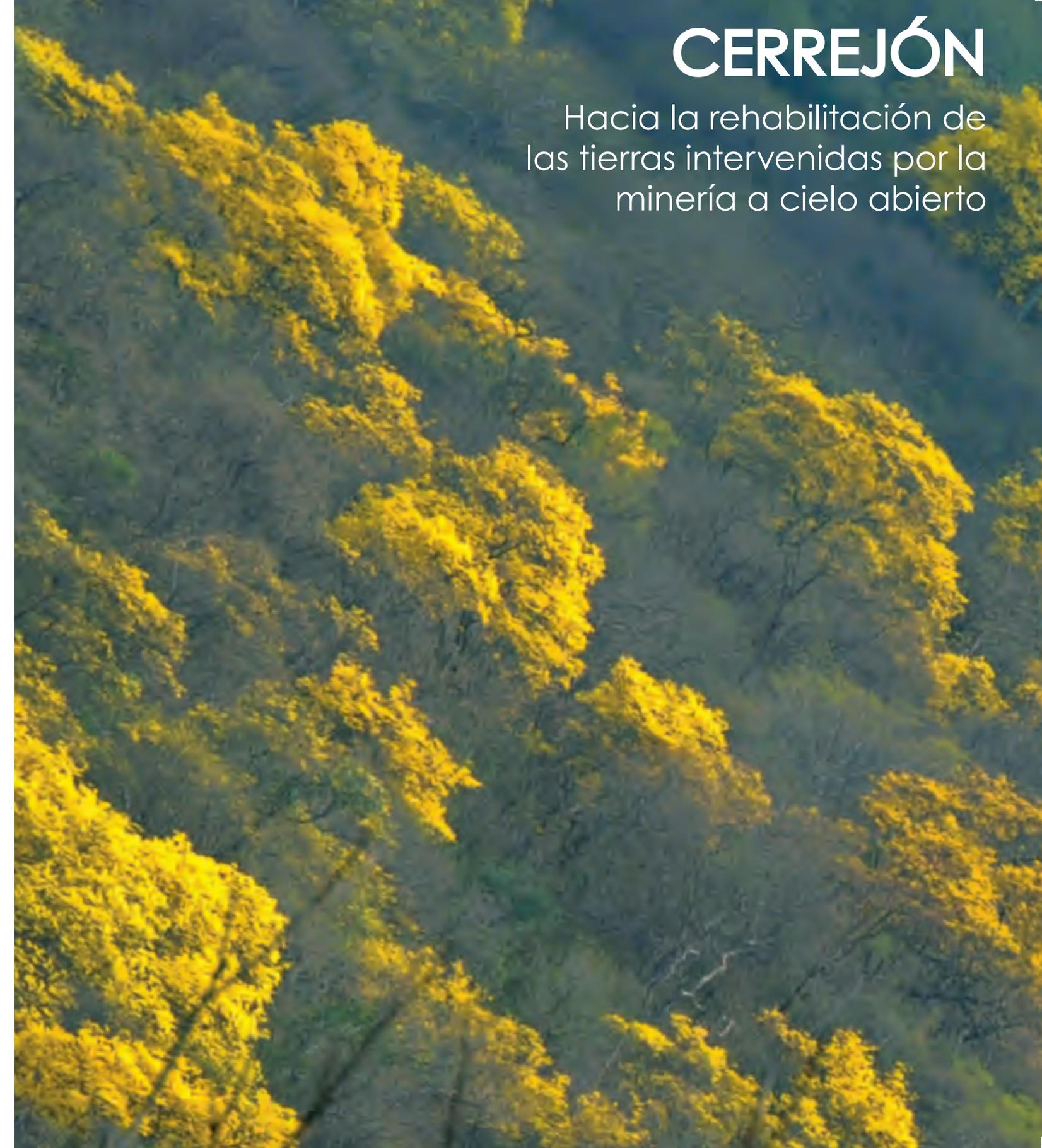


# CERREJÓN

Hacia la rehabilitación de  
las tierras intervenidas por la  
minería a cielo abierto





#### AUTOR

RAMÓN GUALDRÓN ACOSTA

#### COORDINADOR EDITORIAL

JOSÉ VICENTE RODRÍGUEZ-MAHECHA

#### ASESOR EDITORIAL

EDUARDO GUERRERO FORERO\*

LEÓN TEICHER GRAUMAN

PRESIDENTE CERREJÓN

LUIS GERMÁN MENESES

VICEPRESIDENTE EJECUTIVO DE OPERACIONES

GABRIEL BUSTOS

GERENTE DE GESTIÓN AMBIENTAL

FABIO ARJONA HINCAPIÉ

DIRECTOR EJECUTIVO CONSERVACIÓN INTERNACIONAL COLOMBIA

JOSÉ VICENTE RODRÍGUEZ-MAHECHA

DIRECTOR CIENTÍFICO

#### COLABORADORES

CÉSAR BARBOSA CASTILLO

LINA BÁEZ

PATRICIA BEJARANO

DANIEL DÁVILA

#### DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

ALEJANDRO RODRÍGUEZ PÁEZ - [WWW.CONCISO.ORG](http://WWW.CONCISO.ORG)

#### FOTOGRAFÍAS

ANDRÉS GONZÁLEZ HERNÁNDEZ

ALEJANDRO RODRÍGUEZ PÁEZ

RAMÓN GUALDRÓN ACOSTA

JUAN MANUEL RENGIFO

JOSÉ VICENTE RODRÍGUEZ-MAHECHA

CARLOS ANDRÉS PÁEZ

ARCHIVO - CERREJÓN

ISBN 978-958-99731-8-9

IMPRESO EN COLOMBIA POR PANAMERICANA FORMAS E IMPRESOS S.A.,  
quien sólo actúa como impresor.

\* AÑOS 2009 - 2010



## TABLA DE CONTENIDO

PRÓLOGO	20	CAPÍTULO 5	
PRESENTACIÓN	22	Etapas del proceso	106
CAPÍTULO 1		CAPÍTULO 6	
Contexto social, ambiental y económico	26	Especies protagonistas	161
CAPÍTULO 2		CAPÍTULO 7	
Clima, suelos y diversidad biológica	48	Monitoreo	192
CAPÍTULO 3		CAPÍTULO 8	
Gestión ambiental: responsabilidad y compromiso	72	Lecciones aprendidas	210
CAPÍTULO 4		AGRADECIMIENTOS	232
La estrategia de rehabilitación: En alianza con la naturaleza	90	BIBLIOGRAFÍA	234



## Extracción del Carbón





*Retrollenado con material inerte*





*Preparación de tierras*





Primeras coberturas





El proceso de rehabilitación 15 años después





Adecuación de tierras, Manantial  
Nivel 180 año 1993

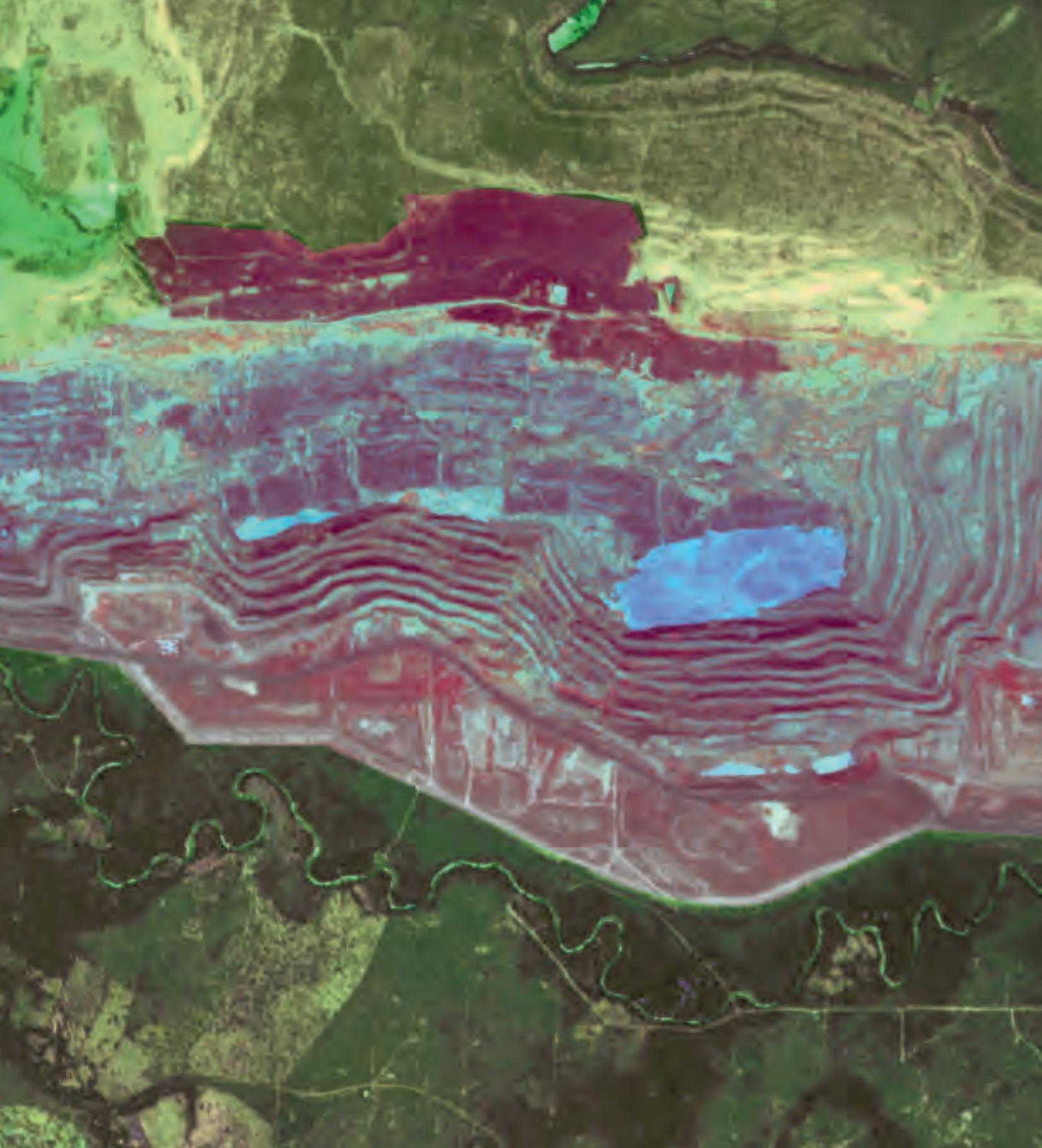


Área rehabilitada, Manantial  
Nivel 180 año 2009





*Panorama de la zona norte del complejo minero del Cerrejón antes de su explotación. Fotografías aéreas año 1979*





Panorama de la zona norte del complejo  
mínero del Cerrejón. Fotografías aéreas  
año 2000

# PRÓLOGO

Juan Manuel Santos Calderón  
Presidente de la República  
de Colombia

El desarrollo minero forma parte de la estrategia de Colombia para avanzar hacia la prosperidad, generando empleo formal y oportunidades. Y no es casual que hayamos identificado al sector minero-energético como una de las cinco locomotoras que impulsará el crecimiento económico del país – junto con el agro, la vivienda, la infraestructura y la innovación–.

Colombia es el primer productor de carbón de América Latina y el cuarto exportador a nivel mundial de este mineral; somos el séptimo mayor productor de ferróniquel del mundo, y somos el primer productor de esmeraldas del planeta.

Nos enfrentamos, sin duda, a una ventana de oportunidad que, bien entendida y bien administrada, nos conducirá a escenarios de grandes beneficios para los inversionistas y para el país en su conjunto.

Estamos decididos a aprovechar de la mejor forma el crecimiento de los ingresos generados por el sector minero, para sacar de la pobreza a cientos de miles de colombianos y avanzar hacia una sociedad más equitativa. Para ello, vamos a destinar esos ingresos temporales a proyectos realmente estratégicos de orden regional, que tengan como finalidad reducir las brechas.

En esta perspectiva, con la Reforma a las Regalías, nos proponemos que esos recursos del subsuelo –que

son recursos de todos los colombianos– beneficien a toda la sociedad y se traduzcan en obras que mejoren tanto el desarrollo humano como nuestra competitividad económica.

Pero las puertas que se abren gracias al desarrollo minero nos plantean también enormes desafíos. Necesitamos actuar con responsabilidad y coherencia, con coordinación y eficiencia. Estamos frente a una oportunidad que reclama un manejo serio en lo social, en lo económico y en lo ambiental.

Nuestro gobierno apuesta por una minería responsable con el medio ambiente y con la sociedad. Queremos una minería de bajo impacto sobre nuestro patrimonio natural y comprometida con el desarrollo sostenible del país.

De nada serviría convertirnos en una potencia minero-energética si el balance al cabo de unas décadas fuese la acumulación de pasivos ambientales sobre los cuales nadie respondiera.

Por eso hemos dicho que la inversión minero-energética es bienvenida pero no a cualquier precio. No podemos, en el afán de balancear nuestra economía, afectar nuestra estructura ecológica principal.

El Gobierno hace su parte para ofrecer reglas claras y condiciones cada vez más adecuadas para el desarrollo



minero. Trabajamos por lograr una institucionalidad más articulada y unos procedimientos más eficientes, como lo hemos hecho en el caso del trámite de las licencias ambientales.

De igual forma, esperamos que las empresas mineras desplieguen sus actividades de negocios dentro de parámetros que honren las leyes, las políticas y la visión de desarrollo de Colombia, en un marco de sostenibilidad ambiental, social y económica.

Es crucial, y así lo pedimos al sector minero-energético, que se incluya la dimensión ambiental desde el mismo inicio de la planeación de los proyectos de inversión.

El sector minero, igual que los demás sectores productivos, debe desarrollarse de forma coherente con el ordenamiento del territorio y con las políticas ambientales. La minería debe alinearse con la política de cambio climático, con la política de biodiversidad y con la política para la gestión integral de los recursos hídricos, entre otras.

Es en este contexto que doy la bienvenida a esta constructiva publicación de Carbones del Cerrejón, una empresa que ha demostrado seriedad y compromiso con las normas ambientales y con el desarrollo del departamento de La Guajira, donde desarrolla su actividad minera.

La rehabilitación de tierras intervenidas por la minería, que lleva más de 20 años en Cerrejón, es un ejemplo práctico de minería responsable con el ambiente.

Llama la atención la manera como se ha integrado esta actividad a las operaciones de la minería. Es un caso modelo de buenas prácticas y demuestra que es viable la incorporación efectiva de la gestión ambiental al ciclo minero.

Es particularmente interesante la manera como este programa de rehabilitación de tierras se proyecta en términos de la conectividad del paisaje regional en La Guajira entre la Serranía de Perijá y la Sierra Nevada de Santa Marta. Esto es un buen ejemplo de cómo el ordenamiento minero debe y puede articularse al ordenamiento ambiental del territorio.

Quisiéramos ver más ejemplos como éste que nos da Carbones del Cerrejón en todo el sector minero. La experiencia, las lecciones aprendidas, los esfuerzos por armonizar la actividad extractiva con una sana política de tierras, de que da cuenta esta publicación, nos ayudarán a consolidar la minería colombiana como una actividad con estándares ambientales de clase mundial.

# PRESENTACIÓN

LEÓN TEICHER GRAUMAN

Presidente

Carbones del Cerrejón Limited

Carbones del Cerrejón tiene el compromiso indeclinable de desarrollar una minería ambientalmente responsable. Se trata de un compromiso basado en una profunda convicción: que la gestión ambiental es componente esencial del ciclo minero.

Nuestra estrategia ambiental está dirigida no solo a asegurar el cumplimiento de todas las regulaciones aplicables, sino a promover las mejores prácticas ambientales en la industria minera en Colombia.

Para nosotros el manejo de pasivos ambientales y el cierre de minas son responsabilidades que se deben asumir desde el principio de una operación minera. La idea aquí es asegurar que al final del proceso minero los pasivos ambientales se minimicen.

El Programa de Rehabilitación de Tierras intervenidas por la actividad minera es un ejemplo concreto del mencionado compromiso y refleja la manera decidida como asumimos nuestras responsabilidades en materia ambiental.

Desde hace más de dos décadas este programa se ha venido consolidando como un ejemplo de buenas prácticas y, hoy por hoy, forma parte integral de nuestro trabajo, debidamente incorporado a los ejercicios de planeación y ejecución de las operaciones rutinarias de la minería.

Los materiales edáficos, que constituyen un insumo fundamental para la rehabilitación de las tierras intervenidas, son manejados con el mismo cuidado y prolijidad que el mismo carbón. El Banco de Suelos de Cerrejón es uno de nuestros más preciados activos. En lo que lleva de funcionamiento este Banco, hemos manejado más de 36 millones de metros cúbicos.

El manejo de suelos es justamente la actividad más costoefectiva del programa pues al usar la capacidad instalada de equipo minero, nuestros costos de la rehabilitación resultan comparativamente bajos.

Quisiera destacar que el modelo de rehabilitación de tierras desarrollado en Cerrejón es el resultado de una sabia combinación de ciencia, técnica, empirismo y conocimiento tradicional. Si bien el modelo se enriqueció con aportes de distintas fuentes externas, tiene el valor agregado de haber sido diseñado e implementado por el propio equipo humano de nuestra empresa. En consecuencia, se ha convertido en un quehacer orgánicamente incorporado a la cultura corporativa, que ha sensibilizado tanto a los empleados directos como a los contratistas que nos apoyan.

Al momento de editar esta publicación, la extensión de tierras rehabilitadas alcanzaba ya las 2.800 hectáreas. Así, amplias áreas que una vez fueron tajos o botaderos de material estéril, hoy están cubiertas de una



diversa cobertura de bosque seco tropical y exhiben dinámicas ecológicas que establecen conectividad con las áreas naturales vecinas.

Por lo anterior, me siento enormemente complacido al entregar al país este libro sobre la experiencia de rehabilitación de tierras adelantada a lo largo de 20 años por la empresa Carbones del Cerrejón en el departamento de La Guajira.

A través de esta publicación nos propusimos sistematizar, analizar y divulgar los resultados prácticos obtenidos en campo y las lecciones aprendidas durante ese periodo de tiempo.

Si bien el tema central de la publicación es la rehabilitación de las tierras intervenidas por la operación minera, se incluyen capítulos que cumplen funciones de contextualización en una perspectiva integral de la gestión ambiental y del ciclo minero. Igualmente se le otorga especial atención al análisis de las dinámicas ecológicas, al seguimiento de los indicadores de sostenibilidad del proceso y al planteamiento de una visión relacionada con el uso futuro de las tierras rehabilitadas.

Nuestra visión hacia el futuro es la de un mosaico de paisaje integrado al desarrollo sostenible de La Guajira. Idealmente, quisiéramos ver estas tierras rehabilitadas formando parte de un corredor biológico entre

la Serranía de Perijá y la Sierra Nevada de Santa Marta, y a lo largo de la cuenca del río Ranchería. Áreas protegidas bajo distintas categorías de manejo, entrelazadas en el paisaje con proyectos de desarrollo comunitario socialmente incluyentes y amigables con el ambiente.

Cuando la actividad minera concluya en el futuro, quisiéramos ver este laboratorio de bosque seco tropical desarrollado por Cerrejón, convertido en elemento fundamental dentro de la estructura ecológica principal de La Guajira, que garantice la provisión de servicios ecosistémicos y sustente la prosperidad de este noble departamento.

Hemos querido ofrecer un libro de carácter divulgativo, amable y atractivo para el lector y, al mismo tiempo, mantener el rigor técnico y científico necesario para que sirva como un documento de referencia de utilidad en programas de rehabilitación y gestión de suelos.

Estamos satisfechos de haber puesto sobre el papel esta enriquecedora experiencia y poderla compartir con usted apreciado lector.









# 1

## CONTEXTO SOCIAL, AMBIENTAL Y ECONÓMICO

Familia Wayúu del resguardo Cuatro de Noviembre.



Vegetación típica de la zona con el cerro Cerrejón al fondo.



Mineros alegres, responsables y comprometidos con la región.



# EL CONTEXTO SOCIAL, AMBIENTAL Y ECONÓMICO EN QUE SE ADELANTA LA MINERÍA EN EL CERREJÓN

La Guajira representa para Colombia un departamento de singular riqueza cultural, ambiental y económica, una de las esquinas del territorio nacional, lejana y cercana al mismo tiempo. No solamente es el extremo norte de la Colombia continental sino también de América del Sur. Un joven departamento en la división política del país, constituido a mediados de la década de 1960 y sin embargo una comarca cargada de historia y culturas ancestrales en el ámbito caribeño.

Tradicionalmente, La Guajira evoca wayúus, desierto, cardonales, sal, artesanías y vallenato. Y en tiempos recientes también se asocia con minería de carbón y aprovechamiento de gas. Los colombianos saben que la sal de su mesa bien puede ser guajira y admiran expresiones culturales como la danza de la yonna.

La Guajira tiene una superficie continental de 20.669 km<sup>2</sup> y es el departamento con la mayor extensión litoral sobre el Mar Caribe. Su estratégica localización le confiere ventajas comparativas en términos de la relación comercial con Venezuela y la cuenca del Caribe. Su riqueza en recursos minero-energéticos, su potencial etno y ecoturístico, su diversidad de ecosistemas áridos y su riqueza cultural son condiciones que debidamente entrelazadas promoverían un promisorio desarrollo.

Según su configuración tradicional, La Guajira ha sido dividida en tres zonas de noreste a suroeste conocidas como Alta, Media y Baja Guajira. La Alta Guajira se sitúa en el extremo norte hasta el Cabo de la Vela y el sitio Matajuna, límite con Venezuela. La Media Guajira abarca la parte central del departamento, cubriendo los municipios de Riohacha, Maicao y parte de Uribia. Sus límites se extienden desde el Cabo de la Vela y el sitio Matajuna, hasta Riohacha y la cuchilla de Pan Grande en los Montes de Oca. La Baja Guajira corresponde a la Sierra Nevada de Santa Marta y a los Montes de Oca. (IGAC & Corpoguajira, 2009).

## ÁREA DE INFLUENCIA DE CERREJÓN

La extracción del carbón en gran escala se inició en Colombia en la década de 1980. Actualmente la mayor operación la adelanta Carbones del Cerrejón Limited, compañía dedicada a la exploración, extracción, transporte, embarque y exportación de carbón térmico.

La actividad de Cerrejón y sus operaciones conexas incide a distintas escalas en la vida social, económica y ambiental del país. A una escala regional, su ámbito de acción es la región Caribe colombiana y, en particular, el departamento de La Guajira.

El Cerrejón opera en los depósitos de carbón localizados en el centro sur del departamento. El área minera se extiende a lo largo de 50 kilómetros en el valle del río Ranchería, entre la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía de Perijá, cubriendo una extensión de 69,364 hectáreas.



Además, la operación involucra una vía férrea para el transporte del carbón y un puerto sobre el mar Caribe, al norte en la Bahía de Portete.

En este contexto, Cerrejón se ha convertido en un actor fundamental para el desarrollo de La Guajira. Esto, sin menoscabo de su valiosa contribución al desarrollo de la región Caribe en su conjunto y de toda Colombia.

En la zona minera predominan condiciones de aridez aunque menos severas que en el norte de la península. En términos ecosistémicos, el área conserva valiosas áreas de bosque seco tropical, aunque muy fragmentadas y degradadas, en medio de un paisaje mixto en el que se intercalan rastrojos, pastizales y áreas dedicadas a una agricultura rotacional.



*Patios de manejo de carbón en la mina.*



La concesión del Cerrejón se ubica en jurisdicción de los municipios de Albania, Barrancas, Hatonuevo y Mai-cao. En el área aledaña a la operación minera se asienta una población de alrededor de 60.000 habitantes. Dicha área involucra los cascos urbanos de Albania, Barrancas y Hatonuevo (Mapa 1), que comprenden las comunidades de Remedios, Roche, Patilla, Chancleta, Las Casitas, Papayal y Nuevo Oreganal. También hacen parte del área vecina al Cerrejón los resguardos indígenas Cuatro de Noviembre, Lomamoto, El Cerro, Trupio Gacho, Provincial, San Francisco, y Tamaquito.

Los antiguos poblados de Manantial, Oreganal, Sarahita y Tabaco, fueron objeto de programas de reubicación y reasentamiento para dar paso a las actividades mineras.

El grupo humano sobre el cual Cerrejón ejerce una influencia más directa es aquel conformado por sus empleados y contratistas. Estos conforman una población de más de 10.000 personas, cuya composición es un reflejo de la multiculturalidad guajira y de la región Caribe; y en menor escala de personas procedentes de otras regiones del país.

Para albergar a los empleados de mayor responsabilidad técnica y administrativa y sus familias, se estableció en la década de 1980 un moderno asentamiento cuya población ha alcanzado unos 3.000 habitantes. Este pequeño centro poblado, conocido con el nombre de Unidad Residencial Mushaisa (Palabra en wayunaiki que significa “Tierra del carbón”), hace parte del área urbana del municipio de Albania y cuenta con las facilidades de vivienda, infraestructura vial, salud, educación, servicios religiosos y comercio minorista, para garantizar un adecuado modo de vida a la comunidad que lo conforma.

*Unidad Residencial Mushaisa, cabecera municipal de Albania, La Guajira.*

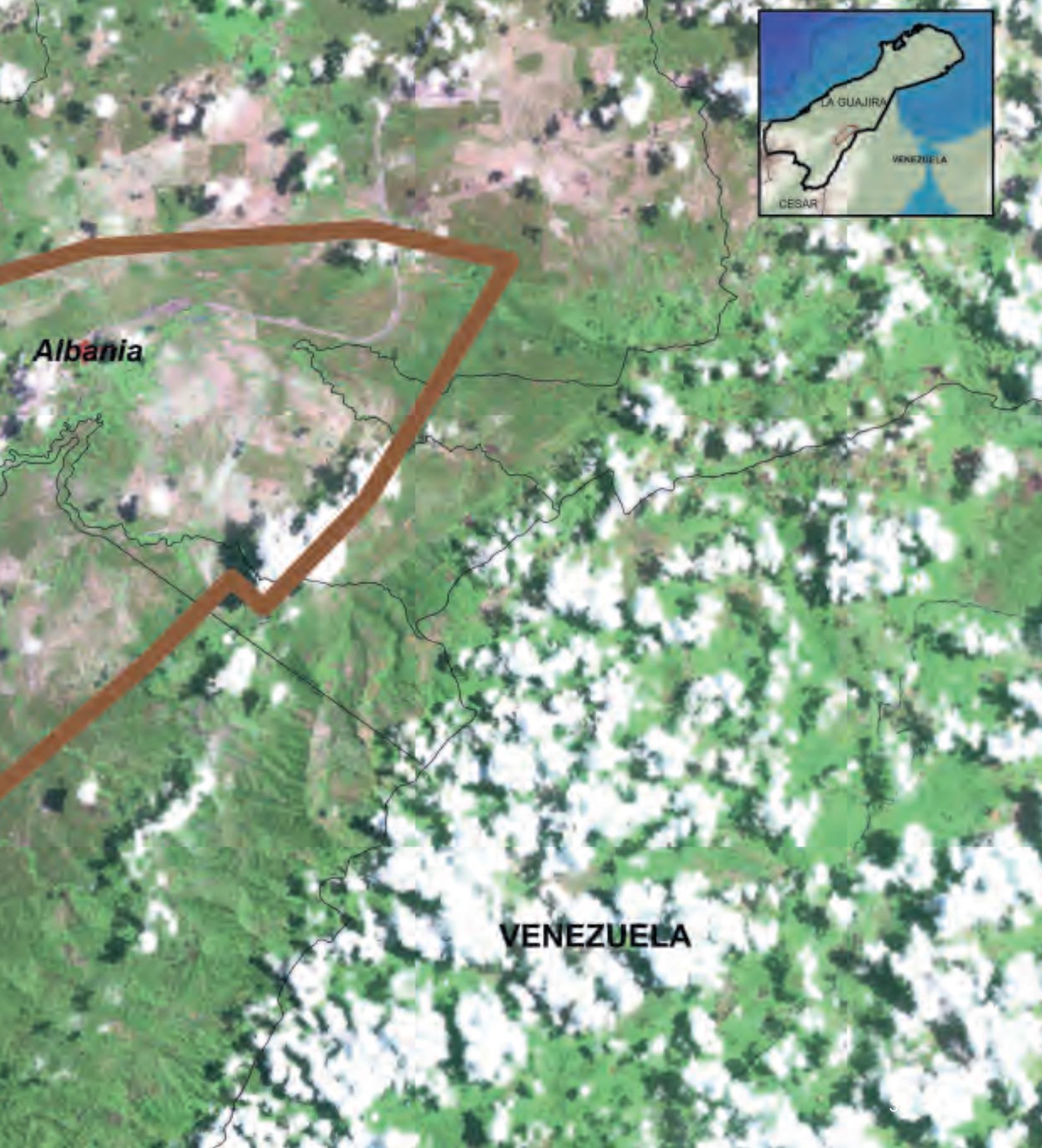




Mapa N.1

**Barrancas**

**Hato Nuevo**







*Mujeres Wayúu ataviadas con sus mantas, listas para ejecutar la danza de la Yonna.*

## EL CONTEXTO SOCIAL ■

### MODERNIDAD Y TRADICIÓN EN UNA SOCIEDAD MULTICULTURAL

La Guajira sigue la tendencia nacional hacia la concentración urbana. Una creciente porción de sus habitantes vive en la capital, Riohacha, y en las cabeceras municipales. Sin embargo, sigue siendo un departamento con una alta población rural. Además, junto con Bogotá, Antioquia, Casanare, Cundinamarca y Meta, se proyecta como un departamento que atrae población, es decir, con tasa neta de migración positiva (DANE, 2009). En virtud de las grandes inversiones asociadas al carbón y al incremento del turismo, entre otros sectores, se ha convertido en un polo de atracción para gente de los departamentos vecinos.

Los guajiros conforman una sociedad caracterizada por su diversidad étnica y cultural: indígenas, criollos, blancos y afrodescendientes conviven en este particular rincón del Caribe. Los pueblos indígenas constituyen el grupo étnico mayoritario, con cerca del 45% de los pobladores. Por otro lado, la población conjunta de criollos y blancos alcanza cerca de un 40%, en tanto que los afrodescendientes constituyen un 15% (DANE, 2009, 2010).

La Guajira es el departamento con la mayor población indígena de Colombia, y junto con Cauca y Nariño concentran aproximadamente la mitad de los indígenas del país. Los pueblos o etnias presentes son Wayúu, Arhuaco, Arzario y Kogui asentados en más de 25 resguardos en 11 municipios.

La etnia predominante es la Wayúu, una comunidad semi-nómada que aún conserva sus tradiciones ancestrales. Mediante una ordenanza departamental su lengua, el wayuunaiki, fue declarada en 1992 idioma co-oficial de La Guajira, en reconocimiento de la vigorosa presencia de este pueblo. Uribia, el municipio donde se concentra el mayor número de wayúus, es considerada la capital indígena de Colombia.





Wayúus en su medio, alrededor de un jaguey.

## EL DESAFÍO DEL DESARROLLO HUMANO EN UN DEPARTAMENTO RICO EN RECURSOS ENERGÉTICOS

El índice de desarrollo humano (IDH) en el departamento de La Guajira presenta niveles cercanos al promedio nacional. En 1990, año en que se comenzó a calcular este indicador, el departamento se encontraba ligeramente por encima del promedio nacional, con un IDH de 0.74 frente al 0.71 de Colombia. En el 2005, año del último censo de población, alcanzó un valor de 0.78, ligeramente por debajo del promedio nacional (Tabla 1).

No obstante, si se examinan otros indicadores sociales como la pobreza, se ponen de manifiesto situaciones que le plantean particulares desafíos a La Guajira. Aun en medio del importante crecimiento de la economía regional, catapultado por el carbón y el gas, la pobreza en el departamento alcanza niveles notoriamente más altos que el promedio nacional. En 2009, la pobreza era de 67% frente a un consolidado nacional de 46%. En cuanto a la pobreza extrema ocurre lo mismo, como lo muestran las cifras del mismo año, 32% y 16%, respectivamente (DANE, 2010).

Otra manera de ponderar la calidad de vida de los guajiros es a través del indicador sobre necesidades básicas insatisfechas (NBI). En este caso, el departamento registra una situación notoriamente deficiente en comparación con el promedio nacional, como lo ponen de manifiesto los datos del último censo de 2005, que arrojó valores de 65% para el departamento frente a 28% en el total del país (Tabla 1).



Exposición y comercialización de artesanías tejidas por mujeres Wayúu.

Evidentemente, estos indicadores plantean la necesidad de superar las condiciones que subyacen a la pobreza, las cuales a su vez están asociadas a una endémica inequidad social, particularmente marcada en La Guajira. De ahí la importancia que cobra una eficiente, transparente y equitativa inversión de las regalías que genera Cerrejón.

ASPECTOS SOCIALES Y ECONÓMICOS DE LA GUAJIRA			
INDICADORES	LA GUAJIRA	BOGOTÁ	COLOMBIA
Población	818.695	7.363.782	45.508.205
Índice de Desarrollo Humano	0,778	0,827	0,783
Pobreza (%)	66,9	22,0	45,5
Pobreza Extrema (%)	32,4	4,1	16,4
Necesidades Básicas Insatisfechas (%)	65,1	9,2	27,7
Índice de Gini	0,656	0,548	0,578
Producto Interno Bruto (en millones de pesos)	2.488.056	71.695.634	273.710,257
Participación porcentual en el PIB nacional	0,91	26,19	100,00

Tabla 1. Los datos de población son una proyección a 2010; pobreza y distribución del ingreso (Índice de Gini) corresponden al año 2009, el Producto Interno Bruto - PIB es de 2007 (a precios constantes del año 2000), el Índice de Desarrollo Humano - IDH corresponde al año 2005, los datos sobre Necesidades Básicas Insatisfechas - NBI son de 2005. El índice de Gini mide la distribución del ingreso y fluctúa entre 0 y 1; un valor de 0 representa igualdad perfecta y un valor de 1, desigualdad total. Como punto de referencia se incluyen las estadísticas de Bogotá, la economía más grande del país con los mejores indicadores sociales. Fuente: DANE, Censo General 2005 y estadísticas económicas y sociales entre 2005 y 2010





*Panorámica del valle del río Ranchería, vista en sentido norte - sur, en donde se aprecia el bosque de galería y las operaciones de minería de Cerrejón.*

## EL CONTEXTO AMBIENTAL

### DIVERSIDAD DE ECOSISTEMAS SECOS

La Guajira ofrece una variedad de ambientes semiáridos, áridos, y desérticos, con un gradiente que va desde los bosques secos tropicales, matorrales y sabanas hasta el propio desierto. No obstante, también ofrece ambientes de mayor oferta de agua como los bosques de galería en la cuenca del río Ranchería o los bosques de piedemonte y montaña en la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía de Perijá, e incluso un inesperado bosque de niebla en la Serranía de la Macuira, localizado en la Alta Guajira.

En términos de relieve predominan los paisajes de planicie y lomerío, a lo cual se añaden áreas de montaña, piedemonte y valle .

La gran diversidad de ambientes en cuanto a relieve, pisos térmicos, clima y materiales parentales ha generado una gran diversidad edáfica. De acuerdo con el Sistema Taxonómico Americano en el departamento de La Guajira se han reconocido seis órdenes: Entisoles, Inceptisoles, Molisoles, Alfisoles, Aridisoles y Vertisoles; y catorce subórdenes, para un total de 90 unidades de mapeo de suelos al nivel de asociaciones, consociaciones y complejos.

Esta diversidad se refleja en una alta variabilidad de las características diagnósticas en cuanto a pendientes, drenaje, capacidad de intercambio catiónico, textura, acidez o salinidad, disponibilidad de agua, profundidad efectiva y fertilidad. En los ambientes más secos son comunes los procesos de salinización, sodización y calcificación (Malagón, 2003). En el desarrollo del modelo de rehabilitación de tierras del Cerrejón estas condiciones edáficas resultan de particular importancia (ver Capítulos 4 y 5).



En cuanto a la hidrografía, en el departamento se pueden identificar tres cuencas principales: la cuenca de los ríos Cesar y Ranchería, la cuenca del Mar Caribe y la cuenca del Lago Maracaibo. La primera de ellas la más importante en términos de longitud y caudal y por la dinámica económica de sus valles. Ambos ríos nacen en la Sierra Nevada de Santa Marta, el Cesar corre hacia el sudoeste y desemboca en la Ciénaga de Zapatosa, mientras que el Ranchería fluye hacia el noroeste y desemboca en el Mar Caribe. La red hidrográfica de esta amplia cuenca se alimenta de corrientes que bajan tanto de la Sierra Nevada como de la Serranía de Perijá.

La cuenca del Mar Caribe comprende dos sectores: el nororiental que drena una extensa zona de la Media y Alta Guajira; y el suroccidental que drena principalmente las tierras de la vertiente nororiental de la Sierra Nevada de Santa Marta. Las corrientes más importantes son los ríos Tapia, Jerez, Ancho, Palomino y Camarones o Tomarrazón. A los dos sectores los separa la cuenca del río Ranchería.

La cuenca del Lago de Maracaibo recoge el resto de las aguas de la Media y Alta Guajira y el sector más oriental de las Serranías de Perijá, Cocinas, Jarara y Macuira. La corriente más importante es el río Carraipía que nace en los Montes de Oca, en Colombia, y desemboca en el Lago de Maracaibo en Venezuela (IGAC & Corpoguajira, 2009).

Un gran desafío que afronta la Corporación Autónoma Regional de La Guajira (Corpoguajira), autoridad ambiental, es la gestión de los recursos hídricos por su importancia como dinamizador de la integridad ambiental, la competitividad y el desarrollo humano. Es fundamental encontrar una relación sostenible entre la oferta natural y el aprovechamiento del recurso. Más que en otras regiones del país, en La Guajira las cuencas hidrográficas y los ecosistemas que proveen y regulan el agua, requieren de especial protección y deben ser considerados como estratégicos para el desarrollo departamental. Por esto, resulta prioritaria la conservación de los suelos y las coberturas vegetales en la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía de Perijá, así como una gestión integrada y sostenible de la cuenca del río Ranchería.



El Cerrejón a través de sus políticas corporativas, su sistema de gestión ambiental y sus actividades de compensación realiza una contribución sustancial en términos de la conservación de la diversidad biológica, la restitución de suelos, la restitución y conservación de las coberturas vegetales, los cuerpos naturales de aguas, y el aseguramiento de la calidad del aire (ver Capítulo 3).

*Bosques de galería que funcionan como corredores ambientales para conectar los sistemas montañosos que delimitan el valle del Ranchería.*



## EL CONTEXTO ECONÓMICO ■

DE LA SAL Y EL COMERCIO AL CARBÓN Y EL GAS

La economía departamental combina grandes actividades empresariales de extracción de recursos energéticos con actividades agropecuarias, el sector de servicios y el comercio de productos nacionales y extranjeros. En este departamento conviven de manera natural el pastoreo seminómada y la agricultura estacional de los guajiros con la minería de carbón térmico a gran escala.

Por su ubicación fronteriza, 220 km compartidos con el vecino estado venezolano de Zulia, existe un espacio de integración económica y de colaboración para el desarrollo binacional. Son numerosos los vínculos comerciales, culturales y familiares entre los dos países. Esto determina un gran movimiento e intercambio de personas, bienes y servicios en un activo espacio fronterizo.

La tradicional extracción de sal marina en Manaure, que durante décadas fuese una de las principales generadoras de rentas, vio llegar a finales del siglo XX los enormes emprendimientos productivos del carbón y el gas.

El sector minero ha estimulado el crecimiento de la economía departamental especialmente a través del aprovechamiento de las reservas de carbón en Cerrejón. Por otro lado, en el sector de hidrocarburos, la extracción de gas en los pozos Chuchupa y Ballenas ha contribuido a dinamizar igualmente la actividad económica en esta sección del país. Además, el departamento cuenta con una gran central térmica de generación dual, que opera ya sea con gas natural o con carbón. Todo ello posiciona a La Guajira como un actor fundamental en el desarrollo de fuentes de energía.

En La Guajira la leña y el carbón han sido durante décadas las fuentes tradicionales de energía. Sin embargo, la nueva canasta energética no sólo involucra productos convencionales como carbón, gas y energía termoeléctrica, sino también un creciente desarrollo de energías renovables



*Planta de extracción de sal marina en Manaure.*



*Parque Eólico Piloto Jepirachi, municipio de Uribia.*



como la solar y la eólica. Un ejemplo de ello es el Parque Eólico Piloto Jepírachi, ubicado cerca del Cabo de la Vela, con una capacidad instalada de 19,5 MW de potencia y un programa de expansión que se propone alcanzar los 200 MW.

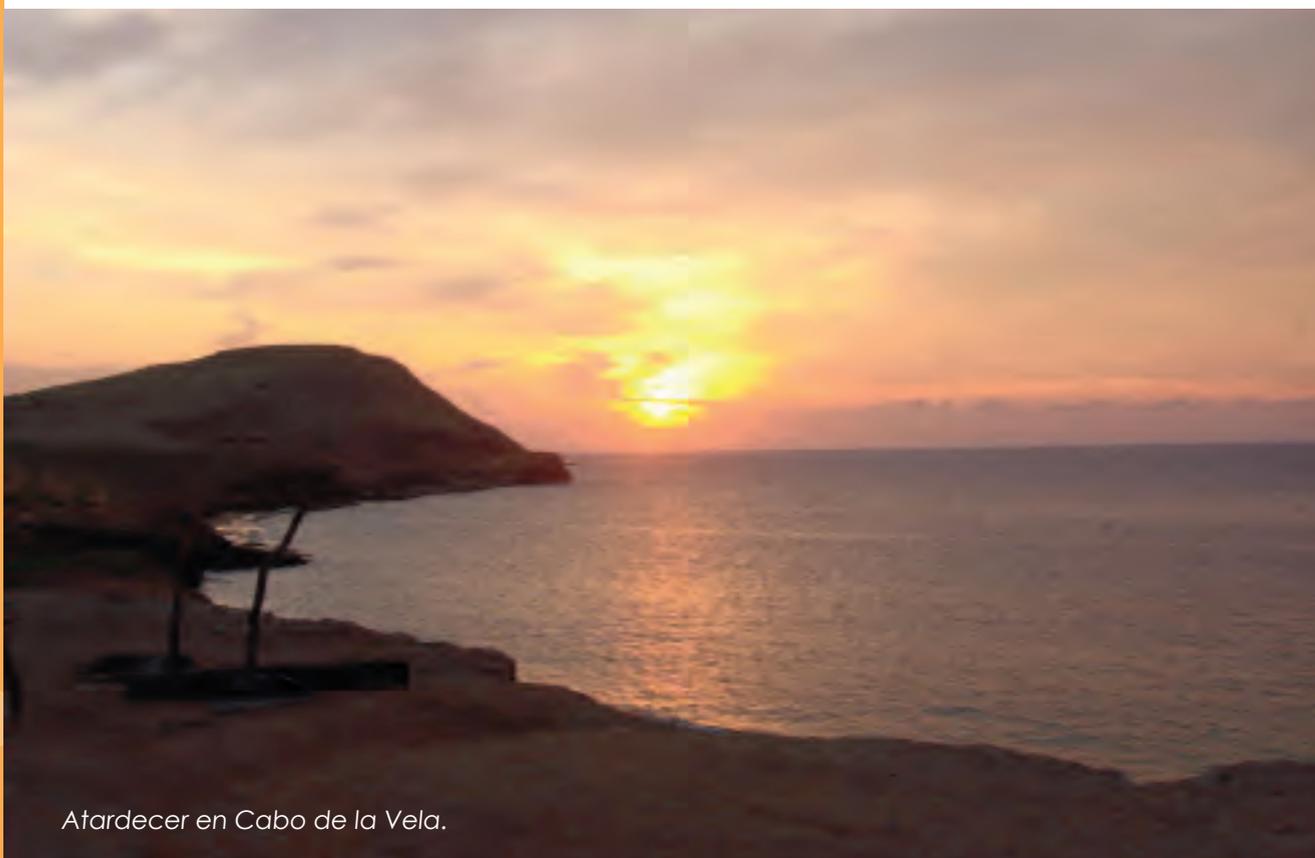
En el sector agrícola, los cultivos tradicionales son maíz, sorgo, arroz, yuca, frijol, plátano y café. La mayor parte de la agricultura se encuentra en la Baja Guajira. Actualmente se avanza en el Distrito de Riego del Río Ranchería, el cual proveerá de agua a cerca de 18.000 ha en los municipios de San Juan del Cesar, Distracción, Fonseca y Barrancas, proyecto que fortalecerá el desarrollo agrícola ampliando el conjunto de especies cultivables tales como ahuyama, ají, berenjena, cebolla, melón, patilla, pepino, tomate, pimentón, malanga, papaya, limón y mandarina, entre otros.

