

Equipo Directivo

Dr. Samuel Lanao Robles
Director General

Dra. Fanny Mejía Ramírez
Subdirectora de Autoridad Ambiental

Dr. Julio Vega Ramírez
Subdirector de Gestión ambiental

Equipo Técnico

Jaiker Gómez Sierra
Profesional Especializado

Eider José Gámez Frías
Profesional Especializado

Lianis Charry Molina
Profesional Universitario

Johana Acosta Maestre
Profesional Universitario

Victoria Caballero Romero
Analista

Melany Merlano Díaz
Analista

José Ayus Ricardo
Analista

TABLA DE CONTENIDO

1.	<u>PRESENTACIÓN GENERAL DEL PLAN</u>	3
2.	<u>SISTEMA DE MONITOREO AMBIENTAL</u>	4
3.	<u>METODOLOGÍAS DE MONITOREO</u>	6
4.	<u>OBJETIVOS</u>	15
5.	<u>ANTECEDENTES</u>	15
6.	<u>ANÁLISIS TÉCNICO DE LA ALTERNATIVA</u>	16
7.	<u>COSTOS ASOCIADOS AL PLAN DE MONITOREO</u>	19
8.	<u>SOSTENIBILIDAD DEL PLAN</u>	19
9.	<u>INDICADORES OBJETIVAMENTE VERIFICABLES (PRODUCTOS)</u>	20

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Sitios de muestreo de agua Sentencia T-614 de 2019.....	4
Tabla 2. Sitios de muestreo de calidad del aire Sentencia T-614 de 2019.....	5
Tabla 3. Ponderaciones para el caso de cinco variables para cálculo del ICA _{agua}	6
Tabla 4. Calificación de la calidad del agua según los valores que tome el ICA _{agua}	6
Tabla 5. Consideraciones de Clasificación y Nivel de Riesgo del Agua.....	7
Tabla 6. Niveles del Factor de Enriquecimiento (FE).....	8
Tabla 7. Características de los equipos de monitoreo de calidad del aire.....	9
Tabla 8. Descripción general del Índice de Calidad del Aire.....	9
Tabla 9. Sitios de monitoreo en cumplimiento a la Orden Sexta de la Sentencia T-614.....	16
Tabla 10. Resumen de los costos anuales del plan de monitoreo.....	19
Tabla 11. Costos anuales del plan de monitoreo para tres (3) años.....	20
Tabla 12. Productos e indicadores del Plan de monitoreo.....	20

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del Resguardo Indígena Provincial..	3
Figura 2. Ubicación de los sitios de monitoreo de agua..	4
Figura 3. Ubicación de sitios de monitoreo de calidad del aire..	5
Figura 4. Distribución típica de las partículas en la atmósfera.....	13
Figura 5. Fuentes de emisión de polvo en minería a cielo abierto..	14

PLAN DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA Y AIRE EN EL RESGUARDO INDÍGENA PROVINCIAL (SENTENCIA T-614 DE 2019)

1. PRESENTACIÓN GENERAL DEL PLAN

El Resguardo Indígena Provincial se encuentra ubicado en el departamento de La Guajira con su mayor parte de territorio en el municipio de Barrancas y con una pequeña porción en el municipio de Hatonuevo (Figura 1).

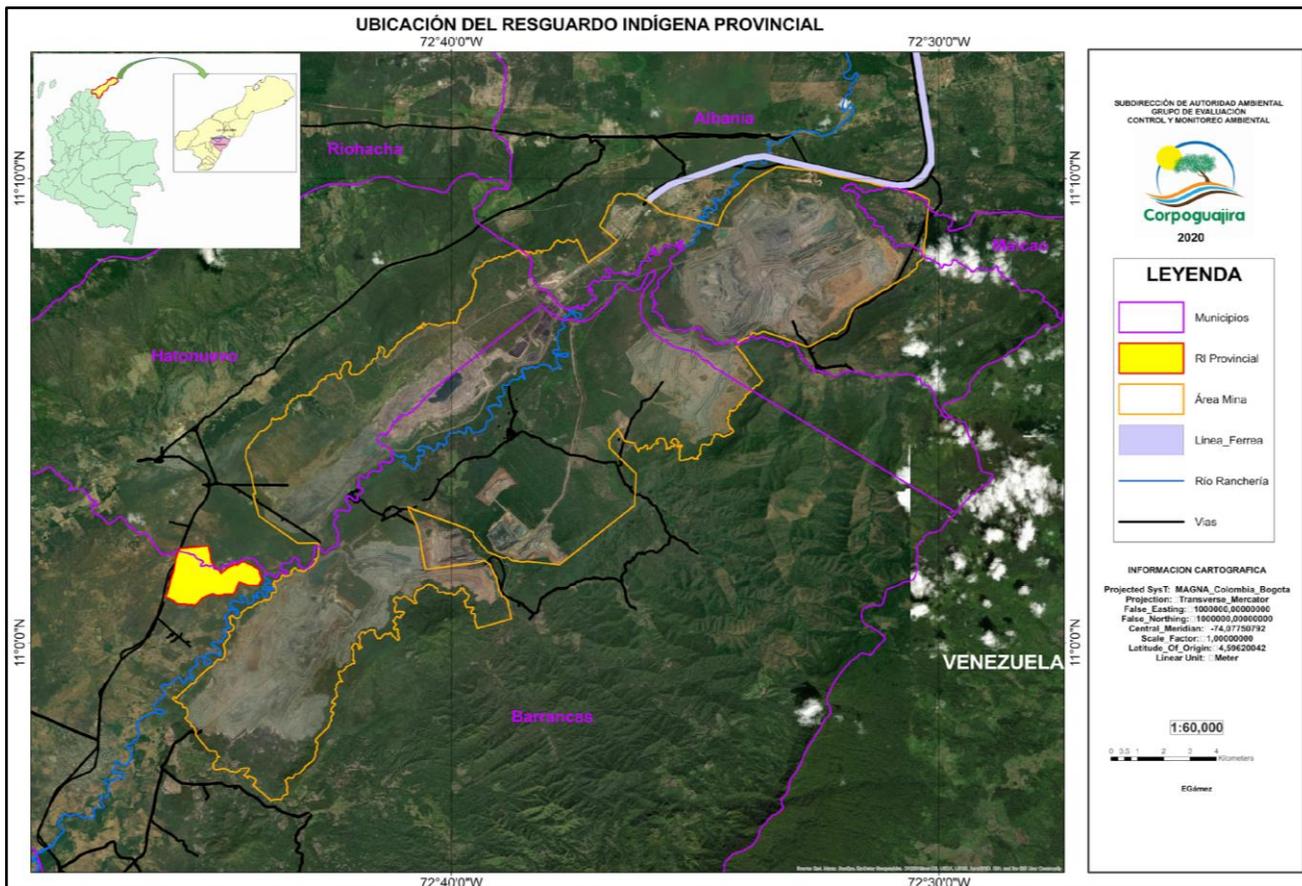


Figura 1. Ubicación del Resguardo Indígena Provincial. Fuente: CORPOGUAJIRA 2020.

Este plan se orienta hacia las acciones necesarias para realizar el monitoreo del recurso hídrico (superficial y subterráneo) y de calidad del aire, en sitios definidos con habitantes del Resguardo Indígena de Provincial, en cumplimiento de la Sentencia T-614 de 2019 (que resolvió una acción de tutela para proteger los derechos fundamentales a Mary Luz Uriana Ipuana y Yasmina Uriana).

El plan se diseñó para que aplicando de manera sistemática actividades de monitoreo y evaluación de la calidad del recurso hídrico y de la calidad del aire, se logre facilitar a los tomadores de decisiones una herramienta técnica para definir las acciones a emprender buscando garantizar los derechos fundamentales a la vida, a la salud, al ambiente sano y a la integridad física de los integrantes del Resguardo Indígena Provincial.

Sin embargo, el monitoreo no es sólo hacer las mediciones requeridas; sino que también se reconoce que los resultados deberán estar aprovechables y su comunicación implica que sean fácilmente entendibles por la comunidad en general y para que en su retroalimentación permitan

mejorar la información disponible para la toma de decisiones por todos los actores implicados en la intervención de los problemas de contaminación.

2. SISTEMA DE MONITOREO AMBIENTAL

2.1. **Agua:** Los sitios de monitoreo de agua superficiales y subterráneas serán aquellos que se han identificado en conjunto con el MADS, la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), CORPOGUAJIRA y la comunidad; y que surten las necesidades de abastecimiento de agua del Resguardo (Tabla 1 y Figura 2).

Tabla 1. Sitios de muestreo de agua Sentencia T-614 de 2019.

