

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA MODIFICACIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL TÍTULO MINERO 6823



CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

Rev. 0

Noviembre, 2021



TABLA DE CONTENIDO

2. GENERALIDADES

2.1. ANTECEDENTES

2.2. ALCANCES

2.2.1. Comunicación con otras entidades

2.2.2. Limitaciones y/o restricciones del Estudio de Impacto Ambiental

2.2.3. Permiso de estudio de recolección de especímenes

2.2.4. Marco legal y normativo

2.3. METODOLOGÍA

2.3.1. Área de influencia

2.3.2. Caracterización del área de influencia

2.3.2.1. Medio físico

2.3.2.1.1. Geología

2.3.2.1.1.1. Recopilación y análisis de la información.

2.3.2.1.1.2. Recopilación de información directa y trabajos de campo

2.3.2.1.2. Geomorfología

2.3.2.1.3. Paisaje

2.3.2.1.3.1. Elementos o atributos del paisaje

2.3.2.1.3.2. Unidades de paisaje local

2.3.2.1.3.3. Calidad visual del paisaje.

2.3.2.1.3.4. Análisis de fragilidad del paisaje

2.3.2.1.3.5. Índice de belleza paisajística

2.3.2.1.3.6. Análisis de visibilidad de las unidades de paisaje local.

2.3.2.1.3.7. Descripción del proyecto dentro del componente paisajístico.

2.3.2.1.3.8. Sitios de interés paisajístico.

2.3.2.1.4. Suelos y Usos de la tierra

2.3.2.1.4.1. Precampo - compilación y análisis de información secundaria

2.3.2.1.4.2. Trabajo de campo

2.3.2.1.4.3. Postcampo

2.3.2.1.5. Hidrología

- 2.3.2.1.5.1. Caudales medios
- 2.3.2.1.5.2. Caudales máximos
- 2.3.2.1.5.3. Caudales mínimos
- 2.3.2.1.5.4. Caudales del río Coello
- 2.3.2.1.6. Calidad de agua
 - 2.3.2.1.6.1. Metodología de muestreo
 - 2.3.2.1.6.2. Metodología de análisis
- 2.3.2.1.7. Usos del agua
- 2.3.2.1.8. Hidrogeología
 - 2.3.2.1.8.1. Modelo Hidrogeológico Conceptual - MHC
 - 2.3.2.1.8.2. Modelo Hidrogeológico Numérico (MHN)
- 2.3.2.1.9. Geotecnia
 - 2.3.2.1.9.1. Amenaza Sísmica
 - 2.3.2.1.9.2. Exploración geotécnica y ensayos de caracterización de materiales
 - 2.3.2.1.9.3. Criterios y consideraciones de diseño
 - 2.3.2.1.9.4. Evaluación de la amenaza por estabilidad de taludes.
 - 2.3.2.1.9.5. Monitoreo geotécnico complementario.
 - 2.3.2.1.9.6. Consideraciones geotécnicas etapa de cierre y post-cierre.
- 2.3.2.1.10. Atmósfera
 - 2.3.2.1.10.1. Calidad del aire
 - 2.3.2.1.10.2. Ruido
 - 2.3.2.1.10.3. Vibraciones
- 2.3.3. Medio biótico
 - 2.3.3.1. Ecosistemas
 - 2.3.3.1.1. Flora
 - 2.3.3.1.1.1. Fase Previa
 - 2.3.3.1.1.2. Fase de campo
 - 2.3.3.1.1.3. Fase de análisis
 - 2.3.3.1.1.4. Diagnóstico de la regeneración natural (RN)
 - 2.3.3.1.2. Flora en veda

- 2.3.3.1.2.1. Fase previa
 - 2.3.3.1.2.2. Fase de campo
 - 2.3.3.1.2.3. Fase de análisis
 - 2.3.3.1.3. Análisis de fragmentación
 - 2.3.3.1.4. Fauna
 - 2.3.3.1.4.1. Contexto regional
 - 2.3.3.1.4.2. Área de influencia
 - 2.3.3.1.5. Ecosistemas acuáticos
 - 2.3.3.1.5.1. Fase de campo
 - 2.3.3.1.5.2. Fase de laboratorio
 - 2.3.3.1.5.3. Fase de análisis
 - 2.3.3.2. Medio Socioeconómico
 - 2.3.3.2.1. Información y participación
 - 2.3.3.2.1.1. Primer momento participativo
 - 2.3.3.2.1.2. Segundo momento momento participativo
 - 2.3.3.2.1.3. Tercer momento momento participativo
 - 2.3.3.2.2. Caracterización
 - 2.3.3.3. Servicios Ecosistémicos
 - 2.3.3.3.1. Fase de campo comunidad
 - 2.3.3.3.2. Análisis de datos aportados
 - 2.3.3.3.3. Análisis desde los distintos medios con base en la caracterización
 - 2.3.3.3.4. Caracterización de los servicios ecosistémicos
 - 2.3.4. Zonificación Ambiental
 - 6.4.2. Categorización de la sensibilidad.
 - 6.4.3. Superposición de información temática y obtención de planos intermedios.
 - 6.4.4. Segunda superposición de mapas.
 - 6.4.5. Taller de especialistas.
 - 6.4.6. Presentación de los resultados.
 - 2.3.5. Demanda uso y aprovechamiento de recursos naturales
 - 2.3.5.1. Aguas Superficiales
-

