntaje	Puntaje	Puntaje	
Aluminio	5,0	4,2	3,0	4,0	N.A.	2,0	3,8	SI
Azufre	2,0	N.A.	N.A.	4,7	4,5	N.A.	2,8	NO
Caliza	5,0	N.A.	5,0	2,3	3,5	4,0	4,5	SI
Carbón Metalúrgico	5,0	N.A.	5,0	1,7	N.A.	4,0	2,0	SI
Cobalto	3,0	4,0	N.A.	3,7	N.A.	N.A.	2,3	NO
Cobre	5,0	4,4	N.A.	2,3	2,5	2,0	3,8	SI
Cromo	5,0	4,2	N.A.	3,7	N.A.	N.A.	2,0	SI
Esmeraldas	5,0	N.A.	N.A.	1,7	N.A.	5,0	3,3	SI
Fosfatos	5,0	N.A.	N.A.	4,0	5,0	2,0	3,8	SI
Grafito	2,0	4,0	N.A.	3,7	N.A.	N.A.	3,0	NO
Hierro	5,0	N.A.	4,0	1,7	2,5	2,0	4,5	SI
Litio	2,0	4,0	N.A.	3,7	N.A.	N.A.	2,8	NO
Magnesio	5,0	3,6	N.A.	3,0	4,0	N.A.	3,0	SI
Manganeso	5,0	4,2	2,0	2,0	2,3	N.A.	2,0	SI
Materiales de construcción	5,0	N.A.	5,0	3,7	N.A.	5,0	4,0	SI
Molibdeno	4,0	3,8	N.A.	2,3	1,0	N.A.	2,3	NO
Niobio	4,0	2,8	N.A.	3,0	N.A.	1,0	1,5	NO
Níquel	5,0	4,8	N.A.	2,7	N.A.	N.A.	3,8	SI
Oro	5,0	N.A.	N.A.	1,3	N.A.	5,0	3,3	SI
Platino	5,0	1,8	N.A.	2,0	N.A.	4,0	3,3	SI
Potasio	3,0	N.A.	N.A.	4,3	4,8	N.A.	3,0	NO

Silicio	5,0	4,0	4,0	3,0	N.A.	3,0	4,0	SI
Tantalio	4,0	N.A.	N.A.	1,3	N.A.	1,0	2,8	NO
Tierras Raras	4,0	2,6	N.A.	1,0	N.A.	N.A.	1,8	NO
Titanio	1,0	3,2	2,0	2,7	N.A.	N.A.	2,5	NO
Tungsteno	1,0	1,0	1,0	1,3	N.A.	N.A.	3,0	NO
Uranio	5,0	N.A.	N.A.	2,7	N.A.	N.A.	2,0	NO
Vanadio	4,0	3,4	1,0	2,7	N.A.	N.A.	1,3	NO
Yeso	5,0	N.A.	4,0	4,7	4,5	N.A.	3,8	SI
Zinc	5,0	3,6	3,0	4,7	3,5	N.A.	3,3	SI

Fuente: construcción propia.

Acorde con la metodología desarrollada, en la siguiente tabla se muestran los diferentes minerales seleccionados a partir de los lineamientos establecidos para la determinación de minerales estratégicos en el país:

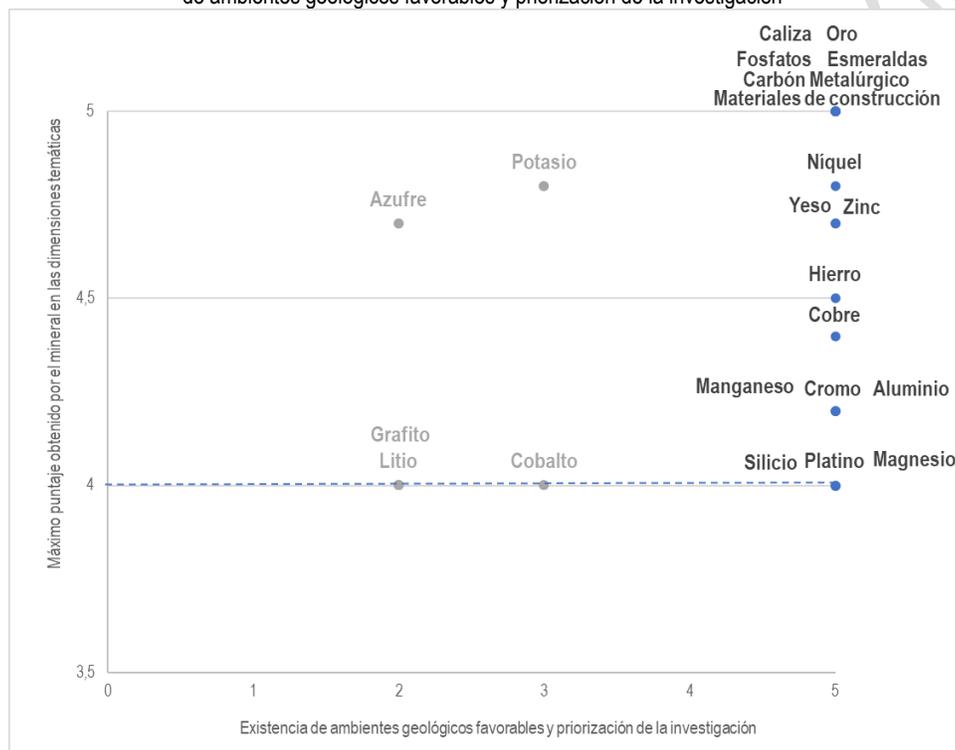
Tabla 28. Agrupación de los minerales a determinar cómo estratégicos en la Tabla No. 27 según lineamientos establecidos

Lineamientos	Dimensiones						Minerales Estratégicos
Demanda de minerales para la transición energética	Desarrollo de la industria asociada a la transición energética						Cobre, Níquel, Cromo, Aluminio, Manganeso y Silicio
Soberanía del Estado colombiano sobre los recursos minerales de propiedad estatal						Desarrollo de encadenamientos productivos y reindustrialización	Aluminio, Fosfatos, Yeso, Zinc, Hierro, Caliza, Materiales de Construcción (arenas, gravas y arcillas) y Silicio
Demanda de minerales para el desarrollo industrial y de la infraestructura pública	Desarrollo de la industria asociada a la transición energética	Desarrollo de infraestructura pública	Soberanía en el suministro para impulsar la reindustrialización nacional				Cobre, Níquel, Cromo, Aluminio, Manganeso, Silicio, Fosfatos, Zinc, Hierro, Carbón Metalúrgico, Materiales de Construcción (arenas, gravas y arcillas), Caliza y Yeso
Minerales para el autoabastecimiento				Importancia para la fabricación de fertilizantes			Zinc, Fosfatos, Aluminio, Yeso, Hierro, Carbón Metalúrgico, Materiales de Construcción (arenas, gravas y arcillas), Caliza, Silicio y Magnesio
Demanda de minerales para la seguridad alimentaria							Fosfatos, Magnesio y Yeso
Minerales para promover la asociatividad					Implementación de políticas de formalización de pequeños mineros mediante esquemas asociativos		Oro, Platino, Carbón Metalúrgico, Materiales de Construcción (arenas, gravas y arcillas), Caliza y Esmeraldas

Fuente: construcción propia con datos de las Tablas No. 3 y 27.

En la siguiente figura se incluyen los minerales recomendados para su determinación como estratégicos en la tabla de selección, junto con el puntaje más alto obtenido por dichos minerales en las dimensiones temáticas, incluyendo la puntuación asignada para los minerales en la dimensión transversal “Existencia de ambientes geológicos favorables y priorización de la investigación”, con lo cual, es posible visualizar el grado de conocimiento geocientífico de los minerales, según la escala y criterios determinados para la dimensión en las Tablas No. 5 y 6:

Figura 22. Minerales a determinar como estratégicos, según máximo puntaje obtenido en las dimensiones temáticas vs “Existencia de ambientes geológicos favorables y priorización de la investigación”



Fuente: construcción propia con datos de las Tablas No. 6 y 27. El color azul corresponde a los minerales a determinar como estratégicos según los resultados de la metodología desarrollada.

En los resultados de la tabla de selección se observa que los minerales **Cobre, Níquel, Zinc, Oro, Platino, Cromo, Fosfatos (roca fosfórica), Magnesio, Hierro, Aluminio, Carbón Metalúrgico, Manganeso, Silicio (arenas silíceas), Materiales de Construcción (limitados a arenas, gravas y arcillas), Caliza, Yeso y Esmeraldas** se encuentran ubicados entre la franja de puntuación 4 y 5 (rango alto) de las escalas puntuación en una o más dimensiones temáticas donde fueron valorados, y en la dimensión transversal; por lo que, acorde con la metodología desarrollada, se recomienda su determinación como minerales estratégicos para Colombia.

Al respecto, es importante tener en cuenta que la Resolución MME 18 0102 del 30 de enero de 2012 determinó como estratégicos para el país, entre otros, los siguientes minerales: **Oro, Platino, Cobre, Fosfatos, Magnesio, Carbón Metalúrgico y Hierro**, los cuales continuarían siendo parte del nuevo listado de minerales estratégicos que establezca la Agencia Nacional de Minería.

En la Figura 22 se incluyen 22 minerales, 17 de ellos recomendados para su determinación como estratégicos según la metodología empleada por encontrarse en nivel alto, tanto en las dimensiones temáticas como en la dimensión transversal “Existencia de ambientes geológicos favorables y priorización de la investigación”. Los minerales **Litio, Grafito, Azufre, Cobalto y Potasio**, a pesar de ser considerados relevantes por el puntaje obtenido en alguna o algunas de las dimensiones temáticas, cuentan con un rango de puntuación entre Bajo y Medio (rango de 2 y 3) en la dimensión transversal, por lo que se evidencia la importancia de ampliar el conocimiento geocientífico relacionado con dichos minerales en el país.

DOCUMENTO EN CONSTRUCCION

CONCLUSIONES

- La determinación de los minerales de interés estratégico para Colombia se fundamenta en los lineamientos de política del Gobierno Nacional que buscan el tránsito de una economía extractiva a una productiva, en la que las materias primas minerales extraídas sean aprovechadas al máximo mediante procesos de beneficio y transformación, y la adición de valor en procesos industriales para la producción de manufacturas semielaboradas y elaboradas, principalmente destinadas a soportar las acciones de la hoja de ruta de la transición energética justa, la seguridad alimentaria y el desarrollo agrícola, así como el desarrollo de infraestructura pública; igualmente, se busca garantizar en el mediano plazo el autoabastecimiento de las materias primas minerales que hoy son importadas en cantidades significativas y promover la asociatividad de los mineros a pequeña y mediana escala para que desarrollen operaciones mineras más competitivas o formalicen sus actividades con proyectos mineros responsables.
- El diseño y aplicación de una metodología propia para Colombia responde a la necesidad de concretar las políticas públicas formuladas por el Gobierno Nacional para el sector minero, que si bien pueden ser similares a los de algunos países desarrollados, en tanto el marco global es la transición energética, la reducción de la dependencia de combustibles fósiles y la creciente demanda por los minerales críticos para los desarrollos industriales asociados a dicha transición, presenta particularidades como la necesidad de provisión de materias primas minerales para facilitar la seguridad alimentaria y el desarrollo agrícola (provisión de minerales para la fabricación de fertilizantes), así como materiales para la construcción de la infraestructura pública requerida (vías terciarias, puentes, aeropuertos, entre otros).

Esta particularidad, sumada al hecho de que el sector minero colombiano está integrado y caracterizado por una mayoría de explotaciones a pequeña escala, una minería de subsistencia altamente relevante en la producción de metales preciosos (oro y platino), esmeraldas y materiales de construcción, y una alta informalidad, contexto que es similar al de muchos países de América Latina y el Caribe, hacen necesario que para algunos minerales se implementen acciones de política pública para promover la asociatividad de pequeños y medianos mineros, con el fin de poder viabilizar proyectos mineros formales y desarrollados con buenas prácticas técnicas, sociales y ambientales.

- La determinación de los minerales de interés estratégico para Colombia parte de la consideración de una dimensión transversal, la *Existencia de ambientes geológicos favorables y priorización de la investigación*, como requisito *sine qua non* para que un mineral resulte ser estratégico para Colombia, toda vez que lo que se busca es el aprovechamiento de los recursos minerales disponibles y que los recursos públicos que el legislador dispuso para el conocimiento y evaluación del potencial mineral del país, se focalicen hacia los minerales necesarios para concretar las políticas públicas señaladas, y el correspondiente logro de los cometidos estatales que buscan el mejoramiento de la calidad de vida de la población. Los puntajes asignados en esta dimensión transversal muestran el nivel de conocimiento geocientífico disponible para cada mineral.
- Entre los minerales que deberían incrementar su producción en el mediano plazo para el abastecimiento de la demanda nacional y la reducción de las importaciones de dichas materias primas, se destacan, entre otros, el yeso (importaciones anuales promedio cercanas a las 400.000 toneladas), fosfatos (50.000 toneladas), zinc (16.000 toneladas) y aluminio (bauxita, 15.000 toneladas). Como puede observarse, los principales minerales para la producción de fertilizantes y abonos agrícolas

registran importaciones significativas que hacen necesario que el Gobierno Nacional promueva el conocimiento geocientífico y estime su potencial en el país.

- El conocimiento geocientífico del potencial que dispone el país para los minerales determinados como estratégicos, es uno de los primeros pasos para que se concreten proyectos mineros que permitan sustituir las actuales importaciones significativas de minerales y ampliar la producción de bienes semi y manufacturados, a partir de dichas materias primas minerales.
- Se destacan como principales minerales para la promoción del desarrollo de encadenamientos productivos la caliza, el hierro, el silicio (arenas silíceas) y materiales de construcción (arenas, gravas y arcillas), seguidos por fosfatos (roca fosfórica), aluminio (bauxita), cobre, yeso y níquel.
- Por la alta informalidad que existe, por ser los minerales que concentran a los mineros de subsistencia y porque tradicionalmente son los minerales que registran las mayores solicitudes de formalización y legalización a través de los diferentes instrumentos vigentes considerados en la legislación minera colombiana, los principales minerales que resultan estratégicos para que Colombia promueva la asociatividad de pequeños y medianos mineros son el oro, esmeraldas, materiales de construcción (limitado a arenas, gravas y arcillas), carbón metalúrgico, caliza y platino.
- Acorde con la metodología desarrollada para determinar los minerales que resultan estratégicos para Colombia, en los resultados de la Tabla de Selección se observa que los minerales **Cobre, Níquel, Zinc, Oro, Platino, Cromo, Fosfatos (roca fosfórica), Magnesio, Hierro, Aluminio, Carbón Metalúrgico, Manganeso, Silicio (arenas silíceas), Materiales de Construcción (limitados a arenas, gravas y arcillas), Caliza, Yeso y Esmeraldas**, son los minerales a considerar para su determinación como minerales estratégicos para el país.

RECOMENDACIONES

Acorde con los resultados obtenidos en la aplicación de los lineamientos definidos por el Consejo Directivo de la Agencia Nacional de Minería - ANM en el Acuerdo 01 de 2023, se recomienda a la Agencia Nacional de Minería, como autoridad mineral nacional:

- I. Determinar, como minerales estratégicos para el país, los siguientes:
 - Cobre (Cu) y sus minerales asociados, derivados o concentrados
 - Níquel (Ni) y sus minerales asociados, derivados o concentrados
 - Zinc (Zn) y sus minerales asociados, derivados o concentrados
 - Metales del Grupo del Platino [Platino (Pt), Paladio (Pd), Rutenio (Ru), Rodio (Rh), Osmio (Os) e Iridio (Ir)] y sus minerales asociados, derivados o concentrados
 - Hierro (Fe) y sus minerales asociados, derivados o concentrados
 - Manganeso (Mn) y sus minerales asociados, derivados o concentrados
 - Carbón metalúrgico
 - Fosfatos [fosforita o roca fosfórica ($P_2O_5 > 20 \%$) y roca fosfática ($P_2O_5 < 20 \%$)] y sus minerales asociados, derivados o concentrados
 - Minerales de Magnesio (Mg) y sus minerales asociados, derivados o concentrados
 - Bauxita y demás minerales de Aluminio, y sus minerales asociados, derivados o concentrados
 - Oro (Au) y sus minerales asociados o concentrados
 - Esmeraldas y sus minerales asociados
 - Materiales de construcción, limitados únicamente a arenas, gravas y arcillas
 - Arenas silíceas, Silicio (Si) y sus minerales asociados, derivados o concentrados
 - Caliza y sus minerales asociados, derivados o concentrados
 - Yeso y sus minerales asociados, derivados o concentrados
 - Cromo y sus minerales asociados, derivados o concentrados
- II. Revisar y, de ser necesario, actualizar el listado de los minerales estratégicos para el país, en un período no menor a tres (3) años.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia Internacional De Energía (2020). *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*. En: <https://www.iea.org/>

Agencia Nacional de Minería. Sistema Integral de Gestión Minera - Anna Minería. En: <https://www.anm.gov.co/?q=anna-mineria>

Agencia Nacional de Minería, 2021. Explotación Nacional de Minerales 2018 a 2022. En: <http://www.anm.gov.co/?q=regalias-contraprestaciones-economica>

Atico Mining Corporation, En. <https://aticomining.com/>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística -DANE. En: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/comercio-internacional/importaciones/importaciones-historicos>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística -DANE. Cuenta Satélite de Minería. En: [https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/cuentas-nacionales/cuentas-satelite/cuenta-satelite-de-mineria-csm#:~:text=La%20Cuenta%20Sat%C3%A9lite%20de%20Miner%C3%ADa,extracci%C3%B3n%20de%20hulla%20\(carb%C3%B3n%20de](https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/cuentas-nacionales/cuentas-satelite/cuenta-satelite-de-mineria-csm#:~:text=La%20Cuenta%20Sat%C3%A9lite%20de%20Miner%C3%ADa,extracci%C3%B3n%20de%20hulla%20(carb%C3%B3n%20de)

Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales –DIAN. Sistema Estadístico de Comercio Exterior En: <http://websiex.dian.gov.co/>

Estándar Colombiano para el Reporte Público de Resultados de Exploración, Recursos y Reservas Minerales - ECRR- (2018). En: https://www.anm.gov.co/sites/default/files/ecrr_espanol_version_final.pdf
Globenewswire. En.: <https://www.globenewswire.com/en/news-release/2022/08/05/2493155/0/en/U3O8-Corp-Commences-Trading-on-the-TSXV-and-Announces-Corporate-Update.html>

Glosario Técnico Minero, Ministerio de Minas y Energía (2003). En: <https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/glosariominero.pdf>

Harvard Kennedy School of Government, *The Atlas of Economic Complexity by @HarvardGrwthLab*. En: <https://atlas.cid.harvard.edu/explore/feasibility?country=49&queryLevel=location&year=2021&productClass=HS&startYear=undefined&product=undefined&target=Product&partner=undefined>

Instituto Colombiano de Geología y Minería - INGEOMINAS (hoy Servicio Geológico Colombiano). El Carbón Colombiano: Reservas, Recursos y Calidad; 2012.

Instituto Colombiano de Geología y Minería - INGEOMINAS (hoy Servicio Geológico Colombiano). La Caliza en Colombia: Geología, Reservas, Recursos y Calidad; 2012.

Instituto Colombiano de Geología y Minería - INGEOMINAS (hoy Servicio Geológico Colombiano). Recursos

López, J.A., Leal, H., Luengas, C.S., Velásquez, L.E., Celada, C.M., Sepúlveda, M.J., Prieto, D.A., Gómez, M., Hart, C.J.R. (2018). Mapa Metalogénico de Colombia. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.

Minerales de Colombia Volúmenes 1 y 2: Reservas, Recursos y Calidad; 2012.

Ministerio de Industria y Comercio. Política de Reindustrialización. Febrero 2023.

Observatorio de Complejidad Económica (OEC), Link: <https://oec.world/es/profile/hs/fertilizers>

Sedar. Diferentes publicaciones realizadas por las compañías listadas. En: https://www.sedarplus.ca/csa-party/viewInstance/view.html?id=0c11f8b7998bcd96d50a9750e4819a572d1eeb189d4eccf0&_timestamp=8489014533280784

Sepúlveda, J., Celada, C. M., Leal-Mejía, H., Murillo, H., Rodríguez, A., Gómez, M., Prieto, D., Jiménez, C. Rache, A. y Hart, C. (2020). *Mapa Metalogénico de Colombia 2020. Memoria Explicativa*. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano

Servicio Geológico Colombiano. Atlas Geoquímico de Colombia (2020). En: <https://www2.sgc.gov.co/sgc/mapas/Paginas/AtlasGeoquimico.aspx>

South 32. En: https://www.south32.net/docs/default-source/annual-general-meetings/2022/annual-report-2022.pdf?sfvrsn=8b529d95_1

Tecnicoagricola.es. En: <https://www.tecnicoagricola.es/riqueza-o-concentracion-de-los-abonos-o-fertilizantes-npk/>

United States Geological Survey (USGS) - *Mineral Commodity Summaries 2023*, En: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2023/mcs2023.pdf>

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS - ANEXO 3

Alfonso, R., y González, L., (1990). Geología y evaluación económica de los prospectos de ilmenita-magnetita del área de Don Diego. Departamento del Magdalena. Sierra Nevada de Santa Marta. Ingeominas, 208 p., Cartagena.

Alvarado S., Córdoba R., Ibáñez R., Monroy W. (2011). Exploración y evaluación de carbones en el área Guataquí – Jerusalén – Guaduas – Caparrapí, Ingeominas.

Alvarado, L. y Solano, F., (1995). Evaluación preliminar de las mineralizaciones entre los ríos Don Diego y Ancho, al norte de la Sierra nevada de Santa Marta, (departamentos del Magdalena y La Guajira). Tesis BSc, informe 2216, Ingeominas-Universidad Nacional de Colombia, 62 p., Bogotá.

Álvarez-Galindez, M. J., (2013). Petrología, geoquímica isotópica e metalogenia dos depósitos de ouro El Silencio e La Gran Còlombia, distrito mineiro Segovia-Remedios, Colòmbia. Tesis MSc, Universidad de Brasilia. 178 p.

Álvarez, J., (1983). Rocas máficas y ultramáficas en Colombia y depósitos minerales asociados. Ingeominas, 67 p., Medellín.

Álvarez, J., (1985). Ofiolitas y evolución tectónica del Occidente Colombiano. Ingeominas, Medellín, 30 p.

Álvarez, J., (1989). Mapa metalogénico de las fajas ofiolíticas de la zona occidental de Colombia. Ingeominas. Informe 2024 de 1987. Boletín Geológico, volumen 30- No 2, pp 5-24. Bogotá.

Amaya Perea, Z. (2013). Caracterización Mineralógica Y Geoquímica de Wolframitas y Minerales Asociados en Zancudo, Río Inirida, Colombia. Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia, p. 31.

Angée-Moreno, D. L. y Betancur-Osorio, C. A., (2018). Caracterización petrográfica, metalográfica, microtermométrica y composicional de la mina El Gran Porvenir, Líbano, Tolima. Tesis BSc, Universidad de Caldas, 85 p., Manizales.

ANH – GRP Ltda (2014). Contrato N° 065 de 2011. Cartografía geológica a escala 1:100.000 de las planchas 298, 299, 318, 319, 320, 341, 342 y 363 localizadas en las cuencas Tumaco y Cauca-Patía y, la Cordillera Occidental, así como el levantamiento de columnas estratigráficas y muestreo litológico para los análisis petrográficos, bioestratigráficos, geoquímicos, petrofísicos y radiométricos. Bogotá.

Aris Mining. (2022, December 31). *Segovia mineral reserves (effective December 31, 2022)*. Reservas y Recursos.

<https://www.aris-mining.com/operations/operating-mines/segovia/reserves-and-resources/default.aspx>

Ayala-Calvo, R.C.; Bayona-Chaparro, G.A.; Ojeda-Marulanda, C.; Cardona, A.; Valencia, V.; Padrón, C.E.; Yoris, F.; Mesa-Salamanca, J. y García, A. (2009): Estratigrafía y procedencia de las unidades comprendidas entre el Campaniano y el Paleógeno en la subcuenca de Cesar: aportes a la evolución tectónica del área. - Geología Colombiana, 34, pp. 3-33, 17 Figs., Bogotá

Balaram, V. (2019). *Rare earth elements: A review of applications, occurrence, exploration, analysis, recycling, and environmental impact*. *Geoscience Frontiers* 10 (2019) 1285e1303.

Barnett, W. y Dishaw, G. (2014). *Independent technical report on the Vetas gold project, Santander department, republic of Colombia. Canadian National Instrument NI 43-101 technical report prepared by SRK Consulting (Canada) Inc. for CB Gold Inc., Vancouver, Canada.*

Barrero, D., Mosquera, D., López, J. H., Buitrago, C. (1971). Geología del depósito de plomo – zinc – plata, Las Nieblas, municipio de Salento, Quindío. Informe No. 1580. Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras. Ibagué, Colombia.

Bautista, S. Moreno, G. Pérez, A. Romero, F. Zamora, A. (2014). Exploración de minerales energéticos a partir de mediciones gamaespectrométricas para potasio, uranio y torio en el sector central del departamento de Boyacá y sur de Santander, Colombia. Bogotá D.C: Servicio Geológico Colombiano.

Bautista, S. Moreno, G. Romero, F. Zamora, A. Zappa, L. (2015). Exploración de minerales energéticos a partir de mediciones gamaespectrométricas para potasio, uranio y torio, entre los municipios de Arcabuco (Boyacá) y Chima (Santander). Colombia. Bogotá D.C: Servicio Geológico Colombiano.

Bautista, S. Cáceres, M. Romero, F. Zamora, A. Zappa, L. (2016). Exploración de minerales energéticos a partir de mediciones gamaespectrométricas para potasio, uranio y torio en el área Simacota-Lebrija y área de California, departamento de Santander. Bogotá D.C: Servicio Geológico Colombiano.

Bautista, S. Cáceres, M. Romero, F. Zamora, A. Zappa, L. (2017). Exploración de minerales energéticos a partir de mediciones gamaespectrométricas para potasio, uranio y torio en el área de San José del Guaviare y área la Plata-Yaguará, departamento del Huila. Bogotá D.C: Servicio Geológico Colombiano.

Bautista, S. Zamora, A. Zappa, L. Romero, F. (2018). Exploración de Minerales Energéticos a partir de mediciones espectrométricas gama para Potasio, Uranio y Torio en las áreas Ataco – Ortega (Departamento del Tolima) e Irra (Departamentos de Caldas y Risaralda). Bogotá D. C: Servicio Geológico Colombiano.

Bautista, S. y Zamora, A. (2019). Prospección de Minerales energéticos a partir de mediciones gamaespectrométricas para potasio, uranio y torio en el área Nariño-Jerusalén, Departamento de Cundinamarca. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.

Bautista, S., Zappa, L., Zamora, A., Romero, F., Barrera, D. (2020). Prospección de Minerales energéticos a partir de mediciones Gamaespectrométricas para potasio, uranio y torio en el área Ortega-Piedras, Departamento del Tolima. Bogotá. Servicio Geológico Colombiano.

Bautista, S., Zappa, L., Zamora, A., Romero, F., Barrera, D. (2022). Prospección de Minerales energéticos a partir de mediciones Gamaespectrométricas para potasio, uranio y torio en el área Colombia-Rivera, Departamento del Huila. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano. <https://doi.org/10.32685/4.3.2020.922>

Beltrán C., et al, 1998. Programa de normalización de reservas y recursos carboníferos departamento de Norte de Santander. Ecocarbón.

Berger, B. R., Ayuso, R. A., Wynn, J. C., and Il, R. R. S. (2008). *Preliminary model of porphyry copper deposits. Open-File Report.* <https://doi.org/10.3133/OFR20081321>

Betancourt, J., (2014). *Magmatic evolution of the La Colosa porphyry cluster and related gold mineralization. La Colosa Project, Central Cordillera, Colombia.* Tesis MSc. Universidad de Barcelona.

Betancur-Figueroa, S., Villanova-de-Benavent, C., Proenza, J.A., Weber, M.B., Acevedo, N., García-Casco, A., (2020). *Mineralogy and geochemistry of Fe-Ti oxide ores from the Don Dieguito massif-type anorthosite suite, Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia.* Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 72 (3), A200720, 26 p. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2020v72n3a200720>.

Beus, A. A. y Grigorian, S. V., (1977). *Geochemical exploration methods for mineral deposits.* Traducido por Rita Teteruk-Schneider. Applied publishing, Wilmette, Ill USA, 187 p.

Boyle, R. W. (1982). *Geochemical prospecting for thorium and uranium deposits.* Elsevier.

Cathcart, J. y Zambrano, F. (1967). Roca fosfática en Colombia. Boletín Geológico 15(1-3), 65-162. Bogotá: Servicio Geológico Nacional.

Calle, B. y Zapata, G. (1987). Minerales de Manganeso. En: Recursos Minerales de Colombia. Segunda Edición. Publicaciones Geológicas Especiales del Ingeominas. Bogotá.

Campos Álvarez, N.O., Roser B.P. (2007). *Geochemistry of black shales from the Lower Cretaceous Paja Formation, Eastern Cordillera, Colombia: Source weathering, provenance, and tectonic setting*, *Journal of South American Earth Sciences*, 23 (4), 271-289, ISSN 0895-9811, <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2007.02.003>.

Cannon, W.F., Kimball, B.E., and Corathers, L.A. (2017). Manganese, chap. L of Schulz, K.J., DeYoung, J.H., Jr., Seal, R.R., II, and Bradley, D.C., eds., *Critical mineral resources of the United States—Economic and environmental geology and prospects for future supply: U.S. Geological Survey Professional Paper 1802*, p. L1–L28, <https://doi.org/10.3133/pp1802L>.

Castellanos-Alarcón, O. M., Ríos-Reyes, C. A., y Mantilla-Figueroa, L. C., (2016). *Occurrence of a skarn-type mineralogy found in Ciénaga Marbles, located in the NW foothills of the Santa Marta Massif (Colombia)*. *Dyna*, 83 (196), 69-79, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

Castro, H., (1987). Minerales de níquel. En: Villegas, A. (editor), *Recursos minerales de Colombia*, Tomo I metales preciosos, minerales metálicos. Ingeominas, Publicaciones Geológicas Especiales 1, pp 327-368, Bogotá.

Ciesielski, A. y Scodnick, J., (2022). Ta-Nb-Sn-Ti-REE – *Minastyc property. Mining title LFH-14431X vereda Guaripa, Puerto Carreño – Vichada Department, Colombia*. Informe técnico NI 43-101 preparado por Servicios de minería CanaMex S.A. para Auxico resources Canada Inc. 95 p.

CONPES 3577 (2009). Política nacional para la racionalización del componente de costos de producción asociado a los fertilizantes en el sector agropecuario. Bogotá: Departamento Nacional de Planeación.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca-CVC-Ingeominas (2000). Convenio CVC 008-1999. Inventario y Caracterización Técnico Ambiental del Sector Minero en el área de Jurisdicción de la C.V.C. Municipio de Buenaventura. Cali, 27p.

Cuney, M. & Kyser, K. (Eds.). (2009). *Recent and not-so-recent developments in uranium deposits and implications for exploration*.

Chavéz, W. X. (2000). *Supergene oxidation of copper deposits: Zoning and distribution of copper oxide minerals*. *Society of Economic Geologists Newsletter*, 41, 1–21

Dahlkamp, F.J. (1993). *Uranium ore deposit*. Springer.

De Mark, P. (2022). *Aris Mining Corporation Technical Report Marmato Gold Mine Pre-Feasibility Study of the Lower Mine Expansion Project*.

Departamento Nacional de Planeación-DNP (2023). Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 “Colombia, Potencia Mundial de la Vida”, Plan plurianual de inversiones-PPI 2023-2026 (CONPES) leído 10/04/2023. <https://www.dnp.gov.co/plan-nacional-desarrollo/pnd-2022-2026/Paginas/default.aspx>

Díaz, J. Moreno, G. Bautista, S. (2013). Exploración de minerales energéticos a partir de mediciones gamaespectrométricas para potasio, uranio y torio en el sector sur del Macizo de Quetame, Colombia. Bogotá D.C: Servicio Geológico Colombiano.

Dill, H.G. (2010) *The “Chessboard” Classification Scheme of Mineral Deposits* *Mineralogy and Geology from Aluminum to Zirconium. Earth Science Reviews*, 100, 1-420. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2009.10.011>

Dill, H. G., (2015). *Exploration models and techniques for sediment-hosted mineral deposit. Ti-V-Al-Ga*. Memorias de curso de entrenamiento intensivo sobre exploración y recursos minerales y minería. Instituto de Corea de geociencias y recursos minerales-KIGAM.

Dorado Montalvo, C. (2012). “*Metalogénesis de las mineralizaciones auríferas del área de El Vapor, Antioquia*” [Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/21330>

Drew J., L. (2006). *A Tectonic Model for the Spatial Occurrence of Porphyry Copper and Polymetallic Vein Deposits—Applications to Central Europe*. <https://pubs.usgs.gov/sir/2005/5272/>

Duarte, C., Ibáñez, R., Rincón, M. y Monroy, W. (2010). Exploración y evaluación de carbones en el área Sueva – Machetá, El Espino – Güicán y Capitanejo, Ingeominas, 2010.

Durán, R., Piragua, A., Bermúdez, H., Pilonieta, J., y Numpaque, A. (2011). Reconocimiento y muestreo litológico para potasio y magnesio en Colombia. Bogotá: Ingeominas

Echeverri-Franco, B., (2006). *Genesis and thermal history of gold mineralization in the Remedios-Segovia-Zaragoza Mining District of Northern Colombia*. Tesis MSc no publicada, University of Shimane, Japan.

Emsbo, P., Seal, R. R., Breit, G. N., Diehl, S. F., and Shah, A. K. (2016). *Sedimentary exhalative (sedex) zinc-lead-silver deposit model. U. S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010-5070N*, 57. <https://doi.org/10.3133/SIR20105070N>

Escorce, E., (1971). Ocurrencias minerales en el Departamento del Chocó. Informe 1620, Ingeominas, 66 p., Medellín.

Evans, L., Routledge, R., Weir, I., Krutzmann, H., & Wiatzka, G. (2021). *Technical Report on the Nechí Alluvial Gold Mineral Resource and Mineral Reserve Estimates, Antioquia Department, Colombia Report for Technical Report on the Nechí Alluvial Gold Mineral Resource and Mineral Reserve Estimates, Antioquia Department, Colombia*.

Fisk, V. (06 de febrero de 2019). El yeso como producto agrícola. Soil Science Society of America. <https://www.soils.org/news/science-news/gypsum-agricultural-product/#:~:text=Gypsum%20helps%20soil%20better%20absorb,vegetables%2C%20among%20other%20benefits.%E2%80%9D>

Franco-Victoria, J.A., (2015). Contribución a la geología histórica del Oriente Colombiano: Proveniencia de minerales metálicos con Nb, Ta, Mn, Fe, Ti, Sn y W, de un depósito laterizado, en cercanías a la Comunidad Indígena de Cachicamo, al NE del Departamento del Vichada. Tesis MSc, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Franco-Victoria, J.A., Cramer, T., Bonilla-Pérez, A., Castañeda, A.J., Poujol, M., y Amaya- Perea, Z., (2021). Mineralogía y geocronología de rutilo-(Nb,Ta) relacionado a casiterita y columbita-tantalita provenientes de rocas Mesoproterozoicas del Cratón Amazónico cerca de Cachicamo, Colombia. *Boletín de geología* 43 (1), pp 99–126, Universidad industrial de Santander, Bucaramanga.

Galvis, J. N. (1987). Evaporitas. Recursos Minerales de Colombia, Tomo II. Pub. Geol. Esp. No. 1. Bogotá: Ingeominas, p. 780-826.

Garaventa, L.; del Dago, E.; Castro, L. y Celeda, A., (2020). Posibilidades del aprovechamiento de glauconitas como agromineral de liberación controlada de potasio. X Jornadas Argentinas de Tratamiento de Minerales. Salta, Argentina.

García, C., (2007). Caracterización petrográfica y metalográfica del prospecto de pórfido aurífero Dosquebradas-La Cumbre, Quinchía, Risaralda. Tesis BSc, Universidad de Caldas, Manizales.

Garzón, T., (2017). Mineralizaciones tipo IOCG-IOA en la Sierra Nevada de Santa Marta. Memorias del XVI congreso colombiano de geología, pp 808-813, Santa Marta.

Goldschmidt, V. (1937). *Geochemical distribution of the elements, the proportions and the atomic species*. Oslo, Noruega.

González, L., (2000). Análisis financiero para mineralizaciones de ilmenita (titanio) en la Sierra Nevada de Santa Marta. Boletín geológico 38 (1-3), pp 2-81, Bogotá.

González, L. Vásquez, L. Muñoz, R. Gómez, H. Parrado, G. Vargas, S. (2008). Exploración de uranio en Paipa, Iza, Pesca, Chivata (Boyacá). Bogotá D.C: INGEOMINAS

González, L. Vásquez, L. Muñoz, R. Gómez, H. Vargas, S. (2009). Exploración de uranio en Floresta (Boyacá). Bogotá D.C: INGEOMINAS

González, L. Gómez, H. Muñoz, R. Vargas, S. (2010). Exploración de uranio Monquirá Boyacá. Bogotá D.C: INGEOMINAS

González, L. y Baquero, A. (2012). Hallazgo de yacimientos de sales de potasio en Colombia. Boletín de Geología, 34(1), 57-65.

Hernández-González, J. S. y Terraza, R. (2019). Exploración geológica de Magnesio en el flanco oriental de la Cordillera Central de Colombia, Bloque Huila. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.

Hitzman et al (2010). *Formation of Sedimentary Rock-Hosted Stratiform Copper Deposits through Earth History*

Hulburt, C. y Klein, C. (1984). Manual de mineralogía de Dana. Editorial Reverté

International Atomic Energy Agency (IAEA). (2018). *Geological classification of uranium deposits and description of selected examples* IAEA-TECDOC-1842, IAEA. Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA). (2020a). *Descriptive Uranium Deposit and Mineral System Models* Non-serial Publications, IAEA. Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA). (2020b). *World Uranium Geology, Exploration, Resources and Production* Non-serial Publications, IAEA. Vienna.

International Nickel Study Group-INSIG (2023). <https://insg.org/>

International Pb y Zn study group (2023). *What Is Zinc*. <https://www.ilzsg.org/what-is-zinc/>

International Zinc Association (2023). *Zinc Market at a Glance*. <https://www.zinc.org/>

Japan International Cooperation Agency y Metal Mining Agency of Japan. (1983). *Report on geological survey of Piedrancha área, project of INGEOMINAS. Consolidated report, departamento de Nariño. Fase I, II, y III*. JICA. Inédito. Tokio.
http://aplicaciones1.ingeominas.gov.co/Bodega/i_raster/130/12/0050/17954/documento/pdf/0101179541103000.pdf

Jiménez, J. F., Castellanos, F. y Mendoza, O. H., (2020). Zinc (Zn). En: Atlas Geoquímico de Colombia, versión 2020, Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.

Jiménez, J. F., Duarte, J., Pérez, A., Castellanos, F. y Mendoza, O. H., (2020). Níquel- (Ni). En: Atlas Geoquímico de Colombia, versión 2020, Bogotá: Servicio Geológico Colombiano, pp 189-196.

Jiménez-Triana, C., (2007). Evaluación de hierro y titanio en los depósitos de arenas negras de la zona costera ubicada entre los ríos Palomino y Ancho, municipio de Dibulla, departamento de La Guajira. Tesis BSc, Universidad Nacional de Colombia, 22 p., Bogotá.

Kerguelen-Bendeck, J. L. (2016). Caracterización y aprovechamiento de recursos minerales en colas de terrazas aluviales del distrito Bagre-Nechí. Tesis MSc, Universidad Nacional de Colombia, 73 p., Medellín.

Kuntz, G., Robinson, J., Pumphrey, S., Boyko, K., Harkonen, H., Martin, C., Muir, W., Williamson, P., y Cepuritis, P., (2022). NI 43-101 *technical report and prefeasibility study, San Matías copper-gold-silver project, Colombia*. Lamus-Molina, A., (2005). Mineralogía aplicada al uso y aprovechamiento de las arenas negras (El Bagre, Antioquia). Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

Landry, P. y Lavigne, J. (2013). *Technical report on the Vetas gold project, department of Santander, Colombia. Canadian National Instrument NI 43-101 technical report prepared by Roscoe Postle Associates Inc. for Galway Gold Inc., Toronto, Canada. Department of Santander, Colombia. Canadian National Instrument NI 43-101 technical report prepared by Roscoe Postle Associates Inc. for Galway Gold Inc., Toronto, Canada.*

Leal-Mejía, H., (2011). *Phanerozoic gold metallogeny in the Colombian Andes: a tectono-magmatic approach*. Tesis PhD, Universidad de Barcelona.

Leach, D. L., Sangster D. F., Kelley, K. D., Large, R. R., Allen, C. R., Gutzmer, J., y Walters, S. (2005). "Sediment-Hosted Lead-Zinc Deposits: A Global Perspective". En: *One Hundredth Anniversary Volume*. Jeffrey W. Hedenquist, John F. H. Thompson, Richard J. Goldfarb, Jeremy P. Richards.

Licht, O. A. B., De Mello, C. S. Q. y Da Silva, C. S., (2007). *Prospecção geoquímica de depósitos minerais metálicos, não metálicos, óleo e gás*. SBGq: CPRM.

Long, K. R. (1992a). *Descriptive model of detachment-fault-related polymetallic deposits*. In J. D. Bliss (Ed.), *Developments in mineral deposit modeling; USGS bulletin 2004* (pp. 57–62). U.S. Geological Survey.

Long, K. R. (1992b). *Preliminary descriptive model for detachment fault-related mineralization*. In J. D. Bliss (Ed.), *Developments in mineral deposit modeling; USGS bulletin 2004* (pp. 52–56). U.S. Geological Survey.

Manco, J. D., (2020). *Geology, geochronology and geochemistry of the El Alacrán Deposit, San Matías District, Córdoba-Colombia*. Tesis MSc, University of British Columbia, 260 p., Vancouver.

Mantilla, L. C., Silva, A., Serrano, J. J., Conde, J., Gómez, C., Ramírez, J. C. et al. (2007). Investigación petrográfica y geoquímica de las sedimentitas del Cretácico Inferior (K1) y sus manifestaciones hidrotermales asociadas; planchas 169, 170, 189, 190 (cordillera Oriental): implicaciones en la búsqueda de esmeraldas. Acuerdo específico 1 de 2005. Bogotá: Ingeominas-Universidad Industrial de Santander.

Mantilla, L. C., Valencia, V. A., Barra, F., Pinto, J., & Colegial, J. (2009). Geocronología U-Pb de los cuerpos porfiríticos del distrito aurífero de Vetas - California (dpto. de Santander, Colombia). *Boletín de Geología*, 31(1), 31–43.

Melgar, R., J., y Castro, L., (2002). Potasio. Depósitos Minerales. Departamento de Geología. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. Argentina.

Mendoza, O.G., Ceballos, L., Pérez, A., Castellanos, F. y Mendoza, O. H (2020). Aluminio – Al₂O₃, en: Atlas geoquímico de Colombia, versión 2020, Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.

Mendoza, O.G.; Ceballos, L.; Pérez, A., Castellanos, F. y Rincón, A. Y., (2020). Potasio-(K₂O). En: Atlas Geoquímico de Colombia, versión 2020, Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.

Meinert, L. D., Dipple, G. M., and Nicolescu, S. (2005). *World Skarn Deposits. One Hundredth Anniversary Volume*. <https://doi.org/10.5382/AV100.11>

Miningintelligence (2019). *The World's top 10 largest zinc mines*. <https://www.miningintelligence.com/>

Misra, K. (2000). *Understanding mineral deposits*. Springer Science & Business Media.

Mojica, P. (1987). Fosfatos - Recursos Minerales de Colombia, Tomo II. Pub. Geol. Esp. No. 1. Bogotá: Ingeominas, p. 856-893.

Molano, J. C., y Shimazaki, H. (2003). Mineralogía, geoquímica y algunos aspectos genéticos de la mina El Diamante- Nariño (Colombia). *Boletín De Geología*, 25(40), 105–116. Recuperado a partir de <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaboletindegelogia/article/view/3958>

Montoya, D. y Moreno, G. (2019). Esmeralda. En: Recursos minerales de Colombia, vol. 2. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.

