

Casas



de

relave



Geopolímeros

Soluciones sostenibles para la gestión
de relaves en la industria minera



Casas de relave



Geopolímeros
Soluciones sostenibles para la gestión
de relaves en la industria minera

Con el apoyo de:



El conocimiento
es de todos

Minciencias

Un proyecto de:



UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA
1803

CIDEMAT

Centro de Investigación, Innovación y
Desarrollo de Materiales

Geopolímeros, soluciones sostenibles para la gestión de relaves en la industria minera

Coordinadora

Maryory Astrid Gómez

Doctora investigadora

Marllory Isaza Ruiz

Co-investigador

Harold Cardona Trujillo

Joven investigadora

Magali Restrepo Posada

Auxiliar de investigación

Andrés Arbeláez

Fotografías

Marllory Isaza Ruiz

Magali Restrepo Posada

Edición, ilustración y diagramación

Maria Paula Hernández Bergsneider

© Universidad de Antioquia, 2024

ISBN:

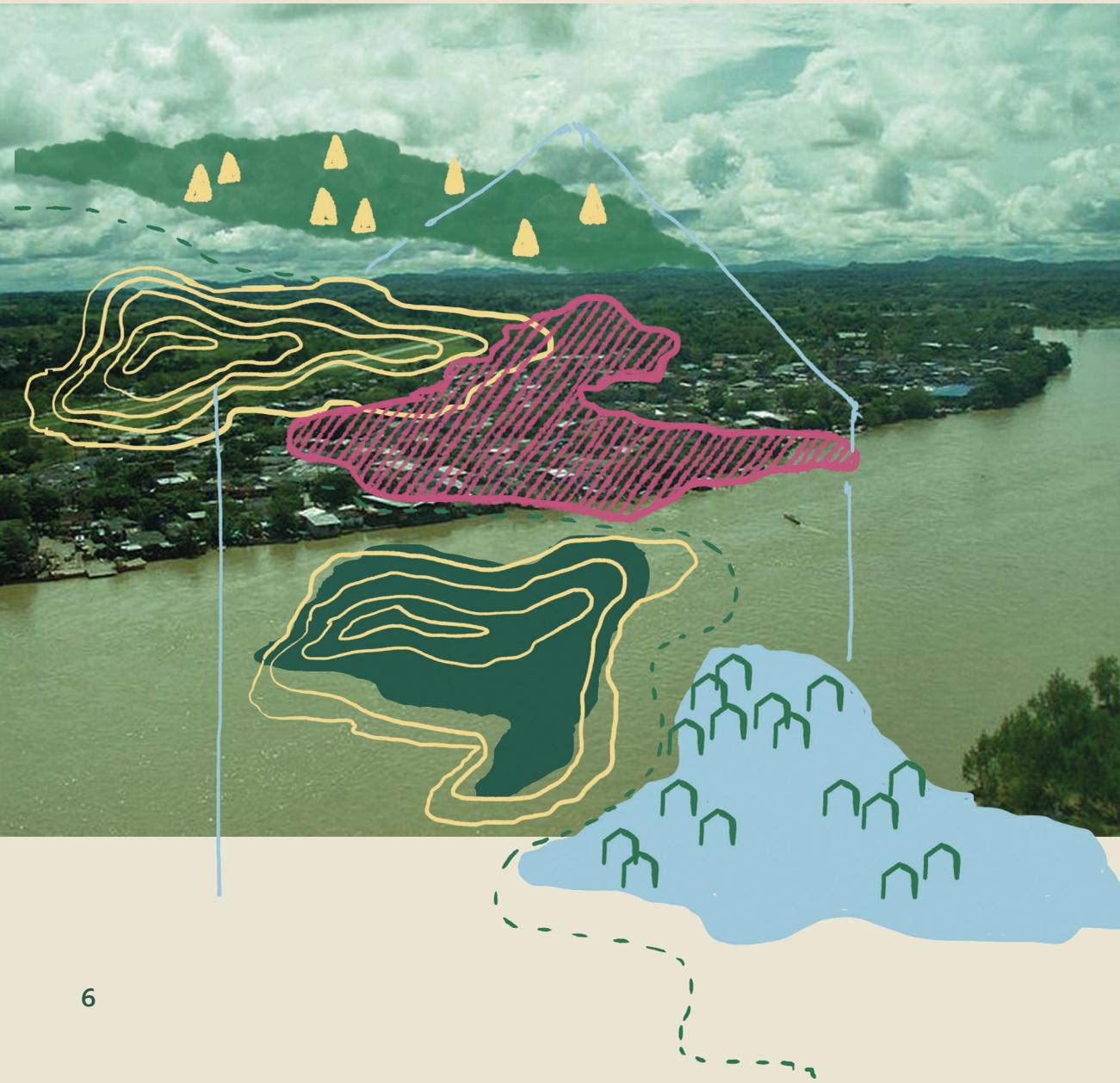


Contenido

Esta cartilla hace parte del proyecto de investigación “Aprovechamiento del relave minero de Antioquia para soluciones de vivienda mostrando su viabilidad socioeconómica para mejorar el bienestar de la población vulnerable”, adelantado por el Centro de Investigación, Innovación y Desarrollo de Materiales CIDEMAT de la Universidad de Antioquia para la convocatoria 935-2 023 del Programa Orquídeas: mujeres en la ciencia, agentes para la paz del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación.

Introducción: De la tierra nace la casa	6
Vamos a construir	8
¿Qué son los geopolímeros?	10
Un descubrimiento planetario	12
Geopolímeros en zonas mineras	14
Relaves mineros	16
Proceso de elaboración	18
Caracterización y propiedades	20
Podemos hacerlo realidad	22
Hábitat para la paz	24

De la tierra nace la casa



Los primeros hombres miraron a su alrededor y encontraron lo que necesitaban para construir las primeras casas. En las ramas de los árboles vieron columnas firmes y en las hojas más gruesas vieron un techo para cubrirse del sol y la lluvia. Así nacieron las cabañas primitivas: como un deseo de cuidado colectivo satisfecho en el entorno.