- 2.3.5.2. Aguas Subterráneas
 - 2.3.5.3. Vertimiento
 - 2.3.5.4. Ocupación de Cauce
 - 2.3.5.5. Aprovechamiento Forestal
 - 2.3.5.5.1. Fase de planeación.
 - 2.3.5.5.2. Fase de ejecución.
 - 2.3.5.5.2.1. Método de muestreo.
 - 2.3.5.5.2.2. Recolección de información.
 - 2.3.5.5.3. Fase de análisis de la información.
 - 2.3.5.5.3.1. Identificación de especies.
 - 2.3.5.5.4. Estimación de parámetros para el aprovechamiento forestal.
 - 2.3.5.5.4.1. Diámetro a la altura del pecho.
 - 2.3.5.5.4.2. Área basal.
 - 2.3.5.5.4.3. Volumen total y comercial.
 - 2.3.5.5.4.4. Estimación de biomasa - carbono.
 - 2.3.5.5.5. Estimación de error de muestreo.
 - 2.3.5.6. Emisiones Atmosféricas
 - 2.3.5.7. Fuentes de generación de ruido
 - 2.3.5.8. Permiso de recolección de especímenes de especies silvestres de la biodiversidad
 - 2.3.5.9. Materiales de construcción
 - 2.3.6. Evaluación Ambiental
 - 2.3.6.1. Identificación y evaluación de impactos
 - 2.3.6.2. Evaluación económica ambiental
 - 2.3.6.2.1. Identificación de los impactos relevantes
 - 2.3.6.2.2. Internalización de impactos
 - 2.3.6.2.3. Valoración económica de las externalidades
 - 2.3.6.2.4. Elaborar flujo de caja descontado
 - 2.3.6.2.5. Evaluación de indicadores y análisis de sensibilidad
 - 2.3.7. Zonificación de manejo
 - 2.3.8. Planes y Programas
-

2.3.8.1. Plan de Manejo Ambiental

2.3.8.1.1. Programas de Manejo Ambiental

2.3.8.1.2. Programas de Seguimiento y Monitoreo

2.3.8.1.3. Plan de Gestión del Riesgo

2.3.8.1.4. Plan de Cierre

2.3.8.1.5. Plan de Compensación por pérdida de biodiversidad

2.4. PROFESIONALES INVOLUCRADOS

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización del proyecto

Figura 2. Distribución contratos de Concesión incluyendo polígono de interés (TM 6823).

Figura 3. Delimitación del Contrato de Concesión 8-6823

Figura 4. Proceso definición área de influencia.

Figura 5. Distribución en planta de las perforaciones TM 6823.

Figura 6. Puntos de Monitoreo de Suelos en el Área de estudio

Figura 7. Triángulo textural

Figura 8. Tipos de estructura del suelo (A: Prismática, B: Columnar, C: Bloques angulares, D: Bloques subangulares, E: Laminar, F: Granular)

Figura 9. Localización de estaciones de precipitación.

Figura 10. Hidrograma Unitario Triangular del SCS

Figura 11. Distribución de la precipitación para las subcuencas en estudio, Tr 100 años.

Figura 12. Localización de la estación Payandé y el sitio de vertimiento sobre el río Coello

Figura 13. Flujograma utilizado para la elaboración del modelo hidrogeológico conceptual del área de influencia de la Modificación del Estudio Impacto Ambiental TM 6823

Figura 14. Mapa hidrogeológico que incluye la ubicación de la red piezométrica, área de influencia y ejes secciones de análisis local

Figura 15. Secciones de análisis hidrogeológico conceptual para el área de influencia del TM 6823 y la distribución de las superficies de avance minero proyectado

Figura 16. Esquema para el cálculo de recarga.

- Figura 17. Proceso metodológico de la Caracterización de Flora en Área de Influencia Biótica
- Figura 18. Forma de medir el CAP según las condiciones del terreno y las características del fuste
- Figura 19. Colecta de muestra en campo
- Figura 20. Muestra botánica colectada para proceso de identificación
- Figura 21. Marcación de forófitos en campo
- Figura 22. Forófito marcado
- Figura 23. Medida de CAP de forófitos en campo.
- Figura 24. Muestra de forofito *Senna spectabilis*
- Figura 25. Zonificación del Forofito para epífitas vasculares y no vasculares
- Figura 26. Inspección visual de no vasculares con lupa
- Figura 27. Medición de no vasculares con plantilla
- Figura 28. Colecta de especies no vasculares sobre el forófito.
- Figura 29. Colecta de especies no vasculares sobre roca.
- Figura 30. Figura 46. Extracción de muestra no vascular sobre roca.
- Figura 31. Muestra no vascular marcada.
- Figura 32. Cuadrante con especies no vasculares rupícolas
- Figura 33. Cuadrante con especie vascular *Bromelia karatas*
- Figura 34. Registro Fotográfico – FQ 6. AFLUENTE ZANJÓN LOS HUILOS Temporada seca
- Figura 35. Registro Fotográfico – FQ 7. AFLUENTE ZANJÓN LOS HUILOS Temporada seca
- Figura 36. Registro Fotográfico – FQ 8. ZANJÓN LOS HUILOS Temporada seca
- Figura 37. Registro Fotográfico – FQ 9. PIT DE EXPLOTACIÓN Temporada seca
- Figura 38. Ubicación específica de los piezómetros monitoreados en Temporada seca – proyecto mina La Esmeralda
- Figura 39. Ubicación general de los piezómetros monitoreados en Temporada seca – proyecto mina La Esmeralda
- Figura 40. Registro Fotográfico – FQ1 (R. Coello aguas arriba) Temporada húmeda
- Figura 41. Registro Fotográfico – FQ2 (R. Coello intermedio) Temporada húmeda
- Figura 42. Registro Fotográfico – FQ3 (Rio Coello Intermedio 2) Temporada húmeda
- Figura 43. Registro Fotográfico – FQ7 (Afluente Zanjón Los Huilos) Temporada húmeda
- Figura 44. Registro Fotográfico – FQ8 (Zanjón Los Huilos) Temporada húmeda
- Figura 45. Registro Fotográfico – FQ 9. PIT DE EXPLOTACIÓN Temporada húmeda
- Figura 46. Ubicación específica de las fuentes superficiales monitoreadas en Temporada húmeda – proyecto mina La
-