Además, La Guajira se ha sumado al auge creciente de los biocombustibles, los cuales son promocionados tanto en el mercado doméstico como en el exterior.

La ganadería bovina se concentra en la Baja Guajira con cerca del 70% del hato ganadero, el cual se estima en cerca de 250.000 animales. En contraste, en la Media y Alta Guajira la aridez del medio hace que predominen las especies ovinas y caprinas.

Otro sector de importancia creciente es el turismo, en el cual La Guajira ofrece atractivos excepcionales. Naturaleza, exóticas playas de paisaje desértico, diversidad de paisajes áridos, el multiculturalismo y sus artesanías y la gastronomía local conforman una oferta de etnoecoturismo sin par en toda la región.

Algunos de los destinos más atractivos son el Cabo de la Vela, las salinas de Manaure, los Santuarios de Flora y Fauna de los Flamencos en Musichi y Camarones, las playas de Mayapo, el Parque Natural de la Serranía de Macuira, Montes de Oca y la plataforma de Chuchupa, entre otros. Cerrejón forma parte de las rutas turísticas en este exótico departamento caribeño y recibe alrededor de 20.000 turistas por año.



*Atardecer en Cabo de la Vela.*



*Tren de transporte del carbón entre la mina y el puerto.*



*Cargue directo de barcos carboneros en Puerto Bolívar.*

## IMPLICACIONES DE LA OPERACIÓN MINERA EN EL DESARROLLO REGIONAL

MINERÍA RESPONSABLE Y COMPROMETIDA CON EL DESARROLLO DE LA GUAJIRA

Cerrejón se ha convertido en un actor fundamental para el desarrollo de La Guajira. Su presencia tiene evidentes implicaciones sociales, ambientales y económicas. La actividad minera desencadena cambios importantes en el uso de la tierra con efectos en el ordenamiento del territorio. No obstante desde el inicio de sus operaciones, su comportamiento corporativo en materias social y ambiental la han perfilado como una empresa que lidera y promueve la minería responsable. La compañía se ha preocupado por entender el contexto económico, social, ambiental y político en el que opera y proyectarse como un actor constructivo en el desarrollo del departamento. De forma consistente, sus políticas de gestión ambiental y social apuntan a dejar una huella positiva en la región (ver Capítulos 3 y 4).

En el ámbito económico el impacto es notable. El carbón del Cerrejón constituyó el 41% del PIB departamental y el 0,4% del PIB nacional en el año 2009 (Cerrejón, 2010). En el mismo año, el valor de las exportaciones del Cerrejón fue de 2228 millones de dólares, lo cual representó cerca del 6% del total de exportaciones colombianas (DANE, 2010). Los principales aportes del Cerrejón a la economía del departamento y de la nación están representados en los impuestos, las regalías, la generación de empleo y la demanda de bienes y servicios. En materia de impuestos la compañía pagó 464 millones de dólares y 308 millones por concepto de regalías en 2009 (Cerrejón, 2010). Como ya se mencionó, son cerca de 10.000 empleados y contratistas quienes constituyen una colosal fuerza humana, el 70% de los cuales son guajiros. Esto sin contar los empleos indirectos que se generan.

Más allá del pago de impuestos y regalías que son fundamentales para el desarrollo regional, Cerrejón ha asumido el compromiso de apoyar a las autoridades para el mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades locales. La empresa promueve el desarrollo local a través de su División de Gestión Social y de sus cuatro fundaciones. Estas apoyan el fortalecimiento de las instituciones regionales, el desarrollo de las comunidades indígenas, el mejoramiento en el suministro de agua, y el estímulo a emprendedores y nuevas empresas. Las diferentes iniciativas se adelantan en coordinación con los gobiernos locales, departamental y nacional, y se enmarcan dentro de los correspondientes planes de desarrollo (Cerrejón, 2010, 2011).

*“El carbón, la piedra mágica para el desarrollo de La Guajira”.*





*Parcela de frijol capizuna cultivada por Guillermo Urariyú, naturista tradicional Wayúu, utilizando técnicas de conservación de suelos aprendidas del proceso de rehabilitación de tierras.*

La intervención de áreas necesarias para la operación minera desencadena fenómenos migratorios locales. En todos los casos de reasentamiento se busca que las poblaciones involucradas dispongan de adecuadas condiciones y medios para mejorar su calidad de vida.

El Cerrejón está decididamente vinculado al desarrollo departamental y contribuye con la implementación de varios proyectos estratégicos territoriales consignados en el Plan de Desarrollo (Asamblea departamental de La Guajira, 2009). Sea directamente o a través de sus fundaciones, son numerosas las iniciativas que se apoyan con el ánimo de aportar en términos de competitividad, gobernabilidad y fortalecimiento institucional, desarrollo social y gestión ambiental.

El gran desafío consiste, entonces, en articular la minería al desarrollo integral del departamento, para evitar que sus beneficios sean simplemente coyunturales y para asegurar que se distribuyan a toda la población. En otras palabras, se trata de tender puentes entre la actividad minera y otros sectores de la economía regional, lo que incluye el fomento de iniciativas que le otorguen mayor competitividad a las cadenas productivas intersectoriales.

En efecto, la idea es imprimirle un mayor valor agregado a las industrias del gas, al carbón y a la sal, más allá del carácter extractivo de estas actividades económicas. De allí la importancia de invertir adecuadamente las regalías en el desarrollo de capital humano y la conservación del patrimonio natural, y no solamente en infraestructura (vial, portuaria, comunicaciones, de servicios básicos). Si no se mantiene la integridad del capital natural, no hay desarrollo ni sostenibilidad posibles.











# 2

## CLIMA, SUELOS Y DIVERSIDAD BIOLÓGICA

Relieve de colinas bajas y ambientes secos, con vegetación caducifolia y diversos usos de la tierra, en estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta.



Juvenil de tortuga Cabezona (*Caretta caretta*)



El río Ranchería a su paso por Cerrejón en época seca, franjas laterales del bosque alimentadas por las aguas del cauce y su acuífero asociado.



# EL ENTORNO BIOFÍSICO EN EL CENTRO-SUR DE LA GUAJIRA

En un país cubierto en su mayor extensión por selvas húmedas tropicales amazónicas o chocoanas, por extensas llanuras orinocenses y fragmentados bosques andinos, no deja de llamar la atención el diverso mosaico de ecosistemas desérticos, áridos y semiáridos que ofrece el departamento de La Guajira. En términos de relieve, se trata de un departamento caracterizado por una combinación de paisajes de valle, planicie, lomerío y piedemonte.

Si bien predominan los ambientes secos, una sección del territorio hacia el sur ofrece ambientes húmedos de montaña, incluso pequeñas extensiones de páramo. Esto es porque La Guajira comparte el excepcional macizo de la Sierra Nevada de Santa Marta con sus vecinos los departamentos de Magdalena y Cesar y la Serranía de Perijá con el Cesar.

Correjón está ubicado entre la Serranía de Perijá, extremo norte de la cordillera Oriental colombiana, y las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta, macizo desprendido de los Andes.

La minería del carbón se da básicamente en la cuenca de sedimentación del río Ranchería, en un valle sobre relieves ondulados, con presencia de laderas de pendiente moderada.

El río Ranchería nace en la Sierra Nevada de Santa Marta en el páramo de Chirigua y desemboca en el mar Caribe cerca de Riohacha. Su caudal se nutre principalmente de corrientes que bajan de la Sierra y en menor medida recibe aportes estacionales de arroyos de la Serranía de Perijá. Su caudal medio mensual multianual a la altura de Cuestecitas (municipio de Albania) es de 11 m<sup>3</sup>/s. El caudal oscila entre un mínimo de 0 y un máximo mensual de 145 m<sup>3</sup>/s (Municipio de Albania, 2004). El rendimiento hídrico total de la cuenca es de 5,9 l/km<sup>2</sup> uno de los más bajos del país (Marín, 1992). En el curso bajo pierde parte de su caudal debido a las infiltraciones en el lecho por la porosidad de su cauce, a la alta evaporación y a las captaciones de que es objeto a través de numerosos canales y acequias. La cuenca baja es deficitaria en agua y solo en los meses lluviosos el río logra verter su caudal al mar.

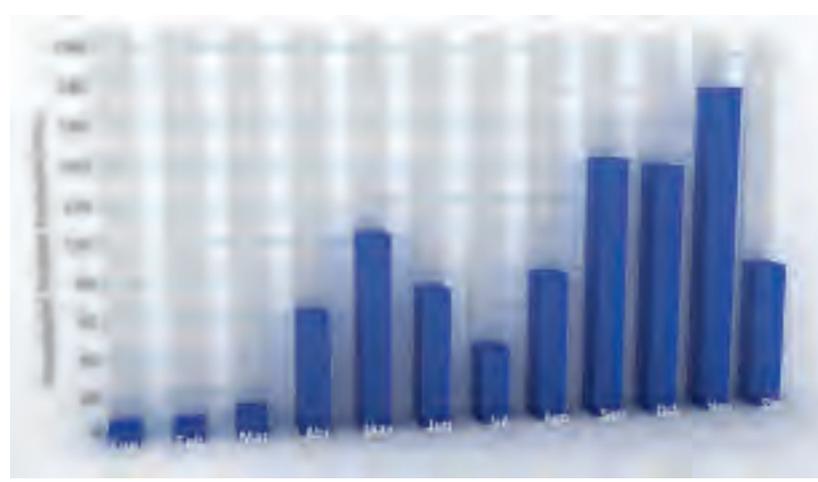
## CLIMA

Las condiciones predominantemente áridas de La Guajira están determinadas en buena parte por la acción de los vientos alisios del noreste. Dichos vientos, que soplan durante casi todo el año, empujan las nubes en dirección a la Sierra, donde la humedad se acumula. Así, se establece un gradiente en la precipitación de noreste a suroeste que va desde unos 300 - 400 mm anuales en la Alta Guajira hasta unos 2000 en las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta (IGAC & Corpoguajira, 2009).

La mayor parte del territorio departamental, más del 90%, corresponde al piso térmico cálido (0 a 1000 msnm). El resto, básicamente en la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía de Perijá se encuentra en los pisos térmicos templado (1000 a 2000 msnm), frío (2000 a 3000 msnm) e incluso paramuno (más de 3000 msnm).







*Distribución mensual de la precipitación en Cerrejón, valores medios mensuales para el periodo 1990 - 2010.*

En términos del balance hídrico, prácticamente todo el departamento presenta condiciones de déficit, siendo este más acentuado en la Alta Guajira. La excepción es la Sierra Nevada de Santa Marta. El déficit hídrico anual en el área donde opera Cerrejón fluctúa entre 1000 y 1500 mm. Por el contrario, en aquellas pocas áreas donde ocurre algún exceso de humedad en el suelo, este alcanza apenas del orden de 0 a 100 mm (IGAC & Corpoguajira, 2009).

Las zonas climáticas en el área de Cerrejón corresponden a las categorías cálido seco y cálido muy seco. Se presentan dos períodos lluviosos, en abril-mayo el primero, y entre octubre y noviembre, el segundo. Cerca de allí en las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía de Perijá prevalecen las zonas climáticas templado seco y templado muy seco.

Sobre la vertiente oriental de la Serranía de Perijá tienen ocurrencia las mayores precipitaciones. Las masas nubosas que logran superarla, descargan la humedad que aún conservan en la parte superior y media de su vertiente occidental, razón por la cual en el valle del río Ranchería la precipitación es menor.

*Descargas eléctricas y lluvias de alta intensidad en el valle del río Ranchería.*





## SUELOS ■

Como se indicó en el capítulo anterior, la diversidad de climas, relieves y materiales parentales que se conjugan en La Guajira ha generado una gran diversidad edáfica. Ella se refleja en el reconocimiento de seis órdenes (Entisoles, Inceptisoles, Molisoles, Alfisoles, Aridisoles y Vertisoles) y catorce subórdenes. En total, en todo el departamento se han descrito 90 unidades de mapeo de suelos al nivel de asociaciones, consociaciones y complejos (IGAC & Corpoguajira, 2009).

La mayor parte de la actividad minera de Cerrejón afecta suelos del valle aluvial del río Ranchería. Se trata de suelos originados a partir de los aportes laterales de áreas de lomerío, además de sedimentos provenientes de las vertientes de la Serranía de Perijá, constituidos por materiales provenientes de rocas sedimentarias, tales como arcillolitas, areniscas y calizas.



*El río Ranchería y su bosque de galería asociado, aledaños a las áreas de minería en Cerrejón.*



## UNIDADES DE SUELOS EN CERREJÓN

De acuerdo con el estudio general de suelos de La Guajira realizado por IGAC & Corpoguajira (2009), en el área de Cerrejón y sus alrededores se encuentran las siguientes unidades cartográficas de suelos:

GRUPO INDIFERENCIADO TYPIC USTIFLUENTS - FLUVENTIC HAPLUSTEPTS - TYPIC NATRUSTALFS (VWA).

Localizado en vegas y terrazas bajas del valle aluvial del río Ranchería. Agrupa suelos muy superficiales a moderadamente profundos, de texturas medias, bien drenados, reacción neutra a ligeramente alcalina, capacidad de intercambio catiónico mediana a baja, fertilidad media a alta. La vegetación natural ha sido reemplazada por pasturas y cultivos para dar paso a una ganadería extensiva.

ASOCIACIÓN ARIDIC HAPLUSTALFS - INCEPTIC ARIDIC HAPLUSTALFS - ARIDIC NATRUSTALFS (VWB).

Localizada en terrazas del valle aluvial del río Ranchería, cerca de las localidades de Remedios y Tabaco. Con suelos moderadamente profundos a superficiales, de texturas moderadamente finas, bien drenados, capacidad de intercambio catiónico media, reacción ligera a moderadamente alcalina, fertilidad alta a muy alta.

ASOCIACIÓN FLUVENTIC HAPLUSTOLLS – ARIDIC LITHIC HAPLUSTOLLS (VWC).

Localizada en terrazas del valle aluvial del río Ranchería. Hace parte de un pequeño valle estructural erosional a altitudes de 200 msnm. Se le encuentra en el municipio de Hatonuevo, entre el cerro del Manantial y la loma Los Bañaderos. Integrada por suelos profundos a moderadamente profundos, de texturas moderadamente finas a finas, bien drenados, capacidad de intercambio catiónico de alta a media, reacción moderadamente alcalina, fertilidad alta.

ASOCIACIÓN ARIDIC HAPLUSTALFS – ARIDIC NATRUSTALFS (PWE).

Cubre terrenos planos y ligeramente ondulados que forman parte del piedemonte de la Serranía de Perijá y de la Sierra Nevada de Santa Marta. Se encuentran a altitudes entre 200 y 250 msnm, en la zona de vida de bosque seco tropical (bs-T). En la zona minera de Cerrejón se ubican principalmente en los municipios de Albania y Barrancas, en las localidades de Patilla, Caracolí y Oreganal. Comprende suelos moderadamente profundos, con texturas moderadamente finas, bien drenados, reacción ligeramente alcalina, capacidad de intercambio catiónico alta a media, fertilidad moderada.

ASOCIACIÓN TYPIC USTORTHENTS – TYPIC HAPLUSTEPTS (LWA).

Unidad que se encuentra en el sur del municipio de Maicao y norte de Albania, en las estribaciones de la Serranía de Perijá, bordeando el valle del río Ranchería, corresponde a zona de vida de bosque seco tropical. Se ubica en paisajes de lomerío por ejemplo en la zona del Arroyo La Puente. Comprende suelos superficiales a moderadamente profundos, limitados por horizontes con altos contenidos de fragmentos gruesos; de texturas moderadamente finas; moderadamente bien drenados; reacción ligeramente alcalina; fertilidad moderada

ASOCIACIÓN TYPIC NATRUSTALFS – TYPIC USTORTHENTS – LITHIC USTORTHENTS (LWC).

Se localiza en zonas de lomerío en las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta. Son suelos muy superficiales, de texturas medias a moderadamente gruesas, bien drenados, reacción fuerte a ligeramente ácida, fertilidad moderada.



Suelos de Cerrejón. Arriba, perfil de un suelo en una terraza media no intervenida del valle del río Rancharía. Abajo, perfil de un nuevo suelo en una planicie minera en rehabilitación.



## BIOMAS Y ECOSISTEMAS

De acuerdo con el mapa de ecosistemas de Colombia, en La Guajira predominan los grandes biomas bosque seco tropical y bosque del desierto tropical. Sin embargo, en virtud de la presencia de la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía de Perijá, el departamento cuenta también con una importante cobertura de bosque húmedo tropical (IDEAM et al., 2007). Los ecosistemas continentales y costeros de La Guajira se agrupan en los siguientes biomas:

### GRAN BIOMA BOSQUE DEL DESIERTO TROPICAL

Zonobioma del desierto tropical de La Guajira y Santa Marta
---

### GRAN BIOMA DEL BOSQUE SECO TROPICAL

Helobioma de La Guajira
-------------------------

Zonobioma seco tropical del Caribe
------------------------------------

Helobioma del Caribe
----------------------



*Panorámica del zonobioma seco tropical del Caribe en Cerrejón.*



Arroyo Tabaco y su bosque de galería, aledaños a las áreas mineras de Cerrejón.

## GRAN BIOMA DEL BOSQUE HÚMEDO TROPICAL

Orobioma bajo de los Andes	Helobiomas andinos
Orobioma medio de los Andes	Orobioma bajo de la Sierra Nevada de Santa Marta y Macuira
Orobioma alto de los Andes	Orobioma medio de la Sierra Nevada de Santa Marta
Helobioma Magdalena Caribe	Orobioma alto de la Sierra Nevada de Santa Marta

En Cerrejón, la mayor cobertura corresponde al zonobioma seco tropical del Caribe, además del orobioma bajo de los Andes (hacia Perijá), el helobioma Magdalena Caribe y el orobioma bajo de la Sierra Nevada de Santa Marta y Macuira. Estos biomas cubren ecosistemas en distintos estados de conservación y sucesión, lo cual incluye áreas mayormente alteradas, áreas agrícolas heterogéneas, pastos, arbustales y bosques naturales.

Algunas de las áreas naturales estratégicas en la zona de influencia de Cerrejón son el bosque de galería del flanco oriental aguas abajo del arroyo Tabaco, los bosques de los cerros de Cuentecitas, Porfiosa (cuchilla Chorimahana y sus alrededores) y Los Remedios (sierra Troco ó Charapilla), los bosques de las lomas Chimbolo (atraviesan el resguardo Indígena Wayúu Cuatro de Noviembre), entre otras. En términos de la protección del recurso hídrico son igualmente estratégicos el bosque de galería del río Ranchería y sus afluentes y el bosque de galería de la subcuenca del arroyo El Salado y sus afluentes, así como la zona de recarga de los acuíferos (Falla de Oca).

## ZONIFICACIÓN AMBIENTAL DEL DEPARTAMENTO

A partir de la interpretación ecológica del paisaje se ha definido una zonificación ambiental que diferencia las siguientes unidades ambientales (IGAC & Corpoguajira, 2009):

Serranía de Macuira	Valle aluvial de los ríos Ranchería y Cesar
Zona árida y semiárida	Serranía de Perijá
Zona costero marina	Área de influencia de la vertiente nororiental de la Sierra Nevada de Santa Marta
Zona de transición – zona de vida bosque seco subtropical	Santuario de Flora y Fauna Los Flamencos
Sierra Nevada de Santa Marta	

La zona árida y semiárida ocupa más de la mitad de la superficie del departamento, básicamente la Alta y una parte de la Media Guajira. Las formaciones vegetales de mayor cobertura son el matorral desértico subtropical y el monte espinoso subtropical. Las unidades con paisaje montañoso se ubican en el sur del departamento y son compartidas con los vecinos departamentos del Cesar (Sierra Nevada y Perijá) y Magdalena (Sierra Nevada).

El área minera de Cerrejón comprende parte de algunas de estas unidades ambientales, ante todo el valle aluvial del río Ranchería. Además incluye secciones de la zona de transición – zona de vida bosque

seco subtropical (franja ubicada al sur de la Media Guajira, entre Riohacha y Maicao) y las estribaciones de la Serranía de Perijá.

## FORMACIONES VEGETALES ■

Desde una perspectiva bioclimática, en La Guajira se encuentran las siguientes formaciones vegetales / zonas de vida (IGAC & Corpoguajira, 2009):

Matorral desértico subtropical	Bosque húmedo tropical
Monte espinoso subtropical	Bosque muy húmedo premontano
Bosque seco subtropical	Bosque muy húmedo montano bajo
Bosque seco tropical	Bosque pluvial montano

En la Alta y Media Guajira predominan el matorral desértico y el monte espinoso subtropical. En contraste, en la Sierra Nevada de Santa Marta y Serranía de Perijá se presentan formaciones de mayor humedad que incluyen el bosque húmedo tropical en las partes bajas, hasta bosque pluvial montano (corresponde al subpáramo) en las partes más altas.

*Bosque Seco Tropical*

El área de concesión de Cerejón corresponde principalmente a las formaciones vegetales monte espinoso subtropical, bosque seco subtropical y bosque seco tropical. Sin embargo, la vegetación nativa ha sido intensamente perturbada en especial por la deforestación y la disminución de la cobertura herbácea protectora de los suelos, asociados con el sobrepastoreo por bovinos y vacunos, además de las alteraciones inducidas por la minería. Como resultado de lo anterior, el paisaje actual es un mosaico de áreas bajo diferentes estados de intervención humana en medio de los cuales se encuentran fragmentos de vegetación nativa en diversos grados de conservación.



Los relictos de bosque seco tropical se encuentran en los predios de La Mina que no han sido objeto de explotación minera y que correspondieron en su momento a haciendas ganaderas con fragmentos de bosques. Este tipo de fragmentos han sido conservados por parte de Cerrejón en la zona de operaciones y también en las zonas de compensación.

El estrato arbóreo superior de esos bosques está conformado por carreto (*Aspidosperma polyneuron*), árbol de fuste erecto que frecuentemente se encuentra sobre afloramientos rocosos, ceiba o ceiba de leche (*Hura crepitans*), especie de crecimiento rápido, que ha permitido en algunos lugares evitar su desaparición, algarrobo o campano (*Pithecellobium saman*), corazón fino (*Platymiscium pinnatum*), puy (*Tabebuia billbergii*), guayacán de bola (*Bulnesia arborea*), indio en cuero o resbala mono (*Bursera simarouba*), quizás el elemento florístico más conspicuo del bosque seco tropical relictual, y gusanero o quebracho (*Astronium graveolens*), un buen indicador de la unidad (Barbosa, 2009a)

El estrato arbustivo está conformado por puy (*Tabebuia billbergii*), macurutú (*Lonchocarpus punctatus* y *L. sanctae-marthae*), uvito macho (*Cordia alba*), jayito (*Machaerium sp.*), espinito colorado (*Mimosa arenosa*) y volador (*Gyrocarpus americanus*), entre otros. Además, en condición de subordinados, se pueden encontrar arbustos de corioto (*Pithecellobium lanceolatum* y *P. forfex*) y pastelillo blanco (*Coccoloba obtusifolia*), los cuales acompañan marginalmente al bosque higrotropófitico o a los remanentes del bosque seco (en áreas transicionales). Además, es común ver individuos que crecen de forma aislada como guayacán de bola (*Bulnesia arborea*), guayacán azul (*Bul-*

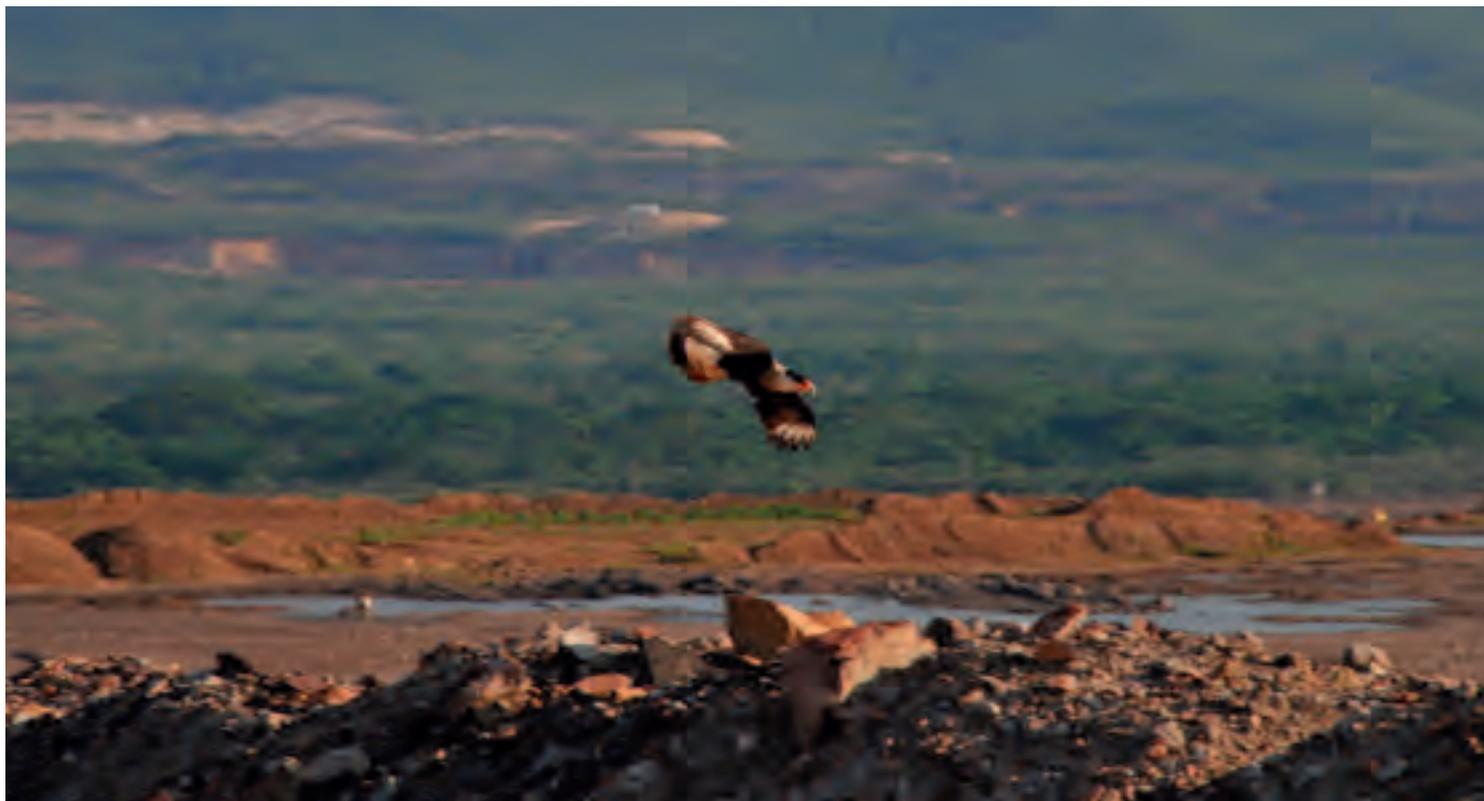


Arriba - Puy (*Tabebuia billbergii*)

Abajo - Olivo (*Capparis odoratissima*)

*nesia carrapo*), una serie de olivos, tocos, (*Capparis frondosa*, *C. odoratissima*, y *Crataeva tapia*) de la familia *Capparaceae*, y *dividivi* (*Caesalpinia coriaria*). Estas últimas especies pueden encontrarse en matorrales secundarios o como testigos aislados en las sabanas que otrora fueron ocupadas el por bosque seco tropical. El ébano (*Caesalpinia ebano*), fue explotado en el pasado hasta casi su extinción, actualmente se le puede encontrar al menos en paisajes de terrazas entre los arroyos Bruno y La Puente.

En el estrato herbáceo se encuentran la zarza (*Randia sp.*), heliotropos (*Heliotropium sp.*) y *Desmanthus sp.*, entre las especies más comunes. Una legión de bejucos pertenecientes a las familias *Bignoniaceae*, *Sapindaceae* y *Combretaceae* acompaña el conjunto florístico anteriormente descrito.



## FLORA Y FAUNA

*Cari cari* (*Caracara cheriway*), ave rapaz carroñera sobrevolando las tierras de depósito de materiales inertes.

A partir de información florística y de vegetación secundaria disponible se ha realizado un listado general de las plantas del área de Cerrejón, que identifica 369 especies de fanerógamas (Barbosa, 2009a). Las familias mejor representadas son las leguminosas (Fabaceae), Caesalpinioideae, Mimosoideae y Papilionoideae. Además están bien representadas las familias Euphorbiaceae, Poaceae, Malvaceae, Asteraceae, Bignoniaceae, Boraginaceae, Cactaceae y Capparidaceae.

En La Guajira se han definido cuatro áreas importantes para la conservación de las aves (AICAS): el Parque Nacional Natural Macuira, el complejo de humedales costeros, el Valle de San Salvador y el Cerro Pintado (Instituto Humboldt, 2005). En esta última AICA, ubicada en el flanco occidental de la Serranía de Perijá, se

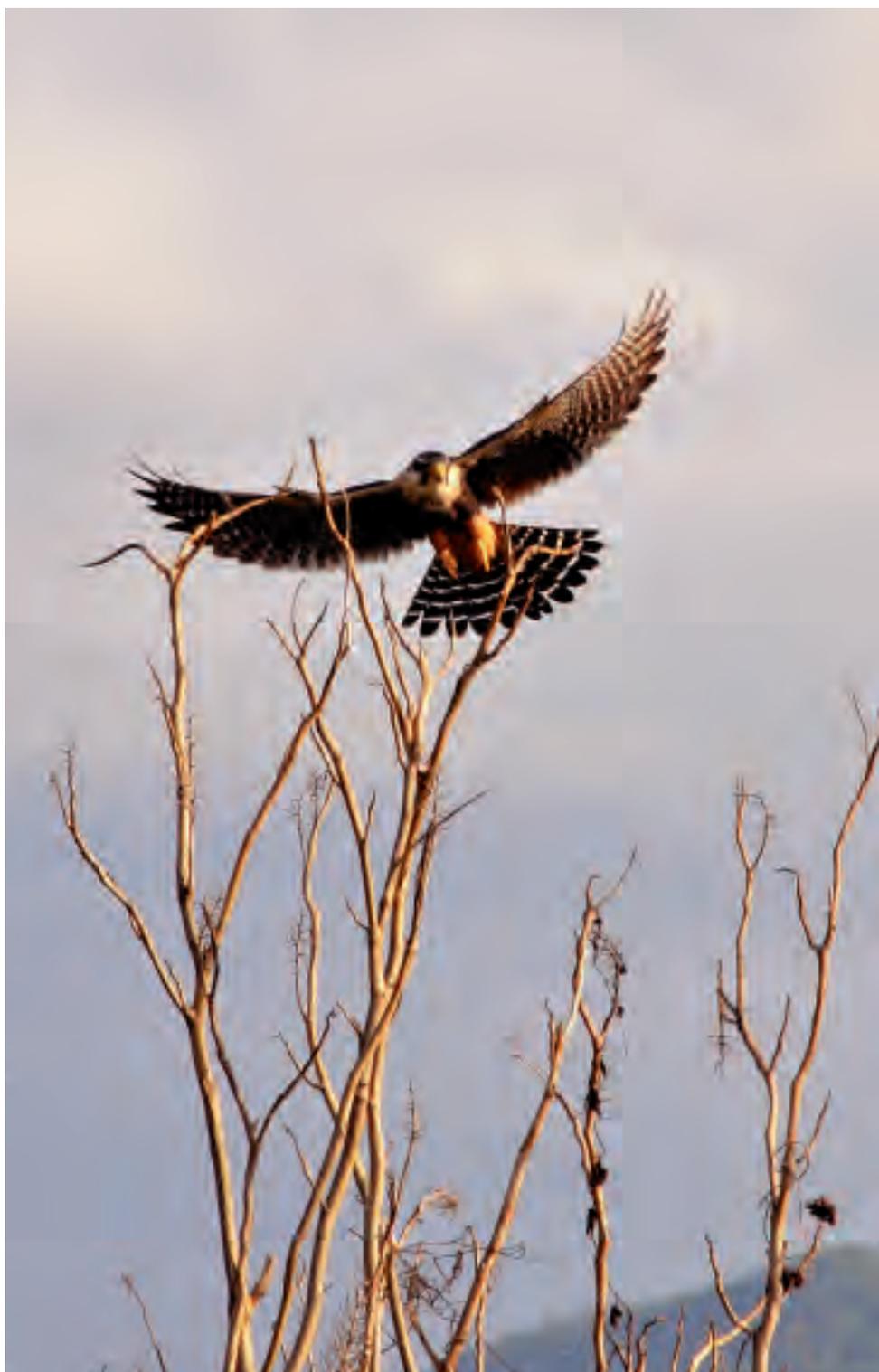


han registrado cerca de 208 especies de aves, muchas de las cuales habitan en zonas de valle y piedemonte manejadas por Cerrejón. Sin embargo, se intuye que el número real de especies en la zona puede ser mucho mayor. Se resalta la presencia del cóndor andino (*Vultur gryphus*).

Buena parte de la fauna asociada al bosque seco tropical en La Guajira proviene de los bosques húmedos de la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía de Perijá. Esto es evidente, por ejemplo, en el caso de la avifauna, la cual es una mezcla de elementos de zonas áridas y húmedas. En este sentido, el sector donde opera Cerrejón es un lugar interesante para la observación de aves. Esta sección del valle del río Ranchería funciona como un área de tránsito de fauna entre las dos formaciones montañosas, lo cual tiene implicaciones importantes en términos de conectividad de hábitats.

Valiosa información sobre la fauna asociada al área de operaciones de Cerrejón ha sido obtenida a través de los estudios realizados por la propia empresa. Entre otros, el “Estudio de Impacto Ambiental para el Proyecto Carbonífero del Cerrejón”, realizado para la Asociación Carbocol-Intercor por Woodward-Clyde Consultants e Ingenieros Consultores Integral Ltda. y el “Estudio Ambiental de Nuevas Áreas de Minería” hecho para el Complejo Carbonífero El Cerrejón Zona Norte por la firma INGETEC S.A.en 1997.

Actualmente se han identificado 402 especies de vertebrados, 17 anfibios, 41 reptiles, 258 aves y 86 mamíferos y 226 especies de insectos (33 coleópteros coprófagos, 86 hormigas y 107 mariposas diurnas).



Halcón murcielaguero (*Falco femoralis*)

Lobito - *Ameiva bifrontata*



Iguan Iguana





Cardenal Guajiro (*Cardinalis phoeniceus*)

## ÁREAS PROTEGIDAS

En 2010 el departamento de La Guajira contaba con 227.758 hectáreas de territorio continental protegido a través de figuras de jurisdicción nacional o regional (SIRAP Caribe, 2010). Esto equivale a un 11% de la extensión departamental. Las áreas protegidas de La Guajira son las siguientes (Villegas Editores, 2010; Vásquez et al., 2009):

### PARQUE NACIONAL NATURAL MACUIRA (MUNICIPIO DE URIBIA).

Comprende una extensión de 25.000 ha. Esta ubicado en el extremo norte de la península, protege la Serranía de Macuira, considerada un centro de endemismo y un refugio húmedo del Pleistoceno. Constituye la formación montañosa más septentrional de América del Sur. Como rasgo notable se destaca la presencia de un bosque enano nublado perennifolio por arriba de los 550 msnm.

### PARQUE NACIONAL NATURAL SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA (MUNICIPIOS DE SAN JUAN DEL CESAR, DIBULLA Y RIOHACHA).

Abarca en todo su conjunto una extensión de 383.000 ha. Parque nacional ubicado entre los departamentos de Magdalena, La Guajira y Cesar. A La Guajira le corresponde una superficie cercana a 180.000 hectáreas. Al interior de la Sierra habitan los pueblos indígenas Kogui, Wiwa, Arhuaco y Kankuamo. Además de sus excepcionales valores naturales y culturales, es estratégico en términos de la provisión de agua a los tres departamentos. En el páramo de Chirigua nace el río Ranchería, el cual conforma la principal cuenca hidrográfica de La Guajira.

### SANTUARIO DE FAUNA Y FLORA LOS FLAMENCOS (MUNICIPIO DE RIOHACHA).

Comprende un extensión de 7000 ha. Complejo de humedales costeros cuyo objetivo fundamental es proteger el hábitat de los flamencos (*Phoenicopterus ruber ruber*), aves amenazadas cuya distribución en Colombia se limita a la península de La Guajira.

### RESERVA FORESTAL PROTECTORA MONTES DE OCA (MUNICIPIOS DE ALBANIA Y MAICAO).

Abarca unas 8500 ha y está ubicado en la Serranía de Perijá, en los municipios de Albania y Maicao. Protege un área de bosque seco tropical y varias microcuencas asociadas a la cuenca del río Carraipía, una de las áreas más importantes de La Guajira en términos de provisión de agua. Beneficia a más de 150.000 habitantes.

A las áreas protegidas del orden nacional o regional se suman las reservas privadas de la sociedad civil. Si bien se trata de un desarrollo aún incipiente en La Guajira, que protege pequeñas extensiones, dichas áreas cumplen funciones de conectividad y sobre todo sensibilizan y estimulan el compromiso de propietarios privados con respecto a la conservación del patrimonio natural del departamento. Como pioneras se destacan las reservas privadas Chunduaku y El Matuy (municipio de Dibulla), y el Refugio Punta Delfín (municipio de Riohacha).

Diferentes ejercicios reconocen a la zona de influencia de Cerrejón como un área de importancia para la conservación. Tanto la autoridad ambiental regional, Corpoguajira, como el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y el Sistema Regional de Áreas Protegidas del Caribe Colombiano (SIRAP Caribe) la incluyen dentro de sus ejercicios de planeación. Precisamente, el SIRAP Caribe incorporó en una lista de áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad en el Caribe continental al “Complejo de bosques y arbustales del Cerrejón y Montes de Oca” (Galindo et al., 2009; SIRAP Caribe, 2010).





Montes de Oca

## CONSERVACIÓN DE ECOSISTEMAS Y CONECTIVIDAD REGIONAL

En el área de operaciones de Cerrejón se encuentran importantes remanentes de ecosistemas naturales. En especial se requiere la conservación de los bosques de galería asociados al curso del río Ranchería y de los remanentes de bosque seco tropical distribuidos en distintos puntos de esa área. La importancia del bosque seco tropical se puede dimensionar al considerar que en el Caribe colombiano sólo sobrevive un 1,5 % de la cobertura original de este bioma (Biocolombia, 2000).

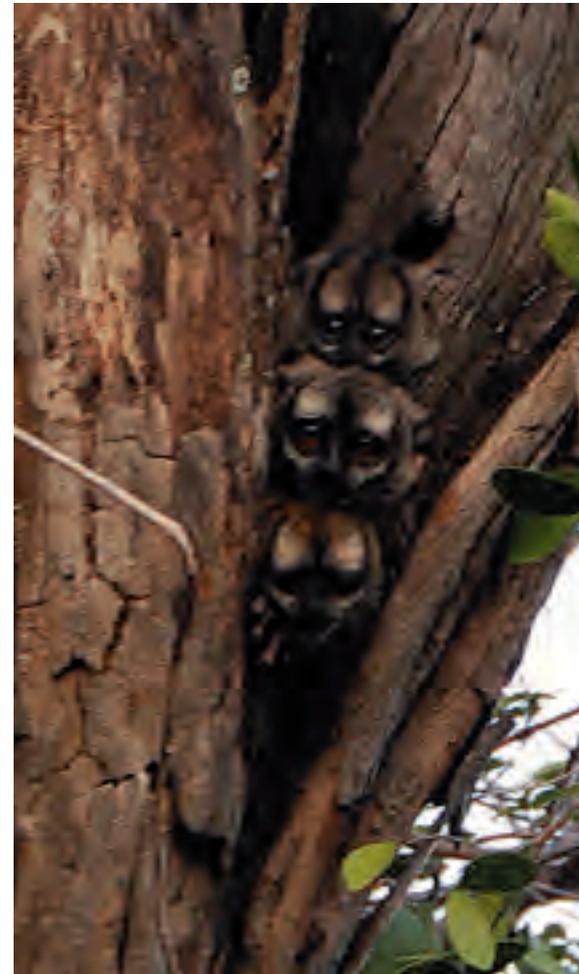
El manejo de las coberturas vegetales en Cerrejón juega un papel importante en términos de la conectividad entre los sistemas montañosos de la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía de Perijá, de una parte, como también la protección de los bosques de galería asociados al río Ranchería y sus arroyos, a lo largo de la cuenca. De allí que uno de los principales efectos positivos de las áreas rehabilitadas sea precisamente su función conectora e integradora del paisaje en tan crucial sector de La Guajira.

En general todos los tributarios de la margen derecha del río Ranchería se pueden considerar como corredores biológicos por conectar de una u otra forma la fauna y la flora con las unidades de bosque ubicadas en los montes de Oca y con las áreas naturales de interés. Por esta razón merecen ser objeto de un manejo especial, que incluya su declaración como franjas o zonas protegidas. Es el caso del arroyo de los Estados en el sector centro oriental, el cual cobija un bosque de importancia estratégica como hábitat de fauna. De acuerdo con Hernández et al. (1992), no existe un área de conservación en esta zona limítrofe con Venezuela, que albergue fauna y flora con características de endemia, dado su centro de dispersión principalmente de la familia de los cactus y leguminosas de la familia Fabaceae (Barbosa, 2009).

En este contexto es importante prestar atención a los refugios de especies con distribución geográfica limitada o endemismos. La flora y fauna tanto endémicas como amenazadas son objeto de atención por las autoridades ambientales y cuentan con el respaldo decidido de Cerrejón. Algunos ejemplos de especies de flora amenazada son el ébano (*Libidivia ebano*), el pe-rehuetano (*Parinari pachyphylla*), y el puy serrano (*Tabebuia impetiginosa*).