Matriz	Tipo	Cuerpo de agua	Identificación sitio muestreo	Coordenadas (Magna Sirgas)		Altura
				Latitud	Longitud	
Agua	Subterránea	Pozo subterráneo	Abastecimiento Resguardo Indígena Provincial	11°00'39,9"	72°44'36.9"	126
	Superficial	Río Ranchería	Antes del área licenciada, Paso Papayal	10°59'05,2"	72°45'50.3"	131
		Río Ranchería	Paso Provincial	11°00'39,2"	72°44'36,3"	124
		Río Ranchería	Después del área licenciada, en el Puente Campo Herrera	11°10'48,8"	72°33'12,7"	88

Fuente: CORPOGUAJIRA 2020.

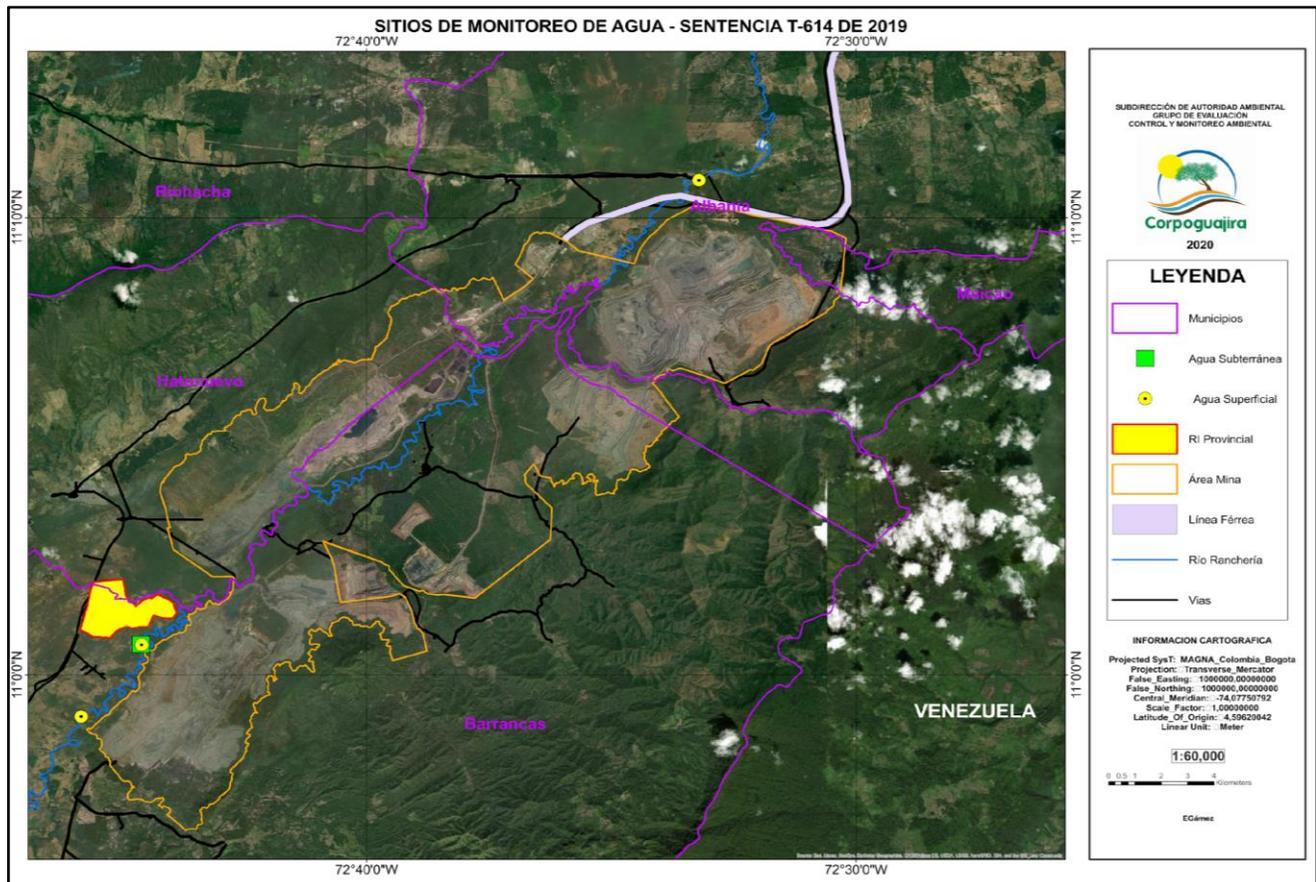


Figura 2. Ubicación de los sitios de monitoreo de agua. Fuente: CORPOGUAJIRA 2020.

Tanto en el Río Ranchería como en el Pozo Subterráneo, se realizará muestro simple. Para el tema hídrico superficial las muestras se tomarán en el punto óptimo que indique la corriente; es decir, donde exista la mayor confluencia de las aguas y se obtenga la mejor mezcla (alejado de las orillas y remansos); por lo cual se aceptará que la muestra sea tomada en un radio no superior a cuatro (4) metros medidos desde la coordenada descrita.

2.2. Aire: El monitoreo de calidad del aire se realizará en dos sitios (Tabla 2 y Figura 3); el primero, ubicado en el Aeropuerto Jorge Isaacs que es propiedad de Cerrejón y se encuentra viento arriba de las operaciones mineras (estación de fondo o de referencia); y el segundo, definido entre las entidades y la comunidad buscando evaluar la calidad del aire que respiran los habitantes de Resguardo Indígena (estación de punto crítico).

Tabla 2. Sitios de muestreo de calidad del aire Sentencia T-614 de 2019.

Matriz	Tipo	Identificación sitio muestreo	Coordenadas (Magna Sirgas)		Altura
			Latitud	Longitud	
Aire	Calidad del aire: PM10 (manual y automático) y PM2.5 (automático). Meteorología: Precipitación, Temperatura ambiente, Velocidad del viento, Dirección del viento y Presión atmosférica.	Aeropuerto Mina	11°14'03,7"	72°29'27,4"	89
		Resguardo Indígena Provincial	11°01'26,2"	72°44'12,0"	142

Fuente: CORPOGUAJIRA 2020.

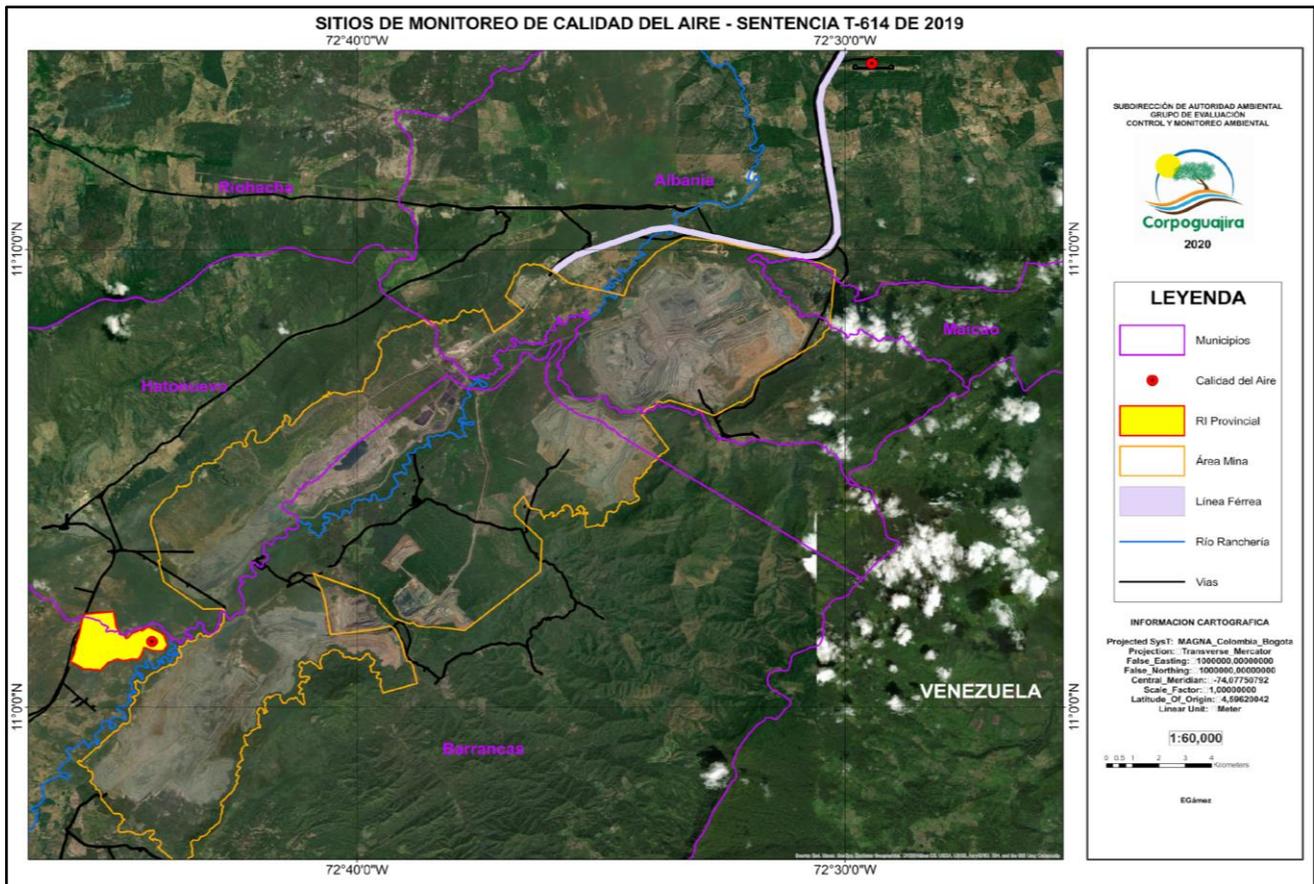


Figura 3. Ubicación de sitios de monitoreo de calidad del aire. Fuente: CORPOGUAJIRA 2020.