Montoya Arenas, D. M. (2019). Formación Tablazo: descripción de la sección tipo. Depósitos de carbonatos en una rampa afectada por exposiciones subaéreas iterativas. En Estudios geológicos y paleontológicos sobre el Cretácico en la región del embalse del río Sogamoso, Valle Medio del Magdalena, dirección científica y edición de Fernando Etayo-Serna. Compilación de los Estudios Geológicos Oficiales en Colombia vol. XXIII. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.

Monroy, W. y Sandoval, M. (2013). Exploración y evaluación de carbones en el Área De Betania – Departamento De Boyacá, Servicio Geológico Colombiano.

Monroy, W. y Sandoval, M. (2014). Exploración y evaluación de carbones en el área de Cimitarra – Opón – Landázuri departamento de Santander, Servicio Geológico Colombiano.

Monroy, W. y Sandoval, M. (2015). Exploración y evaluación de carbones en el área Vanegas – San Vicente de Chucurí – río cascajales del departamento de Santander, Servicio Geológico Colombiano.

Monroy, W. y Sandoval, M. (2016). Exploración y evaluación de carbones en el área Sabanalarga recetor del departamento de Casanare, Servicio Geológico Colombiano.

Monroy, W. y Sandoval, M. (2017). Exploración y evaluación de carbones en el área Paratebuena - Páez departamentos de Cundinamarca, Casanare y Boyacá, Servicio Geológico Colombiano.

Moreno, G., Díaz, J. Quintero, F. (2011). Exploración de minerales energéticos a partir de mediciones gamaespectrométricas para potasio, uranio y torio en el sector central del Macizo de Santander, Colombia. Bogotá D.C: Servicio Geológico Colombiano.

Moreno, G., Díaz, J. (2012). Exploración de minerales energéticos a partir de mediciones gamaespectrométricas para potasio, uranio y torio en el sector norte del Macizo de Quetame, Colombia. Bogotá D.C: Servicio Geológico Colombiano.

Moyano, I., Lara, N., Arias, H., Gómez, E., Ospina, D., Puentes, M., Robayo, A., Rojas, O. y Torrado, S., (2020a). Mapa de anomalías geofísicas de Colombia para recursos minerales, versión 2020. Escala 1:1'1500.000. Memoria explicativa. Servicio Geológico Colombiano, 88 p., Bogotá.

Moyano, I., Lara, N., Arias, H., Gómez, E., Ospina, D., Puentes, M., Robayo, A., Rojas, O. y Torrado, S., (2020b). Mapa de anomalías geofísicas de Colombia para recursos minerales. Anomalía de intensidad magnética total (nT). Escala 1:1'1500.000. Servicio Geológico Colombiano, Bogotá.

Moyano, I., Lara, N., Arias, H., Gómez, E., Ospina, D., Puentes, M., Robayo, A., Rojas, O. y Torrado, S., (2020c). Mapa de anomalías geofísicas de Colombia para recursos minerales. Señal analítica de la anomalía de intensidad magnética total (nT/m). Escala 1:1'1500.000. Servicio Geológico Colombiano, Bogotá.

Moyano, I., Lara, N., Arias, H., Gómez, E., Ospina, D., Puentes, M., Robayo, A., Rojas, O. y Torrado, S., (2020d). Mapa de anomalías geofísicas de Colombia para recursos minerales. Distribución ternaria de la concentración de K, U y Th. Escala 1:1'1500.000. Servicio Geológico Colombiano, Bogotá.

Moyano, I., Lara, N., Arias, H., Gómez, E., Ospina, D., Puentes, M., Robayo, A., Rojas, O. y Torrado, S., (2020e). Mapa de anomalías geofísicas de Colombia para recursos minerales. Fuentes magnéticas modeladas a partir de la inversión del vector magnético. Escala 1:1'1500.000. Servicio Geológico Colombiano, Bogotá.

National Minerals Information Center (2022). *Statistics and information on the worldwide supply of, demand for, and flow of the mineral commodity zinc*. USGS. <https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/zinc-statistics-and-information>

Nickel Institute: *Knowledge for a brighter future* (2023). <https://nickelinstitute.org/>

Páez, N., Fuentes, L., Másmela, O., Troncoso, J., y Terraza, R. (2022). Prospección y evaluación de materiales de construcción en la Zona Piloto de Bogotá. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.

Pallier, J.P. (2022). U3O8 *Technical report on the Berlin Uranium-Battery commodity deposits* Informe NI 43-101. Colombia.

Patiño, M. (2015). *Mineralogical characterization of fe-rich deposits (ferricrets) in sedimentary rocks of the Caballos Formation, Upper Magdalena Valley, Central Cordillera of colombian andes*. Tesis de Grado. Universidad de los Andes. Bogotá.

Paz, D. C., (2012). Caracterización de ilmenitas y minerales asociados en arenas negras de la costa entre las desembocaduras de los ríos Palomino y Ancho, al NE de la Sierra Nevada de Santa Marta. Tesis BSc, Universidad Nacional de Colombia, 31 p., Bogotá.

Pettijohn, E L. (1970). Rocas sedimentarias, tercera edición. Nueva York: Harper & Row.

Pérez, A. (2010). Exploración de uranio en el sector occidental del Macizo de Santander. Bogotá D.C: INGEOMINAS

Pérez, A., Jiménez, J.F., Mendoza, O., Mendoza, O.H., Ajiaco, F., Castellanos, F., Ceballos, L., Duarte, J., Portilla, K., Cruz, N., Prieto, G., García, D., Rincón, A. Y., Orejuela, C. J. y Winterburn, P. (2020). Atlas Geoquímico de Colombia versión 2020. Servicio Geológico Colombiano. Bogotá.

Prieto R., G., Guatame, C. L. y Cárdenas, S. C. (comps). (2019). Recursos minerales de Colombia, vol. 2. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)- Ingeominas, (1975). Investigación detallada de los depósitos de laterita niquelífera en Planeta Rica, Departamento de Córdoba. Informe técnico, 68 p.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)- Ingeominas, (1976a). Investigación detallada de los cuerpos ultrabásicos del área de Uré (Departamento de Córdoba). Informe técnico, 81 p. Nueva York.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)- Ingeominas, (1976b). Investigación detallada de los cuerpos ultrabásicos de Medellín (Departamento de Antioquia). Informe técnico, 37 p., Nueva York.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)- Ingeominas, (1976c). Investigación detallada de los depósitos de lateritas niquelíferas de Ituango (Departamento de Antioquia). Informe técnico 1718, 14 p., Nueva York.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)- Ingeominas, (1976d). Investigación detallada de los depósitos de lateritas niquelíferas de Morro Pelón (Departamento de Antioquia). Informe técnico 1722, 22 p., Nueva York.

Ramírez-Cárdenas, Carlos A., Pujol-Solà, Núria., Proenza, Joaquín A., Weber, Marion., Castillo-Oliver, Montgarri., Tobón, Mónica & Garcia-Casco, Antonio (2023): *Mantle-hosted ophiolitic chromitites from Colombia: implications for petrogenesis and geodynamic evolution*, *International Geology Review*, DOI: 10.1080/00206814.2023.2228361

Resolución 18-0102 de 2012 [Ministerio de minas y energía]. Por el cual se determinan unos minerales de interés estratégico para el país. 30 de enero de 2012.

Reyes, G., Montoya, D., Terraza, R., Fúquen, J., Mayorga, M. y Gaona, T. (2006). Geología del cinturón esmeraldífero occidental, planchas 169, 170, 189 y 190 (mapa e informe). Escala 1:100.000. Bogotá: Ingeominas.

Rodríguez, M. A. (2023, July). Previsión del precio del oro 2023-2025: ¿Disminuirá la cotización del oro en los próximos días o repuntará desde el nivel de soporte clave? CAPEX.Com. <https://capex.com/lat/overview/oro-precio>

Rodríguez, G., Bermúdez, J.G., Ramírez, C., Ramos, K., Ortiz, F., Sepúlveda, J., Sierra-Rojas, M. (2013). Hierro oolítico en el área del municipio de Mitú (departamento de Vaupés, Amazonía Colombiana) Boletín de ciencias de la tierra. 34. 5-14.

Rodríguez, A., y Solano, O. (2000). Mapa geológico del departamento de Boyacá. Memoria explicativa. Ingeominas. Bogotá.

Rojas Barbosa, S., Molano Mendoza, J. C., & Cramer, T. (2020). *Petrography, microthermometry, and isotopy of the gold veins from Vetas, Santander (Colombia)*. *Earth Sciences Research Journal*, 24(1). <https://doi.org/10.15446/esrj.v24n1.63443>

Rudnick, R.L. and Gao, S. (2003) Vol. 3: The Crust, 3.01—*The Composition of the Continental Crust*. In: *Holland, H.D. and Turekian, K.K., Eds., Treatise on Geochemistry, Elsevier-Pergamon, Oxford*, 1-64. <http://dx.doi.org/10.1016/b0-08-043751-6/03016-4>

Santos, M.A., y Cramer, T., 2019, Mineralogía y geoquímica de wolframitas e inclusiones fluidas en cuarzo de W-Au vetiforme en Taraira, Vaupés Amazonía colombiana., in Sociedad Colombiana de Geología ed., XVII Congreso Colombiano de Geología, Santa Marta, agosto 14 – 16 2019, Santa Marta, p. oral.

Sarmiento (1987) Zinc. En: Recursos Minerales de Colombia. Tomo I. Publicaciones especiales. Ingeominas. Bogotá.

Sarmiento, L. F. (2002). Condiciones geológicas favorables de las sedimentitas cretácicas de la Cordillera Oriental de Colombia para la existencia de depósitos exhalativos submarinos de plomo y zinc. Boletín de Geología, 24 (39), 49-72.

Sepúlveda, J., Celada, C. M., Leal-Mejía, H., Murillo, H., Rodríguez, A., Gómez, M., Prieto, D., Jiménez, C. Rache, A. y Hart, C. (2020). Mapa Metalogénico de Colombia 2020. Memoria Explicativa. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.

Servicio Geológico Colombiano. (2012). El carbón: Recursos, Reservas y Calidad. Publicaciones Geológicas Especiales No. 32, segunda edición, 460 p. Bogotá.

Servicio Geológico Colombiano (2012). La Caliza en Colombia: Geología, Recursos, Calidad Y Potencial. Publicaciones Geológicas Especiales. Número 31, 2012. ISSN: 0120-078X.

Servicio Geológico Colombiano – Universidad Nacional de Colombia (2017). Convenio Especial de Cooperación 398 de 2016. Zonas de San José y Manacal – Guainía. Bogotá.

Slack, J.F., Kimball, B.E., and Shedd, K.B. (2017), Cobalt, chap. F of Schulz, K.J., DeYoung, J.H., Jr., Seal, R.R., II, and Bradley, D.C., eds., *Critical mineral resources of the United States—Economic and environmental geology and prospects for future supply: U.S. Geological Survey Professional Paper 1802*

Soma Gold Corp, Gosselin, M.-C., Sean Horan, Pg., Chelsea Hamilton, Pg., Andrew Hampton, Pe. P., Luis Vasquez, Pe., Wilson, V., Lance Engelbrecht, Pg., David Robson, Pe. M., Deborah McCombe, M. A., Manager Marie-Christine Gosselin, P., Project director Sean Horan, Pg., & Bagre Gold, E. (2022). *Technical Report on the El Bagre Gold Mining Complex and Nechí Project, Department of Antioquia, Colombia Report for NI 43-101 Technical Report on the El Bagre Operation and Nechí Project, Department of Antioquia, Colombia Distribution: 1 copy-Soma Gold Corp. 1 copy-SLR Consulting (Canada) Ltd.*

Statista Research Department. (2023, April 16). Rankin de los principales países productores de oro a nivel mundial en 2022. <https://es.statista.com/estadisticas/635361/paises-lideres-en-la-produccion-de-oro-a-nivel-mundial/>

Terraza M., R. (2019). Notas sobre el contexto tectonoestratigráfico de formación de las esmeraldas colombianas. *Boletín Geológico*, 45, 37-48.

Terraza, R., Montoya, D., Reyes, G., Moreno, G. y Fuquen, J. (2008). Geología del cinturón esmeraldífero oriental, planchas 210, 228 y 229 (informe). Bogotá: Ingeominas.

Terraza, R., Martin, C., Martínez y Rojas, N. (2016). Exploración geológica de fosfatos en el bloque Boyacá. Planchas 191 y 210 - Informe Técnico. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.

Terraza, R., Martin, C., Martínez, G., Rojas, S. y Rojas, N. (2019). Exploración geológica de fosfatos en el departamento del Huila, costado occidental del río Magdalena. Planchas 302, 323, 344, 345 y 366. Informe técnico. Servicio Geológico Colombiano.

Terraza Melo, R. (2019). “Formación La Luna”: expresión espuria en la geología colombiana”. En Estudios geológicos y paleontológicos sobre el Cretácico en la región del embalse del río Sogamoso, Valle Medio del Magdalena, dirección científica y edición de Fernando Etayo-Serna. Compilación de los Estudios Geológicos Oficiales en Colombia vol. XXIII. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano

Tistl, M. (1994) *Geochemistry of platinum-group elements of the zoned ultramafic Alto Condoto Complex, Northwest Colombia. Economic Geology*, 89 (1). 158-167 doi:10.2113/gsecongeo.89.1.158

Tobón, M. (2018). Geoquímica y mineralogía de los elementos del grupo del platino (EGP) en las lateritas níquelíferas de Cerro Matoso y Planeta Rica, Colombia. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 103p.

Tobón, M., Weber, M., Proenza, J. A., Aiglsperger, T., Betancur, S., Farré-de-Pablo, J., Ramírez, C., Pujol-Solà, N., (2020), *Geochemistry of Platinum-Group Elements (PGE) in Cerro Matoso and Planeta Rica Ni-Laterite deposits, Northern Colombia*: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 72 (3), A201219. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2020v72n3a201219>

Troncoso, J., Terraza, R., Páez, N., Fuentes, L. y Másmela, O (2023). Caracterización mineralógica, química y mecánica de pasivos ambientales de arcillas para determinar el potencial de producción de agregados livianos. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.

Tschanz, C. M., Jimeno, A., y Cruz, J. (1970). Recursos Minerales de la Sierra Nevada de Santa Marta. Boletín Geológico, 18 (1), 2-67.

United States Geological Survey-USGS, (2023). *National minerals information center. Titanium statistics and information.* <https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/titanium-statistics-and-information>.

Universidad de Málaga (s.f.). Yeso. <https://www.umadivulga.uma.es/museo-virtual/mineralogia/yeso/>

UPME, 2018, Wolframio - Tungsteno Balance 2012 – 2016

U.S. Geological Survey, (2002). *Rare Earth Elements—Critical Resources for High Technology. USGS Fact Sheet 087-02.*

Vigar, A. J., Geo, B., & Recklies, M. (2013). *Independent technical report and resources estimate on the Buriticá Gold Project 2013, Buriticá gold Project, Colombia.* www.miningassociates.com.au

Wedepohl, K. H., (1995). *Ingerson lectura: The composition of the continental crust. Geochimica et cosmochemical acta*, 59 (7), pp 1217-1232, table 1, p 1219.

Wokittel, R., (1960). Recursos minerales de Colombia. Compilación de los estudios geológicos oficiales en Colombia tomo X. Servicio Geológico Nacional, 393 p., Bogotá.

Woodruff, L.G., Bedinger, G.M., y Piatak, N.M., (2017). Titanium, capítulo. T of Schulz, K.J., DeYoung, J.H., Jr., Seal, R.R., II, and Bradley, D.C., eds., *Critical mineral resources of the United States—Economic and environmental geology and prospects for future supply: U.S. Geological Survey Professional Paper 1802*, p. T1–T23, <https://doi.org/10.3133/pp1802T>.

World mining data (2023). Producción de materias primas minerales de titanio por países. https://www.world-mining-data.info/?World_Mining_Data_Data_Section

World Gold Council. (2021). *The Golden Thread.* World Gold Council. <https://thegoldenthread.gold.org/>

Zambrano, F y Mojica, P. (1990). *Characteristics of Colombian phosphate deposits. En Ericksen, G. E., Canas Pinochet, M. T. and Reinemund, J. A. (eds), 1989, Geology of the Andes and its relation to hydrocarbon and mineral resources: Houston, Texas, Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources Earth Science Series, v. 11.*

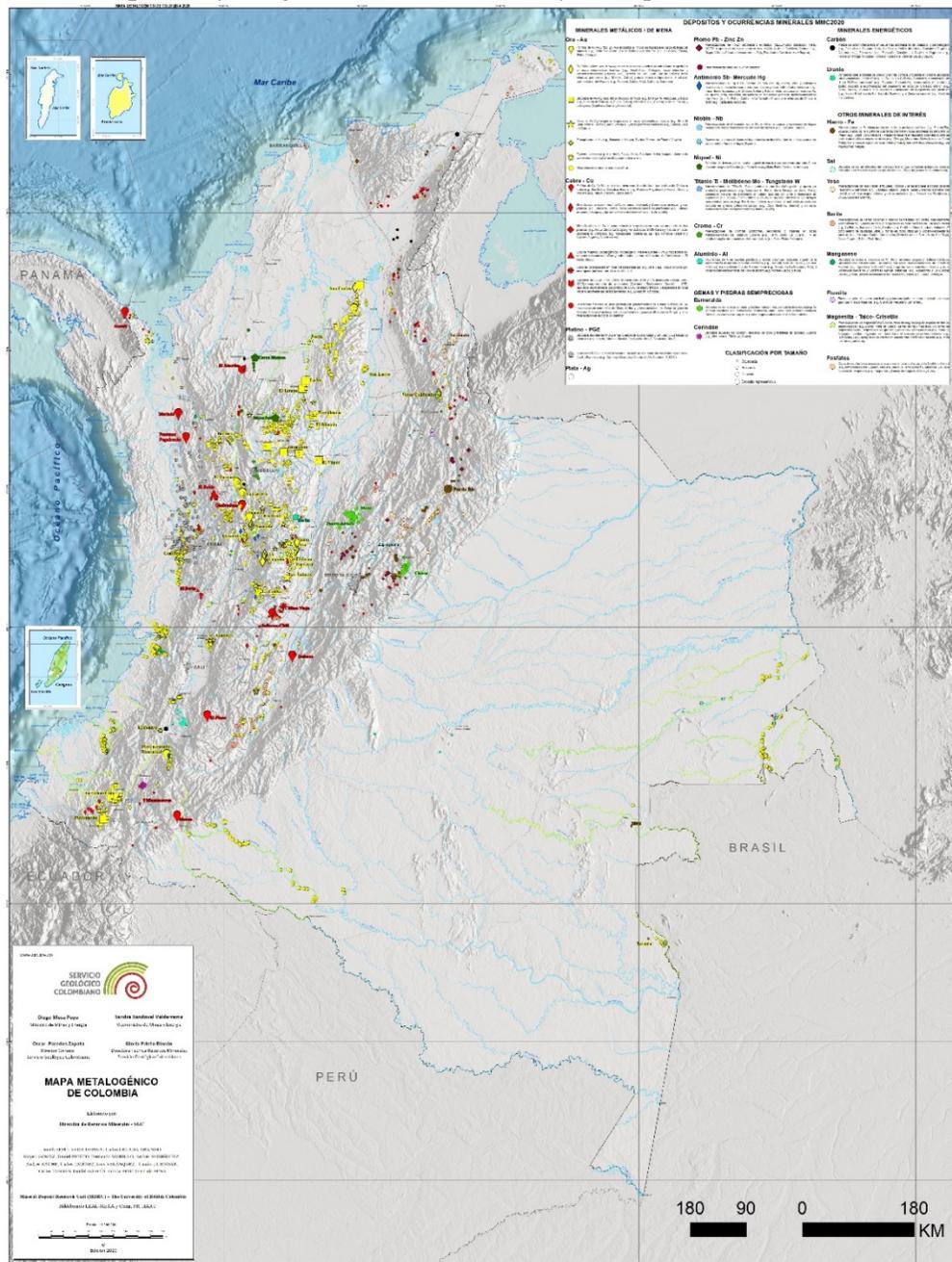
Zappettini, E. O., Rubinstein, N., Crosta, S., and Segal, S. J. (2017). *Intracontinental rift-related deposits: A review of key models. Ore Geology Reviews*, 89, 594–608. <https://doi.org/10.1016/J.OREGEOREV.2017.06.019>

ANEXOS

DOCUMENTO EN CONSTRUCCION

ANEXO 1.
Depósitos y ocurrencias minerales. (Mapa Metalogénico de Colombia - 2020)

Figura 1. Depósitos y ocurrencias minerales en el Mapa Metalogénico de Colombia 2020



Fuente: modificado del Mapa Metalogénico de Colombia 2020, depósitos y ocurrencias minerales.

Figura 2. Leyenda de Mapa Metalogénico de Colombia 2020, depósitos y ocurrencias minerales

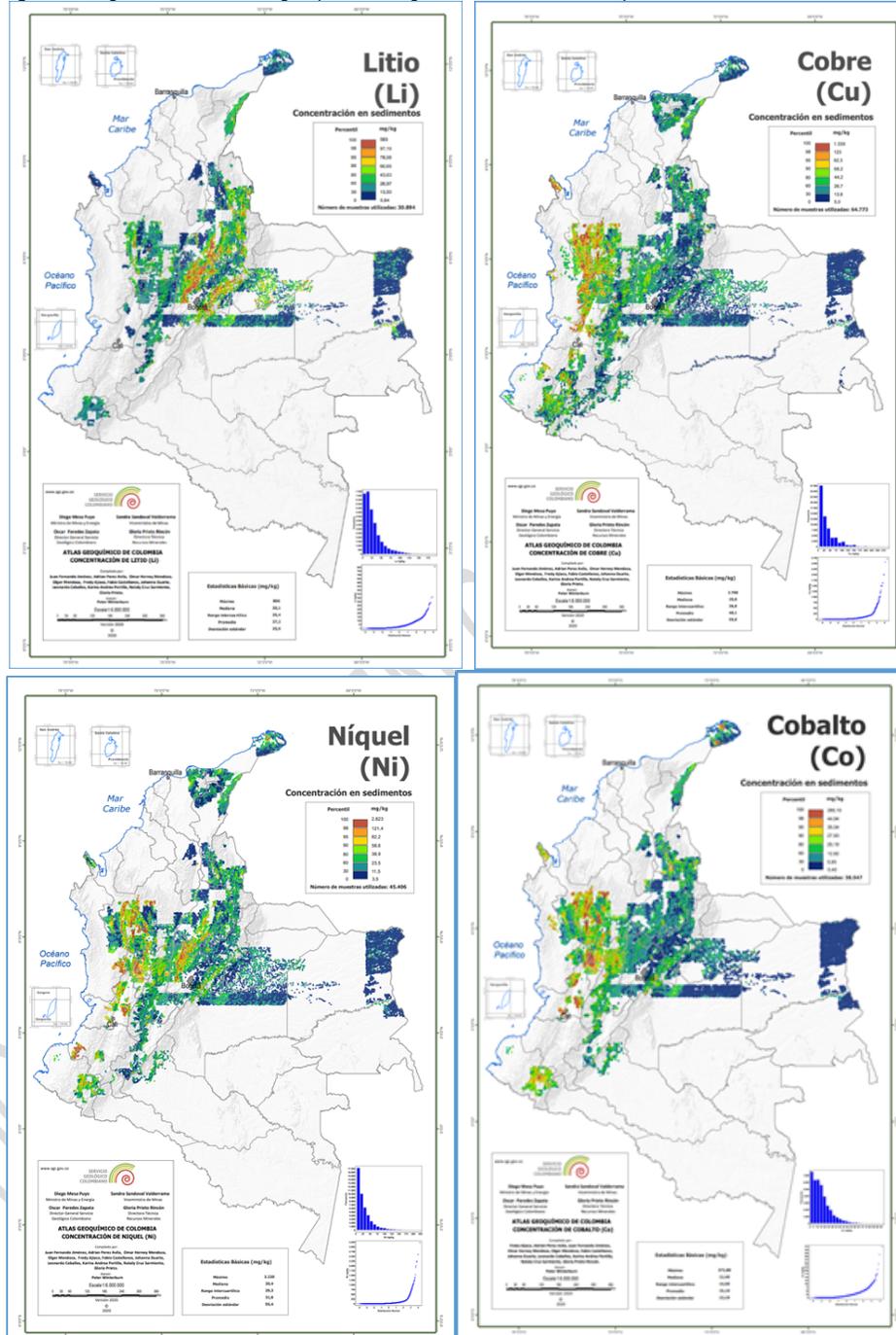


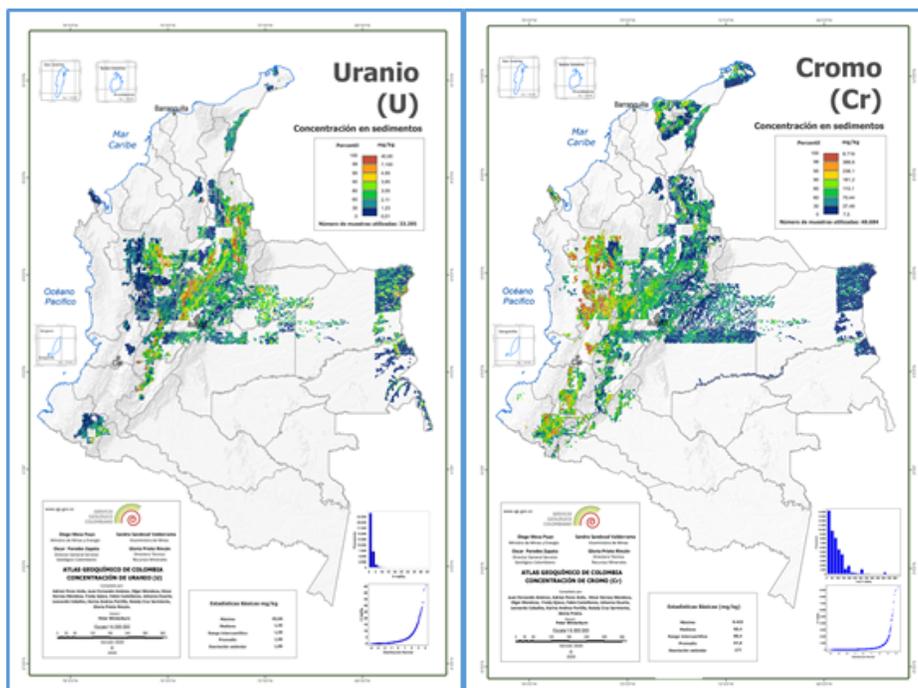
Fuente: tomado del Mapa Metalogénico de Colombia 2020, depósitos y ocurrencias minerales.

ANEXO 2.

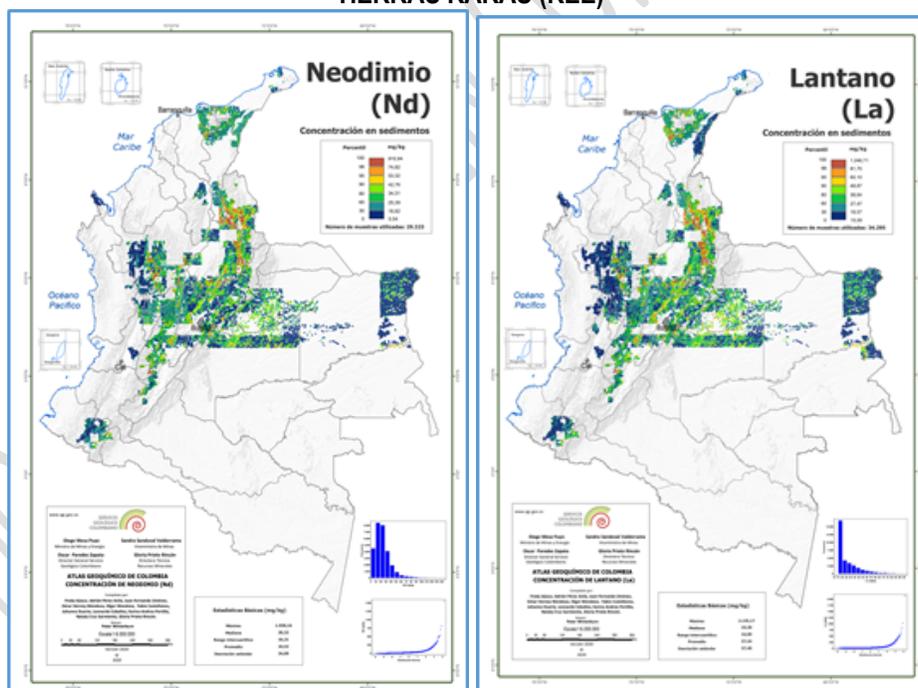
Registro de anomalías geoquímicas regionales (Atlas Geoquímico de Colombia del SGC 2020)

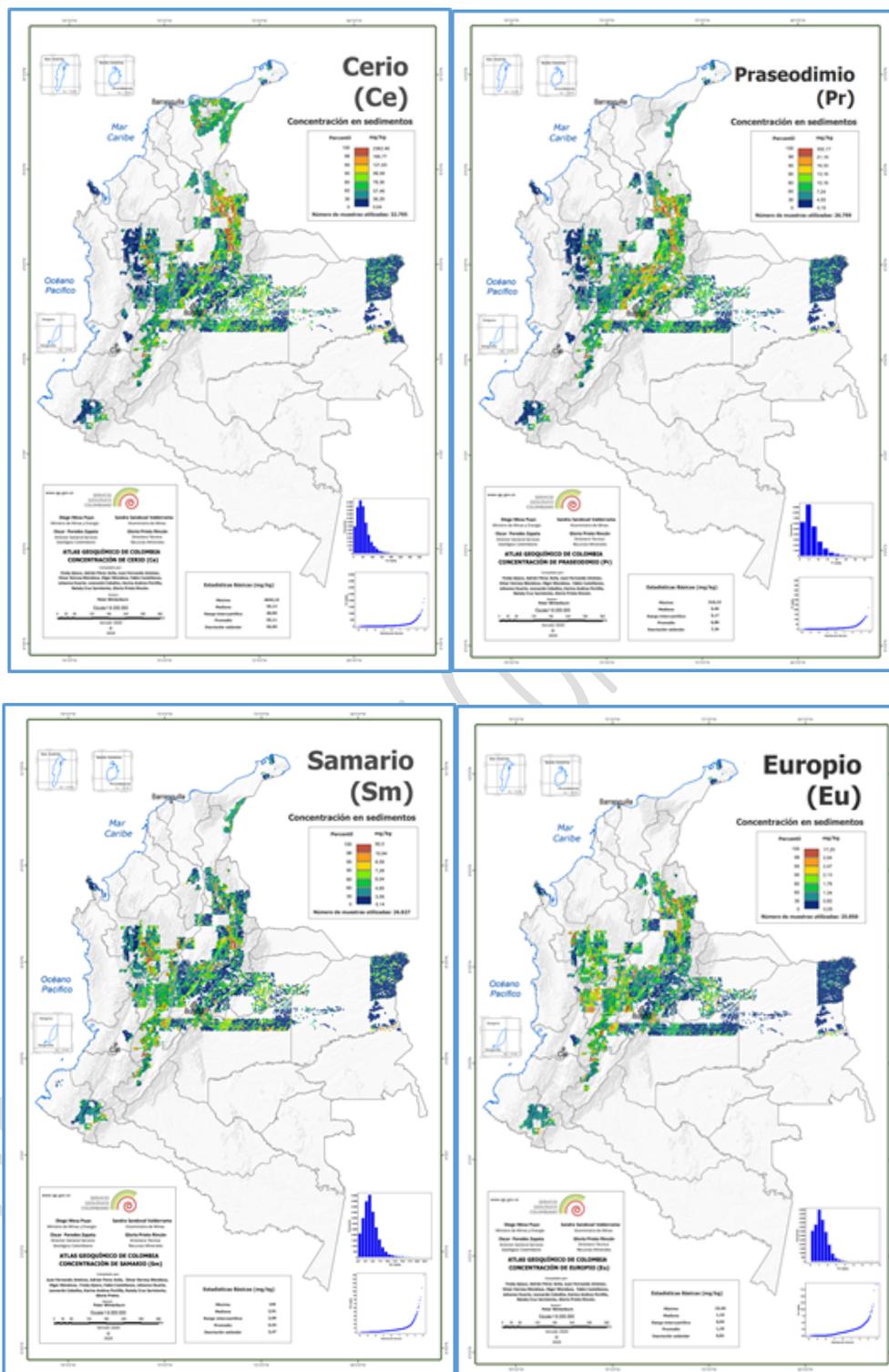
Figura 1. Registro de anomalías geoquímicas regionales en el Atlas Geoquímico de Colombia del SGC 2020

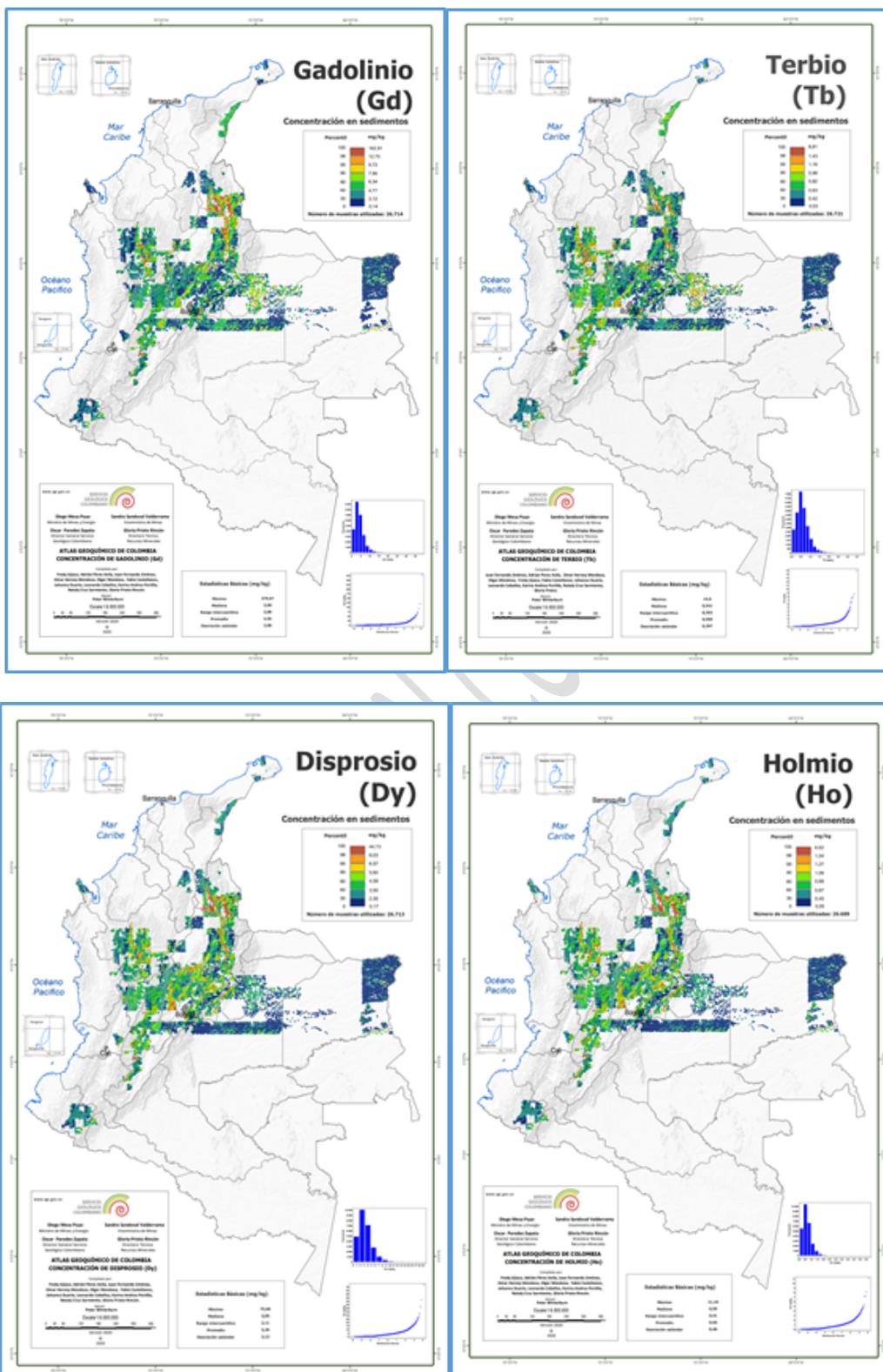


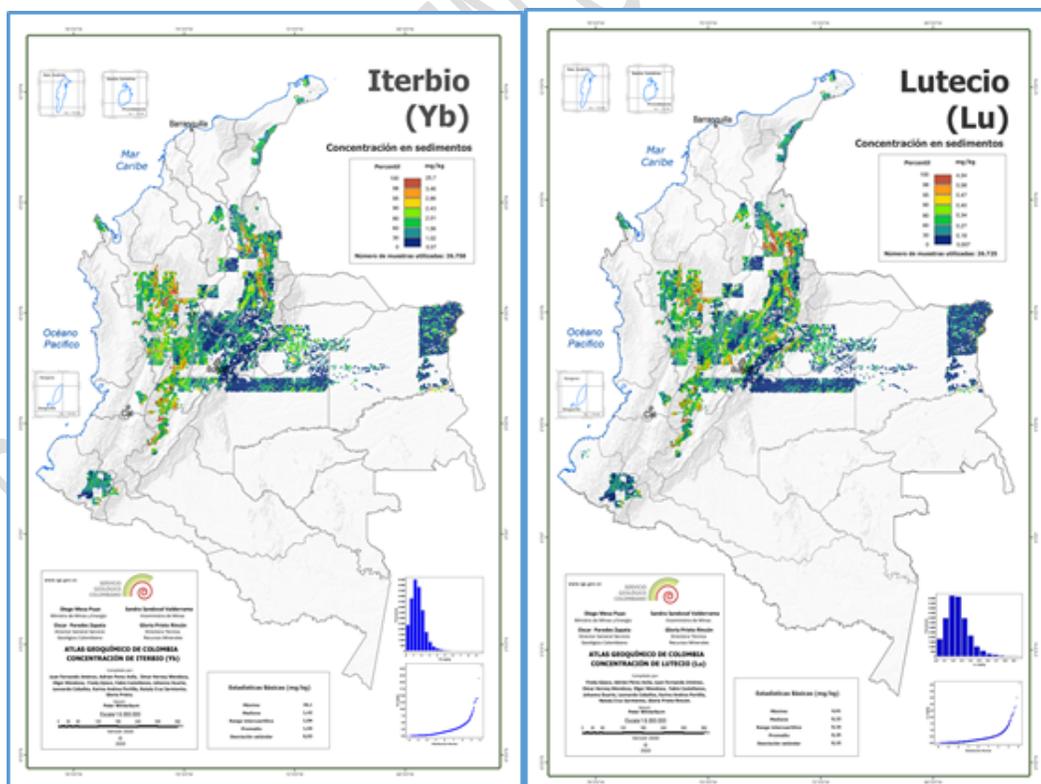
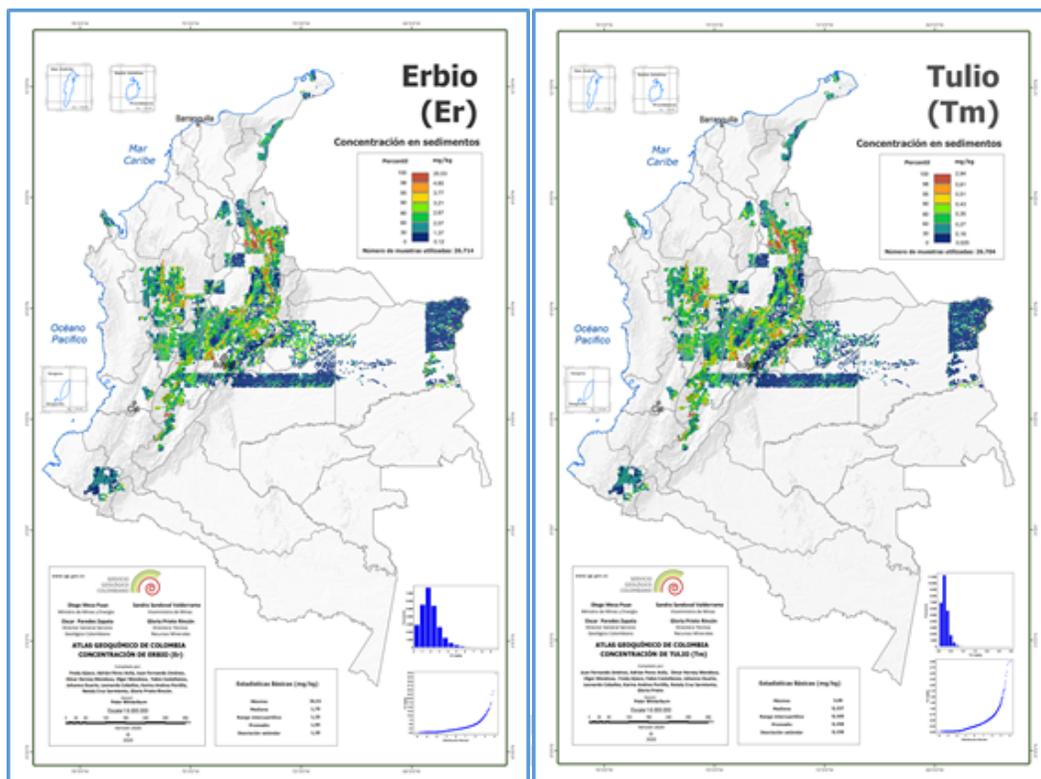


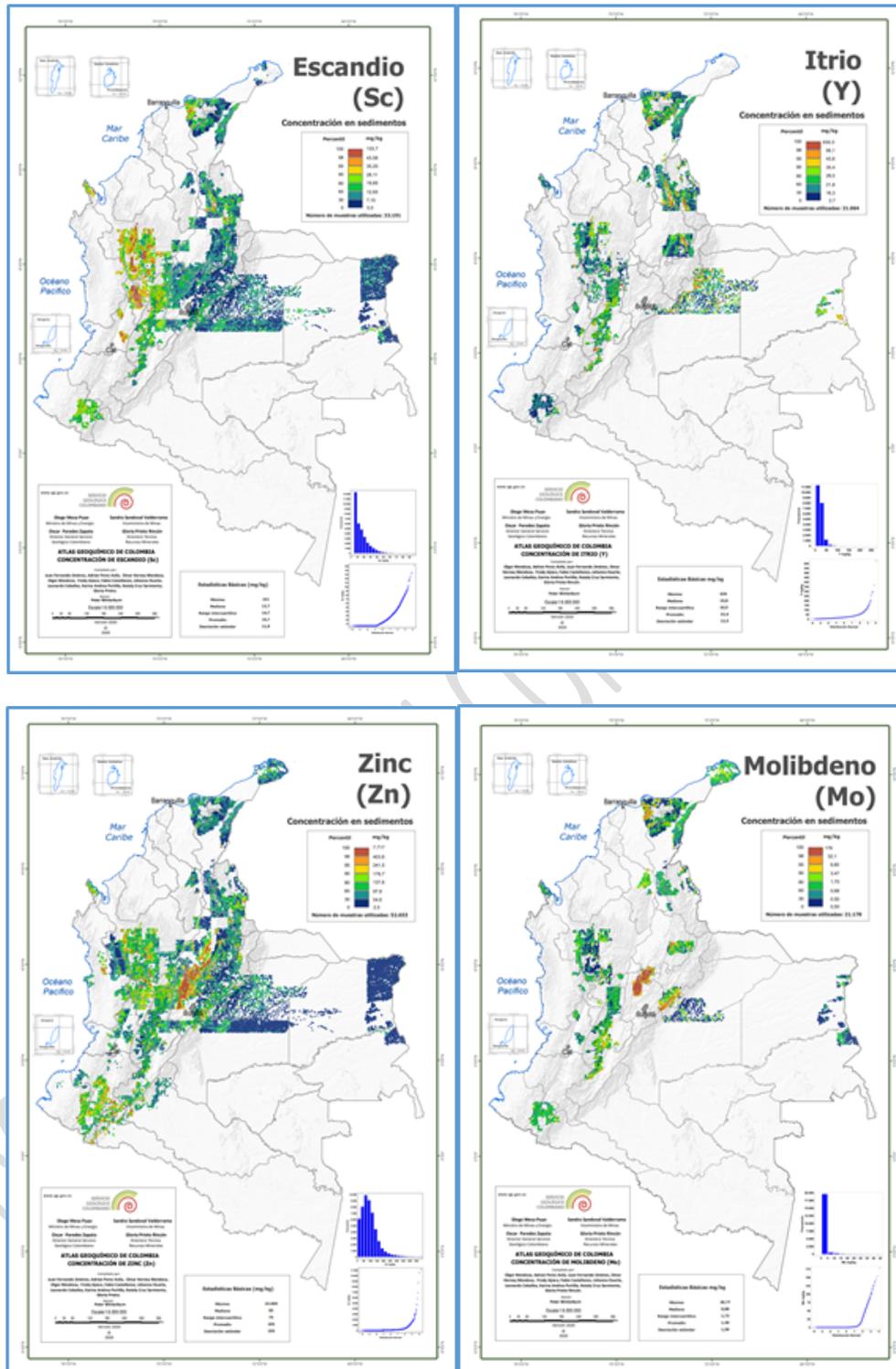
TIERRAS RARAS (REE)