Esmeralda

Figura 47. Formato calendario cultural y línea de tiempo

Figura 48. Metodología desarrollo servicios ecosistémicos

Figura 49. Obtención de la Sensibilidad Ambiental en el territorio del Área de Influencia del proyecto.

Figura 50. Explicación gráfica de la superposición de información de sensibilidad

Figura 51. Insumos y productos en las actividades generadoras del vertimiento

Figura 52. Marco de la modelación

Figura 53. Título minero 6823 y huella.

Figura 54. Forma de medir el CAP según las condiciones del terreno y las características del fuste

Figura 55. Factor de forma según la forma del fuste

Figura 56. Flujograma metodología evaluación económica ambiental

Figura 57. Migración de atributos desde la zonificación ambiental a la zonificación de manejo

Figura 58. Migración de atributos desde la zonificación ambiental hacia Áreas de Exclusión en la zonificación

Figura 59. Migración de atributos desde la zonificación ambiental hacia Áreas de Intervención con restricciones en la zonificación de manejo

Figura 60. Migración de atributos desde la zonificación ambiental hacia categoría de intervención en la zonificación de manejo

Figura 61. Estructura para el planteamiento de los planes de manejo Fuente: Elaboración propia

Figura 62. Metodología análisis y evaluación de amenazas, vulnerabilidad, exposición y riesgo

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Alinderación del Contrato de Concesión 8-6823

Tabla 2. Alinderación polígono de explotación del Contrato de concesión 8-6823

Tabla 3. Reporte ANLA - Sobreposición de proyectos

Tabla 4. Normatividad

Tabla 5. Relación de puntos de control geológico durante la visita de reconocimiento área de influencia título minero 6823 mina La Esmeralda.

Tabla 6. Campañas de exploración previos al 2019

Tabla 7. Pozos perforados dentro del título 6823 al 2019

Tabla 8. Piezómetros instalados en la Mina La Esmeralda

Tabla 9. Unidades de Paisaje Definidas para el Área de Influencia.

Tabla 10. Atributos Evaluados para cada uno de los Parámetros de acuerdo con los elementos del Paisaje.

Tabla 11. Valoración de los elementos del paisaje para estimar la calidad visual.

Tabla 12. Valoración de la Calidad Visual Total.

Tabla 13. Valoración para los Elementos del Paisaje desde la Fragilidad Visual.

Tabla 14. Clasificación de la Capacidad de Absorción Visual y la Fragilidad Visual.

Tabla 15. Clasificación del Tamaño de la Discordancia.

Tabla 16. Clasificación de los atributos del índice de belleza paisajística.

Tabla 17. Clasificación del Índice de Belleza.

Tabla 18. Coordenadas Puntos de Descripción y Monitoreo de Suelos

Tabla 19. Rangos para clases de pendiente

Tabla 20. Tipos de erosión

Tabla 21. Tipos de fragmentos de roca

Tabla 22. Clases por profundidad efectiva

Tabla 23. Clases texturales del suelo

Tabla 24. Tipos de drenaje natural del suelo

Tabla 25. Clasificación de la velocidad de infiltración

Tabla 26. Clases por grado de fertilidad

Tabla 27. Evaluación de la fertilidad de los suelos

Tabla 28. Usos de los suelos

Tabla 29. Tipos de conflicto de uso de los suelos

Tabla 30. Matriz de decisión para conflictos de uso de los suelos

Tabla 31. Localización del proyecto en la zonificación Hidrográfica

Tabla 32. Estaciones de precipitación empleadas.

Tabla 33. Caudales mínimo del caudal medio mensual.