3. METODOLOGÍAS DE MONITOREO

El plan se ejecutará utilizando procedimientos para el muestreo y cadena de custodia definidos por el laboratorio ambiental de CORPOGUAJIRA para las matrices agua y aire; el cual se encuentra acreditado por el IDEAM mediante Resolución 1444 de 2016. Los parámetros de calidad del agua que no se encuentren acreditados en el laboratorio ambiental de CORPOGUAJIRA se contratarán con un laboratorio externo acreditado por el IDEAM. Para calidad del aire, la caracterización fisicoquímica del material particulado y la corrida del modelo de receptores será contratada con un laboratorio con idoneidad y amplia experiencia en este tipo de estudios.

3.1. Agua superficial: Se utilizará la metodología y la fórmula de cálculo establecida por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) de cinco (5) variables, para determinar el indicador denominado Índice de Calidad de Agua (ICA_{gua}), que tiene como propósito simplificar en una expresión numérica adimensional, entre 0 y 1, las características positivas o negativas de corrientes de agua superficial. Para ello se basa en una combinación particular de un número determinado de parámetros fisicoquímicos de contaminación convencionales; en nuestro caso utilizando las cinco (5) variables que se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Ponderaciones para el caso de cinco variables para cálculo del ICA_{gua} .

Variable	Unidad de medida	Ponderación
Oxígeno disuelto, OD	% Saturación	0,2
Sólidos suspendidos totales, SST	mg/l	0,2
Demanda química de oxígeno, DQO	mg/l	0,2
Conductividad eléctrica, C.E.	μ S/cm	0,2
pH	Unidades de pH	0,2

Fuente: IDEAM. Hoja Metodológica de Indicadores Ambientales. Índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA_{gua}).

El ICA_{gua} , permite comparar el estado de un mismo río en diferentes áreas geográficas y mostrar la tendencia de la calidad del recurso a partir de muestreos periódicos.

Para este plan se optó por evaluar el ICA_{gua} del IDEAM, con el fin de tener una visión sobre el estado de la contaminación del recurso hídrico superficial (Río Ranchería) antes y después de su paso por la comunidad indígena Provincial en el Municipio de Barrancas, con base en la información disponible en los muestreos que se realicen.

Dicho índice de calidad del agua es un valor numérico que califica en una de cinco categorías, la calidad del agua de una corriente superficial, con base en las mediciones obtenidas para un conjunto de variables, de acuerdo con ellos se califica la calidad del agua asociando un color como señal de alerta. En la Tabla 4, se registra la relación entre valores y calificación.

Tabla 4. Calificación de la calidad del agua según los valores que tome el ICA_{gua} .

Categorías de valores del ICA_{gua}	Calificación de la calidad del agua	Señal de alerta
0,00 – 0,25	Muy mala	Rojo
0,26 – 0,50	Mala	Naranja
0,50 – 0,70	Regular	Amarillo
0,71 – 0,90	Aceptable	Verde
0,90 – 1,00	Buena	Azul

Fuente: IDEAM. Hoja Metodológica de Indicadores Ambientales/Índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA_{gua}).

3.2. Agua subterránea: Es sabido que en el Resguardo Indígena de Provincial usan este recurso directamente para consumo humano, a través de pozos anillados y sin un tratamiento previo; por ello, para el caso de dichas aguas utilizaremos el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA), que es otra herramienta de información que permite evaluar el estado de la calidad de agua para consumo humano y doméstico, el cual resulta más práctico, sencillo y representativo basado en unos criterios o estándares que admiten cuantificar el nivel de riesgo de acuerdo con sus características.

El indicador es un número que representa la calidad del agua para consumo humano, en forma de porcentaje (valores entre 0 y 100%) y se estará aplicando en el pozo de agua subterránea de la comunidad focalizada en este plan.

La aplicación de este índice de calidad del agua representa un valor numérico que clasifica el agua de consumo humano, contemplando unos niveles de riesgo, dados entre sin riesgo (mejor calidad) e inviable sanitariamente (peor calidad), como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Consideraciones de Clasificación y Nivel de Riesgo del Agua.

Clasificación IRCA (%)	Nivel de riesgo	Consideraciones*
80,1 - 100	Inviabile sanitariamente	Agua no apta para consumo humano y requiere una vigilancia máxima, especial y detallada
35,1 - 80	Alto	Agua no apta para consumo humano y requiere una vigilancia especial
14,1 - 35	Medio	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de la persona prestadora
5,1 - 14	Bajo	Agua no apta para consumo humano, susceptible de mejoramiento
0 - 5	Sin riesgo	Agua apta para consumo humano. Continuar la vigilancia

Fuente: Consideraciones fijadas por el Ministerio de la protección social mediante la Resolución No 2115 de junio 22 de 2007

Las variables, para calcular el ICA_{gua} y el IRCA, serán medidas en las estaciones que conformen la red básica de monitoreo de calidad de agua superficial y subterránea del Resguardo Indígena Provincial, en dos ocasiones (una cada semestre – temporada lluviosa y temporada seca) durante cada año.

3.3. Sedimentos: Dado que los niveles de contaminación para metales pesados en sedimentos varían entre países e instituciones de protección ambiental, para complementar el análisis de los sedimentos, a través de referencias de calidad ambiental, se consideró realizar el cálculo de un indicador de contaminación por presencia de metales pesados, como es el Factor de Enriquecimiento (FE).

El FE, permite evaluar el grado de contaminación por metales traza informando del origen natural o antrópico, calculando la proporción entre el valor de la muestra de sedimentos y el valor de referencia o criterio de riesgos¹.

Para evaluar el FE, las concentraciones de elementos dados existentes en el entorno se comparan con los que es normalmente esperable si la contribución antrópica fuera excluida, es decir, dentro de la corteza continental.

¹ Ávila et al., 2008. Geochemistry and mineralogy of mill tailings impoundments from the Panasqueira Mine (Portugal): Implications for the Surrounding Environment. *Mine Water Environ.* 27: 210-224.

Elementos como el Aluminio (Al), Silicio (Si), Titanio (Ti) o Hierro (Fe) se usan comúnmente como metales de referencia para el cálculo del FE, debido a que son muy abundantes en la corteza terrestre y no son significativamente afectados por la contaminación; en este caso usaremos el Hierro (Fe) como metal de referencia y se analizarán seis (6) niveles de enriquecimiento (Tabla 6).

Tabla 6. Niveles del Factor de Enriquecimiento (FE).

Nivel	Descripción	FE
1	Elementos no enriquecidos	<1
2	Elementos débilmente enriquecidos	1 < FE < 3
3	Elementos moderadamente enriquecidos	3 < FE < 5
4	Elementos severamente enriquecidos	5 < FE < 25
5	Elementos muy severamente enriquecidos	25 < FE < 50
6	Elementos extremadamente enriquecidos	> 50

Fuente: Ávila et al., 2008

Para el cálculo del FE se empleará la Ecuación 1.

$$FE = \frac{\frac{[Metal]_m}{[Fe]_m}}{\frac{[Metal]_c}{[Fe]_c}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde;

$[Metal]_m$ es la concentración del metal en la muestra;

$[Metal]_c$ es la concentración del metal en la corteza continental;

$[Fe]_m$ es la concentración del hierro en la muestra; y

$[Fe]_c$ es la concentración del hierro en la corteza continental.