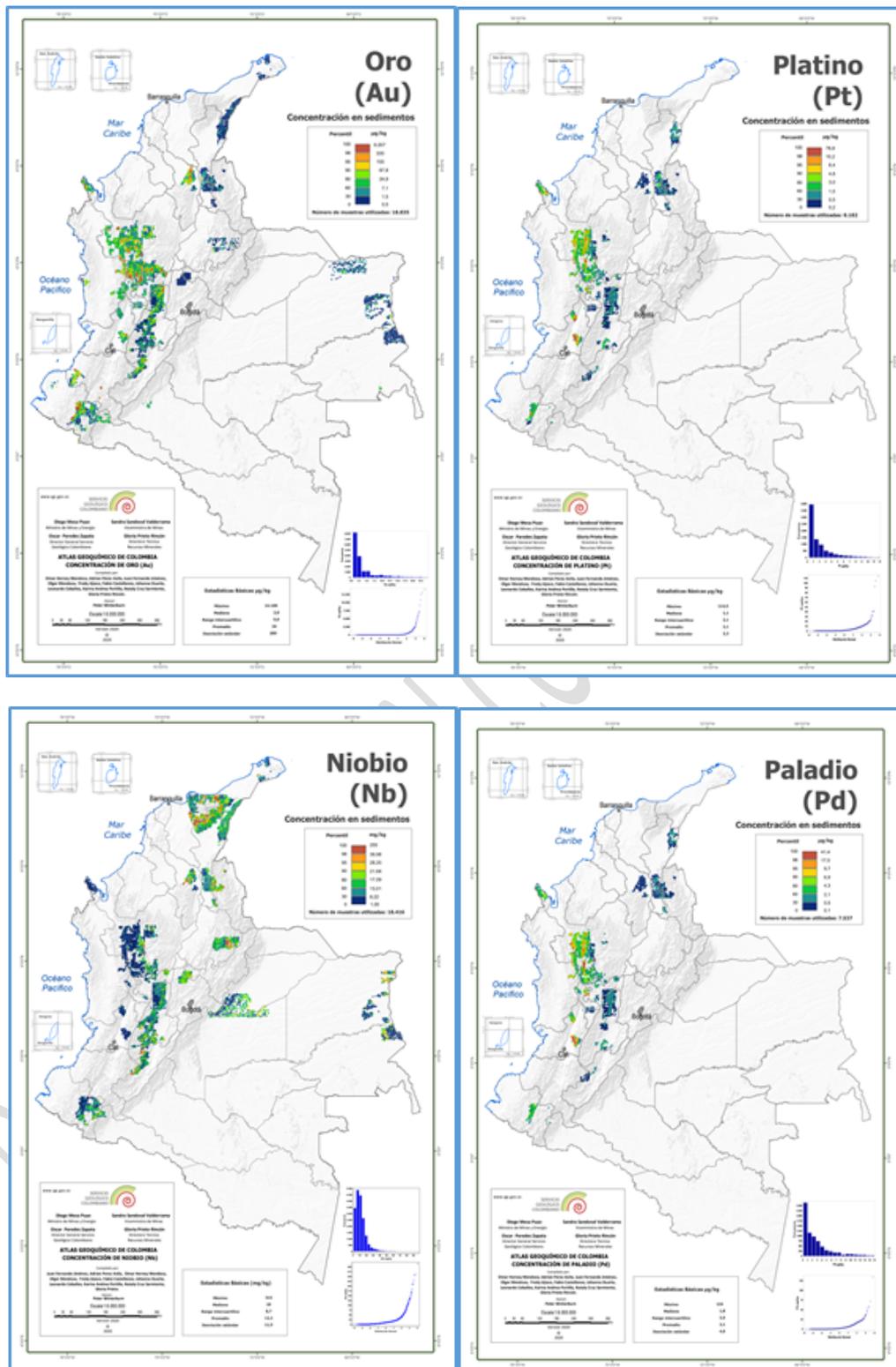


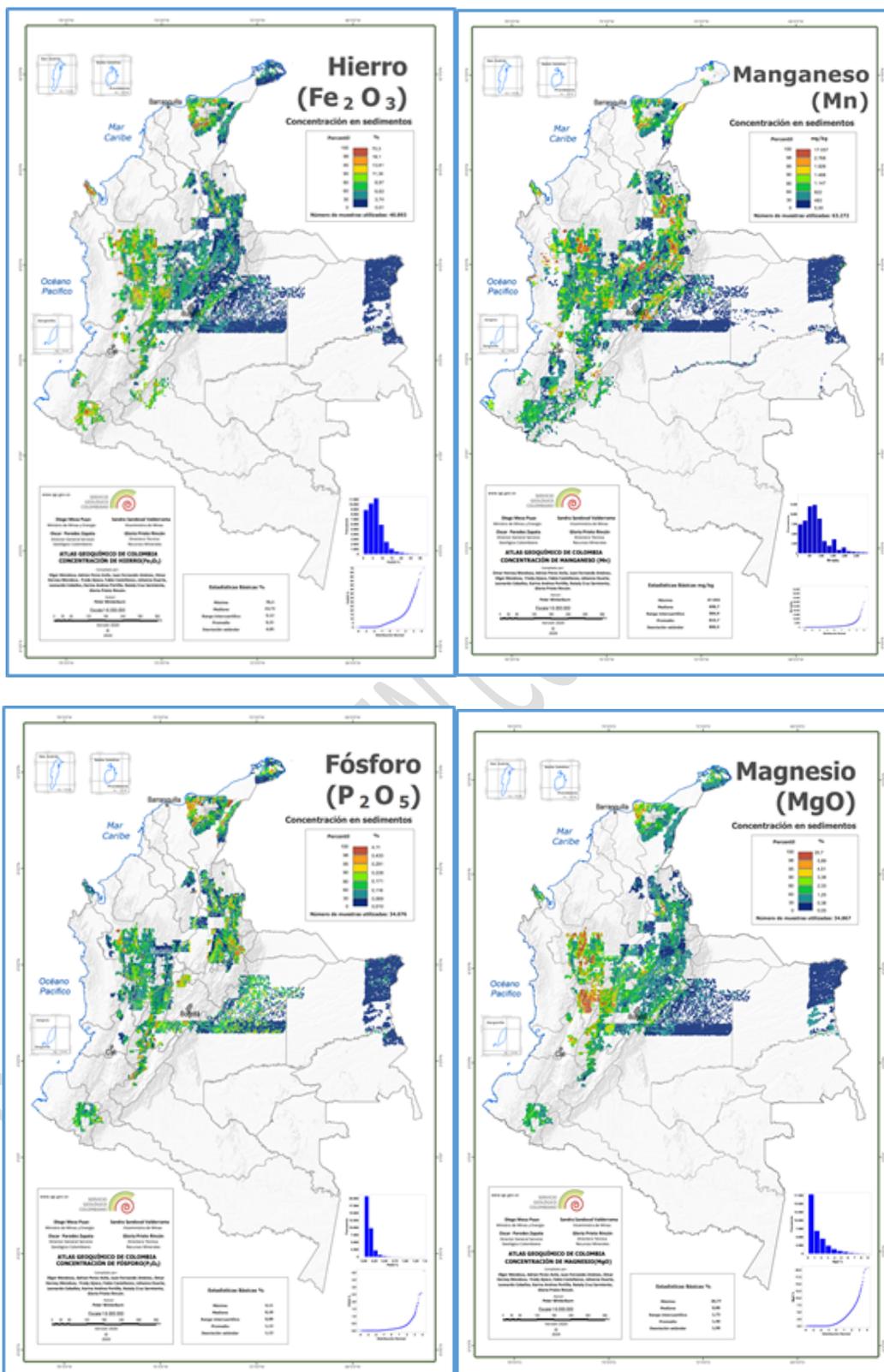


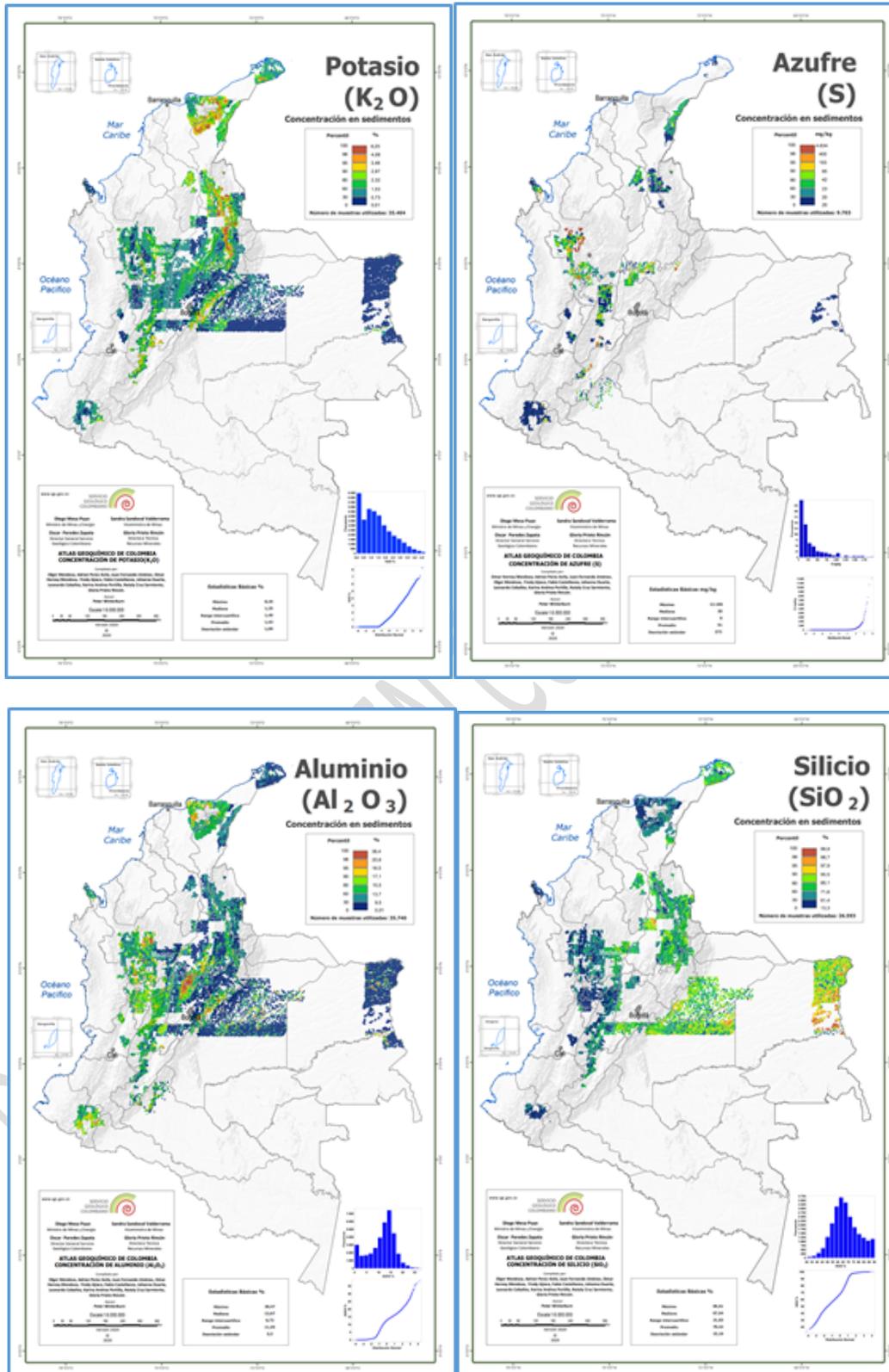


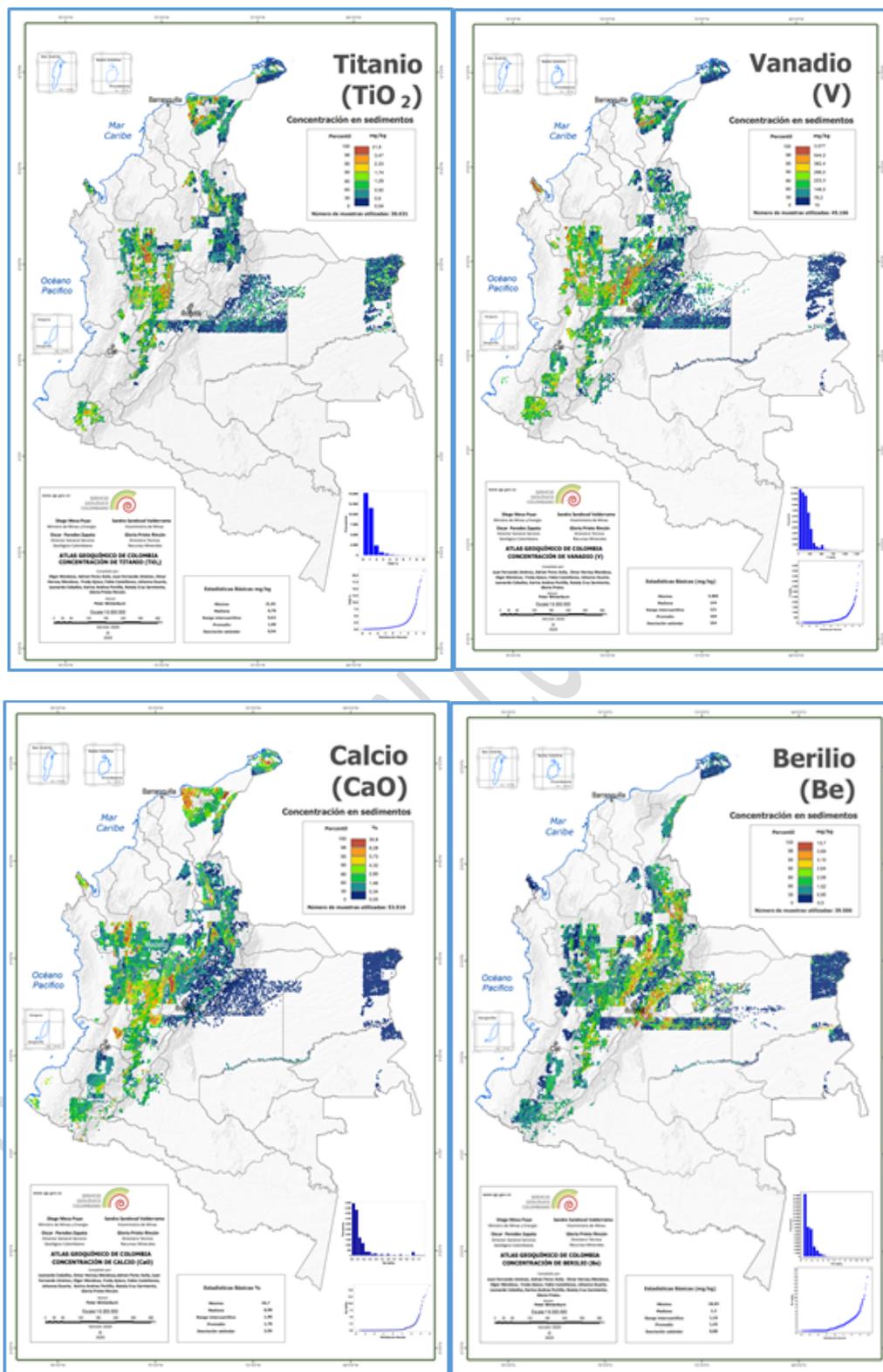












Fuente: imágenes tomadas de Atlas Geoquímico de Colombia (SGC; 2020).

ANEXO 3.

Potencialidades minerales en el país según estudios disponibles

Tabla 1. Potencialidades minerales en el país según estudios disponibles

MINERAL	Potencialidades minerales en el país según estudios disponibles (Ocurrencias/manifestaciones/prospectos y depósitos)
Litio	<p>El litio es considerado un mineral estratégico en la mitigación del impacto del cambio climático, en la reducción de las emisiones de carbono y en la transición hacia nuevas matrices energéticas limpias y renovables. Es el metal más liviano del sistema periódico de los elementos y el más liviano de los metales alcalinos, con símbolo químico Li y número atómico Z=3.</p> <p>En la corteza continental superior sus concentraciones medias son relativamente bajas (~20 - 30 ppm) con mayores abundancias en granitos que en gabros, en un orden similar están las concentraciones en suelos (<30 ppm) y sedimentos (<35 ppm) generados a partir de estas rocas. En rocas sedimentarias de grano fino y en lodos marinos, las concentraciones son más altas (~65 – 80 ppm) mostrando su afinidad por adsorberse en sitios de intercambio. En los grandes ríos (~2 ppm) y en el mar (~0,2 ppm) las concentraciones de Li disuelto son inferiores, con excepción de aquellos ríos menores con aportes salinos o hidrotermales. Las máximas concentraciones (~200 – 4000 ppm) están en ciertas salmueras de salares vinculados con manifestaciones volcánicas. Sus dos isótopos estables, fuertemente fraccionados en los sistemas terrestres ($\delta^7\text{Li}$ desde -20 hasta +40 ‰), promueven su empleo en la investigación de la meteorización continental, de la alteración de la corteza oceánica y del reciclado geológico, entre la corteza y el manto terrestre (Reimann et al., 1997).</p> <p>Su impacto más reciente está relacionado con el desarrollo y la utilización de baterías de litio y las múltiples y potenciales aplicaciones que estos sistemas generan, transformándolo así en un elemento estratégico fundamental para la tecnología moderna (Tarascon et al., 2010).</p> <p>El litio se extrae a partir de tres tipos de depósitos (Bradley et al., 2017), el primero son las salmueras, las cuales representan alrededor del 66% de los recursos de litio a nivel mundial y se encuentran principalmente en las salinas de Chile, Argentina, China y el Tibet; el segundo tipo de depósito son las pegmatitas que son rocas ígneas intrusivas de grano grueso formadas a partir de magma cristalizado en el interior de la corteza terrestre y representan el 26% de los recursos mundiales y finalmente se encuentran los depósitos en rocas sedimentarias como arcillas y evaporitas lacustres que representan el 8% de los recursos.</p> <p>De acuerdo con la información geoquímica, metalogénica, geológica y geofísica existente, obtenida por diferentes proyectos de investigación adelantados en el territorio nacional por el SGC, se establecen sectores de interés que reúnen condiciones favorables para adelantar campañas de prospección de litio en Colombia. Sin embargo, es importante resaltar que a la fecha no han sido llevados a cabo estudios detallados con fines prospectivos y exploratorios para este elemento que permitan definir el tipo de depósito, así como su viabilidad económica.</p> <p>En el departamento de Norte de Santander, Dominio Metalogénico Andino (subprovincias Perijá y Santander sensu Sepúlveda et al. 2020), hay valores destacados de litio y cesio, asociados espacialmente a pegmatitas tipo LCT, en rocas como el Granito de Durania.</p> <p>En los departamentos de Guainía y Vichada, Dominio Metalogénico Cratón Amazónico (sensu Sepúlveda et al. 2020) se presentan sectores de interés, como se evidencia en la información de fuentes y cuerpos magnéticos modelados que podrían relacionarse con pegmatitas, en rocas del Complejo Migmatítico de Mitú y el Granito de Parguaza, siendo prospectos favorables para la exploración de litio.</p> <p>En los departamentos de Caquetá y Huila, la información geofísica permite definir sectores a profundidades de hasta 50 m, favorables para presencia de cuerpos con pegmatitas, que pueden estar hospedados en rocas del Complejo Garzón.</p> <p>En las provincias metalogénicas Andino Central y Andina Oriental (Sepúlveda <i>et al.</i> 2020), en algunos sectores de los departamentos de Antioquia, Caldas y Tolima se presentan pegmatitas que pueden contener minerales de litio. Así mismo dentro de la Provincia Metalogénica Andina Oriental, en los municipios de Paipa e Iza en el departamento de Boyacá se presenta las condiciones geológicas favorables para albergar mineralizaciones de litio en salmueras, esta favorabilidad también se puede corroborar con la presencia de boratos y alteraciones hidrotermales, las cuales favorecerían la acumulación de carbonato de litio. En el departamento de Nariño, también se observan sectores geológicamente favorables para salmueras de litio a partir de ambientes con potencial geotérmico.</p>
Cobre	<p>El cobre es un metal rojizo dúctil y maleable y uno de los mejores conductores eléctricos junto con la plata y el oro, gracias a estas características se ha convertido en el material más utilizado para la fabricación de cables y componentes eléctricos y electrónicos, y además hace parte de aleaciones que tienen muy buenas propiedades mecánicas como bronce y latón.</p> <p>El cobre en la naturaleza se puede encontrar libre, como óxidos y frecuentemente como sulfuros ya que es un elemento calcófilo. El cobre se encuentra en una gran variedad de ambientes geológicos, desde asociado a rocas máficas y ultramáficas, hasta en formaciones sedimentarias y en depósitos hidrotermales con sulfuros, siendo sus principales menas la calcopirita, calcosina y bornita.</p>

	<p>La principal fuente de cobre a nivel mundial son los pórfidos cupríferos, donde ocasionalmente viene asociado a elementos como el oro y el molibdeno; aunque también se extrae de depósitos de sulfuros masivos vulcanogénicos (VMS), estratiformes hospedado en sedimentos, <i>skarn</i> cupríferos, hierro oxidado cobre oro (IOCG), sulfuros magmáticos, sedimentarios exhalativos (SEDEX), Epitermal, venas polimetálicas, depósitos de Cu-Au en fallas de despegue y supérgenos (Cox D. P. y Singer D.A, 1986; Berguer, <i>et al.</i>, 2008; Hitzman <i>et al.</i>, 2010; Meinert, L. D., Dipple, G. M., y Nicolescu, S., 2005; Drew J., L. 2006; Long, K. R., 1992a; Long, K. R., 1992b., Zappettini, E. O. <i>et al.</i>, 2017; Chavéz, W. X., 2000; Emsbo P. <i>et al.</i>, 2016).</p> <p>Colombia al tener una geología una diversa y cambiante, ya que ha pasado por varios eventos tectónicos debido a su ubicación en el borde de la placa Suramericana, siendo los más importantes para la formación de depósitos minerales metálicos; el evento tectónico del Triásico más tardío al Jurásico, el evento tectónico del Cretácico medio-Eoceno y el evento tectónico del Oligoceno temprano-Mio-Plioceno, en los cuales se presentan características de cambios en el régimen tectónico y/o reacomodación de placas tectónicas. Asociados a estos eventos se formaron diferentes tipos de depósitos, los cuales se mencionan a continuación:</p> <p>A el magmatismo originado durante el evento Jurásico se asocian mineralizaciones tipo pórfido cuprífero y relacionados a intrusivos y epitermales como el pórfido de Mocoa al sur del país y las mineralizaciones en Antioquia en San Lucas y en Tolima los prospectos Mina Vieja y el Infierno Chili; además de la formación de acumulaciones de sulfuros de cobre y/o cobre nativo en estructuras vetiformes con cuarzo y otros sulfuros y en ocasiones barita asociada, en rocas sedimentarias, volcánicas e hipoabisales en la cordillera Oriental.</p> <p>En el Cretácico – Eoceno se encuentran los asociados al Batolito Antioqueño como los ubicados en la tendencia metalogénica del Nus y los orogénicos asociados a los del sistema de Fallas de Otú al oriente de Antioquia, que, aunque el principal mineral de explotación es el oro, también tienen concentraciones importantes de cobre el cual podría ser aprovechado como subproducto.</p> <p>En la Provincia Metalogénica Andina Occidental y asociado a rocas sedimentarias marinas y a vulcanismo máfico se encuentra el depósito vulcanogénico de El Roble y el prospecto de El Dovio-Sabanalarga; también dentro de esta provincia metalogénica se encuentran: en Córdoba el distrito de San Matías, en el extremo norte del Cinturón Metalogénico Pórfido-Epitermal de Cu-Au del Cretácico, que agrupa depósitos tipo reemplazo de manto y pórfidos, venas meso a epitermales, <i>skarn</i> e IOCG; en Nariño el Cinturón Metalogénico Pórfido-Epitermal de Cu-Au del Eoceno (<i>i?</i>) y entre Valle, Cauca y Nariño el Cinturón Metalogénico Pórfido-Epitermal de Cu-Au del Mioceno (MMC, 2020 – Sepúlveda <i>et al.</i>) donde sobresale el prospecto Mazamoras.</p> <p>El magmatismo Oligoceno temprano -Mioceno -Plioceno, es uno de los eventos más fértiles y del cual hay vestigios en las tres cordilleras, donde se destacan los depósitos tipo pórfido con epitermales asociados, entre ellos los prospectos de pórfidos de cobre-molibdeno en Acandí, Murindó y Pantanos-Pegadorcito entre Antioquia y Choco, circunscritas en el Cinturón Metalogénico Pórfido-Epitermal Cu-Mo(-Au) del Eoceno; las mineralizaciones tipo pórfido de cobre – molibdeno con sobreimpresión de epitermales de oro y plata en California y Vetas en Santander (Cinturón Metalogénico Pórfido-epitermal Au-Ag-(Cu) del Mioceno); los tipo pórfido (Au-Cu), epitermales y depósitos asociados a intrusivos en los distritos de Río Dulce y Cajamarca – Salento. También los depósitos de Au-Cu en el Cinturón Metalogénico Pórfido-Epitermal Au-Cu del Mioceno en el denominado Cauca medio (Sepúlveda <i>et al.</i>, 2020), como Buriticá y Anzá.</p>
<p>Níquel</p>	<p>El Plan Nacional de Desarrollo Minero 2023-2026 (DNP, 2023), examina la implementación del Plan Nacional de Conocimiento Geocientífico, el cual aboga, en un contexto de ordenamiento del territorio, por la diversificación de la cadena productiva y comercialización internacional de bienes materiales transformados y con valor agregado, derivados de la actividad minera, en los que tanto los procesos de generación y el mismo uso de los productos, contribuyan al control del cambio climático mediante el empleo de energías alternativas limpias.</p> <p>El Ni es un metal conductor de la electricidad y del calor, es resistente a la corrosión y a la oxidación, y exhibe óptimas propiedades electroquímicas, mecánicas, refractarias (alto punto de fusión 1453 °C), de aleación, catalíticas y puede ser completamente reciclado. Estas características fisicoquímicas le confieren al níquel un uso absolutamente esencial para fabricar aceros inoxidables de amplio uso (69 %), como la elaboración de componentes en sistemas de generación de energía solar, geotérmica, eólica terrestre y electrolizadores para crear H verde; en la construcción de baterías recargables para equipos electrónicos, portátiles y automóviles híbridos y eléctricos, por ejemplo, baterías de iones de Li (Ni-Mn-Co) (11%); entre otras (International Nickel Studies Group-INSG, 2023).</p> <p>La existencia en Colombia de depósitos y prospectos de Ni identificados previamente y relacionados a un solo tipo genético de depósito mineral (laterita niquelífera) y dadas las condiciones geológicas favorables para buscar más mineralizaciones de Ni asociados a otros tipos genéticos de yacimientos minerales, justifican ampliamente la puesta en marcha del Plan Nacional de Conocimiento Geocientífico que incluya este metal estratégico para la transición energética.</p> <p>El Plan Nacional de Desarrollo 2023-2026(DNP, 2023), contempla usar el potencial geológico del territorio colombiano para garantizar el derecho a la seguridad alimentaria; superar la pobreza y aportar a la transición energética justa, segura, confiable y eficiente en la lucha contra el cambio climático global que permitan generar mejores condiciones para el medio ambiente, la salud y oportunidades para la población.</p> <p>En este contexto, el Ni es un elemento fundamental en la elaboración de productos que contribuyen a la transición energética. Las concentraciones económicas de este metal están asociadas genéticamente a complejos de rocas ígneas de los tipos máficas y ultramáficas. Complejos de este tipo de rocas se encuentran distribuidas en Colombia en las cordilleras Occidental, Central, en la isla de Gorgona, en la Alta Guajira y la Sierra Nevada de Santa Marta (Álvarez, 1983, 1985, 1989). Este escenario geológico ha</p>

	<p>sido objeto de investigaciones geológicas regionales por parte del Servicio Geológico Colombiano con énfasis en la búsqueda de depósitos minerales de Ni, como por ejemplo Cerro Matoso. Los avances en los estudios exploratorios sistemáticos de Ni, continúan siendo insuficientes en el país ante los retos actuales, los cuales demandan unos niveles de detalle mayores y sustentados en los nuevos desarrollos tecnológicos.</p> <p>El Ni es un metal cuya concentración natural aumenta desde la capa más superficial hasta la más profunda del planeta, su presencia en la litosfera es muy pobre y su mayor concentración se asocia a los minerales olivino y piroxeno de Mg en rocas ígneas ultramáficas (Licht <i>et al.</i> 2007) El níquel se encuentra en minerales de sulfuros como pentlandita ((Fe,Ni)₉S₈) y millerita (NiS), hidro silicatos de Ni y Mg como la garnierita ((Ni,Mg)₃Si₂O₅(OH)₄), carbonatos, arseniuros como la niquelina (NiAs); seleniuros y meteoritos. El Ni se extrae de depósitos primarios de sulfuros magmáticos y de depósitos de concentración secundaria denominados lateritas (Castro, 1987).</p> <p>El Servicio Geológico Colombiano entre 1973 y 1976 caracterizó y evaluó depósitos de lateritas de Ni en Antioquia y Córdoba, con el apoyo técnico del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, estas investigaciones incluyen los prospectos de Planeta Rica, Uré, Medellín, Ituango y Morro Pelón. En el periodo 1983-1989 los geocientíficos del Servicio Geológico Colombiano desarrollan estudios regionales, geológicos y tectónicos, de lo complejos de rocas máficas y ultramáficas enfocados a depósitos minerales.</p> <p>En los últimos años el Servicio Geológico Colombiano ha adquirido información magnetométrica y gammaespectrométrica regional (Moyano <i>et al.</i> 2020a, b,c,d,e); también ha adquirido información geoquímica de sedimentos finos de corriente, la cual ha sido procesada e integrada con información histórica (Jiménez <i>et al.</i> 2020). La interpretación integral de la información geofísica, geoquímica, geológica y metalogénica disponible puede ser utilizada en la determinación de zonas con favorabilidad geológica para contener minerales de Ni en Colombia.</p>
<p>Cobalto</p>	<p>El cobalto es un metal escaso en la corteza terrestre, se encuentra en minerales como olivino, piroxeno, anfíbol, micas y granates; también en otros minerales denominados sulfuros como pirita y esferlerita. Las rocas que están constituidas por olivinos y piroxenos se denominan ultramáficas. Cuando estas rocas se descomponen (física y químicamente) para formar suelos, en éstos a veces se producen acumulaciones anómalas de cobalto en minerales nuevos formados por este proceso de descomposición (meteorización) en depósitos denominados lateritas níquelíferas, como aquellas explotadas en Cerro Matoso (Córdoba).</p> <p>Por otro lado, los sulfuros que contienen cobalto se encuentran en varias clases de rocas. La pirita es un sulfuro de hierro, cuando ésta contiene cobalto se denomina pirita cobaltífera y se encuentra por lo general en ciertas rocas sedimentarias constituidas por partículas tamaño arcilla o limo, con alto contenido en materia orgánica. También se encuentra pirita cobaltífera en rocas ígneas que se han formado dentro de la corteza terrestre y cerca de la superficie (rocas porfídicas) como las que contienen cobre en el proyecto Mocoa.</p> <p>El cobalto en general se obtiene como subproducto en la extracción de otros metales como níquel y cobre. La mayor producción de cobalto en el mundo se registra como subproducto de la extracción de cobre contenido en sedimentos estratificados, en la República Democrática de El Congo y en Zambia. En otros países como Cuba y Nueva Caledonia la producción se registró como subproducto en lateritas de níquel-cobalto. La producción de Canadá y Rusia y la mayor parte de la producción de China provino de sulfuros hospedados en rocas ultramáficas. Solo en Marruecos se ha producido cobalto como producto principal de una operación minera; el cobalto en Marruecos se encuentra en filones con otros metales (Slack <i>et al.</i> 2017).</p> <p>En Colombia existen pocos reportes de indicios minerales de cobalto, como aquellos en las minas de El Roble, La Equis y La Bramadora (Antioquia), en el distrito minero de Vetas-California (Santander), donde el cobalto está asociado con sulfuros polimetálicos y en Cerro Matoso (Córdoba) donde el cobalto es un subproducto de níquel a partir de lateritas. Este tipo de depósitos minerales y las rocas que los hospedan han sido objeto de estudio del SGC desde hace varios años, lo que ha permitido identificar de forma preliminar ambientes geológicos propicios para la acumulación de metales como cobalto como aquellos ambientes en la Cordillera Occidental y algunos sectores de las cordilleras Central y Oriental.</p> <p>El Servicio Geológico Colombiano reporta que en Colombia se cuenta con las minas de lateritas de Ni-Fe de Cerro Matoso y La Esmeralda, Cerro Quesera y Cerro El Porvenir, en el Departamento de Córdoba, los cuales en su conjunto definen el Cinturón Ofiolítico de Ni-Fe-Co del Cretácico dentro de la Provincia Metalogénica Andina Central (Sepúlveda <i>et al.</i>, 2020). Otros ambientes geológicos favorables son las Provincias metalogénicas Andina Central (lateritas del Valle del río Medellín) y Andina Occidental. Entre las ocurrencias y depósitos que posiblemente puedan incluir cobalto como subproducto se encuentran El Alacrán – San Matías, El Infierno – Chili, Mocoa, Pantanos – Pegadorcito, el Roble, Nuevo Chaquiro – Quebradona, El Dovio, entre otros.</p>
<p>Grafito</p>	<p>El grafito es un mineral conformado en su totalidad por carbono, haciendo parte una de las formas alotrópicas de carbono cristalino junto con los nanotubos de carbono, diamantes, fullerenos, entre otros. Cristaliza en el sistema hexagonal, con simetría romboédrica, formando comúnmente cristales en escamas de seis caras. El grafito se forma a partir del metamorfismo de rocas sedimentarias ricas en carbono y, en algunos casos excepcionales a partir de enriquecimientos de carbono en magmas y fluidos hidrotermales (Zhang <i>et al.</i>, 2022).</p> <p>La formación del grafito está relacionada con factores como el contexto tectónico, la fuente de carbono, el grado y tipo de metamorfismo, entre otros. Estos factores influyen en la distribución favorable de los depósitos de grafito, el tamaño de los cuerpos mineralizados y la calidad del mineral ya sea cristalino o en escamas, en venas (trozos o astillas) y microcristalino o amorfo. En depósitos relacionados a metamorfismo regional el grafito estará asociado principalmente a gneises, anfíbolitas, granulitas,</p>

	<p>esquistos, pizarras, filitas y mármol con grafito de tipo escamoso o cristalino con algunas diferencias en el estilo de mineralización dependiendo también de la roca fuente de carbono; en metamorfismo de contacto el grafito formado es de tipo micro y criptocristalino o denominado “amorfo” (Simandl <i>et al.</i>, 2015; Robinson <i>et al.</i>, 2017; Wang Li <i>et al.</i>, 2017; Zhang <i>et al.</i>, 2022).</p> <p>El grafito se extrae de forma abierta o subterránea, con preferencia por la extracción abierta en depósitos cristalinos si es económicamente viable. Algunos depósitos de grafito amorfo en China, Europa, Corea y México, junto con los depósitos de vetas en Sri Lanka, se extraen subterráneamente donde los intervalos de mineralización son profundos, pero de alta ley > 80% de carbono (Robinson <i>et al.</i>, 2017).</p> <p>En Colombia no se ha encontrado un yacimiento importante de grafito, aunque se han identificado manifestaciones en rocas de bajo a alto grado de metamorfismo en facies de esquistos verdes, anfíbolita y granulita. Se han referenciado manifestaciones de grafito en el basamento ígneo y metamórfico de la Cordillera Central en los departamentos de Antioquia, Tolima, Cauca y Nariño, destacándose los complejos Arquía y Cajamarca como los lugares donde se han encontrado más manifestaciones de grafito (Camargo y Mojica, 2004; Valencia <i>et al.</i>, 2013; Restrepo y Toussaint, 2020). Otras manifestaciones de grafito se han reportado en los departamentos de La Guajira, Magdalena y Santander (Castellanos <i>et al.</i>, 2008; Weber <i>et al.</i>, 2010; Castellanos <i>et al.</i>, 2016a, b).</p> <p>Minería artesanal abandonada de grafito se reporta en el municipio de Rovira departamento del Tolima, donde se realizaron trabajos rudimentarios (Orrego, A. 1987). Se mencionan manifestaciones de grafito en Mariquita, Libano y Cajamarca en el departamento de Tolima, que han sido consideradas de poca importancia. Gómez (1990) también hace referencia a manifestaciones de grafito en escamas, de milímetros de espesor en una aldea denominada Guamachito (Sierra Nevada de Santa Marta) y El Retiro (Antioquia); producto de metamorfismo regional dinamotérmico.</p> <p>A pesar de los avances en la identificación de manifestaciones de grafito en Colombia, el conocimiento actual del grafito en el país es limitado y proviene de trabajos de geología regional. Se requieren estudios geológicos y de exploración más detallados, para determinar la cantidad y calidad de los yacimientos de grafito.</p>
<p>Uranio</p>	<p>El uranio es considerado un elemento estratégico (Resolución 18 0102 de 2012 [Ministerio de Minas y Energía]) dentro de la matriz energética del país debido a su alta demanda y su aplicabilidad en la generación de energías alternativas (energía nuclear), además de tener diversas aplicaciones en la industria, medicina y agricultura.</p> <p>El uranio es el cuarto elemento en la serie de los actínidos en la Tabla periódica, y dos de sus tres isótopos radioactivos (²³⁵U y ²³⁸U) son capaces de liberar grandes cantidades de energía mediante procesos de fisión nuclear (Boyle, 1982). En la naturaleza, se presenta con tres estados de oxidación y es altamente móvil en su estado oxidado, mientras que en su estado reducido precipita formando minerales como Uraninita/Pechblenda (óxidos), Becquerelita (hidróxidos), Cofinita (silicatos), Torbernita, Autunita (fosfatos) y Carnotita (vanadatos) entre otros.</p> <p>Debido a su movilidad y características químicas, este elemento puede encontrarse en una amplia variedad de ambientes geológicos (p.e. intrusivos, relacionados a granitos, metamórficos, relacionados con ambientes volcánicos, metasomáticos, inconformidades proterozoicas, areniscas, paleo conglomerados de cuarzo, depósitos superficiales, en lignito/carbón y carbonatos), por lo que claramente abarca ambientes geológicos magmáticos, metamórficos, sedimentarios e hidrotermales (Dahlkamp, 1993; Misra, 2000; Cuney y Kissler, 2009; [International Atomic Energy Agency] IAEA, 2018 e IAEA, 2020a).</p> <p>En 1962, el Instituto de Asuntos Nucleares (IAN) identificó anomalías de uranio en los municipios de San Celestino, Contratación, California, Zapatocha y Santa Elena en el departamento de Santander, así como el municipio de Berlín en el departamento de Caldas (IAEA, 2020b). El prospecto de Berlín-Caldas sigue en desarrollo y actualmente es propiedad de U3O8 Corporation, quienes informan recursos indicados de 0,6 Mt y recursos inferidos de 8,1 Mt de uranio, fósforo, vanadio, REE y otros elementos. En este depósito, la mineralización es uraninita y está en estrecha relación con lentes de carbón dentro de la Formación Abejorral (Pallier, 2022).</p> <p>De igual forma, desde 2008, el Servicio Geológico Colombiano, en cabeza del grupo de investigación de minerales energéticos de la Dirección de Recursos Minerales ha llevado a cabo investigaciones geológicas en superficie sobre la concentración de uranio en materiales geológicos, durante este tiempo se han estudiado 21 zonas, que han sido clasificadas como 5 ocurrencias de minerales de uranio y 16 zonas con anomalías de espectrometría gama para este elemento, en total esto corresponde a un cubrimiento de 1,7 % del territorio nacional.</p> <p>Como resultado de estos estudios ha sido posible identificar ocurrencias de uranio en las Cordilleras Central y Oriental, albergadas en unidades geológicas como la Formación Girón, Grupo plutónico de Santander (Santander), Sienita Nefelínica de San José del Guaviare (Guaviare), Stock Monzonítico de Irra (Risaralda y Caldas), Grupo Olini y en menor medida las Formaciones Hondita y Lomagorda (Cuenca del Valle Superior del Magdalena) (González <i>et al.</i>, 2008; González <i>et al.</i>, 2009; González <i>et al.</i>, 2010; Pérez, 2010; Moreno <i>et al.</i>, 2011; Moreno y Díaz, 2012; Díaz <i>et al.</i>, 2013; Bautista <i>et al.</i>, 2014; Bautista <i>et al.</i>, 2015; Bautista <i>et al.</i>, 2016; Bautista <i>et al.</i>, 2017; Bautista <i>et al.</i>, 2018; Bautista y Zamora, 2019; Bautista <i>et al.</i>, 2020; Bautista <i>et al.</i>, 2022).</p>
<p>Tierras raras</p>	<p>Los elementos de tierras raras (REE por sus siglas en inglés) son un grupo de diecisiete elementos químicos de la Tabla periódica, en particular, los quince lantánidos, así como el itrio y el escandio, tal como los define la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC). El escandio y el itrio se consideran REE ya que tienden a ocurrir en los mismos depósitos de mineral que los lantánidos y exhiben propiedades químicas similares (Balaram, V. 2019).</p>