Tabla 34. Variables y Métodos Analíticos por el Laboratorio

Tabla 35. Puntos de monitoreo agua superficial

Tabla 36. Recipientes para muestras de agua superficial por parámetro

Tabla 37. Técnicas analíticas utilizadas

Tabla 38. Técnicas analíticas utilizadas para los parámetros subcontratados

Tabla 39. Métodos - Parámetros de sedimentos

Tabla 40. Calificación de los Índices de Contaminación ICOs

Tabla 41. Clasificación del Índice Langelier

Tabla 42. Ecuaciones para cálculo del Índice utilizado en el ICA

Tabla 43. Variables y ponderación para el caso de 5 variables

Tabla 44. Calificación de la calidad del agua según los valores que tome el ICA

Tabla 45. IACAL DBO

Tabla 46. Diferencia entre DQO y DBO

Tabla 47. IACAL Sólidos suspendidos totales

Tabla 48. IACAL Nitrógeno total

Tabla 49. IACAL Fósforo total

Tabla 50. Interpretación del índice de alteración potencial de la calidad del agua.

Tabla 51. Clasificación de los cuerpos de agua según su alcalinidad total

Tabla 52. Profundidad de la columna de agua para el año 2017 y 2020 periodo estiaje y lluvias en el área del proyecto mina La Esmeralda con base en la red de piezómetros instalados

Tabla 53. Métodos de referencia

Tabla 54. Equipos de monitoreo.

Tabla 55. Especificaciones técnicas sonómetro empleado campaña 2020

Tabla 56. Unidades de muestreo para cada una de las categorías evaluadas

Tabla 57. Parámetros utilizados para describir estructura de la vegetación

Tabla 58. Substratos por altura ascendente

Tabla 59. Índices de diversidad de las especies

Tabla 60. Rangos y criterios para los índices de Margalef, Shannon y Simpson

Tabla 61. Estadígrafos estimados en cada estrato (coberturas)

Tabla 62. Estadígrafos estimados para la población total.

Tabla 63. Criterios de selección de forófitos

Tabla 64. Número de forófitos muestreados por ecosistema para el área de intervención del proyecto.

Tabla 65. Unidades de muestreo realizados por tipo de ecosistema para las especies no vasculares de hábito terrestre, humícola y rupícola

Tabla 66. Métricas de borde.

Tabla 67. Métricas a Nivel de Clase.

Tabla 68. Grado de Fragmentación.

Tabla 69. Resistencia de las Coberturas para el Área de Influencia del Proyecto.

Tabla 70. Fórmulas para calcular los índices de diversidad alfa analizados

Tabla 71. Ubicación Puntos monitoreados en temporada seca – Mina La Esmeralda

Tabla 72. Ubicación Puntos monitoreados en temporada húmeda – Mina La Esmeralda

Tabla 73. Definición valores dependencia del proyecto

Tabla 74. Definición valores dependencia del proyecto

Tabla 75. Nivel de impacto del proyecto

Tabla 76. Nivel de impacto del proyecto

Tabla 77. Ejemplos de definición de factores – atributos por unidad de zonificación

Tabla 78. Categorías de sensibilidad establecida en la Zonificación Ambiental

Tabla 79. Ejemplo de determinación de categorías de sensibilidad para los factores – atributos definidos

Tabla 80. Matriz de superposición para obtención de zonificación

Tabla 81. Estadígrafos estimados en cada estrato (coberturas)

Tabla 82. Estadígrafos estimados para la población total.

Tabla 83. Ubicación de puntos de aforo

Tabla 84. Contenido de las fichas de manejo

Tabla 85. Contenido ficha de seguimiento y monitoreo

Tabla 86. Equipo de trabajo para la elaboración del EIA - INGETEC.

Tabla 87. Equipo de trabajo para la elaboración del EIA - INGETEC.

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Perfil de suelo

Fotografía 2. Prueba de infiltración en campo

Fotografía 3. Munsell para determinar colores del suelo

Fotografía 4. Infiltrómetro de Doble Anillo

Fotografía 5. Muestreo diurno de herpetofauna con pinza herpetológica. (F_HERP1)

Fotografía 6. Instalación de red de niebla en el área de influencia biótica (F_M01).

Fotografía 7. Manipulación de murciélago capturado en red de niebla (F_M02).

- Fotografía 8. Toma de medidas morfométricas a individuo capturado (F_M03).
- Fotografía 9. Instalación de trampa Sherman (F_M04).
- Fotografía 10. Trampa Sherman instalada (F_M05).
- Fotografía 11. Instalación de cámara trampa (F_M06).
- Fotografía 12. Cámara trampa instalada (F_M07).
- Fotografía 13. Toma de registro fotográfico en recorrido diurno (F_M08).
- Fotografía 14. Búsqueda directa en recorrido de observación nocturno (F_M09).
- Fotografía 15. Realización de entrevista informal a poblador de la zona (F_M10).
- Fotografía 16. Marca de inventario forestal realizado en el título minero
- Fotografía 17. Colecta de muestra en campo
- Fotografía 18. Muestra botánica colectada para proceso de identificación

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Amplitud del intervalo.

Ecuación 2. Capacidad de absorción visual.

Ecuación 3.

Ecuación 4.

Ecuación 5.

Ecuación 6.

Ecuación 7.

Ecuación 8.

Ecuación 9.

Ecuación 10.

Ecuación 11.

Ecuación 12.

Ecuación 13.

Ecuación 14.

Ecuación 15.

Ecuación 16.

Ecuación 17.

Ecuación 18.

Ecuación 19.

Ecuación 20.

Ecuación 21.

Ecuación 22.