Entre otras especies de aves amenazadas se tiene a la metalura de Perijá (*Metallura iracunda*), el águila crestada (*Oroaetus isidori*) y el propio cóndor de los Andes (*Vultur gryphus*). Dentro de los mamíferos vale la pena destacar al mono maicero cariblanco (*Cebus albifrons cesarae*), que únicamente se distribuye en las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta, los departamentos de Cesar, Magdalena y La Guajira y en la Serranía de Perijá, al oriente de Valledupar (Defler, 2003; Rodríguez-Mahecha et al., 2006). Entre las especies con algún grado de amenaza nacional (Rodríguez-Mahecha et al., 2006; UNEP-WCMC 2008) sobresalen la danta (*Tapirus terrestris columbianus*), el oso hormiguero (*Myrmecophaga tri-dactyla*), el mico de noche (*Aotus griseimembra*), y el jaguar (*Panthera onca centralis*).

Grupo familiar de mico de noche (*Aotus griseimembra*)







*Cauce y bosque de galería del río Ranchería en Cerrejón, aledaños a las áreas de minería.*





# 3

## GESTIÓN AMBIENTAL: RESPONSABILIDAD Y COMPROMISO



Transferencia de conocimientos sobre el proceso de rehabilitación de tierras a estudiantes de la Universidad de La Guajira.



Conducción de experimentos para el desarrollo de nuevos conocimientos.



Integrantes del equipo de Rehabilitación de Tierras de Cerrejón.



# LA GESTIÓN AMBIENTAL EN EL CICLO MINERO: RESPONSABILIDAD Y COMPROMISO CON LA REGIÓN

## LOS PRIMEROS PASOS

En las operaciones de minería a cielo abierto, las diferencias entre una mina y otra las determinan los grupos humanos que adelantan dichas operaciones. El entorno ambiental y el entorno social son componentes muy importantes para considerar en cualquier actividad humana y su valoración y respeto son los principios más elementales de una gestión minera responsable.

Carbones del Cerrejón Limited, empresa operadora del complejo carbonífero Cerrejón, es una de las compañías líderes en el mundo del sector minero que se preocupa no solo por obtener buenos resultados económicos y financieros sino también por la forma como se logran esos resultados.

La reputación de Carbones del Cerrejón como compañía minera, es el resultado de las conductas de cada uno de sus empleados y contratistas asociados. Esta reputación ha sido construida paso a paso, desde el mismo momento en que se firmó el primer contrato público para la extracción del carbón<sup>1</sup>. Ese contrato en su cláusula 36, Protección del Medio Ambiente, dice: “El operador durante la explotación del carbón en el área contratada, tomará todas las medidas necesarias, de acuerdo a buenas prácticas de la minería del carbón y de las disposiciones pertinentes del Código de Recursos Naturales, a fin de prevenir daños a las personas y recursos naturales de la región o regiones relacionadas con ella, en especial los ríos, la vegetación, el suelo y la fauna... El operador restablecerá la tierra afectada por las operaciones de minería que realice, tan pronto como sea posible...” (CARBOCOL - INTERCOR, 1977).

Este documento, elaborado y aprobado 33 años atrás, es muy preciso en su mensaje al incorporar las expresiones “buenas prácticas de la minería del carbón”, “prevenir daños” y “restablecer la tierra afectada”. En esos tiempos aún no existían en Colombia operaciones de minería a cielo abierto de la magnitud del Cerrejón; por lo tanto, no se contaba con modelos nacionales de referencia en cuanto a rehabilitación de tierras y minería responsable. La incorporación de la frase “prevenir daños a las personas y recursos naturales” fue un gran adelanto

<sup>1</sup> Escritura pública número 115 de enero 25 de 1977, Notaría Cuarta de Bogotá.



*Predio Caracolí, siembra de la hectárea 1.000 año 1999*



para la época, especialmente si se tiene en cuenta que en esos tiempos los modelos de gestión ambiental de las grandes empresas colombianas eran prácticamente inexistentes, y en el caso de que los hubiera, eran de carácter reactivo o remediativo.

La preservación de las corrientes y depósitos de agua, de la vegetación, el suelo, la fauna y la calidad del aire, siempre han estado en la mente de los empleados y contratistas de esta compañía minera.

La gestión ambiental es parte integral del Sistema de Integridad Operacional (SIO), instrumento administrativo de aplicación en todas las actividades que adelanta Cerrejón.

“En Cerrejón creemos que un manejo responsable del medio ambiente comienza con una investigación necesaria en tecnología y procesos apropiados, así como también con la sensibilización de toda nuestra gente sobre la importancia vital de este tipo de manejo”

León Teicher, Presidente, Carbones del Cerrejón, 2006

## UN MODELO INTEGRADO DE GESTIÓN AMBIENTAL

“Es política de Cerrejón en sus operaciones de minería a cielo abierto, transporte y embarque de carbón en La Guajira, y en sus actividades en los otros lugares donde opera, conducir sus negocios en armonía con el medio ambiente y la sociedad, proteger la seguridad y salud de los trabajadores, y contribuir con el desarrollo, bienestar y cultura de las comunidades en su área de influencia, así como trabajar para implementar las mejores prácticas de la industria minera en materia de seguridad, salud, medio ambiente y comunidades” (Cerrejón, 2009).

El desarrollo de esta política, en lo que corresponde al medio ambiente, se adelanta dentro de un proceso de mejoramiento continuo, con las siguientes directrices:

- Diseñar, construir y mantener las instalaciones y establecer procesos operacionales en forma tal que se salvaguarden las personas, la propiedad y el medio ambiente.
- Efectuar esfuerzos permanentes para identificar y administrar los riesgos ambientales asociados a las actividades mineras.
- Cumplir con las leyes y reglamentaciones aplicables, así como con las otras obligaciones que voluntariamente haya asumido. Aplicar sus propios estándares cuando excedan la legislación existente o no exista legislación al respecto.
- Responder pronta, efectiva y cuidadosamente a las emergencias ambientales que resulten de las operaciones.
- Responder oportunamente las inquietudes que provengan de las comunidades vecinas y hacer esfuerzos permanentes para cultivar relaciones cordiales, diálogo abierto y cooperación.
- Capacitar, concientizar y comprometer a todos los empleados y contratistas en el logro de los objetivos de esta política.



Arriba, laguna final del sistema de estabilización de aguas residuales domésticas; centro, conjunto de lagunas de estabilización de aguas residuales domésticas; abajo, instalaciones de campo para el manejo integral de residuos.



El Sistema de Gestión Ambiental de Cerrejón ha sido ensamblado y actualizado a través de tres décadas de continua evaluación y administración de los riesgos. Además, se ha nutrido de la innovación y la creatividad de quienes tienen bajo su responsabilidad la misión de dar soporte técnico en aspectos ambientales a las operaciones.

Dicho sistema se sustenta sobre una base sólida, constituida por la política y las directrices atrás reseñadas. Estas a su vez responden a una filosofía de integridad operacional, en la cual son fundamentales el discernimiento, el liderazgo efectivo, las conductas individuales y la reputación (Figura 1).

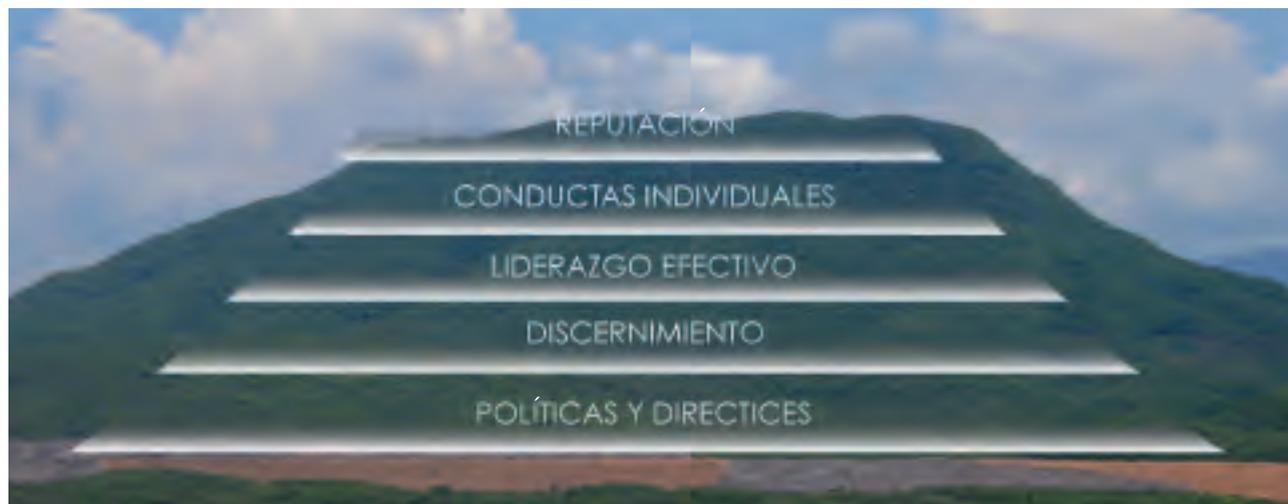


Figura 1. Fundamentos del Sistema de Gestión Ambiental de Cerrejón

Para los empleados y contratistas es muy claro que la Política de Seguridad, Salud, Medio Ambiente y Comunidades es el punto de referencia en su trabajo; en consecuencia, es de vital importancia entenderla, asimilarla y tenerla siempre presente en todas las operaciones. Fieles observadores del antiguo adagio que reza: “la práctica hace al maestro”, se ha establecido una escuela de formación y aplicación de prácticas amigables con el ambiente y la sociedad, guiada por liderazgos visibles que promueven y permiten integrar las acciones y conductas individuales.

Una de las preguntas estratégicas planteadas antes de iniciarse las operaciones de minería en Cerrejón fue la siguiente: “¿cómo balancear las expectativas de los inversionistas, las necesidades de crecimiento de la sociedad guajira y preservar la calidad ambiental?”

Por años y aún hoy es obligatorio reconocer que el mayor problema de la minería a cielo abierto es su imagen pública desfavorable. Ello está soportado por las ruinas visibles que las minas han dejado en muchos lugares al concluir sus operaciones, por los cambios drásticos en el uso de la tierra, por las modificaciones severas inducidas en el paisaje y sobre todo porque pareciera que la minería hace muy poco por mejorar su imagen pública adversa.

Es cierto que la minería produce impactos ambientales negativos de gran importancia. Pero también es cierto que en muchos casos, en asuntos de minería y medio ambiente, mineros, comunidades, autoridades ambientales, académicos, investigadores, expertos y los mismos medios de comunicación pierden objetividad

por su alejamiento de la realidad al momento de valorar, evaluar y tomar decisiones en cuanto a la validez o viabilidad de un proyecto minero.

La minería de carbón a cielo abierto es una actividad industrial muy competitiva en términos de producción de bienes y servicios, generación de ingresos, bienestar social, rentabilidad y desarrollo. Al mismo tiempo, compete con otras actividades por el uso de las tierras rurales y por la mano de obra local, además de producir pasivos ambientales en las regiones en donde adelanta sus operaciones.

La minería funciona como un sistema anidado, jerárquico humano – ambiental, con influencias sobre múltiples factores y dependencias simultáneas, a diferentes escalas de tiempo y lugar (Reynolds *et al.*, 2007ab). Su competencia por recursos es muy evidente, especialmente cuando se trata de minería de gran escala, en cuanto a territorio, agua, energía, capital humano, tecnología, servicios, infraestructura, equipos y materiales, entre otros.

Los sistemas mineros producen efectos directos en su entorno y reciben de él estímulos durante todo su ciclo, en las etapas de pre-minería, minería y post-minería o cierre definitivo. Cada una de estas etapas interviene y modifica capas o subsistemas de complejidad variable. A manera de ilustración, en la figura 2 se presenta un diagrama conceptual sobre los sistemas mineros. Se plantea una analogía con el sistema solar, en la cual la minería es el núcleo que tiene una influencia fuerte y directa sobre cuatro campos asociados, cuya importancia o peso depende de su cercanía al núcleo. Estos campos son: las comunidades, la tierra,

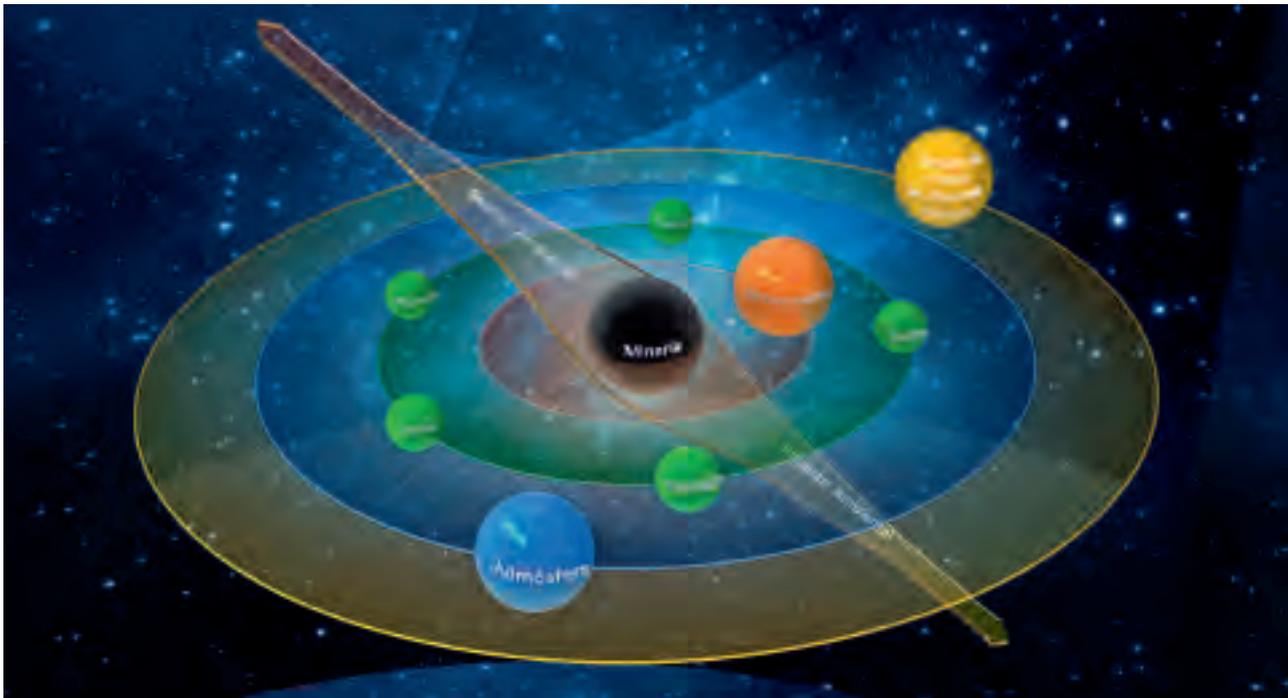


Figura 2. El sistema minero (solar).

El núcleo del sistema es la minería (M). El primer campo, color naranja, está ocupado por las comunidades vecinas (1); el segundo campo, color verde, representa la tierra, conformada por cinco componentes: paisaje (2), suelo (3), agua (4), vegetación (5) y fauna (6), en continua interacción y complementariedad. El tercer campo, color azul, corresponde a la atmósfera (7); finalmente el cuarto campo, color amarillo, representa los grupos de interés de afectación remota (8), en donde se incluye a grupos de opinión, políticos y asesores entre otros.



la atmósfera y los grupos de interés de afectación remota. Cada campo, a su vez, está ocupado por uno o más componentes.

El grado de influencia de la minería sobre los diferentes campos y componentes del sistema varía con la cercanía al núcleo y con la etapa del ciclo minero. Las comunidades humanas siempre serán un grupo de interés de primer orden, antes, durante y después de la minería. Los efectos sobre la zona verde (la tierra) son de larga permanencia, en tanto que en la zona azul (la atmósfera), si por alguna circunstancia la operación minera se detuviera, esta podría recobrar sus características en un tiempo relativamente corto. La zona amarilla (grupos de interés), la más distante del núcleo, es igualmente importante, e incluye preocupaciones genuinas de la sociedad, que merecen la debida atención, al igual que críticas sesgadas, en muchos casos productoras de ruido.

En todos los casos, la respuesta debe ser una gestión ambiental sistémica, bien contextualizada. Esto significa una asignación más equitativa de los recursos en cada uno de los campos de la gestión ambiental. Hacia esta concepción integral apunta el actual Sistema de Gestión Ambiental de Cerrejón.

Los modelos o sistemas de gestión ambiental adelantados por las operaciones mineras, con algunas excepciones, asignan pocos esfuerzos y recursos de capital humano a la identificación y determinación de sus pasivos ambientales. En la mayoría de los casos, por la carencia de una política clara delegan en asesores externos su responsabilidad en cuanto a diseñar y construir los programas o sistemas de gestión ambiental que mejor se amoldan a sus propias condiciones. Así, son frecuentes los casos de minería en donde se atiende con mayor prioridad aquellos componentes afines con las competencias y especialidades de quienes elaboran las propuestas.

El solo hecho de contar con un modelo conceptual propio, permite optimizar recursos en cuanto a reconocer y actuar sobre lo que es vital o prioritario. Esto no significa que haya componentes ambientales de mayor pedigrí, solamente que todos ellos deben ser atendidos en su debido momento, con el cuidado y respeto que cada uno de ellos demanda. Un solo componente ignorado o desatendido le resta imagen a la operación de mayor reputación en el momento menos esperado.

*Figura 3. Insumos involucrados en la construcción y operación del modelo de gestión ambiental de Cerrejón.*





*Aspersión de agua por grandes camiones tanqueros para reducir las emisiones de polvo en las vías mineras.*







## LAS ETAPAS DE LA MINERÍA

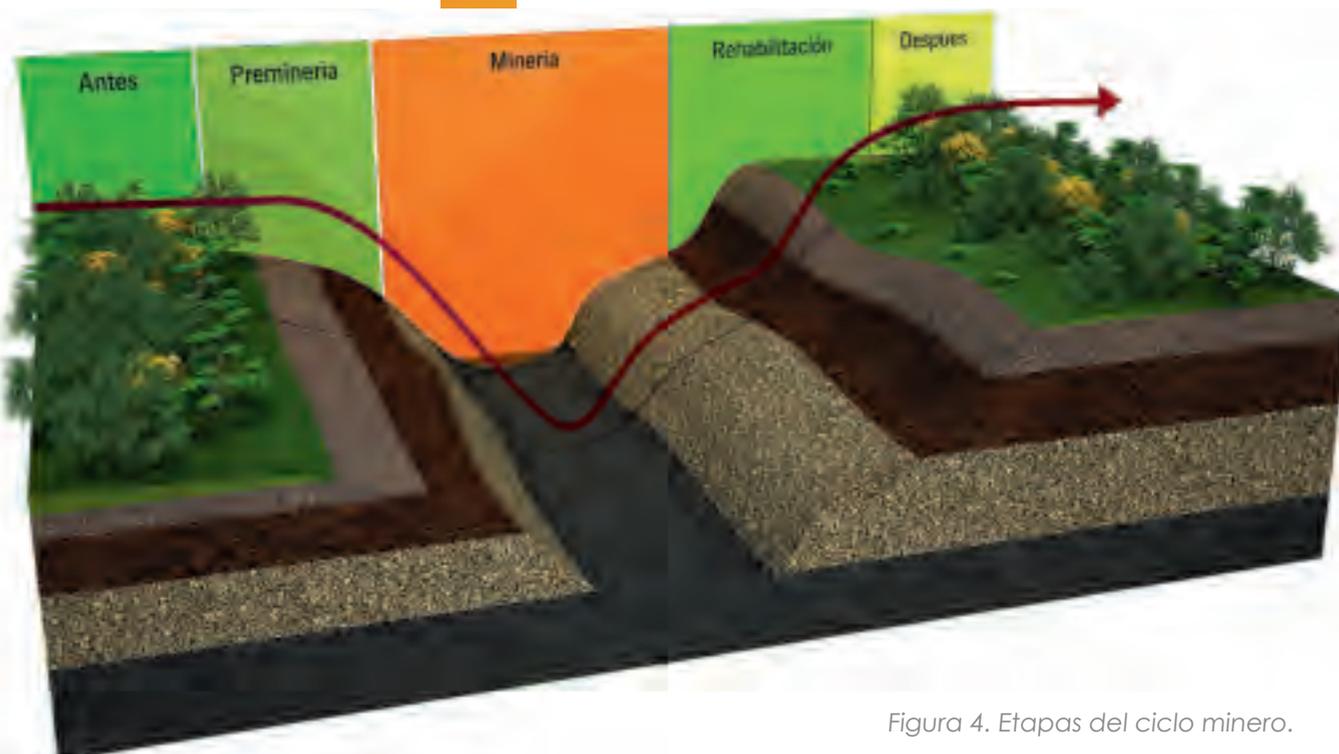


Figura 4. Etapas del ciclo minero.

Hasta 2010, a lo largo de casi tres décadas de operaciones, Cerrejón había intervenido una extensión aproximada de 11.300 hectáreas, equivalente al 0,6 % del territorio continental del departamento de La Guajira. Las áreas intervenidas se utilizan como tajos para la extracción de carbón, botaderos de desechos de minería y como instalaciones e infraestructura de soporte a la minería.

Cerrejón produce anualmente más de 30 millones de toneladas de carbón térmico, opera de manera continua las 24 horas del día, ocupa cerca de 10.000 personas entre empleados y contratistas, remueve y dispone más de 220 millones de metros cúbicos de desechos de minería por año, y cuenta con una de las flotas de equipo minero más grande del mundo, la cual incluye equipos o camiones de acarreo de hasta 320 toneladas de capacidad. Adicionalmente utiliza más de 5 millones de m<sup>3</sup> de aguas en sus actividades, consume más de 160 Gw-h de energía eléctrica y 45 millones de galones de hidrocarburos.

Las operaciones de minería en Cerrejón se adelantan en cuatro localidades interconectadas entre sí, conocidas como Tajo Oeste Expandido, Nuevas Áreas de Minería, Zona Central y Patilla. En cada una de ellas se adelantan simultáneamente, pero en frentes diferentes, las tres etapas básicas de la minería ya relacionadas como pre-minería, minería y post-minería. Como parte del ciclo minero en cada localidad anualmente se intervienen o se liberan áreas (Figura 4).

La pre-minería involucra todas las acciones requeridas para lograr el dismantelamiento ordenado de las capas de la tierra que anteceden a la minería. Primero se gestiona la esfera social mediante acuerdos concertados con los propietarios y usuarios de los terrenos. Luego se procede al manejo de la fauna, mediante actividades y acciones de dispersión, rescate, recuperación y relocalización en áreas protegidas de aque-

llos ejemplares más vulnerables y de poca movilidad. El siguiente paso consiste en el corte y extracción del material leñoso aprovechable y el desmonte completo de la vegetación mediante tractores de oruga. Finalmente se procede a remover y guardar en sitios protegidos los materiales de suelo presentes en las áreas de intervención con características y propiedades adecuadas para su utilización en la etapa de post-minería. De manera complementaria, la pre-minería también comprende la conformación de vías externas, diques, canales, embalses y lagunas para el manejo de aguas superficiales.

A continuación comienza la etapa de minería propiamente dicha, la cual incluye como operaciones principales la perforación y voladura del material rocoso, el cargue, acarreo y disposición de los materiales fragmentados de las rocas sedimentarias que cubren los mantos de carbón, y el cargue y acarreo de carbón. Esta secuencia se repite en un mismo sitio tantas veces como sea necesario, en la medida en que se profundiza la formación geológica que contiene los mantos de carbón económicamente viables, hasta llegar al fondo o límite de extracción. Inicialmente los desechos de minería son dispuestos en botaderos de superficie, en áreas en donde no hay reservas de carbón, en bancos consecutivos de abajo hacia arriba, con alturas entre bancos de 20 metros en promedio. En los tajos, cuando se ha llegado al límite inferior de minería, se procede a utilizarlos como botaderos o áreas de retrolleado. El diseño y conformación de los botaderos se adelanta siguiendo planes que incorporan los requerimientos ambientales en cuanto a drenajes, formas terrestres y pendientes que faciliten la ejecución posterior de las actividades de rehabilitación de tierras.

La post-minería es una etapa que abarca varios años, una vez un terreno es liberado por la minería. En ella se adelantan las actividades en una secuencia inversa a como se desarrolla la pre-minería. Aquí comienza la rehabilitación de los terrenos, proceso que integra y ordena los componentes paisaje, suelo, agua y vegetación en primera instancia, para luego facilitar la llegada de la fauna y posteriormente la intervención o administración por parte de agentes públicos o privados.

Todas las etapas de la minería, localidad por localidad, son planeadas y consignadas en un plan de largo plazo, con el objeto de cubrir las necesidades en cuanto a uso del territorio y posterior reconstrucción o rehabilitación. De esta manera, siempre se cuenta con un perfil actualizado de cómo avanza la minería, qué pasivos ambientales se tienen y también cuáles han sido saldados.



*La minería en color: negra por el carbón, pardo rojiza por el suelo y gris por los estériles.*



## ESTATUS CORPORATIVO DE LA GESTIÓN AMBIENTAL

Con el objeto de administrar de manera efectiva todos los riesgos ambientales que involucra una operación minera de gran magnitud, Cerrejón ha conducido en diferentes oportunidades las evaluaciones requeridas para todas sus áreas de operación, ha diseñado e implementado los planes de manejo pertinentes y obtenido todos los permisos y licencias respectivas, otorgadas por las autoridades ambientales competentes. El plan de manejo ambiental unificado está integrado por fichas o guías específicas de manejo y monitoreo para los componentes paisaje, agua, suelo, aire, vegetación y fauna. Esta información es de acceso público, a través de diferentes instrumentos de comunicación de la empresa tales como el sitio Web, manuales, guías, folletos y boletines.

En los últimos años, Cerrejón por iniciativa propia promovió a un nivel gerencial superior la anterior Superintendencia de Ingeniería Ambiental, al crear el nuevo Departamento de Gestión Ambiental. Este nuevo organismo, liderado por un gerente ejecutivo, cumple sus funciones a través de cinco grandes programas de manejo ambiental: control de emisiones a la atmósfera, manejo de aguas, rehabilitación de tierras, manejo y preservación de fauna y gestión integral de residuos. Adicionalmente, este departamento adelanta acciones de capacitación y comunicación en temas ambientales al interior y exterior de la empresa. El relacionamiento con comunidades es atendido por el Departamento de Responsabilidad Social de Cerrejón.

"Hay que impulsar la buena minería, ambiental y socialmente responsable tipo Cerrejón" Juan Lozano, Ministro MAVDT, 2009

### LA REHABILITACIÓN DE TIERRAS EN EL CICLO MINERO

La rehabilitación de tierras en Cerrejón es la actividad que abre y cierra el ciclo minero. La preservación de los materiales edáficos, durante la pre-minería, y su reutilización posterior en la reconstrucción de las cadenas ecológicas son parte de este proceso. Es una actividad muy visible y de impacto positivo, que permite saldar los pasivos generados por la intervención de áreas, a través de la reconstrucción del medio físico-biótico una vez concluyen las operaciones mineras.

El programa de rehabilitación de tierras comprende el manejo de cober-



*Perfil de suelo monitoreado en un lote de 5 años en rehabilitación. Nueva génesis: diferenciación entre capas, desarrollo de raíces, formación de agregados y alteración o meteorización de la capa subyacente de estéril.*

turas vegetales, el manejo de suelos, la rehabilitación y el monitoreo de los terrenos intervenidos por la minería, el manejo y administración de las áreas de compensación biótica y la investigación y promoción de sistemas sostenibles de producción rural. Esto último se adelanta tanto en predios de propiedad de Cerrejón como de las comunidades vecinas.

El programa lleva más de 20 años en continua actividad, renovando la tierra liberada tan pronto como ha sido posible, mediante la aplicación de un modelo ecoeficiente de manejo de tierras. Así, en el marco de una gestión minera responsable, Cerrejón contribuye a rehabilitar y mantener la integridad del paisaje, como un factor fundamental para el desarrollo sostenible de la región. En este empeño, se sigue fielmente la directriz de tratar de hacer siempre lo máximo posible y no lo mínimo necesario.

Se trata de un programa pionero en el país, desarrollado bajo el contexto particular de La Guajira, en una región con periodos largos de sequía, amenazas de salinización, sodificación, erosión hídrica y desertización, baja oferta de servicios calificados y carencia de un mercado de semillas y materiales vegetales. Su viabilidad se explica en buena parte por la observación continua de los procesos naturales, su análisis, la adaptación a las condiciones locales y la confianza en las decisiones tomadas.



*Talud de experimentación cercano a las oficinas administrativas de la mina. Uno de los primeros lugares en donde se probaron variados métodos de control de erosión y desarrollo de coberturas vegetales. Las lecciones aprendidas se mantienen hoy vigentes en cuanto a leer y aprender de la naturaleza en el ambiente local, antes de privilegiar modelos importados. Arriba hace 20 años, abajo estado actual.*

Se puede afirmar que la minería es una actividad en continuo viaje, que camina alimentándose de tierras frescas pero que también a su paso va cerrando y reconstruyendo aquellas por las cuales transitó.







Caracolí nivel 240. Panorámica de un lote de 15 años con dominancia de leguminosas arbóreas sobre los partizales que le antecedieron.





# 4

LA ESTRATEGIA DE  
REHABILITACIÓN:  
EN ALIANZA CON  
LA NATURALEZA

Descargue de materiales edáficos para la adecuación de taludes.



Emparejamiento superficial de terrenos en adecuación



Lote en transición de pastizal a bosque



# LA ESTRATEGIA DE REHABILITACIÓN DE TIERRAS EN CERREJÓN

## LOS PRIMEROS AÑOS: CREATIVIDAD MÁS ALLÁ DE LOS PROTOCOLOS TECNOLÓGICOS

De acuerdo con la concepción kogui y arhuaca, etnias habitantes de la Sierra Nevada de Santa Marta, “la madre tierra y el agua se unen para producir alimento y de ahí surge el hombre”. Una frase extremadamente corta para un mensaje con un contenido sin límites.

Tradicionalmente se elaboran relatos sobre historias de personas y su relación con la naturaleza. En esta publicación se narra una historia real sobre la aplicación del conocimiento en una hermosa gesta de reconstrucción de la tierra bajo las particulares condiciones del Cerrejón en el sur de La Guajira.

En Cerrejón al principio todo era gris; sin embargo, se tenía muy presente la obligación contraída en cuanto a la rehabilitación de las tierras que se irían a intervenir por la minería. Lo importante no era saber qué había que hacer sino cómo hacerlo y ejecutarlo, cada vez mejor.

No existía una trayectoria trazada pero sí algunas firmes convicciones sobre prácticas necesarias. Una de ellas, fundamental, es preservar los materiales del suelo para utilizarlos posteriormente en la restitución de un medio de sustento para las coberturas vegetales a establecer.

Creatividad y renovación representaban nueva vida. En contraste, la replicación irrestricta de protocolos importados significaba incertidumbre y riesgo. El conocimiento, en su mejor expresión, no acepta límites, fórmulas ni soluciones reduccionistas; por lo tanto, no debe estar sujeto a protocolos ni estándares impuestos. Por supuesto, las ciencias naturales “ofrecen” criterios, principios y conceptos muy válidos que debidamente aplicados permiten encontrar trayectorias viables para renovar la vida.

Los procesos de sucesión natural, la construcción y reconstrucción de los sistemas naturales son predecibles en la medida en que se mantenga sobre ellos una continua observación e interpretación de los eventos y variables que los gobiernan. Una de las grandes lecciones aprendidas en el programa durante sus primeros años fue que mientras menos se manipule la naturaleza, mejores resultados se logran. Lo que hay que hacer es crear las condiciones para que las dinámicas ecológicas, biológicas, edáficas e hídricas, operen. El mejor trabajo no es el que se hace sino precisamente aquel que produce resultados y que no se ve hacer.

Durante los primeros años de las operaciones, se siguieron las recomendaciones de una primera guía para lograr una revegetación estable y productiva en el largo plazo (INTERCOR, 1983). Con base en dicha guía los esfuerzos estuvieron concentrados en el reconocimiento y caracterización de los suelos a intervenir, la estimación de las profundidades efectivas del suelo y la determinación volumétrica de las reservas de materiales edáficos a remover y preservar. Aún no se tenía muy claro cómo administrar este recurso, pero tampoco había demasiada prisa en saberlo pues se contaba con un margen de



tiempo aceptable para montar ensayos y desarrollar las prácticas de manejo más apropiadas.

En esos tiempos era muy difícil convencer a los jóvenes ingenieros que remover y guardar materiales edáficos era una actividad productiva muy importante. Paulatinamente los obstáculos se fueron superando hasta lograr finalmente el objetivo inicialmente trazado: lograr que las actividades de remoción y almacenamiento de esos materiales hicieran parte de las actividades rutinarias de la pre-minería, con cargo directo a la operación minera.

Sobre los primeros apilamientos del material edáfico preservado se adelantaron los ensayos iniciales para el establecimiento de coberturas herbáceas, principalmente de pastos y algunos cultivos de ciclo corto tales como sorgo, maíz y sandía. La lista sobre especies recomendadas era amplia en esos tiempos. Las especies recomendadas eran materiales domesticados, con buenos antecedentes en otros tipos de ambiente y operación. Solo con unos pocos materiales se lograron resultados positivos, destacándose notoriamente el pasto buffel (*Cenchrus ciliaris*), una variedad de pasto introducida a la región en los años cincuenta.

La operación minera crecía día a día en todas sus dimensiones. Todo el mundo quería ver convertidos sus sueños en realidades: grandes volúmenes de carbón producidos y exportados, con una actividad frenética y constante en todos los frentes de trabajo. Esto motivó inicialmente a un sobredimensionamiento tecnológico y a la adquisición muy temprana de maquinaria y equipos agrícolas para la preparación de suelos y siembra de materiales vegetales, que muy pronto fueron descartados por no ajustarse a las necesidades reales que planteaba la rehabilitación de tierras. Por primera vez habían llegado al Cerrejón, tierra de gigantes, unos equipos agrícolas que paradójicamente le quedaron grandes a la minería.

El tiempo pasó rápidamente y llegó el momento de la verdad, el año de 1989. Se elaboró el primer plan para rehabilitar terrenos que ya las operaciones mineras no requerían. Dicho plan se puso en práctica en los primeros meses del año siguiente, 1990. En ese entonces el término rehabilitación no existía en el léxico minero o ambiental, el más frecuente era “restaurar”; además, los ingenieros de minas eran quienes decidían los términos a utilizar.



*Lote joven en rehabilitación. Desarrollo rápido de plantas herbáceas como coberturas protectoras, material vivo y hojarasca que minimizan la erosión. Lote Caracolí nivel 220.*

Algunos recorridos preliminares sobre fincas y tierras próximas a intervenir por Cerrejón mostraban un inmenso mosaico en cuanto a estados de conservación o degradación. El paisaje y el suelo antes de la minería se caracterizaban por una gran diversidad de componentes y variables en diferentes niveles de disponibilidad, productividad y estabilidad.

La gran oportunidad de reconstruir la tierra, con plena autonomía, mediante un proceso en donde tuvieran cabida todas las posibilidades, conocimientos y habilidades estaba a la vista. Se tomó entonces, en primera instancia, la decisión de profundizar al interior de la empresa el conocimiento del contexto natural en el que se desarrollaban las operaciones, para así poder determinar con mayor precisión qué había que hacer, cuándo y cómo. Con este enfoque se pretendía facilitar más adelante la contratación de servicios y así pasar a una etapa plenamente operativa, mediante el esquema clásico de ejecuciones, verificación y recibo de obras, según cronogramas y cantidades estipuladas.

Esta fase de aprendizaje fue muy útil en la toma de decisiones, antes de precipitarse a una operación de gran escala. A diferencia de los protocolos relativamente rígidos de la minería, la rehabilitación de tierras requería una adaptación al contexto ambiental y ecosistémico específico propio del área concesionada.

De manera temprana, durante los tres primeros años de ejecución del programa, las variables que gobiernan y direccionan los procesos en los sistemas humano- ambientales se hicieron notar. Su observación ayudó a definir el modelo o proceso de rehabilitación de tierras a ensamblar, el cual estaría sujeto a posteriores mejoramientos en la medida en que se fueran comprobando y validando las hipótesis propuestas para cada uno de los nuevos estados, condiciones y productos a obtener.

Una vez cumplida la etapa del aprendizaje surgió una nueva pregunta: ¿por qué contratar y pagar para que alguien haga lo que tal vez no pueda hacer de la manera como se requiere?... Esta sutil pregunta motivó una



*Dinámica del ciclo minero: arriba, áreas de conservación (ribera del río Ranchería); parte media, extracción de carbón; abajo, áreas en rehabilitación de diferentes edades.*



respuesta inmediata: lo mejor es hacer nosotros mismos las cosas con el menor riesgo posible, la mayor confianza y seguridad en lo que se hace y el mayor deleite y disfrute de los resultados que se van obteniendo.

## UNA ESTRATEGIA DE REHABILITACIÓN DE TIERRAS ADAPTADA AL CONTEXTO

La etapa de aprendizaje no solo incluyó trabajos de experimentación sino también la revisión detallada de la literatura técnica y científica disponible sobre estos temas. El análisis y la interpretación de modelos, guías y secuencias elaboradas para operaciones de minería de superficie, sirvieron de marco de referencia para ensamblar el modelo Cerrejón (Coppin y Bradshaw, 1982; Hossner, 1988; Kirk, 1989).

Así fue surgiendo un modelo de rehabilitación de tierras que se nutrió de la literatura científica-tecnológica, pero que ante todo respondía a soluciones endógenas y a un conocimiento creciente del contexto natural (INTERCOR, 1983, 1992; Gualdrón, 1997).

Se definieron las siguientes directrices, vigentes hoy en día:

- Establecer un programa de rehabilitación de tierras que superará las expectativas en cuanto a la evolución de las leyes, normas y requerimientos ambientales durante los 25 años siguientes.
- Desarrollar soluciones sostenibles a partir de las condiciones ambientales locales y el uso óptimo de los recursos disponibles.
- Definir, planear, programar y ejecutar solo aquellos trabajos de carácter vital, imprescindibles para activar procesos naturales.
- Tener la suficiente paciencia para amargar las presiones y actuar siempre de manera segura, oportuna y precisa.
- Buscar siempre la mayor efectividad posible en cuanto a costos de operación.

Estas cinco directrices marcaron el rumbo. Ahora solo faltaba definir la estrategia tecnológica. Para ello resultó útil la revisión de los avances y desarrollos científicos logrados por algunos centros internacionales de investigación. De esas experiencias se tomaron algunos conceptos y parámetros que se combinaron con otros de cosecha endógena sobre los principios básicos de la tecnología de bajos insumos para suelos ácidos (Sánchez y Salinas, 1980). Fue necesario validar dichos principios bajo las condiciones del Cerrejón, especialmente en cuanto a la aridez del medio y la salinidad de los suelos.



*Mínima labranza seguida de una siembra manual de solo 5 kg/ha de pasto buffel, inoculada con material de suelo fresco, un ejemplo práctico de ecoeficiencia.*

COMO RESULTADO, SE ADAPTÓ UNA ESTRATEGIA TECNOLÓGICA BASADA EN LOS SIGUIENTES CONCEPTOS Y PRÁCTICAS:

**PRESERVACIÓN DE MATERIALES EDÁFICOS:** supone reconocer la dificultad que representa sustituir el suelo y su valor como recurso no renovable en el corto y mediano plazo. Producir una capa de suelo adicional, de tan solo un centímetro de espesor, requiere, en las condiciones climáticas actuales de la región, más de 300 años; por lo tanto, este es un concepto no discutible.

**NO UTILIZACIÓN DE RIEGO, FERTILIZANTES O ABONOS:** se trata más bien de reproducir las condiciones propias de los sistemas naturales en los cuales la oferta climática y la disponibilidad efectiva de nutrientes y de agua en el suelo son las variables que activan y sostienen la actividad biológica. Las comunidades vegetales se construyen y sostienen a través de la absorción y translocación de los elementos nutritivos que toman del ambiente en donde residen; por lo tanto, no deben depender de subsidios o aportes externos.

**MANEJO PRIORITARIO DE GERMOPLASMA NATIVO:** a menor introducción de materiales vegetales extraños, mayor celeridad tendrán los procesos de transformación y solubilización de sus residuos, por parte de artrópodos, bacterias y hongos especializados en esas actividades. Es importante anotar que cada planta o especie de planta es un agente de paso, que debe permitir la llegada de nuevas plantas y de nuevas especies. Así se garantiza el debido relevo generacional y los procesos de sucesión ecológica.

**USO DE PLANTAS HERBÁCEAS TOLERANTES A LA SEQUÍA EN LAS PRIMERAS ETAPAS DEL PROCESO:** estas plantas actúan como pioneras y abastecen sus necesidades fisiológicas y reproductivas a pesar de la baja oferta de agua efectiva en el suelo durante la etapa de estabilización.

**PREPARACIÓN DE SUELOS Y SIEMBRAS EN LA ÉPOCA MÁS ADECUADA:** significa conocer y utilizar la historia local en cuanto a distribución de las lluvias, de tal manera que se faciliten las operaciones de arado y siembra, y se aproveche al máximo la radiación solar y el agua contenida en el suelo. Se busca con esta estrategia minimizar pérdidas y lograr una rápida cobertura vegetal que proteja al suelo contra la erosión hídrica.

**LABRANZA EN TALUDES O LADERAS CON TRACCIÓN ANIMAL:** la labranza del terreno es un requisito previo para que las semillas hagan buen contacto con el suelo. Dadas las condiciones de inestabilidad superficial que se presentan en los taludes o laderas, no hay mejor opción tecnológica que la de utilizar animales de tiro para ejecutar el arado.

**LABOREO MÍNIMO:** realizar solo un pase de arado de cincel, con tractor agrícola en planicies, o con bueyes en laderas. Se pretende evitar con esto la pulverización del suelo, dada su baja estabilidad estructural inicial.

**USO DE MULCH:** esta es una práctica muy efectiva en cuanto a economía de agua y reducción de la erosión hídrica, especialmente en laderas.

**REPOBLAMIENTO MICROBIAL:** uso de material edáfico fresco mezclado con las semillas de pasto a sembrar, o aplicado en pequeñas cantidades alrededor de árboles recién plantados, para promover el repoblamiento de hongos y bacterias en los nuevos suelos.

**DISCIPLINA Y ORDEN:** en los procesos de rehabilitación de tierras es fundamental determinar la trayectoria y los pasos a seguir, y ejecutarlos en su debido momento; lo contrario genera más entropía.

**CERO RETRABAJO:** los procesos de rehabilitación de tierras son muy dinámicos. La mayor efectividad se logra cuando los trabajos se ejecutan bien en el momento preciso; por eso, en la planeación estratégica el retrabajo no tiene cabida. No debe haber un plan B, aceptarlo significa inseguridad, pérdida de confianza e incertidumbre.