	<p>En la naturaleza, los elementos de las tierras raras no existen como metales nativos individuales, como el cobre o la plata, sino que aparecen juntos en numerosos minerales y minerales accesorios como constituyentes menores o mayores. Aunque los elementos de las tierras raras se encuentran en una amplia gama de minerales, incluidos silicatos, carbonatos, óxidos y fosfatos, no encajan en la mayoría de las estructuras minerales y solo se pueden encontrar en unos pocos entornos geológicos (Balaram, V. 2019).</p> <p>Los depósitos de dichos elementos se pueden subdividir según sus asociaciones genéticas, mineralogía y forma de aparición; además se pueden clasificar en: depósitos primarios (1) y secundarios (2). Los depósitos primarios son aquellos formados por procesos magmáticos, hidrotermales y/o metamórficos. Estos depósitos se asocian más comúnmente con rocas ígneas alcalinas y carbonatitas, emplazadas en entornos extensionales. Los depósitos secundarios son aquellos formados por erosión y meteorización; los cuales pueden incluir placeres, lateritas y bauxitas (Balaram, V. 2019).</p> <p>El Servicio Geológico de los Estados Unidos (U.S. Geological Survey, 2022) reporta que actualmente las reservas mundiales de elementos de las tierras raras se encuentran principalmente en países como China, Vietnam, Brasil, Rusia e India. Estas reservas provienen principalmente de cuatro ambientes geológicos: carbonatitas, sistemas ígneos alcalinos, depósitos de arcilla de adsorción de iones y depósitos de placer que contienen monacita y xenotima (Balaram, V. 2019).</p> <p>Debido a la rareza de los depósitos de REE económicos, generalmente se extraen como coproducto o subproducto de otro material. Por ejemplo, el producto principal de la mina Bayan Obo en China es el mineral de hierro, pero Bayan Obo también produce gran parte de REE a nivel mundial como subproducto.</p> <p>Las tierras raras están directamente relacionadas con la transición energética, desarrollo tecnológico y políticas de energías limpias; ya que son la materia prima en una amplia variedad de tecnologías, como producción de energía eólica, paneles solares, en la agricultura para aumentar su productividad y rentabilidad, en la industria, en la elaboración de productos de alta tecnología como discos duros, celulares, motores magnéticos, así mismo el neodimio se utiliza en equipos y auriculares de alta fidelidad, en la industria automotriz en la generación de motores eléctricos y automóviles híbridos. Estos elementos, en el campo de la energía son prioritarios para el mejoramiento de la calidad del aire, el agua, la alimentación y el progreso del país.</p> <p>La Dirección de Recursos Minerales del Servicio Geológico Colombiano con base en antecedentes históricos, mapas geofísicos y geoquímicos de Colombia, identificó áreas con favorabilidad geológica para albergar REE en depósitos convencionales y en carbones. El territorio colombiano cuenta con los ambientes geológicos apropiados para la prospección de lantánidos como: el Macizo de Garzón, la zona Andina, donde se destacan algunas manifestaciones de REE en las zonas esmeraldíferas de la Cordillera Oriental; en la región oriental de la Orinoquia - Amazonia donde afloran neises, migmatitas, pegmatitas, y complejos de rocas alcalinas que la puedan contener elementos primarios a partir de los cuales se pueden formar concentraciones secundarias por erosión y meteorización.</p>
<p>Zinc</p>	<p>El zinc ocupa el puesto 23 entre los elementos más abundantes en la corteza, es el cuarto metal de mayor producción a nivel mundial, se reportaron reservas de zinc para el 2022 de alrededor de 210 millones de toneladas con recursos totales de aproximadamente 1.900 millones de toneladas según el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS).</p> <p>Alrededor del 75% de Zn se usa como metal y el 25% restante es utilizado por industrias de caucho, química, pintura y el sector agrícola (Jiménez <i>et al.</i>, 2020). La Asociación Internacional de Zinc señala la importancia de este elemento en el sector de las energías renovables. Miningintelligence reportó para el 2019 las cuatro minas más grandes y con mayor producción: depósitos exhalativos (SEDEX) como Mina Red Dog (USA), Rampura Agucha (India), Mount Isa Zinc y McArthur River de Australia, y depósitos tipo <i>skarn</i> como mina Antamina en Perú. El mayor productor en toneladas métricas de este elemento para 2022 fue China con 4.2 x 10⁶, seguido de Perú con 1.4 x 10⁶, Australia con 1.3 x 10⁶, India con 830.000, Estados Unidos con 770.000 y México con 740.000 (USGS, 2022).</p> <p>El zinc es un elemento calcófilo (Goldschmidt, 1937); la abundancia media de Zn en la corteza continental es de 72 mg/kg (Rudnick y Gao, 2003), según el tipo de roca la tendencia de la concentración aumenta desde 20 mg/kg en arenisca, 50 mg/kg en granodiorita, 60 mg/kg en rocas ultramáficas y concentración máxima de 100 mg/kg en basaltos y lutitas (Jiménez <i>et al.</i>, 2020).</p> <p>En general este elemento se obtiene como subproducto en la extracción de metales como Au, Cu y Ag; el mineral de mena más importante es el sulfuro esfalerita (ZnS), puede contener cantidades traza de Ag, Cd, Ge, Ga, In, Tl, Fe, Mn y Co. El contenido de estas impurezas depende de la temperatura de formación. Otros minerales típicos en los que está incorporado el zinc son: wurtzita (ZnS), smithsonita (ZnCO₃) como producto de la meteorización de sulfuros de Pb y Zn, esmitonita (ZnSO₄) y zincita (ZnO) (Sarmiento, 1987; Jiménez <i>et al.</i>, 2020).</p> <p>Los yacimientos de plomo y zinc ocurren en una variedad de ambientes geológicos y presentan una diversidad de características que los permite agrupar (<i>sensu lato</i> Sarmiento, 1987) en dos categorías: (1) Depósitos estratoconfinados en secuencias de rocas volcánicas o sedimentarias y (2) Depósitos relacionados con procesos magmáticos. Para Leach <i>et al.</i> (2005) los depósitos de Pb-Zn alojados en sedimentos, contienen los mayores recursos de plomo y zinc del mundo, se dividen en dos grandes subtipos: tipo Mississippi Valley (MVT) y exhalativo sedimentario (SEDEX) y muestran una amplia gama de relaciones con las rocas hospedantes que incluyen mineralizaciones estratiformes, estratoligadas y discordantes. Según Jiménez <i>et al.</i> (2020) los principales tipos de depósitos que generan zinc son: Kipushi Cu-Pb-Zn, Apalachian Zn, Missourioriental Pb-Zn, exhalativo sedimentario Zn-Pb, sulfuros masivos tipo kuroko, venas Sn-polimetálicas y <i>skarn</i> de Zn-Pb.</p>

	<p>En Colombia no se han descubierto depósitos explotables significativos de plomo y zinc, solo depósitos/ocurrencias relativamente pequeñas. Sobre la Cordillera Oriental según Sarmiento (1987) se tienen depósitos de Cu, Zn y Pb en lodolitas negras cretácicas de las formaciones Lutitas de Macanal, Fômeque, Paja, Grupo Villeta y San Gil Inferior, donde la mineralización se encuentra en venas, diseminaciones y esporádicos estratos laminares o lentes de sulfuros de Cu, Zn, Pb y Fe. Las minas La Playa y El Rincón, municipio de Junín-Cundinamarca, se explotaron para la producción de zinc, a partir de esfalerita y en menor proporción siderita y calcopirita, minerales alojados en shales negros de la Formación Fômeque. Un prospecto interesante debido al alto contenido de Zn y Cd está ubicado en Ubalá-Cundinamarca, y corresponde a mineralizaciones en una brecha de falla que afecta la unidad Lutitas de Macanal (Sarmiento, 1987). Sobre el flanco occidental de la Cordillera Oriental Sepúlveda <i>et al.</i> (2020) indican que algunas de las mineralizaciones de Cu (Pb-Zn) cortan la estratificación, por ello se consideran aparentemente epigenéticas con respecto a las unidades cretácicas que las hospedan.</p> <p>Depósitos de Zn, Pb (Cu) en calizas o arenitas calcáreas ocurren como venas, diseminaciones o en la matriz de brechas, consisten en sulfuros a veces acompañados por barita y fluorita. Un depósito de este tipo se registra a 4 km al E de Coromoro-Santander, donde según Sarmiento (1987) en la quebrada Cedrilla, la estructura mineralizada es lenticular dentro de calizas de la Formación Rosablanca. Adicionalmente, el prospecto Montenegro a 75 km al sureste de Concepción-Santander, está emplazado en sedimentitas cretácicas de la Formación Mercedes.</p> <p>Sarmiento (2002) indica que las sedimentitas cretácicas de la Cordillera Oriental de Colombia tienen características faciales y estructurales comunes con las sedimentitas que contienen los depósitos exhalativos estratiformes (SEDEX) de metales base en el mundo lo que las hace óptimas para el hallazgo de este tipo de depósitos.</p> <p>En la Subprovincia Metalogénica Cauca-Romeral de la Provincia Metalogénica Andina Occidental (Sepúlveda <i>et al.</i>, 2020), Leal-Mejía (2011) reporta sistemas de vetas de sulfuración intermedia de Zn-Pb-Ag-Au en el distrito metalogénico de Marmato. Al occidente en Subprovincia Metalogénica Cañasgordas-Baudó, Sarmiento (1987) identifica el prospecto La Equis como uno de los principales yacimientos para Zn en el departamento del Chocó. Leal-Mejía (2011) reporta que la mineralización en La Equis se exhibe en vetas y brechas con Au-Ag (Zn, Cu) alojadas en rocas volcánicas de Santa Cecilia-La Equis.</p> <p>El Diamante en Nariño es otro depósito de Zn relevante, se registra en la Subprovincia Metalogénica Dagua, Distrito Metalogénico de Au (-Ag) Piedrancha (Sepúlveda <i>et al.</i>, 2020). En el Diamante mineralización se desarrolló a partir de la mezcla de aguas meteóricas con aguas magmáticas y posiblemente relacionada a la intrusión del Stock de Piedrancha de edad Oligoceno (Molano y Shimazaki, 2003); JICA (1983) indicó la existencia de unas minas sin estudiar llamadas La Gitana, La Marina, Paraiso y Bomboná que parecen presentar características similares a El Diamante.</p> <p>Según Sepúlveda <i>et al.</i>, (2020), el magmatismo Cretácico en la Subprovincia Metalogénica Cañasgordas - Baudó tiene representatividad metalogénica evidenciada por los depósitos tipo VMS de Cu (Au, Zn, Ag) de Santa Anita-El Roble (Distrito Metalogénico de Cu El Roble) y tipo VMS de Zn-Pb-Cu (Au-Ag) de La Pastorera Aragón II (Distrito Metalogénico de Au Anzá).</p> <p>En la Provincia Metalogénica Andina Central se encuentran asociaciones minerales de Zn en el Distrito Metalogénico de Au(-Ag) Segovia-Remedios y prospectos interesantes sobre la zona de Marquetalia y Samaná en el Distrito Metalogénico de Au (-Ag) Río Dulce (Sepúlveda <i>et al.</i>, 2020) conocidos como La Diamantina, La Gallina y La Sofía, estos corresponden a filones hidrotermales polimetálicos de galena, esfalerita, pirita y calcopirita (Sarmiento, 1987). Uno de los prospectos de Pb, Zn y Ag más importantes de la Cordillera Central corresponde a Las Nieblas ubicado en la vereda Río Arriba, Salento - Quindío (Sarmiento, 1987). Para Barrero <i>et al.</i> (1971) es un depósito de tipo mesotermal que está relacionado con intrusiones cretácicas de diques y stocks granodioríticos en rocas metamórficas, son venas controladas estructuralmente compuestas por galena, esfalerita, argentita, arsenopirita, pirita y calcopirita. Por último, sobre la Provincia Metalogénica Andina Oriental (Sepúlveda <i>et al.</i>, 2020) se presentan mineralizaciones asociadas a sistemas pórfido-epitermal como es el caso de Vetas-California.</p>
<p>Molibdeno</p>	<p>El molibdeno es un catión duro a intermedio que se encuentra entre los 31 a 40 elementos más abundantes de la corteza terrestre. En su estado de oxidación 6+ se puede coordinar fácilmente con oxígeno para formar minerales de óxidos presentes en fases ígneas de alta temperatura y en sus estados de oxidación 4+ y 2+ se puede coordinar con oxígeno para formar minerales de óxidos simples y con azufre para formar minerales de sulfuros simples (Railsback, 2005; Bernal y Railsback, 2008).</p> <p>La presencia de molibdeno en la corteza terrestre puede darse en depósitos minerales resultantes de la interacción entre procesos ígneos e hidrotermales (p.e. procesos magmáticos-hidrotermales) especialmente en ambientes cercanos a la superficie donde los magmas y los fluidos están espacial y genéticamente relacionados como sucede con los depósitos tipo pórfido en zonas de alteración potásica (Robb, 2013).</p> <p>En muchas ocasiones los metales que se han concentrado en la corteza terrestre, (p.e. en pórfidos) luego quedan expuestos en su superficie y están sujetos a cambios en su concentración por meteorización química. En estos ambientes el molibdeno presente en sistemas pórfido es removido de los perfiles de regolitos (Robb, 2013), lo cual es un factor que debe considerarse en la exploración de este metal. El molibdeno también puede concentrarse por procesos sedimentarios químicos en lutitas negras de fondo oceánico con altos contenidos de materia orgánica (Robb, 2013).</p> <p>En Colombia existen ambientes geológicos favorables para la ocurrencia de molibdeno, especialmente aquellos resultantes de procesos magmáticos-hidrotermales e hidrotermales que han ocurrido en varias épocas geológicas como los que ocurren Dominio Metalogénico Andino. Dentro de este dominio se encuentran la Provincia Metalogénica de la Cordillera Oriental, la Subprovincia</p>

	<p> Metalogénica Perijá y el Cinturón Metalogénico Hospedado en Sedimentos de Cu (Ag) del Jurásico el cual se ubica dentro de tendencias geoquímicas regionales de cobre asociadas espacialmente con cromo, níquel y molibdeno (Sepúlveda <i>et al.</i>, 2020). </p> <p> En el alóctono Dominio Metalogénico Andino también se han reportado pórfidos (<i>sensu lato</i>) calcoalcalinos con molibdeno en: </p> <p> Provincia Metalogénica Andina Occidental </p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Subprovincia Metalogénica Cauca-Romeral <ol style="list-style-type: none"> 1. Depósitos Concherí, La Plombagina, La Sierra y Mazamorras. 2. Shaw <i>et al.</i> (2019) han reportado molibdeno en la Tendencia Pórfido Au (Ag, Cu) de 17,5 a 9 Ma de Piedrasentada-La Vega-Berruecos. 3. Shaw <i>et al.</i> (2019) reportaron también molibdeno en el <i>cluster</i> Pórfido Au (Cu) de edad Mioceno en Buenos Aires-Suárez (Cauca) y en las Ocurrencias Au-Cu de estilo Pórfido del Cinturón Metalogénico Pórfido-epitermal de Au-Cu del Mioceno (MMC, 2020) o Cauca Medio. 2. Subprovincia Metalogénica Canasgordas – Baudó <ol style="list-style-type: none"> 4. Depósitos: Acandí Seco, La Batilla, Proyecto Acandí, Río Muerto, Titiza y Táparos. Casi todos con edad de mineralización Eoceno. 5. Shaw <i>et al.</i> (2019), reportaron molibdeno en la Tendencia de 12 Ma Farallones-El Cerro Au (Ag, Cu). 3. Subprovincia Metalogénica Dagua <ol style="list-style-type: none"> 6. Depósitos: Ramos, La Verde y Río Blanco 7. Si bien la Tendencia Piedrancha-La Llanada-Cuembí corresponden a mineralizaciones de Au (Ag, As, Cu) (edades de 24 a 21 millones de años-Ma) resultantes de eventos metalogénicos de segmentos de arco granitoide del Oligoceno Tardío al Plioceno, en las vetas de El Porvenir (Batolito de Piedrancha) se reportó abundante molibdenita con arsenopirita y sulfuros de metales básicos menores (Shaw <i>et al.</i>, 2019). 4. Provincia Metalogénica Andina Oriental <ol style="list-style-type: none"> 8. Subprovincia Metalogénica Ibagué – Mocoa 9. Depósitos: Dolores (edad de mineralización Jurásico medio 174.1 a163.5Ma), Infierno_3, Mina Andes, Proyecto Mocoa (edad de mineralización Jurásico inferior/temprano_201.3_174.1Ma) y El Cambrin. En el Distrito Pacarní-Batolito de Ibagué Sur de edad Jurásico, se reportaron inclusiones de molibdenita en vetas de cuarzo-sulfuros expuestas en trabajos de minería artesanal (Shaw <i>et al.</i>, 2019) 10. Subprovincia Metalogénica San Lucas 11. En la metalogenia de oro-plata y cobre-molibdeno relacionada con el arco volcánico-plutónico del Jurásico Shaw <i>et al.</i> (2019) reportaron molibdenita en mineralizaciones de oro en Cerro San Carlos, El Piñal, Doña Juana, Micoahumado y Cerro Pelado asociadas con domos félsicos del Jurásico a lo largo del margen oriental de la Serranía de San Lucas. 12. Subprovincia Metalogénica Santander 13. También se ha reportado molibdeno en el pórfido de Cu-Mo (Au) entre 10 y 8,5 Ma y la tendencia Au-Ag de 2,6 a 1,3 Ma en Vetas-California (Shaw <i>et al.</i>, 2019) o en el Distrito Metalogénico de Au-(Ag) de Vetas y California (Sepúlveda <i>et al.</i>, 2020). 5. Provincia Metalogénica Andina Central <ol style="list-style-type: none"> 14. Shaw <i>et al.</i> (2019), reportaron molibdenita en mineralización epigenética de oro (plata, cobre, molibdeno) asociada con magmatismo granitoide de 62 a 58 Ma (post-colisión) que se encuentran alojadas dentro del Batolito Antioqueño y a lo largo de la Tendencia del río Nus. 15. Shaw <i>et al.</i> (2019) también relacionan la <i>suite</i> de pórfidos de oro Cajamarca-Salento entre 8.3 y 7.3 Ma con contenidos de molibdeno en La Colosa. <p> En el Dominio Metalogénico Oriental-Cratón Amazónico (Sepúlveda <i>et al.</i>, 2020) reportaron un depósito denominado Conejo Asociado a intrusivos (sin Clasificar). </p>
<p> Coltán (Niobio & Tantalio) </p>	<p> El coltán es un término coloquial procedente de África para referirse a la mezcla de minerales principalmente de niobio (anteriormente denominado como columbio) y tantalio. El niobio (Nb) y tantalio (Ta) ocurren como minerales accesorios diseminados en rocas graníticas altamente diferenciadas o en pegmatitas. Estos dos metales están generalmente presentes en forma de óxidos. Cuando el niobio predomina sobre el tantalio el mineral es conocido como columbita; y cuando predomina el tantalio se conoce como tantalita. </p> <p> El uso principal del niobio (Nb) es la producción de ferroniobio (FeNb), el cual es un ingrediente esencial de los aceros usados en la producción de las carrocerías de vehículos, cascos de los barcos, gaseoductos y oleoductos. Compuestos de niobio se usan en cerámicas y revestimiento de vidrio para lentes de cámaras y gafas, mientras que carburos de niobio se usan en la fabricación de carburos cementados para herramientas de corte por su elevada dureza. </p>

	<p>El principal producto comercializable de tantalio es el polvo de tantalio, producido a partir de concentrados que contienen pentóxido de tantalio (Ta₂O₅). Este polvo se usa para producir alambres y láminas de tantalio, que luego son utilizados en la fabricación de condensadores y productos metalúrgicos. Además de estos, el alambre de tantalio también es un componente esencial para los condensadores, y las láminas de tantalio se usan en la fabricación de plantas químicas.</p> <p>En Colombia, el término “coltán” ha sido expandido a cualquier mineral con contenidos de Nb y Ta, incluyendo muchas veces arenas negras con valores elevados de Sn, W, Ti, entre otros. Estos minerales son provenientes del Oriente Colombiano, donde se han reportado mineralizaciones explotadas artesanalmente, relacionadas a rocas del Cratón Amazónico aflorantes en los departamentos de Vichada, Guainía y Vaupés.</p> <p>En el departamento de Vichada las manifestaciones de tantalio (Ta) y niobio (Nb) se encuentran en depósitos secundarios en los Cerros de Cachicamo y Cerro Hormiga, con una posible fuente en pegmatitas graníticas que intruyen al Granito de Parguaza (Franco <i>et al.</i> 2021).</p> <p>En el departamento de Guainía, los ilmenorutilos enriquecidos en Nb-Ta se encuentran en diques pegmatíticos de composición granítica, de hasta 4 m de espesor, y en venas de cuarzo que atraviesan los granitos de San José y Tabaquén de edad entre 1514 y 1534 Ma (SGC-UNAL, 2017). Estos diques y venas además contienen ilmenita, magnetita, turmalina, granate y monacita, y cantidades subordinadas de pirita, calcopirita, pirrotina, bornita, marcasita y molibdenita rellenando fracturas (SGC-UNAL, 2017).</p> <p>Ocurrencias menores de molibdenita en cristales aislados <3cm en diques pegmatíticos de composición granítica se encuentran cerca a Puerto Inírida, además de ocurrencias de minerales de niobio (¿columbita?) en diques similares a aquellos que albergan la molibdenita (López <i>et al.</i> 2010b).</p> <p>En San José del Guaviare, hacia la porción central de la provincia, se reportan concentraciones anómalas de uranio con valores entre 536 y 920 ppm con promedio de 10,76 ppm eU en sienitas nefelínicas (Bautista <i>et al.</i> 2017). Esta concentración anómala de uranio es atribuida a la presencia de pirocloro enriquecido en Nb, U, Ta y Th. El pirocloro constituye del 1 al 5 % de la roca.</p> <p>En el departamento de Vaupés se conocen manifestaciones de tantalio (Ta) y niobio (Nb) en acumulaciones asociadas a placeres aluviales, sin haber encontrado por el momento la roca fuente. Debido a que el conocimiento de la geología del departamento de Vaupés es más limitado que en los otros departamentos orientales de Colombia, no se descarta la presencia de acumulaciones de Ta y Nb asociadas con granitoides estañíferos (López Isaza & Cramer, 2012).</p>
<p>Oro y minerales asociados</p>	<p>El oro es un elemento metálico que junto con la plata se caracterizan por su conductividad térmica y eléctrica, durabilidad gracias a su baja actividad química, y maleabilidad (Boyle R., 1979). Estas características lo han convertido en un elemento que no sólo es utilizado como bien de refugio económico y de inversión ya que mantiene su valor a largo plazo (Rodríguez, 2023), sino que en la actualidad tiene un sin número de usos en la industria, en la medicina, en la tecnología y en la investigación aeroespacial gracias a sus propiedades únicas (World Gold Council, 2021).</p> <p>El oro se encuentra en la naturaleza en la mayoría de los casos de manera libre y nativa, generalmente en aleación natural con la plata (principalmente) y con el cobre gracias a que tienen características fisicoquímicas similares, también puede contener dentro de su composición concentraciones traza de elementos del grupo del platino, telurio, bismuto, cadmio entre otros. Este elemento siderófilo se moviliza hasta la corteza mediante soluciones hidrotermales sulfuradas y cloruradas (Boyle R., 1979), las cuales lo concentran en varios tipos de ambientes hidrotermales (asociados a magmatismo o a metamorfismo) y los depositan bien sea en estructuras vetiformes, de relleno, generalmente asociado a sulfuros (principalmente de hierro y cobre) y cuarzo y en ocasiones carbonatos, o como disseminado, también puede ser depositado por procesos sedimentarios formando depósitos de placer recientes o antiguos. Los principales productores de oro a nivel mundial están encabezados por China, Australia y Rusia (Statista Research Department, 2023). Colombia ocupa el puesto 18 en producción de oro a nivel mundial y el cuarto en Suramérica.</p> <p>Colombia al ser un productor de oro importante a través de la historia, tiene una gran variedad de depósitos de oro y minerales asociados, donde se destacan los depósitos en producción ubicados en Antioquia, Caldas y Chocó.</p> <p>En Antioquia se destacan los depósitos asociados al magmatismo del Batolito Antioqueño como son: Segovia donde se extrae oro (concentrado oro – plata) a partir de vetas de cuarzo – carbonato con oro de depósitos asociados a intrusivos (IRGD), actualmente se está construyendo una segunda planta para la recuperación de concentrados polimetálicos de zinc, oro y plata (Aris Mining, 2022); y en Cisneros que aunque las mineralizaciones están asociadas y encajadas en el batolito, tienen características de depósitos orogénicos de oro donde se extrae oro de vetillas y brechas hidrotermales asociadas a zonas de cisalla. En la zona del bajo Cauca donde además de extraer oro a partir de placeres aluviales en Nechí y el Bagre que están asociados a arenas negras (que podrían ser aprovechadas para uso industrial) (Soma Gold Corp <i>et al.</i>, 2022), también se extrae Au y Ag a partir de depósitos clasificados como oro orogénico asociados a la falla de Otú (Evans <i>et al.</i>, 2021). Al noroccidente de Antioquia, en Buritica, asociadas a magmatismo miocénico se tienen las mineralizaciones epitermales de intermedia sulfuración donde se extrae oro y plata (Vigar <i>et al.</i>, 2013).</p> <p>En el departamento de Caldas, se destacan las mineralizaciones asociadas al cinturón de Cauca – medio como el depósito de Marmato donde a partir de vetas epitermales de intermedia sulfuración se extrae oro y plata desde época de la colonia (De Mark, 2022).</p>

	<p>En el Roble ubicado en el Choco, se benefician concentrados de oro y cobre a partir de un depósito de sulfuro masivo vulcanosedimentario, otros elementos que pueden ser de interés asociados a la mineralización y de los cuales hay enriquecimiento son la plata y el cobalto.</p> <p>Otros depósitos que no se están explotando pero que se encuentran asociados a los ambientes mencionados son como los relacionados a cuerpos intrusivos miocenos ubicados en Cauca – Medio a los cuales están asociadas mineralizaciones tipo pórfidos de oro, como La Colosa, de oro cobre como Titiribi, de cobre -oro -molibdeno como Quebradona o asociados a intrusivos como Gramalote y otros más pequeños ubicados en el Batolito de Antioquia y en Nariño como el de La Llanada (que además tienen cobre, plata, bismuto y teluro) asociado al cinturón de oro relacionado a intrusivos del Oligoceno ((Sepúlveda Ospina et al., 2020), o, como los tipo oro orogénicos a lo largo de la falla de Otú, como el de El Vapor ((Dorado Montalvo, 2012); sólo por mencionar algunos.</p> <p>Además, también existen otros ambientes favorables al oriente del país, en la cordillera Oriental donde se conocen algunos depósitos epitermales de intermedia y alta sulfuración de oro como los del Distrito Vetas - California, asociados con magmatismo Mioceno (Mantilla et al., 2009; Rojas Barbosa et al., 2020) donde se extrae oro y plata pero que también tiene asociados sulfuros de cobre y paleoplaceres al oriente del país en las serranías del Naquén, Caranacoa y Taraira. Y al occidente y centro del país asociados a los cinturones pórfido – epitermal de Cu-Au del Cretácico y del Eoceno, y orogénico del Paleoceno (Sepúlveda et al. 2020)</p>
<p>Metales del Grupo del Platino (Platino, Paladio, Rutenio)</p>	<p>Seis elementos químicos se agrupan dentro de los Elementos del grupo del platino (EGP), éstos son Rutenio (Ru), Rodio (Rh), Paladio (Pd), Osmio (Os), Iridio (Ir) y Platino (Pt). Estos metales son relativamente raros en la corteza terrestre y se encuentran en concentraciones medias inferiores a 10 ppb.</p> <p>Los EGP son extraídos del manto por magmas máficos y ultramáficos, se encuentran generalmente alojados o en solución sólida en sulfuros de Cu y Ni, como calcopirita y pentlandita; como metales nativos y aleaciones; en sulfuros de EGP (laurita, por ejemplo); como arseniuros de EGP (esperrilita, por ejemplo); y como antimonioiros de EGP.</p> <p>Debido a su origen relacionado a magmas máficos y ultramáficos, los EGP se encuentran en depósitos ortomagmáticos, como los complejos máficos estratificados (donde los EGP están asociados a niveles de sulfuros y cromititas masivas), depósitos de tipo <i>Iron Oxide Copper Gold</i> (IOCG), complejos ultramáficos zonados (tipo Alaska) y depósitos de tipo placer que tienen como fuente rocas máficas y ultramáficas. Adicionalmente, se han considerado a las lateritas de Ni-Co y a los depósitos de cromita ofiolítica (podiforme), como fuentes alternativas de EGP.</p> <p>En Colombia, el ambiente geológico más favorable para la existencia de EGP se encuentra en el departamento del Chocó, en particular en las cuencas de los ríos Atrato y San Juan, donde se explotan terrazas aluviales ricas en EGP y oro, el origen del platino en el Chocó se atribuye a la erosión de complejos ultramáficos zonados, en particular el Complejo Ultramáfico Zonado del Alto Condoto (CUZAC). Estudios mineralógicos de muestras extraídas del Río Condoto señalan que los EGP se encuentran principalmente como aleaciones de Pt-Fe (Aiglsperger et al., 2017), similares a las que se encuentran en el CUZAC y en el Complejo Viravira (85.7 – 88.5 wt% Pt, 8.7 – 9.5 wt% Fe), donde además se reportan aleaciones de Os-Ir (84.9 – 88.8 wt% Os, 7.7 – 10.3 wt% Ir) (Tistl, 1994). Las concentraciones de EGP en el CUZAC varían de acuerdo con la litología, pero en general se encuentran por debajo de 100 ppb, con un máximo de 258 ppb en una muestra de wehrlita (Tistl, 1994). Rocas máficas y ultramáficas posibles portadoras de mineralizaciones con EGP, generadas en ambientes geológicos similares a aquellos reportados para el Chocó, se encuentran en la vertiente occidental de la Cordillera Occidental en los departamentos de Cauca y Nariño (ANH-GRP, 2014).</p> <p>Fuera del departamento del Chocó, se han reportado EGP en arenas negras que quedan como subproducto de la minería aluvial de oro en El Bagre, subregión del Bajo Cauca de Antioquia, donde se encuentran aleaciones de Pt-Fe (tetraferroplatino) y arseniuros de EGP (esperrilita). No se conoce la fuente primara de los EGP para esta ocurrencia, pero los metales pueden provenir de la erosión de los cuerpos ultramáficos que se encuentran en las cuencas de los ríos Cauca y Nechí.</p> <p>Los cuerpos ultramáficos de afinidad ofiolítica representan un ambiente geológico favorable, ya que las lateritas y los cuerpos de cromita pueden estar enriquecidos en EGP. En los depósitos de lateritas niquelíferas de Cerro Matoso y Planeta Rica, en el departamento de Córdoba, se reportan valores de hasta 259 ppb de PGE (Cerro Matoso) y 272 ppb de PGE (Planeta Rica), con un marcado enriquecimiento de EGP en el perfil laterítico en comparación con la peridotita sin alterar (por debajo de 150 ppb de EPG), análisis mineralógicos de una de las muestras de Planeta Rica identificaron la presencia de aleaciones de Pt-Ir-Fe-Ni (Tobón et al., 2020). En los depósitos y ocurrencias de cromita ofiolítica en Colombia (Medellín, Planeta Rica y La Guajira) se han medido las concentraciones de EGP, encontrándose que las muestras de Planeta Rica son las más enriquecidas (268 – 487 ppb), seguidas de las de La Guajira (235 ppb) y Medellín (30 – 54 ppb), estas últimas afectadas por metamorfismo regional en facies anfibolita, aparentemente responsable por los bajos valores de EGP (Ramírez-Cárdenas et al., 2023).</p>
<p>Hierro</p>	<p>El hierro es uno de los principales componentes de la corteza terrestre, se encuentra en minerales como hematita-Fe₂O₃, limonita-Fe₂O₃, magnética-Fe₃O₄ o siderita-FeCO₃ que a nivel mundial forman grandes yacimientos. A nivel mundial los principales productores de hierro son Australia, Brasil y China (Statista, 2022), a partir de depósitos de hierro bandeado (BIF). Los minerales de hierro comúnmente explotados son hematita masiva, magnetita, titanomagnetita, algunos carbonatos como siderita o ankerita, en general, se considera que un mineral de hierro es explotable si su contenido de hierro es mayor al 15%.</p> <p>El principal productor de hierro en Colombia es Acerías Paz del Río que tiene varias minas en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, siendo actualmente las principales las de El Uvo (37.624 Ton/mes), El Santuario (182.454 Ton/año) y Las Mercedes (inicio operaciones en 2021) (Paz del Río, 2021). También hay producción de hierro en Montelíbano (Córdoba) y Páez (Cauca).</p>

	<p>Adicionalmente en otras zonas se encuentran mineralizaciones de interés como las ferricretas en el flanco Este de la Cordillera Central en rocas de la Formación Caballos (Patiño, 2015) y lateritas ferruginosas asociadas a las rocas metamórficas/ígneas en el oriente colombiano en cercanías a Mitú (Rodríguez, 2013). Concentraciones altas de minerales de hierro y titanio se han reportado en la quebrada El Hierro y el río Don Dieguito en la Sierra Nevada de Santa Marta (Betancur-Figueroa, S.,2020), y en las rocas ultramáficas que se encuentran en el área de Planeta Rica y Cerromatoso en Córdoba (Tobón, M. 2018).</p> <p>En Colombia existen varios ambientes geológicos favorables para albergar mineralizaciones de hierro con potencial para ser aprovechables. La principal área para este fin es la cuenca sedimentaria de la Cordillera Oriental, específicamente las rocas de las formaciones Concentración y Fômeque las cuales contienen bancos de mineral de hierro oolítico. Además, a lo largo de esta cuenca se encuentran varias manifestaciones y ocurrencias asociadas a areniscas de grano fino a conglomeráticas, con intercalaciones arcilloliticas y limolitas y que presentan lentes de hierro oolítico y carbón. Se desconoce la continuidad lateral o contenido de mineral de hierro de estas ocurrencias de mineral de hierro por lo que son de interés para para la prospección de nuevos depósitos de mineral de hierro.</p> <p>Las rocas anortosíticas de la Sierra Nevada de Santa Marta las cuales pueden ser de tipo magmático de Fe-Ti(-V), son otra zona de interés y debe tenerse en cuenta que, aunque existen estudios sobre estos cuerpos anortosíticos y sus contenidos de mineral de hierro (Cortes,2013; Betancur-Figueroa, 2020), se requiere conocer en detalle su extensión y la concentración de hierro asociada a la mineralogía que se encuentra en este tipo de rocas.</p> <p>Las ferricretas son una fuente común de mineral de hierro, en Colombia éstas han sido reportadas en el flanco oriental de la Cordillera Central asociadas a algunos niveles sedimentarios de la Formación Caballos y en el área de Mitú generadas por meteorización de rocas ígneo-metamórficas. Sobre estas mineralizaciones se requiere muestreo sistemático para determinar continuidad lateral que permita zonas puntuales de interés y análisis químicos para determinar la concentración de hierro en estas áreas.</p> <p>Los cuerpos máficos a ultramáficos que están al oeste de la Falla de Romeral en las áreas de Planeta Rica, Cerro Matoso y Uré se consideran de interés, debido a los altos contenidos de mineral de hierro que pueden contener. Un ejemplo de ello se ha identificado en los cuerpos ultramáficos del área de Cerro Matoso donde se han reportado valores de Fe_2O_3 (>60wt%) (Tobón, M. 2018).</p>
<p>Manganeso</p>	<p>El manganeso es el décimo segundo elemento más abundante en la corteza terrestre. Su concentración en los diferentes tipos de rocas más comunes, entre el 0,1 a 0,2 por ciento. Los minerales de manganeso considerados como menas principales contienen de 40 a 45 % de manganeso. La formación de estos minerales requiere condiciones geológicas especiales que concentran manganeso en varios cientos de veces su abundancia promedio en la corteza. Los procesos dominantes en la formación de los principales yacimientos del mundo tienen lugar en los océanos. Como resultado, los depósitos de manganeso más importantes ocurren en rocas sedimentarias marinas antiguas que ahora están expuestas en los continentes como resultado de la subsiguiente elevación y erosión tectónica (Cannon <i>et al.</i> 2017).</p> <p>Actualmente, en los fondos marinos se están formando nódulos de ferromanganeso los cuales cubren grandes extensiones. El proceso de formación de estos nódulos ocurre todavía y en el registran complejas interacciones entre microorganismos marinos, manganeso disuelto en el agua del mar y procesos químicos en el fondo marino (Cannon <i>et al.</i> 2017).</p> <p>Para Cannon <i>et al.</i> (2017) los depósitos de manganeso se clasifican en: (a) depósitos terrestres, que consisten en sedimentos marinos antiguos y zonas de enriquecimiento secundario y (b) depósitos de fondos marinos modernos. Existen otros tipos de depósitos de manganeso como aquellos relacionados a vetas volcánicas, a zonas kársticas e hidrotermales, caracterizados por ser generalmente pequeños.</p> <p>En Colombia se conocen algunas manifestaciones menores de manganeso, algunas de las cuales han reportado explotación intermitente y artesanal y la mayoría de ellas actualmente abandonadas. Estas manifestaciones se asocian espacialmente con rocas sedimentarias generadas a partir de sedimentos de fondo marino de diversas edades. Se destacan las rocas de edad Cretácico tardío a todo lo largo de la Cordillera Occidental (p. e. minas La Sombra (Apía-Risaralda), Vallesí (Dabeiba-Antioquia) y Aguaclara (Buenaventura-Valle del Cauca), y el prospecto de Piedrancha (Nariño). También se registran manifestaciones menores de manganeso relacionadas con rocas de edades Cretácico temprano y Triásico en la Cordillera Central (p. e. mina La Tigreta (Tolima), prospectos San Félix (Caldas), Santa Bárbara (Antioquia) y Piedrancha (Nariño)) (Calle y Zapata, 1987; CVC-Ingeominas, 2000).</p> <p>Teniendo en cuenta lo anterior, los sectores con mayor favorabilidad geológica para albergar mineralizaciones de manganeso asociadas a rocas sedimentarias son las cordilleras Occidental y Central. Aunque deben ser considerados algunos sectores en la Cordillera Oriental.</p>
<p>Carbón metalúrgico</p>	<p>El carbón es una roca sedimentaria de color negro o marrón que por sus características fisicoquímicas se clasifican en lignito, sub-bituminosos, bituminoso y antracita según el grado de carbonificación (Norma ASTM). Al someter los carbones bituminosos a un proceso de calentamiento algunos de éstos pasan por una etapa plástica (ablandándose, hinchándose y resolidificándose en una masa porosa) si presenta este comportamiento, se dice que aglomeran o tienen propiedades aglomerantes.</p> <p>Los carbones bituminosos que aglomeran y se les usa para la producción de coque, se clasifican como metalúrgicos (artículo 2 - Resolución 887 de 2014). El coque dependiendo de sus características física se denomina como metalúrgico (siderúrgico) y coque reactivo (ferroaleaciones).</p>

En Colombia se han definido 12 zonas carboníferas ubicadas desde el norte en la Guajira hasta el sur en Caquetá y Amazonas; y desde el Golfo de Urabá hasta el Borde Llanero. Los carbones que tienen propiedades aglomerantes y que se han utilizado como metalúrgicos, se encuentran ubicados en las zonas carboníferas de Boyacá, Cundinamarca, Santander y Norte de Santander. En Guaduas – Caparrapí, Borde Llanero y el Valle del Cauca y Cauca se tienen carbones que aglomeran, pero no han sido utilizados en la producción de coque sino como carbones térmicos.

En la **zona carbonífera de Cundinamarca** se tienen dos formaciones que poseen carbones con propiedades aglomerantes, las cuales corresponden a la Formación Seca y la Formación Guaduas. La Formación Seca portadora de las capas de carbón, se ubica en la estribación oeste de la Cordillera Oriental, entre los municipios de Jerusalén, Guaduas y Caparrapí. En esta unidad estratigráfica se han identificado 4 mantos de carbón con propiedades aglomerantes (Alvarado, 2011).

La Formación Guaduas contiene mantos de carbón que aglomeran y son usados como carbón metalúrgico, se han identificado en la parte noroccidental de la sabana de Bogotá, en los municipios de El Rosal, Subachoque y La Pradera (SGC, 2012), también en los municipios de Zipaquirá, Tausa, Cogua Pacho, Tabío y Carmen de Carupa donde se identificaron cinco mantos de carbón con propiedades aglomerantes con índices de hinchamiento de 6 a 9 (SGC, 2012).

En el Sinclinal de Checua – Lenguaque, al norte de Cundinamarca en las localidades de Ubaté, Guachetá, Lenguaque, Cucunubá, Suesca, Nemocón, Sutatausa y Tausa, el carbón se encuentra estratificado en las rocas de la Formación Guaduas donde se tienen entre seis y diez mantos de carbón con propiedades aglomerantes (SGC, 2012), usados como carbones metalúrgicos, para producir coque siderúrgico. En los municipios de Guatavita y Sesquilé se tienen 4 mantos con índices de hinchamiento de 1 y 2 (SGC, 2012), que pueden servir como carbones metalúrgicos para producir coque reactivo.

En la **zona carbonífera de Boyacá**, los carbones metalúrgicos se encuentran en la base de la Formación Guaduas de edad Cretácico tardío y en la Formación Umir de edad Campaniano –Maastrichtiano. Desde el límite Cundinamarca – Boyacá, haciendo parte del sinclinal de Checua Lenguaque, continúan los mantos con propiedades aglomerantes hacia el norte, en jurisdicción del municipio de Samacá, donde se han identificado hasta 6 mantos metalúrgicos, con índices de hinchamiento de 4 a 9.

En los municipios de Ventaquemada, Tunja y Samacá, sobre el Sinclinal de Ventaquemada en la parte inferior de la Formación Guaduas se encuentran 6 mantos de carbón que presentan índices de hinchamiento de 1 a 6 (SGC, 2012), donde su uso podría ser adicional a térmicos como carbón para mezcla en la producción de coque o para la producción de coque reactivo.

Sobre el Sinclinal de Tunja - Paipa en la Formación Guaduas se identifican 6 mantos de carbón con índices de hinchamiento de 1 a .5 (SGC, 2012) que pueden ser usados aparte de térmicos como metalúrgicos para mezclas en la producción de Coque reactivo. Más al norte los mantos metalúrgicos también se encuentran en el sector Sogamoso – Tasco y Tasco – Jericó, donde el valor del índice de hinchamiento varía de 2 a 9 (SGC, 2012).

En el occidente de Boyacá, en el municipio de Otanche, sector oriental del municipio de Puerto Boyacá, afloran las rocas de la Formación Umir portadora de los carbones aglomerantes que pueden ser usados como metalúrgicos. Se identificaron 10 mantos de carbón con índices de hinchamiento superior a 6 hasta 9 y seis mantos superiores con índices de hinchamiento de 1 a 4.5, que pueden ser usados como carbón metalúrgico para la producción de coque siderúrgico o coque reactivo (Monroy, 2013).

En los municipios de Chita, La Uvita, San Mateo y El Espino se han identificado mantos de carbón con índices de hinchamiento de 2 a 5 (Duarte, 2010), los cuales podrían ser usados como carbones metalúrgicos para la producción de coque reactivo.

En la **zona carbonífera de Santander** los carbones aglomerantes de uso metalúrgico se encuentran estratificados en la Formación Umir de edad Campaniano –Maastrichtiano. Se identificaron entre 6 y 10 mantos de carbón con propiedades aglomerantes (Monroy, 2013 y 2014), ubicados en jurisdicción de los municipios de La Belleza, Sucre, El Peñón, Bolívar Landázuri, Cimitarra, Vélez y Santa Helena del Opón.

En la **zona carbonífera de Norte de Santander** los carbones metalúrgicos se encuentran ubicados en la Formación Los Cuervos de edad Paleoceno – Eoceno Inferior, se han reconocido entre 1 y 8 mantos con propiedades aglomerantes (Beltrán, 1998), ubicados geográficamente en los municipios de Chitagá, Mutiscua, Cúcuta, Pamplona, Pamplonita, Toledo, Herrad, Salazar de las Palmas, Arboleda, Santiago, San Cayetano, El Zulia, Durania, Chinácota y Villa del Rosario, Sardinata, Tibú, Las Mercedes, Río de Oro y La Gabarra.

En la **zona carbonífera del Valle del Cauca**, en el área carbonífera Yumbo - Asnázú se identificaron carbones con índices de hinchamiento desde 2 hasta 9 (SGC, 2012) lo cual indica que tienen propiedades aglomerantes y un posible uso como carbón metalúrgico, para producir coque siderúrgico o coque reactivo. Están ubicados geográficamente en los municipios de Yumbo, Cali, Jamundí (Valle del Cauca) y Suárez y Buenos Aires (Cauca).

En la **zona del Borde Llanero**, en los municipios de Sabanalarga, Monterrey, Tauramena, Chámeza, Recetor y Aguazul (Casanare); Paratebueno (Cundinamarca); San Luis de Gaceno, Campo Hermoso y Páez (Boyacá). Los carbones que presentan propiedades aglomerantes se encuentran ubicados estratigráficamente en la Formación Une de edad Albiano – Cenomaniano, la Formación Chipaque de edad Cenomaniano Superior a Coniaciano y en la Formación Arcillas del Limbo de edad Paleoceno.