Ecuación 23.

Ecuación 24. Índice de simpson.

Ecuación 25.

Ecuación 26.

Ecuación 27.

Ecuación 28.

Ecuación 29.

Ecuación 30.

Ecuación 31.

Ecuación 32.

Ecuación 33.

Ecuación 34.

Ecuación 35.

Ecuación 36.

Ecuación 37.

Ecuación 38.

LISTA DE ANEXOS

CAP2-GENE-LES6823-AN#2.001. Metodología de Evaluación de Impactos INGETEC

CAP2-GENE-LES6823-AN#2.002. Permiso de Colecta INGETEC

CAP2-GENE-LES6823-AN#2.003. Certificación de Presencia de Comunidades - Ministerio de Interior

CAP2-GENE-LES6823-AN#2.004. Arqueología

CAP2-GENE-LES6823-AN#2.005. Comunicación Sobreposición de proyectos

2. GENERALIDADES

La cantera de caliza La Esmeralda está localizada al occidente del corregimiento de Payandé, en el municipio de San Luis, aproximadamente a 20 Km al Sureste de la ciudad de Ibagué, en el departamento del Tolima.

Se accede por la carretera nacional Ibagué-Bogotá, hasta el kilómetro 20 donde se localiza la inspección de Buenos Aires, de donde parte sobre la vía pavimentada hacia Payandé y mina de caliza por 10 km, para un total de 30 km por carretera desde la ciudad de Ibagué (Ver Figura 1).

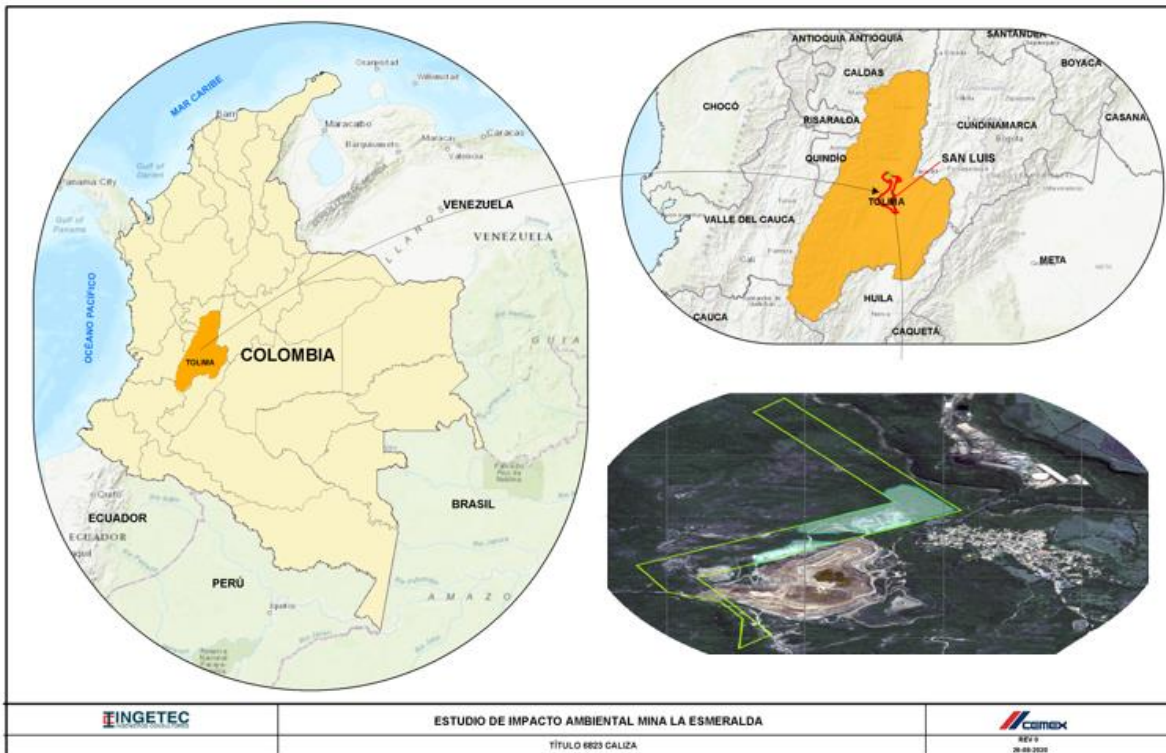


Figura 1. Localización del proyecto

La cantera de La Esmeralda está compuesta por tres Títulos mineros 8-4205, 0745-73 y 8-06823, Figura 2. La cantera inició sus actividades mineras en el primer título, el 8-4205, posteriormente al proyectar su potencial en sentido norte se solicitó el segundo título minero, el 8-06823. Aunque se tienen 2 títulos mineros la cantera es una sola y no se pueden independizar desde el punto de vista del aprovechamiento. Sin embargo, en cumplimiento a la normatividad legal, por cada título se ha realizado la correspondiente diligencia minera y ambiental y en la actualidad se manejan expedientes diferentes por cada título. A continuación se ilustra la distribución de los tres títulos y se resalta específicamente el Título minero 6823 objeto de la modificación del presente estudio.