Tantos siglos después y aquí donde vivimos, ¿qué vemos a nuestro alrededor? Esta pregunta inspira el proyecto que tenemos entre manos. Partiendo de la extracción minera como principal actividad económica de la región, conoceremos el proceso de investigación que busca aprovechar el relave minero de Antioquia para proponer soluciones de vivienda viables que traigan bienestar a la población.

En estas páginas nos preguntaremos por los métodos convencionales que utilizamos para construir y su impacto ambiental. También analizaremos la composición del relave minero y las maneras en que podemos utilizarlo para reducir sus efectos contaminantes. Por último, conoceremos los procesos para aprovecharlo como material de construcción de forma eficiente y segura.

Mejores viviendas albergan territorios en paz. Con el aprovechamiento del relave minero como material de construcción sostenible, este proyecto busca favorecer el acceso a oportunidades en las comunidades mineras de Antioquia y promover mejores niveles de bienestar para vivir en paz.

¡Vamos a hacerlo juntos!



Los materiales y las técnicas que utilizamos para construir han variado a lo largo del tiempo en cada lugar. Cómo construimos y qué utilizamos son aspectos que dan cuenta de nuestra historia cultural y, a su vez, de las condiciones de nuestro territorio en el presente.

En algunas regiones es tradicional construir en madera y piedra, en otras es común usar la guadua, el bahareque y la tapia pisada. Por nuestra parte, en las zonas mineras de Antioquia, las construcciones más recientes están elaboradas en ladrillo y cemento.

Pero, ¿qué implicaciones tiene utilizar un material y no otro? ¿Cómo afecta al entorno y a las comunidades? ¿Podemos mejorar nuestras condiciones de vida a partir de los materiales que utilizamos para construir?