	<p>En la Formación Une se identificó un manto de carbón con propiedades aglomerantes donde se tienen un índice de hinchamiento de 8 (Monroy, 2017), que se pueden usar como carbón metalúrgico. En la Formación Chipaque se identificaron 5 mantos de carbón con índices de hinchamiento de 2 a 8 (Monroy, 2016) donde su posible uso puede ser como mezclas para producir coque siderúrgico y coque reactivo. En la formación Arcillas del Limbo se identificaron dos mantos de carbón que tienen índice de hinchamiento de 2 (Monroy, 2016), que se podrían usar como carbón metalúrgico para la producción de coque reactivo.</p>
Fosfatos	<p>Desde mediados de la década 1960-1970 el SGC definió que las rocas con mayor potencial para fosfatos (roca fosfórica o fosforita y rocas fosfáticas) se encuentran en rocas sedimentarias del Cretácico superior de origen marino y transicional, localizadas en la Cordillera Oriental y extremo SE de la Cordillera Central en los departamentos de Norte de Santander, Santander, Boyacá, Huila y Tolima (Cathcart y Zambrano, 1967; Mojica, 1987; Zambrano y Mojica, 1990).</p> <p>A partir del documento CONPES 3577 de 2009, Ingeominas (hoy Servicio Geológico Colombiano) retomó la prospección de minerales y elementos básicos para la producción de fertilizantes agrícolas en el país como lo son los fosfatos, el potasio y el magnesio, evaluando el potencial para fosfatos en algunas áreas localizadas en los departamentos de Boyacá y Huila.</p> <p>Las áreas estudiadas en el departamento de Boyacá cubrieron 1.600 km², evaluándose un potencial alto del orden de 46.217.723 toneladas de recursos en capas de fosfatos con espesor entre 0,2 a 0,7 metros, y entre 1 y 27 % de P₂O₅ (Terraza <i>et al.</i>, 2016).</p> <p>Las áreas evaluadas en el Departamento de Huila abarcaron 2.300 km² entre los municipios de Aipe y La Plata, y reportaron un potencial alto con recursos de 456.340.130 toneladas en capas de fosfatos con un espesor entre 0,2 a 1,3 metros, y entre 18,5 y 30,59 % de P₂O₅ (Terraza <i>et al.</i>, 2019).</p>
Magnesio	<p>De acuerdo con el Servicio Geológico Colombiano, en Colombia se presentan algunas manifestaciones y pequeños depósitos de magnesita de origen hidrotermal, con otras manifestaciones locales formadas por alteración superficial y enriquecimiento supergénico y depósitos de dolomita formados por metamorfismo y metasomatismo. Estos depósitos son puntuales y de poca producción, y en aquellos que han sido explotados desde hace varias décadas (p.e. magnesita de Bolívar - Valle del Cauca, mármoles dolomíticos del Huila), la extracción de magnesita y dolomita ha sido dirigida principalmente hacia la producción de fertilizantes agrícolas.</p> <p>Igualmente, dicha entidad geocientífica ha identificado los siguientes ambientes geológicos favorables para minerales de magnesio en rocas ultramáficas de fragmentos ofiolíticos: parte de la Cordillera Central y la Cordillera Occidental con edades entre el Triásico y el Cretácico; así mismo, ha identificado fragmentos ofiolíticos de menor extensión en los Departamentos de Córdoba, Antioquia y Caldas, entre otros.</p> <p>Son conocidos los depósitos de magnesita en Bolívar, Departamento del Valle del Cauca. Este depósito de magnesita es descrito en el Mapa Metalogénico de Colombia (Pérez <i>et al.</i>, 2020) como vetas de magnesita/ópalo alojadas en dunitas serpentinizadas, pertenecientes al Complejo Ultramáfico de Bolívar de la Subprovincia Metalogénica Dagua, y la mineralización se encuentra como un stockwork (tipo sistema de enrejado) de magnesita.</p> <p>Por otra parte, algunos depósitos de mármol dolomítico explotados en el país están enriquecidos en Magnesio y se encuentran en sucesiones que ha sufrido metamorfismo de contacto y metasomatismo; estos depósitos hacen parte del basamento metamórfico al sur de la Cordillera Central en los departamentos de Huila, Cauca y Putumayo (Hernández y Terraza, 2019).</p>
Potasio	<p>El potasio es un elemento principalmente litófilo presente en la red cristalina de numerosos minerales de diferentes tipos de rocas y se encuentra en minerales primarios, por ejemplo: plagioclasas, micas y feldespato potásico (ortosa); sin embargo, el potasio se encuentra formando parte de sus estructuras cristalinas y solo puede liberarse por meteorización, descomposición, en lo cual intervienen diferentes procesos como la hidrólisis en la ortoclasa. La movilidad del K es alta prácticamente bajo cualquier condición de pH y potencial redox; pero ésta se ve limitada por tres procesos: por adsorción en arcillas y materia orgánica, por absorción en arcillas (intercambio iónico) y como nutriente tomado por los constituyentes de la biosfera (Mendoza <i>et al.</i>, 2020)</p> <p>Desde un punto de vista económico son importantes los sulfatos y cloruros de potasio, ya que su grado de disolución es mayor y están presentes en secuencias evaporíticas marinas y lacustres, que a nivel mundial se consideran los principales depósitos para la extracción de potasio, por su gran volumen y fácil extracción. Las secuencias evaporíticas se originan como consecuencia de la evaporación de aguas que contienen abundantes sales en disolución; existe un orden de cristalización vinculado a la tasa de evaporación, en primer lugar, precipitan los carbonatos, los menos solubles, luego yeso o anhidrita, a continuación, halita y por último precipitan los cloruros de potasio y magnesio. A menudo estos minerales aparecen constituyendo capas dentro de las formaciones evaporíticas, con yeso en las capas basales, halita en las intermedias, y sales potásicas y magnésicas en las más altas. Este modelo general, en cada cuenca concreta suele darse con un predominio de unos u otros minerales.</p> <p>Los cloruros y sulfatos de potasio presentes en evaporitas son: la silvita (KCl) con un 52% de K y la carnalita (KClMgCl₂·6H₂O) con un 14% de K, los cuales se consideran los minerales más solubles; sin embargo, en contenido de K, después de la silvita están la arcanita (K₂SO₄) con un 44% de K, la glaserita (3K₂SO₄·2MgH₂O) con un 35% y la polihalita (K₂SO₄·MgSO₄·2CaSO₄·2H₂O) con un 13% de K (Melgar y Castro, 2002). Las sales de cloruro, sulfato o nitrato de potasio se conocen colectivamente como potasa.</p> <p>El potasio es un macronutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas, junto con el nitrógeno y el fósforo, es uno de los elementos más importantes de la nutrición mineral vegetal que aumenta la productividad biológica. La producción agrícola moderna depende en gran medida de la cantidad y la calidad de los fertilizantes químicos necesarios para aumentar los rendimientos. Cerca del 90% del consumo mundial de este se usa como productos fertilizantes seguido de la industria química, que lo convierten en un mineral estratégico.</p>

	<p>A nivel mundial la mayoría de los depósitos evaporíticos se encuentran en formaciones del Paleozoico (Canadá, Estados Unidos y México) y del Paleozoico y el Terciario (Europa). En Colombia los hallazgos están circunscritos por ahora a rocas de edad cretácica; sin embargo, es posible su presencia en salinas y salares actuales de la Guajira (González y Espinosa, 2012).</p> <p>Las mineralizaciones o yacimientos de sales de potasio en Colombia se iniciaron a investigar a partir de la importancia del potasio en el desarrollo de la industria de los fertilizantes para la agricultura. En 2010, Duran <i>et al.</i> realizan un estudio de reconocimiento y muestreo litológico para potasio y magnesio en veinticuatro sectores que cubren tanto la zona andina de Santander, Huila, Tolima, Cundinamarca, Boyacá, Antioquia y Caldas, como el Piedemonte Llanero y la Costa Atlántica; donde seleccionan la zona de Zapatoca en el departamento de Santander como el área de mayor interés para potasio en las facies evaporíticas basales de la Formación La Paja. Dicho estudio realizó muestreos en Barichara-Zapatoca y reportaron valores anómalos en un intervalo de 2,75 m y en otro intervalo casi adyacente de 0,75 m en la secuencia estratigráfica de la Formación La Paja, con un valor de concentración de 1,86% K₂O, este contenido de K₂O es muy cercano al límite inferior del rango que es considerado anómalo (2%-3,15%).</p> <p>González y Espinosa (2012) reportan los primeros hallazgos de sales de potasio en Colombia, ubicados en la Mesa de Los Santos, hacia el occidente del municipio de los Santos e identifican la zona de mineralización en la base estratigráfica de la Formación La Paja. También mencionan que En la zona se explota desde hace algún tiempo el mineral polihalita. Las muestras tomadas y analizadas en este estudio geológico muestran que se trata de sales de potasio de la variedad singenita (K₂Ca[SO₄]₂ · H₂O), asociada a minerales accesorios como carbonatos y yeso, y a minerales accidentales como langbeinita K₂Mg₂[SO₄]₃ y rinneita K₃Na[Fe,Cl]₃. Las paragénesis son evidencia de una depositación en ambiente evaporítico.</p> <p>En la actualidad se está analizando el uso de otros minerales de potasio con aplicaciones en la industria agrícola, es el caso de la glauconita (K,Na)(Fe³⁺,Al,Mg)2(Si,Al)₄O₁₀(OH)₂ que se utilizó anteriormente como fuente de potasa para la agricultura en muchos países hasta la Segunda Guerra Mundial cediendo su lugar a las sales solubles de origen evaporítico en la mayor parte del mundo a excepción de la India, que posee reservas de glauconita del orden de los 2000 millones de toneladas con un contenido de K₂O variable entre 6 y 8 % (Garaventa <i>et al.</i>; 2010). <i>Greensands</i> o areniscas verdes es el nombre de una roca que contiene un alto porcentaje de glauconita.</p> <p>En Colombia se reportan manifestaciones de potasio en rocas con moderado a bajo contenido de glauconita, en los segmentos de la parte media de la Formación Tablazo y un nivel de la Formación Simití, en la sección estratigráfica levantada por la quebrada La Molinilla, cerca de la vía que desde Lebrija conduce a San Vicente de Chucurí (Montoya, 2019). En la quebrada Aguablanca (municipio de Lebrija) aparece una capa gruesa de arenita fosfática glauconítica en el techo de la Formación La Renta (Terraza, 2019).</p> <p>Ayala <i>et al.</i> (2009), en un estudio realizado en las unidades comprendidas entre el Campaniano y Paleógeno en la subcuenca del Cesar, identificaron dos niveles con abundante glauconita y fosfatos hacia la base de la Formación Colón en el Miembro Tres Esquinas (contacto inferior con la Formación La Luna); en la parte media de la secuencia, el Miembro Socuy está compuesto por biomicritas de foraminíferos, localmente se encuentran fosfatos y glauconita diseminados. En la parte superior del Miembro Socuy se encuentran <i>packstones</i> de bivalvos y equinodermos con abundantes <i>pellets</i> de glauconita, concentrados en agregados hasta de 5 cm de diámetro. Hacia el techo de la unidad, el Miembro Superior se constituye por un paquete monótono de lodolitas ligeramente calcáreas, color gris olivo. con nódulos de siderita, y empiezan a aparecer intercalaciones de calizas (<i>packstones</i>) y areniscas glauconíticas (con contenidos de glauconita hasta el 50%), con bivalvos, equinodermos, glauconita y fosfatos.</p>
Azufre	<p>El azufre es uno de los elementos químicos más comunes que se encuentran en la naturaleza y es uno de los pocos elementos que se presenta en estado nativo o elemental. En estado físico es un sólido quebradizo de color amarillo pálido, insípido e inodoro y que se encuentra generalmente de esta manera en regiones volcánicas y aguas termales. También se presenta combinado con hierro y metales básicos y minerales sulfurados y con metales alcalinos y tierras alcalinas como minerales sulfato. En la producción de hidrocarburos, el azufre se encuentra en una variedad de compuestos orgánicos complejos y en el gas natural como sulfuro de hidrógeno. En el carbón, el azufre se encuentra en compuestos orgánicos complejos.</p> <p>Su importancia a nivel mundial se deriva en que de él se obtiene ácido sulfúrico, materia importante a nivel mundial en diferentes procesos industriales como por ejemplo en la lixiviación de minerales metálicos, usado también como componente de baterías, producción de fertilizantes y como producto químico intermedio en la producción de muchos otros compuestos. En Colombia los principales usos del ácido sulfúrico están en la refinación de petróleo, la producción de ácido cítrico, la producción de sulfato de aluminio y la fabricación de baterías.</p> <p>A nivel mundial el consumo de ácido sulfúrico es un indicador del desarrollo industrial. Actualmente en el mundo, la obtención de ácido sulfúrico es como subproducto durante la fundición de metales de cobre, plomo, molibdeno y zinc. En la industria de hidrocarburos se obtiene azufre elemental y se clasifica como azufre recuperado, el cual se obtiene en las fases de la refinación del petróleo crudo y la purificación del gas natural.</p> <p>Como yacimientos u ocurrencias de azufre, se conoce el de la antigua mina El Vinagre localizada cerca al volcán Puracé en el departamento del Cauca, la cual se encuentra inactiva desde hace más de 20 años; y cuyo depósito mineral está relacionado a la actividad volcánica de dicho volcán.</p>

	<p>Ecopetrol actualmente es el mayor suministrador de azufre en Colombia, producido por la petroquímica de sus plantas de refinación de petróleo. Este se obtiene a través de la oxidación catalítica del sulfuro de hidrógeno (H₂S) proveniente de los gases que producen las plantas de ruptura catalítica o hidrot ratamiento. El azufre conseguido por esta vía es de alta pureza.</p>
<p>Bauxita (Aluminio)</p>	<p>El aluminio (Al) es el metal más abundante de la corteza terrestre y el tercer elemento químico en abundancia, después del oxígeno (O) y el silicio (Si). No se encuentra como elemento libre en la naturaleza, aunque sí hace parte en un alto porcentaje de los minerales que conforman los diferentes tipos de roca. Se obtiene principalmente a partir de los hidróxidos de aluminio (diásporo, bohemita y gibbsita) contenidos en un alto porcentaje en la bauxita.</p> <p>La bauxita laterítica, principal materia prima a nivel mundial, a partir de la cual se obtiene el aluminio, se forma en latitudes tropicales y subtropicales en áreas tectónicamente estables, a partir de la meteorización de variedad de rocas aluminicas, principalmente ígneas, en condiciones de alta pluviosidad y temperatura donde prevalece la alternancia de periodos secos y húmedos con fluctuaciones del nivel freático.</p> <p>La obtención de aluminio primario (aluminio puro) a partir de la bauxita tiene como producto intermedio la alúmina. El procedimiento se inicia con la materia prima (bauxita) la cual es sometida a lixiviación caustica (proceso Bayer) que da como producto la alúmina, a partir de la cual, mediante reducción electrolítica (proceso Hall – Heroult) se obtiene finalmente el aluminio puro. Los principales países productores de bauxita son Australia, China y Guinea, mientras los de mayor producción de aluminio son China, Rusia, Canadá e India.</p> <p>En Colombia se presentan condiciones favorables para la existencia de la bauxita, lo cual se evidencia a partir de los reportes de ocurrencias y la actividad minera asociada. Estudios locales y a mayor detalle reportan la existencia de bauxita laterítica en las tres cordilleras, entre los que se mencionan los sectores correspondientes a la vertiente oeste de la cordillera Central y a la vertiente este de la Cordillera Occidental en los departamentos de Cauca (Morales – Cajibío) y Valle (Jamundí), respectivamente.</p> <p>El Servicio Geológico Colombiano (SGC) a partir de estudios geoquímicos regionales, tal como es el Atlas Geoquímico de Colombia (Mendoza, O. y otros, 2020) presenta la distribución de alúmina (Al₂O₃) en parte del territorio colombiano. De acuerdo al mapa de aluminio de este Atlas, el mayor contenido (en porcentaje) de alúmina corresponden al sector occidental de la Cordillera Oriental, a los extremos norte y sur de la Cordillera Central y al noroccidente de la Sierra Nevada de Santa Marta.</p> <p>En el Mapa Metalogénico de Colombia (Sepúlveda y otros, 2020) se presenta ocurrencias de aluminio (Al) asociado a bauxitas pisolíticas y arcillas bauxíticas residuales a partir de la meteorización de basaltos y dioritas cretácicas (e.g., Jamundí, Valle del Cauca y Yarumal, Antioquia), rocas sedimentarias del Eoceno inferior (e.g., Serranía de La Macarena, Meta), y rocas volcano-sedimentarias del Plio-Pleistoceno (e.g., Morales-Cajibío, Cauca).</p>
<p>Materiales de construcción</p>	<p>En el documento del Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 “Colombia, Potencia Mundial de la Vida” (DNP, 2023: Ley 2294 del 19 de mayo de 2023) denominado Plan Plurianual de Inversiones, ítem “Inversiones Estratégicas Nacionales”, en el numeral 6: “Intervención de la infraestructura regional (vías secundarias, terciarias, muelles y aeródromos) mediante circuitos estratégicos que permitan la conectividad, convergencia regional y adaptabilidad climática”, se contempla la realización de multitud de obras de infraestructura a nivel regional o departamental, que abarcan todo el país. Se incluyen vías departamentales (secundarias), municipales (terciarias), muelles o aeródromos en los departamentos de Amazonas, Antioquia, Arauca, Atlántico, Bogotá D.C., Bolívar, Boyacá, Caldas, Caquetá, Casanare, Cauca, Cesar, Chocó, Córdoba, Cundinamarca, Guainía, Guaviare, Huila, Guajira, Magdalena, Meta, Nariño, Norte de Santander, Putumayo, Quindío, Risaralda, San Andrés y Providencia, Santander, Sucre, Tolima, Valle del Cauca, Vaupés y Vichada.</p> <p>El SGC desde el año 1996 hasta la fecha ha realizado diferentes estudios sobre Materiales de Construcción en Colombia con diversos objetivos como el minero, ambiental y de caracterización geológica y geotécnica de materiales para agregados pétreos (Páez <i>et al.</i>, 2022), sin embargo, aún falta mucha investigación en este campo. De hecho, falta evaluar el potencial de varias ciudades principales que más demandan materiales de construcción en el país como lo son, por ejemplo, Medellín, Bucaramanga, Cali, Pasto, Sincelejo, Barranquilla, Santa Marta y Eje Cafetero.</p> <p>Con el objeto de aumentar el potencial de materiales de construcción en Colombia, el SGC a través de la DRM desarrollará un proyecto de agregados livianos a partir de rocas y minerales arcillosos desechados por la actividad minera en el país (pasivos ambientales mineros, zonas de excavación activas en la Sabana de Bogotá y sitios de disposición final de materiales arcillosos) y de otras zonas del país geológicamente ricas en materiales arcillosos. Este proyecto se propone con el fin de reutilizar los materiales desechados (economía circular) y para mitigar el impacto ambiental sobre los ecosistemas y comunidades, y también con el fin de reducir costos debido a que la producción actual de agregados pétreos naturales en las ciudades principales está fuertemente influenciada por la distancia entre la fuente de explotación y el centro de consumo, lo cual genera un aumento desmesurado del costo por metro cubico (Troncoso <i>et al.</i>, 2023).</p> <p>Los agregados livianos son materiales expandidos térmicamente a partir de esquisto, arcilla o pizarra desarrollando una estructura porosa y altamente resistente a las cargas abrasivas. En algunos países se ha industrializado la producción de agregados livianos a tal punto de ser un material convencional para aligerar y obtener concretos hidráulicos estructurales de un peso unitario bajo y una alta resistencia y durabilidad. En Colombia, este tipo de agregado esta estandarizado por la norma <i>NTC 4045:2019 Concretos. Agregados Livianos para Concreto Estructural</i>, esta norma contiene los agregados livianos para uso en el concreto estructural, cuya consideración principal es reducir la densidad y mantener la resistencia a la compresión del concreto (Troncoso <i>et al.</i>, 2023).</p>

	<p>También el SGC puede investigar una gran cantidad de rocas rechazadas en las diferentes explotaciones mineras de calizas, mármoles, areniscas, granitos, esmeraldas, etc., que quedan como pasivos ambientales, que pueden ser potencialmente aptos como agregados pétreos para concretos, bases y subbases de carreteras y otras obras de infraestructura.</p>
<p>Arenas silíceas – Silicio</p>	<p>Las arenas silíceas son la fuente para la elaboración de todo tipo de vidrios, esto incluye envases, ventanas, fachadas, fibras y celdas fotovoltaicas. Para cumplir con este objetivo, las arenas deben poseer especificaciones muy rigurosas con respecto a su alta pureza. Esta clase de arena no debe tener impurezas o contenidos elevados de óxidos de hierro y cromo, a menos que se deseen vidrios con tonalidades amarillentas o verdosas (López <i>et al.</i>, 2003). A diferencia de arenas para construcción, la redondez no tiene injerencia.</p> <p>Los yacimientos más importantes a nivel mundial se encuentran asociados a rocas sedimentarias formadas en ambientes fluviales, eólicos, de frente de playa o a depósitos no consolidados producto de la erosión de rocas preexistentes entre las cuales se incluyen una gran variedad de rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas. Esto difiere notablemente de las arenas que se utilizan para construcción, que requieren estándares menos rigurosos y son explotadas en numerosos frentes de obra alrededor de los centros poblados.</p> <p>Los principales factores que controlan el enriquecimiento de una arena en sílice para alcanzar alta pureza (>99% SiO₂) son: el contenido de cuarzo en la roca fuente, el clima y tipo de meteorización predominante que afecta la roca, y los medios de transporte y sedimentación. A pesar de que grandes cantidades de arena fueron acumuladas durante el Cretácico y Cenozoico en Colombia, una restringida cantidad de éstas son económicamente viables para la producción de arenas silíceas, sea por su pureza, localización y/o costos asociados a la producción, beneficio y transporte.</p> <p>El conocimiento geocientífico sobre arenas silíceas en Colombia desarrollado por el Servicio Geológico Colombiano ha permitido definir preliminarmente algunas unidades sedimentarias con contenidos de cuarzo (SiO₂) > 95 %. Estas unidades del Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico se encuentran a lo largo de toda la Cordillera Oriental (por ejemplo, Grupo Farallones, Grupo Guadalupe, Formación Socha Inferior. En el Valle del Cauca es de interés la Formación Guachinte, en el Valle de Aburra el Batolito Antioqueño y en el Distrito Minero Amagá - Medellín (UPME, 2005) se extraen arenas silíceas del miembro superior de la Formación Amagá.</p> <p>Respecto al Caribe Colombiano también se encuentran unidades potenciales como las Cuarzitas de Carpintero, Milonita Granítica de Tapajarin, Formación Ciénaga de Oro y Formación Sincelejo. Mientras que en el Oriente Colombiano la Formación San José y se destaca un sector en el departamento del Guainía con altas concentraciones de SiO₂ (valores > 97,9 %) las cuales se relacionan con rocas Paleoproterozoicas del Complejo Migmatítico de Mitú (Galvis <i>et al.</i>, 1979). Depósitos menos enriquecidos (< 95% SiO₂) pueden ser explotados y esto se debe a la simplicidad del proceso de beneficio, que incluye, como máximo, el lavado, la clasificación por tamaño de grano y ataque ácido.</p>
<p>Titanio</p>	<p>El titanio es un elemento cortical menor que ocupa el noveno lugar en abundancia en la corteza terrestre, con una concentración promedio de 4010 ppm (Wedepohl, 1995). Se encuentra solo en minerales de silicato u óxido y nunca en minerales de sulfuro y ocurre en minerales como ilmenita (Fe²⁺Ti⁴⁺O₃) y titanita (CaTiSiO₅) (esfena), formando parte de granitos y granodioritas; en ilmenita haciendo parte de rocas ígneas de composición intermedia, rocas metamórficas, como venas y en pegmatitas, y en placeres; en ilmenita y titano magnetita (Fe²⁺(Fe³⁺,Ti)₂O₄), constituyendo rocas máficas; en ilmeno-rutilos (Ni,Nb;Fe³⁺)₂O₆, titanita y silicatos complejos de titanio, en rocas ígneas alcalinas; en anatasa (TiO₂) como mineral accesorio en rocas ígneas y metamórficas (gneises) y en placeres; en brookita (TiO₂) como mineral accesorio en rocas ígneas y metamórficas (gneises) y como venas, y placeres; en perovskita (CaTiO₃) como mineral accesorio en rocas ígneas alcalinas y ultrabásicas, esquistos de cloritálico, y en calizas en zonas de metamorfismo de contacto; en rutilo como mineral accesorio en rocas ígneas, gneises, esquistos, cuarzitas, caliza+dolomita cristalina, y en placeres; y en esfena (CaTiSiO₅) como mineral accesorio en rocas ígneas (sienita nefelínica), esquistos, gneises, menas de Fe y mineral detrítico (Beus y Grigorian, 1977; Dill, 2015).</p> <p>Los minerales portadores de Ti que tienen importancia económica significativa son la ilmenita, el leucóxeno (producto de alteración granular fina de minerales de Ti) y el rutilo (USGS, 2023). China (33,6%), Mozambique (13,3 %), Sudáfrica (10,6 %) y Australia (7,3 %), contribuyeron con el 65% de la producción mundial de TiO₂ en 2021, la cual alcanzó un total de 8'493.291 toneladas métricas World mining data (2023), así mismo, China (27 %), Australia (27%), India (13 %), Brasil (6%), Noruega (5%), Sudáfrica (5%), Canadá (4%), Mozambique (4 %) y Madagascar (3 %), aportan el 93 % de las reservas mundiales de TiO₂. (reservas combinadas de ilmenita y rutilo) en 2022, las cuales ascienden a 700 millones de toneladas métricas (USGS, 2023).</p> <p>Minerales de titanio se presentan como accesorios en rocas ígneas y metamórficas, y también como minerales secundarios de menas de muchos depósitos hidrotermales en Colombia (p. e. Álvarez-Galindez, 2013 y Echeverri-Franco, 2006 , en la mina El Silencio de Segovia, Antioquia; Angée-Moreno y Betancur-Osorio, 2018, en la mina El Gran Porvenir del Líbano, Tolima; Barnett, W. y Dishaw, 2014 y Landry y Lavigne, 2013, en Vetas, Santander; Betancourt, 2014, en el depósito La Colosa de Cajamarca, Tolima; Castellanos-Alarcón <i>et al.</i>, 2016, en depósito de skarn en Ciénaga, Magdalena; García, 2007, en Quinchía, Risaralda; Manco, 2020 y Kuntz <i>et al.</i> 2022, en el área del proyecto San Matías, Puerto Libertador, Córdoba, entre muchos otros).</p> <p>La clasificación de los tipos de depósitos minerales fuente de titanio presentados en este informe, es el resultado de la modificación realizada a la clasificación propuesta por Woodruff <i>et al.</i>, (2017), actualizada con la inclusión cuatro tipos de depósitos minerales extraídos del modelo propuesto por Dill (2010), cambio que arroja como resultado una clasificación conformada 22 tipos de depósitos minerales de Ti contenidos en cinco grupos de orden jerárquico mayor de depósitos minerales (mágmatco, metamórfico, hidrotermal, relacionados a estructuras geológicas y afines a rocas y procesos sedimentarios), seleccionados en función de su ambiente geológico y los procesos de formación, y en cuya caracterización se contemplan los parámetros: código de identificación</p>

	<p>alfanumérica definida por los autores, mineralogía típica, nivel de importancia económica relativa y ejemplos del mundo, incluyendo a Colombia.</p> <p>En Colombia se reportan ocurrencias de arenas negras titaníferas en la región Caribe en las playas entre Galerazamba (Bolívar) y la línea de costa de la Sierra Nevada de Santa Marta-SNSM, principalmente cercanas a la desembocadura de los ríos ubicados entre Santa Marta y Dibulla de este sistema montañoso (p. e. ríos Don Diego, Palomino y Ancho) (Tschanz <i>et al.</i>, 1970; Alvarado y Solano, F., 1995; Paz, 2012; Jiménez-Triana, C., 2007; González, 2000), cuya principal fuente primaria está relacionada con cuerpos de mena de Fe-Ti(V) en conjuntos de anortosita tipo macizo de edad asociada al evento Grenvilliano, como las presentes entre la Quebrada El Hierro y el Río Don Dieguito; cuerpos de granulitas y gneises anortosíticos con magnetita, asociada con roca bandeada de ilmenita, magnetita y apatito también se han reconocido en Guamachito, Quebrada Niyulá y Pico El Guardián en la SNSM (Tschanz <i>et al.</i>, 1970; Alfonso y González, 1990; Betancur-Figueroa <i>et al.</i>, 2020; Garzón, 2017). En la región de Sevilla (Magdalena), al occidente de la SNSM, se presentan concentraciones eluviales de magnetita e ilmenita con 1,5 % de TiO₂, y más al sur de Sevilla se presenta una mayor cantidad de manifestaciones de titanio con concentraciones de TiO₂ superiores al 25 %, además hay presencia de placeres aluviales con ilmenita en Ciénaga, Magdalena (Wokittel, 1960), cuya fuente primaria está ligada muy probablemente a las rocas anortosíticas de las cuencas de los ríos Frio y Sevilla.</p> <p>También se reconocen manifestaciones de arenas negras titaníferas en Acandí, Chocó (Wokittel, 1960; Escorce, 1971). En Puerto Carreño, Vichada se reportan depósitos de placeres aluviales de Ta-Nb-Sn-Ti-REE (Ciesielski y Scodnick, 2022); además Franco-Victoria (2015) y Franco-Victoria <i>et al.</i>, (2021), registran en el área del resguardo indígena de Cachicamo en Puerto Carreño, mineralizaciones lateríticas de Nb, Ta, Mn, Fe, Ti, Sn y W.</p> <p>Wokittel (1960), reporta minerales de titanio de interés netamente mineralógico (rutilo, anatasa, brookita y titanita), como accesorios de rocas cristalinas en esquistos micáceos (San José, Nariño); en gneises graníticos (San Francisco, Putumayo); en dioritas (Pepino y Mocoa, Putumayo) y en zonas de contacto de rocas portadoras de piroxeno (Río Blanco, Tolima).</p> <p>Las arenas negras derivadas de las explotaciones de placeres auríferos en las cuencas del bajo Cauca y Nechí también son portadoras de minerales de titanio (Kerguelen-Bendeck, 2016; Lamus-Molina, 2005).</p>
<p>Vanadio</p>	<p>Las concentraciones de vanadio (V) en la corteza terrestre son de 150 ppm en promedio, concentrándose preferencialmente en rocas máficas-ultramáficas y en rocas sedimentarias ricas en materia orgánica. El vanadio se encuentra en óxidos, como la magnetita; en minerales del grupo de las micas, donde se encuentra con uranio, como la tyuyamunita; y en vanadatos hidratados de metales base, como la descloizita (Dill, 2010).</p> <p>Los depósitos de V se dividen en dos grandes tipos: magmáticos y sedimentarios. Los depósitos magmáticos se encuentran asociados principalmente a rocas máficas calco-alcálinas (V-Fe-Ti) y a rocas alcalinas (V-Nb-Ti). Por otra parte, la variedad de depósitos sedimentarios es mayor, entre los que se encuentran: U-V alojados en calcreta, bauxitas vanádíferas, U-V alojados en areniscas, ironstones de V-Fe, depósitos arcillosos de V, fosforitas vanádíferas y V en materia orgánica y petróleo (Dill, 2010).</p> <p>En Colombia, no se han reportado depósitos u ocurrencias de V como mineral principal, en cambio, se han reportado valores altos de V en depósitos de Fe-Ti (magmático) y en rocas generadoras de hidrocarburos (sedimentario). En la quebrada El Hierro, un tributario del río Don Diego, en la Sierra Nevada de Santa Marta se encuentran cuerpos anortosíticos que contienen mineralizaciones de Fe-Ti-V asociadas a nelsonitas bandeadas y noritas de óxidos-apatito, con altos contenidos de ilmenita, magnetita y apatito, en estas rocas se han reportado concentraciones de V entre 567 y 1857 ppm, encontrándose los valores más altos en nelsonitas bandeadas (Betancur-Figueroa <i>et al.</i>, 2020).</p> <p>En el municipio de Bolívar, departamento de Santander, se reportan concentraciones de V en lutitas negras de la Formación Paja que varían entre 78 y 3192 ppm, existiendo una marcada correlación positiva entre el contenido de carbono orgánico en la muestra (0.25 – 16.50 %) y la concentración de V, Cr y Ni (Campos-Álvarez y Roser, 2007). Por otra parte, el V y otros metales se encuentran en cantidades anómalamente altas en el petróleo.</p>
<p>Tungsteno (Wolframio)</p>	<p>Tungsteno es el nombre oficial del elemento, sin embargo, W el símbolo químico en la Tabla periódica proveniente del nombre antiguo wolframio. La wolframita es el nombre de la serie mineral entre los miembros ferberita rica en hierro (FeWO₄) y hübnerita rica en manganeso (MnWO₄), y que junto con scheelita (CaWO₄) son los minerales de tungsteno más importantes.</p> <p>Este es un elemento litófilo e incompatible que prácticamente forma solo compuestos con oxígeno. Presenta bajas concentraciones en el manto y la corteza terrestre (0.1-1 ppm). Es definido como un metal estratégico y crítico a nivel mundial principalmente por sus usos industriales, particularmente en la producción de metales duros, aleaciones de acero, filamentos ultradelgados, circuitos eléctricos, blindaje contra la radiación y catalizadores.</p> <p>Los depósitos de wolframita a nivel mundial están en depósitos tipo greisen asociados con rocas ígneas especialmente granitos (tipo S o tipo A) y leucogranitos con biotita y/o moscovita altamente diferenciados. La scheelita por su parte se encuentra típicamente en depósitos metamórficos de contacto asociados con intrusiones graníticas. Los yacimientos más importantes se encuentran encajados en rocas sedimentarias o metamórficas entre los cuales China, México y Alaska dominan la producción mundial (Cox y Singer, 1986). Los depósitos sedimentarios aluviales pueden ocurrir cerca de la fuente primaria debido a su frágil comportamiento.</p> <p>Los sistemas ricos en CO₂, F, Li o K aumentan la movilización de W, en contraste con los fluidos ricos en Cl y suelen estar asociados a elementos incompatibles como Ta, Nb, REE y Sn. Wolframita precipita a temperaturas entre 450-250 °C y presiones entre 1700-500 bar, mientras que la scheelita entre 600-120°C y presiones entre 1650-300 bar (Ivanova, 1988).</p>

	<p>En Latinoamérica importantes yacimientos de tungsteno ocurren en el área de cinturones orogénicos del Meso-Cenozoico. Es por esto que la región andina colombiana tiene especial interés en los depósitos de skarn y venas hidrotermales, localizados en la Cordillera Central entre los departamentos del Tolima y Putumayo. Desde Buenaventura (1982) no se han realizado estudios con miras a evaluar ocurrencias de tungsteno en Colombia.</p> <p>Se han reportado ocurrencias de scheelita en operaciones mineras como Sandra K, Providencia, El Silencio, Mina Vera, Cogotes, Chumeca, entre otros (Distrito minero Segovia-Remedios, Antioquia); en las minas Las Ánimas, La Vibradora, La María, El Encanto, El Gran Porvenir (Tolima) y en el Proyecto Soto Norte, La Bodega, La Mascota (Santander).</p> <p>En el oriente colombiano, departamento de Guainía (Cerro Tigre) se conoce de antiguas explotaciones informales de wolframita que incluso reportaron entre los años 2012 y 2016 exportaciones importantes (UPME, 2018). En el departamento de Vaupés (Serranía de Taraira) se encuentran como subproducto de la explotación de oro de filón y aluvial. Estas mineralizaciones se encuentran en venas de cuarzo-moscovita-topacio hospedadas dentro de rocas meta-sedimentarias del Grupo Tunuí (Amaya Perea, 2013; Santos y Cramer, 2019), lo que hace suponer ambientes de formación hidrotermales y greisen.</p>
<p>Caliza (CaCO₃)</p>	<p>La caliza es una roca sedimentaria compuesta principalmente por carbonato de calcio (CaCO₃), formada generalmente a través de procesos de acumulación y cementación de restos de conchas, esqueletos, sedimentos marinos y/o precipitación química. Su textura y apariencia pueden variar mucho, desde caliza micrítica y compacta hasta caliza cristalina y porosa. Es ampliamente utilizada en la construcción, industria química y fabricación de cemento. En Colombia la caliza es una roca que, al igual que el carbón y el hierro, ha sido el eje del desarrollo minero e industrial y se utiliza ampliamente en numerosos procesos, sobre todo en las industrias siderúrgica, cementera, ornamental y agrícola.</p> <p>Los depósitos de calizas presentan características que los conducen a ser planos, continuos y paralelos, o a mostrarse en forma cuneiforme, cubetiformes y lenticulares. Los carbonatos son en parte clásticos, gravas de óxido de calcio, arenas de óxido de calcio y fangos de óxidos de calcio (Pettijohn, 1970). A diferencia de sus equivalentes no carbonáticos, los detritos que integran los depósitos no son escombros resultantes de una masa terrestre sometida a erosión, sino que proceden dentro de la cuenca en la que se han acumulado; son depósitos intraformacionales e intra-cuenca. Aunque la mayoría del detrito es de origen clástico, fragmentos de roca de arrecifes, detritos de conchas fragmentadas y gastadas, parte de ellos tienen origen bioquímico o químico; debido a esto, los depósitos de caliza se consideran de tipo autóctono, cuando se han transportado y redepositado, y autóctono, cuando se forman in situ mediante acción bioquímica, por la acumulación de estructuras orgánicas (SGC, 2012).</p> <p>Los sedimentos calcáreos se forman en la actualidad en cinco grupos de ambientes ampliamente distribuidos: depósitos marinos de aguas someras, carbonatos marinos de aguas profundas, carbonatos en cuencas evaporíticas, carbonatos en lagos y manantiales de agua dulce, y carbonatos eólicos, depósitos que se verificaron en el pasado y cuyos resultados se observan hoy día en el registro rocoso. Sin embargo, en Colombia no se han reconocido los ambientes geológicos con el detalle deseable; siendo indudable la presencia de depósitos marinos de aguas someras en las formaciones calizas del río Clarín (Carbonífero), caliza del Guavio, Chipaque, Rosablanca, San Gil inferior, Tablazo (Cretácico), caliza de Toluvejo, calizas antioqueñas y guajiras; sólo por nombrar las más importantes como portadoras de reservas. Entre los tipos de depósitos de aguas dulces se destacan los travertinos boyacenses. Actualmente no se cuenta con información sobre los demás tipos de depósitos, cuya ocurrencia no se descarta (SGC, 2012).</p> <p>En Colombia los depósitos de calizas están presentes en todo el territorio teniendo una amplia distribución en el tiempo geológico; con registros principalmente en las cordilleras Oriental y Central, en la costa atlántica y en menor proporción en la cordillera Occidental. Las zonas calcáreas con mayor potencial de reservas son, en su orden, Santander, Cesar (área Bosconia), La Guajira (área Hato Nuevo) y Boyacá. Son también muy atractivas las áreas calcáreas de El Dorado, en el borde llanero; las de Guavio y Clarín, en la zona de Cundinamarca; las áreas calcáreas de Norte de Santander; las áreas de La Popa y Tubará, en el Atlántico; las áreas de Turbaco y Púa, en Bolívar; las áreas de Puerto Berrío y Río Clarín, en Antioquia; las de San Luis, en la zona de Tolima; Las Guacas, en la zona de Valle del Cauca, y las áreas de Timaná y Tarpeya en el Huila (SGC, 2012).</p>
<p>Yeso (CaSO₄.2H₂O)</p>	<p>El yeso es un mineral sulfatado común y abundante en ambientes sedimentarios evaporíticos y de gran importancia comercial, compuesto por sulfato de calcio hidratado (CaSO₄.2H₂O) y principal constituyente del yeso roca. Se encuentra en diferentes variedades en la naturaleza; la variedad transparente y en láminas planas se llama selenita; la variedad masiva fibrosa y con brillo sedoso se llama comúnmente espato satinado; la variedad granular y masiva se denomina alabastro (Hurlbut y Klein, 1984). En zonas áridas, el yeso puede presentarse en forma de flor, típicamente opaca, con granos de arena incrustados llamados rosa del desierto.</p> <p>El yeso se genera por evaporación progresiva de aguas ricas en sulfatos y cloruros que proceden de ambientes marinos someros y transicionales sometidos a un clima cálido y seco como: llanuras intermareales (<i>Sabkha</i>) y lagunas evaporíticas costeras. Precipita después de los carbonatos y antes de las sales. También se encuentra en aguas continentales sometidas a climas cálidos y secos, y las sales de estas aguas proceden de la disolución de antiguos depósitos de yeso o medios continentales invadidos periódicamente por el mar. El yeso también se puede formar por hidratación de anhidrita; asociado a volcanismo y termalismo, por las fumarolas de aguas sulfurosas; y por la acción del ácido sulfúrico procedente de las piritas al actuar sobre la calcita de margas y arcillolitas calcáreas (Universidad de Málaga, s.f.).</p> <p>Los depósitos yesíferos más significativos se encuentran como depósitos sedimentarios evaporíticos de gran espesor y extensión, en capas continuas o discontinuas, lentes, masas irregulares, nódulos y venas; asociados con calizas, calizas dolomíticas, lodolitas,</p>

	<p>arcillolitas y otros minerales evaporíticos (p.e. anhidrita y halita). Estos depósitos abarcan principalmente edades desde el Mesozoico al Cenozoico en el ámbito mundial.</p> <p>En Colombia, los depósitos de yeso por evaporación de agua marina son frecuentes en la Cordillera Oriental y en algunos sectores de la costa Atlántica y el valle del Magdalena. Se destaca el depósito de la Mesa de Los Santos en el departamento de Santander representado por capas de las formaciones Rosa Blanca y La Paja, con unas reservas inferidas de 182 millones de toneladas y una pureza entre el 80 y 92% (Galvis, 1987).</p> <p>En el departamento de Boyacá existen depósitos de yeso considerados de interés por su buena calidad y que ofrecen buenas reservas. La ocurrencia de yeso en el departamento proviene de tres tipos de depósito: por evaporación de agua marina, por reacción entre H_2SO_4 secuencias calcáreas y por precipitación de soluciones ricas en SO_4 al paso por secuencias yesíferas (Rodríguez y Solano, 2000). Según estos autores, del primer tipo depósito existen yacimientos en el municipio de Páez, donde el yeso se encuentra intercalado con capas de limolitas y calizas de la Formación Lutitas de Macanal y en el municipio de Macanal donde ocurre como capas lenticulares intercaladas con shales negros de la misma unidad geológica. Existen también varios prospectos en Villa de Leiva, Pauna, Sutamarchán y Sáchica en donde se extrae selenita que ocurre como relleno de fracturas o como láminas intercaladas dentro de arcillolitas, de la Formación Paja.</p> <p>Del segundo tipo de depósito hay ocurrencia en Almeida, Miraflores y Macanal como bolsones pequeños de yeso dentro de capas de lodolitas calcáreas, negras, piritosas y calizas grises con yeso diseminado dentro de la Formación Lutitas de Macanal. Finalmente, del tercer tipo de depósito se reconocen manifestaciones en Boavita, ocurriendo pequeñas venas de yeso masivo y selenita en arcillolitas grises a negras de la Formación Guaduas.</p> <p>También existen un gran número de manifestaciones de este mineral, como las existentes al oriente de los departamentos de Boyacá y Cundinamarca donde se reconocen mineralizaciones de yeso confinadas en rocas de edad Berriasiano correspondientes a las formaciones Santa Rosa y Chivor que por las características observadas podrían relacionarse a episodios evaporíticos en ambientes marinos muy someros (Terraza <i>et al.</i>, 2008). Estos autores en la región de Gachalá identificaron dos mineralizaciones de yeso en pequeños bolsones envueltos en arcillolitas negras ricas en pirita en la parte basal de la Formación Santa Rosa y sugieren que el yeso podría ser el producto de un episodio evaporítico en una cuenca marina muy somera o debido a procesos de reacción química entre la materia orgánica de las arcillolitas y material calcáreo. Según Terraza <i>et al.</i> (2008) en algunos sectores de la región de Macanal describen yeso en la Formación Chivor relacionado a rocas con estructuras bandeada a nodular, con láminas medianas o gruesas, lenticulares a ondulosas de calcita-yeso que alterna con láminas Albi tizadas, donde reconocen estructuras características de secuencias evaporíticas y reconocen parasecuencias evaporíticas con shales carbonosos en la base y evaporitas al techo.</p> <p>El uso más importante del yeso es para paneles de yeso y productos de yeso. También se usa para hacer cemento Portland y para aplicaciones agrícolas. Un pequeño porcentaje de la producción de yeso muy puro se usa en la fabricación de vidrio y otras aplicaciones industriales especializadas.</p> <p>En la agricultura, el yeso se considera como una buena fuente de calcio y azufre, que los cultivos necesitan para obtener buenos rendimientos, ya que mejora muchas otras características del suelo. El yeso ayuda al suelo a absorber mejor el agua y reduce la erosión. También reduce el movimiento de fósforo de los suelos a los lagos y arroyos y mejora la calidad de varias frutas y verduras, entre otros beneficios. Es importante entender que el yeso no cambia el pH del suelo, aunque contenga azufre.</p> <p>El azufre en el yeso está en forma de sulfato soluble y está fácilmente disponible para las plantas y los microbios del suelo. El yeso es soluble y se disuelve y se mueve en el suelo rápidamente. Se disuelve más rápidamente que la piedra caliza después de la aplicación superficial (Fisk, 2019).</p>
<p>Esmeraldas Be₃Al₂(SiO₃)₆</p>	<p>De acuerdo con el Servicio Geológico Colombiano (Montoya y Moreno, 2019, Recursos Minerales de Colombia, Volumen 2, 2019), las mineralizaciones de esmeraldas están ubicadas en la Cordillera Oriental y las minas están distribuidas en dos cinturones: el Cinturón Esmeraldífero Occidental (municipios de Muzo, Otanche, San Pablo de Borbur, Maripí, Yacopí y La Palma), y el Cinturón Esmeraldífero Oriental (municipios de Gachalá, Ubalá, Macanal y Chivor).</p> <p>De acuerdo con Sepúlveda <i>et al.</i> (2020)-Memoria Explicativa del Mapa Metalogénico de Colombia, se resaltan eventos mineralizantes generadores de esmeraldas en el Eoceno(?) y Mioceno en el Cinturón Esmeraldífero Occidental y en el Paleoceno(?) en el Cinturón Esmeraldífero Oriental.</p> <p>Los cinturones esmeraldíferos se presentan en ambos flancos de la Cordillera Oriental paralelos a su eje y abarcan los departamentos de Boyacá y Cundinamarca, distan entre sí 110 km. En estos cinturones, las rocas que contienen las esmeraldas estarían relacionadas con la primitiva área depocentral del Cretácico Inferior. Las zonas potenciales para exploración y explotación de esmeraldas en el Cinturón Esmeraldífero Occidental están relacionadas a las formaciones geológicas Muzo (Hauteriviano-Barremiano) y Rosa Blanca (Valanginiano), y en el Cinturón Esmeraldífero Oriental, a las formaciones Santa Rosa y Chivor, del Berriasiano. La mineralización se encuentra asociada a diversas estructuras tectónicas de escala mesoscópica con alteraciones hidrotermales (Terraza, 2019).</p> <p>La mineralización de esmeraldas en el Cinturón Oriental está mejor expuesta en el sector sur donde se encuentran las minas de la Vega de San Juan, Las Cruces, El Diamante, Mate Caña y El Toro (Gachalá) y en el sector norte, 35 km en dirección NE del sector sur, en las minas de Gualí, Chivor, Buenavista y Mundo Nuevo (Chivor) (Terraza <i>et al.</i> 2008). En el Cinturón Occidental se han</p>

	<p>identificado cuatro zonas productivas denominadas Peñas Blancas, Coscuéz, Muzo-Quípama y La Pita, relacionadas con las formaciones Rosa Blanca y Muzo y zonas de fracturamiento paralelas y perpendiculares a la estratificación resultado del plegamiento. En el cinturón occidental las zonas mineralizadas están asociadas a brechamiento hidráulico no tectónico (Reyes <i>et al.</i> 2006, Mantilla <i>et al.</i> 2007).</p>
Cromo	<p>De acuerdo con el Atlas Geoquímico de Colombia (SGC, 2020), "Gracias a su estructura, este elemento se incorpora en minerales ferromagnesianos lo que conlleva a su enriquecimiento en rocas de composición máfica y ultramáfica. En consecuencia, a lo largo del territorio nacional, las mayores concentraciones de este elemento se encuentran asociadas a fajas ofiolíticas que se ubican principalmente en el dominio volcánico oceánico, al occidente de la Cordillera Central".</p> <p>Según la memoria explicativa del Mapa metalogénico de Colombia (SGC, 2020), "El Cinturón Metalogénico Ofiolítico de Cr del Permo-Triásico tiene una orientación NNW, una longitud de 35 km y un ancho de 10 km y hospeda el único depósito de cromita podiforme identificado en Colombia. Este cinturón se localiza en el Valle de Aburrá al noroccidente de la Cordillera Central y abarca algunos cuerpos máficos y ultramáficos del Cinturón Ofiolítico de Romeral (sensu Álvarez, 1985) y de las Ofiolitas de Aburrá (sensu Correa-Martínez, 2007)"</p> <p>De igual forma, se señala que "Las mineralizaciones más importantes de cromititas se encuentran en el corregimiento Santa Elena donde se han identificado mediante métodos geofísicos 27 sitios mineralizados, 10 de los cuales son eluviales (Geominas, 1975). La mineralización de cromo se encuentra en la zona de transición de la ofiolita, en cuerpos lenticulares concordantes a subconcordantes (Correa-Martínez, 2007).</p> <p>Las cromititas masivas, localmente diseminadas, nodulares, en cadena y bandeadas (Geominas, 1975, Correa-Martínez, 2007) conforman los cuerpos de mena que se encuentran dentro de ultramafitas cizalladas las cuales son transicionales hacia la roca huésped harzburgítica, aunque localmente se encuentran venillas dentro de la harzburgita (Correa-Martínez, 2007).</p> <p>En Santa Elena se definieron las zonas mineralizadas de Patio Bonito, El Carmelo y Chagualo, para las que estimaron recursos globales –no cobijados por estándares internacionales– de 0,02 Mt de mineral de mena con ley promedio de 37% de Cr₂O₃ (Geominas Ltda., 1975). Álvarez (1987) menciona que se explotaron 0,03 Mt de mena de la que se obtenían concentrados con 48 a 52% de Cr₂O₃.</p> <p>Hernández-González <i>et al.</i> (2020) precisan que las cromititas en las metaperidotitas son masivas a semi-masivas, con núcleos de Cr-espinela inalterada rodeados por bordes de Cr-espinela férrica y clorita, y determinan que son ricas en Al y pobres en elementos del grupo de platino (ΣPGE <41 ppb)".</p>

Fuente: construcción del Servicio Geológico Colombiano a partir de información de las fuentes relacionadas en las referencias bibliográficas - Anexo 3.