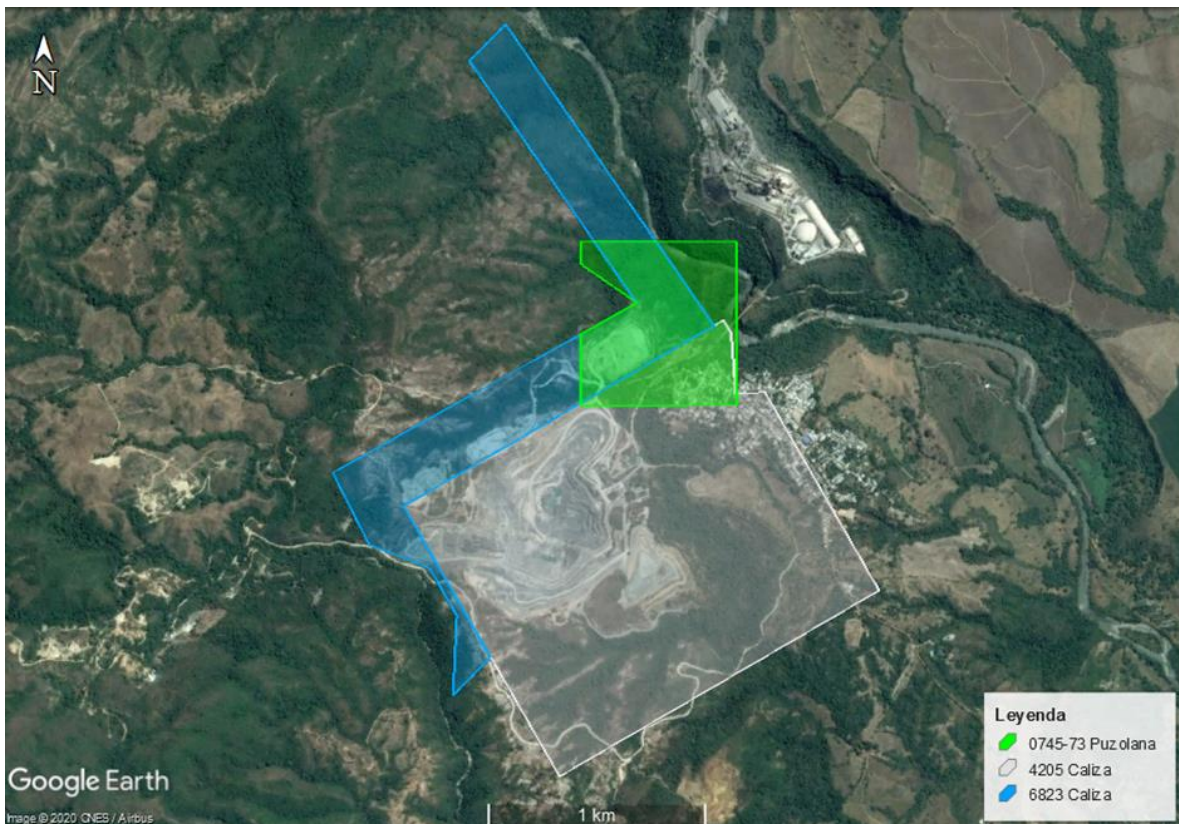


Figura 2. Distribución contratos de Concesión incluyendo polígono de interés (™ 6823).

Fuente: Elaboración propia

El contrato de concesión N.º 6823 se define para la explotación de Caliza y está ubicado al occidente del corregimiento de Payandé, municipio de San Luis en el departamento del Tolima a 20 km de la ciudad de Ibagué. El título minero 6823 otorgado por el Ministerio de Minas y Energía comprende 93 ha y 8425 m², definidas mediante el polígono cuyas coordenadas se presentan en la Tabla 1 y Figura 3, siendo el punto arcifinio el borde externo del atrio de la iglesia del corregimiento de Payandé, municipio de San Luis, Tolima, con coordenadas:

X: 886,724 (Este) 4767251 E (origen único),

Y: 967,010 (Norte) 2033155 N (origen único)

Tabla 1. Alinderación del Contrato de Concesión 8-6823

Lado		Rumbo					Distancia	
De	A	N/S	Grados	Minutos	Segundos	E/W	Metros	Centímetros
A	1	S	55	38	59.00	W	1704	
1	2	N	29	59	44.00	W	800	0
2	3	N	60	1	39.00	E	1650	0
3	4	N	34	44	31.00	W	1680	0
4	5	S	45	0	0.00	W	238	42
5	6	S	34	44	31.00	E	1347	67
6	7	S	61	1	14.00	W	1600	0
7	8	S	27	0	0.00	E	370	0
8	9	S	68	30	0.00	E	300	0
9	10	S	30	0	0.00	E	250	0
10	11	S	3	12	59.00	W	367	68
11	1	N	45	0	0.00	E	250	0

Fuente: Modificación PTO 6823, 2018

Tabla 2. Alinderación polígono de explotación del Contrato de concesión 8-6823

ID	Coord. Sistema Oeste		Coord. Sistema Origen Único	
	Este	Norte	Este	Norte
1	885316,49	966048,51	4765843,34	2032196,44
2	885140,49	965871,52	4765667,14	2032019,74
3	885160,49	966238,51	4765687,66	2032386,60
4	885035,49	966455,52	4765562,99	2032603,72
5	884756,49	966565,52	4765284,22	2032714,08
6	884588,49	966895,52	4765116,74	2033044,23