Cada material tiene un proceso detrás. Este es el viaje que hacen las rocas desde las canteras para convertirse en el cemento con que construimos.

Vamos a construir una casa...

¿Qué necesitamos?

Extracción



Las materias primas necesarias, como piedras calizas o arcillas, se extraen de una cantera con explosivos que reducen su tamaño.

Trituración



Las rocas se reducen hasta un tamaño aproximado de una pulgada de diámetro con el uso de trituradoras.

Molienda de crudo



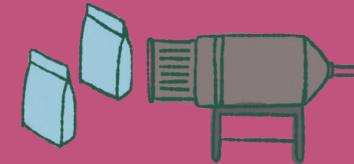
La materia prima se mezcla con hierro y caliza, se pulveriza y su composición química se evalúa y ajusta. Luego va a los molinos, donde se transforma en un polvo llamado crudo.

Calcinación



El crudo entra al precalentador y luego al horno, donde se volverá líquido y adquirirá propiedades cementantes bajo temperaturas de hasta 1450 °C. Este producto se llama clinker.

Molienda de cemento

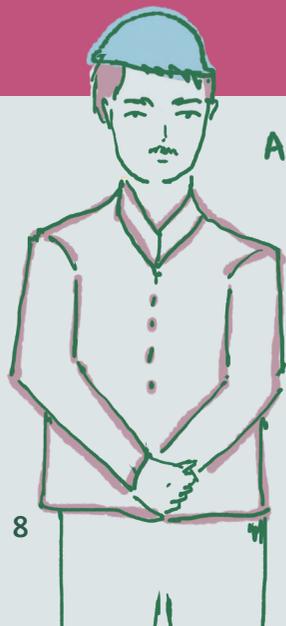


La mezcla se nutre con yeso, escoria, ceniza, caliza y puzolanas para alargar su tiempo de fraguado o mejorar su manejabilidad. Así, como cuando mejoramos la mezcla de ingredientes en una receta.

Envase y despacho



Al salir del molino, el cemento se almacena y despacha a granel o en sacos. Según su uso, el producto final se envía a centros de distribución o plantas concreteras.



Aquí hemos construido con cemento toda la vida.
¿Pero sí será tan bueno?

A pesar de ser tan común, el uso del cemento acarrea diversos daños ambientales. Después del agua, es la sustancia más utilizada en el planeta. Y aunque compone millones de viviendas en las que nos refugiamos, es uno de los materiales más contaminantes en la actualidad.

Su producción representa el 5 % de las emisiones de CO₂ producto de la actividad humana.

Consumo casi una décima parte del uso de agua industrial.

El polvo de las reservas y mezcladoras de hormigón contamina el aire.

La ciencia investiga la creación de nuevos materiales de construcción que generen menores niveles de contaminación, requieran menos agua para su fabricación y, a la larga, contribuyan a la atenuación del cambio climático. Uno de ellos son los geopolímeros.

¿Qué son los geopolímeros?

Los geopolímeros son un grupo de materiales que se forman a partir de la reacción química de aluminosilicatos en un medio de activadores alcalinos.

Por su alto nivel de dureza, resistencia a altas temperaturas y facilidad de preparación, tienen un amplio potencial para ser utilizados en distintos campos. El principal de ellos, como sustitutos del cemento.

Geopolímeros

Aluminosilicatos + Activadores alcalinos

Son materiales con alto contenido de óxido de aluminio y silicio. Los relaves mineros son ricos en aluminosilicatos.

Son un conjunto de elementos de pH elevado entre los que se encuentran el litio (Li), sodio (Na), potasio (K), rubidio (Rb), cesio (Cs) y francio (Fr). No los encontramos en estado libre en la naturaleza. Por su alta reactividad se agrupan en compuestos, generalmente sales, y al mezclarse con agua se forman hidróxidos. Los más comunes son el hidróxido de sodio y el hidróxido de potasio.