ANEXO 4.
Prospectos y proyectos de exploración en etapa temprana, intermedia y avanzada con definición de productos y subproductos minerales. (Construcción SGC)
Tabla 1. Prospectos y proyectos de exploración en etapa temprana, intermedia y avanzada con definición de productos y subproductos minerales

Mina / Prospecto	Producto Principal	Subproductos	Elementos químicos reportados diferentes al elemento principal	Minerales reportados	Municipio / Departamento	Referencia Bibliográfica
Serranía del Perijá	Cobre		Plata	Calcosina-Malaquita-Azurita-Cu nativo-Bornita-Cuprita-Crisocola	Albania, Barrancas, Fonseca, Villanueva /La Guajira	Max Resource Corporation, (2022). Cesar exploración de cobre en el noreste de Colombia. Presentación corporativa, Colombia gold symposium 2022. Max Resource Corporation, (2023). https://www.maxresource.com , Vancouver, Canadá. Government of Japan, (1965). Report of the investigation of ore deposits in Colombia. Ingeominas. Bogotá. Government of Japan, (1966). Report of the second investigation of ore deposits in Colombia. Ingeominas. Bogotá.
Sector Minas La Ye, Los Mangos, Cordero	Oro		Plomo, cobre, zinc, plata, telururos (Au, Au-Ag, Pb, Hg)	Pirita-Galena±Calcopirita±Esfalerita±Electrum±Silvanita±Hessita±Altaita±Calaverita±Coloradoita-Oro	El Bagre/Antioquia	Londoño, C., Montoya, J.C., Ordoñez, O. and Restrepo, J.J., (2009). Características de las mineralizaciones vetiformes en el Distrito Minero Bagre-Nechí, Antioquia: Boletín de ciencias de la tierra, n. 26, p. 29-38. Leal-Mejía, H., (2011). Phanerozoic gold metallogeny in the Colombian Andes: a tectono-magmatic approach. Tesis PhD, Universidad de Barcelona. Naranjo-Sierra, E., y Alvarán-Echeverri, M., (2018). Características geológicas, isotópicas y estructurales del depósito vetiforme Los Mangos, Antioquia-Colombia. Boletín de Geología, 40(1), 93-108. Doi: 10.18273/revbol.v40n1-2018006. Naranjo-Sierra, E., y Alvarán-Echeverri, M. (2020). Fluid inclusion study of shear zone hosted lode gold type deposits: El Bagre mining district, Antioquia-Colombia. Earth Sciences Research Journal, 24(3), 245-257. DOI: https://doi.org/10.15446/esri.v24n3.80653
Depósitos Santa Elena, Santa María, El Catorce	Oro		Zinc, cobre, plomo, plata	Pirita-Esfalerita-Calcopirita±Pirrotina±Galena±Electrum-Oro	Nechí/Antioquia	Gosselin, M. C., Horan, S., Hamilton, C., Hampton, A., y Vásquez, L., (2023). Technical report on the El Bagre gold mining complex and the Nechí project, Department of Antioquia, Colombia, report for NI 43-101. Reporte preparado por SLR consulting (Canada) Ltd. para Soma Gold Corporation. Toronto, Canadá.
Placeres del Río Nechí	Oro		Elementos del grupo del platino-PGE (Pt, Pd, Rh), elementos de tierras raras-REE (Ce-La-Nd), titanio	Oro-Magnetita-Titano Magnetita-Ilmenita-Leucóxeno-Rutilo-Monacita-Platino-Esperrillita (PtAs)-Tetraferroplatino	Nechí/Antioquia	Lamus, C. M. y Márquez, M. A., (). Caracterización mineralógica de concentrados de platino y esperrillita obtenidos a partir de las arenas negras subproducto de la minería de oro en El Bagre (Antioquia). Universidad Nacional de Colombia, 10 p., Medellín. Lamus-Molina, A., (2005). Mineralogía aplicada al uso y aprovechamiento de las arenas negras (El Bagre, Antioquia). Universidad Nacional de Colombia, Medellín. Echeverry-Vargas, L. de J., (2022). Extracción de elementos de tierras raras a partir de monacita mediante solventes eutécticos profundos y su comparación con solventes orgánicos convencionales. Tesis PhD, Universidad Nacional de Colombia, 190 p., Medellín. Kerguelen-Bendeck, J. L. (2016). Caracterización y aprovechamiento de recursos minerales en colas de terrazas aluviales del distrito Bagre-Nechí. Tesis MSc, Universidad Nacional de Colombia, 73 p., Medellín. Ochoa-Correa, L. M., (2022). Estudio de recuperabilidad y calidad de minerales de tierras raras como subproducto de minería aluvial de oro. Tesis MSc, Universidad Nacional de Colombia, 148 p., Medellín.
San Martín de Loba, p.e., mina La Puya	Oro		Cobre, arsénico, zinc, plomo, plata, bismuto, antimonio	Turmalina-Pirita-Calcopirita-Arsenopirita-Esfalerita-Galena-Oro±Electrum±Tetraédrita±Gustavita±Matildita±Brookita±Emplectita±Polibasita±Famatinita±Ouarayita±Heyrovskita-Oro	San Martín de Loba / Bolívar	Leal-Mejía, H., (2011). Phanerozoic gold metallogeny in the Colombian Andes: a tectono-magmatic approach. Tesis PhD, Universidad de Barcelona.

Mina / Prospecto	Producto Principal	Subproductos	Elementos químicos reportados diferentes al elemento principal	Minerales reportados	Municipio / Departamento	Referencia Bibliográfica
Barranco de Loba, p.e., mina La Cabaña.	Oro		Zinc, plomo, cobre	Pirita-Esfalerita-Galena-Calcopirita-Oro	Barranco de Loba/Bolívar	Leal-Mejía, H. (2011). Phanerozoic gold metallogeny in the Colombian Andes: a tectono-magmatic approach. Tesis PhD, Universidad de Barcelona.
Mina Reina de Oro, San Martín de Loba	Oro		Zinc, cobre, plomo	Pirita-Esfalerita-Calcopirita-Galena-Oro	Arenal/Bolívar.	Londoño, J., Mojica, J., Abueta, F., Ruiz, V., Marentes, Y., Pérez V., Ramírez, F., Pantoja, G., Cardona, O., Pulido, W., Franco, L., González, O., Duarte, P., y Concha, H. (2020). Informe geometalúrgico, minero, ambiental y económico para el beneficio de oro sin el uso de mercurio – Santa Rosa del Sur (Bolívar). Servicio Geológico Colombiano. 476 p., Bogotá.
Mina El Caporal	Oro		Zinc, cobre, plomo, plata	Pirita-Esfalerita-Galena-Oro-Telurosos(Ag)-Pirrotina-Turmalina	Arenal/Bolívar.	Londoño, J., Mojica, J., Abueta, F., Ruiz, V., Marentes, Y., Pérez V., Ramírez, F., Pantoja, G., Cardona, O., Pulido, W., Franco, L., González, O., Duarte, P., y Concha, H. (2020). Informe geometalúrgico, minero, ambiental y económico para el beneficio de oro sin el uso de mercurio – Santa Rosa del Sur (Bolívar). Servicio Geológico Colombiano. 476 p., Bogotá.
Mina Monyort	Oro		Zinc, plomo, cobre	Pirita-Esfalerita-Galena-Calcopirita-Oro	Morales/Bolívar.	Londoño, J., Mojica, J., Abueta, F., Ruiz, V., Marentes, Y., Pérez V., Ramírez, F., Pantoja, G., Cardona, O., Pulido, W., Franco, L., González, O., Duarte, P., y Concha, H. (2020). Informe geometalúrgico, minero, ambiental y económico para el beneficio de oro sin el uso de mercurio – Santa Rosa del Sur (Bolívar). Servicio Geológico Colombiano. 476 p., Bogotá.
Mina Inasur	Oro		Zinc, plomo, cobre	Pirita-Esfalerita-Galena-Calcopirita-Oro	Morales/Bolívar.	Londoño, J., Mojica, J., Abueta, F., Ruiz, V., Marentes, Y., Pérez V., Ramírez, F., Pantoja, G., Cardona, O., Pulido, W., Franco, L., González, O., Duarte, P., y Concha, H. (2020). Informe geometalúrgico, minero, ambiental y económico para el beneficio de oro sin el uso de mercurio – Santa Rosa del Sur (Bolívar). Servicio Geológico Colombiano. 476 p., Bogotá.
Mina El Laberinto	Oro		Plomo, zinc, cobre, plata, selenio, bismuto, telurio	Pirita-Galena-Esfalerita-Calcopirita-Oro	Arenal/Bolívar.	Londoño, J., Mojica, J., Abueta, F., Ruiz, V., Marentes, Y., Pérez V., Ramírez, F., Pantoja, G., Cardona, O., Pulido, W., Franco, L., González, O., Duarte, P., y Concha, H. (2020). Informe geometalúrgico, minero, ambiental y económico para el beneficio de oro sin el uso de mercurio – Santa Rosa del Sur (Bolívar). Servicio Geológico Colombiano. 476 p., Bogotá.
Mina HGB	Oro		Arsénico, plomo, zinc, cobre	Pirita-Arseniosa-Galena-Esfalerita-Calcopirita-Oro	Arenal/Bolívar.	Londoño, J., Mojica, J., Abueta, F., Ruiz, V., Marentes, Y., Pérez V., Ramírez, F., Pantoja, G., Cardona, O., Pulido, W., Franco, L., González, O., Duarte, P., y Concha, H. (2020). Informe geometalúrgico, minero, ambiental y económico para el beneficio de oro sin el uso de mercurio – Santa Rosa del Sur (Bolívar). Servicio Geológico Colombiano. 476 p., Bogotá.
Mina Coopcaribona (Sector Mina Walter)	Oro		Arsénico, zinc, plomo, cobre, antimonio, mercurio, bismuto, telurio, paladio, plata, selenio	Pirita-Arsenopirita-Esfalerita-Galena-Calcopirita-Tetraedrita-Oro-Pirrotina-Calcosina-Covelina	Montecristo/Bolívar	Londoño, J., Mojica, J., Abueta, F., Ruiz, V., Marentes, Y., Pérez V., Ramírez, F., Pantoja, G., Cardona, O., Pulido, W., Franco, L., González, O., Duarte, P., y Concha, H. (2020). Informe geometalúrgico, minero, ambiental y económico para el beneficio de oro sin el uso de mercurio – Santa Rosa del Sur (Bolívar). Servicio Geológico Colombiano. 476 p., Bogotá.
Mina La Mano de Abraham	Oro		Zinc, plomo	Pirita-Esfalerita-Galena-Oro	Arenal/Bolívar.	Londoño, J., Mojica, J., Abueta, F., Ruiz, V., Marentes, Y., Pérez V., Ramírez, F., Pantoja, G., Cardona, O., Pulido, W., Franco, L., González, O., Duarte, P., y Concha, H. (2020). Informe geometalúrgico, minero, ambiental y económico para el beneficio de oro sin el uso de mercurio – Santa Rosa del Sur (Bolívar). Servicio Geológico Colombiano. 476 p., Bogotá.
Mina Refugio	Oro		Cobre, zinc	Pirita-Calcopirita-Esfalerita	Arenal/Bolívar.	Londoño, J., Mojica, J., Abueta, F., Ruiz, V., Marentes, Y., Pérez V., Ramírez, F., Pantoja, G., Cardona, O., Pulido, W., Franco, L., González, O., Duarte, P., y Concha, H. (2020). Informe geometalúrgico, minero, ambiental y económico para el beneficio de oro sin el uso de mercurio – Santa Rosa del Sur (Bolívar). Servicio Geológico Colombiano. 476 p., Bogotá.
Mina Central	Oro		Cobre	Pirita, Calcopirita, Covelina	Arenal/Bolívar.	Londoño, J., Mojica, J., Abueta, F., Ruiz, V., Marentes, Y., Pérez V., Ramírez, F., Pantoja, G., Cardona, O., Pulido, W., Franco, L., González, O., Duarte, P., y Concha, H. (2020). Informe geometalúrgico, minero, ambiental y económico para el beneficio de oro sin el uso de mercurio – Santa Rosa del Sur (Bolívar). Servicio Geológico Colombiano. 476 p., Bogotá.
Mina San Juan	Oro		Cobre, zinc	Calcopirita-Pirita-Esfalerita	Morales/Bolívar.	Londoño, J., Mojica, J., Abueta, F., Ruiz, V., Marentes, Y., Pérez V., Ramírez, F., Pantoja, G., Cardona, O., Pulido, W., Franco, L., González, O., Duarte, P., y Concha, H. (2020). Informe geometalúrgico, minero, ambiental y económico para el beneficio de oro sin el uso de mercurio – Santa Rosa del Sur (Bolívar). Servicio Geológico Colombiano. 476 p., Bogotá.

Mina / Prospecto	Producto Principal	Subproductos	Elementos químicos reportados diferentes al elemento principal	Minerales reportados	Municipio / Departamento	Referencia Bibliográfica
Cerro San Carlos	Oro		Molibdeno, zinc, cobre, manganeso	Molibdenita-Pirita-Esfalerita-Calcopirita-Braunita	Norosi/Bolívar	Leal-Mejía, H., (2011). Phanerozoic gold metallogeny in the Colombian Andes: a tectono-magmatic approach. Tesis PhD, Universidad de Barcelona.
Pacarní - San Luis	Oro		Plomo, zinc, cobre	Galena-Esfalerita-Calcopirita	Pacarní, San Luis/Huila	Leal-Mejía, H., (2011). Phanerozoic gold metallogeny in the Colombian Andes: a tectono-magmatic approach. Tesis PhD, Universidad de Barcelona.
La Ceiba	Oro			Pirita-Oro	Remedios/Antioquia	Londoño, J., Mojica, J., Abueta, F., Ruiz, V., Marentes, Y., Pérez V., Ramírez, F., Pantoja, G., Cardona, O., Pulido, W., Franco, L., González, O., Duarte, P. y Concha, H., (2019). Informe geometalúrgico, minero, ambiental y económico para el beneficio de oro sin el uso de mercurio – Remedios (Antioquia). Servicio Geológico Colombiano, 502 p., Bogotá.
Jesús de la Buena Esperanza	Oro		Cobre, zinc, titanio, plomo	Pirita-Calcopirita-Esfalerita-Ilmenita-Calcosina-Covelina-Bornita-Pirrotina-Galena-Oro	Remedios/Antioquia	Londoño, J., Mojica, J., Abueta, F., Ruiz, V., Marentes, Y., Pérez V., Ramírez, F., Pantoja, G., Cardona, O., Pulido, W., Franco, L., González, O., Duarte, P. y Concha, H., (2019). Informe geometalúrgico, minero, ambiental y económico para el beneficio de oro sin el uso de mercurio – Remedios (Antioquia). Servicio Geológico Colombiano, 502 p., Bogotá.
El Trabajo	Oro		Cobre, zinc, plomo	Pirita-Calcopirita-Calcosina-Covelina-Bornita-Esfalerita-Galena-Pirrotina-Oro	Remedios/Antioquia	Londoño, J., Mojica, J., Abueta, F., Ruiz, V., Marentes, Y., Pérez V., Ramírez, F., Pantoja, G., Cardona, O., Pulido, W., Franco, L., González, O., Duarte, P. y Concha, H., (2019). Informe geometalúrgico, minero, ambiental y económico para el beneficio de oro sin el uso de mercurio – Remedios (Antioquia). Servicio Geológico Colombiano, 502 p., Bogotá.
Río Gold (El Hundidor)	Oro		Zinc, cobre, plomo	Pirita-Esfalerita-Calcosina-Covelina-Bornita-Galena-Pirrotina-Oro	Remedios/Antioquia	Londoño, J., Mojica, J., Abueta, F., Ruiz, V., Marentes, Y., Pérez V., Ramírez, F., Pantoja, G., Cardona, O., Pulido, W., Franco, L., González, O., Duarte, P. y Concha, H., (2019). Informe geometalúrgico, minero, ambiental y económico para el beneficio de oro sin el uso de mercurio – Remedios (Antioquia). Servicio Geológico Colombiano, 502 p., Bogotá.
La Primavera	Oro		Cobre, plomo, zinc, plata, antimonio	Pirita-Calcopirita-Galena-Esfalerita-Pirrotina-Marcasita-Electrum-Oro	Remedios/Antioquia	Londoño, J., Mojica, J., Abueta, F., Ruiz, V., Marentes, Y., Pérez V., Ramírez, F., Pantoja, G., Cardona, O., Pulido, W., Franco, L., González, O., Duarte, P. y Concha, H., (2019). Informe geometalúrgico, minero, ambiental y económico para el beneficio de oro sin el uso de mercurio – Remedios (Antioquia). Servicio Geológico Colombiano, 502 p., Bogotá.
Vega Gold	Oro		Arsénico, plomo, zinc, cobre, plata, bismuto, selenio, telurio, paladio	Pirita-Arsenopirita-Esfalerita-Galena-Pirrotina-Marcasita-Electrum-Oro	Remedios/Antioquia	Londoño, J., Mojica, J., Abueta, F., Ruiz, V., Marentes, Y., Pérez V., Ramírez, F., Pantoja, G., Cardona, O., Pulido, W., Franco, L., González, O., Duarte, P. y Concha, H., (2019). Informe geometalúrgico, minero, ambiental y económico para el beneficio de oro sin el uso de mercurio – Remedios (Antioquia). Servicio Geológico Colombiano, 502 p., Bogotá.
30 Granos	Oro		Plomo- zinc, cobre, mercurio, antimonio	Pirita-Galena-Esfalerita-Calcopirita-Electrum-Oro	Remedios/Antioquia	Londoño, J., Mojica, J., Abueta, F., Ruiz, V., Marentes, Y., Pérez V., Ramírez, F., Pantoja, G., Cardona, O., Pulido, W., Franco, L., González, O., Duarte, P. y Concha, H., (2019). Informe geometalúrgico, minero, ambiental y económico para el beneficio de oro sin el uso de mercurio – Remedios (Antioquia). Servicio Geológico Colombiano, 502 p., Bogotá.
Los Pujidos	Oro		Cobre, zinc, plomo, plata, arsénico, bismuto	Pirita-Calcopirita-Bornita-Esfalerita-Galena-Pirrotina-Marcasita-Electrum-Oro	Remedios/Antioquia	Londoño, J., Mojica, J., Abueta, F., Ruiz, V., Marentes, Y., Pérez V., Ramírez, F., Pantoja, G., Cardona, O., Pulido, W., Franco, L., González, O., Duarte, P. y Concha, H., (2019). Informe geometalúrgico, minero, ambiental y económico para el beneficio de oro sin el uso de mercurio – Remedios (Antioquia). Servicio Geológico Colombiano, 502 p., Bogotá.
La Italia	Oro		Plomo, zinc, cobre, arsénico, telurio, mercurio, plata	Pirita-Galena-Esfalerita-Calcopirita-Pirrotina-Marcasita-Electrum-Oro	Remedios/Antioquia	Londoño, J., Mojica, J., Abueta, F., Ruiz, V., Marentes, Y., Pérez V., Ramírez, F., Pantoja, G., Cardona, O., Pulido, W., Franco, L., González, O., Duarte, P. y Concha, H., (2019). Informe geometalúrgico, minero, ambiental y económico para el beneficio de oro sin el uso de mercurio – Remedios (Antioquia). Servicio Geológico Colombiano, 502 p., Bogotá.

Mina / Prospecto	Producto Principal	Subproductos	Elementos químicos reportados diferentes al elemento principal	Minerales reportados	Municipio / Departamento	Referencia Bibliográfica
San Pedro no. 2	Oro		Plomo, zinc	Pirita-Galena-Esfalerita-Oro	Remedios/Antioquia	Londoño, J., Mojica, J., Abueta, F., Ruiz, V., Marentes, Y., Pérez V., Ramírez, F., Pantoja, G., Cardona, O., Pulido, W., Franco, L., González, O., Duarte, P. y Concha, H., (2019). Informe geometalúrgico, minero, ambiental y económico para el beneficio de oro sin el uso de mercurio – Remedios (Antioquia). Servicio Geológico Colombiano, 502 p., Bogotá.
San Pedro Napoleón	Oro		Plomo, zinc, cobre	Pirita-Galena-Esfalerita-Calcopirita-Pirrotina-Marcasita-Oro	Remedios/Antioquia	Londoño, J., Mojica, J., Abueta, F., Ruiz, V., Marentes, Y., Pérez V., Ramírez, F., Pantoja, G., Cardona, O., Pulido, W., Franco, L., González, O., Duarte, P. y Concha, H., (2019). Informe geometalúrgico, minero, ambiental y económico para el beneficio de oro sin el uso de mercurio – Remedios (Antioquia). Servicio Geológico Colombiano, 502 p., Bogotá.
La Cirila	Plomo		Arsénico, cobre, galena, zinc, telurio, plata	Pirita-Arsenopirita-Calcopirita-Esfalerita-Pirrotina-Galena-Teluros--Electrum-Oro	Remedios/Antioquia	Londoño, J., Mojica, J., Abueta, F., Ruiz, V., Marentes, Y., Pérez V., Ramírez, F., Pantoja, G., Cardona, O., Pulido, W., Franco, L., González, O., Duarte, P. y Concha, H., (2019). Informe geometalúrgico, minero, ambiental y económico para el beneficio de oro sin el uso de mercurio – Remedios (Antioquia). Servicio Geológico Colombiano, 502 p., Bogotá.
Quintana	Oro		Plomo, zinc, cobre, arsénico, plata, bismuto, telurio	Pirita-Galena-Esfalerita-Calcopirita-Pirrotina-Arsenopirita-Electrum-Oro	Remedios/Antioquia	Londoño, J., Mojica, J., Abueta, F., Ruiz, V., Marentes, Y., Pérez V., Ramírez, F., Pantoja, G., Cardona, O., Pulido, W., Franco, L., González, O., Duarte, P. y Concha, H., (2019). Informe geometalúrgico, minero, ambiental y económico para el beneficio de oro sin el uso de mercurio – Remedios (Antioquia). Servicio Geológico Colombiano, 502 p., Bogotá.
Mocoa	Cobre	Molibdeno	Molibdeno, plomo, zinc	Pirita-Calcopirita-Molibdenita-Bornita-Jarositita-Hematita-Calcosina-Covelina-Galena-Esfalerita-Malaquita-Azurita	Mocoa/Putumayo	Sillitoe, R. H., Jaramillo, L., y Castro, H., (1984). Geologic exploration of a molybdenum-rich porphyry copper deposit at Mocoa, Colombia. Economic geology, 79(1), 106-123. Rowland, M., Sim, R., y Davis, B., (2021). Mocoa copper-molybdenum project, Colombia. Informe técnico Canadian National Instrument NI 43-101 preparado por miembros del Instituto de Minería y Metalurgia de Australasia-FAUSIMM para Libero Copper & Gold Corporation: Fechado el 1 de noviembre de 2021. Disponible en: https://www.sedar.com/GetFile.do?lang=EN&docClass=24&issuerNo=00027216&issuerType=03&projectNo=03290117&docId=5119977
Segovia (Sandra K, Providencia, El Silencio, Mina Vera, Cogotes, Chumeca, entre otros)	Oro	Plata	Plata, plomo, zinc, cobre, antimonio, titanio, arsénico, cobalto, wolframio, cadmio	Pirita-Galena-Esfalerita-Calcopirita-Arsenopirita-Marcasita-Rutilo-Tetraedrita-Argentita-Electrum-Plata-Pirrotina-Alloclastita-Schellita-Greenockita-Oro	Segovia/Antioquia	Parsons, B., Olin, E., Pereira, C. A., Bird, D., Henríquez, F., Osborn, J., Rodríguez, F., Ortiz, G., Sames, J., Willow, M. A., y Parshley, J., (2022). NI 43-101 technical report prefeasibility study Segovia project Antioquia, Colombia. Informe técnico Canadian National Instrument NI 43-101 preparado por SRK consulting (U. S.), Inc. para GCM mining corporation, 402 p. Disponible en: https://s28.g4cdn.com/389315916/files/doc_downloads/segovia/GCM-Segovia_PFS_Update_NI43-101-dated-20220506-Final . Ramírez, G., (1985). Estudio geológico de la mina de oro providencia (Remedios-Antioquia). Tesis BSc. Universidad Nacional de Colombia, 103 p., Medellín. Echeverri-Franco, B., (2006). Genesis and thermal history of gold mineralization in the Remedios-Segovia-Zaragoza Mining District of Northern Colombia. Unpublished Thesis MSc, University of Shimane, Japan. Leal-Mejía, H., (2011). Phanerozoic gold metallogeny in the Colombian Andes: a tectono-magmatic approach. PhD thesis, Universidad de Barcelona. Álvarez-Galindez, M. J., (2013). Petrología, geoquímica isotópica e metalogenia dos depósitos de ouro El Silencio e La Gran Colombia, distrito mineiro Segovia-Remedios, Colômbia. Tesis MSc, Universidade de Brasília. 178 p. Manco, J. D., Molano, J. C., y Ordóñez Carmona, O., (2012). Análisis paragenético y microtermométrico de las mineralizaciones auro-argentíferas del distrito minero Segovia-Remedios (DMSR): Implicaciones para la fuente y naturaleza de los fluidos mineralizantes. Boletín de Ciencias de la Tierra, (32), 47-60.
La Bramadora	Oro		Arsénico, zinc, plomo, cobre, plata, antimonio	Pirita-Arsenopirita-Esfalerita-Galena-Pirrotina-Calcopirita-Electrum-Sulfosales (Pb, ej. Jamesonita)-Boulangerita-Covelina-Oro	Guadalupe-Amalfi-Anorí	Leal-Mejía, H., (2011). Phanerozoic gold metallogeny in the Colombian Andes: a tectono-magmatic approach. Tesis PhD, Universidad de Barcelona.

Mina / Prospecto	Producto Principal	Subproductos	Elementos químicos reportados diferentes al elemento principal	Minerales reportados	Municipio / Departamento	Referencia Bibliográfica
El Pino	Oro		Arsénico, zinc, plomo, plata, antimonio, cobre	Pirita-Arsenopirita-Esfalerita-Calcopirita-Galena-Pirargirita-Freibergita-Sulfosales (Ag-Cu-Sb-Ag)-Pearceita-Tenantita-Argentitenantita-Famatinita-Mckinstita-Acanitita-Covelita-Gefrovita	Maceo/Antioquia	Leal-Mejía, H., (2011). Phanerozoic gold metallogeny in the Colombian Andes: a tectono-magmatic approach. Tesis PhD, Universidad de Barcelona.
El Vapor	Oro		Zinc, plomo, cobre	Pirita-Esfalerita-Galena-Calcopirita-Oro	Maceo/Antioquia	Leal-Mejía, H., (2011). Phanerozoic gold metallogeny in the Colombian Andes: a tectono-magmatic approach. Tesis PhD, Universidad de Barcelona.
Gramalote	Oro		Cobre, molibdeno, zinc, plata, bismuto, telurio	Pirita-Calcopirita-Esfalerita-Galena-Matildita-Pavonita-Mummeita-Aikinita-Bismutinita-Hessita-Tetradimita-Molibdenita-Oro	San Roque/Antioquia	Rodríguez-Novoa, O. F., (2009). Mineral paragenesis of the Gramalote gold deposit. Tesis MSc, Queen's University, Kingston, Ontario, Canadá. 42 p. Leal-Mejía, H., (2011). Phanerozoic gold metallogeny in the Colombian Andes: a tectono-magmatic approach. Tesis PhD, Universidad de Barcelona. AngloGold Ashanti, (2023). Mineral resource and mineral reserve. As at 31 december 2022. 228 p.
El Guayabito	Oro		Cobre, bismuto, plata, plomo, zinc, plomo, molibdeno	Pirita-Calcopirita-Bismutinita-Schirmerita-Heulandita-Galena-Esfalerita-Molibdenita-Electrum-Oro	Cisneros/Antioquia	Leal-Mejía, H., (2011). Phanerozoic gold metallogeny in the Colombian Andes: a tectono-magmatic approach. Tesis PhD, Universidad de Barcelona. Vilela, E. (2018). Cisneros gold project, Antioquia department, Colombia. NI43-101 technical report on updated mineral resource estimate and preliminary economic assessment. Canadian National Instrument NI-43-101 technical report prepared by Linares Americas Consulting SAC-Linamec for Antioquia Gold Ltd. Lima, Peru.
El Limón	Oro		Arsénico, molibdeno, cobre, zinc, plomo, plata, bismuto, telurio	Arsenopirita-Pirita-Molibdenita-Calcopirita-Esfalerita-Cubanita-Galena-Matildita-Cervelleita-Tetradimita-Hessita-Electrum-Oro	Cisneros/Antioquia	Leal-Mejía, H., (2011). Phanerozoic gold metallogeny in the Colombian Andes: a tectono-magmatic approach. Tesis PhD, Universidad de Barcelona.
Guadalejo	Oro		Cobre, bismuto, plata	Pirita-Calcopirita-Bismutinita-Sulfosales (Bi-Ag)-Au-Oro	Cisneros/Antioquia	Leal-Mejía, H., (2011). Phanerozoic gold metallogeny in the Colombian Andes: a tectono-magmatic approach. Tesis PhD, Universidad de Barcelona.
Distrito Santo Domingo - San Roque	Oro		Plata, bismuto, telurio, molibdeno	Molibdenita-Calcopirita-Bornita-Calcosina-Oro	Santo Domingo-San Roque/Antioquia	Leal-Mejía, H., (2011). Phanerozoic gold metallogeny in the Colombian Andes: a tectono-magmatic approach. Tesis PhD, Universidad de Barcelona.
La Floresta, Yalí	Oro		Cobre, plomo, zinc, plata, arsénico, antimonio, bismuto	Pirita-Calcopirita-Galena±Esfalerita±Cubanita±Electrum±Polibasi-ta-Bismuto-Calcosina-Covelina-Oro	Yalí/Antioquia	Leal-Mejía, H., (2011). Phanerozoic gold metallogeny in the Colombian Andes: a tectono-magmatic approach. Tesis PhD, Universidad de Barcelona.
Santa Rosa de Osos (San Ramón, entre otros)	Oro		Plomo, zinc, cobre, plata	Pirita-Galena-Esfalerita-Calcopirita-Electrum-Oro	Santa Rosa de Osos/Antioquia	Leal-Mejía, H., (2011). Phanerozoic gold metallogeny in the Colombian Andes: a tectono-magmatic approach. Tesis PhD, Universidad de Barcelona.

Mina / Prospecto	Producto Principal	Subproductos	Elementos químicos reportados diferentes al elemento principal	Minerales reportados	Municipio / Departamento	Referencia Bibliográfica
Proyecto San Matías, prospecto El Alacrán	Cobre		Oro, plata, plomo, zinc, titanio, molibdeno, níquel, cobalto	Pirita- Calcopirita- Esfalerita- Pirrotina- Ilmenita- Arsenopirita- Molibdenita- Calcosina- Electrum-Oro- minerales de REE (La-Ce) Lantanita? Magnetita- Musketovita- Especularita- Marrita- Cubanita- Pentlandita- Cobaltita	Puerto Libertador/Córdoba	Manco, J. D., (2020). Geology, geochronology and geochemistry of the El Alacrán Deposit, San Matías District, Córdoba-Colombia. Tesis MSc, University of British Columbia, 260 p., Vancouver. Kuntz, G., Robinson, J., Pumphrey, S., Boyko, K., Harkonen, H., Martin, C., Muir, W., Williamson, P., y Cepuritis, P., (2022). NI 43-101 technical report and prefeasibility study, San Matías copper-gold-silver project, Colombia. Informe técnico Canadian National Instrument NI 43-101 preparado por Nordmin Engineering Ltd. para Cordoba Minerals Corporation. 589 p., Thunder Bay, Ontario. Disponible en: https://www.sedar.com/GetFile.do?lang=EN&docClass=24&issuerNo=00030266&issuerType=03&projectNo=03325638&docId=5116218 . Armstrong-Montoya, S., (2022, noviembre 8-9). Copper-gold developer with district-scale exploration potential, november 2022. Cordoba Minerals Corporation [Presentación oral]. Colombian gold symposium-CGS, Medellín. Disponible en: https://uc7011613c26f29d444edc49b5ed.dl.dropboxusercontent.com/cd/0/inline2/ByCGMvVfP_eYPPG6fAMghUnoToDUDJJs8nXCHNM52R-FaDcy63L-9S4bHxvZBKsSbtTesh4WsQ8iVPALLSRxm-sZaDoGDvRM615YixZbHsVWwMKILW0i0iNcidrF2mXf134CU3MmjQ_SfCy9hrMfqc5eEkeiRraWEzAfs9WgoWigvfkXA2MmUqxbYS PpkMSO1wG0_Z5mJ36FEyJDSnubVK8-TDObxIWHqGLMwtw9i-O7IGU-IK1ucnQUx2iUQNgvW_czWvFMMwNf0quuVDZbp-bOPYhKnsO9VQM02XTIasBD9TOe48kQ2iINR1QXiunial6p-QwX6vtiG3T3npbsKuQR8hmcJGPiBX5n0XjBSIAEiIDRyonGESUjngOlre5CMInEFZSsuSt-klsUYDFszjQOohDdu-6
Proyecto San Matías prospectos Montiel Este, Montiel Oeste y Costa Azul	Cobre		Oro, plata	Calcopirita- Pirita-Bornita- Magnetita-Oro- Plata (Montiel Este) Calcopirita- Pirita-Magnetita- Calcopirita- Bornita-Oro- Plata (Montiel Oeste) Calcopirita- Magnetita-Pirita- Bornita-Oro- Plata (Costa Azul)	Puerto Libertador/Córdoba	Kuntz, G., Robinson, J., Pumphrey, S., Boyko, K., Harkonen, H., Martin, C., Muir, W., Williamson, P., y Cepuritis, P., (2022). NI 43-101 technical report and prefeasibility study, San Matías copper-gold-silver project, Colombia. Informe técnico Canadian National Instrument NI 43-101 preparado por Nordmin Engineering Ltd. para Cordoba Minerals Corporation. 589 p., Thunder Bay, Ontario. Disponible en: https://www.sedar.com/GetFile.do?lang=EN&docClass=24&issuerNo=00030266&issuerType=03&projectNo=03325638&docId=5116218 . Armstrong-Montoya, S., (2022, noviembre 8-9). Copper-gold developer with district-scale exploration potential, november 2022. Cordoba Minerals Corporation [Presentación oral]. Colombian gold symposium-CGS, Medellín. Disponible en: https://uc7011613c26f29d444edc49b5ed.dl.dropboxusercontent.com/cd/0/inline2/ByCGMvVfP_eYPPG6fAMghUnoToDUDJJs8nXCHNM52R-FaDcy63L-9S4bHxvZBKsSbtTesh4WsQ8iVPALLSRxm-sZaDoGDvRM615YixZbHsVWwMKILW0i0iNcidrF2mXf134CU3MmjQ_SfCy9hrMfqc5eEkeiRraWEzAfs9WgoWigvfkXA2MmUqxbYS PpkMSO1wG0_Z5mJ36FEyJDSnubVK8-TDObxIWHqGLMwtw9i-O7IGU-IK1ucnQUx2iUQNgvW_czWvFMMwNf0quuVDZbp-bOPYhKnsO9VQM02XTIasBD9TOe48kQ2iINR1QXiunial6p-QwX6vtiG3T3npbsKuQR8hmcJGPiBX5n0XjBSIAEiIDRyonGESUjngOlre5CMInEFZSsuSt-klsUYDFszjQOohDdu-6
Cerro Matoso	Níquel		Elementos del grupo del platino-PGE (platino>rutenio>paladio>iridio>osmio>rodio), cobalto, hierro, magnesio, cromo, manganeso	Pimelita (Garnierita)- Sepiolita de Ni- Lizardita (Serpentina de Ni)- Nimita- Esmectita de Ni- Kerolita- Hematita- Maghemita- Goethita-Óxido de Hierro- Siderita- Chamosita- Talco- Magnesita- Magnetita- Forsterita- Enstatita- Aleciones PGE-Fe	Montelíbano/Córdoba	Tobón-Mazo, M. J., (2018). Geoquímica y mineralogía de los elementos del grupo del platino (EGP) en las lateritas níquelíferas de Cerro Matoso y Planeta Rica, Colombia. Tesis MSc, Universidad Nacional de Colombia, 87 p., Medellín. Tobón, M., Weber, M., Proenza, J. A., Aiglsperger, T., Betancur, S., Farré-de-Pablo, J., y Pujol-Solà, N., (2020). Geochemistry of platinum-group elements (PGE) in Cerro Matoso and Planeta Rica Ni-laterite deposits, Northern Colombia. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 72(3). Gleeson, S. A., Herrington, R. J., Durango, J., Velásquez, C. A., y Koll, G. (2004). The mineralogy and geochemistry of the Cerro Matoso SA Ni laterite deposit, Montelíbano, Colombia. Economic Geology, 99(6), 1197-1213. Lopez-Rendon, J.E., (1986). Geology, mineralogy and geochemistry of the Cerro Matoso nickeliferous laterite, Cordoba, Colombia. Tesis MSc, Colorado State University, Fort Collins, 378 p. South32, (2023). Annual report 2022. Perth, Australia, 188 p. Disponible en: https://www.south32.net/docs/default-source/all-financial-results/2022-annual-reporting-suite/annual-report-2022.pdf?sfvrsn=e575e11b_6

Mina / Prospecto	Producto Principal	Subproductos	Elementos químicos reportados diferentes al elemento principal	Minerales reportados	Municipio / Departamento	Referencia Bibliográfica
Berlín (Caldas)	Uranio		Uranio, fosfatos, vanadio, itrio, neodimio, níquel, molibdeno, renio, plata, zinc, bario, titanio, REE (Ce, La, Pr, Nd, Th, Y), cromo, antimonio, cobre	Uraninita-Apatito-Chernykhite-Pirita-Bitumen-Brannerita-Coffinita-Esfalerita-Monacita-Sulfuros (Ni-As)-Variscita-Childrenita-Roscoelita-Barita-Cromita-Churchita-Autunita-Tetraedrita-Millerita	Samaná/Caldas	Klerk, L., Niemann, P., Miller, P., Véliz, P. y Corley, D., (2013). Preliminary economic assessment on the Berlín deposit, Colombia. Informe técnico Canadian National Instrument NI 43-101 preparado por Tenova Mining & Minerals (Australia) Pty Ltd para U308 Corporation. Fechado el 18 de enero de 2013. Toronto, Ontario, Canada, 252 p. Disponible en: https://www.sedar.com/GetFile.do?lang=EN&docClass=24&issuerNo=00024507&issuerType=03&projectNo=01997262&docId=3262987 , https://www.greenshift.commodi Cáceres, A., (2012). Genesis of the sediment-hosted uraniumiferous phosphate deposit in the Berlín Project, Central Cordillera, Colombia and its implications for exploration. Tesis MSc, Universidad de Queen's, 44 p., Ontario, Canadá.
El Roble	Cobre	Oro	Cobalto, plata, oro, zinc	Pirita-Calcopirita-Pirrotina-Esfalerita-Electrum-Hematita-Magnetita-Pirrotina cobaltífera?-Pirita cobaltífera?-Coballita?	Carmen de Atrato/Chocó	Ramírez-Arias, D., (2020). Factibilidad de extracción de cobalto en relaves mineros-proyecto El Roble. Tesis MSc, Universidad Nacional de Colombia, 58 p., Medellín. Kelly, T. y Cruz, A., (2021). El Roble mine updated mineral resource and mineral reserve estimates, El Carmen de Atrato, Chocó Department, Colombia. Informe técnico Canadian National Instrument NI 43-101 preparado por Andes Colorado Corporation para Atico Mining Corporation, 163 p. Vancouver, BC Canada. Disponible en: https://www.sedar.com/GetFile.do?lang=EN&docClass=24&issuerNo=00032350&issuerType=03&projectNo=03169866&docId=4889746 Atico Mining Corporation, (2021). Atico updates mineral reserves and resources for the El Roble mine in Colombia. Anuncio de prensa, 4 de febrero de 2021, Vancouver, Canadá. Disponible en: http://aticominer.com/investors/news/index.php?content_id=194 .
Distrito de Maltería (La Coqueta, La Cascada, Palmitas, Gallinazo, El Progreso, La Rios, entre otras minas)	Oro		Plata, cobre, antimonio	Pirita-Marcasita-Galena-Esfalerita-Molibdenita-Estibina-Calcopirita-Arsenopirita-Tetraedrita (freibergita?)-Tenantita-Pirargirita-Oro nativo-Electrum-Hematita-Limonita	Manizales/Caldas	Alvarán-Echeverri, M., (2006). Consideraciones metalogenéticas del depósito aurífero "La Coqueta". Distrito minero Manizales-Villamaría. Tesis MSc, Universidad Nacional de Colombia. 100 p., Bogotá. Cediel, F. y Cáceres, C., (2000). Geological Map of Colombia: Geotec, Ltd., Bogotá, 3rd Edition, digital format with legend and tectono-stratigraphic chart. Gómez, J., Nivia, A., Montes, N.E., Jiménez, D.M., Tejada, M.L., Sepúlveda, M.J., Osorio, J.A., Gaona, T., Diederix, H., Uribe, H. y Mora, M. (compiladores), (2007). Mapa geológico de Colombia: Ingeominas, Escala 1:1'000.000, 2 hojas. Bogotá. Pulido, O.H., (1985). Reconocimiento regional para mineralizaciones de oro diseminado en tres zonas de los departamentos de Caldas, Quindío y Tolima. Boletín geológico (Ingeominas), v. 29, n. 2, 31p.
Toldafria	Oro		Cobre, zinc, plomo, antimonio, plata, selenio, arsénico	Pirita-Calcopirita-Pirrotina-Esfalerita-Galena-Tetraedrita-Sulfosales de (Ag, Se)-Arsenopirita-Marcasita-Electrum-Oro-Plata-Acantita-Covelina-Bornita	Villamaría/Caldas	Crowl, W. J. y Hulse, D. (2011). NI 43-101 technical report on the Toldafria project, Manizales, Colombia. Canadian National Instrument NI 43-101 informe técnico preparado por Gustavson Associates para Rio Novo Gold Inc. Lakewood, Colorado. Clavijo-Betancurth, D., (2023). Caracterización mineralógica y asociaciones minerales de alteración en el área de Tolda Fria mediante el relagueo de los pozos de perforación DHTF-02, DHTF-04, DHTF-06, DHTF-08 y DHTF-10. Tesis BSc, Universidad de Caldas, 81 p., Manizales.
Minas El Vergel, La María, La Venturosa, La Cabrera, El Granito, Santa Cruz, Colombia, entre otros)	Oro		Plata, arsénico, cobre, plomo	Pirita-Calcopirita-Arsenopirita-Galena-Oro	Marquetalia-Fresno/Caldas-Tolima	Buenaventura, J., (1975). Ocurrencias minerales en la región central del Departamento del Tolima. Ingeominas, informe 1688, Bogotá. Leal-Mejía, H., (2011). Phanerozoic gold metallogeny in the Colombian Andes: a tectono-magmatic approach. Tesis PhD, Universidad de Barcelona.