ID	Coord. Sistema Oeste		Coord. Sistema Origen Único	
	Este	Norte	Este	Norte
7	885988,49	967670,51	4766517,44	2033817,03
8	885220,49	968777,51	4765751,23	2034924,79
9	885388,49	968946,51	4765919,42	2035093,51
10	886346,49	967565,51	4766875,19	2033711,55
11	884917,49	966740,512	4765445,43	2032888,81

Fuente: Cemex, 2019

El nivel de recursos minerales de mina asciende a 155 millones de toneladas, para lo cual se tiene que el contrato de concesión 8-6823 tiene un 31% del total de recursos equivalente a 48,05 millones de toneladas.

La delimitación de los contratos de concesión se presenta en la Figura 3

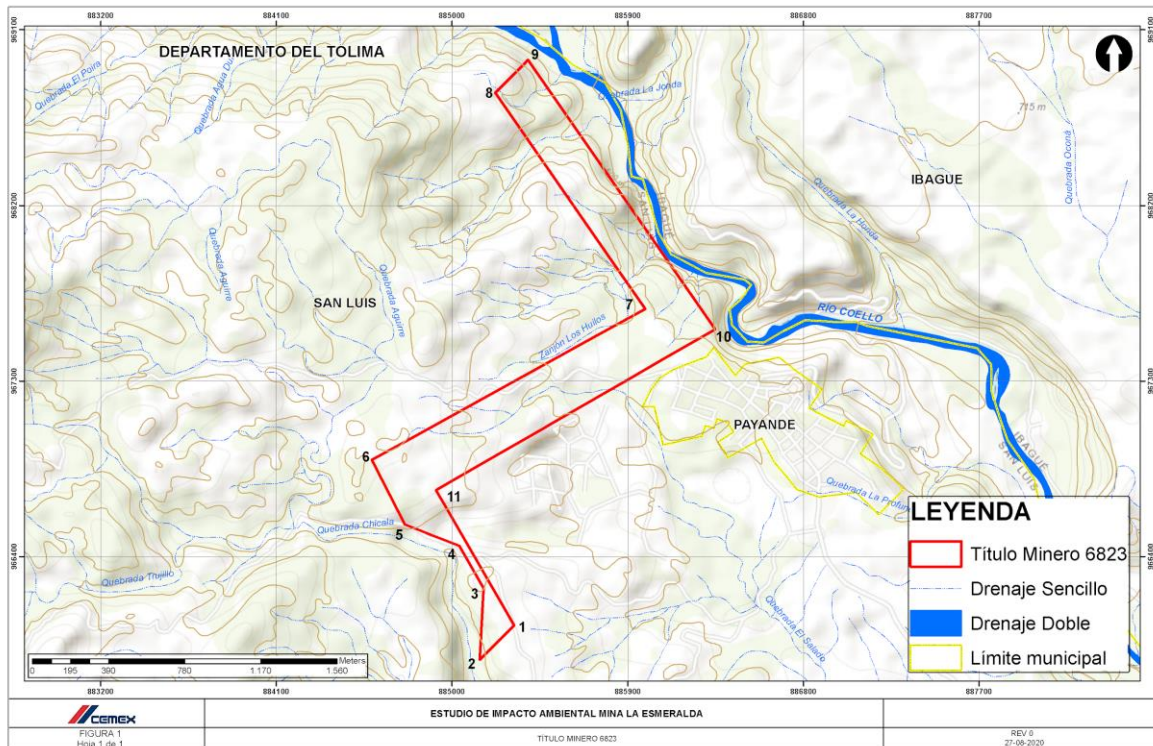


Figura 3. Delimitación del Contrato de Concesión 8-6823
Fuente: Elaboración propia

2.1. ANTECEDENTES

La sociedad CEMENTOS DIAMANTE S.A., presentó el 11 de marzo de 2002, a la Corporación Autónoma Regional del Tolima, el PLAN DE MANEJO AMBIENTAL PARA LA EXPLOTACIÓN EN EL ÁREA CONCESIÓN MINERA N° 6823 de una mina ubicada a un kilómetro de la inspección de Payandé, municipio de San Luís, departamento del Tolima, correspondiente a la Licencia de Explotación No. 6823.

En junio del 2002 la apoderada de CEMENTOS DIAMANTE S.A. presentó a la Corporación Autónoma Regional del Tolima en adelante CORTOLIMA el documento "Complemento del Plan de Manejo Ambiental – Contrato de Concesión N°6823", el Certificado de Existencia y Representación Legal y el Certificado de Uso del Suelo.

Mediante el Auto N°667 del 03 de junio de 2003, CORTOLIMA avoco conocimiento de la solicitud de licencia ambiental y realiza la liquidación de la Tarifa de Evaluación Ambiental.

A través de oficio con radicado número 4120-E1-31659 del 7 de mayo de 2004 la empresa CEMENTOS DIAMANTE S.A, comunicó ante el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible-MADS el cambio de razón social de la empresa por el de CEMEX COLOMBIA S.A, adjuntando para el efecto el correspondiente certificado de Existencia y Representación Legal.