Veamos un poco más de cerca...

Además de superar al cemento en diversas aplicaciones, los geopolímeros tienen ventajas adicionales: tienen un periodo corto de curado, alta resistencia a los ácidos y excelente adhesión a los agregados. Las temperaturas más empleadas para activarlos oscilan entre los 30° C y los 80° C, en tiempos de curado que van desde las 24 horas hasta los 30 días. Además, permiten inmovilizar compuestos tóxicos y peligrosos y su producción implica menores cantidades de energía y de emisión de gases de efecto invernadero.

La calidad de sus propiedades, sin embargo, puede variar. Estos son algunos factores que aseguran un geopolímero de alta resistencia.

Alcalinidad

El aumento de la concentración de hidróxido de sodio (NaOH) aumenta la resistencia de los geopolímeros.

Relación de activadores

Las proporciones del activador alcalino influyen en la trabajabilidad de los geopolímeros y, por consecuencia, en su resistencia.

Relación sólido-líquido

La parte sólida está representada por los aluminosilicatos y la líquida por el reactivo alcalino. Una mayor relación sólido-líquido genera una menor trabajabilidad y una baja relación ralentiza la reacción.

Algunas materias primas

Distintos tipos de residuos industriales que conocemos son ricos en aluminosilicatos. Así se clasifican algunos de los más comunes.

Escorias	Residuos de la fundición De la producción de acero De la producción de ferrocromo
Cenizas volantes	Cenizas de fondo (residuos de la minería de carbón) De combustible de aceite de palma Lodos de fabricación del papel Cáscara de arroz
Otros residuos	Metacaolín Caolín Arcilla Residuos de sílice

Un descubrimiento planetario

En la década de 1980, por primera vez el profesor francés Joseph Davidovits acuñó el término "geopolímero". Sin embargo, el campo de las activaciones alcalinas se venía estudiando desde los años 30. Durante la guerra fría, en la Unión Soviética fueron desarrollados cementos a partir de cenizas o escorias y la investigación en occidente no pararía durante la segunda mitad del siglo XX.



Incluso, existen hipótesis desarrolladas en la actualidad por el profesor Davidovits, según las cuales algunas construcciones americanas y europeas de la antigüedad fueron elaboradas con geopolímeros.

El hormigón geopolímero se utiliza actualmente en el sector del transporte en Estados Unidos y, más recientemente, en Australia. Allí se construyó el edificio GCI de la Universidad de Queensland, de tres plantas construidas con hormigón geopolímero estructural a base de escoria y cenizas volantes.

Por sus extraordinarias propiedades mecánicas, como la resistencia a temperaturas elevadas, los geopolímeros son materiales ideales para aplicaciones aeroespaciales. Tras exponerse a un fuerte flujo de calor, no arden ni desprenden humo, lo que los convierte en materiales adecuados para la protección contra incendios de las cabinas de los aviones. Las Fuerzas Aéreas estadounidenses utilizan bombarderos equipados con este material.



En algunos carros de Fórmula 1, las piezas de titanio del sistema de escape han sido sustituidas por compuestos geopoliméricos. Durante la temporada de Grandes Premios de 1994 y 1995, Benetton-Renault Formula 1 Sport Car diseñó un escudo término hecho de un compuesto de carbono y geopolímero que ayudó a Michael Schumacher a ganar dos veces el campeonato mundial.

Aunque se trata de un material en desarrollo, los geopolímeros representan un avance de alto impacto en el campo de la investigación de materiales. Se espera que, con el tiempo, su aplicación se expanda a lo largo y ancho del planeta para que cada vez más personas podamos beneficiarnos de ellos.

Ventajas

Bajo coste de producción: se basan en materiales que abundan de forma natural en la Tierra y se derivan de residuos industriales como cenizas volantes y escorias de alto horno.