Labranza en taludes o laderas con tracción animal

Uso de plantas herbáceas tolerantes a la sequía en las primeras etapas del proceso



## ETAPAS Y VARIABLES QUE CONDUCEN EL PROCESO DE REHABILITACIÓN

El modelo de rehabilitación de tierras desarrollado en Cerrejón comprende tres etapas básicas, representadas por un conjunto de actividades y procesos de transformación que en ellas ocurren, conocidas administrativamente como:

- Adecuación de tierras
- Estabilización de suelos
- Revegetación o repoblamiento vegetal

A ellas se añaden otro grupo de actividades y procesos asociados de enorme valor estratégico. De una parte, aquellas cuya intención es asegurar la conservación de materiales edáficos y componentes de la biodiversidad local para el restablecimiento de comunidades bióticas. De otro lado, las que apuntan a integrar el modelo a una gestión sostenible del paisaje a escala regional. Se conforman así otras dos etapas que consolidan el modelo:

- Planeación y manejo de áreas a intervenir
- Manejo de las tierras rehabilitadas en un contexto regional

La lectura permanente de todas estas etapas en el territorio reconstruido durante 20 años ha permitido visualizar la secuencia que se muestra en la figura 5. En ella están reseñadas las variables lentas de conducción (*sensu* Reynolds *et al.*, 2007ab) y su protagonismo según el momento, estado o etapa del proceso de rehabilitación de tierras.

En esta secuencia, cada variable de conducción se hace visible de manera obvia y lógica al comienzo de los nuevos procesos que impulsan al sistema a cambiar de estado.

Se necesita un **espacio o territorio** liberado por la minería para poder adelantar los trabajos de adecuación de tierras. Esta variable le da la señal de partida al proceso. Es también el escenario de las funciones que más adelante se van a desarrollar. Es una variable presupuestada, y liberada por quienes adelantan los ejercicios de planeación al interior de la empresa. Como principal condición se tiene que el área

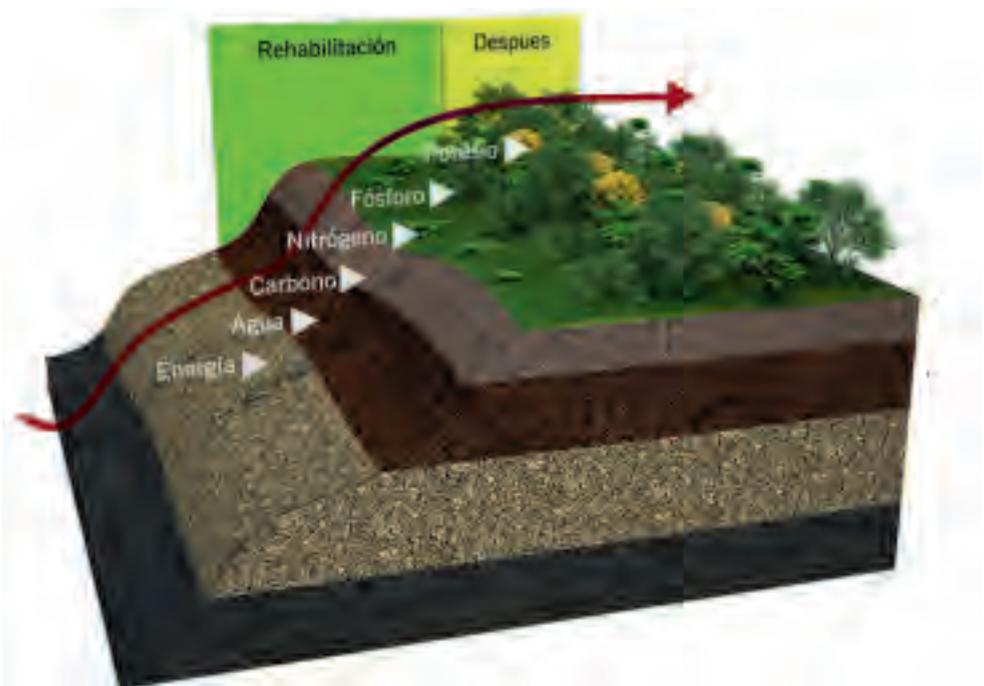


Figura 5. Variables de conducción que modulan el proceso de rehabilitación de tierras.



asignada no sea requerida en el futuro por la minería. Año tras año las nuevas áreas o localidades a rehabilitar son definidas y actualizadas por los planes de largo plazo de minería y rehabilitación de tierras.

La siguiente variable que entra en acción es la **energía**, componente suministrado a través de la capacidad de trabajo de los equipos de soporte a la minería. Los equipos, cargadores, camiones, tractores y motoniveladoras, son indispensables para acondicionar el espacio o territorio, transportar los materiales edáficos preservados y construir un nuevo **suelo**, completando así la etapa de adecuación de tierras.

El contacto inicial del **agua** con el **suelo** restituido determina el inicio de la etapa de estabilización. El agua estimula además la germinación de las semillas y el crecimiento de las coberturas pioneras, principalmente gramíneas. Estas a su vez se encargan de fijar e incorporar **carbono** para promover la formación de agregados y conformar un medio poroso, que permita incrementar la capacidad de almacenamiento y retención de agua.

La actividad productiva de las coberturas herbáceas está condicionada por la oferta de **nitrógeno** en el sistema. El agotamiento temporal de este elemento debido al consumo debilita la resistencia al cambio que exhiben las gramíneas. Este hecho facilita la invasión y establecimiento de especies vegetales pertenecientes a la gran familia de las leguminosas, muy importantes por su capacidad de establecer simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno. Así, en una secuencia sucesional, la llegada de las leguminosas permite el reaprovisionamiento de este elemento e impulsa la actividad extractiva de nutrientes del suelo por parte de las plantas en crecimiento.

En esta etapa, el ciclaje de nutrientes es un proceso crítico. La translocación de minerales mediante la absorción por las raíces, el transporte a la parte aérea y la devolución al suelo por el desprendimiento y caída de residuos vegetales, generan un trabajo que es vital para el desarrollo de la cobertura vegetal. La posterior transformación y solubilización de los residuos por acción de los organismos del suelo, incrementan la disponibilidad de **fósforo y potasio** en la capa más externa del suelo. Si el ciclo funciona adecuadamente, se favorece la regeneración natural y el desarrollo de aquellas especies arbustivas y arbóreas a reintroducir posteriormente.

En resumen, **espacio, energía y suelo** son las variables más influyentes en la etapa de adecuación de tierras, y su evolución depende de las conductas y acciones de las personas que participan en el proceso. Se puede



*Leguminosas arbóreas pioneras que fijan nitrógeno y estimulan el crecimiento de la vegetación acompañante.*

afirmar que la adecuación de tierras es un proceso mecánico, conducido por personas muy hábiles y cuidadosas que manejan cifras y estadísticas convencionales

En contraste, la estabilización de suelos y el repoblamiento vegetal son etapas muy dinámicas y complejas, que continuamente se complementan entre sí. El **agua** que proviene de la atmósfera, cae y marca un cambio importante en la conducción del proceso, desplaza al agente humano y lo convierte en un observador, pero además, pone a trabajar la tierra. **Carbono, nitrógeno, fósforo y potasio** son promotores y aceleradores de procesos, representan los combustibles que inician y sostienen las funciones biológicas. El carbono se incorpora a través de la fotosíntesis, los otros provienen del suelo. Acá el papel del hombre se limita a la introducción de los materiales vegetales mediante semillas y plantío de árboles para levantar las primeras comunidades. Las siguientes generaciones son reproducidas de manera cíclica y sostenible por el propio sistema.

La integración de las variables de conducción en el marco de las directrices y la estrategia tecnológica que se describen en este capítulo, constituyen el eje conceptual del programa de rehabilitación de tierras de Cerrejón. Se trata de una concepción sistémica que permite ampliar el alcance del proceso y articularlo más efectivamente con el ciclo minero y el entorno social y ambiental.

La principal diferencia entre rehabilitación de tierras y otras actividades relacionadas, tales como empradización, restauración, recuperación o reforestación está en su enfoque. En la rehabilitación el objetivo principal es la función integral del sistema y no el estado o calidad de sus componentes.



*Estructura de drenaje en construcción; canal en "V", lecho impermeable y paredes laterales revestidas con gaviones aplanados rellenos con rocas.*

### ¿QUÉ ES REHABILITACIÓN DE TIERRAS?

En la perspectiva del modelo desarrollado por Cerrejón, se puede definir la rehabilitación de tierras como un proceso continuo de ordenamiento e integración de componentes y la activación de funciones ecológicas con el objeto de transformar un terreno intervenido por la actividad minera en un medio estable y productivo, que permita el establecimiento, sostenimiento y relevo de comunidades bióticas, y que además se reconecte a los ecosistemas regionales como proveedor de bienes y servicios, con responsabilidad intergeneracional.



Manantial nivel 180, año 1997. Equipo plantador de árboles en lotes con coberturas densas de pasto buffel.



Un pase de arado de cincel, cambios de trayectorias según la micro topografía del terreno, tapado de semillas y sellamiento superficial por acción de las lluvias, un claro ejemplo de oportunidad, precisión y optimización de recursos para el establecimiento de coberturas protectoras. Caracolí nivel 220 año 2009.



*Primeras coberturas en taludes Manantial - Palmarito.*

*Coberturas en taludes Manantial - Palmarito año 2009.*











# 5

## ETAPAS DEL PROCESO



Caracolí, nivel 220.  
Disposición de  
materiales edáficos  
para su inmediata  
habilitación como  
suelos.



Palmarito nivel 180,  
antiguo retrollenado  
del Tajo Oeste  
Expandido. Pastizal  
arbolado en un lote  
de 7 años.



Manantial nivel 200,  
antiguo botadero  
Norte. Lote de 20 años  
con reemplazo de  
la vegetación inicial  
de gramíneas por  
arbustos, árboles y  
poblaciones juveniles  
de regeneración  
natural.



# ETAPAS DEL PROCESO

## UN MODELO INTEGRAL ENFOCADO A LA ACTIVACIÓN DE FUNCIONES ECOLÓGICAS



En este capítulo se hace una descripción detallada del modelo de rehabilitación de tierras desarrollado por Cerrejón. Como se explicó en el capítulo anterior, se trata de un modelo orientado a la activación de funciones ecológicas con el objeto de transformar un terreno intervenido por la actividad minera en un medio estable y productivo, que permita el establecimiento, sostenimiento y relevo de comunidades bióticas.

El modelo consta de tres etapas básicas y dos subsidiarias, que en conjunto configuran una propuesta integral para el manejo de las alteraciones que la minería causa a las tierras intervenidas y al paisaje regional.

Las etapas básicas son:

- Adecuación de tierras
- Estabilización de suelos
- Revegetación o repoblamiento vegetal

A ellas se suman dos etapas con las cuales se asegura la integralidad del modelo en términos del manejo de suelos, agua y diversidad biológica y la reconexión de las áreas rehabilitadas a los ecosistemas regionales como proveedoras de bienes y servicios. Esas etapas subsidiarias son:

- Planeación y manejo de áreas a intervenir (antes de la minería)
- Manejo de las tierras rehabilitadas en el contexto regional (después de la minería)

Más que ofrecer un paquete tecnológico cerrado, lo que se presenta aquí es un modelo abierto adaptable a diversos contextos. Tiene la virtud de haber sido construido y validado a partir de una experiencia de más de 20 años durante los cuales se incorporaron al proceso de rehabilitación más de 2700 hectáreas intervenidas por la minería. No es una guía técnica; más bien un relato vivencial de un rico proceso que combina herramientas técnicas de la edafología, la agricultura, la ecología y la administración de operaciones mineras con la dinámica propia de los sistemas naturales. En este modelo la actividad humana esencial consiste en manejar de manera ordenada y oportuna las variables de conducción descritas en el capítulo anterior. Lo demás lo hace la naturaleza.



SITUACIÓN INICIAL  
PAISAJE REGIONAL ANTES DE LA MINERÍA



**PLANEACIÓN Y MANEJO DE ÁREAS A INTERVENIR**

Conservación de la diversidad biológica en áreas a intervenir  
Manejo de las coberturas vegetales removidas  
Preservación de materiales edáficos

(ACTIVIDAD MINERA)



**ADECUACIÓN DE TIERRAS**

(Manejo post-minería de botaderos y tajos)  
Reconfiguración del paisaje  
Roturación de superficies compactadas  
Restitución de suelos



**ESTABILIZACIÓN DE SUELOS**

(Reordenamiento físico, químico y biológico)



**REVEGETALIZACIÓN O REPOBLAMIENTO VEGETAL**

Sucesión ecológica

- Fase herbácea
- Fase arbustiva
- Fase arbórea

Retorno de la fauna



**MANEJO DE LAS TIERRAS REHABILITADAS EN EL CONTEXTO REGIONAL**

Transferencia de tecnología a comunidades locales  
Aporte a la gestión sostenible de ecosistemas y del paisaje regional  
Diseño e implementación de corredores biológicos



SITUACIÓN FINAL  
PAISAJE REGIONAL DESPUÉS DE LA MINERÍA

## PLANEACIÓN Y MANEJO DE ÁREAS A INTERVENIR

### CONSERVACIÓN DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA Y MANEJO DE LAS COBERTURAS VEGETALES REMOVIDAS

La mejor medida de remediación es la que no hay que hacer. Cada hectárea de tierra de más que se interviene implica despilfarro de recursos, degradación, pérdida de credibilidad, ineficiencia y mayores costos a la operación minera. El proceso de rehabilitación de tierras entra en juego desde el mismo instante en que, mediante la deforestación, se incorpora un terreno a la actividad minera. A partir de ese momento se le considera como un pasivo ambiental a remediar o compensar. De esta manera se puede afirmar que la planificación de las áreas a deforestar determina y da inicio al proceso de rehabilitación de tierras.

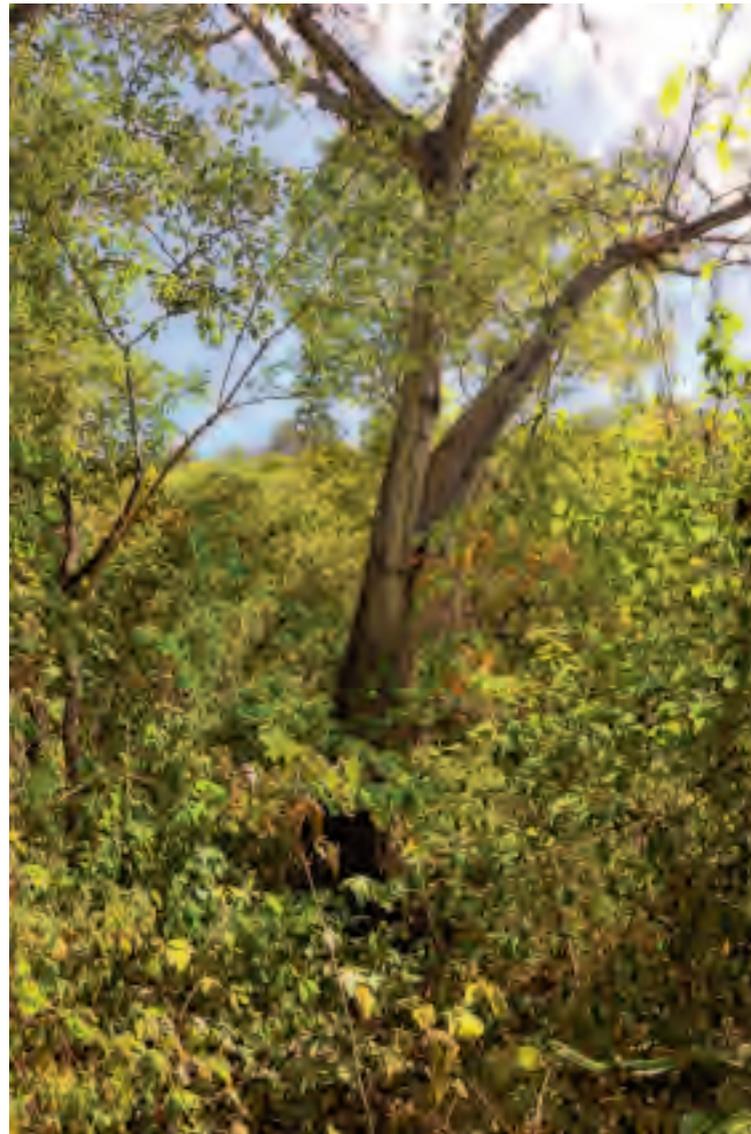
#### ¿QUÉ EXISTE Y QUÉ SE PUEDE SALVAR?

En Cerrejón, previamente a la deforestación se levanta en el campo la información correspondiente a los tipos de cobertura vegetal que se van a desmontar, su composición y estructura, los estados y propiedades diagnósticas de los suelos, las reservas de suelo por remover y preservar. Esta información se utiliza como insumo para elaborar los planes de aprovechamiento forestal, rescate de fauna, remoción y preservación de los materiales edáficos de interés para el programa de rehabilitación de tierras. De manera especial, sirve para estimar las inversiones futuras en compensación ambiental por la disminución temporal o prolongada de la oferta de bienes y servicios ambientales.

La conservación de las coberturas vegetales, mientras éstas no sean requeridas por las operaciones mineras, así como el aprovechamiento y disposición de los productos y residuos vegetales, son componentes importantes del plan de manejo ambiental unificado (Cerrejón 2007). Éste, en su ficha de manejo PBF – 06, describe las medidas específicas de aplicación en las áreas de intervención .

*Bosque de galería del río Ranchería. Franja protegida, aledaña a las operaciones de minería.*

Una manera de minimizar los pasivos ambientales que produce la minería a cielo abierto es evitar al máximo la deforestación o intervención no requerida.



## MEDIDAS DE MANEJO AMBIENTAL EN ÁREAS A INTERVENIR POR LA MINERÍA (PBF-06)

### ANTES DE REMOVER LA VEGETACIÓN:

- Tramitar y obtener de manera oportuna los permisos de aprovechamiento forestal de las áreas a intervenir, de acuerdo con los requerimientos de la autoridad ambiental competente.
- Realizar anualmente la caracterización ambiental de las áreas a intervenir por las operaciones de minería.
- Demarcar y señalar los límites de las áreas a intervenir.

### DURANTE LA REMOCIÓN DE LA VEGETACIÓN:

- Inducir la migración de fauna y adelantar acciones de rescate y relocalización de ejemplares capturados, según lo establecido en el programa de manejo de fauna.
- Extraer oportunamente los materiales vegetales aprovechables, siguiendo los planes de corte y aprovechamiento forestal.
- Desmontar de manera mecanizada la vegetación residual en pie, acordonando los materiales leñosos para facilitar su posterior evacuación o enterramiento.
- Remover y transportar el material vegetal fino resultante de la deforestación, conjuntamente con el suelo y disponerlo en los bancos de preservación.
- Disponer en lo posible el material vegetal leñoso no aprovechable en áreas de rehabilitación, para habilitarlo como hábitat de fauna.
- Disponer y enterrar el material leñoso sobrante en los botaderos de desechos de minería.

Cada espacio intervenido es registrado en el banco de datos, incluyendo su localización, extensión, mes y año de intervención. A partir de ahí entra a hacer parte del conjunto de áreas activas, y así se mantiene hasta tanto no se inicien en él, al final del ciclo minero, los trabajos de rehabilitación de tierras.

En la Tabla 2 se presenta un ejemplo de la manera como se asientan los registros mes a mes, sobre deforestación o cambio de uso de las tierras con respecto a los planes anuales, según localidades y usos.

Tabla 2. Registro de áreas intervenidas por operaciones mineras, Cerrejón año 2010

Localidad	Plan anual (ha)	Ejecuciones Mensuales (ha)									Total (ha)
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	
Nuevas Áreas de Minería (NAM)											
Tajo Tabaco	40	4,4	24,5	0	0,7	0	0	0	0	0	29,6
Botadero La Estrella	200	0	35,2	0	0	7,3	0	7,9	0	13,1	63,5
Botadero Potrerito	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0,7	0,7
Líneas de Parqueo	0	0	1,6	0	0	0	0	0	0	0	1,6
Trituradora Bruno	0	0	0	0	0	0	0	6,4	0	0	6,4
Total	255	4,4	61,3	0	0,7	7,3	0	14,3	0	13,8	101,8
Patilla											
Tajo Patilla	30	0	0	0	0	0	0	0	0	6,5	6,5
Botadero Caracolí	150	0	10,5	8,8	24,5	0	13,4	3,8	24,9	25	110,9
Total	180	0	10,5	8,8	24,5	0	13,4	3,8	24,9	31,5	117,4
Zona Central											
Tajo 100	30	0	0	3,9	0	0	10	23,9	0	0	37,8
Tajo Comuneros	25	0	0	0	0	10,6	0	0	0	0	10,6
Botadero Aeropuerto	80	0	0	1,3	26,5	0	0	0	0	0	27,8
Botadero Comuneros	130	0	12	2,6	0	1,6	0	0	4,1	3,2	23,5
Banco de Suelos	0	0	0	9,1	0	0	0	0	0	0	9,1
Total	265	0	12	16,9	26,5	12,2	10	23,9	4,1	3,2	108,8
Total Cerrejón											
Total	700	4,4	83,8	25,7	51,7	19,5	23,4	42	29	48,5	328



Estos registros se adicionan a los valores ya existentes para actualizar la información y responder de manera clara y oportuna a cualquier requerimiento interno o externo.

Es cierto que la deforestación en sí forma parte de las alteraciones que ocasiona la minería. Sin embargo, es importante ubicarla en la perspectiva del ciclo minero. En la minería a cielo abierto la deforestación tiene como principales objetivos facilitar la adecuación de los terrenos para la construcción de instalaciones e infraestructura de soporte y la remoción de los materiales edáficos. Algunas áreas de botaderos en donde la profundidad efectiva del suelo es muy superficial, no requieren de deforestación; por lo tanto, los materiales vegetales quedan en pie hasta que son sepultados por la disposición de los escombros de minería.

La deforestación se ejecuta masivamente con tractores de oruga, de acuerdo a metas previamente establecidas. El material derribado es apilado en cordones para inducir el desprendimiento de los materiales más finos tales como hojas y ramas, y permitir su posterior mezcla con los materiales edáficos a remover.

A pesar de que Cerrejón opera en un territorio de 68.700 hectáreas, a lo largo de su vida operativa hasta el año 2010 solo había intervenido algo más de 11.500 hectáreas, es decir un 17% del territorio concesionado. Se tiene previsto que durante las siguientes décadas continuará expandiéndose hasta alcanzar, al finalizar el contrato actual de operaciones en el año 2034, una extensión final aproximada de 16.300 ha.

La Figura 6 muestra el crecimiento de la deforestación y de los volúmenes de materiales edáficos removidos y preservados, año por año, contabilizados a partir de 1986. En ella se pueden notar los cambios inducidos por los eventos empresariales que han modificado la historia de Cerrejón. Un primer periodo va hasta el año 1997, con una operación limitada al Tajo Oeste Extendido (TOE) o Zona Norte. En ese año se amplió hasta el año 2033 el contrato que existía entre las empresas Carbocol e Intercor, con la inclusión de las Nuevas Áreas de Minería (NAM). Posteriormente, en el año 2002, se dio la fusión con las operaciones de la Zona Central, razón que explica el cambio abrupto en la pendiente entre los años 2000 y 2001. Finalmente en el año 2003 entró en operación el Tajo Patilla, manteniendo así una tendencia ascendente, lo cual da a entender que la minería del Cerrejón aun se encuentra en una etapa de crecimiento.

Estos cambios respondieron a las metas de la operación en términos de lograr una mayor producción anual de carbón, pasando de 17 millones de toneladas de carbón en 2002 a 31 millones de toneladas en 2009. El incremento en las metas de producción requirió de mayores espacios para operar. Con el tiempo, en la medida en que se vaya profundizando la minería, disminuirán los requerimientos de área

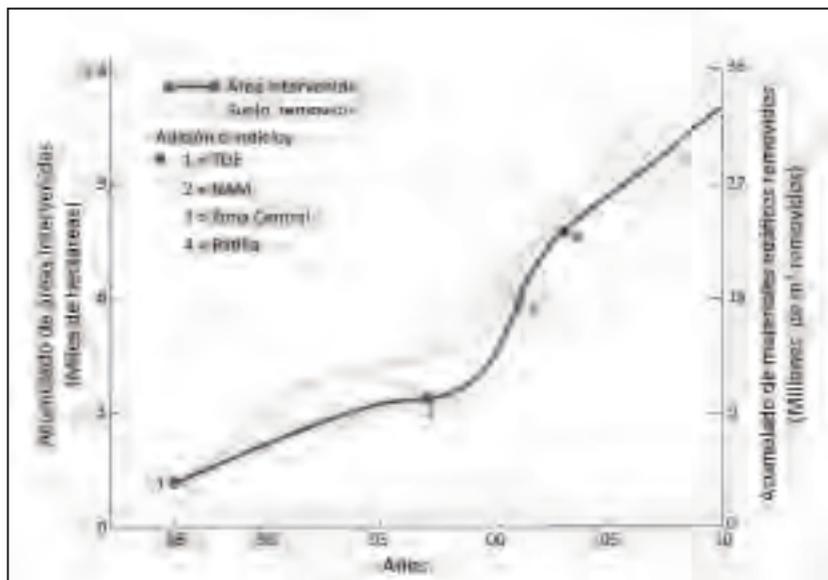


Figura 6. Áreas intervenidas y materiales edáficos removidos en Cerrejón (1986-2010)

para botaderos y se incrementará la utilización de los tajos como sitios de disposición de los residuos de minería.

Es importante destacar que las trayectorias de las operaciones de deforestación y remoción de materiales edáficos en el periodo 1986 - 2010 son muy parecidas. Si se parte de la base de que por cada hectárea intervenida habría que preservar como mínimo 3000 metros cúbicos de materiales edáficos para su rehabilitación, el balance siempre ha sido positivo. En la minería a cielo abierto, una de las principales razones para derribar la vegetación en las áreas a intervenir es la preservación del capital natural contenido en los suelos. El derribamiento de la cobertura vegetal supone mayores costos de operación, en comparación con la disposición libre de los escombros de minería en los botaderos.

## PRESERVACIÓN DE MATERIALES EDÁFICOS

El suelo es el recurso natural más ignorado y maltratado por el género humano. Aunque en los sistemas de producción primaria es el sustento de la producción vegetal, al momento de cobrar dividendos los méritos casi siempre son atribuidos a los organismos que se alimentan o que se apoyan en él.

Agricultores y reforestadores valoran en primera instancia las especies y variedades cultivadas; los ganaderos hacen lo mismo con la genética animal y los pastos de sus fincas. En el sector ambiental las coberturas vegetales son muy visibles como objeto central de las agendas de conservación y desarrollo. Y pare de contar, porque para urbanistas, constructores y mineros tradicionales, el suelo es un escollo que hay que remover y disponer. Para algunos no existe y para otros sólo representa un obstáculo.

El suelo siempre ha estado ahí, ante nuestros ojos, simplemente no hemos tenido visión para valorarlo.

Para Cerrejón, operación de minería responsable, el suelo es un recurso irreplicable, fundamental para rehabilitar las tierras que interviene. Se puede afirmar que sin suelo no hay posibilidad de cerrar el ciclo minero. En una operación a cielo abierto el ciclo no termina con la última carga de carbón extraída sino con la última hectárea rehabilitada.



*Botadero Patilla, contacto con áreas no intervenidas. Disposición de estériles en la parte intermedia. Abajo, terrenos de botadero reacondicionados y suelos recién habilitados para el establecimiento de coberturas vegetales pioneras.*





*Arriba, desmonte de la vegetación arbórea con tractores de oruga. Abajo, Operación combinada de tractores de oruga y mototraíllas para la remoción de materiales edáficos y su acarreo hacia los bancos de preservación.*

Para hablar de manejo responsable de suelos es necesario saber primero de qué recurso se trata. Por definición el suelo es un cuerpo natural, localizado sobre la superficie de la tierra, constituido por materiales minerales y orgánicos, que cambia o ha cambiado en respuesta al clima y a los organismos y que sirve como medio natural para el crecimiento de las plantas.

Además de su función como reserva de nutrientes y de agua, opera como banco de semillas y de microorganismos y sumidero de carbono. Participa activamente en el ciclo hidrológico como superficie receptora y modificadora, como regulador térmico y como filtro ambiental. Mediante procesos físico químicos y biológicos retiene, inmoviliza, solubiliza y transforma una gran variedad de residuos y sustancias peligrosas.



*Determinación de reservas de materiales edáficos a preservar. Perfil de suelo expuesto en un frente de avance del Tajo Patilla.*

Los suelos del Cerrejón conforman un gran mosaico cartográfico de unidades taxonómicas, en correspondencia con una diversidad de paisajes, materiales geológicos, procesos de erosión y sedimentación, coberturas vegetales, condiciones climáticas actuales y usos de la tierra.

Independientemente de su clasificación taxonómica y del uso actual y potencial, de su estado de conservación o degradación, en minería los suelos son reconocidos y tratados como fuentes o sustratos proveedores de materiales edáficos. Desde este punto de vista, lo que más interesa son sus propiedades y características físicas, químicas y bióticas favorables, que permitan su manejo y utilización para la conformación de un nuevo suelo o medio que facilite rehabilitar las tierras intervenidas.

Reconocer al suelo como proveedor de recursos para la minería es una decisión de gran impacto cultural, ambiental y económico, que demanda la asignación de recursos y la estructuración de un plan o programa de manejo, antes de iniciar las operaciones de minería. Determinar las reservas de materiales edáficos a remover, programar las actividades de remoción, acarreo y disposición temporal o final son algunas de las medidas ambientales que de rutina adelanta Cerrejón, de acuerdo con la ficha de manejo ambiental PBF-05.

Como materiales edáficos a preservar se consideran aquellos que reúnan como mínimo las siguientes características: un contenido en volumen de materiales gruesos menor del 35 %; cualquier clase textural menos arenosa, arcillosa o areno limosa; conductividad eléctrica menor de 16 dS/m; saturación de sodio menor del 15 % y una profundidad efectiva mayor de 15 cm (Gualdrón, 1996).

Estos parámetros habilitan un amplio rango de materiales edáficos para su consideración como materiales a preservar. Materiales con altos contenidos de fragmentos gruesos representan poco volumen de materiales activos; altos contenidos de arena o limo no favorecen el desarrollo de agregados y ordenamiento estructu-



ral de los suelos, en tanto que materiales excesivamente ricos en sales o sodio afectan la calidad de los otros materiales removidos y preservados.

De acuerdo con la información disponible en estudios generales de suelos y con reconocimientos de campo, se tiene en promedio para el área intervenida y a intervenir una profundidad media de 32 cm en cuanto a materiales a remover. Esto permite inferir unas reservas aproximadas de 52 millones de metros cúbicos de materiales edáficos, en las 16.300 ha susceptibles de intervención.

Bajo las actuales circunstancias, remover ese volumen representaría dedicar toda la flota de equipos de carga y acarreo durante 2,8 meses continuos exclusivamente a esta actividad. En términos económicos significaría dejar de extraer y exportar 7,3 millones de toneladas de carbón, por un valor aproximado de 440 millones de dólares. Este último valor parecería una exageración, pero en términos reales y legales es lo mínimo que habría que invertir para preservar este recurso.

## MEDIDAS DE MANEJO AMBIENTAL - PROGRAMA DE MANEJO DE SUELOS (PBF – 05)

### ANTES DE LA REMOCIÓN:

Reconocimiento, caracterización y mapeo de unidades de suelo en las áreas de influencia de la actividad minera que adelanta Cerrejón.

Determinación en campo de espesores y volúmenes de materiales a remover por área de avance, según planes de minería o de construcciones.

Demarcación de áreas a intervenir y señalización de áreas a proteger.

### DURANTE LA REMOCIÓN Y EL ALMACENAMIENTO:

Seguimiento permanente en el campo y verificación de las capas y espesores de remoción.

Contabilización y reporte diario de volúmenes de materiales edáficos removidos, incluyendo orígenes y destinos.

Señalización y entrega de áreas libres de remoción a la operación minera.

Disposición de los materiales removidos en bancos de preservación y conformación adecuada de ellos para minimizar en lo posible la erosión hídrica en las caras laterales.

Mantenimiento de cobertura herbácea protectora en toda la superficie de los bancos de preservación de material edáfico, mientras estos se mantengan inactivos.

### REUTILIZACIÓN O DISPOSICIÓN FINAL DE LOS MATERIALES PRESERVADOS:

Los materiales edáficos preservados serán utilizados como medio de crecimiento de plantas en la rehabilitación de las áreas intervenidas. Para el efecto, de acuerdo con los planes de rehabilitación, los bancos de almacenamiento se activarán cuando se les requiera para efectuar en ellos las operaciones de carga y transporte hacia los sitios de disposición final.

Para la minería el manejo responsable de los suelos es una actividad muy noble que genera confianza y credibilidad. En el mundo no existe un mercado de suelos o de compraventa de materiales edáficos; por eso a veces es complejo asimilar la necesidad de hacer grandes inversiones para preservar un recurso que no tiene valor comercial, habiendo tantas necesidades ambientales y sociales por atender.

Los beneficios del carbón extraído son de corta duración, los de los materiales edáficos preservados sobrepasan generaciones, alcanzando valores inmensurables.

En Cerrejón el manejo de los suelos en sí es una gran empresa, responsable de conservar el capital natural en las tierras que no se han de intervenir, de optimizar la extracción de los materiales edáficos valiosos en donde haya que intervenir, preservarlos y reutilizarlos con la mayor atención posible. Esto requiere gente especializada en reconocer y determinar los materiales aptos para remoción; de un control permanente en el campo sobre las operaciones de deforestación y remoción; de operadores hábiles y muy conscientes; de suficientes equipos de remoción, cargue y acarreo, y de un sistema de administración que esté al tanto de todos los movimientos contables relacionados con este recurso.

La Figura 7 presenta un esquema general de manejo de materiales edáficos para una operación minera en permanente actividad. Dicho manejo abarca nuevos desarrollos de áreas para minería y actividades finales de cierre o rehabilitación de tierras, incluyendo fuentes, destinos y transacciones de materiales edáficos. De esta manera se tienen: movimientos de remoción desde las áreas en intervención hacia bancos de preservación o directamente hacia áreas por rehabilitar; movimientos de reutilización entre bancos y áreas a rehabilitar, y movimientos de remanejo entre bancos, y desde áreas en rehabilitación hacia bancos y áreas por rehabilitar. También es usual que se registren pérdidas contables por erosión en bancos, áreas por rehabilitar y áreas en rehabilitación, o por ajustes en cuanto a saldos negativos por diferencias entre las cargas reales y las cargas nominales de los equipos de acarreo, específicamente al cierre o consumo de un banco de preservación.

Figura 7. Flujos de materiales edáficos en minería a cielo abierto.



En operaciones maduras o avanzadas es posible llevar materiales directamente desde las áreas en intervención hasta las áreas por rehabilitar, con un ahorro importante en costos de operación y en efectividad en cuanto a desarrollo de coberturas vegetales pioneras. Los bancos de preservación generalmente se localizan cerca de las áreas de intervención y de las áreas a rehabilitar. Por modificaciones imprevistas en los planes de minería en cuanto a espacios adicionales para botadero de escombros o construcción de nuevas instalaciones de soporte, algunas áreas que ya estaban en rehabilitación son sujetas a nueva intervención de terrenos, aspecto que obliga al desmantelamiento del suelo restituido. Todos los remanejos implican mayores costos de operación; por lo tanto y en lo posible se trata de que estos no sean frecuentes. Tal como se ilustró en la Figura 6, en 29 años de operaciones se han removido y preservado en Cerrejón algo más de 37 millones de metros cúbicos de materiales edáficos.

Desde el mismo instante y como por arte de magia, los suelos removidos de su origen, por la misma definición de suelo, se convierten en materiales edáficos. Como no hay la oportunidad ni los recursos suficientes para remover de manera separada y sin disturbar todas las capas que conforman los suelos, ni de conservarlas por separado fuera de su lugar de origen, todos los materiales son removidos en masa, en secuencias programadas según las necesidades de la minería, mediante equipos de corte y raspado con tractores de oruga y mototraillas, y luego llevados en equipos de acarreo a los destinos estipulados.

La utilización de los equipos de minería en el corte, cargue y acarreo permite reducir notoriamente los costos unitarios por metro cúbico preservado. A mayor capacidad de cargue de los equipos involucrados menor es el costo unitario de acarreo.

La operación de corte y acarreo de los materiales se adelanta en orden, barriendo turno por turno todos los materiales presentes en la sección de control o profundidad efectiva observada y ajustada en el campo para cada tipo de suelo. Mediante comprobación visual se puede determinar hasta dónde se debe profundizar en los cortes. La aparición de materiales con características no deseables marca el límite, el cual es fácilmente reconocible por los asistentes de campo y por los operadores de los tractores. La remoción y preservación es un requisito indispensable para liberar los terrenos y poder ejecutar en ellos operaciones de minería. En Cerrejón, cuando se pregunta por calidad de materiales edáficos, hay que remitirse a los auxiliares de campo y a los tractoristas que intervienen en el proceso, verdaderos maestros en el arte de preservar este recurso.

Son muchas las alteraciones que soportan los materiales edáficos removidos. En primer lugar la fragmentación y mezcla entre materiales superficiales y profundos en el sitio de remoción, la pulverización en el cargue y descargue, compactación y amontonamiento en los bancos de preservación, degradación biológica y oxidación de la materia orgánica durante su almacenamiento y nueva pulverización y mezcla en los bancos cuando se le va a transportar hacia las áreas en rehabilitación o cuando se le remaneja.

Los bancos de preservación o almacenamiento temporal de materiales edáficos funcionan como cajas fuertes cuya única finalidad es almacenar materiales. En Cerrejón, hacia finales de 2010, se contaba con 83 bancos o pilas de almacenamiento, distribuidos en las diferentes localidades o zonas de minería, y que en su conjunto conforman el Banco de Suelos del Cerrejón, único de su especie en Colombia.

Los materiales removidos se depositan en el banco más cercano, sin distinción de procedencia o características particulares. Cualquier material consignado, independientemente de sus atributos, se le considera de igual valor. En los bancos la mezcla de materiales permite enriquecer los materiales de menor calidad química, ya que las propiedades físicas y biológicas de todos ellos se ven afectadas por las operaciones de manejo.



Vista parcial del Tajo Oeste Expandido. Sección expuesta de una pared alta de mantos de carbón intercalados con capas gruesas de rocas sedimentarias; en la parte inferior un sector de un botadero contiguo en donde se observa el remanente de materiales por reutilizar de un banco suelo y áreas aledañas en rehabilitación.

No hay límites para determinar la altura óptima de los bancos de almacenamiento, pero sí los hay en cuanto a terrenos disponibles para su almacenamiento. A menor altura de bancos se requiere mayor espacio, y por lo tanto, mayor afectación de tierras. Una simple operación aritmética muestra que para guardar los 23,3 millones de metros cúbicos preservados en el Banco de Suelos de Cerrejón al finalizar el año 2010, en capas de 1 o 10 metros de altura, se requeriría de 2.372 o 237 ha respectivamente. En las condiciones de operación del Cerrejón, cualquier material enterrado a una profundidad mayor de 80 centímetros pierde gran parte de su riqueza biológica por su inhabilitación para respirar y reproducirse. La pérdida de valor biológico también se incrementa con el tiempo de almacenamiento.

Los bancos de preservación se protegen mediante el establecimiento y mantenimiento de coberturas herbáceas, muy efectivas para contrarrestar el impacto de las lluvias. La misma reserva de semillas contenidas en los materiales preservados, especialmente de las capas más superficiales, sirve como fuente de semillas para proporcionar una cobertura protectora, sin necesidad de incurrir en trabajos adicionales de preparación de suelos y siembras. Adicionalmente estas coberturas promueven la multiplicación de poblaciones de microorganismos que residen en el suelo, para servir como fuente de inoculación al momento de llevar los materiales almacenados a los sitios finales de disposición.

La contabilidad de las operaciones de manejo de materiales edáficos incluye procedencias, destinos y equipos utilizados. Esto permite determinar los costos o inversiones ambientales efectuadas año tras año. En las áreas de tajos de minería los costos son absorbidos por la minería, en tanto que en las demás áreas, estos son considerados como costos ambientales.

El programa de manejo de suelos se completa con el control en la disposición de materiales durante las etapas de adecuación de tierras y estabilización de suelos. Esto permite, según se ilustra en las Figuras 8 y 9, tener una idea clara de cómo se ha invertido este recurso y con qué reservas se cuenta en el futuro para afrontar las obligaciones.

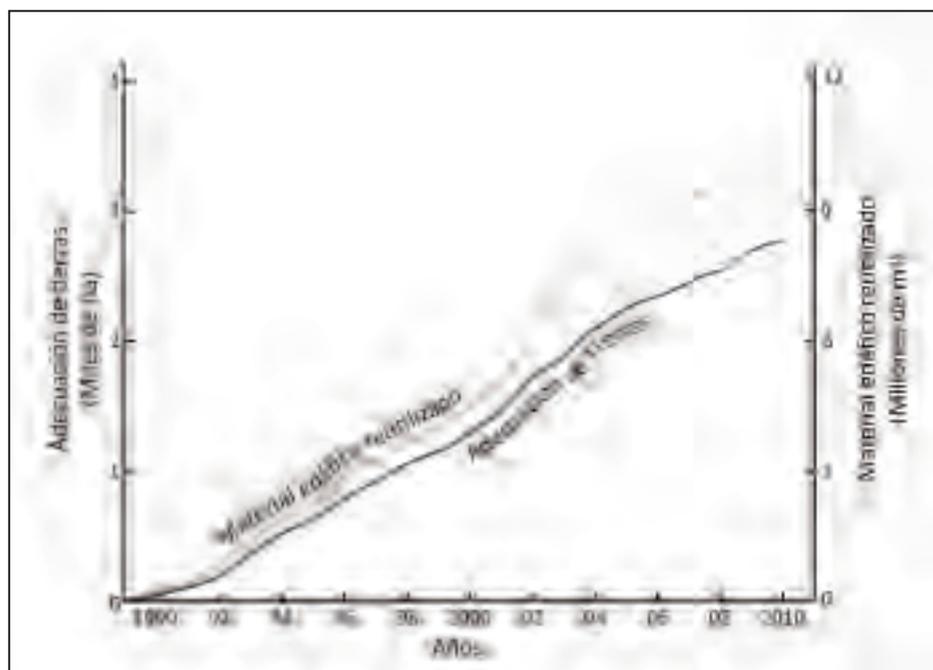


Figura 8.  
Consumo acumulado de materiales edáficos en la adecuación de tierras.