Mina / Prospecto	Producto Principal	Subproductos	Elementos químicos reportados diferentes al elemento principal	Minerales reportados	Municipio / Departamento	Referencia Bibliográfica
Minas Las Ánimas, La Vibradora, La María, El Encanto, entre otras)	Oro		Plata, wolframio, cobre, plomo, zinc, bismuto, telurio	Pirita-Pirita niquelífera y arseniosa, Arsenopirita-Galena-Sulfoteluros (Joseita-Lillianita)-Tetradimita-Oro-Plata	Santa Isabel-Líbano/Tolima	Buenaventura, J., (1975). Ocurrencias minerales en la región central del Departamento del Tolima: Ingeominas, Informe 1688, Bogotá. Leal-Mejía, H., (2011). Phanerozoic gold metallogeny in the Colombian Andes: a tectono-magmatic approach. Tesis PhD, Universidad de Barcelona. Sandoval, D. G., Molano, J.C., Peñaloza, D., (2019). Understanding of the genesis of an orogenic gold deposit in the Central Cordillera of Colombia: constraints on gold grade variation. 4 p. Society for geology applied to mineral deposit-SGA. 15th biennial meeting, Glasgow Acevedo, A., Correa, C., Molano, J. C. y Rodríguez, J., (2014). Structural characterization and fluid evolution of the Animas gold deposit, Tolima, Colombia: An Example of Orogenic Gold Deposit?. Acta Geologica Sinica (English Edition), 88(supp. 2): 683-685. Correa R., C., (2012). Secuencia paragenética y análisis estructural en la Mina Las Ánimas, Santa Isabel, Tolima. Tesis BSc, Universidad Nacional de Colombia, 20 p., Bogotá.
El Gran Porvenir	Oro		Cobre, plata, plomo, zinc, antimonio, wolframio titanio, telurio	Pirita-Calcopirita-Galena-Esfalerita-Covelina-Bornita-Pirrotina-Melnikovita-Marcasita-Tetraedrita-Tenanita-Scheelita-Goethita-Rutilo-Anatasa-Ankerita-Siderita-Teluluro (Plomo-Plata-Oro)-Oro nativo-Plata	Libano/Tolima	Mojica, J., Vélez, J., y Duarte, P., (2021). Caracterización mineralógica de depósitos auríferos en Santa Isabel y El Libano, departamento del Tolima, Colombia. Informe preliminar. Servicio geológico colombiano. 59 p., Cali. Angée-Moreno, D. L. y Betancur-Osorio, C. A., (2018). Caracterización petrográfica, metalográfica, microtermométrica y composicional de la mina El Gran Porvenir, Libano, Tolima. Tesis BSc, Universidad de Caldas, 85 p., Manizales. Fumerton, S., (2012). Technical NI 43-101 report on the El Gran Porvenir project, Tolima, Colombia. Informe técnico para Tiger american gold (Panamá). 64 p.
Minas Cueva Loca y El Retiro	Oro		Plata, cobre, plomo, zinc	Calcopirita-Galena-Esfalerita-Anglesita-Covelina-Calcosina-Bornita-Electrum-Oro	Ginebra-Buga/Valle del Cauca	Cervera, J. y Garcés, A., (2005). Estudio metalográfico de las mineralizaciones auríferas en los sectores de Cueva Loca y El Retiro (Departamento del Valle del Cauca), orientado al mejoramiento del proceso de beneficio. Tesis BSc, Universidad Nacional de Colombia, 20 p., Bogotá. Pulido, W., (2005). Caracterización geológico minera del depósito aurífero de El Retiro, Ginebra (Valle del Cauca), Tesis BSc, Universidad Nacional de Colombia, 93p., Bogotá. Cervera-Acosta, J., Neira-León, G., Molano- Mendoza, J. y Prieto-Rincón, G., (2008). Caracterización mineralógica y química de los depósitos de relaves (colas de proceso) en los sectores auríferos de Cueva Loca (Buga) y El Retiro (Ginebra - Guacarí), Departamento del Valle del Cauca. Geología colombiana, n. 33, p. 47-56. Leal-Mejía, H., (2011). Phanerozoic gold metallogeny in the Colombian Andes: a tectono-magmatic approach. Tesis PhD, Universidad de Barcelona.
Stock de Jejenes	Oro		Zinc, plomo, cobre, plata	Pirita-Esfalerita-Galena-Calcopirita-Electrum-Oro	Fondas-El Limoncito/Cauca	Leal-Mejía, H., (2011). Phanerozoic gold metallogeny in the Colombian Andes: a tectono-magmatic approach. Tesis PhD, Universidad de Barcelona. (Corporación Autónoma Regional del Cauca, 2003).
El Diamante	Oro		Arsénico, zinc, plomo, plata, antimonio, cobre, telurio	Pirita-Arsenopirita-Pirita Arseniosa-Esfalerita-Galena-Electrum-Tetraedrita-Freibergita-Calcopirita-Pirargirita-Hessita-Proustita-Argetita-Polibasita	Santacruz/Nariño	Metal mining agency of Japan-MMAJ y Japan international cooperation agency of Japan-JICA, (1984). Estudio preliminar de factibilidad del desarrollo del área El Diamante-Paraiso-Bombona, Departamento de Nariño, informe interno, 183 p. Molano, J. C., (1999). Mineralogical and geochemical study on the Diamante gold deposit (Colombia) and some genetic aspects. Tesis MSc, Universidad de Tokio, Japón, 84 p. Molano, J. C., y Shimazaki, H. (2003). Mineralogía, geoquímica y algunos aspectos genéticos de la mina El Diamante-Nariño (Colombia). Boletín de Geología, Universidad industrial de Santander-UIS, 25(40), 105-116. Bucaramanga.

Mina / Prospecto	Producto Principal	Subproductos	Elementos químicos reportados diferentes al elemento principal	Minerales reportados	Municipio / Departamento	Referencia Bibliográfica
Pantanos-Pegadorcito	Cobre	Molibdeno	Molibdeno	Calcopirita-Bornita-Molibdenita-Pirita-Calcosina-Malaquita-Azurita-Digenita-Cuprita-Cobre	Frontino-Dabeiba/Antioquia	Álvarez, E., Parra, E., Caballero, H., y Nugteren, H., (1983). Estudio para la justificación de la prefactibilidad en el prospecto de pórfido cuprífero de Pantanos-Pegadorcito. Departamento de Antioquia. Ingeominas, 172 p., Medellín.
Buriticá	Oro	Plata	Zinc, cobre, plomo, antimonio, arsénico, molibdeno, telurio	Pirita-Calcopirita-Galena-Tetraedrita-Tenanita-Esfalerita-Estibina-Pirrotina-Molibdenita-Sulfosales (Cu, As, Sb)-Arsenopirita-Teluros (Au, Ag)-Pepzita-Electrum-Plata-Oro	Buriticá/Antioquia	Lesage, G. (2011). Geochronology, petrography, geochemical constraints, and fluid characterization of the Buriticá gold deposit, Antioquia department, Colombia. Tesis MSc. Universidad de Alberta, Canadá. 163p. Lesage, G., Richards, J. P., Muehlenbachs, K., y Spell, T. L. (2013). Geochronology, geochemistry, and fluid characterization of the late Miocene Buriticá gold deposit, Antioquia Department, Colombia. Economic Geology, 108(5), 1067-1097. Jones, I., Blaylock, G., Caldwell, J., Corso, W., Creek, M., Levy, M., McLeod, K., y Stone, D., y Tahjia, L., (2019). NI 43-101 Buriticá mineral resource 2019-1 Antioquia, Colombia. Informe técnico para Continental gold corporation. 259 p.
El Zancudo (Distrito Titiribí)	Oro	Plata	Plata, zinc, plomo, cobre, arsénico, antimonio, cadmio	Arsenopirita-Pirita-Esfalerita-Galena-Calcopirita-Tetraedrita-Bornonita-Boulangerita-Jamesonita-Zoubekita-Ramdohrita-Miargirita-Diaforita-Andorita-Owyheeita-Electrum-Oro	Titiribí/Antioquia	Gallego-Hernández, A. N., y Akasaka, M., (2007). Silver-bearing and associated minerals in El Zancudo deposit, Antioquia, Colombia. Resource geology, 57(4), 386-399. Leal-Mejía, H., (2011). Phanerozoic gold metallogeny in the Colombian Andes: a tectono-magmatic approach. Tesis PhD, Universidad de Barcelona. Parsons, B., (2023). NI 43-101 technical report El Zancudo mineral resource estimate, Colombia. Informe técnico Canadian National Instrument NI 43-101 preparado por SRK consulting (U. S.) Inc para Denarius metals corporation. Fechado el 25 de agosto de 2021. 144 p. Disponible en: https://www.sedar.com/GetFile.do?lang=EN&docClass=24&issuerNo=00008464&issuerType=03&projectNo=03520080&docId=5397991
Titiribí (Cerro Vetas)	Oro	Cobre	Zinc, arsénico, antimonio, plomo, plata, telurio	Calcopirita-Pirita-Magnetita-Esfalerita-Bornita-Pirrotina-Arsenopirita-Galena-Estibina-Sulfosales (Ag)-Teluros (Ag)-Calcocita-Electrum-Oro	Titiribí/Antioquia	Uribe-Mogollón, C. A., (2013). Hydrothermal evolution of the Titiribí mining district. Tesis BSc. Universidad EAFIT. 127 p., Medellín. Kantor, J., Cameron, R. E., y Castañeda, M., (2021). Technical report on the Titiribí project Department Antioquia, Colombia. Informe técnico NI 43-101 preparado para Goldmining Inc. 144 p.
La Mina	Oro	Plata, cobre	Cobre, antimonio, zinc, plomo	Calcopirita-Bornita-Calcocita-Azurita-Malaquita-Crisocola-Cuprita-Pirita-Tetraedrita-Esfalerita-Galena-Oro	Fredonia/Antioquia	Wilson, S., Hosford, P., y Cole, M., (2023). Technical report and preliminary economic assessment for the La Mina project Antioquia, Republic of Colombia. Informe técnico NI 43-101 preparado para GoldMining Inc. 227 p.

Mina / Prospecto	Producto Principal	Subproductos	Elementos químicos reportados diferentes al elemento principal	Minerales reportados	Municipio / Departamento	Referencia Bibliográfica
Marmato (La Mona, San Pedro, El Obsequio, Ochoa, Veta Mellizos)	Oro	Plata	Cobre, plomo, zinc, arsénico, bismuto, plata	Pirita-Esfalerita-Arsenopirita-Pirrotina-Calcopirita-Galena-Acantita-Marcasita-Oro	Marmato/Caldas	Parsons, B., Peng, A., Prosser, B., Poock, J., Olin, E., Henriquez, F., Hoekstra, D., Willow, M., Ugorets, V., Crystal, C., Gunesch, K., Raponi, T., Bird, D., y De Mark, P., (2022). Technical report for the marmato gold mine, Caldas department, Colombia, pre-feasibility study of the lower mine expansion project. Prepared by SRK Consulting (U.S.), Inc., Ausenco Engineering Canada Inc. y Piteau Associates para Aris Mining Corporation. Fechado 30 de junio de 2022. Denver, Colorado, 236 p. Disponible en: https://www.sedar.com/GetFile.do?lang=EN&docClass=24&issuerNo=00003116&issuerType=03&projectNo=03461399&docId=5317467 . Santacruz, L., Redwood, S., Molano, J. C., y Cecchi, A. (2014, September). Affinity between bismuth and gold in the Marmato gold deposit, Colombia: A probable case of the liquid bismuth collector model. In Society of economic geologists 2014 conference, Keystone, Colorado, USA (pp. 27-30). Santacruz-Reyes, L. (2017). Caracterização petrológica e metalogénica do depósito de Au de Marmato, Manizales, Colômbia. Tesis MSc N° 369, Universidade de Brasília, 95 p., Brasília. Leal-Mejía, H., (2011). Phanerozoic gold metallogeny in the Colombian Andes: a tectono-magmatic approach. Tesis PhD, Universidad de Barcelona.
Quinchía (Dos Quebradas, Miraflores, La Cumbre, Guayaacán)	Oro	Plata	Cobre, plomo, zinc, arsénico, antimonio, plata, telurio, molibdeno, titanio	Pirita-Calcopirita-Bornita-Covelina-Rutilio-Molibdenita-Galena-Esfalerita-Tetraedrita-Tenánitita-Sulfosales-Covelina-Electrum-Hessita-Magnetita-Oro	Quinchía/Risaralda	García, C., (2007). Caracterización petrográfica y metalográfica del prospecto de pórfido aurífero Dosequebradas -La Cumbre, Quinchía, Risaralda. Tesis BSc, Universidad de Caldas, Manizales. Leal-Mejía, H., (2011). Phanerozoic gold metallogeny in the Colombian Andes: a tectono-magmatic approach. Tesis PhD, Universidad de Barcelona. Vilela, E. y Linares, F. (2018). La Cumbre gold project, department of Risaralda, Colombia NI 43-101 technical report on updated mineral resource estimate. Canadian National Instrument NI-43-101 informe técnico preparado por Linares Americas Consulting SAC-Linamec para Batero Gold Corporation, Lima, Peru. Los Cerros Ltd., (2022). Annual report 2021. West Perth, Australia, 77 p. Disponible en: https://www.annualreports.com/HostedData/AnnualReports/PDF/A_SX_LCL_2021.pdf . Stirbinskis, J., (2022, noviembre 8-9). Los Cerros Ltd [Presentación oral]. Colombian gold symposium-CGS, Medellín. Disponible en: https://www.loscerros.com.au/site/pdf/2f61e939-611c-42d1-b055-33ad16a71535/Presentation-at-Colombian-Gold-Symposium.pdf
Yarumalito	Oro		Cobre, zinc, plomo, antimonio, cobalto, plata	Pirita-Calcopirita-Esfalerita-Galena-Magnetita-Estibina-Oro	Valparaiso-Caramanta/Antioquia	Alberti-Henrichs, I., (2013). Caracterização e idade das intrusivas do sistema pórfiro Yarumalito, magmatismo Combia, Colombia. Tesis MSC, Universidade federal do rio grande do sul, Porto Alegre, 67 p., Brasil. Barrera-Cortés, D. M., (2015). Caracterização petrográfica dos pórfiros e das alterações hidrotermais e química mineral dos filossilicatos associados no sistema Yarumalito, Antioquia-Colômbia. Tesis MSC, Universidade federal do rio grande do sul, 100 p., Porto Alegre, Brasil. Mosher, G. Z., (2020). Technical report Yarumalito gold-copper property GoldMining Inc. Departments of Antioquia and Caldas, Republic of Colombia. Informe técnico Canadian National Instrument NI 43-101 preparado por Global Mineral Resource Services para GoldMining Inc. Fechado el 1 de abril de 2020. North Vancouver, Canadá, 60 p. Disponible en: https://www.sedar.com/GetFile.do?lang=EN&docClass=24&issuerNo=00031036&issuerType=03&projectNo=03072362&docId=4745391 .
Prospecto Quebradona (Nuevo Chaquiro)	Cobre	Oro, plata, molibdeno	Oro, molibdeno, zinc, plata, arsénico, plomo, antimonio, bismuto, telurio	Calcopirita-Molibdenita-Pirita-Pirrotina-Bornita-Cubanita-Esfalerita-Arsenopirita-Galena-Estibina-Arsénico-Marcasita-Acantita-Tetraedrita (Bi)-Matildita-Cervelleita-Hessita-Hedleyita-Stromeyerita-Freibergita-	Jericó/Antioquia	Bartos, P. J., García, C., y Gil, J. (2017). The Nuevo Chaquiro Cu-Au-(Mo) porphyry deposit, middle Cauca belt, Colombia: Geology, alteration, mineralization. Economic Geology, 112(2), 275-294. AngloGold Ashanti, (2023). Mineral resource and mineral reserve. As at 31 december 2022. 228 p.

Mina / Prospecto	Producto Principal	Subproductos	Elementos químicos reportados diferentes al elemento principal	Minerales reportados	Municipio / Departamento	Referencia Bibliográfica
				Electrum--Turmalina-Oro		
Cajamarca-Salento	Oro		Arsénico, cobre, plomo, zinc, plata, bismuto, telurio, molibdeno	Pirita-Arsenopirita-Pirrotina-Calcopirita-Galena-Estfalerita-Calaverita-Tsumoita-Tetradimita-Molibdenita-Oro	Cajamarca/Tolima - Salento/Quindío	Leal-Mejía, H., (2011). Phanerozoic gold metallogeny in the Colombian Andes: a tectono-magmatic approach. Tesis PhD, Universidad de Barcelona.
La Colosa	Oro		Cobre, molibdeno, plata, telurio, arsénico, titanio	Pirita-Pirrotina-Melnikovita-Calcopirita-Molibdenita-Teluros (Au, Au-Ag)-Arsenopirita-Covelina-Titanita-Electrum-Oro	Cajamarca/Tolima	Gil-Rodríguez, J., (2010). Igneous petrology of the Colosa gold-rich porphyry system (Tolima, Colombia). Tesis MSc, Universidad de Arizona., USA, 51 p. Betancourt, J., (2014). Magmatic evolution of the La Colosa porphyry cluster and related gold mineralization. La Colosa Project, Central Cordillera, Colombia. Tesis MSc. Universidad de Barcelona. Naranjo, A., Horner, J., Jahoda, R., Diamond, L. W., Castro, A., Uribe, A., Pérez, C., Paz, H., Mejía, C., y Weil, J., (2017). La Colosa Au porphyry deposit, Colombia: mineralization styles, structural controls, and age constraints. <i>Economy geology</i> 113 (3), pp 553-578. AngloGold Ashanti, (2023). Mineral resource and mineral reserve. As at 31 december 2022. 228 p.
Proyecto Soto Norte (La Bodega, La Mascota)	Oro	Plata, cobre	Molibdeno, wolframio, zinc, telurio, arsénico, bismuto, plata, cobre	Pirita-Calcopirita-Tenanita-Estfalerita/Wurtzita-Calcosina-Electrum-Oro nativo-Especlarita-Hematita-Molibdenita-Bornita-Covelina-Tetraedrita-sulfosales de plata (Proustita)-Teluros-Teluros de oro- plata (Hessita-Calaverita-Silvanita)-Wolframita (Hubnerita)-Enargita-Marcasita-Azufre nativo-Goethita-Jarosita-Calcantita	California/Santander	Parsons, B., Bray, C., Willis, J., Sangam, H. y Anderson, R., (2021). NI 43-101 technical report feasibility study of the Soto Norte gold project, Santander, Colombia. Informe técnico Canadian National Instrument NI 43-101 preparado por SRK Consulting (UK) Limited para Aris Gold Corporation. Fechado el 1 de enero de 2021. Cardiff, Gales, Reino Unido, 384 p. Disponible en: https://www.sedar.com/GetFile.do?lang=EN&docClass=24&issuerNo=00005697&issuerType=03&projectNo=03352739&docId=5158091 Rodríguez-Madrid, A. L., Bissig, T., Hart, C. J., y Figueroa-Mantilla, L. C., (2017). Late Pliocene high-sulfidation epithermal gold mineralization at the La Bodega and La Mascota deposits, northeastern cordillera of Colombia. <i>Economic Geology</i>, 112(2), 347-374. Rodríguez-Madrid, A. L., (2014). <i>Geology, alteration, mineralization and hydrothermal evolution of the La Bodega-La Mascota deposits, California-Vetas mining district, eastern Cordillera of Colombia, northern Andes</i>. Tesis MSc. University of British Columbia, Vancouver, Canada, 453 p. Bissig, T., Mantilla Figueroa, L.C., and Hart, C.J.R., 2014. <i>Petrochemistry of igneous rocks of the California-Vetas mining district, Santander, Colombia: Implications for northern Andean tectonics and porphyry Cu (-Mo, Au) metallogeny</i>. <i>Lithos</i>, v. 200, p. 355-367.
Vetas (El Dorado, San Bartolo, Real Minera, Reina de Oro, Mina El Volcán)	Oro	Plata	Cobre, zinc, plomo, arsénico, antimonio, molibdeno, mercurio, titanio, plata	Pirita-Pirita Arseniosa-Tetraedrita-Tenanita-Marcasita-Calcopirita-Molibdenita-Arsenopirita-Cinabrio-Covelina-Estfalerita-Galena-Magnetita-Ilmenita-Pirrotina-Turmalina-Ankerita-Electrum-Billingsleyita-Tearceita-Oro	Vetas/Santander	Landry, P. y Lavigne, J. (2013). Technical report on the Vetas gold project, department of Santander, Colombia. Canadian National Instrument NI 43-101 technical report prepared by Roscoe Postle Associates Inc. for Galway Gold Inc., Toronto, Canada. Reyes-Gómez, J. J., (2013). Identificación de los estilos de mineralización en la mina Reina de Oro (Municipio de Vetas, Departamento de Santander), a partir de estudios de alteración hidrotermal y de mineralogía de mena. Tesis BSc, Universidad industrial de Santander, 98 p., Bucaramanga. Rojas-Barbosa, S., (2013). Metalogía de las mineralizaciones auríferas en la zona de Vetas, Santander. Tesis MSc, Universidad Nacional de Colombia, 113 p., Bogotá. Barnett, W. y Dishaw, G. (2014). Independent technical report on the Vetas gold project, Santander department, republic of Colombia. Canadian National Instrument NI 43-101 technical report prepared by SRK Consulting (Canada) Inc. for CB Gold Inc., Vancouver, Canada.
Rio Dulce	Oro		Zinc, cobre, molibdeno	Pirita, Estfalerita, Calcopirita, Molibdenita	Nariño/Antioquia	Leal-Mejía, H., (2011). Phanerozoic gold metallogeny in the Colombian Andes: a tectono-magmatic approach. Tesis PhD, Universidad de Barcelona.

Fuente: construcción Servicio Geológico Colombiano.

ANEXO 5.
Cinturones metalogénicos (Mapa Metalogénico de Colombia – 2020).

La Memoria Explicativa del Mapa Metalogénico de Colombia (MMC) versión 2020, señala que el mismo se estructuró con el análisis de la evolución tectónica y magmática del territorio colombiano, en el contexto de los Andes del Norte (Gansser, 1973, Bird, 2003) y del Cratón Amazónico (*sensu lato* Amaral, 1974, Almeida, 1977, Almeida, 1978). Para ello se abordaron modelos de evolución geológica junto con la distribución espacio-temporal de los depósitos minerales. Esto permitió la definición y ajuste de los dominios, provincias y subprovincias metalogénicas mostrados en el siguiente cuadro, las cuales se presentan como soporte para una mejor comprensión de la Dimensión transversal “Existencia de ambientes geológicos favorables y priorización de la investigación”:

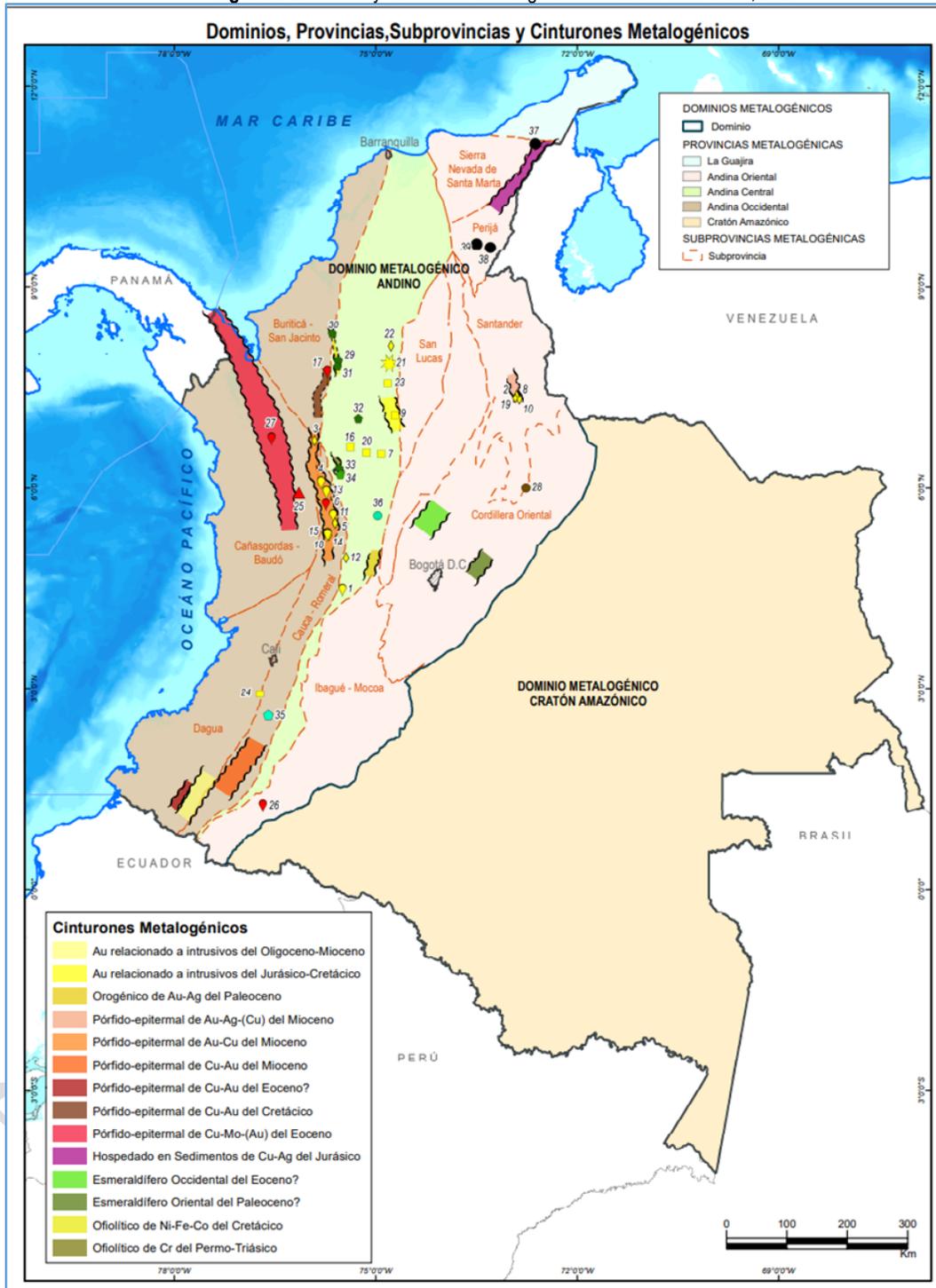
Tabla 1. Entidades metalogénicas MMC 2020

Dominio Metalogénico	Provincia Metalogénica	Subprovincia Metalogénica
Cratón Amazónico	Cratón Amazónico	-----
Andino	Andina Oriental	Cordillera Oriental
		Santander
		Perijá
		Ibagué-Mocoa
		San Lucas
		Sierra Nevada de Santa Marta
	Andina Central	-----
	Andina Occidental	Cauca- Romeral
		Dagua
		Cañasgordas-Baudó
	Buritica-San Jacinto	
de La Guajira		

Fuente: MMC, 2020.

En la siguiente figura se muestran las entidades y cinturones metalogénicos definidos en el MMC, 2020:

Figura 1. Entidades y Cinturones metalogénicos definidos en el MMC, 2020



Fuente: tomado del MMC, 2020.

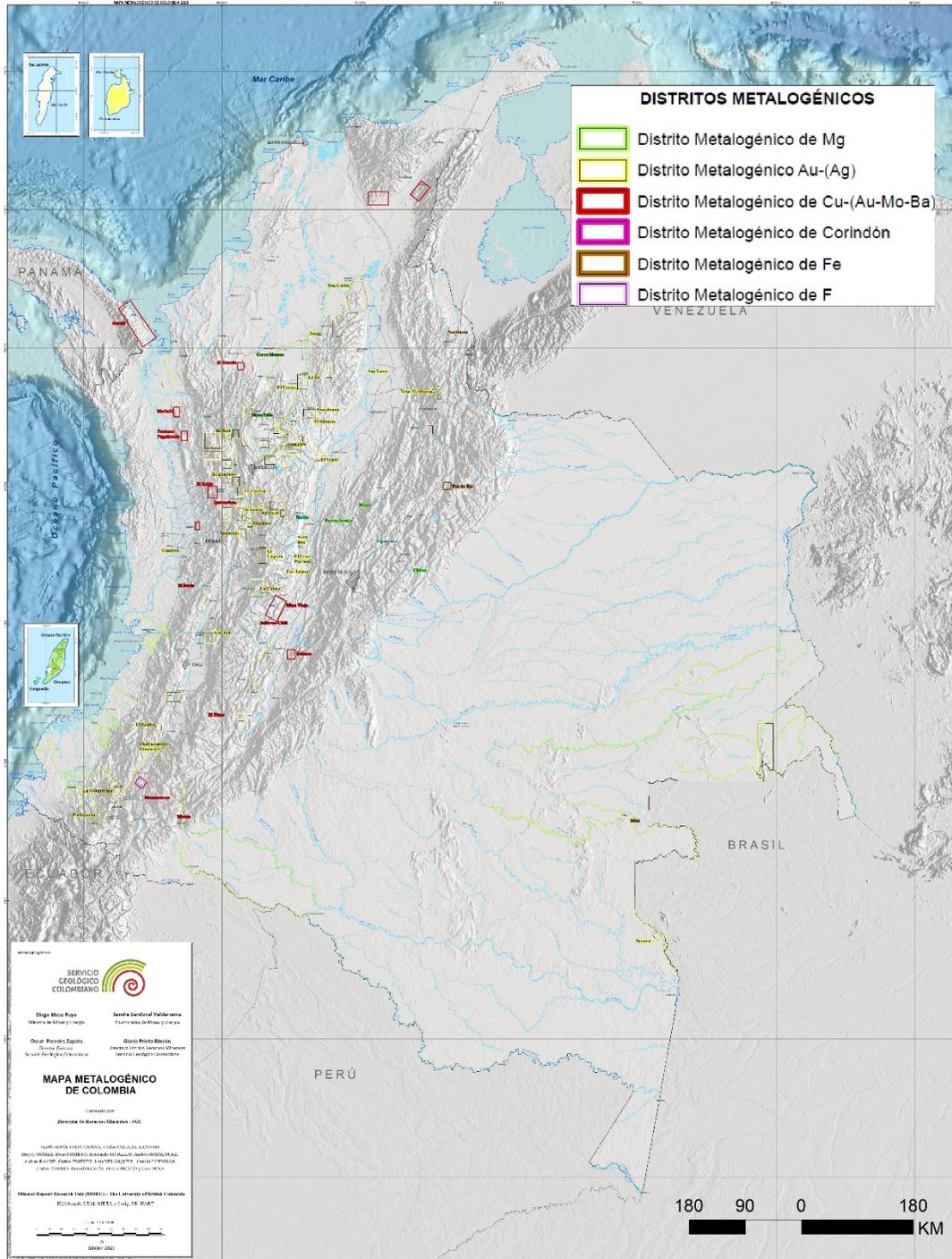
Tabla 2. Cinturón metalogénico y cinturón esmeraldífero

MINERAL/S	CINTURÓN METALOGÉNICO
Au Au-Ag Au-Cu Cu-Au Cu-Mo	Au Relacionado a intrusivos del Oligoceno Mioceno Au relacionado a intrusivos del Jurásico Cretácico Orogénico de Au-Ag del Paleoceno Pórfido epitermal de Au-Ag (-Cu) del Mioceno Pórfido epitermal de Au-Cu del Mioceno Pórfido epitermal de Cu - Au del Mioceno Pórfido epitermal de Cu - Au del Eoceno (?) Pórfido epitermal de Cu - Au del Cretácico Pórfido epitermal de Cu - Mo (-Au) del Eoceno
Au-Ag Cu-Ag	Orogénico de Au-Ag del Paleoceno Pórfido epitermal de Au-Ag (-Cu) del Mioceno Hospedado en sedimentos de Cu - Ag del Jurásico
Au-Ag (-Cu) Au-Cu Cu-Mo Cu-Ag	Pórfido epitermal de Au-Ag (-Cu) del Mioceno Pórfido epitermal de Au-Cu del Mioceno Pórfido epitermal de Cu - Au del Mioceno Pórfido epitermal de Cu - Au del Eoceno (?) Pórfido epitermal de Cu - Au del Cretácico Pórfido epitermal de Cu - Mo (-Au) del Eoceno Hospedado en sedimentos de Cu - Ag del Jurásico
Cu-Mo (-Au)	Pórfido epitermal de Cu - Mo (-Au) del Eoceno
Ni-Fe-Co	Ofiolítico de Ni - Fe - Co del Cretácico
Cr	Ofiolítico de Cr del Permo - Triásico
MINERAL	CINTURÓN ESMERALDÍFERO
Esmeraldas	Esmeraldífero occidental del Eoceno (?) Esmeraldífero Oriental del Paleoceno (?)

Fuente: MMC, 2020.

ANEXO 6.
Distritos metalogénicos (Mapa Metalogénico de Colombia – 2020).

Figura 1. Proyectos con recursos minerales calculados para minerales principales y/o secundarios.



Fuente: Modificado del MMC 2020, Distritos Metalogénicos.

ANEXO 7.
Depósitos o yacimientos con recursos minerales calculados para minerales principales y/o secundarios. (21/04/2023)

Tabla 1. Proyectos con recursos minerales calculados para minerales principales y/o secundarios

ORO								
Proyecto	Departamento	Empresa	RESERVAS (TON)					
			Probadas (ton)	Tenor (Au g/t)	Metal Contenido (Au oz x 1,000)	Probables (ton)	Tenor (Au g/t)	Metal Contenido (Au oz x 1,000)
Marmato	Caldas	Aris Mining Corporation	2.195,50	4,31	3.014	29,081.8	3,08	2.874
Segovia	Antioquia		203.738 (sector Provincia)	12	78.587 (in situ)	2086736 (Sectores Providencia, Carla, Sandra K, El Silencio)	9,93	666.073
Cisneros	Antioquia	Antioquia Gold						
Buriticá	Antioquia	Zijin Continental Gold						
Operación Aluvial	Antioquia	Mineros S.A.	317.284 (000 m3)	109 (mg/m3 Au)	990	58589 (000 m3)	108 (mg/m3 Au)	181
El Roble	Chocó	Atico Mining Corporation	950.200	1,78		51.300	1,45	
San Matías	Córdoba	Córdoba Minerals				102.100.000	0,26 % diluido	
La Mina	Antioquia	Gold Mining						
La Mina- Cerro Vetas	Antioquia							
La Mina- Chisperos	Antioquia							
La Mina - NW Breccia	Antioquia							
La Cumbre (Quinchía)	Risaralda	Batero Gold						
Gramalote	Antioquia	B2 Gold Corp						
El Zancudo	Antioquia	Denarius Metals Corp						
Nuevo Chaquiro	Antioquia	Anglo Gold Ashanti						
La Bodega (California)	Santander							
Vetas	Santander							
Yarumalito	Antioquia	Gold Mining						
Tolda Fría	Caldas	Tolda Fría Gold Mining						
Miraflores	Risaralda	Miraflores Compañía Minera S.A.S.						
Dosquebradas	Risaralda							
Nechí (El Catorce, Santa Elena, Santa María)	Antioquia	Mineros S.A.						

ORO										
Proyecto	RECURSOS (TON)									Fuente de información
	Medidos (ton)	Tenor (Au g/t)	Metal Contenido (Au oz x 1,000)	Indicados (ton)	Tenor (Au g/t)	Metal Contenido (Au oz x 1,000)	Inferidos (ton)	Tenor (Au g/t)	Metal Contenido (Au oz x 1,000)	
Marmato										https://sedar.com/GetFile.do?lang=EN&docClass=24&ssuerNo=00003116&issuerType=03&projectNo=03461399&docId=5317467
Segovia										https://sedar.com/GetFile.do?lang=EN&docClass=24&ssuerNo=00003116&issuerType=03&projectNo=03380707&docId=5199772
Cisneros	291	4,34	41	457	5	73	728	4,94	116	https://sedar.com/CheckCode.do
Buriticá	990.000	20,4	650	7.410.000	9	2.150	16.700.000	7,8	4.200	https://sedar.com/GetFile.do?lang=EN&docClass=24&ssuerNo=00004532&issuerType=03&projectNo=02280449&docId=3659628
Operación Aluvial	510 Mm3	81 (mg/m3 Au)	1,175	18 Mm3	67 (mg/m3Au)	36				https://sedar.com/GetFile.do?lang=EN&docClass=24&ssuerNo=00051967&issuerType=03&projectNo=03279662&docId=5045473
El Roble	1.039.200	2,29	76,5	135.200	2,62	11,4	17.100	3,41	1,9	https://sedar.com/GetFile.do?lang=EN&docClass=24&ssuerNo=00032350&issuerType=03&projectNo=03169866&docId=4889746
San Matías				121.900.000	0,28	1.092,56	5.100.000	0,206	34,731	https://sedar.com/CheckCode.do
La Mina	33.772.000	0,73	793,55				56.231.000	0,58	1.049.348	https://sedar.com/GetFile.do?lang=EN&docClass=24&ssuerNo=00031036&issuerType=03&projectNo=03496823&docId=5366271
La Mina- Cerro Vetas	85.000.000	0,39	1.060	254.400.000	0,35	2.860				https://sedar.com/GetFile.do?lang=EN&docClass=24&ssuerNo=00031036&issuerType=03&projectNo=03214284&docId=5041665
La Mina- Chisperos				60.400.000	0,48	940				https://sedar.com/GetFile.do?lang=EN&docClass=24&ssuerNo=00031036&issuerType=03&projectNo=03214284&docId=5041665
La Mina - NW Breccia				34.800.000	0,61	690				https://sedar.com/GetFile.do?lang=EN&docClass=24&ssuerNo=00031036&issuerType=03&projectNo=03214284&docId=5041665
La Cumbre (Quinchía)	20.014.332	0,759	488,336	4.838.786	0,546	84,864	8.914.657	0,628	179,876	https://sedar.com/CheckCode.do
Gramalote				78.200.000	0,85	2.140	129.200.000	0,68	2.830	https://sedar.com/GetFile.do?lang=EN&docClass=24&ssuerNo=00026119&issuerType=03&projectNo=03023731&docId=4674555
El Zancudo							2.776.000	6,5	576	https://sedar.com/CheckCode.do
Nuevo Chaquiro					0,37	7.130				AngloGold Ashanti Ltd. (2020). Mineral resource and ore reserve report 2019. 240 p. Republic of South Africa. Disponible en: www.anglogoldashanti.com , www.aga-reports.com .
La Bodega (California)					3,88	3.470				Altman, K., Sim, R., Davis, B., Prens, N., Eifen, S. & Fischer, B. (2010). Preliminary assessment La Bodega project, Department of Santander, Colombia. Reporte técnico Canadian National Instrument NI 43-101 prepared for Ventana Gold Corporation. Samuel Engineering Inc. Greenwood, Village, Colorado.
Vetas					5,53	1.010				Barnett, W. & Dishaw, G. (2014). Independent technical report on the Vetas gold project, Santander department, republic of Colombia. Canadian National Instrument NI 43-101 technical report prepared by SRK Consulting (Canada) Inc. for CB Gold Inc., Vancouver, BC, Canada.
Yarumalito					0,58	1.230				Mosher, G. Z. (2019). Yarumalito Gold-Copper Property. Canadian National Instrument NI-43-101 technical report prepared by Global Mineral Resource Services for GoldMining Inc. Departments of Antioquia and Caldas, Republic of Colombia, April 1, 2020.