Eficiencia energética: se curan y endurecen a temperaturas relativamente bajas. La energía necesaria en la fabricación de geopolímeros es menor en un 16 % a la de pastas cerámicas convencionales.

Cuidado del medio ambiente: pueden elaborarse a partir de desechos, inmovilizando residuos tóxicos, y representan una menor emisión de gases efecto invernadero: un 80% menos de CO₂ que el cemento Portland.

Pues si los están usando en todo el mundo será por algo

Desventajas

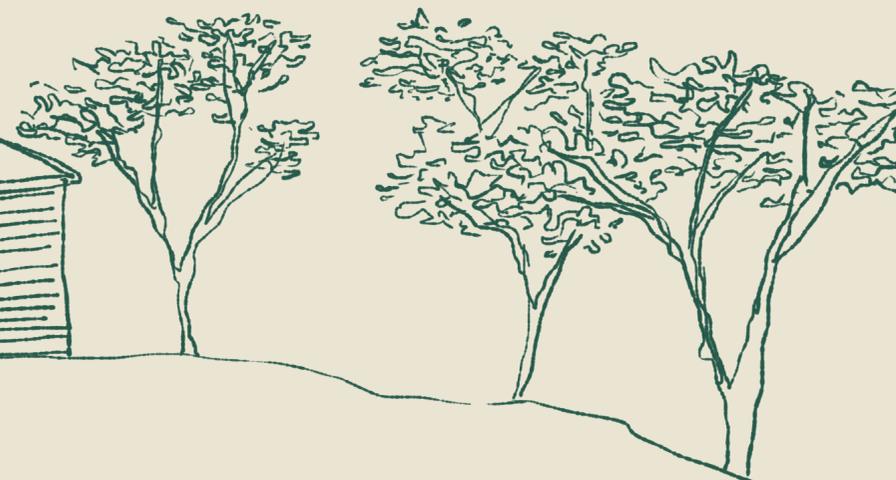
Riesgo de pérdidas: pueden presentar contracción por secado cuando se someten a altas temperaturas.

Menor resistencia: pueden presentar fragilidad y susceptibilidad al agrietamiento.



Los relaves mineros contienen una gran cantidad de aluminosilicatos, uno de los dos ingredientes esenciales en la fabricación de geopolímeros. Las elevadas cantidades de este residuo que están presentes en nuestro territorio pueden convertirse en una oportunidad.

Aquí donde vivimos, el uso de geopolímeros como material de construcción puede mejorar nuestras condiciones de vida.



Geopolímeros en las zonas mineras, ¿cómo los podemos aprovechar?

De las zonas de minería aurífera en Colombia, Antioquia produce el 47% del oro del país, seguido de Chocó (21%), Bolívar (10%), Nariño (6%), Cauca (6%) y Caldas (6%) y otros (4%). Mediante el diseño de materiales sostenibles a partir de los desechos mineros del departamento de Antioquia, buscamos elevar su potencial en la construcción y mejoramiento de viviendas.



Fuente: Unidad de Planeación Minero Energética. Ministerio de Minas y Energía, 2018.

Relaves mineros

Los relaves mineros son residuos sólidos y líquidos derivados del procesamiento de minerales en la industria minera. Contienen roca triturada, agua, elementos químicos utilizados en la minería y rastros del mineral que se busca obtener.

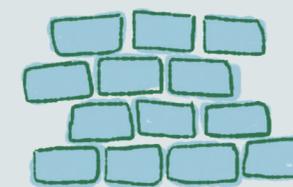
El manejo adecuado de los relaves es un tema crítico en la industria minera. Su composición puede incluir una variedad de sustancias tóxicas, incluyendo metales pesados, sustancias químicas utilizadas en el procesamiento del mineral, ácidos y otros contaminantes.

Por lo anterior, varias industrias trabajan para reciclar los relaves mineros. Además de aprovechar las propiedades de algunos de sus componentes, reutilizar estos residuos permite inmovilizarlos y evitar que contaminen suelos y fuentes hídricas.