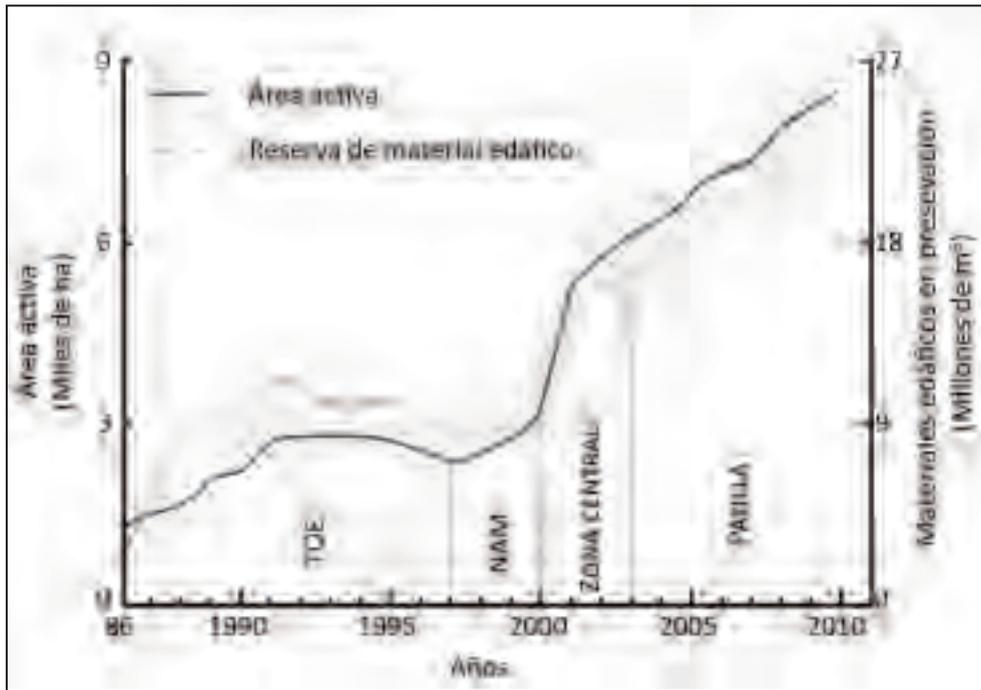


Figura 9. Relación entre áreas activas en minería y materiales edáficos en preservación.

En ambas figuras se establece una relación de 3000 metros cúbicos de materiales edáficos por hectárea a rehabilitar. En la primera de ellas se puede inferir que siempre se ha utilizado un poco más del material requerido. Esto se explica por un mayor consumo en los trabajos de adecuación de tierras en laderas o taludes, los cuales incluyen además la conformación de bermas de protección en la parte superior, construidas con materiales edáficos.

La segunda muestra la relación entre áreas activas en minería y materiales edáficos en preservación. Se observa cómo a partir del año 2001, con la fusión de las Zonas Norte y Central, las exigencias superan a las reservas en bancos, desbalance que se continúa incrementando luego con el inicio de las operaciones en Patilla (2003). Estas diferencias se deben en gran parte a que los suelos de la Zona Central y Patilla son más superficiales y, por lo tanto, contienen menores reservas por remover.

No todas las áreas activas al final de la minería serán rehabilitadas. Algunas de las instalaciones tales como la Unidad Residencial Mushaisa, serán entregadas al Estado, en tanto que las secciones más profundas de los tajos que al momento del cierre no hayan sido rellenadas, serán sometidas a trabajos de rehabilitación parcial. Así, a 2010 existía suficiente material en bancos para apoyar a plenitud el plan de largo plazo de rehabilitación de tierras.

Lo importante es tener plena conciencia de cómo se está actuando y hacia dónde se pretende ir. El mercado del carbón le da viabilidad comercial al negocio, pero sin desconocer que el manejo responsable del suelo le confiere viabilidad legal, social y ambiental.





*Botadero La Estrella, Nuevas Áreas de Minería (NAM). Disposición final de materiales estériles en áreas de préstamo a rehabilitar posteriormente.*

## ADECUACIÓN DE TIERRAS

### Manejo post-minería de botaderos y tajos

Con esta etapa se da inicio al proceso de rehabilitación de las tierras intervenidas, partiendo de un estado inicial de máxima entropía y mínima actividad biológica. Si bien la deforestación crea la necesidad de rehabilitar y la preservación de los materiales edáficos asegura el capital natural para que esta se pueda realizar, se requiere de la participación de otros actores y variables para que direccionen el proceso en las sucesivas etapas de crecimiento o desarrollo.

Todo espacio terrestre degradado es posible de rehabilitación, pero cada espacio tiene sus propios vectores de dirección del proceso, según el estado de degradación en el que se encuentre. Tal como se mencionó en el capítulo anterior, la secuencia o ADN de la rehabilitación para el caso Cerrejón está gobernado por la siguiente estructura o cadena de componentes: espacio – energía – suelo – agua – carbono – nitrógeno – fósforo – potasio – y otros elementos .

El espacio representa el escenario donde se ejecutan los trabajos de adecuación; la energía permite en primera instancia adecuar el escenario, transportar materiales edáficos y restituir el suelo. Tan pronto el material edáfico preservado se extiende se constituye en suelo, nuevo sustrato a organizar para que el proceso sea viable. Estos tres componentes, espacio, energía y suelo, son los constituyentes primarios del proceso de rehabilitación; los demás juegan papeles muy importantes en las etapas posteriores de estabilización de suelos y revegetación o diversificación biótica.



*Botadero La Estrella, Nuevas Áreas de Minería (NAM). Disposición final de materiales estériles en áreas de préstamo a rehabilitar posteriormente.*

En los años 90, recién iniciados los trabajos de rehabilitación, se definía como adecuación de tierras el conjunto de operaciones, ejecutadas según diseños específicos, con equipos de minería en terrenos intervenidos, para permitir en ellos un rápido establecimiento de coberturas vegetales. La nueva versión hace más énfasis en la calidad del producto y como tal reza: *conformación de un medio apropiado para inducir el crecimiento de plantas en áreas que anteriormente estuvieron utilizadas por la minería, incluyendo tajos, botaderos e instalaciones de soporte*. Esta versión es más amplia, en el sentido de que permite la inclusión de áreas de difícil acceso, y considera secuencias y opciones atípicas (eg. paredes de tajos abandonados, instalaciones desmanteladas).

Las áreas a rehabilitar por lo general corresponden a botaderos de escombros de minería o tajos rellenados parcial o totalmente con estos materiales. Debido a que la disposición de materiales en estos botaderos se hace en bancos de superficies aplanadas, el tránsito continuo de equipos de acarreo de gran capacidad compacta la capa superficial del terreno. Esa compactación reduce de manera drástica la infiltración del agua, lo cual obliga a un manejo del terreno previo a la restitución de suelos, como se explica más adelante. En ocasiones también se rehabilitan áreas utilizadas como instalaciones de soporte.

*Botadero Patilla, disposición de escombros de minería*



En este último caso, la adecuación se inicia una vez hayan finalizado las actividades de desmantelamiento y la evacuación de escombros.

Los escombros de minería están constituidos en su mayor parte por fragmentos de rocas sedimentarias, tales como areniscas, limolitas, shales, arcillolitas o lutitas, con presencia importante de carbonatos, bicarbonatos, sulfatos y cloruros localizados en su interior o adsorbidos en la superficie. En cantidades menores se presentan materiales meteorizados procedentes de las capas superficiales de los terrenos excavados, y materiales sedimentarios con altos contenidos de óxidos e hidróxidos de hierro. La disposición de estos materiales en los botaderos es muy aleatoria, dando lugar a un rango amplio de tonalidades de colores en las caras expuestas, lo cual también es un indicio de una gran variabilidad en cuanto a propiedades físicas y químicas.

Todos los trabajos de adecuación de tierras son exigentes en energía, especialmente fósil, para la operación de equipos y la movilización de masas. Sin energía no habría función. En este sentido, el carbón extraído y exportado se constituye en el proveedor del recurso. Este es el único caso del proceso de rehabilitación de tierras en donde una variable de conducción es generada o producida *ex situ*.

La secuencia convencional de los trabajos de adecuación de tierras, aplicada en la gran mayoría de los terrenos en rehabilitación, comprende los siguientes pasos: reconfiguración del terreno, roturación de superficies compactadas, disposición final de materiales edáficos, esparcimiento de estos materiales, emparejamiento, construcción de bermas de protección y obras complementarias de drenaje. Su objetivo es la conformación de nuevos suelos o su restitución en donde hubo intervención de tierras.



Botadero de escombros de minería. Acumulación de sales en la superficie de los terrenos a rehabilitar.

## RECONFIGURACIÓN DEL TERRENO Y ROTURACIÓN DE SUPERFICIES COMPACTADAS

La reconfiguración consiste en la homogenización de los terrenos o áreas liberadas para facilitar en ellos la ejecución de las demás operaciones. En las superficies aplanadas se esparcen con tractores de oruga y motoniveladoras los montículos de escombros incorrectamente dispuestos y se rellenan las depresiones. En los taludes, mediante trabajos de corte y relleno con tractores de oruga, se modifican las pendientes y se disponen los materiales ladera abajo, pasando de los ángulos reposo de los taludes a pendientes menores del 33%.

La compactación y la acumulación de sales en la superficie de las áreas aplanadas condicionan su utilización inmediata como áreas receptoras de materiales. Para salvar este impedimento, antes de proceder a descargar los materiales edáficos, se rotura por bandas la capa superficial con equipos de escarificación o cincelado, accionados por motoniveladoras, a profundidades entre 30 y 40 cm, y distancias entre cinceles de 60 a 70 cm. Esta escarificación parcial tiene por objeto evitar una nueva compactación por los equipos de acarreo. El ancho de las bandas de escarificación depende de la capacidad de acarreo de los equipos y del diámetro basal del cono formado cuando se disponen las cargas. En los taludes o nuevas laderas conformadas no hay necesidad de escarificar debido a que allí no ocurre la compactación.

## RESTITUCIÓN DE SUELOS

Luego viene el descargue de los materiales edáficos. Cada carga se dispone de manera ordenada en las bandas, a distancias iguales. La distancia entre ejes de bandas de roturación y cargas dispuestas depende de la capacidad de acarreo de los equipos. Con esto se logra una mayor eficiencia en el uso de recursos. En los taludes o laderas todo el material se descarga de manera acordonada con distancias entre cargas y número de hileras según sea la longitud de la pendiente.

*Caracolí nivel 220. A la izquierda, material edáfico acordonado; a la derecha, suelo restituído.*



*Botadero Patilla, reconfiguración de taludes mediante cortes y rellenos de material estéril con tractores de oruga.*



La siguiente operación consiste en el esparcimiento superficial de las cargas ya dispuestas. Esta operación se ejecuta con tractores de oruga. En las planicies esta actividad no se inicia hasta tanto no se haya realizado y constatado la escarificación final entre las bandas de descargue. En las laderas el material se extiende ladera abajo, procurando mantener siempre un espesor uniforme de la capa extendida y, además, logrando un buen empalme o contacto en la parte baja con el área vecina.

La escarificación previa a la descarga y al esparcimiento de los materiales edáficos tiene por objeto conformar un frente de infiltración de agua y de crecimiento de raíces en una profundidad efectiva tal que permita capturar la mayor cantidad de agua durante los eventos de precipitación. Este propósito limita el acarreo sólo a equipos de tolva. El acarreo con equipos de descargue ventral, caso de las mototraíllas, no es recomendable por la pulverización y compactación que se produce sobre los materiales edáficos dispuestos. Además, si se quisiera posteriormente roturar el terreno habría mayor demanda de potencia, mayores costos y muy posiblemente menor efectividad en cuanto a la descompactación.



*Manantial nivel 180. Escarificación de la superficie del botadero entre las bandas de descargue del material edáfico.*



*Caracolí, talud reconfigurado y habilitado con suelo entre los niveles 220 y 200.*

En las áreas planas los trabajos de adecuación concluyen con un pase final de motoniveladora, a manera de emparejamiento o nivelación, y con la construcción de obras complementarias tales como canales, cuando estos se requieren. En las laderas se completa con la conformación de las bermas de protección en la parte alta, con el objeto de contener las aguas superficiales y minimizar su escurrimiento.



*Caracolí nivel 200. Nuevos suelos en planicies de reciente adecuación.*

Concluidas las actividades de adecuación de tierras, los materiales edáficos así dispuestos, por definición, cambian de denominación para convertirse a partir de ahí y en lo sucesivo en suelos, extremadamente jóvenes, inestables, conformados por depósitos de minerales y orgánicos alogénicos, transportados por medios antrópicos. Este es el origen de la tercera variable de conducción sobre la cual se sustentará el resto del proceso de rehabilitación.

Los trabajos de adecuación de tierras no tienen límites en cuanto a épocas o estaciones, por lo tanto se pueden realizar durante todo el año, pero de preferencia durante los primeros nueve meses, con el objeto de dar a luz a nuevas tierras y suelos, y poder realizar oportunamente en ellas los primeros trabajos de estabilización, antes de la intensificación de la estación lluviosa del segundo semestre.

Con la adecuación las tierras intervenidas cambian de uso para entrar al conjunto de tierras en rehabilitación, en transición a tierras para la conservación. De otra parte, con ellas también se disminuye el pasivo de tierras por rehabilitar, o extensión de áreas activas.



*Caracolí nivel 200. Humedecimiento del suelo y anegamiento superficial por lluvias.*



## ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

Una vez restituido el suelo, aparece en juego la cuarta variable: el agua, que entra al proceso a través de los eventos de precipitación y condensación, y que a partir de ahí cumple una infinidad de funciones, unas veces como conductora o como subordinada, y otras como agente de destrucción. De ahí la importancia de preparar un escenario adecuado para que haga su trabajo. En ocasiones también es importante su ausencia del escenario para facilitar la realización de eventos que solo se dan bajo condiciones secas.

En términos generales el agua actúa como disolvente, aglutinador, cementante, aislante, dispersor, removeedor, regulador, refrigerante, catalizador, conductor, transportador y como activador de procesos. Dado que el agua de precipitación es un recurso natural sobre el cual no se tiene control, el conocimiento sobre los patrones de distribución, frecuencias, intensidades y cantidades de agua precipitada sirve de marco de planeación para programar las actividades o trabajos vitales que sí pueden ser controlados.

La estabilización del suelo requiere que agua, energía, agentes cementantes y materia orgánica se asocien para organizar los materiales dispersos. Coloides minerales y orgánicos se unen a las fracciones de arena y limo para formar y conectar agregados, crear y formar dominios, gránulos, migajas y terrones. Con el tiempo este conjunto se va diferenciando, creando zonas o capas de arriba hacia abajo, con distintos arreglos en su conjunto en cuanto a forma, tamaño y estabilidad de los agregados, forma y tamaño de poros y cavidades, dando como resultado una condición o producto evolucionado, es decir, un suelo organizado.

La estabilización comienza con el primer contacto entre los materiales más superficiales del suelo recién restituido y las gotas del agua lluvia. Esto produce sobre la superficie del terreno la destrucción de agregados o terrones residuales, dispersión de partículas finas, humedecimiento, arrastre en cortas distancias, sedimentación y sellamiento superficial. Como consecuencia se forma en la superficie una lámina o sello poco permeable, constituido por un conjunto de sedimentos arcillosos, que limita la infiltración del agua y el intercambio gaseoso. Ello a su vez hace que se produzcan caudales importantes de agua de escorrentía que arrastran materiales sueltos o poco anclados. En las áreas aplanadas los materiales arrastrados se depositan y sedimentan en las pequeñas depresiones, conformando una gran cantidad de charcas superficiales. En los taludes rápidamente las aguas de escorrentía se con-

En el ámbito de la rehabilitación, la estabilización del suelo es un proceso natural, de construcción continua, en donde intervienen múltiples factores y agentes, por etapas o estados, a intervalos e intensidades dadas, cuyo objetivo y producto es la transformación de un suelo recién restituido y el material subyacente en un medio organizado, poroso, estable y adecuado para el crecimiento normal de las comunidades vegetales y de los organismos asociados a ellas.

Hay que proteger por fuera y construir siempre por dentro



*Lluvias torrenciales y escorrentía en áreas por estabilizar.*



*Caracolí nivel 220. Eventos climáticos que acompañan los procesos de estabilización de suelos.*



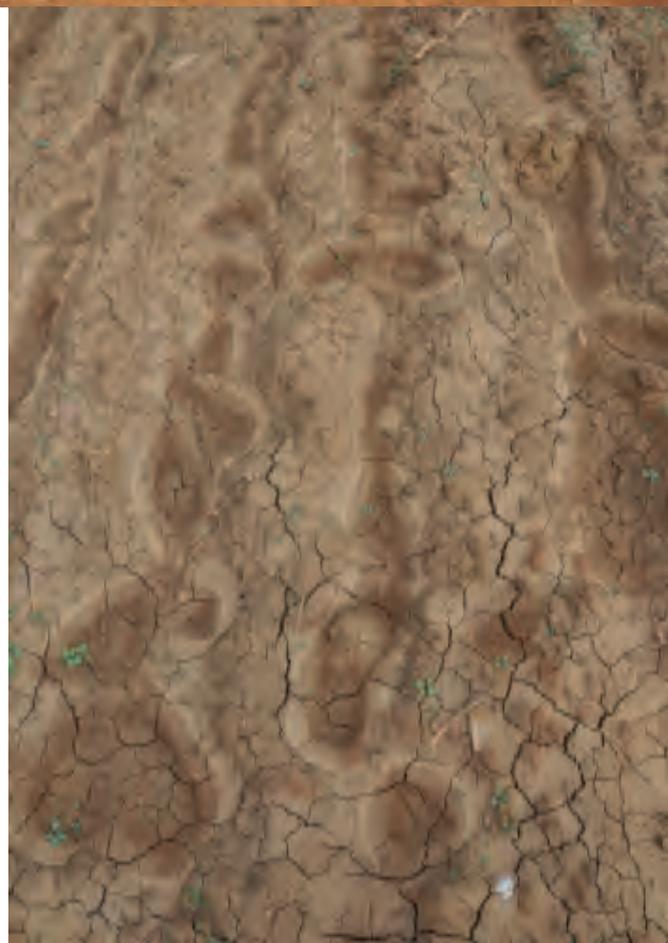
*Formación de costras superficiales que impiden la infiltración del agua e incrementan la escorrentía. Abajo, suelo arado y sembrado, con microembalses que retienen el agua, sellamiento superficial, agrietamiento y emergencia de plantas recién germinadas.*

centran en surcos incrementando así su capacidad de arrastre y destrucción.

En la capa de suelo humedecida, abajo de la superficie, se produce de igual manera una rápida conexión o cementación entre partículas, debido a la presencia de elementos cementantes como el calcio, aspecto que favorece su posterior agregación. Después de esa primera lluvia, comienza un proceso de secamiento o deshidratación el cual se hace más intenso en la medida en que no ocurran nuevas lluvias. El secamiento hace que el agua adsorbida en la superficie se evapore, lo mismo que parte del agua retenida entre las láminas que conforman las redes cristalinas de los materiales arcillosos, produciendo contracción y agrietamiento de las costras, con mayor intensidad cuando se trata de arcillas expandibles como la montmorillonita y otros materiales arcillosos integrados, muy frecuentes en los suelos del Cerrejón.

El agrietamiento facilita que las primeras aguas de escurrimiento de la siguiente lluvia penetren al interior del suelo, logrando llegar a una mayor profundidad que en la vez anterior. La reaparición del sello superficial por acción cicatrizante de las partículas finas en las grietas, limita nuevamente la infiltración y acrecienta la escorrentía.

Este proceso se repite cada vez que ocurre una nueva lluvia. Con el humedecimiento del suelo también se estimula la germinación y emergencia de plantas provenientes de la reserva de semillas contenida en el suelo. La germinación siempre es mayor cuando se llevan los materiales edáficos directamente desde los sitios de remoción hacia las áreas en adecuación. Esto también favorece el humedecimiento al interior del suelo debido a una menor alteración y pulverización de los agregados contenidos en él.





*Banda horizontal que marca el ascenso de sales por capilaridad hacia la superficie del suelo,*

En esta primera etapa de estabilización predomina el movimiento ascendente del agua por capilaridad, fenómeno que favorece el ascenso de sales hacia la superficie, aún desde el material subyacente. De ahí la importancia de iniciar los trabajos de adecuación de tierras tan pronto los terrenos sean liberados, con el objeto de reducir la presencia de sales sobre las superficies en donde se van a disponer los materiales edáficos.

La aparición temprana de coberturas herbáceas, a partir de la reserva de semillas del suelo, es un hecho muy positivo en cuanto a protección externa del suelo y de los terrenos a rehabilitar. Esto es particularmente importante cuando la adecuación del terreno se hace con bastante anticipación. Sin embargo, no siempre es suficiente, especialmente en los terrenos de más reciente adecuación.

Sin cobertura vegetal protectora los suelos recién restituidos están demasiados expuestos a ser erosionados. Por esta simple razón se hace necesario el establecimiento de coberturas de refuerzo, adaptadas a las condiciones climáticas y edáficas de la región, con muy buena capacidad de producción de semillas, regeneración, tolerancia a sequías extremas, al ataque de patógenos y depredadores, y buena sobrevivencia ante accidentes por fuego.

Además de la protección externa del suelo, las coberturas herbáceas son muy importantes por su reconocida habilidad para reciclar nutrientes y promover la restructuración física de suelos. Dentro de este grupo sobresalen las gramíneas o pastos, nativas o cultivadas. Su principal aporte lo constituyen los compuestos orgánicos de sus estructuras vegetales, los cuales son objeto de fácil y rápida transformación por los organismos que los utilizan como sustrato, y de su conversión posterior en compuestos húmicos de bajo peso molecular, fáciles de asociarse con los coloides minerales del suelo.

Para estructurar el suelo, el agua por sí sola no es suficiente. Estructuración del suelo significa incremento de porosidad, capacidad de aceptar y guardar agua, retener e intercambiar nutrientes, facilitar el flujo de materia, agua y aire en todas sus direcciones. Para eso nada mejor que incrementar los contenidos de materia orgánica de manera endógena. Materia orgánica implica síntesis de carbono, quinto elemento o variable de conducción del proceso de rehabilitación de tierras, carbono también significa vida.

A partir de esta condición se puede afirmar que la tierra a rehabilitar recobra sus signos vitales, pasando de un estado de “cuidados intensivos” a ser gestora de su propia recuperación. Los trabajos mecánicos de adecuación de tierras y los continuos intercambios entre agua y suelo han preparado las condiciones para que esto se dé. Sin embargo, no es el momento adecuado para exigirle cosecha. Las coberturas vegetales a esta-



blecer en un comienzo son el alimento que necesita la nueva tierra para fortalecerse, no el objetivo final. Por eso no es recomendable forzarla de manera prematura a sostener árboles, organismos muy exigentes en sus estados tempranos en cuanto a energía y recursos del suelo.

Con el perdón de muchos expertos, se podría afirmar que el león es el rey de la sabana, en tanto que el árbol es el rey del bosque, y como reyes, ambos necesitan de escenarios adecuados y de unos siervos que los cuiden y protejan.

El establecimiento de coberturas vegetales es un arte, no una ciencia, que demanda de sus propios artistas, implementos, insumos, escenarios y de una muy bien planeada programación. La preparación del suelo tiene como objetivos básicos romper la superficie para facilitar la siembra de las semillas y lograr en lo posible un buen contacto de éstas con el suelo y el agua. La siembra, por su parte, tiene por objeto introducir en los terrenos que se van a estabilizar las semillas de las plantas requeridas, en cantidades tales que se promueva su germinación y se asegure la sobrevivencia de una población aceptable de plantas activas. Siembra implica renovación de la vida; por eso es indispensable, antes de efectuar esta operación, conocer el estado del material que se va a sembrar, en términos de calidad y viabilidad, y sobre las condiciones requeridas para su germinación en el campo.

En Cerrejón, desde el año 1990 se ha venido cumpliendo con una temporada anual de preparación de suelos y siembra de gramíneas, como prácticas agrícolas necesarias para acelerar la estabilización de los suelos de reciente restitución. Durante estos 21 años muchos han sido los cambios y mejoras implementadas.

Desde el principio se decidió ejecutar sólo un paso de arado de cinceles o escarificadores como práctica de labranza o preparación. Esto debido a la gran fragilidad física de los suelos, y en especial para no perder la aglutinación de las partículas sueltas producidas por la acción cementante del agua.

En las planicies, durante los primeros años, en ausencia de equipos adecuados, el trabajo se ejecutaba con escarificadores montados en la parte trasera de motoniveladoras, en tanto que en las laderas el trabajo era ejecutado manualmente mediante el surcado con azadones, en sentido perpendicular a la pendiente. En pocos años se dio un gran salto, pasando de la motoniveladora y azadones al tractor agrícola y los bueyes. La siembra siempre ha sido manual, debido a la gran rugosidad superficial que presenta el suelo después de ser arado.



*Pase de arado de cincel en terrenos aplanados para romper el sello superficial, abrir la tierra y facilitar la siembra de gramíneas.*



Preparados para la siembra del pasto buffel (*Cenchrus ciliaris*). Temporada de lluvias Octubre 2009.



Un pase de arado de cincel y siembra inmediata a lo largo de los surcos con semillas de pasto buffel. Comienzos de la temporada de lluvias Octubre 2009.

Fue paradójico y lo sigue siendo, ver cómo en una operación de minería de carbón a cielo abierto, con una flota de equipos de las más grandes del mundo, se cuenta con una de las flotas agrícolas más pequeñas, dos tractores y tres bueyes, con la cual se construye la mejor historia del mundo en materia de rehabilitación integral de tierras intervenidas por la minería.

Desde un principio se utilizó el pasto buffel (*Cenchrus ciliaris*) como especie viable para el establecimiento de coberturas pioneras. En 1991, con el objeto de evaluar otras opciones, la Sección de Rehabilitación de Tierras del Cerrejón montó en áreas a rehabilitar un experimento de parcelas con 38 materiales y tres repeticiones, con materiales donados por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), recomendados como promisorios por su tolerancia a la sequía. Estos incluían accesiones de gramíneas de los géneros *Andropogon*, *Brachiaria*, *Panicum*, y de leguminosas de los géneros *Centrosema*, *Clitoria*, *Cratylia*, *Desmodium*, *Flemingia*, *Phaseolus*, *Stylosanthes*, *Macroptilium*, *Tadehagi* y *Zornia*. Como testigo se incluyó al pasto Buffel.

El experimento se montó a finales del mes de octubre, época mayor de lluvias, logrando muy buenas poblaciones en todas las parcelas. A finales de noviembre entró la época seca, estación que perduró hasta el mes de mayo siguiente. A comienzos de marzo del año 1992 sobrevivía la mayoría de las gramíneas y unas pocas leguminosas. Luego se presentaron unas lluvias fuertes de travesía que estimularon la proliferación de hongos en el sistema radicular y ocasionaron una gran mortalidad. Posteriormente, al entrar el periodo de lluvias en mayo, un poco tardío además, solo sobrevivió el pasto Buffel. Los resultados fueron tan contundentes

que aún hoy se le conserva como especie clave, por su excelente comportamiento como cobertura vegetal protectora y como estabilizadora de suelos, incluso bajo condiciones adversas de sequía.

El pasto Buffel, según versión de algunas personas de la región, fue introducido a La Guajira en los años 50 procedente de Venezuela, de los estados Falcón y Zulia, y sembrado por primera vez en fincas ganaderas de San Juan del Cesar. En Cerrejón se le comenzó a utilizar a mediados de los años 80 para el recubrimiento de los bancos de preservación de suelos. En este sentido es válido reconocer el aporte de los ganaderos en cuanto a la introducción, adopción y validación de este material.

También durante los dos primeros años del proceso se adelantaron trabajos de investigación sobre épocas y distancias de siembra, fertilización de establecimiento, uso de hidroretenedores y aplicaciones de mulch. El análisis y la interpretación de resultados permitió ensamblar la secuencia operativa que se mantiene vigente: preparación de suelos y siembras antes de que comience en forma el periodo de lluvias del segundo semestre, a distancias de 60 – 70 cm entre surcos y aplicación de mulch, esto último en laderas.

Bajo las condiciones climáticas de la región donde opera Cerrejón, la temporada anual de preparación de suelos y siembra de pasto Buffel comienza a finales de agosto y va hasta la primera quincena de octubre. Durante este periodo normalmente predomina el tiempo seco, con algunas pocas lluvias intercaladas, lo cual permite el laboreo fácil de los suelos y el tránsito vehicular, sin producir mayor compactación. Con esto se pretende terminar la siembra antes de que se acentúe el periodo mayor de lluvias que va de mitad de septiembre hasta finales de noviembre.

La preparación y la siembra se ejecutan una a continuación de la otra, en el mismo día. De otra manera, en caso que ocurriera una lluvia antes de ser efectuada la siembra, se perdería el trabajo de preparación del suelo por la formación de una nueva costra superficial. Además, si en esas condiciones se efectuara la siembra, las semillas no harían contacto con el suelo y podrían ser fácilmente arrastradas por el agua de escorrentía de lluvias posteriores.



*Crecimiento inicial del pasto buffel en laderas surcadas y protegidas con mulch.*



*Siembra manual de semillas de pasto buffel mezcladas con materiales edáficos frescos.*





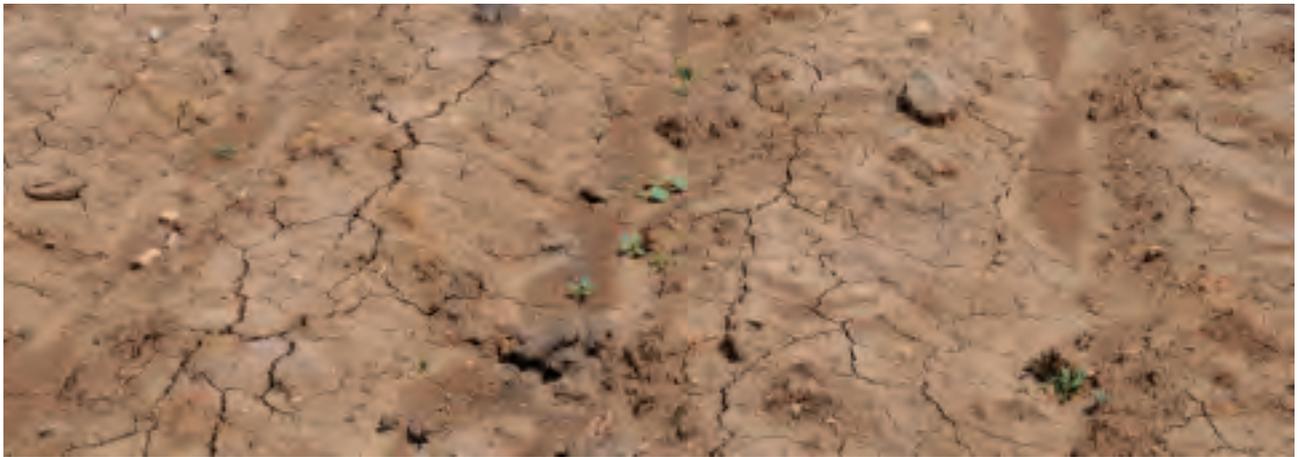
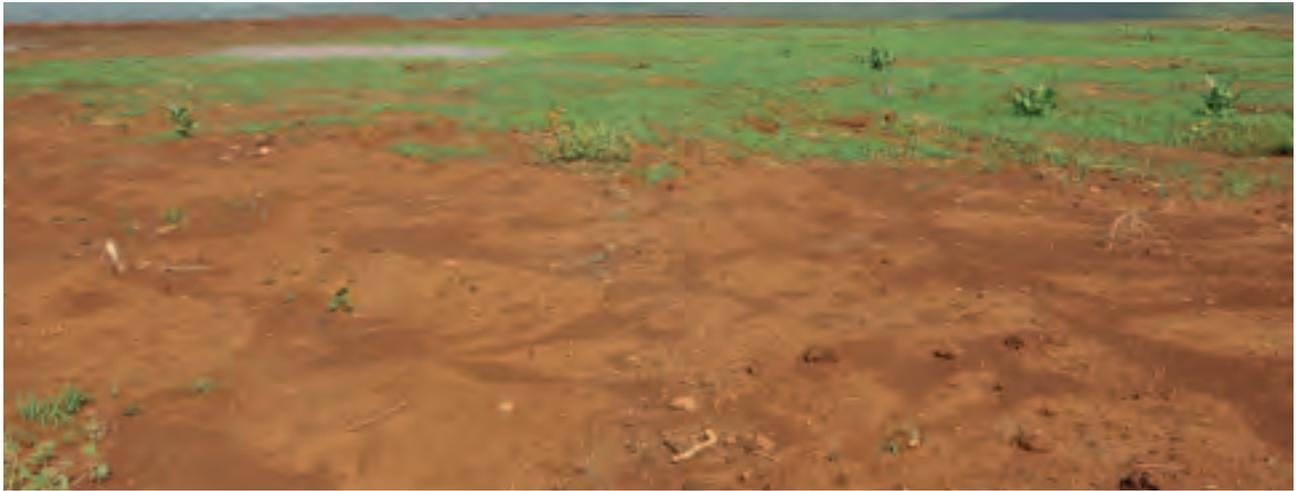
Primeras poblaciones de pasto buffel (*Cenchrus ciliaris*)

La siembra se ejecuta mediante la descarga manual, al fondo de los surcos, en chorrillo, de una mezcla de semillas y material edáfico fresco tamizado, tomado de la capa más superficial de suelos que no han sufrido disturbio reciente. Esta práctica permite uniformizar la descarga de semillas y reinocular los terrenos con poblaciones de hongos, bacterias, estructuras reproductivas de organismos asociados al suelo y semillas de especies nativas.

La semilla de pasto buffel es muy liviana. Un kilogramo contiene alrededor de 400.000 semillas, y una semilla recién germinada en Cerrejón, en cinco semanas de crecimiento, produce una planta con tallo floral o panícula. Al considerar una germinación del 15% y una sobrevivencia de plántulas del 20%, con una siembra de 2 kilogramos de semilla por hectárea se logra una población inicial suficiente como para producir una cobertura superficial mayor del 80% en un año.

Mayores densidades de siembra no aseguran una mayor cobertura; por el contrario inducen competencia intraespecífica por los limitados recursos del suelo, los cuales son compartidos además con las plántulas de las especies nativas, emergidas a partir de la reserva de semillas del suelo.

En las áreas planas, las semillas una vez sembradas son enterradas en el fondo de los surcos por la sedimentación de las partículas que la lluvia desprende al destruir con su impacto los terrones dejados por el arado. El arado con cinceles hace que los sedimentos desprendidos se depositen en los surcos abiertos. Ello a su vez reduce las distancias de transporte y crea largas cadenas de microembalses que retienen localmente el agua, reducen la escorrentía e incrementan la germinación de las semillas. Se han visto casos de emergencia de plántulas de pasto Buffel desde profundidades mayores a 5 centímetros.



Arriba, encostramiento superficial, erosión y sedimentación. Centro, retención local de agua, sedimentación y germinación de pasto buffel y plantas herbáceas en los surcos de siembra. Abajo, contraste entre área recién sembrada y lote de un año de edad.





Arriba, lote de dos años con predominancia de pasto buffel y bejuco de leche (*Hipomea carnea*). Abajo, lote de tres años con presencia de árboles pioneros de aroma (*Vachelia tortuosa*) y trupillo (*Prosopis juliflora*).

En las laderas se aplica mulch después de la siembra, de 2 a 3 toneladas de materia seca por hectárea, como cobertura muerta protectora, para atenuar la erosión hídrica, reducir la evaporación e incrementar la oferta de agua para la germinación y crecimiento de las plántulas. El mulch se produce internamente en lotes cultivados con pasto buffel, mediante el corte y enfardado del follaje. Estos lotes también son utilizados para la producción de semillas.

Las primeras poblaciones cultivadas de pasto Buffel son relativamente ralas pero muy productivas en cuanto a semilla viable. Las semillas son cariósides que se encuentran encerradas dentro de un flósculo compuesto de varias espiguillas, rodeadas por cerdas (Bogdan, 1997). Las semillas se desprenden de las panículas y caen al suelo a comienzos de la época seca, entre los meses de enero y febrero, entrelazándose entre sí mediante las cerdas, formando grandes aglomerados que facilitan su recolección.

Durante la época seca, al quebrarse las costras superficiales presentes en los espacios sin cobertura vegetal, por la contracción de las arcillas expandibles, las semillas que son arrastradas por el viento penetran por las grietas. Se produce así un proceso natural de labranza y siembra. Gran parte de estas semillas logran germinar durante el siguiente periodo de lluvias, entre los meses de abril y mayo, incrementando las poblaciones y el grado de cubrimiento del suelo.

En las áreas planas, con el desarrollo de la cobertura vegetal se reduce notoriamente la desnudez del suelo, la formación de costras superficiales, la escorrentía y el encharcamiento superficial. Esto se evidencia de manera muy clara en el campo cuando se comparan lotes vecinos de diferentes edades. En los sitios en donde inicialmente se forman charcas se da la invasión de especies vegetales adaptadas a estas condiciones, la mayoría de carácter anual.

Las especies que proliferan en las charcas terminan por cubrir la superficie y producir sus semillas, para luego morir e incorporar al suelo gran parte de sus residuos a través de las grietas que se forman durante la época seca. Tales eventos hacen que se rompa la continuidad de las capas de sedimentación, que se resanan por cicatrización durante los periodos lluviosos, y finalmente desaparezcan en pocos años estos cuerpos estacionales de agua.



Charcas temporales al inicio de la etapa de estabilización de suelos y la presencia de plantas voluntarias adaptadas a estas condiciones, tales como la leguminosa *Sesbania exasperata*.

La fase de las gramíneas en el proceso de rehabilitación de tierras es un caso interesante sobre dinámica de poblaciones en una sucesión vegetal acompañada: comunidades pioneras débiles e impredecibles en su estadio juvenil pero fuertes y autocontroladas en su madurez.



Este es un caso muy particular en donde plantas amantes del agua, agentes biológicos invitados de última hora, ocupan las “sillas” (charcas) que nadie desea, las disfrutan, cumplen su ciclo y luego se marchan, habilitando el espacio para que otras plantas colegas de misión lleguen más tarde y puedan completar sus funciones.

En las laderas, terrenos más susceptibles a la degradación por erosión hídrica, el desarrollo de la cobertura es más lento. Durante el primer año es muy notoria la presencia de surcos de erosión. Con el tiempo y en la medida en que se incrementa la cobertura protectora, los surcos se convierten en primera instancia en canales de conducción de agua, cuyos caudales paulatinamente se reducen, hasta convertirse en receptores de residuos vegetales. Posteriormente los surcos se convierten en medio y sustrato para una nueva trayectoria de génesis de suelos, cicatrizan y conforman un horizonte superficial con incisiones más profundas y fértiles.

El crecimiento del pasto durante los primeros dos años no tiene mayores problemas de orden nutricional, excepto los inducidos por la carencia de agua en el suelo durante los periodos secos. El estrés por sequía es muy importante por cuanto permite que gran parte del follaje seco se desprenda y caiga sobre la superficie del suelo, haciendo las veces de mulch natural, en tanto que parte de su masa de raíces muere y entra a formar parte de materia orgánica del suelo, necesaria para la formación de agregados.

La descomposición de las masas radiculares y de los residuos depositados sobre la superficie libera nutrientes, incrementando los contenidos y concentraciones en las capas más superficiales del suelo. Se produce así un incremento importante de la fertilidad, mediante un proceso continuo de minería vegetal.

De otra parte, el desarrollo de la estructura y de la porosidad del suelo aumenta la velocidad de infiltración del agua, disminuyendo con esto la escorrentía y estimulando el lavado de sales por movimiento gravitacional, durante los eventos de mayor precipitación. Este proceso es más notorio en los años de mayor pluviosidad, especialmente en aquellos favorecidos por el fenómeno de La Niña.

Un estudio preliminar de monitoreo de suelos en Cerrejón, efectuado en lotes bajo diferentes edades de rehabilitación, confirma la anterior aseveración y aporta además una valiosa información en cuanto al comportamiento de algunas variables o parámetros de alta sensibilidad (carbono orgánico, infiltración, conductividad eléctrica, sodio intercambiable y densidad aparente).

*Aparición de las malváceas en el proceso de rehabilitación como ayudantes voluntarias. Arriba la escobilla - *Sidastrum* sp., abajo escobilla pegajosa - *Bastardia viscosa**





*Canal enrocado de drenaje superficial. Una de las obras de infraestructura requeridas para estabilizar suelos en áreas con fuerte pendiente.*

En solo tres años se llega a los niveles normales de salinidad (conductividad eléctrica) y de sodio intercambiable, si se toman como referencia los valores propios de una cobertura de rastrojo alto no intervenida en más de 25 años. Los contenidos de carbono orgánico se incrementan de manera continua; sin embargo, se observa que en nueve años aún no se llega a los valores de referencia. Esto último puede estar relacionado con los tipos de compuestos de carbono incorporados por las plantas herbáceas durante las primeras etapas del proceso. Entre dichos compuestos predominan los materiales de más fácil transformación por los organismos consumidores, con tiempos de residencia menores en el suelo, en comparación con aquellos que presentan altos contenidos de lignina.

En la medida en que se incrementan los contenidos de carbono orgánico en las capas más superficiales, también se presenta una disminución en la densidad aparente. Sin embargo, a mayor profundidad se tiene mayor densidad aparente, rara condición que no necesariamente implica compactación. Si hubiera compactación habría reducción en la velocidad de infiltración, aspecto que no se manifiesta en los datos, o impedimento para la extensión de raíces hacia las capas más profundas, que tampoco se observa en perfiles de suelos expuestos. Esto se puede interpretar entonces como una disminución de la relación de macroporos causada por la dispersión de la materia orgánica debido al sodio en su movimiento descendente y por acomodamiento gravitacional de los agregados finos.

La restitución de la conductividad hidráulica en el suelo organizado, además de permitir una mayor infiltración e incremento de los flujos de agua por absorción y transpiración, reduce notoriamente la escorrentía. Sin embargo, este cambio en el ciclo hidrológico no es suficiente para asegurar la estabilidad de los terrenos.

En los botaderos sometidos a rehabilitación, por asentamiento de los materiales que los constituyen, con frecuencia se generan depresiones que modifican el micro relieve y el drenaje externo. En estos casos se torna



necesaria la construcción de canales o estructuras de drenaje a lo largo de las laderas para evacuar entre niveles los flujos de agua superficial, que se presentan durante algunos eventos de alta precipitación.

Estas estructuras se construyen como obras complementarias para estabilizar los suelos. Constan de una base o sello impermeable, una sección de conducción o canal en “v”, protegida lateralmente por colchonetas o gaviones, con los puntos de entrada y de descarga de agua adecuados, de tal manera que el agua conducida no produzca impactos adversos.

La estabilización es un proceso de largo plazo, que continuamente se apoya en las funciones que desarrollan los organismos que dependen del suelo. Con el tiempo, el incremento de las tasas fotosintéticas y de la captura de carbono, por parte de las coberturas pioneras, y en este caso el pasto buffel, hace que por consumo se agoten las reservas de nitrógeno en el suelo. Este elemento es muy dinámico, continuamente fluye entre los componentes orgánicos y minerales de los ecosistemas terrestres, en sus diferentes fases, produciendo pérdidas o salidas por volatilización, arrastre y lixiviación.

Profundidad del suelo (cm)	Tiempo en rehabilitación (años)				Testigo Rasstrojo Alto
	0	3	6	9	
Carbono Orgánico %					
0 - 3	0,55 a	1,12 a	1,37 a	1,63 a	2,33 a
8 - 11	0,62 a	0,61 b	0,79 b	0,72 b	1,40 b
16 - 19	0,61 a	0,60 b	0,85 b	0,68 b	0,95 c
24 - 27	0,56 a	0,60 b	0,82 b	0,70 b	0,73 c
Velocidad de Infiltración (cm/hora)					
Mínima	1	1	1,8	4	4
Máxima	2,2	1,6	2	8,4	8,4
Conductividad Eléctrica (dS/m)					
0 - 3	11,0	0,90	0,60	0,90	0,97
8 - 11	7,0	0,48	0,51	0,39	0,69
16 - 19	8,2	0,86	0,64	1,0	0,66
24 - 27	9,7	1,70	1,32	2,10	0,70
Sodio Intercambiable (meq/100g)					
0 - 3	5,1	0,14	0,07	0,12	0,15
8 - 11	5,5	0,2	0,13	0,1	0,27
16 - 19	6,1	0,52	0,22	0,18	0,25
24 - 27	6,5	0,94	0,25	0,17	0,28
Densidad Aparente (g/cm <sup>3</sup> )					
0 - 3	1,49	1,4	1,36	1,31	1,24
8 - 11	1,52	1,52	1,51	1,59	1,41
16 - 19	1,51	1,53	1,56	1,67	1,5
24 - 27	1,54	1,59	1,57	1,65	1,53

Tabla 3. Análisis de muestras de suelos del Cerrejón correspondientes a lotes en rehabilitación de diferentes edades, tomados de Quezada (2005).