Los FE de los elementos presentes en el sedimento, con respecto a la concentración existente en la corteza terrestre, se suelen calcular con el fin de identificar las posibles fuentes y la contribución de actividades antrópicas a los niveles de metales en los ecosistemas acuáticos. Si el valor del FE es cercano a la unidad, el elemento presenta un origen predominantemente de la corteza terrestre y un FE > 3 indica que la concentración del metal en la muestra está sobre el nivel aceptable.

- 3.4. Calidad del aire:** CORPOGUAJIRA posee una estación de monitoreo de calidad del aire en el Resguardo Indígena Provincial ubicada en las coordenadas 11°1'26.50"N y 72°44'15.20"W (datum Magna Sirgas), donde se evalúa material particulado menor de 10 micras (PM10) mediante un equipo de monitoreo de alto volumen (Hi-Vol) de tecnología manual.

Sin embargo, para obtener mayor representatividad de las fuentes de emisión de la empresa Carbones del Cerrejón Limited - Cerrejón, la estación será reubicada en un sitio en el Resguardo en el que se esperan las mayores concentraciones de partículas en el aire (vientos abajo de la operación minera). Adicionalmente, dentro del SEVCA de CORPOGUAJIRA se instalará una estación que servirá como estación de fondo o de referencia para medir la calidad del aire antes de las operaciones mineras de carbón a cielo abierto establecidas en el departamento. Los dos sitios de monitoreo cumplen con los aspectos de microlocalización establecidos en el *Manual de diseño de sistemas de vigilancia de la calidad del aire* del Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire.

Las características de los equipos de monitoreo de calidad del aire que se instalarán en ambas estaciones se enuncian en la Tabla 7.

Tabla 7. Características de los equipos de monitoreo de calidad del aire.

Estación	Metodología	Método de medición	Parámetro
Provincial	Manual	Gravimetría (EPA e - CFR Titulo 40, parte 50, apéndice J)	PM10
	Automático	Métodos de referencia o métodos equivalentes de la US-EPA (Environmental Protection Agency) o de la EEA (European Environment Agency)	PM10 PM2.5
Aeropuerto Mina	Manual	Gravimetría (EPA e - CFR Titulo 40, parte 50, apéndice J)	PM10
	Automático	Métodos de referencia o métodos equivalentes de la US-EPA (Environmental Protection Agency) o de la EEA (European Environment Agency)	PM10 PM2.5

Fuente: CORPOGUAJIRA 2020.

Inicialmente serán instalados los dos (2) equipos manuales. Mientras se obtienen los equipos automáticos y las estaciones meteorológicas. CORPOGUAJIRA instalará temporalmente en Provincial un equipo automático y una estación meteorológica con características similares a los que se adquirirán para dar cumplimiento a la orden sexta de la Sentencia T-614 de 2019. Para la estación Aeropuerto Mina, el equipo automático y la estación meteorológica se instalarán cuando se concluya el proceso de compra y se realicen los trámites de exclusión de IVA por parte de la ANLA, lo cual tarda aproximadamente seis (6) meses.

En cada estación se instalará una estación meteorológica para conocer el comportamiento de los principales parámetros climatológicos que influyen directamente en la dispersión de contaminantes atmosféricos tales como: Precipitación, Temperatura ambiente, Velocidad del viento, Dirección del viento, Presión atmosférica y Humedad relativa.

Los resultados del monitoreo deben ser evaluados como primera medida tomando como referencia los niveles máximos permisibles para PM10 y material particulado menor de 10 micras (PM2.5) establecidos en la Resolución 2254 de 2017 emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS. De forma indicativa se compararán las mediciones con los niveles definidos por la Corte Constitucional en la Orden Tercera de la Sentencia. Del mismo modo, se calculará el Índice de Calidad del Aire (ICA_{ire}) para los dos parámetros evaluados (PM10 y PM2.5) de acuerdo con el Artículo 19 de la Resolución 2254 de 2017 y cuya descripción del Índice de Calidad del Aire se establece en la Tabla 8.

Tabla 8. Descripción general del Índice de Calidad del Aire.

Rango	Color	Estado	Efectos
0-50	Verde	Buena	La contaminación atmosférica supone un riesgo bajo para la salud.
51-100	Amarillo	Aceptable	Posibles síntomas respiratorios en grupos poblacionales sensibles.
101-150	Naranja	Dañina a la salud de grupos sensibles	Los grupos poblaciones sensibles pueden presentar efectos sobre la salud. Material Particulado: Las personas con enfermedad cardíaca o pulmonar, los adultos mayores y los niños se consideran sensibles y por lo tanto en mayor riesgo.
151-200	Rojo	Dañina para la salud	Todos los individuos pueden comenzar a experimentar efectos sobre la salud. Los grupos sensibles pueden experimentar efectos más graves para la salud.
201-300	Púrpura	Muy Dañina para la salud	Estado de alerta que significa que todos pueden experimentar efectos más graves para la salud.
301-500	Marrón	Peligroso	Advertencia sanitaria. Toda la población puede presentar efectos adversos graves en la salud humana y están propensos a verse afectados por graves efectos sobre la salud.

Fuente: Resolución 2254 de 2017 del MADS.

- **Caracterización del material particulado:** El material particulado de menor diámetro puede llegar a los órganos internos del sistema respiratorio y causar efectos a la salud humana. En diferentes estudios epidemiológicos se ha observado que la contaminación ambiental producida por las partículas finas (PM2.5) es un problema preocupante debido a la evidencia que se tiene de sus efectos adversos a la salud. Sin embargo, atendiendo que para la caracterización del material particulado se requiere gran cantidad de muestra, y que los métodos de referencia para PM2.5 solamente utilizan equipos de bajo volumen (filtros pequeños); en cumplimiento a la Orden Sexta de la sentencia T-614 de 2019, se caracterizará el PM10 que a su vez incluye una fracción de PM2.5.

A pesar de que en la actualidad aún existe incertidumbre acerca de los efectos provocados por las diferentes especies químicas, la mayoría de los estudios apuntan a que el mayor impacto en la salud es causado por las partículas de carbono elemental (CE), compuestos orgánicos (CO), especialmente hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), sulfatos y nitratos, y determinados metales como As, Cd, Fe, Zn, Cr, Cu, Al, V, Ni y Pb (Machado *et al.*, 2008). Entre los principales mecanismos de toxicidad de los metales se encuentran: el bloqueo de grupos funcionales esenciales en biomoléculas (Peralta-Videa *et al.*, 2009), el desplazamiento de centros catiónicos en enzimas importantes, como es el caso de la ribulosa 1-5 bisfosfato carboxilasa-oxigenasa (Smeets *et al.*, 2005) y la autooxidación de metales (Fe^{2+} o Cu^+), facilita la formación de H_2O_2 y del radical OH (Schützendübel & Polle 2002). Las emisiones de metales pesados a la atmósfera se asocian con fuentes naturales, por ejemplo, tormentas de arena e incendios forestales, y fuentes antropogénicas fijas y móviles (García, 2007). La re-suspensión de partículas del suelo ha sido señalada como fuente principal de K, Mg y Mn presente en polvo urbano de sedimento. Junto con la combustión de carbón, debe aportar también, la mayor parte del Al, Ca, Ce, Cr, Fe, La, Sc, Sr, Ti y Th (Boni *et al.*, 1988).

El estudio “Caracterización de Partículas Suspendidas (PST) y Partículas Respirables (PM10) producidas en Áreas de Explotación Carbonífera a Cielo Abierto”² concluye que la mayor parte de los trabajos de investigación realizados en calidad del aire, se centran en estudiar la contaminación atmosférica generada por fuentes móviles y fuentes fijas en zonas urbanas. Sin embargo, son pocos los trabajos relacionados con fuentes fugitivas. En el mundo existen múltiples países con importantes áreas de explotación minera a cielo abierto, las cuales son fuente de gran riqueza y a la vez fuentes fugitivas de material particulado con un gran impacto ambiental sobre las poblaciones aledañas. Los países donde se han realizado el mayor número de trabajos que buscan cuantificar y caracterizar el MP generado por la minería a cielo abierto son India, Reino Unido y USA.

Se ha encontrado que la composición del material particulado generado por la minería de carbón a cielo abierto, están influenciada por la geología local y el progreso de las operaciones mineras, con consideraciones adicionales que incluyen la topografía del tajo. Sin embargo, se requiere mayor investigación en la determinación en la distribución de tamaño de partícula y descripción de la morfología de estas. No se han reportado estudios que cuantifiquen y caractericen partículas menores a 2.5 micras. Por lo tanto, se pueden utilizar las nuevas técnicas de caracterización química del material particulado, tales como espectroscopia de plasma acoplado inductivamente (ICP) y microscopía electrónica de transmisión (TEM).

² Luis C. Angulo, José I. Huertas y Gloria M. Restrepo.