El poder de un viejo conocido ☺



La industria agrícola utiliza algunos relaves mineros especialmente ricos en silicatos, calcio, hierro y aluminio, para remediar y remineralizar el suelo, mejorando el rendimiento de los cultivos y reduciendo la erosión.



Por su parte, la industria de la construcción intenta incorporarlos en el cemento para fabricar bloques de concreto y ladrillo. Esto se suma a la demanda en aumento de nuevos materiales de construcción que tengan emisiones de bajo impacto ambiental asociadas con su manufactura.



En relación a la fabricación de geopolímeros, los relaves mineros tienen una ventaja especial: son altamente ricos en aluminosilicatos.

Con esta propiedad, los relaves mineros tienen el potencial de convertirse en un material resistente y durable que mejore las condiciones de vivienda en los municipios mineros de Antioquia.



*¡Ahora sí!
Manos a la obra.*

Vamos del dicho al hecho

En el laboratorio

Tenemos herramientas que nos permiten una mayor rigurosidad en la elaboración del material. Sin embargo, la producción es a menor escala.



Preparación

Se alistan los relaves, materiales ricos en aluminosilicatos, en el tamaño adecuado y los activadores alcalinos.



Mezcla de componentes

Mezclamos el precursor con el activador alcalino, es decir, el relave con el silicato de sodio y carbonato de sodio. Esto lo combinamos con los agregados, es decir, arena y agua.



Compactación

El material se agrupa y se presiona para darle la forma necesaria.



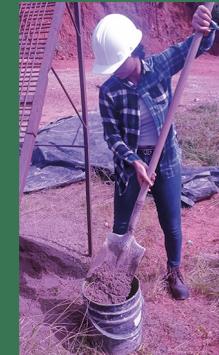
Curado

Dejamos secar el material para que se endurezca.



Preparación

El material se transforma al lugar de elaboración y puede disponerse en el suelo.



Mezcla de componentes

Con una pala, se combinan por completo todos los ingredientes de la mezcla.



Compactación

El material se puede compactar manualmente en un molde con forma de ladrillo o de forma mecánica en una compactadora.



Curado

Los bloques se dejan al aire libre, bajo techo, durante mínimo 28 días.

Así verificamos que todo esté en orden

Las técnicas de caracterización nos permiten asegurar que los ladrillos son resistentes y confiables para construir.



En algunos municipios mineros, la calidad de los ladrillos de geopolímeros se evalúa golpeando los bloques contra el piso y verificando que no muestren grietas, poros, fisuras ni texturas arenosas.



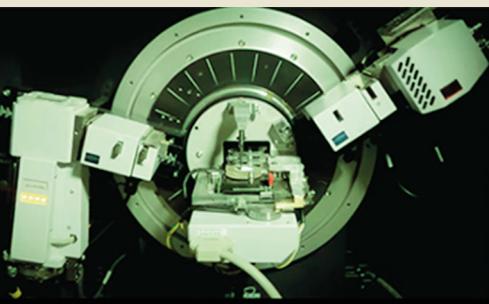
Microscopio óptico

Permite observar la estructura de los bloques. Este análisis es clave para evaluar la uniformidad en la mezcla y detectar posibles fisuras o imperfecciones superficiales que puedan afectar la calidad del bloque.



Microscopía electrónica de barrido (SEM)

Proporciona imágenes de alta resolución al emitir un haz de electrones que rebota cuando entra en contacto con el objeto observado, permitiendo un análisis detallado de la textura y la morfología de los bloques.



Difracción de rayos X (DRX)

Permite observar la composición química y la estructura de las fases de un material, es decir, de los cristalitas diminutos que lo componen. Es esencial para determinar el posible comportamiento de los bloques frente a factores ambientales como la humedad o los cambios de temperatura.