La disminución en la oferta de nitrógeno, sexta variable de conducción, le resta vigor al pasto. Esto facilita la invasión de otras plantas en particular leguminosas, de todos los hábitos de crecimiento, que son hábiles para proveerse de este elemento mediante asociaciones simbióticas con bacterias del suelo.

Las plantas no fijadoras de nitrógeno toman este elemento desde el suelo; por esto es necesaria la mineralización del nitrógeno contenido en el tejido vegetal de las leguminosas. Esto reactiva el crecimiento de las gramíneas y restablece su función en el reaprovisionamiento de carbono.

Durante la etapa de estabilización de suelos, dicha alternancia se da de manera cíclica entre el pasto y leguminosas de ciclo corto o anuales, tales como *Macroptilium sp.* y *Desmanthus sp.*

La aparición de leguminosas arbustivas y herbáceas, provenientes de la reserva de semillas, cambia la dinámica de las tierras en rehabilitación. Su habilidad para crecer y desplazar a las coberturas pioneras permite crear nuevos ambientes que facilitan la llegada de nuevas especies, comenzando así un relevo generacional y funcional, que conduce a grandes cambios estructurales en cuanto a cobertura vegetal.

## REVEGETALIZACIÓN O DIVERSIFICACIÓN VEGETAL

El desarrollo de las coberturas arbustivas y arbóreas en Cerrejón ha seguido una ruta muy rica en experiencias. Inicialmente, en 1990, se pensó en habilitar las tierras con coberturas de pasto buffel como praderas asociadas con leguminosas para la producción pecuaria. Esto representaba diseñar un proceso de rehabilitación sencillo, de corto plazo y con muy pocas especies vegetales, acorde con la concepción que se tenía en ese entonces sobre este propósito. El compromiso de Cerrejón consistía en devolver las tierras en una condición de utilidad comparable a la inicial. Si se tiene en cuenta que buena parte de las tierras estaban dedicadas a ganadería extensiva, podría entenderse esa como la condición de referencia.



*Contraste entre dos lotes de más de 15 años de edad, uno con cobertura boscosa y el otro habilitado para la producción de semilla de pasto y mulch.*

No obstante, puesto que la zona de vida a la que corresponde el área de Cerrejón es bosque seco tropical, se consideró conveniente apuntar a la recuperación de funciones y servicios ecológicos propios de este ecosistema. Se optó entonces por virar hacia un modelo mixto en cuanto a uso futuro de las tierras: bosques protectores productores en las áreas planas y bosques protectores en las laderas, con especies nativas; técnicamente era una opción viable. Como hecho anecdótico, a las consideraciones técnicas se sumaron elementos pragmáticos. La pérdida por robo de uno de los dos bueyes inicialmente adquiridos para la preparación de suelos advirtió de lo riesgoso que sería para Cerrejón mantener ganados en las tierras rehabilitadas.

Se creía entonces que una densa cobertura herbácea era el mejor indicador para decidir cuándo pasar de la estabilización al asentamiento de las especies arbóreas. Se pensaba que dos años bajo cobertura de pastos en planicies y cuatro en laderas era tiempo más que suficiente, y que mientras más pronto se iniciaran los trabajos de reforestación más pronto se lograría el objetivo final.

Debido a la carencia de mercados de semillas y de materiales nativos para plantar, se optó por adelantar jornadas de recolección de semillas de especies nativas en las áreas boscosas aledañas a Cerrejón y producir los materiales en casa, en viveros acondicionados para este propósito. Con pocos esfuerzos fue posible propagar en bolsas plásticas suficientes cantidades de materiales para el trasplante de 80 especies nativas. Todas ellas se plantaron en terrenos de ladera y se procedió a seleccionar 12 especies de uso maderable para ser incorporadas en las planicies. También se decidió adoptar el patrón clásico de establecimiento de plantaciones forestales, con una densidad de 1100 árboles por hectárea, en tresbolillo, a distancias de tres metros entre árboles.



Los intentos del primer año no arrojaron resultados halagadores, solamente 20 de las 80 especies plantadas lograron sobrevivir. Con este grupo se continuó trabajando en los años siguientes.

Muy pronto hubo necesidad de incrementar la producción de materiales debido al rápido crecimiento de las actividades de adecuación de tierras y estabilización de suelos. Se estableció como temporada de plantío el periodo comprendido entre los meses de julio y septiembre, con la ayuda de un riego semanal, planta por planta, con el objeto de poder cumplir con los planes anuales de plantío de manera temprana y aprovechar al máximo las lluvias de octubre y noviembre; se pretendía lograr que los árboles recién plantados tuvieran tiempo de recuperarse del estrés de trasplante, crecer algo, acumular reservas y enfrentar luego el largo periodo seco que va de diciembre a mayo.

De nuevo los resultados no fueron los mejores: mortalidad de más del 80 % de los árboles plantados por depredación temprana, sequía, problemas fitosanitarios, desnutrición por competencia de las herbáceas ya establecidas y por trabajos mal ejecutados.

En esa situación de incertidumbre frente a tan elevada pérdida de material plantado, un visitante octogenario con mucha experiencia en actividades cívicas de ornamentación y arborización pública, quien acompañó el proceso de plantío durante una semana, sugirió una nueva estrategia. Este providencial visitante propuso la idea de sembrar solamente un 20 % de los árboles que se venían plantando, en la mejor época y con mejores cuidados, y así apuntarle a una sobrevivencia del 80 %. La fórmula era muy sencilla, pues solamente consistía en invertir los números. Plantar menos con mayor efectividad en el trasplante y adaptación, y permitir que los árboles establecidos catalizaran con el tiempo un proceso de sucesión vegetal.

Esta idea simplificó y definió mejor el objetivo de la revegetación en cuanto al tipo final de cobertura arbórea a establecer. Todo el esfuerzo del programa se concentraría en lo sucesivo en el bosque protector. La siembra de árboles en baja densidad resultaba más compatible con la conformación de bosques protectores y la restitución de las funciones ecosistémicas y los servicios ambientales. Se trabajó a partir de allí con plantaciones de baja densidad inicial, con una mejor selección de especies.

De esta forma las poblaciones pioneras sobrevivientes se convertirían en centros de producción y dispersión de semillas, permitiendo la creación de espacios abiertos entre árboles para la recepción de semillas y la conformación posterior, por regeneración natural, de una cobertura ar-



Árbol de caranganito (*Senna atomaria*) con producción de semillas, plantado en un lote de 7 años dominado por pasto buffel.

bórea diversa en estratos, edades y estados de crecimiento. Este esquema de mayor cuidado y control en la siembra permitió incrementar el número de especies pioneras, pasando de 20 a las 35 especies arbóreas que hoy se están utilizando, listadas en la Tabla 4.

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	FAMILIA
Aromo	<i>Vachellia farnesiana</i>	Fabaceae - Mimosoideae
Bálsamo	<i>Myroxylon balsamun</i>	Fabaceae
Brasil	<i>Hematoxylon brasiletto</i>	Fabaceae - Caesalpinioideae
Cacho de cabra	<i>Vachellia tortuosa</i>	Fabaceae - Mimosoideae
Caranganito	<i>Senna atomaria</i>	Fabaceae - Caesalpinioideae
Corazón fino	<i>Platymiscium pinnatum</i>	Fabaceae - Papilionoideae
Corioto	<i>Pithecellobium forfex</i>	Fabaceae - Caesalpinioideae
Dividivi	<i>Libidivia coriaria</i>	Fabaceae - Caesalpinioideae
Ebano	<i>Caesalpinia ebano</i>	Fabaceae - Caesalpinioideae
Espinito colorado	<i>Mimosa arenosa</i>	Fabaceae - Mimosoideae
Látigo	<i>Lonchocarpus atropurpureus</i>	Fabaceae - Papilionoideae
Macurutú	<i>Lonchocarpus sanctae-marthae</i>	Fabaceae - Papilionoideae
Trupillo	<i>Prosopis juliflora</i>	Fabaceae - Mimosoideae
Vainito	<i>Vachellia tortuosa</i>	Fabaceae - Mimosoideae
Yaguaró	<i>Caesalpinia mollis</i>	Fabaceae - Caesalpinioideae
Cañaguate	<i>Tabebuia dugandii</i>	Bignoniaceae
Ceiba majagua	<i>Pseudobombax septenatum</i>	Bombacaceae
Guamacho	<i>Pereskia guamacho</i>	Cactaceae
Guayacán chaparro	<i>Myriospermum frutescens</i>	Fabaceae - Papilionoideae
Guayacán de bola	<i>Bulnesia arborea</i>	Zygophyllaceae
Maiz cocido	<i>Zyzyphus angolito</i>	Rhamnaceae
Miaparao	<i>Sp. sp.</i>	
Olivo menudo	<i>Capparis sp.</i>	Capparidaceae
Olivo negro	<i>Capparis sp.</i>	Capparidaceae
Olivo santo	<i>Capparis sp.</i>	Capparidaceae
Puy	<i>Tabebuia billbergii</i>	Bignoniaceae
Plateado	<i>Platypodium sp.</i>	Moraceae
Puy serrano	<i>Tabebuia sp.</i>	Bignoniaceae
Quebracho	<i>Astronium graveolens</i>	Anacardiaceae
Raiján	<i>Sp. sp.</i>	
Sajarito	<i>Borreria essouca</i>	Borraginaceae
Silvadero	<i>Sp.sp.</i>	
Uvito macho	<i>Cordia alba</i>	Meliaceae
Varablanca	<i>Triplaris sp.</i>	Polygonaceae
Yuco	<i>Phyllanthus elsiae</i>	Euphorbiaceae

Tabla 4. Especies arbóreas y arbustivas utilizadas como pioneras en Cerrejón

Otro aspecto que ha permitido una mayor sobrevivencia de los árboles trasplantados ha sido el cambio en vivo de bolsas plásticas a contenedores constituidos por turba y una malla envolvente, permeable y de fácil



descomposición. Dichos contenedores permiten la salida de raíces a través de la envoltura y establecer un contacto íntimo con el suelo en los sitios de plantío, sin necesidad de retirar la envoltura al momento del trasplante.

Mediante recorridos de campo por los lotes de mayor edad, se ha comprobado la llegada de otras especies arbóreas por vías diferentes a las de plantación. En efecto, algunas especies no consideradas como pioneras han logrado establecerse bajo la sombra de especies ya asentadas, las cuales ejercen el papel de perchas o plantas tutoras. Las nuevas plantas así establecidas presentan tallos alargados, poco ramificados, con escaso follaje, con una arquitectura muy diferente a la de las plantas tutoras y a otras de su misma especie que han logrado afincarse y crecer a campo abierto.

Estas observaciones han sido tenidas en cuenta para ensamblar el esquema actual de plantío, consistente en demorar un poco más la reintroducción de especies y aprovechar en lo posible la aparición voluntaria de árboles nativos como trupillo (*Prosopis juliflora*), aroma (*Vachellia farnesiana*), espinito colorado (*Mimosa arenaosa*) y uvito macho (*Cordia alba*), esperar a que estos crezcan y desplacen a las plantas herbáceas, para luego utilizarlos como tutores, sembrando de a 2 a 3 árboles al amparo de la sombra.

Los nuevos árboles así reintroducidos se ven favorecidos por el aporte de nutrientes mediante el reciclaje, una menor competencia por parte del pasto buffel y un

*Arriba, vista parcial de vivero de multiplicación de especies arbóreas nativas  
Abajo, ubicación de árboles pequeños en bandejas de crecimiento.*





Ariba, tutoriaje de árboles pequeños a la sombra de un trupillo (*P.juliflora*). Abajo, regeneración de árboles de yaguaró (*Caesalpinia mollis*) en un lote de 20 años.



crecimiento longitudinal mayor. Este último aspecto modifica la arquitectura de los bosques en formación, cambiando de árboles de ramificación basal a árboles de tallos alargados, con mayor volumen de material maderable y altura total.

El reciclaje de nutrientes promovido por las comunidades herbáceas, especialmente de fósforo y potasio, es muy importante para estimular el establecimiento de las nuevas generaciones de especies arbóreas, incorporadas mediante trasplante o a través de la regeneración natural. Estos dos elementos esenciales corresponden respectivamente a las variables de conducción 7 y 8 del proceso de rehabilitación (Figura 5 capítulo 4).

Son múltiples las funciones que desempeñan estos dos elementos en las plantas. Entre ellas se destacan la participación del fósforo en el desarrollo del sistema radicular y en los eventos reproductivos, en tanto que el potasio lo hace de manera muy especial en la economía del agua, mediante la regulación y mantenimiento del balance hídrico en las hojas y órganos de acumulación de reservas.

Las plantas herbáceas que anteceden a las arbustivas y arbóreas en la sucesión vegetal, por su adaptación al medio, son muy eficientes para absorber estos dos elementos en el perfil del suelo, llevarlos a la parte aérea y luego devolverlos en los residuos para facilitar el enriquecimiento de las capas más superficiales a través de la mineralización. En esta función, cuando aún el sistema radicular de las plantas pioneras no está lo suficientemente desarrollado, juegan un papel muy importante las aso-

*Acumulación de residuos vegetales sobre la superficie del suelo en lotes de más de 10 años con vegetación boscosa.*



*Aporte de materia orgánica en la superficie del suelo por gramíneas en etapas tempranas de la sucesión vegetal.*



ciaciones que se establecen entre las plantas y los hongos micorrizógenos, muy efectivas para incrementar la absorción de nutrientes, especialmente de aquellos de reconocida baja movilidad en el suelo como el fósforo. Estas asociaciones perduran en el tiempo, y pueden cobrar un gran protagonismo en la interfase húmedo – seco y seco – húmedo durante los cambios de régimen de humedad del suelo inducidos por la dinámica del clima.

Mediante el análisis de muestras de suelo tomadas a diferentes profundidades, en lotes de diferentes edades de rehabilitación, ha sido posible constatar el incremento de fertilidad en términos de fósforo y potasio, aún en suelos con contenidos nativos relativamente bajos. Esa tendencia se manifiesta básicamente en la capa mas superficial (Tabla 5).



Raicillas micorrícicas para la absorción de nutrientes.

Profundidad (cm)	Edad (años)			Testigo Rastrojo Alto
	3	6	9	
Fósforo disponible (kg/ha)				
0 - 3	14	13	20	6
8 - 11	1	1	1	2
16 - 19	0	0	0	1
Potasio intercambiable (kg/ha)				
0 - 3	117	72	98	90
8 - 11	32	5	21	31
16 - 19	5	4	2	11

Tabla 5. Acumulación de fósforo y potasio a diferentes intervalos de profundidad del suelo en lotes de diferentes edades de rehabilitación en Cerrejón (2005).

Los incrementos relativos, expresados en kg/ha, se calcularon con base en los valores determinados en laboratorio para cada elemento, en muestras compuestas de materiales de suelo tomadas a una profundidad entre 24 y 27 centímetros.

Los valores de acumulación de fósforo disponible y potasio intercambiable en la primera capa, en tan solo tres años, resultan particularmente altos. Como referencia, estos niveles equivalen a una aplicación por hectárea de 70 kg de superfosfato triple (SFT) y de 230 kg de cloruro de potasio (KCl) respectivamente, dos de los fertilizantes convencionales más utilizados por la agricultura moderna.

Muestra de suelo tomada con barreno. Acumulación de materia orgánica y nutrientes en la capa más superficial.



El fósforo es un elemento poco móvil en el suelo, en comparación con el potasio. Las plantas herbáceas de ciclo anual son de rápido crecimiento y regeneración, características que les permiten ser muy efectivas como agentes activos en los procesos de flujo y transformación de materia y energía. Esta condición las convierte en fertilizadoras biológicas, que abonan las capas superficiales del suelo para satisfacer los requerimientos nutricionales de plántulas con una incipiente masa radicular durante los primeros estadios de crecimiento.

Esta fertilización biológica, durante la fase herbácea, estimula la diversificación vegetal y orgánica, habilitando los terrenos para sustentar en conjunto un mayor número de especies, comunidades, estratos y niveles tróficos.

Los cambios no solamente se limitan al campo de la química. En los procesos de transformación de la materia orgánica del suelo es vital la participación de los organismos que digieren y mezclan materiales entre capas del suelo y que los transportan de un sitio a otro, tales como las lombrices de tierra y las termitas. Su aparición voluntaria en los terrenos en rehabilitación está muy relacionada con la restitución de los suelos y su conexión con las áreas no intervenidas por la minería.

Particularmente las termitas juegan un papel muy importante en la transformación de los residuos vegetales lignificados, que en los estados maduros del proceso cobran ma-

*Arriba, hongos en la base del tronco de un árbol muerto que complementan la acción de los organismos del suelo en el ciclaje de nutrientes. Abajo, excretas de lombrices que mejoran la incrementan porosidad y formación de agregados del suelo.*



por peso, ya sea por acumulación de materiales leñosos en la superficie o dentro del suelo por raíces muertas. Las lombrices por su parte, en su continuo trabajo de excavación e ingestión de materiales del suelo, se convierten en las restituidoras de la macro porosidad del suelo. Por lo tanto, son en gran medida las responsables de extender las conexiones en todo el sistema para mejorar la irrigación interna y el intercambio gaseoso.

Organismos que componen la biota del suelo como los hongos y las bacterias participan muy activamente en la transformación de la materia orgánica. Estos grupos son capaces inclusive de utilizar el carbón como sustrato, lo cual permite dar continuidad a la génesis del suelo, más abajo del contacto entre el suelo restituído y los escombros de minería que lo soportan.

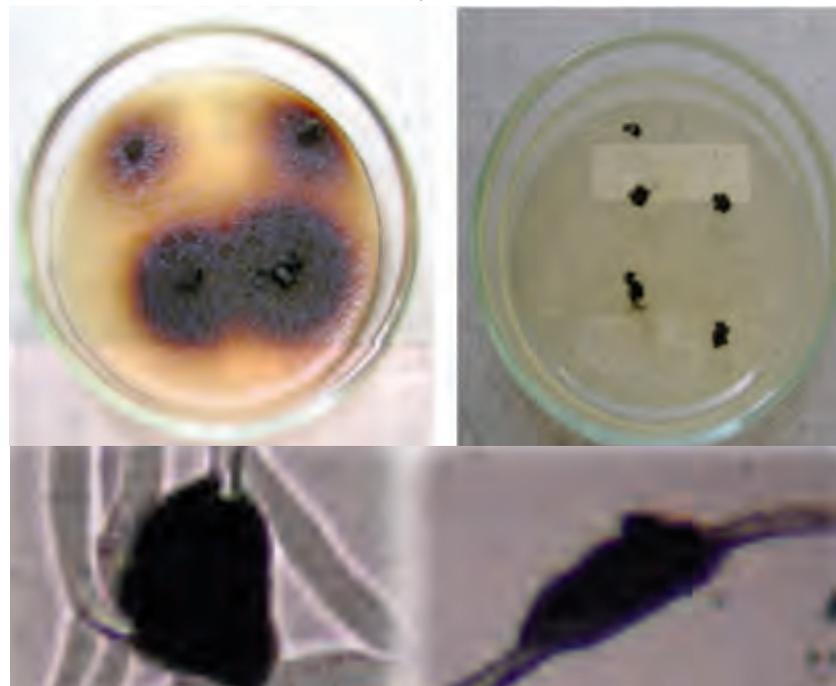
En un proyecto de investigación adelantado sobre muestras de materiales edáficos influenciadas por la presencia de partículas de carbón, lodos carbonosos y material sólido de la rizosfera de gramíneas en áreas en rehabilitación, se logró el aislamiento de 75 morfotipos bacterianos cultivables, de los cuales 32 lograron solubilizar carbón. De este último grupo se encontraron 5 cepas con alta actividad, entre ellas *Bacillus* sp. *Acinetobacter baumannii*, *Klebsiella oxitoca*, y cocos Gram positivos no identificados, capaces de producir sustancias húmicas a partir de carbón en tan solo 72 horas (Rodríguez *et al.*, 2010).

Con relación a los hongos, en el mismo estudio se obtuvieron 137 morfotipos con actividad transformadora de carbón, de los cuales 37 presentaron buen crecimiento en agar con carbón de bajo rango como única fuente de carbono. De este grupo sobresalieron representantes de los géneros *Trichoderma*, *Paecilomyces*, *Penicillium*, *Verticillium*, *Acremonium* y el basidiomiceto *Trametes*. En este contexto se logró demostrar que en zonas influenciadas por la extracción de carbón en Cerrejón, existen hongos nativos con capacidad biotransformadora de carbonos de bajo rango, con potencial para producir sus-



Termitas en lote de 16 años. Organismos muy eficientes en la transformación de residuos vegetales lignificados.

Bacterias y hongos solubilizadores de carbón aislados a partir de muestras de materiales edáficos tomadas en áreas influenciadas por la minería.



tancias húmicas, de aplicación en áreas degradadas con bajos tenores de materia orgánica (Valero, 2009; Salas *et al.*, 2009).

Retornando a la superficie, estudios de hormigas como indicadores de sostenibilidad, adelantados en lotes en rehabilitación de diferentes edades, han permitido concluir que el proceso de rehabilitación de tierras en Cerrejón ha favorecido el retorno de estos organismos y de su fauna asociada, restituyendo la dinámica natural entre estas áreas y el entorno (Domínguez, 2008).

Domínguez y Armbrecht (2010), al estudiar el ensamble de las hormigas en trece sitios, a lo largo de un gradiente de rehabilitación de 0 a 14 años, incluyendo tres bosques naturales bajo rastrojo, reportaron la presencia de 82 especies pertenecientes a 29 géneros.

En dicho estudio se pudo constatar un crecimiento en riqueza en la medida en que se incrementaba la edad de los lotes. El lote de 14 años presentó la mayor similitud con respecto a los bosques naturales, en términos de gremios funcionales, así como también de especies dominantes. En este lote, el movimiento de semillas fue similar al de los bosques, sugiriendo con esto que las funciones ecológicas han sido parcialmente restituidas y que el movimiento de agentes dispersores de semillas en el paisaje podría estar enriqueciéndose.

Santamaría *et al.* (2009) reportaron en lotes de rehabilitación en Cerrejón, con cobertura de dosel, densidades de hasta 2650 nidos por hectárea de la especie *Ectatoma ruidum*, hormiga cazadora ampliamente distribuida en Colombia. Se trata de una especie que cumple las funciones de movilizadora de semillas y depredadora de insectos, incluyendo ácaros. Este reporte es el más alto registrado en Colombia para este tipo de cobertura vegetal.

Continuando el recorrido por la fauna que ha retornado a las tierras en rehabilitación en Cerrejón, resultan significativos los resultados que arrojó un estudio de la Fundación George Dahl (2006) en el valle del río Ranchería. En ese estudio se incluyó un lote de sucesión temprana en rehabilitación, con una cobertura de árboles dispersos entre pastizales. Dentro de los resultados, la localidad rehabilitada fue calificada como la tercera en importancia en cuanto a riqueza de fauna entre las nueve localidades evaluadas, que incluyeron bosques de galería del río Ran-

*Ectatoma ruidum*, hormiga cazadora y movilizadora de semillas abundante, en lotes con cobertura arbórea.





*Gavilán (Falco sparverius)*, ave rapaz común en áreas de cobertura herbácea y arbórea baja.



*Lobito (Tretioscincus bifaciatus)*





Aguila (*Parabuteo unicinctus*), ave rapaz con dominio territorial, reasentada en áreas en rehabilitación.

chería y de los arroyos tributarios. En dicho lote se reconoció la presencia de 86 especies de aves, correspondientes al 46% de las especies registradas para todo el Valle del río Ranchería, distribuidas en 72 géneros y 39 familias, con ofertas alimenticias diversas, destacándose las insectívoras, granívoras, carnívoras y las carroñeras.

En cuanto a mamíferos, reptiles, insectos y otros grupos, son muy notorias sus apariciones en las áreas en rehabilitación. Existen registros fotográficos y residuos metabólicos o excrementos que permiten inferir su presencia, ya sea como residentes permanentes o en tránsito. Esto demuestra la importancia que están cobrando estas áreas, ya sea como receptoras o de amortiguación y conexión con corredores y zonas de mayor riqueza y diversidad biológica.

Desde el punto de vista florístico, resulta sintomática la incorporación voluntaria de especies nativas como *Cereus hexagonus*, *Jatropha gossipyfolia* y *Chamaecrista sp.*, las cuales si bien presentan en principio cifras bajas de índice de valor de importancia (IVI) constituyen una señal de continuidad hacia la restitución del bosque seco (Barbosa 2009b).

Según el mismo autor, existen en las áreas en rehabilitación especies compartidas con los bosques naturales secundarios tales como *Caesalpinia mollis*, *Platymiscium pinnatum*, *Astronium graveolens* y *Myroxilon balsamun*, que se caracterizan por presentar mecanismos de dispersión anemócora de las semillas. El manejo adecuado de esas especies anemócoras, muy propias del matorral espinoso tropical, ofrece un buen pronóstico respecto a una sucesión que en el largo plazo hará posible la restitución del bosque seco tropical en estas áreas.

A medida que avanza la sucesión vegetal también se hace más compleja y diversa la presencia de carbono en el sistema, en comparación con la fase temprana dominada por herbáceas. Ahora en la fase arbórea está el carbono con toda su familia de compuestos, desde moléculas de alta solubilidad, presentes en los tejidos foliares tiernos, hasta compuestos de menor solubilidad o recalcitrantes como la lignina, propia de los materiales leñosos. Una vez la biomasa radicular leñosa se desprende de las plantas se convierte en retenedora de carbono al interior del suelo. Adicionalmente, las ramas y troncos viejos que se depositan sobre la superficie del suelo actúan como componentes estructurales que mantienen la hojarasca en los sitios de deposición y favorecen su posterior transformación y mineralización.

En general, se puede afirmar que el proceso de rehabilitación de tierras, desde el punto de vista estructural y funcional, es un verdadero éxito pues restituye importantes extensiones de terrenos intervenidos por la minería. Esta restitución implica el impulso a un proceso de sucesión vegetal sustentado por un flujo autosostenido de recursos bióticos y abióticos que configura condiciones propicias para el resguardo de la vida silvestre, en un tiempo relativamente corto.

## LOS COSTOS DE LA REHABILITACIÓN DE TIERRAS



Como aspectos finales del proceso de rehabilitación de tierras es conveniente abordar los temas relacionados con los costos de operación, el estado en que se devolverán las tierras rehabilitadas y el uso futuro de las mismas.

En concordancia con los criterios considerados desde un principio para diseñar y ensamblar la trayectoria a seguir dentro del proceso de rehabilitación



*Cobertura boscosa con acumulación de residuos lignificados sobre la superficie del suelo.*



de tierras, los resultados en cuanto a efectividad de costos han sido de igual significancia a los obtenidos en cuanto a calidad de las tierras: \$ 8428 dólares por hectárea a costos del año 2010, tal vez el valor más bajo para minería de carbón a cielo abierto a nivel mundial. Este valor corresponde a la sumatoria de todos los trabajos a ejecutar durante un ciclo de 20 años en un territorio constituido por planicies en un 70% y laderas en un 30%, pasando de una condición de extrema degradación o inactividad a una condición final de bosque en proceso avanzado de restitución.

Tal como se detalla en la tabla 6, los rubros más altos están asociados con la adecuación de tierras, y de manera muy especial con el acarreo de materiales edáficos, representando estos últimos el 56% del total de la inversión. Los costos asociados con los trabajos de establecimiento de coberturas vegetales pioneras y tardías son muy competitivos en relación con los del sector agropecuario en cuanto a establecimiento y manejo de pastizales y cultivos. En conclusión, en cuanto a costos y resultados se refiere, este es un caso extraordinario y curioso de ecoeficiencia, diseñado y conducido por una operación minera.

Tabla 6. Costos unitarios de rehabilitación de tierras en Cerrejón, año 2010

ACTIVIDAD	VALOR UNITARIO	
	\$ US/ha	%
ADECUACIÓN DE TIERRAS		
Reconfiguración de terrenos	967	11.5
Roturación de superficies compactadas	140	1.7
Cargue y acarreo de materiales edáficos	4723	56.0
Esparcimiento de cargas, nivelación y bermas	759	9.0
Subtotal	6589	78.2
ESTABILIZACIÓN DE SUELOS		
Establecimiento de coberturas pioneras	630	7.5
Drenajes	712	8.4
Subtotal	1342	15.9
REVEGETACIÓN		
Plantación de árboles	379	4.5
Mantenimiento y protección de áreas	45	0.5
Monitoreo y proyectos de investigación	73	0.9
Subtotal	497	5.9
Total	8428	100.0

## MANEJO DE LAS TIERRAS REHABILITADAS EN EL CONTEXTO REGIONAL

El modelo de rehabilitación de tierras Cerrejón no concluye con la fase de revegetación. Su proyección va mucho más allá tanto en términos temporales como espaciales. En el contexto particular del centro-sur de La Guajira se presenta una oportunidad especial para sustraer territorios que venían siendo degradados aún antes de la minería e integrarlos a un esquema sostenible de gestión del paisaje regional, convirtiéndolos en áreas receptoras y preservadoras de la diversidad biológica.

El escenario futuro para las extensas áreas rehabilitadas debería ser el de su integración como corredores naturales que aseguren la conectividad entre los sistemas montañosos de la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía de Perijá, y a lo largo del valle del río Ranchería.

El desafío es grande si se tiene en cuenta que es imprescindible construir las condiciones sociales, culturales y económicas para alcanzar un modelo de gestión del territorio que optimice las relaciones entre la sociedad y la tierra.

El tiempo siempre está presente en todos los procesos, con él paulatinamente la arquitectura de los ecosistemas se modifica: tierra inerte que se convierte en tierra viva; suelo que no es y luego lo es; pastos y herbáceas que estabilizan suelos; leguminosas que crecen en parches y fortalecen a los pastos, que habilitan espacios para la llegada voluntaria o dirigida de otras especies; plantas leñosas que una vez establecidas se convierten en focos de producción y dispersión de semillas sobre espacios abiertos cubiertos por herbáceas, que tejen y arman un complejo mosaico de comunidades, asociaciones, estructuras, funciones y recursos para albergar una variada gama de comensales.

Después de un largo recorrido por los campos de la ciencia y la cultura general, de superar obstáculos de toda naturaleza, nada tan reconfortante que levantar la vista y reconocer con cierto asombro cómo en un tiempo tan corto, de solo veinte años, ha sido posible renovar la vida, allí en donde para muchas personas el solo pensarlo de por sí era un imposible.

Veinte años de un proceso continuo de rehabilitación de tierras, en el cual la experiencia aún no es suficiente como para lograr entender qué realmente pasó, y mucho menos sobre lo que sucederá de aquí en adelante ...

Innumerables son los eventos que transcurren en las tierras en rehabilitación de Cerrejón a través del tiempo, variable de compleja asimilación, pues cada instante puede hacer parte de un viaje al futuro o de una trayectoria de regreso.











# 6

## ESPECIES PROTAGONISTAS



## ESPECIES PROTAGONISTAS

Comunidad de herbáceas, grupo dominante durante los primeros estadios de la Sucesión



Las leguminosas imprecindibles para la fijación del nitrógeno en el suelo, elemento muy inestable en tierras secas tropicales



# ESPECIES PROTAGONISTAS DEL PROCESO DE REHABILITACIÓN DE TIERRAS

Los patrones de sucesión que se presentan en las comunidades vegetales no necesariamente son similares a los que exhiben los procesos de rehabilitación de tierras como el que se adelanta en Cerrejón.

La sucesión primaria comienza en lugares que nunca han alojado una comunidad, en tanto que un botadero de escombros representa una condición nueva, en un lugar que anteriormente fue ocupado por comunidades vegetales. El papel que juegan las primeras plantas a establecer en este caso es más de estabilización del medio, para permitir con esto el paso a estados más evolucionados, en tiempos relativamente cortos.

Cada estado de evolución requiere de plantas claves, no por su representatividad sino por el papel que desempeñan como proveedoras de recursos, según el orden o secuencia de relevo de las variables que conducen el proceso.

Este capítulo tiene por objeto reconocer la labor de aquellas especies que trabajando en condiciones extremas llegan, crecen, construyen un capital natural y luego se van, dejando un ambiente propicio para el establecimiento de nuevas generaciones de plantas, con nuevas funciones y roles por jugar.

La secuencia u orden de reconocimiento no significa que las primeras sean las más importantes, simplemente se han ordenado por secuencia o estados de evolución, comenzando por las fijadoras de carbono lábil, luego por las fijadoras de nitrógeno, las abonadoras biológicas y finalmente las acumuladoras de carbono recalcitrante, estas últimas representativas o recurrentes en estados maduros de la sucesión.

La elección o reconocimiento como especies claves, para este caso en particular, ha sido el resultado del trabajo ejecutado por las mismas especies. En un principio muchas fueron las convidadas pero muy pocas las que sobrevivieron y le dieron luz y continuidad al proceso.

Todavía hay muchas cosas por aprender, especialmente de la comunidad herbácea, grupo dominante durante los primeros estados de la sucesión. Se han detectado más de 100 especies de plantas herbáceas, eficientes en las funciones de proteger, fijar carbono y reciclar nutrientes, que no se relacionan en la lista por carecer de un nombre genérico que las identifique de manera confiable.

Las leguminosas constituyen la mayoría del grupo. En las tierras secas tropicales, el nitrógeno es un componente muy inestable, que fluye continuamente entre los compartimentos que conforman el ecosistema terrestre. Por esta razón, no es sorpresa encontrar en los inventarios de vegetación una amplia participación de este grupo vegetal. Finalmente, se ha incluido una corta lista de especies de interés para la conservación, por su rareza, importancia económica y por su amenaza de desaparición en el departamento de La Guajira.



## PASTO BUFFEL - *Cenchrus ciliaris*

### Características generales:

Pasto rizomatoso perenne, de tallos erectos y ascendentes de hasta 140 cm de altura. Sus hojas son planas, de 2–30 cm de largo por 2–5 mm de ancho, de color verde azulado. La panícula está formada por una espiga simple y cilíndrica. La cariósida mide de 2–3 mm, es oblonga y dorsalmente comprimida. Muy resistente a la sequía, no soporta sombrío ni encharcamiento.

### Distribución:

Originaria de África y Asia. Dispersa por todo el mundo en ambientes secos y extremadamente secos, en altitudes desde el nivel del mar hasta los 2000 m.

### Usos:

Planta forrajera de amplio uso en regiones secas, sola o en asociación con plantas leguminosas.



### Rol en la rehabilitación de tierras:

Planta herbácea pionera, introducida, de muy rápido crecimiento, muy eficiente en el uso del agua disponible. Una vez establecida tolera prolongados periodos de sequía. No tolera encharcamientos, excesos de humedad en el suelo ni el sombrío. Sin ser una planta de crecimiento postrado o decumbente, provee al suelo de una rápida cobertura protectora superficial debido a su gran capacidad reproductiva. Incorpora abundante materia orgánica al suelo a través de su sistema radicular. Muy importante para la formación y estabilización de los agregados en las primeros estados del proceso de reordenamiento del suelo, debido a la rápida descomposición y mineralización de sus tejidos.

## ESCOBILLA PLATEADA

*Wissadula zeylanica*

### Características generales:

Planta herbácea de la familia Malvaceae. De ciclo anual, muy prolífica como productora de semillas.

### Distribución:

Originaria del Neotrópico y el Paleotrópico. Planta común en Africa y Suramérica. Prospera en ambientes secos.

### Rol en la rehabilitación de tierras:

Planta pionera, de crecimiento erecto, voluntaria, procedente de la reserva de semillas contenida en los materiales edáficos utilizados para la restitución de suelos. De fácil germinación y crecimiento al comienzo de los periodos lluviosos, de ciclo anual, produce abundante hojarasca y semillas. Sirve de complemento como cobertura vegetal protectora durante los primeros estados de la sucesión vegetal y como reemplaza a las gramíneas bajo condiciones de sombrío. Muy eficiente en cuanto a recarga de carbono al suelo y reciclaje de nutrientes a través de la descomposición rápida de sus residuos, una vez completa su ciclo biológico.

## FRIJOLITO O PEGA PEGA- *Desmodium sp*

### Características generales:

Planta herbácea anual, voluble, con flores de racimo simple, vistosas, con frutos en forma de cinta que se pega.

### Distribución:

Ampliamente distribuida en el tropico americano.

### Rol en la rehabilitación de tierras:

Leguminosa voluntaria, de ciclo corto, procedente de la reserva de semillas del suelo. Se propaga e invade formando grandes parches o manchones en espacios con cobertura de pasto buffel, cuando esta exhibe deficiencias extremas de nitrógeno. Produce abundante semilla. Todos sus residuos son fácilmente descompuestos y mineralizados, favoreciendo con esto una rápida disponibilidad de nitrógeno en el suelo para estimular la recuperación y fijación de carbono por parte de las gramíneas.





## BEJUCO DE LECHE *Ipomoea carnea*

### Características generales:

Planta arbustiva de la familia Convolvulaceae, de crecimiento erecto y voluble. Tallo delgado, muy ramificado desde la base, sus ramas se expanden en sentido radial a partir del tallo. El fruto es una cápsula globosa, flores color lila claro, muy vistosas. Ciclo de vida corto, no más de tres años. Planta tóxica para el ganado, produce efectos alelopáticos.

### Distribución:

Se distribuye en América, desde la Argentina hasta los estados de Florida y Texas en los Estados Unidos. Se le encuentra en ambientes secos a campo abierto.

### Usos:

Tallos, frutos, hojas y semillas son utilizadas en medicina.

### Rol en la rehabilitación de tierras:

Planta pionera, voluntaria, procedente de la reserva de semillas del suelo. Produce y acumula abundante hojarasca alrededor del punto de emergencia del tallo sobre la superficie del suelo. Proveedor de hábitat fresco para fauna, especialmente para serpientes. Muy importante en cuanto a reciclaje de nutrientes y el incremento de la fertilidad en la superficie del suelo, especialmente en su área de influencia directa.



## PLATANITO

### *Desmanthus depressus*

#### Características generales:

Planta herbácea de la familia Mimosaceae, anual, decumbente o erecta, de hasta 50 cm de altura; glabra o escasamente pubescente; fuertemente ramificada desde la base. Tallos con ramas de hasta 60 cm de longitud, hojas bipinnadas, con 2-5 pares de pinnas, sin espinas. Frutos en legumbres dehiscentes, rectos o ligeramente curvos y cortos.

#### Distribución:

Desde Suramérica hasta los estados de Florida y Texas en los Estados Unidos. Muy frecuente en tierras secas y degradadas.

#### Usos:

Se le utiliza como planta forrajera.

#### Rol en la rehabilitación de tierras:

Planta pionera, voluntaria, fijadora de nitrógeno. Ofrece buena cobertura protectora en los primeros estados de desarrollo de la cobertura vegetal. Invade fácilmente terrenos desprovistos de vegetación, actúa como planta de relevo transitorio en la secuencia gramínea - leguminosa - gramínea. De ciclo anual, reaparece posteriormente cuando la cobertura de las gramíneas decrece.





## TRUPILLO - *Prosopis juliflora*

### Características generales:

Árbol espinoso de 2 a 12 m de altura, con un diámetro a la altura de pecho de hasta 40 cm; copa amplia de forma aparasolada. Ramificación basal o a mayor altura según exposición a la luz; tallos de corteza rugosa; ramas jóvenes con espinas; hojas alternas, bipinnadas y compuestas; follaje verde claro. Inflorescencias en racimo; frutos en legumbre; semillas aplanadas, oscuras, rodeadas de una pulpa dulce.

### Distribución:

Especie originaria de Centroamérica. Se ha propagado por África y Asia. Prospera bien en ambientes áridos y semiáridos.

### Usos:

Los frutos son utilizados como alimento, el follaje cortado o en el piso es consumible por ganados vacunos y caprinos. La madera es utilizable como leña y para la construcción de cercas.

### Rol en la rehabilitación de tierras:

Árbol pionero, voluntario, de fácil dispersión por herbívoros, fijador de nitrógeno, precursor de la cobertura arbórea. Invasor de espacios dominados por

plantas herbáceas, especialmente cuando estas se encuentran afectadas por baja disponibilidad de nitrógeno en el suelo. Constructor de ambientes aptos para la colonización por otras plantas vasculares. Cumple funciones importantes como albergue y alimento para fauna, tutoría de otra especies herbáceas y leñosas que crecen a su sombra, constituyendo parches de gran valor y utilidad en cuanto a multiplicación y dispersión de semillas. Sus hojas son de rápida descomposición y mineralización, en tanto que sus restos leñosos son de mayor permanencia sobre la superficie del suelo, favoreciendo con esto la retención de hojarasca y la protección superficial del suelo.





## AROMO *Vachellia farnesiana*

### Características generales:

Árbol espinoso de 3 a 5 m de altura, con ramificación basal. Tronco de corteza oscura y ramaje en zig zag. Hojas bipinnadas, con dos espinas blancas y rectas de 2 – 3 de longitud en la base de las mismas. Flores en glomérulos axilares, de color amarillo, fragantes. El fruto es una legumbre indehiscente, cilíndrica o curvada, de color pardo oscuro.

### Distribución:

Especie originaria de América Tropical. Naturalizada en todo el mundo tropical y en el Mediterráneo.

### Usos:

Los frutos son consumidos por vacunos y caprinos. Las flores, hojas y frutos son utilizados en diferentes presentaciones para fines medicinales

### Rol en la rehabilitación de tierras:

Árbol pionero, voluntario, fijador de nitrógeno, invasor de medios dominados por plantas herbáceas. Buen aportante de materiales leñoso. Cumple funciones muy similares a las de *P. juliflora*. Sus hojas son menudas y cuando caen son fácilmente removidas de la superficie por la escorrentía, por lo cual es recomendable, en ocasiones, adelantar podas parciales para incrementar la presencia de residuos leñosos en la superficie del suelo.





### ESPINITO COLORADO - *Mimosa arenosa*

#### Características generales:

Árbol no mayor a 10 m de altura. Las hojas son bipinnadas con 4 a 15 pares de pinnas opuestas, con folíolos numerosos de color verde brillante. Las flores se agrupan en pequeñas cabezuelas axilares, tubulares y son de color verde claro. Se caracteriza por sus legumbres papirosas, que en artejos desprende sus semillas las cuales transporta el viento.

#### Distribución:

Originaria de América tropical. Se extiende desde el sur de México hasta Brasil. Muy frecuente en el matorral espinoso tropical.

#### Usos:

Alimento. La madera es útil como leña.