Con el propósito de cuantificar la concentración de material particulado dentro y fuera de las minas, se han puesto en operación redes de monitoreo de calidad del aire. Así como también, se han usado diferentes modelos de calidad del aire. Existe la oportunidad de aplicar los modelos de receptor para determinar los aportes de las fuentes de material particulado a la contaminación del aire en poblaciones alrededor de los proyectos mineros. La aplicación de estos modelos debe estar acompañada de una metodología detallada y unificada de inventario de emisiones.

De acuerdo con el estudio denominado “Caracterización metálica de material particulado PM10 en la atmósfera de Fonseca, La Guajira, Colombia” realizado por la Universidad de La Guajira, los niveles de PM10 en el periodo de estudio superaron el estándar anual de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ establecido por la OMS para proteger la salud pública con un buen margen de seguridad. Las concentraciones de metales presentes en las partículas PM10 se ven afectadas por las condiciones climatológicas, de forma tal que los niveles más altos se presentan en la época de sequía, cuando la velocidad de los vientos aumenta la re-suspensión del suelo y el aporte de aerosol marino desde la zona de costa. Los metales de mayor concentración corresponden a Na ($2,4 \mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 1,49 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Al ($0,52 \mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 1,78 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Ca ($0,49 \mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 0,60 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y Cr ($0,40 \mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 0,18 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Los niveles de Pb, V y Hg reportados en este estudio no superan el estándar anual nacional y los establecidos por la OMS, sin embargo, se observa riesgo potencial para la salud por parte del As, debido a que su valor promedio sobrepasa ampliamente el estándar establecido por esta norma internacional. Los metales evaluados en las partículas pueden ser emitidos a la atmósfera producto de las actividades mineras, relacionadas con las excavaciones (Fe, Se, Ar) y el parque automotor (V, Pb, Hg, Cr); y desde el punto de vista natural por el aerosol marino (Na, K) y la re-suspensión del suelo (Ca, Mg). La importancia de la caracterización del material particulado radica en que está compuesto por una diversidad de sustancias, algunas de las cuales pueden ser genotóxicas, mutagénicas y/o cancerígenas.

El estudio denominado “Determinación de la caracterización fisicoquímica del material particulado y aplicación de modelos receptor en una población cercana a un proyecto minero en el departamento del Cesar”³ reportó que, para el análisis químico, fue realizado un muestreo durante sesenta días consecutivos, del cual se obtuvieron 60 muestras con filtros de cuarzo de 47mm, 60 con filtros de TFE de 47mm y 20 con filtros de cuarzo de 22x28 cm. Las muestras recolectadas fueron enviadas al Laboratorio de Higiene de la División de Salud Ambiental del Estado de Wisconsin (WSLH), donde se realizaron análisis de metales solubles en agua, iones, carbono orgánico y elemental, e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP). Posteriormente, se realizó un análisis estadístico de los datos mediante el uso de aplicaciones de software ya desarrolladas para aplicar la modelación de receptores: EPA PMF 5.0 y EPA UNMIX 6.0, con el fin de establecer el aporte y la relación de las diferentes fuentes de contaminantes en la calidad del aire. Como conclusión del estudio, se encontró que, los dos modelos utilizados PMF y UNMIX muestran como principal fuente la quema de biomasa y el uso de esta como combustible y la contribución del polvo de carretera, emisiones provenientes de vehículos pesados y quema de basuras. La distribución de las fuentes de emisión para los modelos utilizados fue: en el caso del PMF, uso de biomasa como combustible e incendios forestales = 46%, quema de desechos y basuras = 26%, polvo del suelo = 16% y vehículos pesados accionados con diésel = 12%. Mientras que para UNMIX fueron:

³ 2015. Universidad Industrial de Santander.

quema de biomasa y uso de biomasa como combustible = 45%, quema de desechos y basuras = 34%, polvo del suelo y carreteras = 14%, vehículos pesados accionados con diésel = 7%.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos con la aplicación de los dos modelos de receptores, se puede afirmar que el modelo PMF obtuvo como resultado un mejor ajuste de los datos predichos versus los datos observados, y por tanto cuenta con una mejor distribución de las fuentes de emisión que el modelo UNMIX. Desde el punto de vista del análisis químico, los análisis de metales solubles en agua muestran la presencia mayoritaria de nueve especies entre ellas, aluminio, azufre, hierro, sodio, titanio, magnesio, potasio, calcio y fósforo. Para el caso del análisis de aniones y cationes, se encontró que la mayor cantidad de estos compuestos es aportada por los sulfatos y en menor presencia se encuentran los fosfatos. El análisis de HAPs muestra la presencia mayoritaria de indeno (1, 2, 3- cd) pireno y el benzo (g. h) perileno respecto al total de la masa de HAP determinada. La reconstrucción másica realizada permite concluir que un 13,7% de la masa total no fue posible cuantificarla mediante análisis químico.

Según Pant y Harrison (2012), mediante los modelos de aporte de fuentes es posible cuantificar la contribución de diferentes fuentes a concentraciones atmosféricas de material particulado. Dentro de estos modelos se encuentran los métodos basados en la evaluación estadística de datos de características químicas del material particulado en los receptores (modelos de receptor). Su principio es que puede suponerse la conservación de masa y especies químicas y que, a través de un balance másico, se puede identificar y cuantificar el aporte de fuentes al material particulado en la atmósfera⁴. Los modelos receptores incluyen una amplia variedad de métodos de análisis de variables múltiples que usan las mediciones del aire ambiente para inferir en los tipos de fuentes su ubicación y contribución que afectan la calidad del aire⁵.

El estudio denominado “Receptor Modeling of Ambient Particulate Matter Data Using Positive Matrix Factorization: Review of Existing Methods”⁶ soporta el uso del modelo PMF para reconstruir los perfiles de las fuentes y establece criterios para la evaluación de la incertidumbre en el proceso de modelamiento.

De acuerdo con el informe final del convenio interadministrativo No. 734 de 2019 el cual tenía por objeto “Aunar esfuerzos técnicos y financieros para evaluar los componentes claves de aerosoles atmosféricos en la contaminación atmosférica en el Valle de Aburrá Fase II, a partir de la generación de conocimiento obtenido en un estudio de caracterización química” la fase de modelación PMF, la interpretación y el ajuste de los datos arrojados, permitieron correlacionar de manera muy aproximada, la correspondencia entre los datos estimados y los observados, determinándose, seis (6) perfiles definidos de fuentes del PM2.5, y sus correspondientes aportes. Los factores identificados fueron explicados por los balances de masa del PM2.5 existentes en la región y los reportes científicos, para su recomendación como indicadores de las medidas del PIGECA para el mejoramiento de la calidad del aire.

⁴ Viana et al. 2008

⁵ Brook et al, 2003

⁶ Adam Reff and Shelly I. Eberly *National Exposure Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency*. Prakash V. Bhavne *Atmospheric Sciences Modeling Division, Air Resources Laboratory, National Oceanic and Atmospheric Administration*

Lo anterior justifica ampliamente las técnicas de caracterización de material particulado y la reconstrucción de las fuentes mediante el uso de modelos de receptores como por ejemplo PMF. Esto debido a que los aerosoles troposféricos son una mezcla compleja de partículas con múltiples componentes que son emitidas directamente (por fuentes naturales o antropogénicas) o pueden ser formadas en la atmósfera por mecanismos de nucleación/condensación (Murillo et al, 2013). Los principales componentes en la mayoría de las áreas urbanas incluyen material geológico (óxidos de aluminio, silicio, calcio, titanio y hierro), materia orgánica (carbono orgánico que consiste en cientos de diferentes componentes), carbono elemental, sulfatos, nitratos y amonio⁷. La técnica conocida como caracterización del material particulado comprende la identificación y cuantificación de dichas especies a través de la aplicación de diversas técnicas de análisis químico. La Figura 4 muestra la distribución típica de las partículas en la atmósfera donde se muestran las partículas finas y gruesas.