Tolda Fría					2,39	950				Crowl, W. J. & Hulse, D. (2011). NI 43-101 technical report on the Toldafria project, Manizales, Colombia. Canadian National Instrument NI 43-101 technical report prepared by Gustavson Associates for Rio Novo Gold Inc. Lakewood, Colorado.
Miraflores					2,8	880				Los Cerros Ltd. (2020). Audited Financial Statements - 31 December 2019. Disponible en: https://www.loscerros.com.au/site/news/Annual-Reports .
Dosquebradas					0,71	460				Los Cerros Ltd. (2020). Audited Financial Statements - 31 December 2019. Disponible en: https://www.loscerros.com.au/site/news/Annual-Reports .
Nechí (El Catorce, Santa Elena, Santa María)					5,8	130				Horan, S., Holm, D., Krutzmann, H., & Wiatzka, G. (2020). Technical Report on the El Bagre operations and Nechi project, department of Antioquia. Canadian National Instrument NI 43-101 technical report, readressed to Soma Gold Corp. Toronto, ON, Canada.

COBRE								
Proyecto	Departamento	Empresa	RESERVAS (TON)					
			Probadas (ton)	Tenor (Cu g/t)	% Cu equivalente	Probables (ton)	Tenor (Cu g/t)	% Cu equivalente
El Roble	Chocó	Atico Mining Corporation	950.200	3,05	3,85%	51.300	2,51	3,16
San Matías	Córdoba	Cordoba Minerals				102.100.000	0,41 % diluido	N.D.
La Mina	Antioquia	Gold Mining						
La Mina - Cerro Vetas	Antioquia							
La Mina - Chisperos	Antioquia							
La Mina - NW Breccia	Antioquia							
Mocoa	Putumayo	Libero Copper Corporation						
Nuevo Chaquiro	Antioquia	Anglo Gold Ashanti						
La Bodega (California)	Santander							
Pantanos Pegadorcito	Chocó							

COBRE										
Proyecto	RECURSOS (TON)									Fuente de información
	Medidos (ton)	Tenor (Cu g/t)	% Cu equivalente	Indicados (ton)	Tenor (Cu g/t)	% Cu equivalente	Inferidos (ton)	Tenor (Cu %)	% Cu equivalente	
El Roble	1.039.200	3,31	4,34 % (75.745.700 Lb de Cu)	135.200	2,89	4,06 % (8.597.700 Lb de Cu)	17.100	0,49	2,03 % (186.400 Lb de Cu)	https://sedar.com/GetFile.do?lang=EN&docClass=24&issuerNo=00032350&issuerType=03&projectNo=03169866&docId=4889746
San Matías				121.900.000	0,42	0,64 % (1.142.200 MLb de Cu)	5.100.000	0,204	0,39 % (22.900.000 Lb de Cu)	https://sedar.com/CheckCode.do
La Mina	33.772.000	0,21%	1,06 (159.407.000 Lb de Cu)				56.231.000	0,14	171.429.000 Lb de Cu	https://sedar.com/GetFile.do?lang=EN&docClass=24&issuerNo=00031036&issuerType=03&projectNo=03496823&docId=5366271
La Mina - Cerro Vetas	85.000.000	0,15%	285,6 MLb de Cu	254.400.000	0,14	775.700.000 MLb de Cu				https://sedar.com/GetFile.do?lang=EN&docClass=24&issuerNo=00031036&issuerType=03&projectNo=03214284&docId=5041665
La Mina - Chisperos				60.400.000	N.D.	N.D.				https://sedar.com/GetFile.do?lang=EN&docClass=24&issuerNo=00031036&issuerType=03&projectNo=03214284&docId=5041665

La Mina - NW Breccia				34.800.000	N.D.	N.D.				https://sedar.com/GetFile.do?lang=EN&docClass=24&issuerNo=00031036&issuerType=03&projectNo=03214284&docId=5041665
Mocoa							636.000.000	0,33	0,45 % (4.600 MLb de Cu)	https://sedar.com/GetFile.do?lang=EN&docClass=24&issuerNo=00027216&issuerType=03&projectNo=02786235&docId=4341376
Nuevo Chaquiro						0,73% (4,39 Mt de Cu)				AngloGold Ashanti Ltd. (2020). Mineral resource and ore reserve report 2019. 240 p. Republic of South Africa. Disponible en: www.anglogoldashanti.com , www.aga-reports.com .
La Bodega (California)						0,14 % (0,004 Mt de Cu)				Altman, K., Sim, R., Davis, B., Prens, N., Eifen, S. & Fischer, B. (2010). Preliminary assessment La Bodega project, Department of Santander, Colombia. Reporte técnico Canadian National Instrument NI 43-101 prepared for Ventana Gold Corporation. Samuel Engineering Inc. Greenwood, Village, Colorado.
Pantanos Pegadorcito						0,60 % (0,37 Mt de Cu)				Álvarez, E., Parra, E., Caballero, H. & Nugteren, H. (1983). Estudio para justificación de la prefactibilidad en el prospecto de pórfido cuprífero de Pantanos-Pegadorcito, departamento de Antioquia. Ingeominas, 172p., Medellín.

MOLIBDENO									
Proyecto	Departamento	Empresa	RESERVAS (TON)						
			Probadas (ton)	Tenor (Mo g/t)	% Mo equivalente	Probables (ton)	Tenor (Mo g/t)	% Mo equivalente	
Mocoa	Putumayo	Libero Copper Corporation							
Nuevo Chaquiro	Antioquia	Anglo Gold Ashanti							
Pantanos Pegadorcito	Chocó					97 ppm		0,01 Mt de Mo	
Berlín	Caldas	U308 Corp - Green Shift Commodities							

MOLIBDENO										
Proyecto	RECURSOS (TON)									Fuente de información
	Medidos (ton)	Tenor (Mo g/t)	% Mo equivalente	Indicados (ton)	Tenor (Mo g/t)	% Mo equivalente	Inferidos (ton)	Tenor (Mo %)	Metal contenido (Lb Mo)	
Mocoa							636.000.000	0,036	510,5 MLb de Mo	https://sedar.com/GetFile.do?lang=EN&docClass=24&issuerNo=00027216&issuerType=03&projectNo=02786235&docId=4341376
Nuevo Chaquiro					141 ppm	0,09 Mt de Mo				AngloGold Ashanti Ltd. (2020). Mineral resource and ore reserve report 2019. 240 p. Republic of South Africa. Disponible en: www.anglogoldashanti.com , www.aga-reports.com .
Pantanos Pegadorcito										Álvarez, E., Parra, E., Caballero, H. & Nugteren, H. (1983). Estudio para justificación de la prefactibilidad en el prospecto de pórfido cuprífero de Pantanos-Pegadorcito, departamento de Antioquia. Ingeominas, 172p., Medellín.
Berlín				0,6 Mt	570 ppm	0,8 Mt	8,1 Mt	620 ppm	11 MLb de Mo	https://www.globenewswire.com/en/news-release/2022/08/05/2493155/0/en/U308-Corp-Commences-Trading-on-the-TSXV-and-Announces-Corporate-Update.html

HIERRO										
--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Proyecto / Prospecto	RESERVAS			RECURSOS (Mt)	Fuente de información
	PROBADAS (Mt)	PROBABLES (Mt)	POSIBLES (Mt)		
Las Mercedes (Ubalá)	4,117	16,814	22,030	150,50 Mt de Fe	Cruz y Camacho (1971) y Geocolombia (1968), citados por Servicio Geológico Colombiano. Recursos Minerales de Colombia, Volumen 2; página 164
Paz del Rio	100				Reyes y Valentino de Reyes, 1976, citado en Servicio Geológico Colombiano. Recursos Minerales de Colombia, Volumen 2; Página 153.
	31,71				2001 UPME, 2015, citado en Servicio Geológico Colombiano. Recursos Minerales de Colombia, Volumen 2; Página 153.
Sabanalarga (oolítico)	25,984				Con espesor de 3 m (t (Cruz, 1971, citado por Servicio Geológico Colombiano. Recursos Minerales de Colombia, Volumen 2; Página 155.

NÍQUEL												
Proyecto	Reservas (Mt)	Tenor	Recursos (Mt)	Medidos (Mt)	Tenor	Indicados (Mt)	Tenor	Mineral Contenido	Inferidos (Mt)	Tenor	Mineral Contenido	Fuente de información
Cerro Matoso (South 32)	27	1,20%	322	130	1%	175	0,80%		17	0,80%		https://www.south32.net/docs/default-source/annual-general-meetings/2022/annual-report-2022.pdf?sfvrsn=8b529d95_1
Berlin (Caldas). U308 Corp - Grrn Shift Commodities						0,6	0,20%	3,1 MLb de Ni	8,1 Mt	0,20%	8,1 MLb de Ni	https://sedar.com/DisplayCompanyDocuments.do?lang=EN&issuerNo=00024507

FOSFATOS										
Proyecto	Departamento	Empresa	RECURSOS						Fuente de información	
			Indicados (Mt)	Tenor	Mineral Contenido	Inferidos (Mt)	Tenor	Mineral Contenido		
Berlin	Caldas	U308 Corp - Grrn Shift Commodities	0,6 Mt	8,40%	0,05 Mt	8,1 Mt	9,40%	0,76 Mt		https://www.globenewswire.com/en/news-release/2022/08/05/2493155/0/en/U308-Corp-Commences-Trading-on-the-TSXV-and-Announces-Corporate-Update.html

FOSFATOS	
ÁREAS EVALUADAS POR EL SGC	POTENCIAL ALTO (RECURSOS HIPOTÉTICOS)
Departamento de Boyacá	46.217.723 ton con espesor de capas de fosfato entre 0,2 a 0,7 m y entre 15 y 27 % de P2O5.
Departamento del Huila	456.340.130 ton con espesor de capas de fosfatos entre 0,2 a 1,3 m y entre 18,15 y 30,59 % de P2O5.

CALIZA					
Potencial 2012 (Mt)	% Ca CO3 (variable según zona)	RECURSOS (Mt)			Fuente de información
		Medidos	Indicados	Inferidos	
17.833,28	72,46 A 97,19	252,83	2.311,14	15.269	https://www2.sgc.gov.co/Publicaciones/Cientificas/NoSeriadadas/Documents/Caliza-en-Colombia-geologia.PDF

ZINC										
Proyecto	Departamento	Empresa	RECURSOS						Fuente de información	
			Indicados (Mt)	Tenor	Mineral Contenido	Inferidos (Mt)	Tenor	Mineral Contenido		
Berlin	Caldas	U308 Corp - Grrn Shift Commodities	0,6 Mt	0,30%	4,4 MLb	8,1 Mt	0,30%	45 MLb de Zinc		https://www.globenewswire.com/en/news-release/2022/08/05/2493155/0/en/U308-Corp-Commences-Trading-on-the-TSXV-and-Announces-Corporate-Update.html

TIERRAS RARAS										
Mineral	Proyecto	Departamento	Empresa	RECURSOS						Fuente de información
				Indicados (Mt)	Tenor	Mineral Contenido	Inferidos (Mt)	Tenor	Mineral Contenido	
Itrio	Berlín	Caldas	U308 Corp - Grrn Shift Commodities	0,6 Mt	460 ppm	290 t	8,1 Mt	500 ppm	4.100 t de Itrio	https://www.globenewswire.com/en/news-release/2022/08/05/2493155/0/en/U308-Corp-Commences-Trading-on-the-TSXV-and-Announces-Corporate-Update.html
Neodimio				0,6 Mt	110 ppm	70 t	8,1 Mt	100 ppm	810 t de Neodimio	

VANADIO										
Proyecto	Departamento	Empresa	RECURSOS						Fuente de información	
			Indicados (Mt)	Tenor	Mineral Contenido	Inferidos (Mt)	Tenor	Mineral Contenido		
Berlín	Caldas	U308 Corp - Grrn Shift Commodities	0,6 Mt	0,40%	5,9 Mt	8,1 Mt	0,50%	90 MLd de Vanadio	https://www.globenewswire.com/en/news-release/2022/08/05/2493155/0/en/U308-Corp-Commences-Trading-on-the-TSXV-and-Announces-Corporate-Update.html	

URANIO										
Proyecto	Departamento	Empresa	RECURSOS						Fuente de información	
			Indicados (Mt)	Tenor	Mineral Contenido	Inferidos (Mt)	Tenor	Mineral Contenido		
Berlín	Caldas	U308 Corp - Grrn Shift Commodities	0,6	0,11%	1,5Mlbs	8,1	0,11%	19,9Mlbs	https://sedar.com/DisplayCompanyDocuments.do?lang=EN&issuerNo=00024507	

TITANIO										
RECURSOS						Fuente de Información				
El total de los recursos inferidos de la zona mineralizada de ilmenita asciende a 4772000 t, las cuales pueden ser más si se comprueba mayor profundidad						Servicio Geológico Colombiano. Recursos minerales de Colombia 2019 pág. 161				

CARBÓN METALÚRGICO										
RECURSOS Y RESERVAS						Fuente de información				

Tabla 2. Recursos más reservas de carbón en Colombia

Zona Carbonífera	Reservas - Recursos (millones de t)			Potencial	Uso
	Medidos	Indicados	Inferidos		
1. La Guajira	1541	673	520	2735	Térmico
2. Cesar	2282	2751	136	5171	Térmico
3. Córdoba-Norte de Antioquia	381	341	-	722	Térmico
4. Antioquia-Antiguo Caldas	90	225	132	448	Térmico
5. Valle del Cauca	41	92	97	231	Térmico
6. Huila Tolima	NE	NE	NE	-	D
7. Cundinamarca	160	476	625	1.262	Térmico
	97	267	190	555	Metalúrgico
	257	744	816	1818	Térmico+Metalúrgico
8. Boyacá	153	690	1387	2230	Térmico
	93	379	383	856	Metalúrgico
	246	1069	1770	3087	Térmico+Metalúrgico
9. Santander	46	231	124	402	Térmico
	11	25	51	88	Metalúrgico
	58	257	176	490	Térmico+Metalúrgico
10. Norte de Santander	48	123	184	356	Térmico
	71	193	182	447	Metalúrgico
	119	317	366	803	Térmico+Metalúrgico
11. Borde Llanero	0,76	NE	4	5	Térmico
12. Llanura Amazónica	NE	NE	NE		D
Total potencial costa Atlántica		7906			Térmico
Total potencial en el interior		7607			Térmico+Metalúrgico
Potencial en el interior por uso		5659			Térmico
		1947			Metalúrgico
Total potencial en el país		15.513			Térmico+Metalúrgico

Fuente: Ingeominas, 2010.

El carbón colombiano: Recursos, reservas y calidad (Ingeominas; 2012)

<https://libros.sqc.gov.co/index.php/editorial/catalog/view/64/754/469>

Fuente: construcción propia con datos de las fuentes relacionadas en las columnas "fuente de información".

 Nota: la página web de sedar (sedar.com) para la consulta de los informes técnicos NI-43101 cambió, por lo que se recomienda realizar la consulta en la nueva página web: <https://www.sedarplus.ca>.

ANEXO 8.
Explotación de minerales en Colombia durante el período 2018 - 2022^{Pr}

Tabla 1. Explotación de minerales en Colombia asociada a pagos de regalías durante el período 2018-2022^{Pr}

Mineral	Unidad de Medida	2018	2019	2020	2021	2022 ^{Pr}	
Oro	Kilogramos	35.965	38.007	48.561	55.321	48.020	
Plata		16.691	14.479	19.948	26.698	33.438	
Platino		270	178	414	618	447	
Cobre		1.718	2.233	545	1.070	100.795	
Cromo - cromita			60.000	146.465		35.372	
Estaño			31.379	233.051			
Niobio			24.335	94			
Plomo					0,04	0,03	
Tantalio			645	633.549	75		
Volframio				3	750		
Zinc						36.996	
Níquel		Libras	94.919.782	89.444.342	79.573.145	84.435.970	92.187.312
Arena de cantera		Metros cúbicos			9.769		
Arenas	7.188.409		7.696.245	5.352.823	5.860.649	4.524.826	
Arenas silíceas	614.647		390.030	198.869	138.851	245.229	
Asfaltita	23.474		38.607	29.311	6.878	18.575	
Diabasa	1.265.342		1.211.409	1.261.921	1.138.380	1.501.880	
Gravas	15.561.627		16.938.640	12.939.962	14.079.565	11.426.249	
Mármol (bloque mayor o igual a 1 m3)	1.887		1.205	694	688	432	
Mármol (bloque menor a 1 m3)	2.052		2.770	863	1.158	5.731	
Mármol en rajón (retal de mármol)	39.288		44.914	37.923	31.717	48.031	
Mármol en rajón (retal de mármol)	807		659	1.821	6.278	1.236	
Piedra arenisca-piedra bogotana	6.296		13.133				
Recebo	11.586.240		10.270.425	6.591.356	7.796.308	5.804.399	
Roca coralina (bloque mayor o igual a 1 m3)			160				
Roca coralina (bloque menor a 1 m3)	85		127	26	58	2.581	
Serpentina (bloque menor a 1 m3)	48						
Travertino y calizas cristalinas en bloque mayor o igual a 1 m3	456		554	60	304	486	
Travertino y calizas cristalinas en bloque menor a 1 m3	874		463	851	776	925	
Esmeraldas en bruto	Quilates		1.935.671	613.716	1.555.470	863.991	914.323
Esmeraldas engastada		182	3	10			
Otras esmeraldas		1.408.424	1.013.519	3.117.799	2.226	9.010	
Esmeraldas talladas		203.681	151.885	47.744	633.225	168.674	
Arcillas	Toneladas	940	-			21.076	

Mineral	Unidad de Medida	2018	2019	2020	2021	2022 ^{Pr}
Arcillas bentonítica		166.778	145.643	185.418	88.339	58.815
Arcillas caolínica		70.799	96.051	29.372	71.699	40.487
Arcillas cerámicas		1.953.137	2.346.912	1.184.427	1.585.222	2.269.188
Arcillas ferruginosas		150.840	131.430	271.028	44.448	208.452
Arcillas misceláneas		3.131.977	3.505.817	2.990.867	1.967.747	2.009.318
Asbesto		3.550				
Barita		3.210	2.270	2.046	1.164	1.034
Basalto		184.651	336.710	450.031	311.290	258.669
Bauxita		13.666	18.033	9.595	28.567	
Calizas		19.989.305	21.055.660	18.514.399	21.319.585	22.226.347
Carbón		87.215.057	86.756.243	55.626.839	60.648.129	61.669.289
Carbonato de calcio		3.309	14	2	9	2
Cuarzo		425	690			21
Dolomita		144.434	94.502	77.540	72.392	86.353
Feldespatos		141.794	180.235	134.847	99.755	132.322
Fluorita		46				
Grafito			135			
Hierro		575.578	667.207	787.121	750.095	497.481
Manganeso		211	392	29	359	408
Mica		239	252	322	305	609
Mineral de magnesio (magnesita)		1.039	1.847	1.077	3.116	2.694
Puzolanas		266.721	296.283	280.481	267.657	393.690
Roca fosfórica		52.945	81.903	57.878	51.834	41.467
Sal		423.316	376.309	409.976	370.318	379.081
Serpentina (silicato de magnesio)		20.451	22.491	27.167	6.088	1.486
Serpentina en rajón			1.392		15.778	30.367
Talco		2.522	1.708	717	3.170	5.222
Yeso		396.372	294.137	321.899	397.454	470.182

Fuente: construcción propia con datos sobre explotación de minerales asociada al pago de regalías del Grupo de Regalías y Contraprestaciones Económicas ANM, datos al 31 de julio de 2023. Pr: preliminar.

Explotación de carbón en Colombia por departamento (Incluye carbón metalúrgico)

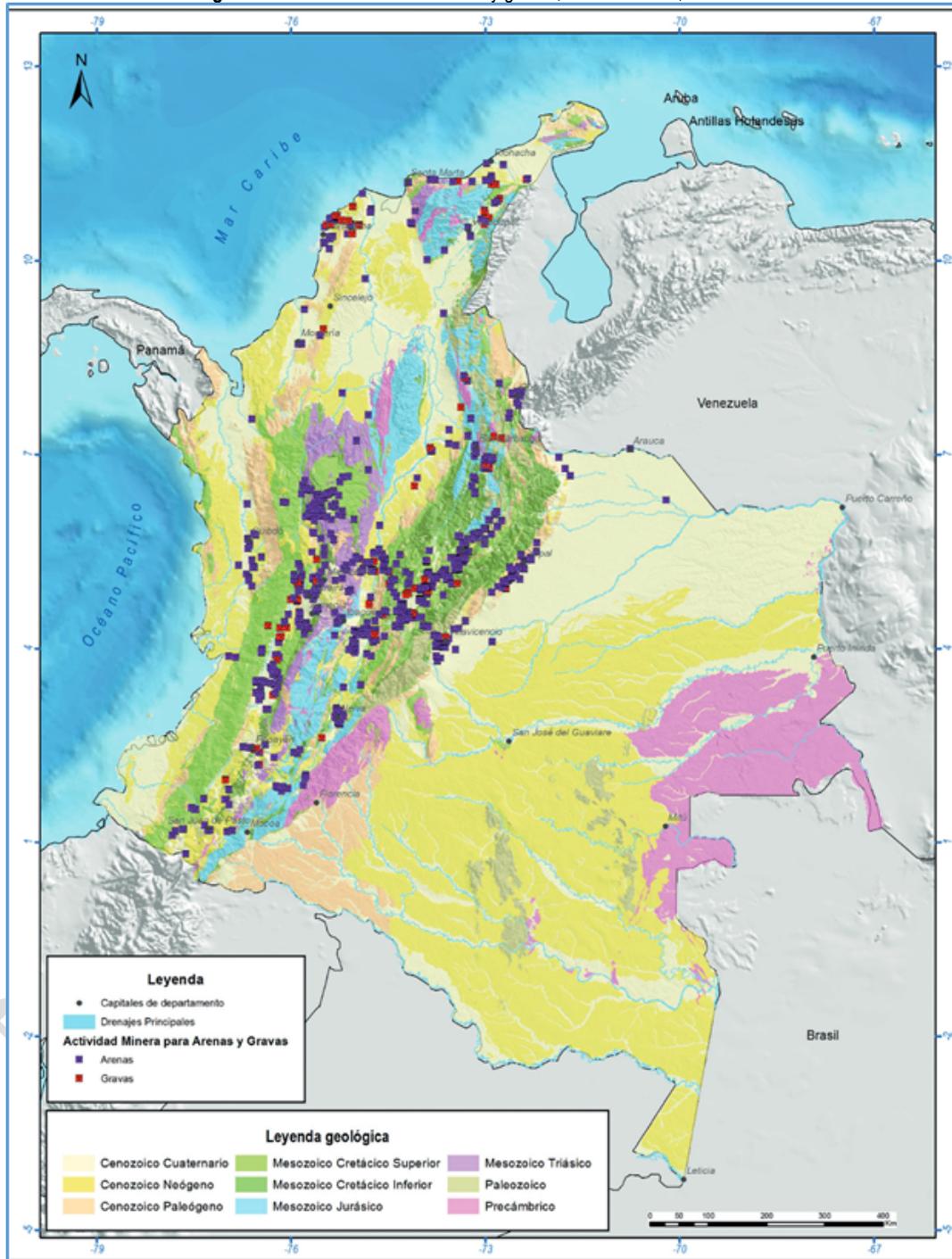
Tabla 2. Explotación de carbón en Colombia asociada a pagos de regalías durante el período 2018-2022^{Pr}

Departamento	Unidad de Mediada	2018	2019	2020	2021	2022 ^{Pr}	
Antioquia	Toneladas	94.527	130.146	143.451	243.107	194.023	
Boyacá		2.879.651	2.252.000	2.630.554	1.837.284	2.458.036	
Casanare		2.116	807	641			
Cauca		62.282	24.612	11.818	6.653	7.173	
Cesar		46.615.941	52.025.244	34.597.341	29.605.601	30.263.782	
Córdoba		698.666	678.790	1.408.391	1.540.717	1.550.854	
Cundinamarca		2.594.741	2.419.561	1.937.472	1.751.489	2.208.639	
La Guajira		31.076.036	26.419.946	12.576.396	23.617.252	21.917.666	
Norte de Santander		2.782.625	2.569.840	2.199.356	1.714.280	2.775.731	
Santander		388.737	222.166	107.402	313.319	266.967	
Valle del Cauca		19.736	13.131	14.017	18.428	26.418	
Total			87.215.057	86.756.243	55.626.839	60.648.129	61.669.289

Fuente: construcción propia con datos sobre explotación de minerales asociada al pago de regalías del Grupo de Regalías y Contraprestaciones Económicas ANM, datos al 31 de julio de 2023. Lo resaltado en verde corresponde a departamentos con explotación de carbón metalúrgico. Pr: preliminar.

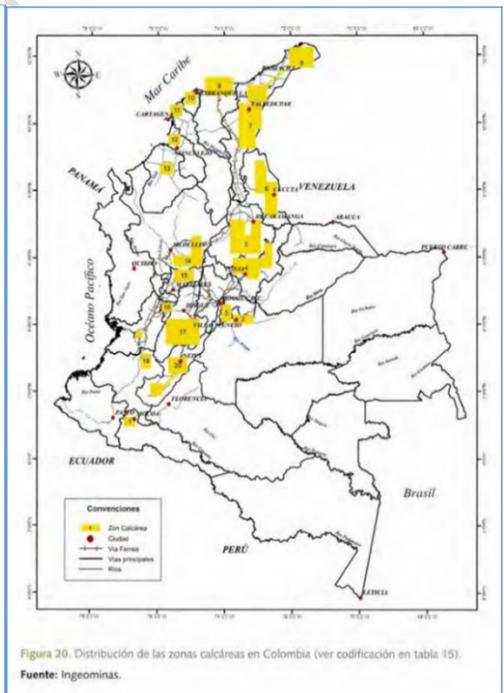
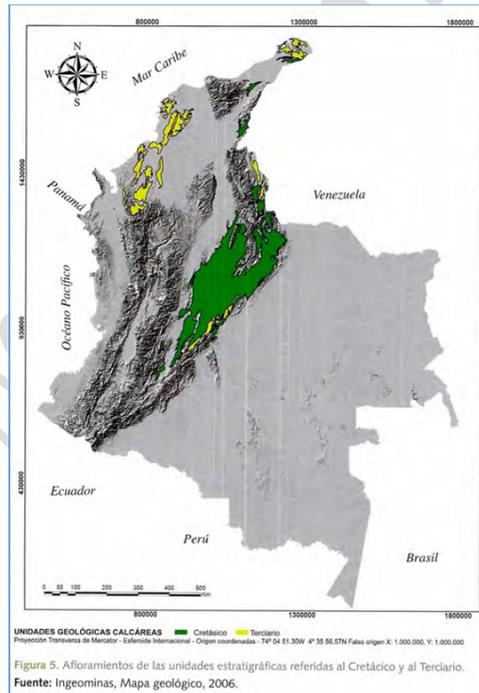
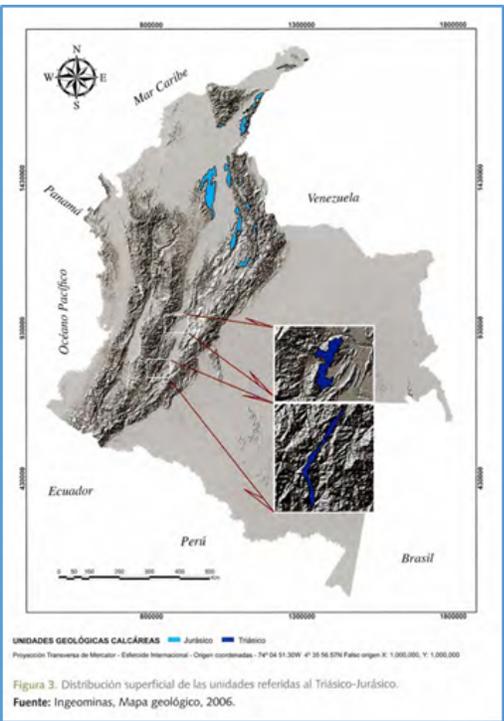
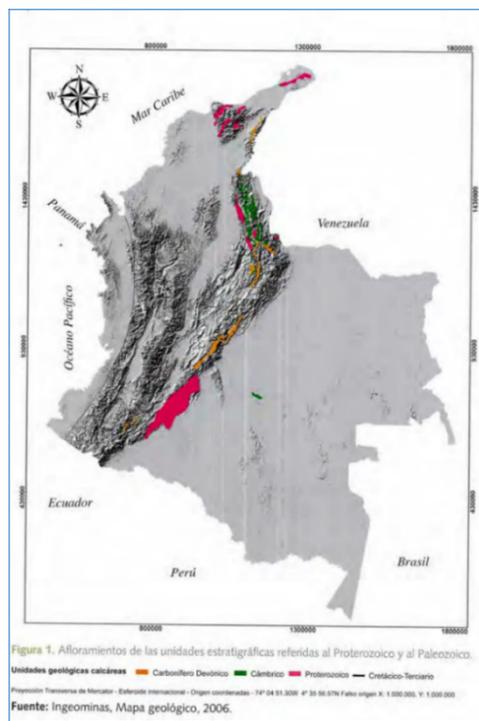
ANEXO 9.
Actividad minera de arenas y gravas, INGEOMINAS, 1994-2002

Figura 1. Actividad minera de arenas y gravas, INGEOMINAS, 1994-2002



Fuente: INGEOMINAS 2002.

ANEXO 10.
Afloramiento de unidades geológicas calcáreas y distribución de zonas calcáreas en Colombia (SGC; 2012)



Fuente: SGC 2012.

ANEXO 11.
Número de solicitudes de formalización en trámite, por mineral

Tabla 1. Número de solicitudes de formalización en trámite, por mineral

MINERAL	CANTIDAD DE SOLICITUDES EN TRÁMITE
Materiales de construcción	115
Minerales de oro y sus concentrados	80
Platino	25
Carbón metalúrgico	16
Arcilla	16
Esmeraldas	12
Caliza	11
Mineral de cobre	3
Mineral de hierro	3
Caolín	2
Roca fosfática	2
Arenas industriales	2
Minerales de antimonio	1
Minerales de Ni, W, Tantalio	1
Total	289

Fuente: Agencia Nacional de Minería 2023.

Nota: no se incluyen 21 solicitudes para carbón térmico, considerando las políticas del Gobierno Nacional relacionadas con una economía baja en carbono; se consideran las solicitudes para carbón metalúrgico por su uso en la producción de coque para la fabricación de acero.

Anexo 12.
Número de solicitudes de formalización de los minerales incluidos en la Tabla No. 2

Tabla 1. Número de solicitudes de formalización de los minerales incluidos en la Tabla No. 2

Mineral	Número de solicitudes de formalización minera, en trámite
Litio	0
Cobre	3
Níquel	0
Cobalto	0
Grafito	0
Uranio (& otros minerales radioactivos)	0
Tierras raras	0
Zinc	0
Molibdeno	0
Coltán (Niobio & Tantalio)	1
Oro y minerales asociados	80
Metales del Grupo del Platino (Platino, Paladio, Rutenio)	25
Hierro	3
Manganeso	0
Carbón metalúrgico	16
Fosfatos	2
Magnesio	0
Potasio	0
Azufre	0
Bauxita (Aluminio)	0
Materiales de construcción, incluyendo arcilla	115
Arenas silíceas – Silicio	2
Titanio	0
Vanadio	0
Tungsteno	0
Caliza	11
Yeso	0
Esmeraldas	12

Fuente: Agencia Nacional de Minería - Grupo de Legalización Minera (05/2023).

ANEXO 13.
Demanda para acceder a Áreas de Reserva Especial (AREs)

Tabla 1. Demanda para acceder a Áreas de Reserva Especial (AREs)

Mineral	Número de Áreas de reserva Especial declaradas	Número de solicitudes de Área de reserva Especial, en trámite
Litio	0	0
Cobre	0	1
Níquel	0	0
Cobalto	0	0
Grafito	0	0
Uranio (& otros minerales radioactivos)	0	0
Tierras raras	0	0
Zinc	0	0
Molibdeno	0	0
Coltán (Niobio & Tantalio)	0	0
Oro y minerales asociados	22	12
Metales del Grupo del Platino (Platino, Paladio, Rutenio)	0	0
Hierro	0	0
Manganeso	0	0
Carbón metalúrgico	13	8
Fosfatos	0	0
Magnesio	0	0
Potasio	0	0
Azúfre	0	0
Bauxita (Aluminio)	0	0
Materiales de construcción	57	15
Arenas silíceas – Silicio	0	0
Titanio	0	0
Vanadio	0	0
Tungsteno	0	0
Caliza	6	5
Yeso	0	0
Esmeraldas	0	3

Fuente: construcción propia a partir de información suministrada por el Grupo de Fomento de la ANM (05/05/2023).

ANEXO 14.
Número de mineros de subsistencia registrados en la Plataforma Génesis

Tabla 1. Número de mineros de subsistencia registrados en la Plataforma Génesis

Mineral	Número de barequeros registrados en la Plataforma Génesis
Litio	0
Cobre	0
Níquel	0
Cobalto	0
Grafito	0
Uranio (& otros minerales radioactivos)	0
Tierras raras	0
Zinc	0
Molibdeno	0
Coltán (Niobio & Tantalio)	0
Oro y minerales asociados	92.196*
Metales del Grupo del Platino (Platino, Paladio, Rutenio)	730*
Hierro	0
Manganeso	0
Carbón metalúrgico	0
Fosfatos	0
Magnesio	0
Potasio	0
Azufre	0
Bauxita (Aluminio)	0
Materiales de construcción	2.216**
Arenas silíceas – Silicio	0
Titanio	0
Vanadio	0
Tungsteno	0
Caliza	0
Yeso	0
Esmeraldas	2.975
Total mineros de subsistencia registrados:	98.117

Fuente: Agencia Nacional de Minería - Grupo de Regalías y Contraprestaciones Económicas (05/2023)

*: Toda vez que la información del aplicativo Génesis no se encuentra discriminada por cada uno de los metales preciosos, se asumió que los barequeros registrados en los municipios de Istmina y Condoto (Departamento del Chocó) corresponden a la explotación de platino.

** . Corresponden a arcilla, arenas de río y gravas de río (1.954) y arcillas (262).

ANEXO 15.
Minerales requeridos en la transición energética, para cada tecnología

Figura 1. Escenario de desarrollo sostenible

Escenario de Desarrollo Sostenible		
Demanda	2020	2040
(Miles de toneladas, kt)		
Generación baja en carbono	1 692	4 749
Solar PV	743	1 822
Cadmio	0,2	0,3
Cobre	346	989
Galio	0,0	2,8
Indio	0,0	0,1
Plomo	0,6	1,7
Selenio	0,0	0,1
Silicio	390	808
Plata	2,0	2,3
Telurio	0,2	0,3
Estaño	0,6	1,8
Zinc	3,2	9,0
Arsénico	0,0	6,9
Otros	0,2	0,6
Eólica	644	1 705
Cromo	29	75
Cobre	217	610
Manganeso	46	117
Molibdeno	6	16
Niquel	21	52
Zinc	321	822
Neodimio	3,1	9,0
Disprosio	0,3	1,0
Praseodimio	0,5	1,6
Terbio	0,1	0,4
Otros	0,1	0,3
Hidroeléctrica	81	128
Cromo	32	50
Cobre	22	35
Plomo	6	10
Magnesio	2,1	3,3
Manganeso	4,2	6,7
Molibdeno	5,3	8,4
Niquel	0,7	1,0
Zinc	8	13
Otros	-	-

Fuente: tomado de IEA 2023.

Figura 2. Escenario de desarrollo sostenible

Escenario de Desarrollo Sostenible		
Demanda	2020	2040
(Miles de toneladas, kt)		
Generación baja en carbono	1 692	4 749
Biomasa	25	59
Cobre	19	45
Plomo	0,9	2,1
Niquel	0,2	0,4
Titanio	3,4	8,0
Zinc	1,4	3,2
Otros	0,0	0,1
CSP	4	361
Cromo	1	91
Cobre	1	42
Magnesio	1	54
Manganeso	1	105
Molibdeno	0,0	2,1
Niquel	0,4	34,5
Niobio	0,0	2,5
Zinc	0,3	28,4
Otros	0,0	0,5
Geotérmica	144	606
Cromo	51	214
Cobre	2	8
Manganeso	3	14
Molibdeno	6	24
Niquel	81	340
Titanio	1	5
Otros	0	1
Nuclear	51	68
Cromo	21	28
Cobre	14	19
Hafnio	0,0	0,0
Plomo	0,4	0,6
Manganeso	1,4	1,9
Molibdeno	0,7	0,9
Niquel	12	17
Niobio	0,0	0,0
Plata	0,0	0,0
Estaño	0,0	0,1
Titanio	0,0	0,0
Wolframio	0,0	0,1
Vanadio	0,0	0,0
Circonio	0,3	0,4
Itrio	0,0	0,0
Otros	0,0	0,0

Fuente: tomado de IEA. CSP: Central termoeléctrica solar.

Figura 3. Escenario de desarrollo sostenible

Escenario de Desarrollo Sostenible		
Demanda	2020	2040
(Miles de toneladas, kt)		
Vehículos eléctricos y baterías	426	12 650
Vehículos Eléctricos	401	11 803
Cobre	110	3 119
Cobalto	21	441
Grafito	141	3 569
Litio	20	859
Manganeso	25	404
Níquel	80	3 287
Silicio	0	90
Neodimio	2	28
Otros Tierras Raras	0	7
Baterías de Almacenamiento	26	847
Cobre	8	211
Cobalto	0	14
Grafito	15	280
Litio	2	45
Manganeso	0	14
Níquel	0	57
Silicio	0	7
Vanadio	-	219

Fuente: tomado de IEA.

Figura 4. Escenario de desarrollo sostenible

Escenario de Desarrollo Sostenible		
Demanda	2020	2040
(Miles de toneladas, kt)		
Redes eléctricas	14 080	26 335
Cobre	4 975	10 007
Aluminio	9 104	16 327
Transmisión	5 985	9 326
Cobre	1 837	3 252
Aluminio	4 148	6 074
Distribución	7 700	16 161
Cobre	2 743	5 907
Aluminio	4 956	10 254
Trasnformación	395	848
Cobre	395	848
Hidrógeno	0	79
Electrólisis	0,0	17,5
Cobre	0,0	0,0
Cobalto	0,0	0,0
Niquel	0,0	15,4
Iridio	0,0	0,0
Platino	0,0	0,0
Circonio	0,0	2,1
Itrio	0,0	0,0
Lantano	0,0	0,0
FCEV	0,1	61,5
Cobre	0,1	61,4
Grupo Platino	0,0	0,1

Fuente: tomado de IEA. FCEV: Vehículo de celda de combustible.

ANEXO 16.
Recaudo de regalías y contraprestaciones económicas por la explotación de minerales en Colombia durante el periodo 2018 - 2022^{Pr}

Tabla 1. Recaudo de regalías y contraprestaciones económicas por la explotación de minerales en Colombia durante el periodo 2018 - 2022^{Pr}. Cifras en COP (pesos colombianos)

Mineral	2018	2019	2020	2021	2022 ^{Pr}
Arcillas	13.113.880	2.358.149			372.712
Arcillas bentonítica	28.520.282	25.632.213	34.554.865	16.964.290	14.563.131
Arcillas caolinítica	7.737.707	10.825.081	3.485.444	10.565.423	5.401.328
Arcillas cerámicas	324.119.494	402.847.248	212.943.761	285.495.962	504.832.258
Arcillas ferruginosas	25.869.675	23.208.932	53.826.562	8.395.467	48.736.758
Arcillas misceláneas	535.676.919	622.312.740	463.566.849	386.238.691	491.733.022
Arena de cantera			2.317.410		
Arenas	1.412.214.438	1.542.226.517	1.133.459.240	1.303.007.885	1.240.410.728
Arenas silíceas	260.059.283	196.411.731	103.621.156	61.303.167	136.983.030
Asbesto	1.796.183				
Asfaltita	68.655.627	127.707.213	96.065.805	23.944.020	83.476.465
Azufre					
Barita	16.511.453	12.094.687	11.415.304	6.812.655	7.455.728
Basalto	13.845.574	26.003.918	37.258.525	26.851.603	28.040.217
Bauxita	10.634.204	16.222.379	8.993.756	8.231.453	
Calizas	1.592.320.869	1.707.228.358	1.596.901.673	1.888.621.505	2.369.119.551
Carbón	2.279.841.290.857	2.017.542.408.591	1.129.266.510.708	1.939.205.199.798	7.108.089.419.035
Carbonato de calcio	8.031.095	24.923	6.982	18.085	3.760
Cobre	1.367.278	1.833.794	550.509	1.629.955	148.737.887
Cromo - cromita	885.701	1.866.635	2.689.985		1.226.411
Cuarzo	37.820	499.239			12.000
Diabasa	81.142.134	82.576.090	71.421.184	70.984.113	108.596.327
Dolomita	83.217.976	76.762.299	64.434.958	62.011.338	88.690.015
Esmeraldas	1.488.740.377	1.645.642.769	2.456.613.135	1.362.568.540	
Esmeraldas en bruto	1.205.583.290	1.350.727.262	1.317.465.230	1.013.158.840	1.195.546.047
Esmeraldas engastadas	1.450.030	556.029	1.070.671		
Otras esmeraldas	1.408.308	4.789.355	936.402	1.123.517	1.869.093
Esmeraldas talladas	5.054.363.275	4.649.051.667	851.772.825	5.773.010.137	4.683.283.342
Estaño		34.987.314	26.085.917		
Feldespatos	106.091.250	139.823.692	95.696.036	84.609.666	147.282.278
Fluorita	219.179				
Grafito		214.492			
Gravas	2.907.040.854	3.243.680.945	2.590.002.422	2.928.581.208	2.872.892.621

Mineral	2018	2019	2020	2021	2022 ^{Pr}
Hierro	2.776.997.124	3.156.312.551	3.610.639.863	4.177.734.170	2.612.577.725
Manganeso	4.388.902	3.670.281	352.396	11.660.486	6.568.132
Mármol (bloque mayor o igual a 1 m ³)	11.845.092	14.682.466	8.732.295	9.047.436	7.244.649
Mármol (bloque menor a 1 m ³)	2.499.240	3.746.154	1.216.936	1.745.394	10.928.249
Mármol en rajón (retal de mármol)	74.798.116	78.179.746	69.877.975	60.442.217	102.069.457
Mármol en rajón (retal de mármol)	1.370.458	780.046	3.320.758	10.773.030	2.951.825
Mica	770.600	835.400	1.083.500	1.075.305	2.617.495
Mineral de magnesio (magnesita)	7.830.089	15.194.162	26.516.503	29.320.594	28.746.110
Niobio		310.731	2.033.318		
Níquel	146.685.073.774	149.244.293.967	165.294.080.199	242.536.703.109	465.483.097.882
Oro	108.185.714.395	145.625.322.635	289.165.486.981	326.443.795.294	319.645.667.314
Piedra arenisca-piedra bogotana	1.230.336	2.910.700			
Plata	665.447.272	623.645.630	1.172.034.578	1.901.826.307	2.345.280.560
Platino	919.995.095	623.747.956	1.714.038.783	3.203.632.477	2.274.700.164
Plomo				13	12
Puzolanas	93.357.876	136.335.866	107.546.407	106.390.433	190.420.024
Recebo	984.927.043	900.917.025	605.682.919	734.820.795	687.954.178
Roca coralina (bloque mayor o igual a 1 m ³)		605.048			
Roca coralina (bloque menor a 1 m ³)	321.432	507.651	116.586	255.961	12.536.120
Roca fosfórica	201.801.396	289.942.250	186.849.316	174.323.103	172.147.806
Sal	3.097.555.501	2.463.881.236	2.447.004.701	2.303.363.805	2.873.186.652
Serpentina (bloque menor a 1 m ³)	912.550				
Serpentina (silicato de magnesio)	16.217.565	18.454.784	24.086.240	5.120.948	466.798
Serpentina en rajón	4.831.623	1.149.452		14.325.150	34.003.043
Talco	5.705.832	4.258.397	4.436.950	5.237.795	12.332.692
Tantalio	11.923.998	7.300.244	1.626.678		
Travertino y calizas cristalinas en bloque mayor o igual a 1 m ³	7.046.227	8.724.688	1.107.617	5.432.554	10.336.385
Travertino y calizas cristalinas en bloque menor a 1 m ³	4.713.061	2.306.422	3.255.151	3.518.597	5.025.419
Volframio		30.135	3.134.416		
Yeso	997.441.378	1.136.015.139	1.018.363.733	1.150.418.440	1.544.683.446
Zinc					18.387.537

Fuente: construcción propia con datos sobre explotación de minerales asociada al pago de regalías del Grupo de Regalías y Contraprestaciones Económicas ANM, datos al 31 de julio de 2023. Pr: preliminar.