#### Rol en la rehabilitación de tierras:

Especie pionera, voluntaria, fijadora de nitrógeno, coloniza tanto suelos desnudos como áreas con cobertura herbácea. Planta perenne ciclo de vida medio, buen aportante de material leñoso sobre la superficie del suelo. Es una especie de carácter excluyente que limita el crecimiento de algunas especies a su alrededor, afectando con esto la diversificación o enriquecimiento vegetal. Sus folíolos son fácilmente transportables por la escorrentía. No es recomendable como protector de suelos en taludes o laderas, a menos de que se maneje con podas.



## YAGUARO - *Caesalpinia mollis*

### Características generales:

Especie caducifolia. Árbol de porte erecto, con una altura de hasta 15 m. Hojas bipinnadas de entre 20 y 30 cm, con 2 a 3 pinnas de 12 a 16 folíolos ovados por cada una. Inflorescencias de 10 a 15 cm de largo, con flores amarilla. El fruto es aplanado, de color café, contenido dentro de una vaina, con 2-5 semillas de 1 cm de longitud. Duramen de color café oscuro.

### Distribución:

Tiene una distribución discontinua, se le encuentra en Venezuela, Colombia y en la península de Yucatán, México. Crece muy bien en suelos calcáreos.

### Usos:

Los tallos se les utiliza como postes en cercas de potreros y como vigas de techo en construcciones rurales.

### Rol en la rehabilitación de tierras:

Árbol pionero, fijador de nitrógeno, voluntario o inducido, con un periodo de vida entre 15 y 20 años, aportante de residuos leñosos sobre la superficie del suelo. Ejerce el papel de tutor para otras especies maderables. Muy valioso como aportante precoz de residuos leñosos sobre la superficie del suelo, habilitando así el terreno para la colonización temprana de organismos solubilizadoras de celulosa y lignina.



## UVITO MACHO - *Cordia alba*

### Características generales:

Árbol caducifolio de hasta 25 m de altura, de copa muy pequeña, estrecha y abierta. De hojas simples, alternas, elípticas, de hasta 17 cm de largo, con un fuerte olor a ajo cuando se estrujan. Las flores son sésiles y se agrupan en panículas cortas, de color blanco-verdosas. Frutos en forma de nuececillas, de color café claro, dispuestos en racimos, con una semilla por fruto.

### Distribución:

Se extiende desde el norte de Venezuela y el oeste de los Andes en Ecuador, en la región costera, hasta México.

### Usos:

Es una especie maderable y de importancia artesanal, con la cual se hacen cajones, así mismo se utiliza la goma del fruto como pegante. Muy consumida por el ganado en pastoreo.

### Rol en la rehabilitación de tierras:

Especie arbórea pionera, voluntaria e inducida. Buena productora de hojarasca, de fácil dispersión de semillas por las aves que consumen el fruto. Provee abundante forraje para herbívoros durante la estación lluviosa. A pesar de no ser una planta fijadora de nitrógeno, tienen buena capacidad para invadir y desplazar a la cobertura herbácea. Importante como planta tutora de otras especies.





## CARANGANITO - *Senna atomaria*

### Características generales:

Especie caducifolia. Árbol de 6 a 12 m de altura, de copa extendida. Hojas compuestas, paripinnadas, con 4-6 folíolos de borde liso. Las flores se agrupan en inflorescencias terminales, pequeñas de color amarillo vistoso. Los frutos son vainas planas indehiscentes de 1cm de ancho por 22-35 cm de longitud.

### Distribución:

Originaria de América Tropical. Se extiende desde México hasta Colombia y Venezuela, incluyendo las Antillas. Frecuente en ambientes secos, abiertos. Habita en el matorral desértico tropical.

### Usos:

Planta forrajera, muy consumida por animales en pastoreo.

### Rol en la rehabilitación de tierras:

Especie arbórea pionera, voluntaria o inducida. Fijadora de nitrógeno. De rápido crecimiento y función como centro de producción y dispersión de semillas. Planta forrajera, buena productora de mulch cuando se defolia.



## BRASIL - *Haematoxylum brasiletto*

### Características generales:

Árbol no mayor de 7 metros de altura. Su corteza se-  
meja una trenza gigante y contiene un exudado rojizo.  
Sus hojas son compuestas, alternas y pinnadas. La inflo-  
rescencia es un racimo terminal que agrupa flores muy  
vistosas de color amarillo. El fruto es una legumbre de  
forma oblonga, de 2-6 cm de largo aproximadamente,  
de color café cuando madura.

### Distribución:

La distribución natural se extiende desde el suroeste de  
México por toda América Central hasta Colombia y Ve-  
nezuela, así como las Antillas. Frecuente en el matorral  
esposo tropical. Habita el matorral espinocoso tropical.

### Usos:

La planta fue objeto de explotación en el pasado recien-  
te y hoy se la persigue para aprovecharla como leña y  
carbón. Se encuentra amenazada. Contiene hematoxi-  
lina, sustancia usada como colorante (planta tintórea).

### Rol en la rehabilitación de tierras:

Árbol pionero, fijador de nitrógeno, inducido. De rápido  
crecimiento, precoz, uno de las primeras especies ar-  
bóreas en regenerarse de manera natural. Sus folíolos  
cuando caen se adhieren muy bien al suelo, protegien-  
do de esta manera al suelo contra la erosión. Especial  
para revegetalizar taludes.





## DIVIDIVI - *Caesalpinia coriaria*

### Características generales:

Árboles que alcanzan alturas de 5-7 m, y ocasionalmente hasta 12 m. Sin espinas. Copa de forma variable, a menudo con troncos múltiples, bifurcándose desde la base, produciendo una copa irregular, grande y extendida. Los tallos principales a menudo están torcidos. Hojas compuestas, bipinnadas, de 10-15 cm de longitud. Flores pequeñas, de color amarillo cremoso o verde pálido, dispuestas en racimos cortos. Frutos en vainas de 3-6 cm de longitud, en forma de "S", gruesos, carnosos, coriáceos de difícil abertura.

### Distribución:

La distribución natural se extiende desde el suroeste de México por toda América Central hasta Colombia y Venezuela, así como las Antillas.

### Usos:

La madera es muy resistente y duradera, además de producir leña y carbón de buena calidad. Se conocen varios usos medicinales para esta especie. En Colombia los indígenas Kankuamos utilizan el fruto para extraer tintes.

### Rol en la rehabilitación de tierras:

Planta fijadora de nitrógeno, inducida, funciona como nodriza par otras especies. Aporta material leñoso al suelo de lenta descomposición, útil como barrera física para la retención de hojarasca y protección superficial del suelo.



## GUAMACHO - *Pereskia guamacho*

### Características generales:

Árbol de la familia Cactaceae, de hasta 10 m de altura. Posee un tronco de color marrón grisáceo y espinas aceradas. Copa estrecha de unos 3 m de diámetro. Hojas simples, suculentas, alternas, ovado lanceoladas, de 3 a 9 cm de largo. Flores efímeras de color amarillo. Los frutos son globosos, sin espinas, de 2 cm de diámetro, comestibles, con numerosas semillas por fruto.

### Distribución:

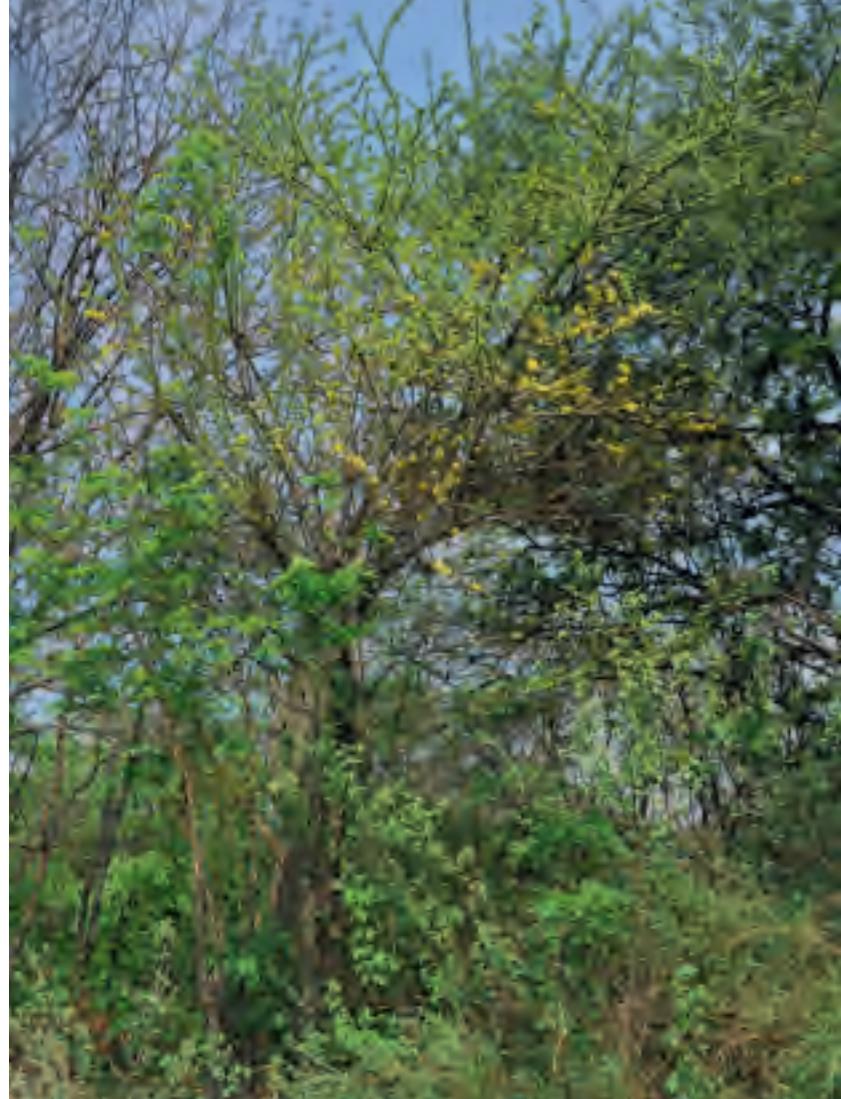
Planta originaria de Suramérica y Centroamérica, se le encuentra en las formaciones de monte espinosos tropical, desde México hasta Brasil.

### Usos:

Los frutos son comestibles, agridulces. El cocimiento de las hojas se utiliza en la medicina tradicional para disolver y expulsar los cálculos renales.

### Rol en la rehabilitación de tierras:

Importante como alimento para macrofauna.





## OLIVO - *Capparis* sp.

### Características generales:

Árbol perennifolio, alcanza los de 12 m, y hasta 40 cm de diámetro. De tronco erecto, con ramificación cerca de la base cuando crece a campo abierto. Copa amplia, muy frondosa, en forma de globo y algunas veces piramidal. Hojas coriáceas, simples, alternas, muy resistentes a la descomposición. Flores pequeñas y muy fragantes, dispuestas en inflorescencias terminales. Frutos alargados, de hasta 15 cm de longitud, de forma capsular, dehiscentes.

### Distribución:

Se le encuentra desde sur de México hasta Venezuela. En Colombia se le encuentra en el bosque seco tropical y en el monte espinoso tropical.

### Usos:

Planta ornamental, melífera, las semillas son muy consumidas por aves.

### Rol en la rehabilitación de tierras:

Especie representativa del bosque seco tropical y el monte espinosos tropical, muy importante como cobertura arbórea permanente, refugio de fauna avícola, insectos y proveedora de mulch protector del suelo.



## QUEBRACHO - *Astronium graveolens*

### Características generales:

Árbol caducifolio, de la familia Anacardiaceae, de hasta 15 metros de altura, de copa redonda. Su corteza es de color grisáceo y exfoliada. Presenta hojas compuestas, alternas, imparipinnadas, con folíolos simétricos opuestos y levemente aserrados. La planta presenta un exudado acuoso con olor a “mango biche”. La inflorescencia es una panícula axilar o terminal. Los frutos son drupas de 2 cm de largo, de color verdoso.

### Distribución:

Autóctona del trópico americano. Se distribuye desde México hasta Brasil Bolivia y Paraguay. Frecuente tanto en el bosque seco tropical como en el bosque húmedo tropical.

### Usos:

Presenta una madera excesivamente pesada que es utilizada en la confección de muebles y para hacer postes de cerca.

### Rol en la rehabilitación de tierras:

Especie invasora en terrenos desnudos, requiere de tutoría para desarrollarse bien en ambientes de alta competencia por herbáceas. Buen aportante de ramas secas a la superficie del suelo, que actúan como barreras físicas para la retención la hojarasca.





### *PUY - Tabebuia billbergii*

#### Características generales:

Árbol caducifolio de hasta 12 m de altura. Hojas membranáceas, compuesta de 3-5 folíolos, con márgenes enteros o ligeramente aserrados. Inflorescencias en racimos terminales que agrupan flores muy vistosas de color amarillo. El fruto es una cápsula lineal de hasta 19 cm de largo y 7 mm de ancho.

#### Distribución:

Se distribuye en el centro y sur del continente americano. Se le observa con frecuencia en el monte espinoso tropical.

#### Usos:

Por la gran dureza de su madera es muy apetecido como postes para cercas y en trabajos de ebanistería.

#### Rol en la rehabilitación de tierras:

Especie emblemática del Cerrejón. Produce semillas en abundancia, aporta abundante hojarasca a la superficie del suelo. Eficiente como retenedora de carbono debido a la muy lenta descomposición de su tejido leñoso, al interior del suelo y sobre la superficie.





## CORAZÓN FINO - *Platymiscium pinnatum*

Características generales:

Árbol de gran porte, de hasta 40 m de altura y diámetros de 1 m. De fuste recto, cilíndrico, sin ramas en los dos tercios basales. Copa redondeada, de follaje verde oscuro y denso, con ramas grandes y ascendentes. Corteza con fisuras alargadas. Hojas compuestas, opuestas e imparipinnadas, con 4 a 7 folíolos de 5-20 cm de largo, elípticos y de margen entero. Flores abundantes, de color miel. El fruto en vaina aplanada, de 5-12 cm de larga, alada y redondeada en el ápice.

Distribución:

Se distribuye desde México hasta el norte de Suramérica .

Usos:

Planta ornamental, su madera es muy apetecida para la construcción de cercas.

Rol en la rehabilitación de tierras:

Especie arbórea pionera, inducida. Fijadora de nitrógeno. Buena productora de semillas y de fácil regeneración natural. Produce bastante mulch. Es una de las especies más importantes del bosque seco tropical.



## GUAYACÁN DE BOLA – *Bulnesia arborea*

### Características generales:

Árboles de más de 15 m de altura; copa de forma redondeada, de follaje espeso. Hojas opuestas, pinnado-compuestas, sin foliolo terminal, con estípulas bien desarrolladas. Flores en cimas o inflorescencias de color amarillo intenso. El fruto es capsular con tres alas conspicuas. Especie muy importante del bosque seco tropical.

### Distribución:

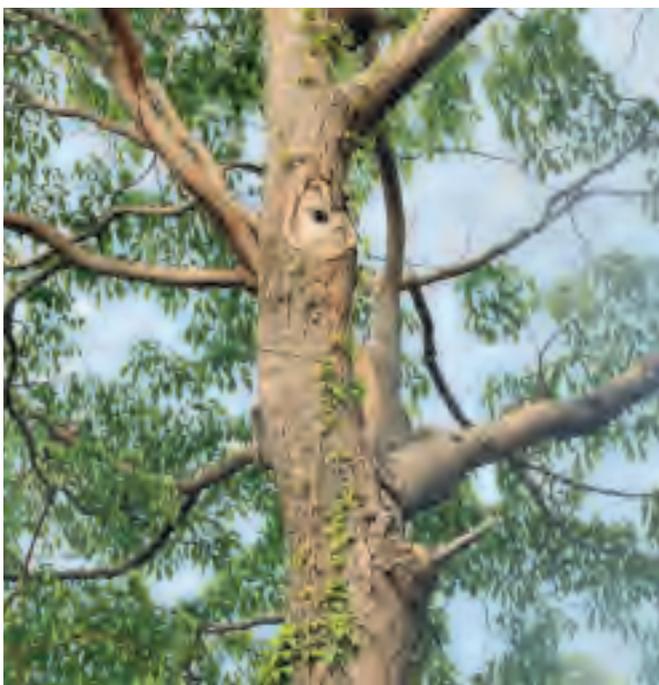
Norte de Suramérica y Centroamérica. Crece bien entre 0 y 600 metros sobre el nivel del mar.

### Usos:

Muy utilizado en construcciones civiles. Planta ornamental, sus folíolos desprendidos son apetecidos por el ganado caprino. El cocimiento de sus hojas se utiliza como diurético.

### Rol en la rehabilitación de tierras:

Planta colonizadora de áreas descubiertas. Es importante como retenedora de carbono por la durabilidad de su madera. Se encuentra amenazada.



## INDIO DESNUDO - *Bursera simaruba*

### Características generales:

Árbol resinoso, de hasta 35 m de altura, con un diámetro a la altura de pecho de hasta 1 m. Copa irregular y dispersa. Corteza lisa, rojiza, resinosa y se despega en jirones. Hojas compuestas, alternas, con 3 a 13 folíolos lanceolados u oblongos. Las flores se agrupan en panículas terminales de hasta 28 cm de largo. Los frutos son en cápsula con tres valvas de 4 a 9 mm de largo.

### Distribución:

Especie originaria de América tropical. Se distribuye desde México hasta el sur de Guyana.

### Usos:

Planta aromática, proveedora de resinas y aceites esenciales. Las hojas jóvenes y los frutos son alimento de primates y aves.

### Rol en la rehabilitación de tierras:

De fácil dispersión, ya se le encuentra en las áreas en rehabilitación sin haber sido reintroducidas. Es una planta típica del bosque seco tropical. Referente en cuanto a evolución de los nuevos bosques en construcción. Se le considera como planta indicadora para los estados maduros dentro del proceso de sucesión vegetal que se desarrolla en las áreas en rehabilitación.



## ÉBANO - *Caesalpinia ebano*

### Características generales:

Árboles de más de 15 m de altura; copa de forma redondeada, de follaje espeso. De madera muy dura, con una densidad de 1.9 g/cm<sup>3</sup>. De corteza muy lisa y con capacidad de realizar fotosíntesis. Flores pequeñas dispuestas en racimos axilares, de color amarillo. Hojas compuestas alternas, bipinnadas y paripinnadas, con folíolos de tamaño pequeño. El fruto es una legumbre indehiscente de 6-8 cm de largo.

### Distribución:

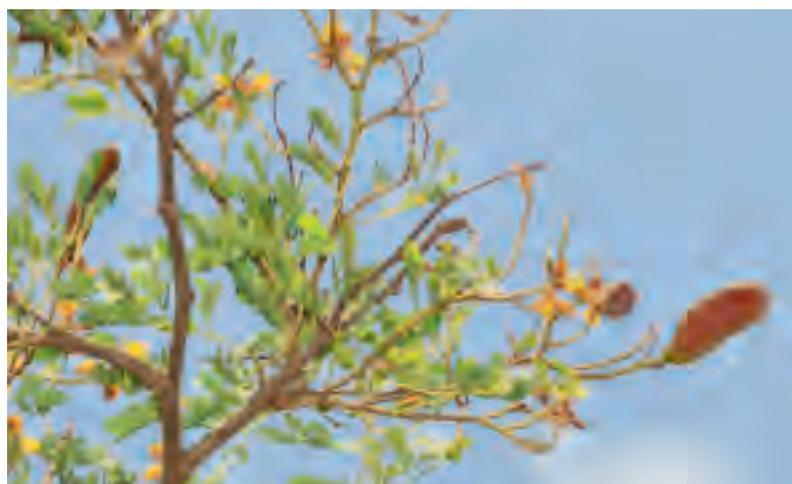
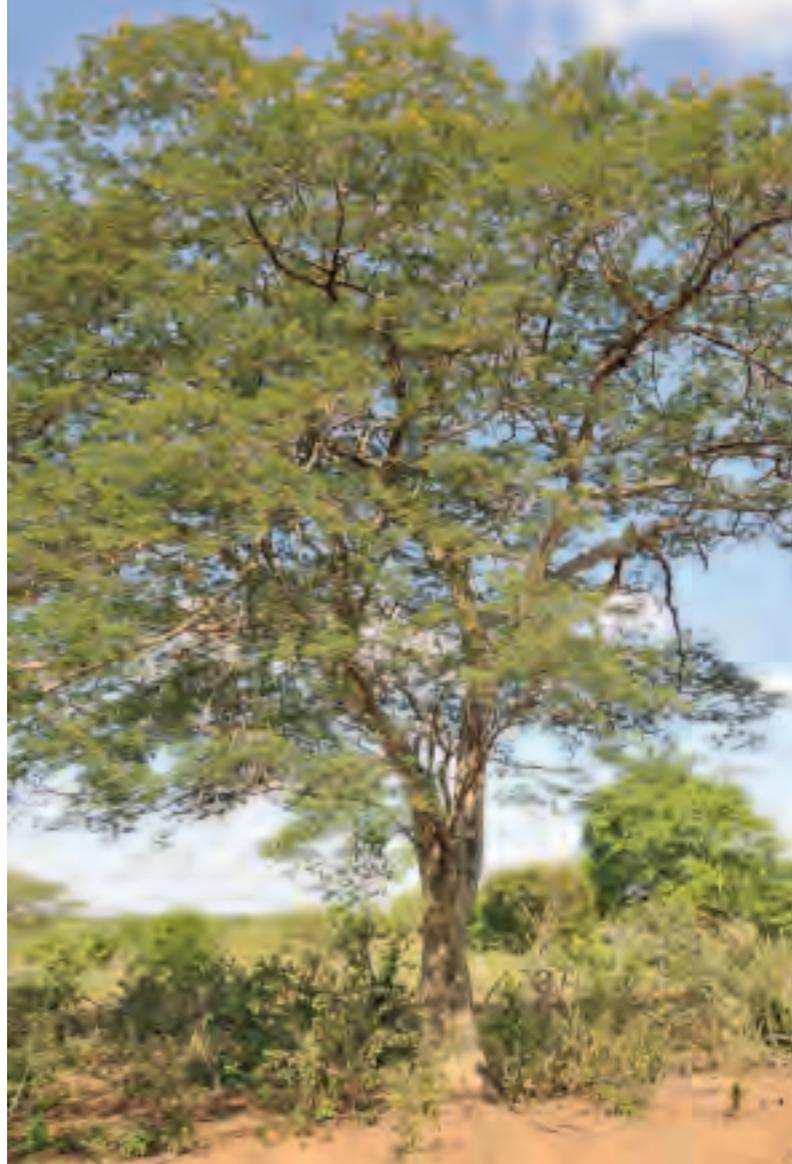
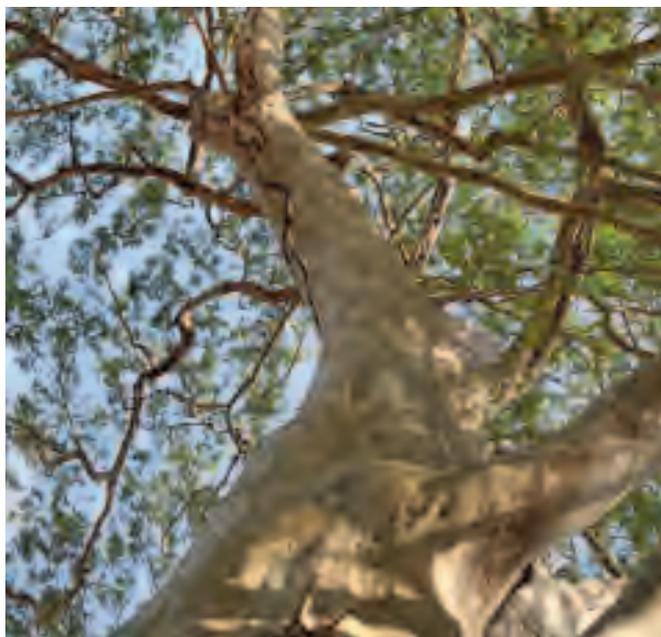
Especie endémica del Caribe Colombiano, con mayor presencia en los departamentos de Magdalena y La Guajira.

### Usos:

Fue muy utilizada para la construcción de los mástiles de las embarcaciones españolas. Práctica que arrasó con los materiales genéticos de mejores características estructurales.

### Rol en la rehabilitación de tierras:

Especie amenazada, fijadora de nitrógeno, retenedora de carbono debido a la muy lenta degradación de su tejido leñoso. Es otra de las plantas emblemáticas de Cerrejón, seleccionada para poblar los bosques en restitución.



## PUY SERRANO – *Tabebuia impetiginosa*

### Características generales:

Árbol de la familia Bignoniaceae, caducifolio, de buen porte, puede alcanzar alturas de 30 m y diámetros de 1 m. Copa simiglobosa, con el follaje concentrado en su parte más alta. Hojas opuestas y pecioladas, con generalmente cinco folíolos, ligeramente aserrados, de forma elíptica lanceolada. Las flores son grandes y agrupadas, de forma tubular, la corola es de color morado. El fruto es una cápsula cilíndrica y estrecha, dehiscente, que contiene numerosas semillas aladas.

### Distribución:

Nativo de América, se distribuye desde México hasta Argentina. En la guajira florece y fructifica solo en los años en que la precipitación se extiende hasta el mes de diciembre.

### Usos:

La madera es muy resistente a la descomposición. Esta especie ha sido altamente aprovechada en la región.

### Rol en la rehabilitación de tierras:

Planta retenedora de carbono.





## ACEITUNO

*Lonchocarpus atropurpureus*

### Características generales:

Árbol de la familia Fabaceae, caducifolio, de buen porte, puede alcanzar alturas de 30 m y diámetros de 1 m. Copa simiglobosa, con el follaje concentrado en su parte más alta. Hojas opuestas y pecioladas, con generalmente cinco folíolos, ligeramente aserrados, de forma elíptica lanceolada. Las flores son grandes y agrupadas, de forma tubular, la corola es de color morado. El fruto es una cápsula cilíndrica y estrecha, dehiscente, que contiene numerosas semillas aladas.

### Distribución:

Nativo de América, se distribuye desde México hasta Argentina. En la guajira florece y fructifica solo en los años en que la precipitación se extiende hasta el mes de diciembre.

### Usos:

La madera es muy resistente a la descomposición. Esta especie ha sido muy utilizada en la región.

### Rol en la rehabilitación de tierras:

Planta retenedora de carbono.



## OLIVO PRIETO - *Morisonia americana*

### Características generales:

Árbol de la familia Capparaceae, caducifolio, de buen porte, puede alcanzar alturas de 30 m y diámetros de 1 m. Copa simiglobosa, con el follaje concentrado en su parte más alta. Hojas opuestas y pecioladas, con generalmente cinco folíolos, ligeramente aserrados, de forma elíptica lanceolada. Las flores son grandes y agrupadas, de forma tubular, la corola es de color morado. El fruto es una cápsula cilíndrica y estrecha, dehiscente, que contiene numerosas semillas aladas.

### Distribución:

Nativo de América, se distribuye desde México hasta Argentina. En la guajira florece y fructifica solo en los años en que la precipitación se extiende hasta el mes de diciembre.

### Usos:

La madera es muy resistente a la descomposición. Esta especie ha sido de amplia utilización en la región.

### Rol en la rehabilitación de tierras:

Planta retenedora de carbono.



## FAMILIA BALANOPHORACEAE

### Características generales:

Planta parasita de raíces, talamo engrosado en figura de hongo, sin clorofila, de color asalmonado, a ligeramente rosado. Brácteas de las flores color café, el haustorio inconspicuo, pegado a las raíces de plantas superiores no identificadas en el momento de la colecta. En bosque seco tropical, con presencia de corioto (*Pithecellobium roseum*), quebracho (*Astronium graveolens*), guayacán de bola (*Bulnesia arborea*), corazón fino (*Platymiscium pinnatum*), platino (*Croton niveus*) e indio desnudo (*Bursera simaruba*), con abundante agave (*Agave cocuy*).

### Localización:

Primer registro de la familia Balanophoraceae para el departamento de La Guajira en Cerrejón, cerro Potreritos, 250-300 m de altitud sobre el nivel del mar. Diciembre 11 de 2009, estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta, parte central del Cerrejón, zona de la ladera del flanco oriental entre Cuestecita y Hato Nuevo, en zona natural de bosque seco tropical, parte superior de la ladera.











7

MONITOREO

Desarrollo de la  
vegetación a los  
19 años



Desarrollo de la  
vegetación a los  
3 años



Desarrollo de la  
vegetación entre  
1 y 2 años



# MONITOREO

La renovación o rehabilitación de un territorio físico crea la necesidad de diseñar la mejor trayectoria posible que asegure una reconstrucción efectiva y perdurable.

De igual manera, para medir la efectividad del proceso se requiere de instrumentos adecuados de medición, calificación, comparación y de parámetros de referencia válidos, claros e ilustrativos. Así se facilitará el trabajo de quienes más adelante han de emitir los conceptos finales sobre el reconocimiento o rechazo de una determinada área como efectivamente rehabilitada.

Así como se pueden identificar las variables de conducción que gobiernan los procesos de degradación o de reconstrucción de los ecosistemas terrestres (ver capítulo 4), también es posible identificar las variables o parámetros más adecuados para estructurar los programas de monitoreo y su aplicación en procesos de rehabilitación de tierras tales como el que se adelanta en Cerrejón.

Para un ecosistema en rehabilitación podrían darse tantos parámetros posibles de medición como componentes y organismos contenga, y cada uno de ellos podría ser considerado como un indicador. De otra parte, debe tenerse en cuenta que la rehabilitación de un ecosistema no es un proceso lineal. Un mismo parámetro o indicador puede presentar tasas de cambio diferentes en sitios muy cercanos en razón a la alta variabilidad espacial de sus condiciones y atributos. Y a ello se suma la alta variabilidad temporal, en virtud que los sistemas en rehabilitación precisamente están cambiando continuamente, pasando de estados de alto grado de desorden o fragmentación a estados de mayor organización y conectividad entre sus componentes.

En cualquier circunstancia deben primar la simplicidad y el buen criterio. Se requiere de conocimiento y experiencia para tomar buenas decisiones sobre qué medir, dónde, cómo y con qué frecuencia hacerlo, pero aún más importante, de una muy buena capacidad de interpretación y proyección en el tiempo de lo que fue, es y podría suceder.

Los programas de monitoreo no deben ser tan extensos, dispendiosos o costosos como los mismos tratamientos o procesos a evaluar. La calidad o estado de salud de un territorio en rehabilitación es algo que se ve y se palpa, pero que también se puede representar en cifras o escalas de valoración.

*El mejor programa de monitoreo no es el más complejo en intensidad y extensión, ni el que cumple con todos los protocolos sugeridos o establecidos, sino aquel que le permite a los usuarios, de una manera práctica y sencilla, interpretar qué es lo importante, qué está pasando y hacia dónde hay que transitar.*



## EL PROGRAMA DE MONITOREO DE CERREJÓN EN LAS TIERRAS BAJO REHABILITACIÓN

El programa de monitoreo que adelanta Cerrejón, relacionado con la rehabilitación de las tierras intervenidas por la minería, cubre todas sus fases o etapas, incluyendo las operaciones de pre minería.

Para su ejecución se han desarrollado tres agendas de monitoreo, cada una de ellas relacionada con los aspectos más relevantes para cada fase o etapa.

La primera agenda está más orientada hacia las operaciones de gestión ambiental. Se adelanta con una frecuencia mensual y comprende principalmente observaciones de campo, mapeo, evaluación y calificación de operaciones ejecutadas, registros y consolidación de datos relacionados con el manejo de las variables espacio, energía y suelo. En ella se genera información sobre intervención de nuevas áreas (deforestación), operaciones de adecuación de tierras, manejo de suelos, establecimiento de coberturas herbáceas y revegetación o repoblamiento vegetal.

De esta manera, mes a mes se puede contar con una información actualizada sobre el total del área intervenida por las operaciones de minería y de soporte. Esto incluye áreas en proceso de rehabilitación y áreas activas o pasivos de territorio por rehabilitar o compensar. Así como también, disponibilidad de materiales edáficos para la rehabilitación, consumo de energía, costos del proceso y provisión de recursos financieros para asegurar su desarrollo, de manera contemporánea con la minería y más allá, después del cierre de operaciones. Esta información es compartida con todos los grupos internos y externos interesados en el proceso.

Todos los lotes o predios intervenidos o en proceso de rehabilitación son codificados y registrados en una base de datos. Esta base contiene información de utilidad en cuanto a identidad de lotes, localización, relieve, altitud, extensión, uso minero de la tierra, uso y cobertura vegetal anterior, operaciones y acciones de rehabilitación ejecutadas. Cada nuevo lote deforestado es registrado como una unidad territorial o celda, y entra a engrosar el indicador de área total intervenida.

Por su parte, cada lote nuevo incorporado al proceso de rehabilitación es sustraído del indicador de área activa para ser convertido luego en celda o unidad en tratamiento del gran mosaico de tierras en rehabilitación.

En forma paralela, los registros mensuales sobre movimientos de materiales edáficos son consignados en la contabilidad del Banco de Suelos. Esta información permite, en el momento en que se le requiera, presentar una visión clara en cuanto a volúmenes disponibles, su distribución geográfica, costos de preservación y costos de tratamiento o manejo, específicamente en lo que tiene que ver con el cambio en su connotación de material edáfico a nuevo suelo en las tierras en adecuación (ver capítulos 4 y 5).

La segunda y tercera agendas de monitoreo están relacionadas con la dinámica o evolución de las



Actividades de adecuación de relieves y depósito de materiales edáficos





Relieves conformados con materiales edáficos adecuados para el inicio de la siembra tierras en rehabilitación, desde el momento en que estas cuentan con un suelo en la superficie, habilitado como medio o escenario para el desarrollo de las sucesiones hídricas, biológicas y de edafogénesis, hasta que se completa el proceso y se obtiene la certificación de áreas efectivamente rehabilitadas. En estos casos se evalúan indicadores de resultados, los cuales a su vez se subdividen en indicadores estructurales, funcionales y de calidad o niveles de organización.

En ambos casos se utilizan métodos cualitativos y cuantitativos e híbridos o métodos combinados. Estos indicadores difieren en importancia de acuerdo a la edad, grado y estados de evolución del proceso, lo cual significa que están estrechamente relacionados con los segmentos restantes del ADN de la rehabilitación, es decir, con las variables de conducción que gobiernan el proceso una vez el suelo ha sido extendido, tales como: agua – carbono – nitrógeno y fósforo/ potasio (ver capítulos 4 y 5). En este sentido, estas dos agendas comparten muchos de sus atributos o indicadores, aunque persigan objetivos diferentes.

La segunda agenda es de carácter sistemático, con muestreos o evaluaciones cada tres años, en parcelas permanentes previamente seleccionadas, con el objetivo de construir las curvas o patrones de crecimiento cuyos valores medios puedan servir posteriormente como referentes para futuros ejercicios de evaluación o comparación. Para este caso, es necesario contar en primera instancia con lotes o terrenos en rehabilitación con diferentes estados de sucesión o desarrollo de las coberturas vegetales y por lo menos con un predio no intervenido por la minería, con cobertura arbórea densa y de porte alto, para utilizarlo como control o testigo local.

En Cerrejón, el desarrollo de esta agenda ha sido más de tipo experimental. Con base en una preselección inicial de las parcelas modales, trabajo realizado en el 2009, se han venido adelantando nuevas observaciones



de campo para confirmar o reemplazar algunas parcelas irregulares y conformar el conjunto definitivo de unidades de evaluación. Tales unidades se distribuyen en los predios Manantial, Caracolí y Palmarito, que en su orden corresponden a los antiguos botaderos Norte, Sur y al retrollenado del tajo Oeste Expandido, localidad que contiene, en 2011, la mayor proporción de tierras en rehabilitación.

De esta manera se cuenta con 24 parcelas de monitoreo permanente bajo vegetación arbórea, agrupadas así: 9 de alta, 6 de media y 9 de baja densidad respectivamente, para evaluar en lo sucesivo, a intervalos de tres años. Las áreas correspondientes a los primeros estados de la sucesión vegetal se han venido evaluando en mayores extensiones, a partir del año cero, o de ausencia de cobertura vegetal (ver capítulo 5). Esto se debe a que el enriquecimiento o colonización, dirigida o no, no es uniforme en todo el terreno. Esto por causa de la heterogeneidad y desorden que presentan los terrenos de reciente conformación, a diferencia de las tierras convencionales.

Los tamaños de las unidades experimentales son de 250 m<sup>2</sup> para las parcelas, 25 m<sup>2</sup> para los cuadrantes o subparcelas y de 1 m<sup>2</sup> para los subcuadrantes o unidades mínimas de muestreo. Para la evaluación de las variables relacionadas con los aspectos bióticos en las unidades experimentales se han considerado 24 parámetros o indicadores de primer orden o capa de evaluación, con sus respectivas escalas de correspondencia, tal como se ilustra en la tabla 7.

Tabla 7. Segunda agenda de monitoreo. Indicadores de primer nivel y escalas de calificación.

Indicador Evaluado			Escala de Calificación					
No.	Descripción	Rango	0	1	2	3	4	5
			Valores					
<b>Tipo de Cobertura Vegetal (%)</b>								
1	Arbórea	0 - 5	0	20	40	60	80	100
2	Arbórea baja	0 - 5	0	20	40	60	80	100
3	Herbácea	0 - 5	0	20	40	60	80	100
<b>Regeneración Natural de Árboles - Recurrencia</b>								
4	Latizales	0 - 5	Nula	Baja		Media		Alta
5	Brinzales	0 - 5	Nula	Baja		Media		Alta
<b>Actividad de Macroorganismos - Evidencias</b>								
6	Termitas	0 - 5	Nula	Poca		Media		Alta
7	Hormigas	0 - 5	Nula	Poca		Media		Alta
8	Lombrices	0 - 5	Nula	Poca		Media		Alta
<b>Residuos Vegetales en Superficie - Acumulación</b>								
9	Hojarasca	0 - 5	Nula	Poca		Media		Alta
10	Material leñoso	0 - 5	Nula	Poca		Media		Alta
<b>Presencia de Fauna - Evidencias</b>								
11	Aves	0 - 1	No	Si				
12	Roedores	0 - 1	No	Si				
13	Herpetos	0 - 1	No	Si				
14	Herbívoros	0 - 1	No	Si				
<b>Procesos de Degradación – Grado de Afectación (%)</b>								
15	Encharcamiento superficial	0 - 5	100	80	60	40	20	0

16	Erosión hídrica	0 – 5	25	20	15	10	5	0
17	Compactación superficial	0 – 5	25	20	15	10	5	0
18	Mancha salina superficial	0 – 5	25	20	15	10	5	0
19	Quemas	0 - 5	100	80	60	40	20	0
20	Pastoreo	0 – 5	25	20	15	10	5	0
Condiciones Especiales de Degradación – Evidencias								
21	Árboles muertos en pie	0 - 1	Si	No				
22	Árboles caídos	0 - 1	Si	No				
23	Plagas	0 - 1	Si	No				
24	Enfermedades	0 - 1	Si	No				

Los primeros indicadores de la tabla corresponden a elementos estructurales y agentes de cambio de los bosques en formación, tales como tipos de coberturas vegetales presentes, evidencias de regeneración natural, actividad biológica, presencia de fauna y acumulación de residuos vegetales en la superficie del suelo. Los demás indicadores corresponden a criterios o aspectos relacionados con procesos de degradación ambiental, o de estado de salud de la tierra.

A manera de ejemplo en la tabla 8 se presentan los resultados parciales de las evaluaciones realizadas en el año 2010 en lotes en rehabilitación de la localidad de Caracolí.

Tabla 8. Valores promedios de indicadores de primer grado en parcelas con dominancia de cobertura arbórea en la localidad de Caracolí, año 2010.

Indicador Evaluado		Densidad de Cobertura Arbórea		
		Alta	Media	Baja
No.	Descripción	Valores promedios (Escala 0 – 5)		
<b>Tipo de Cobertura Vegetal</b>				
1	Arbórea	2.9	1.0	0.7
2	Arbórea baja	0.6	1.1	0.9
3	Herbácea	3.0	4.7	4.4
<b>Regeneración Natural de Árboles – Recurrencia</b>				
4	Latizales	0.7	0.0	0.2
5	Brinzales	0.8	0.5	0.5
<b>Actividad de Macroorganismos - Evidencias</b>				
6	Termitas	1.2	1.5	0.9
7	Hormigas	2.1	2.3	2.1
8	Lombrices	0.8	2.0	0.8
<b>Residuos Vegetales en Superficie - Acumulación</b>				
9	Hojarasca	2.6	4.1	3.0
10	Material leñoso	1.1	0.4	0.2
<b>Presencia de Fauna – Evidencias</b>				
11	Aves	1.5	2.5	2.0
12	Roedores	0.0	0.0	0.0
13	Herpetos	0.0	0.0	1.0



14	Herbívoros	4.0	2.5	5.0
Procesos de Degradación – Grado de afectación				
15	Encharcamiento superficial	4.1	4.7	4.9
16	Erosión hídrica	4.7	4.5	4.9
17	Compactación superficial	3.6	4.9	4.5
18	Mancha salina superficial	4.4	4.9	4.8
19	Quemas	5.0	5.0	5.0
20	Pastoreo	4.7	4.3	3.9
Condiciones Especiales de Degradación – Evidencias				
21	Árboles muertos en pie	5.0	5.0	5.0
22	Árboles caídos	5.0	5.0	5.0
23	Plagas	4.5	3.5	5.0
24	Enfermedades	4.5	5.0	5.0

Con el objeto de facilitar la interpretación de los datos, estos se presentan de manera secuencial, iniciando con los indicadores de evolución o sucesión, para luego concluir con aquellos que permitan identificar situaciones de riesgo o degradación. Se observa en general un efectivo reemplazo en cuanto a estratos de cobertura, especialmente entre los estratos arbóreo y herbáceo, en tanto que los arbustos representan un componente menor al interior de las comunidades vegetales.

Las evidencias recogidas sobre regeneración natural para este caso en particular son muy importantes, al igual que las de actividad biológica y acumulación de residuos vegetales. Estos valores, si bien son aún relativamente bajos, permiten inferir que los procesos de sucesión están en marcha y que en general las condiciones encontradas corresponden a las de bosques en formación, en estados juveniles. Esta última apreciación es corroborada por el bajo volumen de residuos leñosos encontrados sobre la superficie del suelo.

En cuanto a síntomas o aspectos de degradación, si bien no se evidencian situaciones críticas, se destaca entre otros la compactación superficial (costras) como el indicador de más cuidado, ya que puede llegar a limitar la infiltración de agua, incrementar la escorrentía, promover la erosión hídrica laminar y el ascenso capilar de sales a la superficie. Este caso es muy frecuente al comienzo del proceso, y más adelante bajo condiciones de cobertura arbórea densa, en áreas o parches con dominancia de especies arbóreas de con folíolos pequeños, livianos y de rápida descomposición, como en el caso del espinito colorado (*Mimosa arenosa*). Esta

Material vegetal sobre la superficie del suelo que constituye una capa protectora del suelo y materia prima el reciclaje de nutrientes en un estado avanzado de rehabilitación





La importancia de la fauna silvestre es hoy reconocida en programas comunitarios de participación-investigación para un eficiente manejo de los recursos naturales. El incremento gradual de su diversidad en el área en proceso de rehabilitación tiene un enorme valor ecológico para la productividad y la oferta de servicios ambientales de los ecosistemas, tales como: polinización, dispersión de semillas, descomposición de materia orgánica, control de plagas, entre otros.

segunda situación se puede prevenir, sin intervención o asistencia alguna, con un ligero replanteamiento en cuanto a las especies arbóreas a introducir o promover como precursoras de bosques.