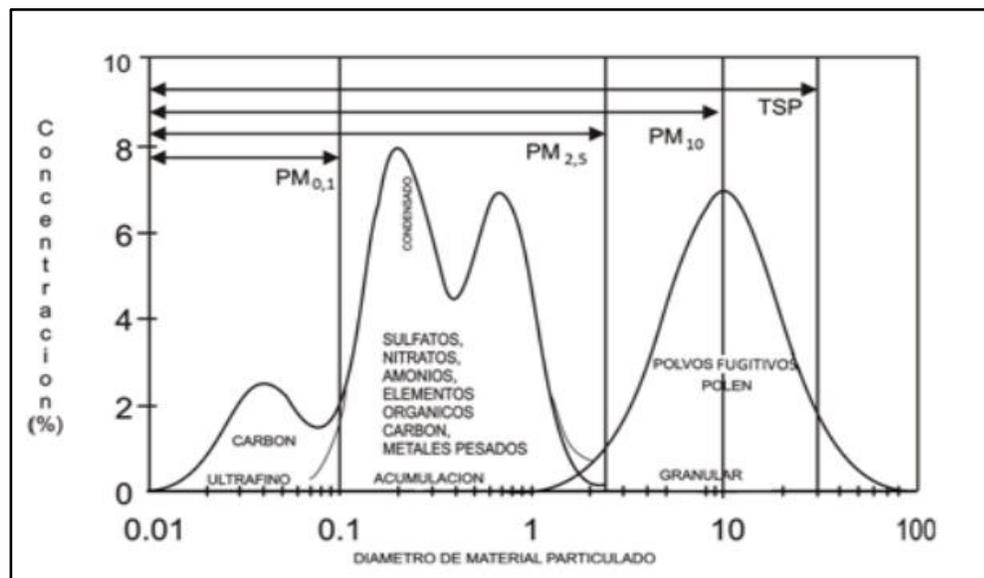


Figura 4. Distribución típica de las partículas en la atmósfera. Fuente: Watson y Chow, 2000.

Los polvos naturales son todos aquellos que provienen de la erosión eólica del suelo natural, erupciones volcánicas, aerosoles marinos y emisiones biogénicas. La composición química y mineralógica varía de una región a otra dependiendo de las características pero principalmente están constituidos por calcita (CaCO_3), cuarzo (SiO_2), dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), arcillas (sobre todo caolinita [$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$] e illita [$\text{K}(\text{Al},\text{Mg})_3\text{SiAl}_3(\text{OH})_2$]), feldespatos (KAlSi_3O_8), ($\text{Na}, \text{Ca}(\text{AlSi})_4\text{O}_8$), cantidades inferiores de yeso o sulfato cálcico deshidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y óxidos de hierro como la hematita (Fe_2O_3) entre otros, cuyas partículas están caracterizadas por granulometría generalmente gruesa aunque, dependiendo de la velocidad del viento y su acción mecánica, pueden encontrarse en la atmósfera partículas minerales en el rango de finas⁸.

Como polvos antropogénicos definimos todos aquellos asociados a instalaciones de combustión para la generación de energía como centrales térmicas, industriales, comerciales y/o residenciales, así como las emisiones relacionadas con actividades como la agricultura, minería, construcción y transporte rodado⁹.

⁷ Chow, 1995

⁸ Alfaro et al., 1998.

⁹ Nriagu y Pacyna, 1988; Nriagu, 1989

Se han constatado las largas distancias que pueden recorrer las partículas de polvo a escala global. Las principales emisiones de polvo proceden de las extensas zonas desérticas del norte de África, Oriente próximo y Asia central, habiéndose documentado gran cantidad de fenómenos de transporte con grandes trayectorias de distancias de las partículas, donde su origen mineral procede de estas regiones¹⁰. Estos estudios indican que el polvo es de naturaleza migratoria y puede causar problemas muy lejos de su origen. Según estimaciones globales¹¹, actualmente se emiten aproximadamente 3400 millones de toneladas de aerosoles (incluyendo polvos) de las cuales 84% corresponden con origen natural (2856 millones de toneladas por año), y 10 % del total de emisiones corresponde con origen antropogénico las cuales se concentran en los núcleos urbanos.

El polvo fugitivo se define como aquel que no es emitido de fuentes puntuales como chimeneas industriales o domésticas. Las posibles fuentes de polvos fugitivos incluyen campos abiertos, calles y caminos, basureros, etc. y se denominan polvos a todo aquel material emitido a la atmósfera y que es el conjunto de varios procesos tanto de origen natural como de origen antropogénico; derivándose de éste un contaminante que está en movimiento por medio de la suspensión y re-suspensión de partículas¹².

La actividad minera de carbón a cielo abierto presenta operaciones unitarias en las que predominan las emisiones de polvo fugitivo por efecto del transporte interno, voladuras, cargue y descargue, apilamientos de carbón entre otros. En la siguiente figura se pueden observar las diferentes operaciones de la actividad minera en las cuales se generan emisiones atmosféricas:

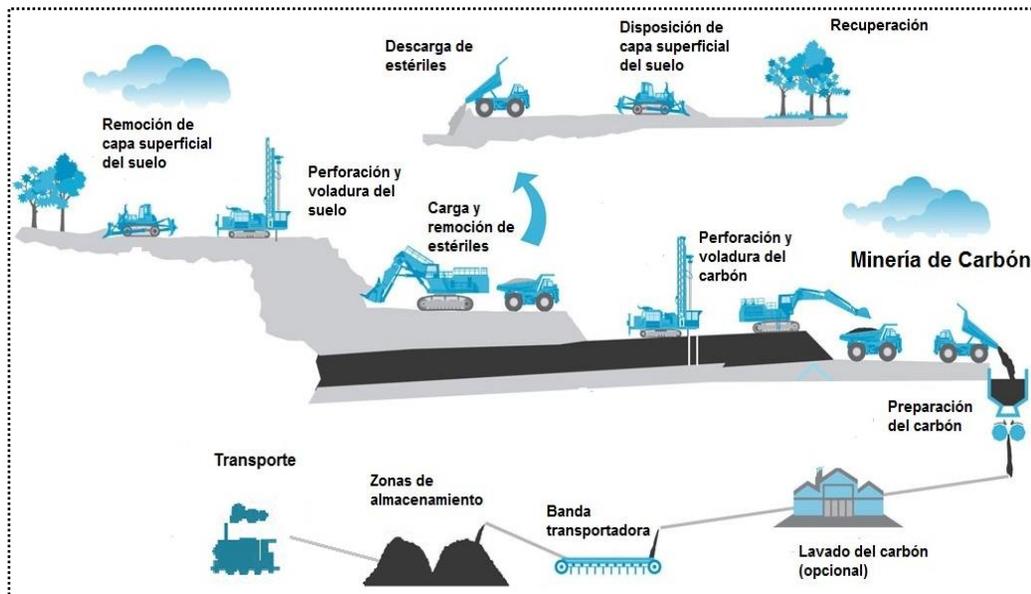


Figura 5. Fuentes de emisión de polvo en minería a cielo abierto. Fuente: MINAMBIENTE - UDEA, 2013.

Debido a las características de las fuentes de emisión de la actividad minera la cual en su mayoría corresponden a procesos de arranque, trituración y re-suspensión se propone PM10 como parámetro contaminante objeto de caracterización química. Para esto se utilizarán los filtros de fibra de cuarzo utilizados en los equipos Hi-Vol con los que se

¹⁰ Merrill et al., 1985; Pacyna y Ottar, 1986; Gats y Prospero, 1996

¹¹ IPCC, 1996

¹² Finlayson-Pitts y Pitts 1986

monitoreará PM10. Para esto, se realizarán los procedimientos buscando garantizar la integridad de la muestra y su cadena de custodia de acuerdo con el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire. Finalmente, con la información generada se realizará la corrida de un modelo de receptor – fuente para determinar los aportes por tipo de fuentes a la concentración total del material particulado PM10.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

Establecer un plan de monitoreo de calidad del agua y aire para dar cumplimiento a la Orden Sexta de la Sentencia T-614 de 2019.

4.2. Objetivos específicos

- Evaluar el Índice de Calidad del Agua (ICA_{gua}) en tres (3) sitios de monitoreo ubicados en el cauce del Río Ranchería; antes durante y después de su paso por el Resguardo Indígena Provincial.
- Evaluar el Índice de Riesgo de Calidad del Agua para consumo humano (IRCA) del pozo subterráneo del cual se surte la comunidad del Resguardo Indígena Provincial.
- Evaluar las concentraciones de metales pesados en sedimentos del Río Ranchería con base en el indicador denominado Factor de Enriquecimiento.
- Verificar el cumplimiento los parámetros PM10 y PM2.5 medidos en las estaciones de monitoreo con respecto a los niveles máximos permisibles definidos en la norma de calidad de aire (Resolución 2254 de 2017).
- Validar de forma indicativa el cumplimiento de los límites de calidad del aire para PM10 y PM2.5 establecidos en la Orden Tercera de la Sentencia T-614 de 2019.
- Evaluar el Índice de Calidad del Aire (ICA_{aire}) para los parámetros PM10 y PM2.5 medidos en las estaciones que hacen parte del sistema de calidad del aire solicitado en la Orden Sexta de la Sentencia T-614 de 2019.
- Realizar la caracterización fisicoquímica del PM10 monitoreado con equipos Hi-Vol en las estaciones que hacen parte del sistema de calidad del aire solicitado en la Orden Sexta de la Sentencia T-614 de 2019.