Ensayo de resistencia a la compresión

Mide la capacidad de los bloques para soportar cargas antes de fracturarse. Esta prueba es fundamental para evaluar la viabilidad estructural del material, asegurando que cumpla con los estándares de durabilidad y resistencia requeridos en la construcción.



Fluorescencia de rayos X (FRX)

Es una técnica de análisis elemental que permite determinar la composición química de los bloques de geopolímero. Identifica la concentración de metales y otros elementos presentes, lo que es vital para asegurar que el material no contenga impurezas peligrosas y cumpla con las normativas ambientales.



Difracción de luz láser

Se utiliza para medir el tamaño de las partículas en los bloques. La uniformidad en el tamaño de las partículas es crucial para la cohesión del material y su rendimiento estructural. El análisis asegura que mezcla sea compacta y resistente.

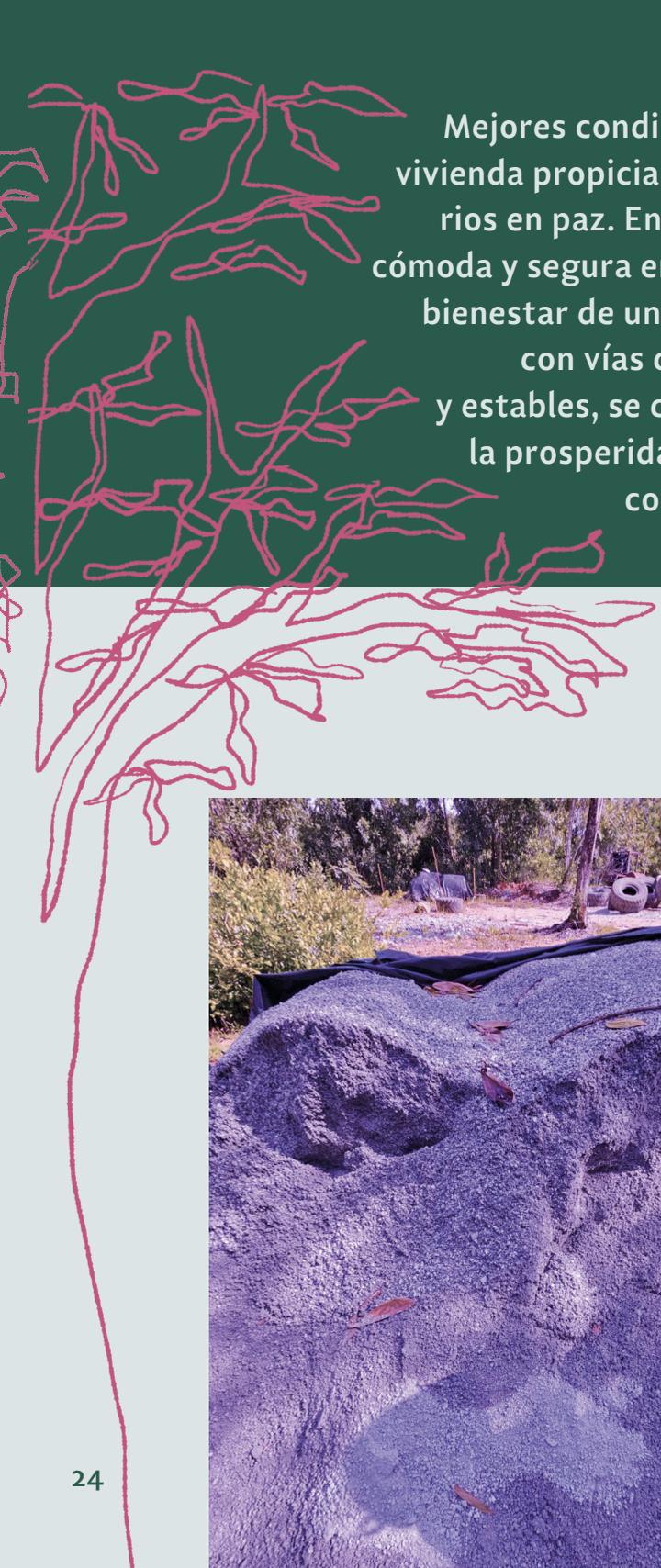


Podemos hacerlo realidad



Combinar el conocimiento científico con la juntanza comunitaria de nuestro territorio es la clave para que este sea un proyecto viable que contribuya, en la práctica, al bienestar de toda la población.