De otra parte, también se determina mediante pruebas de campo la conductividad hidráulica del suelo, se toman muestras compuestas a diferentes profundidades para evaluar las variables físicas y químicas más sensibles, tales como textura, densidad aparente, pH, conductividad eléctrica, sodio intercambiable, carbono orgánico, fósforo y potasio. El nitrógeno se infiere por la presencia y participación de plantas fijadoras (leguminosas) en los diferentes estratos. La síntesis e interpretación de los primeros resultados obtenidos se presentan de manera parcial en el capítulo 5.

Adicionalmente se hacen evaluaciones complementarias, de segundo orden o capa, sobre la cobertura protectora de la superficie del suelo, composición botánica de las coberturas herbáceas y del mulch presente. En estos casos se utilizan métodos de ranqueo, ampliamente utilizados para la evaluación de pasturas tropicales (Haydock y Shaw, 1975.)





Panorámica con dominio de las leguminosas

La cobertura herbácea y los residuos vegetales (mulch) han sido ampliamente reseñados en la literatura universal como la principal defensa de los suelos contra la degradación ambiental, en ambientes semiáridos. Por esta razón, en Cerrejón se les ha prestado especial atención en cuanto a su presencia, acumulación, composición y caracterización.

Tal como se ilustra en la tabla 9, los tres componentes cambian de manera consistente con la evolución de la cobertura vegetal. En las dos localidades referidas, Caracolí y Palmarito, en la medida en que la densidad de cobertura arbórea se incrementa, disminuye la cobertura herbácea, siendo parcialmente remplazada en su función por el mulch. En este tipo de bosques jóvenes también se puede observar que en la medida en que se incrementa la densidad de la cobertura arbórea, también se incrementa la proporción de suelo desnudo, probablemente por la carencia de una cantidad suficiente de residuos leñosos sobre la superficie del suelo, tal

Indicador Evaluado		Densidad de Cobertura Arbórea		
		Alta	Media	Baja
No.	Descripción	Cobertura (%)		
Caracolí				
1	Cobertura herbácea	28.8	65.0	70.3
2	Mulch	48.5	26.2	19.0
3	Suelo desnudo	22.7	8.8	10.7
Palmarito				
1	Cobertura herbácea	43.3	54.8	54.7
2	Mulch	40.6	34.1	37.6
3	Suelo desnudo	16.1	11.1	7.7

Tabla 9. Coberturas de protección superficial del suelo en lotes en estados avanzados de rehabilitación.

que puedan retener localmente los residuos vegetales de menor masa.

La anterior apreciación se puede evidenciar en los valores obtenidos en cuanto a composición del mulch, tal como se reseña en la tabla 10.

Los valores consignados en la tabla 10 permiten explicar de una manera más clara cómo está constituido el mulch en estas condiciones. La marcada disminución de hojas de monocotiledóneas en los lotes de alta cobertura arbórea se puede interpretar de dos maneras: poca presencia por reducción de la comunidad aportante (desplazamiento por sombrero), o por una mineralización mas rápida de este material.

Tabla 10. Composición estructural del mulch en lotes en estados avanzados de rehabilitación.

Indicador		Densidad de la Cobertura Arbórea		
		Alta	Media	Baja
No.	Descripción	Composición del Mulch (%)		
<b>Caracolí</b>				
1	Hojas de dicotiledóneas	33.1	15.7	36.7
2	Hojas de monocotiledóneas	0.9	74.8	57.2
3	Tallos finos	56.8	8.7	6.0
4	Tallos gruesos	9.2	0.8	0.1
<b>Palmarito</b>				
1	Hojas de dicotiledóneas	28.0	29.9	30.0
2	Hojas de monocotiledóneas	25.7	26.3	60.9
3	Tallos finos	39.1	39.3	6.9
4	Tallos gruesos	7.2	4.5	2.3

De todas maneras, se observa en los lotes de alta densidad arbórea una proporción cercana al 10% de tallos gruesos en diferentes estados de descomposición, valores que de por sí son de importancia, especialmente en cuanto a protección superficial y a la creación de nuevas condiciones o sustratos para grupos de organismos muy especializados.



Acumulacion local de mulch en bosques con alta densidad arbórea



En cuanto a la composición botánica de las morfoespecies que conforman los estratos herbáceos (tabla 11), entre un total de 66 materiales vegetales detectados en las parcelas evaluadas, se encontró dominancia de unos pocos grupos, como es el caso de las malváceas o escobillas, plantas de carácter anual. Es importante reseñar que en estas condiciones el pasto Buffel (*C. ciliaris*) con el tiempo deja de ser la especie dominante, para ser relevado por otros materiales, situación que la libera de una posible estigmatización como especie plaga. El próximo paso es clasificar e identificar estos materiales, para luego conocer de manera más detallada, su rol como agentes movilizadores de nutrientes, desde las capas más profundas del suelo hacia la superficie del suelo.

La tercera y última agenda de monitoreo aun se encuentra en desarrollo. Si bien fue propuesta unos dos años antes de implementar la segunda agenda, depende de esta en cuanto a los valores de referencia para establecer las escalas de valoración. Difiere ligeramente de la anterior en las escalas de valoración, ya que no contiene el nivel cero (0) como punto de partida. De por sí se asume que en los procesos de evolución o renovación de la tierra ningún caso comienza de la carencia absoluta de atributos.

Hasta el presente en Cerrejón no se cuenta con una fórmula matemática que permita obtener un valor absoluto en cuanto a estado de salud de las tierras en rehabilitación. La razón es muy sencilla: en la medida en que avanza el proceso de rehabilitación, las variables de conducción le ceden el liderazgo o protagonismo a otras variables subordinadas, en todos sus estados fases o etapas, para más adelante retomar su posición. Es el caso de los componentes agua, carbono, y nitrógeno, en donde inicialmente la disponibilidad de agua limita la síntesis de carbono, y este la fijación de nitrógeno, pero más tarde el nitrógeno limita la síntesis de carbono, y este a su vez afecta la capacidad del suelo de aceptar y retener el agua.

Cobertura arbórea de 6 a 7 años que ya ha desplazado al pasto buffel



Tabla 11. Composición botánica de las coberturas herbáceas presentes en lotes en estados avanzados de rehabilitación.

Morfoespecie		Densidad de la Cobertura Arbórea		
		Alta	Media	Baja
No.	Grupo estructural	Composición Botánica (%)		
<b>Caracolí</b>				
4*	Gramíneas	-	75.6	27.0
5	- Ciperáceas	-	-	13.9
7	Malváceas	-	-	9.9
41		9.1	8.9	-
42		58.4	-	-
47		8.5	-	-
61	Convolvuláceas	-	-	-
64		-	-	-
65		-	-	12.8
71	Leguminosas	7.1	-	-
103	Misceláneo	-	-	14.6
<b>Palmarito</b>				
4*	Gramíneas	19.6	14.2	47.5
7	- Ciperáceas	-	-	-
21	Arbustos	4.3	-	-
22		-	-	-
41	Malváceas	4.3	16.5	-
42		29.1	21.0	-
61	Convolvuláceas	4.7	3.8	16.8
65		-	8.5	-
70		-	-	10.9
71	Leguminosas	13.7	12.6	7.3
81	Misceláneo	-	3.9	-
86		-	-	-
91		4.3	-	-

\* *Cenchrus ciliaris*

La tercera agenda de monitoreo también difiere de la segunda en cuanto a enfoque, utilidad, frecuencia e intensidad de muestreo. De un total de 20 indicadores inicialmente propuestos, se han seleccionado ocho de ellos para evaluar de manera aleatoria y en cualquier momento un lote en particular. Con estos parámetros y sus escalas de valores se construyen perfiles de salud o evolución para cada estado y edad de sucesión, en relación con su estructura vegetal, sustratos, fauna asociada, organismos asociados, conductividad hidráulica del suelo, riesgos y amenazas, estados de pérdidas y ganancias en el suelo y oferta de bienes y servicios ambientales.



Coberturas herbáceas dominantes durante los primeros estadios de la sucesión vegetal.



Al futuro, mediante el uso e interpretación de estos perfiles se podría confrontar el estado de un lote en particular e identificar aquellos parámetros que estén presentando valores deficitarios, con el objeto de definir las medidas de manejo más convenientes a implementar.

Tabla 12. Indicadores de calidad de tierras.

Infiltración de agua		
Nivel	Clase	Velocidad (cm/h)
5	Moderadamente rápida	3.1 – 6.0
4	Moderada	1.3 – 3.0
3	Moderadamente lenta	0.6 – 1.2
2	Lenta	0.3 – 0.5
1	Muy lenta	< 0.2
Costra superficial		
Nivel	Clase	Incidencia
5	Imperceptible	Nula
4	Muy escasa	< del 5 % del área
3	Escasa	5 a 10 % del área
2	Frecuente	10 a 20 % del área
1	Extensiva	> del 20 % del área

Salinización		
Nivel	Clase	Incremento de CE*
5	Imperceptible	< a 0.5 dS/m
4	Ligera	0.5 – 1.0 dS/m
3	Moderada	1.0 - 2.0 dS/m
2	Severa	2.0 – 4.0 dS/m
1	Muy severa	> de 4.0 dS/m

Carbono orgánico*		
Nivel	Clase	Presencia/cobertura
5	Alto	> 2
4	Medio a alto	1.6 – 2.0
3	Medio	1.2 – 1.6
2	Bajo	0.8 – 1.2
1	Muy bajo	< 0.8

\* En capas con relación a perfil de control

Organismos transformadores		
Nivel	Clase	Presencia/actividad
5	Muy frecuente	> del 50 % del área
4	Frecuente	30 a 50 % del área
3	Moderada	10 a 30 % del área
2	Escasa	5 a 10 % del área
1	Poco perceptible	< 5% del área
* En los primeros 8 cm		
Fertilidad*		
Nivel	Clase	Presencia/actividad
5	Alta	Sin limitantes
4	Media a alta	Bajo K
3	Media	Bajo P
2	Baja	Bajo K + P
1	Muy baja	Bajo K + P + Otros
* En la capa superficial (0 – 3 cm)		





## PERSPECTIVAS

Como se puede apreciar en este capítulo, Cerrejón ha estructurado un programa de monitoreo, acorde con el modelo de rehabilitación de tierras desarrollado (ver capítulos 4 y 5). De hecho el monitoreo se encuentra incorporado en las rutinas de trabajo en el campo y el escritorio.

Para efectos prácticos, en adelante, cualquier lote puede ser evaluado de manera rápida y práctica en unos pocos componentes (no hay que medirlo todo), y relacionarlo con valores pares contenidos en las curvas de control. De esta manera, todos los lotes registrados en la base de datos, paulatinamente pueden ser evaluados y agrupados, con el objeto de determinar el momento en que alcancen el estatus como áreas efectivamente rehabilitadas.

Este esquema de monitoreo es susceptible de ajuste y perfeccionamiento, e incluso de un modelamiento matemático. Además existe el interés de acoplarlo a un programa de investigación permanente que permita comprender mejor las dinámicas sucesionales en ecosistemas tropicales secos. De esta manera hacia futuro podrán no solo monitorearse sino estudiar al detalle las dinámicas ecológicas propias de este tipo de ambientes.

Así, a partir de los resultados del monitoreo, no solamente se procedería a la liberación de lotes rehabilitados, sino también a la integración de dichas áreas en el marco de programas regionales de manejo y conservación.

Como criterio general, el monitoreo y evaluación debe realizarse de acuerdo al tipo de ecosistema y al contexto socio-económico en el cual se adelantan los procesos de rehabilitación de tierras.

Ladera en rehabilitación con alta productividad de biomasa y estabilidad edáfica, riqueza biológica











# 8

## LECCIONES APRENDIDAS

LECCIONES APRENDIDAS



# HACIA LA REHABILITACIÓN DE TIERRAS ...UNA ESPERANZA ALCANZABLE

Son muchas las lecciones aprendidas durante las dos primeras décadas del programa de rehabilitación de tierras desarrollado en Cerrejón. El aprendizaje ha sido rico en aspectos técnicos asociados a la rehabilitación como tal, pero igualmente han sido valiosas las lecciones en los ámbitos operativo y de políticas corporativas.

En el ámbito técnico, se desarrolló un modelo validado sobre más de 2500 hectáreas trabajadas durante más de veinte años. Aún así, no puede ser considerado como un modelo terminado ni rígido, pues precisamente una de las lecciones fundamentales es la necesidad de monitorear y ajustar los diseños, métodos y prácticas en función de los cambios del contexto. Esto implica que si bien el modelo responde a unos principios y lineamientos, una estrategia, y unas etapas básicas, su aplicación debe ser necesariamente flexible y adaptativa.

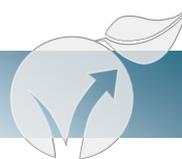
En materia operativa y administrativa, se aprendió sobre el cómo integrar las actividades propias de la rehabilitación en el marco de las operaciones de la minería. En la práctica, ello supone no solo el uso de los equipos y maquinaria sino también el apoyo del mismo personal de operaciones. Esta articulación ha mostrado sus virtudes en términos de costo – eficiencia y se convierte en sólido argumento para sustentar la conveniencia de integrar

desde el principio los programas ambientales al ciclo minero.

Algunas de las lecciones más significativas tienen que ver con actitudes, comportamientos y principios. En efecto, mucho se aprendió y se ha construido en términos de una ética corporativa. Tal como se planteó en el correspondiente capítulo de este libro, en materia de gestión ambiental Cerrejón apunta a hacer lo máximo posible y no lo mínimo requerido.

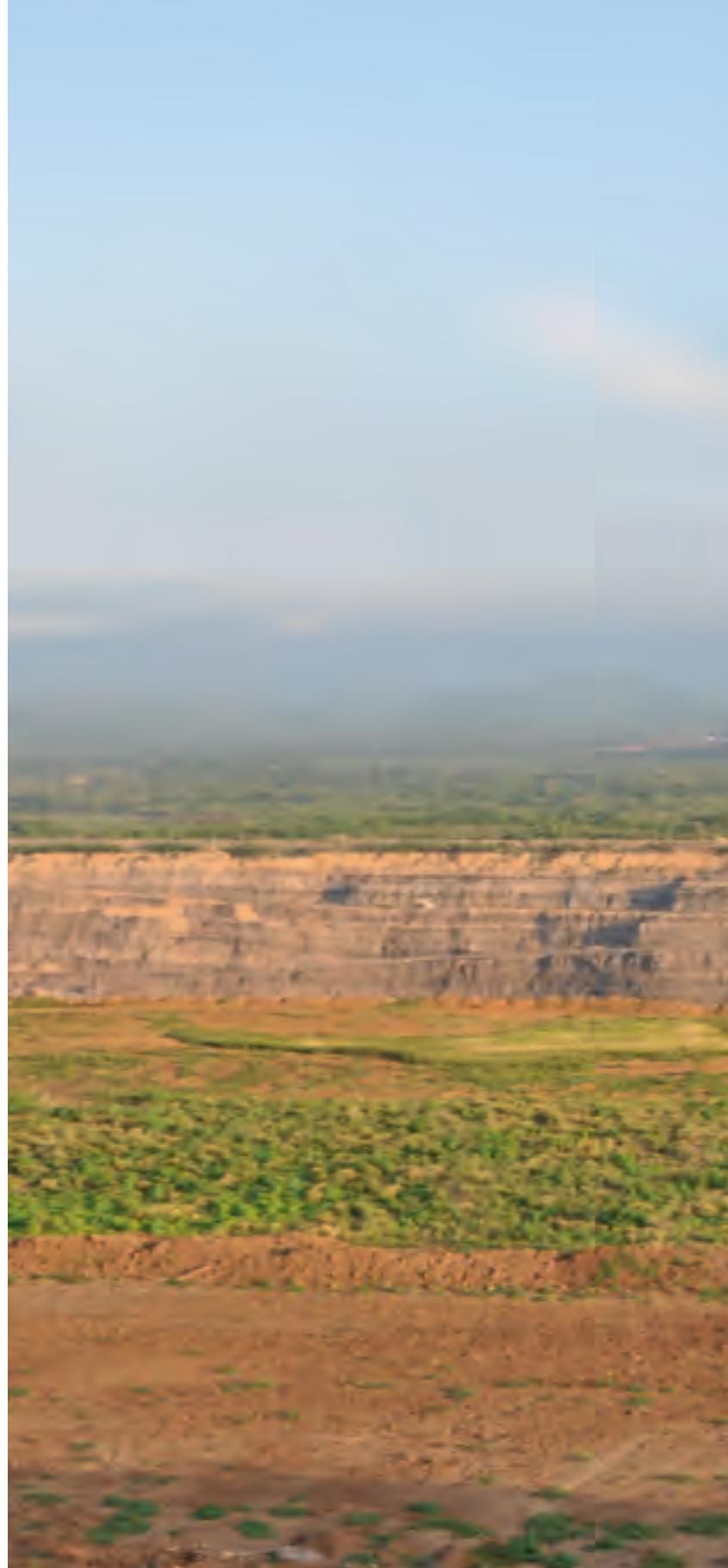
En dos décadas se han acumulado todo tipo de aprendizajes, basados tanto en éxitos como en fracasos. De hecho en los primeros años del programa de rehabilitación, en medio de ensayos y errores, se fue conformando y adaptando el actual modelo.

A lo largo de este libro se ha plasmado el empeño de dejar registro de las numerosas experiencias, específicas o generales, que fueron enriqueciendo el proceso. Desde lecciones referidas al comportamiento ecológico de una determinada especie vegetal hasta aprendizajes de orden filosófico que enriquecen la visión de una minería responsable con el medio ambiente. A continuación se destacan algunas de las lecciones aprendidas de mayor significancia, que pueden resultar de utilidad para otros programas de rehabilitación de tierras, en otros contextos.



La rehabilitación de tierras debe formar parte integral del ciclo minero.

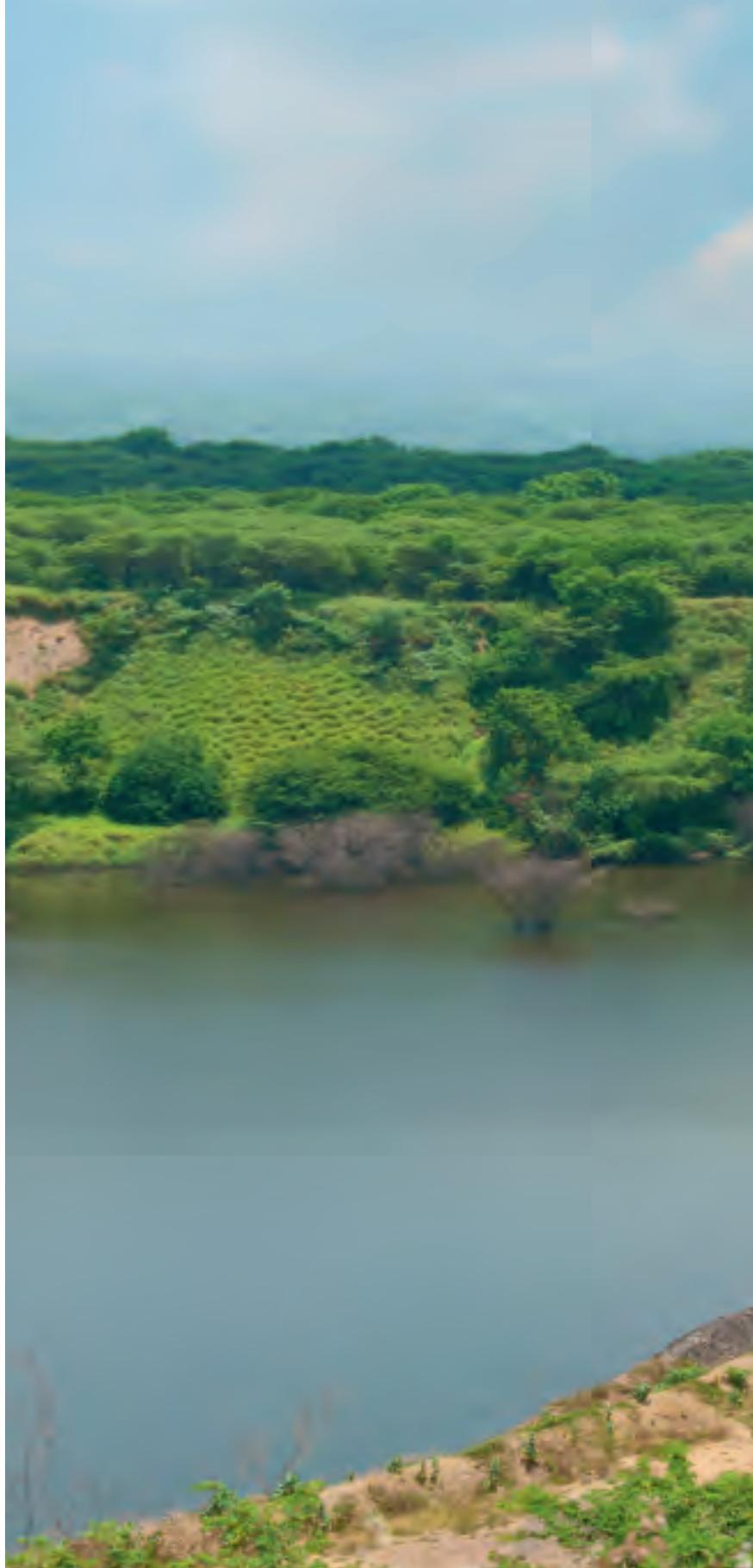
La gestión ambiental en general y, en particular, la rehabilitación de tierras no pueden ser consideradas como programas de importancia secundaria anexos al quehacer corporativo. En términos prácticos, la gestión ambiental se incorpora a la operación desde las primeras etapas de la planeación minera. En términos prácticos, la gestión ambiental se incorpora a la operación desde las primeras etapas de la planeación minera.. Actividades como la remoción, acarreo y la preservación de los valiosos materiales edáficos necesarios para rehabilitar terrenos liberados por la minería exigen de la misma capacidad operativa disponible para la extracción y acarreo del carbón. De esta forma, el negocio minero no solo cumple con sus responsabilidades ambientales sino que gana en eficiencia en términos de costos unitarios de rehabilitación, mitigación de impactos y manejo de pasivos ambientales.





Toda área degradada es rehabilitable.

En las condiciones de minería de Cerrejón, la experiencia y vivencias acumuladas demuestran que es posible transformar profundos tajos producidos por la minería a cielo abierto en áreas estructural y funcionalmente aptas para el establecimiento, sostenimiento y relevo de comunidades bióticas. Además, esta experiencia en La Guajira pone de manifiesto que las áreas rehabilitadas tienen el potencial de reconectarse a los ecosistemas regionales como proveedoras de bienes y servicios. Para lograr esto por supuesto se requiere de un profundo y continuo compromiso de la empresa minera, en coordinación con las autoridades y la comunidad ubicada en la zona de influencia de un determinado proyecto.





Es fundamental concatenar de forma sinérgica las variables que componen el “ADN” de la rehabilitación.

Espacio-Energía-Suelo-Agua-Carbono-Nitrógeno-Fósforo-Potasio son las variables fundamentales sobre las cuales opera el modelo de rehabilitación presentado en este libro. Según se explicó en el capítulo 4 (ver figura 5). Esto es válido para todo proceso de rehabilitación de tierras. En algunos casos, la cadena se puede acortar según el estado de degradación del terreno. Sin embargo, para el caso de la minería, se llega a la condición extrema, pues hasta el espacio en cierto momento ni siquiera existe. Es necesario empezar por reconfigurar un relieve y un perfil de paisaje. Lo que significa es que en este caso, todas las variables resultan determinantes en algún momento del proceso, pero que además, es indispensable respetar ese orden en cuanto al relacionamiento de los planes y acciones por ejecutar





La rentabilidad o eficiencia ambiental de la rehabilitación depende de la preservación del suelo (materiales edáficos).

El almacenamiento y manejo de materiales edáficos procedentes de las áreas intervenidas por la minería, es tal vez una de las acciones más importantes de todo el proceso. Se trata de una inversión alta en un principio, pero muy efectiva en cuanto a reducción de costos en el posterior establecimiento y mantenimiento de coberturas vegetales.





Es importante iniciar con gramíneas como estabilizadoras del suelo.

Una vez se ha cumplido con la reconfiguración del paisaje y la restitución de materiales edáficos (Etapa de adecuación de tierras), el uso de gramíneas demostró ser de enorme utilidad. Su papel es muy valioso en la protección superficial del suelo, fijación de carbono, incorporación de materia orgánica al suelo a través de sus raíces y el impulso del proceso de sucesión vegetal en la etapa inicial.





Las herbáceas pioneras son claves en el ciclaje de nutrientes y por su papel como abonadores biológicos.

Al mismo tiempo que las gramíneas cumplen su función como estabilizadoras del suelo y en la acumulación de carbono, la llegada de herbáceas espontáneas de diferentes familias botánicas cumple una función igualmente esencial. Ellas dinamizan el ciclaje de nutrientes y activan procesos biológicos en el suelo, además de hacer parte de la cobertura viva protectora del suelo.





Los árboles deben esperar.

La plantación de árboles en suelos que aún no han recobrado al menos parte de su estructura y función es una idea por reevaluar. El desarrollo de una cobertura arbórea requiere de suelos que ofrezcan condiciones mínimas tanto en términos físico-químicos como biológicos. De hecho, en Cerrejón, las experiencias tempranas de siembra de árboles mostraron que la supervivencia de ellos era muy baja y el costo en términos de subsidios muy alto.





Los procesos se acompañan, no se imponen a la fuerza...

Ecoeficiencia, un ejemplo sobre como construir una nueva agricultura, que contribuya a retener carbono y confrontar el cambio climático, con criterio...

Lavado de sales con tan solo los eventos de alta precipitación en una región seca...

No se requiere de contar con un centro sofisticado de investigación...para llegar a lo que se ha llegado, en un lugar tan lejos de la academia como lo es la Guajira....

El mundo reclama hoy soluciones reales, eficientes y efectivas, .... el conocimiento al servicio de la sociedad...







Y EL PROCESO DE APRENDIZAJE CONTINÚA ...

NATURALMENTE EL APRENDIZAJE EN TODO  
PROCESO DINÁMICO ES PERMANENTE Y NO PODÍA  
SERLO MENOS EN EL CASO DE CERREJÓN.



# AGRADECIMIENTOS

El programa corporativo de rehabilitación de las tierras intervenidas por la minería de carbón a cielo abierto en Cerrejón, está sustentado por un amplio transfondo humano, rico en aportes individuales y colectivos de personas que han contribuido por décadas, a convertir este proceso en una grata realidad.

Desde un principio se tuvo la firme convicción de que en Cerrejón, estaban dadas todas las condiciones en cuanto a talento humano y recursos para realizar la más genuina obra de reconstrucción del ecosistema intervenido.

Para que esto fuese posible, los primeros pasos se orientaron para generar un ambiente de trabajo apropiado con el fin de ensamblar el equipo humano más competente en estas lides. Estas tareas no representaron mayores dificultades, gracias a los pioneros del proceso, como Tom Yarnick, Álvaro Romero y Eduard Cujia (q.e.p.d), quienes desde el inicio de esta operación en 1984, entendieron que era importante preservar el recurso suelo para los trabajos futuros de rehabilitación de tierras, en los sitios que fueran liberando las operaciones mineras. Esta iniciativa fue reafirmada y continuó siendo apoyada por directivos como Howard Schulz, Peter von Moldovanyi, Mark Tressler y el doctor Hernán Martínez Torres, quien se desempeñaba como Presidente de la antigua Intercor, hoy Carbones del Cerrejón Limited,

Un reconocimiento especial merece el señor Ricardo Camacho, primer Superintendente de Ingeniería Ambiental de Cerrejón y sus colaboradores del equipo de rehabilitación de tierras: Carlos Julio Soto, Luis Alberto Cardona, Jairo Solano, Elpidio Arrieta, Joaquín Baquero, Julio Valdeblánquez Cristóbal Gutiérrez, Antonio Pelufo y Ezequiel Contreras entre otros, por su verdadero liderazgo y convencimiento de dejarle a La Guajira, unas tierras en una condición similar o mejor a las inicialmente encontradas cuando se inició el proceso de la minería.

Pero estas iniciativas no habrían sido posibles, sin la contribución decidida de los miembros del equipo de Producción que estuvo al frente de las primeras labores de recuperación física, almacenamiento de suelo y adecuación de tierras como: Joaquín Pelufo, Ricardo Gaviria, Luigi Salemi, Luis España, Guillermo Ramírez, Augusto Fernández, Miguel Gutiérrez y quienes aún se mantienen en el equipo de trabajo de Producción aportando ideas, sugerencias y voces de aliento como: Fernando Chávez quien también apoyó el proceso desde los inicios; Régulo de Lavallo, Jaime Deluque, Henry Rodríguez, Nasser Obando, Jaime Amarís, Oscar Londoño, Aquiles Sierra, Hugo Díaz, Lázaro Ordóñez y León Julio Moreno, entre otros.

También un reconocimiento y agradecimiento especial a todas las personas que integraron o aún integran los departamentos de Servicios Técnicos, Soporte a Operaciones, Seguridad Industrial, Mantenimiento, y Gestión



Ambiental, por sus esfuerzos y contribuciones para lograr ser reconocidos como una empresa que hace de la Minería Responsable una realidad, como Andrés Ruiz, Jaime Reyes, Jorge Alberto Velásquez, Gabriel Bustos, Lina Báez, Juan Carlos Consuegra, Alejandro Solano, Eloy Pinedo, Javier Blanco, Milciades Soto, Héctor Hincapié, Santiago Rosales, Jairo González, Germán Bastidas Juan José Tarazona, Rosalbina Sebá, Filiberto Mercado, Noel Sánchez, Polidoro Plata, Jorge Oñate, Misael Zúñiga, Miguel Zúñiga, Moisés Darío Brito, Saúl Ucrós, Huber Rosado, Donald Canchila, Carlos Reales, Luis Murgas, Eduardo Ordúz, Hernando Fortich, Jorge Escobar, Raúl Moscote, Darío Sarmiento, Daniel Dávila, Eduver Herrera y Luis Murgas. Un agradecimiento especial merece Abraham Korman, por su liderazgo y apoyo a un equipo que siempre sintió como de su propia familia.

De otra parte, también va este reconocimiento a la División de Comunicaciones de Cerrejón particularmente a Nancy Murgas, Martha Benavides, Orlando Lambuley y David Valencia y a su equipo de trabajo, quienes con su participación nos han permitido divulgar la gestión y esfuerzo de esta compañía sobre la gestión ambiental.

Deseamos participar de este logro y reconocer el liderazgo del Ministerio del Ambiente y de Desarrollo Sostenible en cabeza de su Ministro Frank Pearl; a Arcesio Romero Director General de Corpoguajira, y a Sandra Bessudo, Alta Consejera Presidencial para el Ambiente y Desarrollo Sostenible por su compromiso con la promoción de una gestión justa y equitativa acorde con los impactos generados por una actividad como la minera.

La producción y edición de esta obra ha sido parte fundamental del proceso, por ello nuestro reconocimiento especial al equipo de Conservación Internacional liderado por José Vicente Rodríguez Mahecha y Fabio Arjona Hincapié y sus colaboradores; Eduardo Guerrero, Alejandro Rodríguez Páez, César Ruiz Agudelo, María Claudia Díazgranados, Francisco Madriñán, César Barbosa y Andrés González, por su compromiso, creatividad y paciente contribución en la producción y divulgación de este testimonio sobre uno de los secretos mejor guardados de La Guajira: La Rehabilitación de las Tierras Intervenidas por la Minería en Cerrejón.

Finalmente nuestro sincero reconocimiento y agradecimiento especial por su apoyo incondicional no solo a las actividades de rehabilitación de tierras en Cerrejón sino a toda la gestión ambiental de esta compañía, al señor León Teicher, nuestro Presidente y al señor Luis Germán Meneses, nuestro Vicepresidente Ejecutivo de esta empresa siempre comprometida con el Medio Ambiente. Finalmente, muchas personas no mencionadas anteriormente, aportaron su granito de arena al proceso de rehabilitación, y por ello merecen nuestra eterna gratitud.

# BIBLIOGRAFÍA

ASAMBLEA DEPARTAMENTAL DE LA GUAJIRA. 2009. Plan de Desarrollo del Departamento de La Guajira 2008 - 2011. Ordenanza No. 274 de 2009. Riohacha (Guajira), 153 pp.

BARBOSA, C. 2009a. Análisis de la información secundaria sobre la flora de Cerrejón. Documento de trabajo. Conservación Internacional Colombia, Bogotá, 21 pp.

BARBOSA, C. 2009b. Monitoreo sobre el estado de la cobertura vegetal en las áreas en rehabilitación del complejo carbonífero Cerrejón. Convenio Cerrejón-Conservación Internacional. Informe final. 39 p.

BIOCOLOMBIA. 2000. Diseño de estrategias, mecanismos e instrumentos requeridos para la puesta en marcha del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia, Bogotá. 225 p.

BOGDAN A. V. 1997. Pastos tropicales y plantas de forraje. Primera edición en español. A. G. T. Editores S. A., México. 461 pp.

CARBOCOL – INTERCOR. 1977. Contrato de Asociación para Área B de El Cerrejón. Proyecto de Carbón. Bogotá, Colombia.

CASTAÑO-MORA, O. V. (editora). 2002. Libro rojo de reptiles de Colombia. Serie Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales - Universidad Nacional de Colombia y Ministerio del Medio Ambiente. Bogotá, Colombia.

CERREJÓN. 2007. Plan de Manejo Ambiental Unificado. Carbones del Cerrejón Limited.

CERREJÓN. 2009. Informe de Sostenibilidad 2008. Carbones del Cerrejón Limited. Centro de Información e Investigaciones División de comunicaciones Cerrejón. Bogotá, Colombia. 126 pp.

CERREJÓN. 2010. Informe de Sostenibilidad 2009. Carbones del Cerrejón Limited. División de Comunicaciones. Centro de Información e Investigación. Bogotá, Colombia. 124 pp.

CERREJÓN. 2011. Informe de Sostenibilidad 2010. Carbones del Cerrejón Limited. División de Comunicaciones. Centro de Información e Investigación. Bogotá, Colombia. 103 pp.

COPPIN N. J., BRADSHAW A. D. 1982. Quarry Reclamation. The establishment of Vegetation in Quarries and Open Pit Non-metal Mines. Mining Journal Books Ltd., London, England. 112 pp.



DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA - DANE 2009. Proyecciones nacionales y departamentales de población 2005 – 2020. Estudios postcensales 7. Bogotá, 300 pp.

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA - DANE. 2010. Colombia Estadística 2000 – 2009. 3 Tomos. Bogotá.

DEFLEER, T. 2003. Primates de Colombia. Conservacion International Colombia, Bogotá, 547 pp.

DOMÍNGUEZ Y. 2008. Comunidades de hormigas y movimientos de semillas en cinco estados sucesionales de rehabilitación ecológica en el complejo carbonífero del Cerrejón, La Guajira, Colombia. Tesis de Maestría en Biología. Universidad del Valle, Departamento de Biología. Cali, Colombia.

DOMÍNGUEZ-HAYDAR Y., ARMBRECHT I. 2011. Response of Ants and Their Seed Removal in Rehabilitation Areas and Forest at El Cerrejón Coal Mine in Colombia. *Restoration Ecology* 19, 178 – 184.

FUNDACIÓN HIDROBIOLÓGICA GEORGE DAHL. 2006. Monitoreo de Fauna 2005-2006. Presentado a Carbones del Cerrejón LLC. Informe de la Época de Lluvias Octubre-Diciembre de 2005. Barranquilla, Colombia. 428 p.

GALINDO, G., MARCELO, D., BERNAL, N.R., VERGARA L.K., Y BETANCOURTH, J.C. 2009. Planificación ecorregional para la conservación de la biodiversidad en el Caribe continental colombiano. Serie Planificación Ecorregional para la Conservación de la Biodiversidad, No.1. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Agencia Nacional de Hidrocarburos, The Nature Conservancy e Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá D.C. Colombia. 24 p.

GUALDRÓN R. 1997. El manejo de suelos en El Cerrejón Zona Norte. *Revista Suelos Ecuatoriales* 27: 53-57.

HAYDOCK K. P., SHAW N. H. 1975. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 15 (6): 663 – 670.

HERNÁNDEZ-CAMACHO J. I. 1992. Vulnerabilidad y estrategias para la conservación de algunos biomas de Colombia. Páginas C147- en G. Halffter, editor. La diversidad biológica de Iberoamérica I. *Acta Zoológica Mexicana*. Volumen Especial, México.

HERNÁNDEZ-CAMACHO, JORGE, ADRIANA HURTADO G., ROSARIO ORTIZ Q., THOMAS WALSCHBURGER. 1992. Unidades biogeográficas de Colombia. pp.: 105-151. En: *La Diversidad Biológica de Iberoamérica I*. G. Halffter, (ed). *Acta Zoológica Mexicana*, Instituto de Ecología, A.C., México, México.

- HOSSNER L. R. 1988. Reclamation of Surface-Mined Lands, Volumes I & II. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida.
- IDEAM, Instituto Humboldt, IGAC, IIAP, INVEMAR & Instituto Sinchi. 2007. Mapa de Ecosistemas Continentales, Costeros y Marinos de Colombia. Bogotá.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI IGAC. 1995. Suelos de Colombia. Subdirección Agrológica. Bogotá, Colombia, 632 pp.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI – IGAC & CORPOGUAJIRA. 2009. Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de La Guajira. Escala 1:1.000.000. Subdirección de Agrología. Bogotá, 492 pp.
- INSTITUTO HUMBOLDT. 2005. Listas rojas preliminares de plantas fanerógamas y briófitos de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Programa de Biología de la Conservación, en coordinación con: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Universidad Nacional de Colombia, Jardín Botánico de Medellín, Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, Conservación Internacional. Sitio web: [www.humboldt.org.co](http://www.humboldt.org.co).
- INTERCOR. 1983. Cerrejón Coal Project. Reclamation Plan for The Cerrejón Block B Mine Site Area.
- INTERCOR. 1992. Ambiente Norte. Cartilla Divulgativa. Superintendencia de Ingeniería Ambiental, 64 p.
- KIRK J. 1989. Western Surface Coal Mining. Society for Mining, Metallurgy and Exploration, INC. Littleton, Colorado. 152 p.
- MALAGÓN D. 2003. Ensayo sobre tipología de suelos colombianos -Énfasis en génesis y aspectos ambientales- Rev. Acad. Colomb. Cienc. 27(104): 319-341
- MARÍN L. 1992. Geomorfología y aspectos erosivos del litoral Caribe colombiano. Sector Castilletes – Riohacha. INGEOMINAS. Informe Técnico. Cali. 71p.
- MARIN R. 1992. Estadísticas sobre el recurso agua en Colombia. Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y adecuación de Tierras (HIMAT), Ministerio de Agricultura. Segunda Edición, Bogotá, 412 pp.
- MUNICIPIO DE ALBANIA. 2004. Plan de Gestión Ambiental del municipio de Albania – Guajira. Fundación Servimos. Albania, 109 pp.
- QUEZADA J. 2005. Estudio para el desarrollo de indicadores de punto final aplicado al proceso de rehabilitación de tierras del Cerrejón. Tesis de Grado. Universidad de La Guajira, Ingeniería Ambiental, Riohacha, Colombia.
- RENJIFO, L. M., A. M. FRANCO-MAYA, J. D. AMAYA-ESPINEL, G. H. KATTAN Y B. LÓPEZ-LANÚS (eds.). 2002. Libro rojo de aves de Colombia. Serie Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Ministerio del Medio Ambiente. Bogotá, Colombia.



REYNOLDS J. K., STAFFORD SMITH D. M., LAMBIN E. F., TURNER B. L., MORTIMORE M. BATTERBURY S. P. J., DOWNING T. E., DOWLATABADI H., FERNANDEZ R. J., HERRICK J. E., HUBER-SANNWALD E., JIANG H., LEEMANS R., LYNAM L., MAESTRE F. T., AYARZA M., WALKER B. (2007). Global Desertification: Building a Science for Dryland Development. *Science*, 316, 847-851.

RODRÍGUEZ-MAHECHA J. V., ALBERICO M., F., TRUJILLO F. & J. JORGENSON (Eds.). 2006. Libro Rojo de los Mamíferos de Colombia. Serie Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia. Conservación Internacional Colombia, Instituto de Ciencias Naturales – Universidad Nacional de Colombia, Ministerio del Medio Ambiente. Bogotá, Colombia. 384 pp.

RODRÍGUEZ L. N., BELEÑO J., VALERO N. 2010. Bacterias aisladas de microhábitats influenciados por la minería de carbón pueden solubilizar un carbón de bajo rango. *Memorias del Congreso Iberoamericano de Biotecnología y Biodiversidad*. Manizales, Colombia.

SALAS P., VALERO N., GÓMEZ L. C. 2009. Aislamiento y evaluación de hongos nativos con actividad biotransformadora de carbón de bajo rango generado en la mina El Cerrejón. *Memorias del VIII Congreso Nacional y III Internacional de Ciencia y Tecnología del Carbón y Combustibles Alternativos*. Bogota, Colombia, noviembre 12 – 15 de 2009.

SANTAMARÍA C., DOMÍNGUEZ-HAYDAR Y., ARMBRECHT I. 2009. Cambios en la distribución de nidos y abundancia de la hormiga *Ectatoma ruidum* (Roger 1861) en dos zonas de Colombia. *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle*, 10(2): 10-18. Cali, Colombia.

SÁNCHEZ P. A., SALINAS J. G. 2008. Suelos ácidos: estrategias para su manejo con bajos insumos en América tropical. *Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelos*. Bogotá. Colombia. 93p.

SIRAP Caribe. 2010. Portafolio de áreas prioritarias para la conservación del Caribe colombiano. Sistema Regional de Áreas Protegidas del Caribe Colombiano con el apoyo de The Nature Conservancy. Proyecto “Planificación Ecorregional para la Conservación de Áreas Protegidas y Conectividades en la Región del Caribe Colombiano”, Santa Marta, 32 pp.

VALERO N. 2009. Avances en el estudio de microorganismos nativos para la transformación de carbón de bajo rango para la producción de sustancias húmicas. *Memorias del VIII Congreso Nacional y III Internacional de Ciencia y Tecnología del Carbón y Combustibles Alternativos*. Bogotá, Colombia, noviembre 12 – 15 de 2009.

VÁSQUEZ V. & SERRANO M. 2009. Las áreas naturales protegidas de Colombia. *Conservación Internacional Colombia y Fundación Biocolombia*. Bogotá, 696 pp.

VILLEGAS B., 2010 *Colombia Parques Naturales*. Villegas Asociados S.A. Bogotá. 471 pp.

COPYRIGHT 2011 © CERREJÓN.  
TODOS LOS DERECHOS ESTÁN RESERVADOS, Y NINGUNA  
PARTE DE ESTE LIBRO PUEDE SER REPRODUCIDA SIN EL  
PERMISO EXPRESO DE LOS EDITORES.