5. ANTECEDENTES

La orden sexta de la Sentencia T-614 enuncia: *ORDENAR al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, a la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales y a la Corporación Autónoma Regional de La Guajira -CORPOGUAJIRA- que, en el término máximo de (4) meses, contado a partir de la notificación de esta Sentencia, implementen un sistema independiente de medición de la calidad del aire en el Resguardo Indígena Provincial y la calidad de agua en las fuentes hídricas que lo abastecen.*

Este sistema deberá: (i) contar con instrumentos idóneos que midan la calidad de agua y del aire en la zona, incluyendo concentraciones de material particulado menor a 10 y a 2.5 micras; (ii) permitir el análisis periódico de la composición química de dicho material; (iii) incluir la supervisión de los instrumentos de medición con un equipo técnico e imparcial con conocimientos especializados en la materia; (iv) garantizar un monitoreo constante de los resultados; (v) ser de público acceso, preferiblemente a través de una plataforma de consulta en tiempo real; y, (vi) emitir señales de alarma a la empresa y a la comunidad cuando se superen los niveles permisibles de contaminación correspondientes, con el fin de que la entidad accionada pueda tomar con urgencia los correctivos a que haya lugar.

Por su parte, CORPOGUAJIRA dentro de las funciones establecidas en la Ley 99 de 1993, tiene la de ejercer control y seguimiento ambiental, de los usos del agua, el aire y el suelo y los demás recursos naturales renovables. Para lo cual se respalda en el Laboratorio Ambiental, para el análisis de las muestras de agua de las fuentes abastecedoras de acueductos, pozos subterráneos, los ríos del departamento de La Guajira y la calidad del aire para obtener la información sobre el estado del ambiente y los recursos naturales renovables, sobre las causas que afectan su protección, conservación, restauración y sostenibilidad, así como sobre los factores que lo deterioran.

Por ello, en conjunto con el MADS y la ANLA, CORPOGUAJIRA¹³, para dar cumplimiento a la Orden Sexta de la Sentencia, se consideró necesario **mejorar la información disponible para la toma de decisiones por todas las autoridades competentes**; para lo cual se solicitó el acompañamiento de la comunidad del Resguardo Indígena Provincial, buscando evaluar los mejores sitios para el monitoreo de calidad del aire y agua (superficial y subterránea) ordenado.

Con base en esto, se diseñó este Plan de Monitoreo a ejecutar principalmente en el Resguardo Indígena y es uno de los compromisos adquiridos para establecer las diversas actividades relacionadas con el monitoreo y seguimiento del aire y recurso hídrico en dicha comunidad.

6. ANÁLISIS TÉCNICO DE LA ALTERNATIVA

6.1. Generalidades

Para el caso de este plan se realizará el monitoreo de calidad de agua y aire en los puntos de muestreo que se describen en la

Tabla 9.

Tabla 9. Sitios de monitoreo en cumplimiento a la Orden Sexta de la Sentencia T-614.

Matriz	Tipo	Cuerpo de agua	Identificación sitio muestreo	Coordenadas (Magna Sirgas)		Altura
				Latitud	Longitud	
Agua	Subterránea	Pozo subterráneo	Abastecimiento Resguardo Indígena Provincial	11°00'39,9"	72°44'36.9"	126
	Superficial	Río Ranchería	Antes del área licenciada, Paso Papayal	10°59'05,2"	72°45'50.3"	131
		Río Ranchería	Paso Provincial	11°00'39,2"	72°44'36,3"	124
		Río Ranchería	Después del área licenciada, en el Puente Campo Herrera	11°10'48,8"	72°33'12,7"	88
Aire	Calidad del aire: PM10 (manual y automático) y PM2.5 (automático). Meteorología: Precipitación, Temperatura ambiente, Velocidad del viento, Dirección del viento y Presión atmosférica.	NA	Aeropuerto Mina	11°14'03,7"	72°29'27,4"	89
		NA	Resguardo Indígena Provincial	11°01'26,2"	72°44'12.0"	142

¹³ MADS, ANLA y CORPOGUAJIRA son entidades que hacen parte del Sistema Nacional Ambiental – SINA.

6.2. Variables de monitoreo y análisis

Las variables de monitoreo recomendadas deben ser las que permitan calcular los indicadores definidos, como son el ICA_{agua}, el IRCA y ICA_{aire}. Por ello, se recomienda que el monitoreo incluya las variables indicadas a continuación:

- **Agua**
 - Agua subterránea: Nivel estático, alcalinidad total, calcio, nitratos, nitritos, fluoruros, COT, cloruros, conductividad, pH, color aparente, dureza total, sulfatos, fosfatos, Escherichia Coli, coliformes totales, salinidad, sólidos disueltos totales, potencial REDOX, grasas y aceites, temperatura y turbiedad. Si se demuestra un incremento significativo de metales en los sedimentos del Río Ranchería, se analizará adicionalmente en el agua subterránea los siguientes metales: Aluminio, arsénico, cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso, mercurio, níquel, plomo y zinc.
 - Agua superficial: Caudal, fósforo total, nitrógeno total, nitrógeno amoniacal, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, DQO, conductividad, pH, salinidad, saturación de oxígeno, temperatura, turbiedad, DBO, sólidos sedimentables, sulfatos, cloruros, calcio, nitratos, nitritos, COT, sólidos disueltos totales, potencial REDOX, grasas y aceites, Escherichia Coli y coliformes totales. Si se demuestra un incremento significativo de metales en sedimentos, se analizará adicionalmente: Aluminio, arsénico, cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso, mercurio, níquel, plomo y zinc.
 - Sedimentos Río Ranchería: Aluminio, arsénico, cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso, mercurio, níquel, plomo y zinc.
- **Aire**
 - Calidad del aire: Dos puntos de monitoreo compuestos por instrumentos para la medición de material particulado PM10 (manual y automático) y PM2.5 (automático).
 - Caracterización química del PM₁₀ (manual): Se propone la determinación en laboratorio de elementos (aluminio, antimonio, arsénico, azufre, bario, berilio, cadmio, calcio, cobalto, cobre, cromo, estaño, fósforo, hierro, litio, magnesio, manganeso, mercurio, níquel, plomo, potasio, rubidio, selenio, titanio, vanadio y zinc). Aniones (sulfatos, cloruros y nitratos). Cationes (amonio, sodio y potasio). Carbono (elemental y orgánico) e Hidrocarburos aromáticos policíclicos (Naftaleno, Acenaftileno, Acenafteno, Fluoreno, Fenantreno, Antraceno, Fluoranteno, Pireno, Benzo [a] antraceno, Criseno, Benzo [b] fluoranteno, Benzo [k] fluoranteno, Benzo [a] pireno, Indeno [1,2,3-cd] pireno, Dibenzo [a, h] antraceno, Benzo [g, h, i] perileno). La cantidad de muestras a analizar por cada sitio de monitoreo debe ser por lo menos de cincuenta (50) muestras.
 - Meteorología: Monitoreo de Precipitación, Temperatura ambiente, Velocidad del viento, Dirección del viento, Presión atmosférica y Humedad relativa.
 - Modelo de receptor-fuente: Con la información de la composición química del PM10 y el inventario general de fuentes se correrá un modelo para identificar los aportes de las fuentes de emisión a la contaminación por PM10. El Modelo recomendado es el de factorización de la matriz positiva (PMF por sus siglas en inglés).

6.3. Frecuencia de monitoreo

Dado el comportamiento estacional del clima en La Guajira, las campañas de monitoreo de agua se realizarán tanto en el período seco (febrero-marzo) o de estiaje, donde hay pocas lluvias, y en

la época donde hay un aumento en la precipitación (octubre-noviembre), tomando las muestras cada seis (6) meses.

Para el caso de calidad del aire, las muestras de PM10 en las estaciones manuales se tomarán cada tercer día y serán analizadas en el laboratorio ubicado en La Territorial Sur de CORPOGUAJIRA, en el municipio de Fonseca; el cual se encuentra acreditado por el IDEAM mediante Resolución 1444 de 2016. El monitoreo de PM10 y PM2.5 con las estaciones automáticas se harán de manera constante (en tiempo real), enviando mensajes de alerta cuando se superen los niveles permisibles.

Debido a que la información ambiental que se generará servirá de insumo para el análisis en salud que debe realizar el Ministerio de Salud y Protección Social en el marco de la Orden Décima, es necesario que se contemple como mínimo un periodo de medición continuo de un (1) año para efectos del cumplimiento de la Sentencia.