Podemos organizarnos y ser agentes del desarrollo local, entablando diálogos, no solo con el sector minero, sino con otras entidades privadas y estatales. Así podemos fortalecer la voz de la comunidad, creando escenarios colaborativos con distintas instituciones.



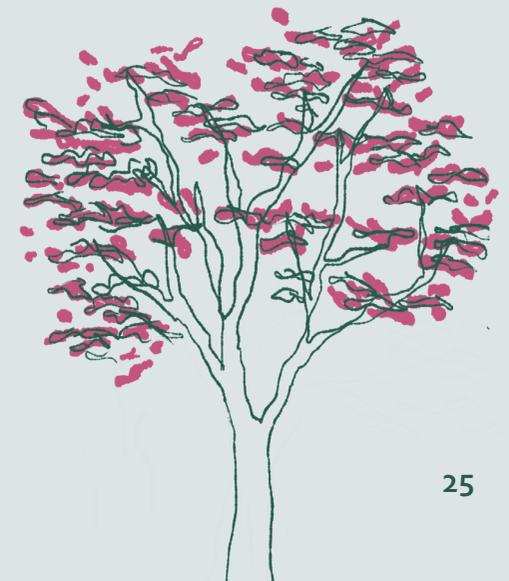
Mejores condiciones de vivienda propician territorios en paz. En una casa cómoda y segura empieza el bienestar de una familia; con vías continuas y estables, se construye la prosperidad de una comunidad.



La Universidad de Antioquia, en alianza con Minciencias, les entrega esta cartilla a las comunidades mineras de Antioquia como un testimonio de su capacidad para sobreponerse a las adversidades aprovechando los recursos que ofrece el entorno y fortalecerse a partir de las circunstancias del presente para construir un futuro mejor.

El proceso de investigación del uso de relaves mineros como geopolímeros para construir viviendas y vías terciarias continúa y las comunidades cumplirán un rol fundamental en su implementación. La organización social y la mediación interinstitucional serán herramientas que impulsen el diálogo necesario para hacer realidad este escenario posible. En la unión de voluntades y conocimientos está el futuro aprovechamiento de la vocación minera de nuestro territorio y a partir de ella será posible replicar otras acciones en favor del cuidado de la vida en todas sus manifestaciones.

Hábitat para la paz



Este proyecto fue posible gracias a la colaboración de diversas entidades, incluyendo el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minciencias), la Universidad de Antioquia y sus grupos de investigación CIDEMAT y RERDSA, la Alianza por la Minería Responsable (ARM), el SENA en Medellín y El Bagre, así como las compañías mineras de diferentes regiones de Antioquia, que facilitaron el uso de relaves y la cooperación con la comunidad.

Agradecemos profundamente a las comunidades mineras con las que trabajamos por su cálido recibimiento, su buena disposición y su entusiasmo por aprender.

Este trabajo se realizó con ellos y para ellos.



Los geopolímeros se estudian como uno de los materiales con mayor potencial para abrir la senda de la construcción sostenible. La posibilidad de inmovilizar en ellos los residuos de distintas industrias incrementa sus virtudes. Este es el caso de la creación de bloques de geopolímeros a partir de uno de los residuos más contaminantes de la industria minera: los relaves.

Esta investigación se propone estudiar su viabilidad como material de construcción en zonas mineras de Antioquia, históricamente afectadas por la violencia y la inequidad en el acceso a vivienda.



UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

1 8 0 3