6.4. Unidades de análisis

Para el caso del recurso hídrico está conformada por seis (6) muestras anuales de agua superficial, seis (6) muestras anuales de sedimentos y dos (2) muestras anuales de agua subterránea en los periodos climáticos de la región (lluvioso y seco). Para calidad del aire, se pretende tomar como mínimo noventa (90) muestras anuales en los equipos manuales de PM10 y por lo menos doscientas setenta (270) muestras de PM10 y PM.5 en los equipos automáticos.

6.5. Recolección de muestras

Se determinarán las concentraciones de metales pesados y las magnitudes de los parámetros fisicoquímicos en aguas y sedimentos; y para el caso de calidad del aire se determinarán las concentraciones de material particulado como PM2.5 (con equipos automáticos) y PM10 (con equipos manuales y automáticos) y la caracterización fisicoquímica del PM10 medido con equipos manuales. Las metodologías para estos análisis en las diferentes muestras deberán estar validadas y ser realizadas por laboratorios acreditados ante el IDEAM; a excepción de la caracterización del PM10 que será realizada por un laboratorio con idoneidad y amplia experiencia en la realización de este tipo de estudios.

Las muestras de agua deberán ser recogidos en las estaciones de estudio definidas en este plan, en un radio máximo de cuatro (4) metros en relación con las coordenadas aquí definidas para los puntos de monitoreo del Río Ranchería y de acuerdo con los lineamientos establecidos para el muestreo por el IDEAM. Se medirán in situ las variables pH, temperatura, oxígeno disuelto, potencial REDOX, turbiedad y conductividad eléctrica.

Las muestras de sedimento, para análisis de metales pesados, deberán ser recogidas en cada estación de las definidas en este plan, recolectándose para cada muestra tres (3) submuestras de sedimentos distribuidas cada una en un punto cardinal, a partir del punto de referencia tomado con GPS y a un radio aproximado de dos (2) metros; con el objeto de obtener una única muestra compuesta en cada estación y representativa del ecosistema. Las muestras de sedimentos se tomarán en los primeros cinco (5) centímetros de capa superficial, utilizando cuchara plástica para evitar una posible contaminación de la muestra.

Las muestras de aire en los equipos manuales de PM10 se tomarán cada tercer día y en los equipos automáticos se tomarán diariamente. Todos los monitoreos serán realizados con base en métodos de referencia o métodos equivalentes de acuerdo con lo establecido en el numeral

6.5.1 del *Manual de diseño de sistemas de vigilancia de la calidad del aire* enmarcado en el Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire.

6.6. Reporte de resultados

El plan se enmarca en la normatividad vigente, la recolección de muestras será realizado por el laboratorio ambiental de CORPOGUAJIRA y los análisis de laboratorio serán realizados por el laboratorio ambiental de CORPOGUAJIRA en los parámetros en que se encuentra acreditado y el resto de los parámetros por laboratorios externos acreditados por el IDEAM. Todos los análisis se realizarán de acuerdo con métodos de referencia aplicados a cada medición (aire y agua); a excepción de los relacionados con la caracterización fisicoquímica del material particulado.

Además, los resultados obtenidos en el plan de monitoreo para las diversas variables de calidad muestreadas se compararán con las normas vigentes para aire, aguas superficiales naturales y para aguas subterráneas. Los resultados de calidad del aire serán reportados en el SISAIRE de acuerdo con las frecuencias establecidas en el artículo 5 de la Resolución 651 del 2010 del hoy MADS. Todos los resultados (agua y aire), serán socializados a los habitantes del Resguardo Indígena Provincial a través talleres en donde se entregarán cartillas con los resultados de los monitoreos; dichos talleres se realizarán con una frecuencia semestral.

7. COSTOS ASOCIADOS AL PLAN DE MONITOREO

En la Tabla 10 se muestra un resumen de los costos totales anuales para cada rubro definido en el presupuesto del Plan de monitoreo ambiental y sus posibles fuentes de financiación. Así mismo, en las tablas subsiguientes se muestra el presupuesto con cada gasto desglosado.

Tabla 10. Resumen de los costos anuales del plan de monitoreo.

COSTOS DE EJECUCIÓN PLAN DE MONITOREO POR AÑO		FUENTES DE FINANCIACIÓN	
		CORPOGUAJIRA	Financiador 2
Equipos y software	\$ 756,551,407		\$ 756,551,407
Personal	\$ 137,923,329	\$ 64,540,929	\$ 73,382,400
Gastos de permanencia	\$ 20,770,000	\$ 20,770,000	
Gastos de transporte	\$ 100,800,000		\$ 100,800,000
Servicios técnicos	\$ 359,472,749	\$ 25,281,448	\$ 334,191,301
Publicaciones	\$ 12,300,000		\$ 12,300,000
SUBTOTAL	\$ 1,387,817,485	\$ 110,592,377	\$ 1,277,225,108
IMPREVISTOS Y OTROS (5%)	\$ 69,390,874	\$ 5,529,619	\$ 63,861,255
TOTAL	\$ 1,457,208,359	\$ 116,121,996	\$ 1,341,086,363
PORCENTAJE	100%	7.97%	92.03%

Fuente: CORPOGUAJIRA 2020.

Los costos discriminados por cada ítem se pueden observar en el documento en Excel denominado "Presupuesto Plan de Monitoreo Ambiental (STC T-614 de 2019)", el cual hace parte integral de este Plan de Monitoreo.

8. SOSTENIBILIDAD DEL PLAN

La inversión para la ejecución del presente plan se deberá garantizar por parte de las entidades comprometidas en el cumplimiento de la Orden Sexta de la Sentencia T-614 de 2019 (MADS,

ANLA y CORPOGUAJIRA), por un monto total de **mil cuatrocientos cincuenta y siete millones, doscientos ocho mil trescientos cincuenta y nueve (\$1,457,208,359) M/L** por año, iniciando su ejecución en el año 2020 y ajustando sus costos según variaciones anuales.

Sin embargo, a partir del segundo año los costos disminuirán ostensiblemente debido a que ya no se requerirá la compra de equipos y la persona que realizaría las actividades asociadas al monitoreo automático y así mismo, no se realizará la caracterización del material particulado. La Tabla 11 presenta los costos hasta el tercer año, asumiendo un incremento anual del 4%.

Tabla 11. Costos anuales del plan de monitoreo para tres (3) años.

COSTOS DE EJECUCIÓN PLAN DE MONITOREO POR AÑO			FUENTES DE FINANCIACIÓN	
			CORPOGUAJIRA	Financiador 2
Año 1	Total	\$ 1,457,208,359	\$ 116,121,996	\$ 1,341,086,363
	Porcentaje	100%	7.97%	92.03%
Año 2	Total	\$ 254,851,585	\$ 120,766,876	\$ 134,084,709
	Porcentaje	100%	47.39%	52.61%
Año 3	Total	\$ 265,045,648	125,597,550	139,448,098
	Porcentaje	100%	47.39%	52.61%

Fuente: CORPOGUAJIRA 2020.

9. INDICADORES OBJETIVAMENTE VERIFICABLES (PRODUCTOS)

En la Tabla 12 se muestran los productos e indicadores para evaluación y seguimiento del Plan.

Tabla 12. Productos e indicadores del Plan de monitoreo.

Actividad	Producto	Descripción	Medido a través de	Indicador de Producto	Unidad	Meta Anual
Monitoreo de agua y sedimentos	Servicio de monitoreo hidrológico	Monitoreo de aguas superficiales y subterráneas para la administración del agua que realizan las autoridades ambientales	Número de visitas	Visitas de monitoreo del recurso hídrico	Número	2
	Servicio de caracterización de la calidad del agua	Medición de la oferta y demanda de agua en detalle suficiente para asignar eficiente y eficazmente el recurso hídrico a nivel de cuencas priorizadas aguas superficiales y subterráneas.	Número de documentos	Documento con análisis de la calidad del recurso hídrico	Número	2
Monitoreo de aire	Servicio de vigilancia de la calidad del aire	Acciones orientadas a vigilar la calidad del aire de una zona determinada.	Número de estaciones	Estaciones de monitoreo de calidad del aire implementadas	Número	2
				Documentos con diagnóstico de la calidad de aire elaborado	Número	17
	Estaciones meteorológicas construidas	Construcción de estaciones de monitoreo de variables atmosféricas, cuyo propósito principal es el estudio y seguimiento del clima	Número de estaciones	Estaciones meteorológicas en operación	Número	2

Actividad	Producto	Descripción	Medido a través de	Indicador de Producto	Unidad	Meta Anual
Divulgación de resultados	Servicio de divulgación de la incorporación de consideraciones ambientales en la planificación sectorial	Acciones orientadas a difundir la información ambiental en el marco del fortalecimiento del desempeño ambiental de los sectores productivos	Número de campañas	Campañas divulgadas	Número	2

Fuente: CORPOGUAJIRA 2020.