Mediante radicado N°12174 del 14 de noviembre de 2004 la Sociedad CEMEX COLOMBIA S.A. presentó a CORTOLIMA el "COMPLEMENTO AL PLAN DE GESTIÓN SOCIAL DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL CONTRATO DE CONCESIÓN N°6823" para lo cual la subdirección de Calidad Ambiental el 31 de enero de 2005 dio respuesta a la solicitud y sugirió ajustar los términos de referencia para el desarrollo de un Estudio de Impacto Ambiental.

El 06 de julio de 2005 mediante radicado N° 9947 la Sociedad CEMEX COLOMBIA S.A. presentó el documento "ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) Y PLAN DE MANEJO AMBIENTAL (PMA) CONTRATO DE CONCESIÓN N° 6823". para lo cual, mediante Resolución N°1498 el 21 de noviembre de 2005, CORTOLIMA otorgó licencia ambiental global para la explotación de caliza según el contrato de concesión No. 8-6823.

La subdirección de calidad ambiental de CORTOLIMA presentó el 2 de febrero de 2012, el informe técnico de seguimiento ambiental al predio ubicado en el área de la hacienda ubicada en el corregimiento de Payandé, en jurisdicción del Municipio de San Luis.

Mediante radicado N°9238 de 26 de junio de 2014 la Sociedad CEMEX COLOMBIA S.A. Solicitó aprovechamiento forestal único para el desarrollo de labores de la mina La Esmeralda, según contrato de concesión minera N° 6823, trámite que fue iniciado mediante el Auto 5705 del 29 de octubre de 2014.

El 14 de agosto del 2015 CEMEX COLOMBIA S.A. presentó la solicitud de certificación de presencia o no de grupos étnicos en el área de influencia del proyecto al Ministerio del Interior, el cual radicó la solicitud el 01 de septiembre del 2015. Se cuenta con un plazo de 15 días hábiles para obtener respuesta por parte de esta entidad.

Mediante Radicado Cortolima No. 3326 del 28 de febrero de 2014 se presentó la actualización del Plan de Manejo Ambiental y a través del radicado Cortolima No. 415 del 13 de enero de 2015 se solicitó la Prórroga de la licencia Ambiental por la vida útil del proyecto minero 6823, de conformidad con el Decreto 1220 de 2005. Conforme al Radicado 3420 de 2020 , la Autoridad Ambiental manifiesta que el Expediente se encuentra en evaluación por parte de la Subdirección de Calidad Ambiental. Finalmente, bajo Radicado Cortolima 1171 de febrero 1 de 2021 se insiste a Cortolima una definición formal de los trámites de prórroga de licencia ambiental y de presentación de la actualización del PMA y de un recurso de reposición en contra de la Resolución 1833 del 25 de junio de 2018, la cual requirió a la compañía incluir permisos ambientales dentro de la licencia ambiental que no le pertenecen al proyecto minero 6823, sino al título minero 4205, sin una respuesta formal a la fecha por parte de la Autoridad Ambiental

Con el presente documento se solicita la modificación de la licencia ambiental aprobada mediante la Resolución N°1498 del 2005 de acuerdo con la nueva secuencia de explotación proyectada para el Título Minero 6823, la cual

contempla la explotación de las calizas de la Formación Payandé a Tajo Abierto (Open Pit), con bancos descendentes siguiendo un sistema minero pala/camión, ajustado a las especificaciones de diseño consignadas en la actualización del Plan de Trabajos y Obras al 2018.

2.2. ALCANCES

El Estudio de Impacto Ambiental se realizó dando cumplimiento a lo requerido por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) en los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) en proyectos de explotación minera TdR-13; así como lo establecido la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales de la ANLA (2018) y tomando en cuenta el marco normativo nacional aplicable. adicionalmente a partir de información levantada en campo y fuentes oficiales para evaluar y tomar decisiones asociadas con el Proyecto”, con el propósito que se puedan identificar en primer lugar los impactos tanto positivos como negativos asociados a la operación del proyecto , para posteriormente, definir sus correspondientes estrategias de manejo direccionadas a la prevención, corrección, compensación y/o mitigación. En tal sentido, el alcance de este estudio involucra:

- Describir las características y especificaciones técnicas de las fases y actividades del proyecto.
- Delimitar el área de influencia del proyecto de acuerdo a los criterios técnicos para los medios abiótico, biótico y socioeconómico y cultural, partiendo de los posibles impactos significativos que genere el proyecto.
- Caracterizar y actualizar las condiciones de los medios abiótico, biótico, socioeconómico y cultural del área de influencia del proyecto, con el propósito de establecer la línea base que permita evaluar la importancia y sensibilidad de los elementos ambientales.
- Definir la zonificación ambiental del proyecto mediante un método cualitativo y cuantitativo, que permita valorar los grados de sensibilidad e importancia de los elementos del medio ambiente en su condición sin proyecto.
- Establecer los requerimientos del proyecto en cuanto al uso y aprovechamiento de los recursos naturales, partiendo de la cuantificación y evaluación de la oferta existente en el área de estudio, con el fin de determinar la viabilidad de su uso para el proyecto.
- Evaluar los posibles impactos que se pueden generar por la ejecución del proyecto y proponer las respectivas medidas de manejo para prevenir, mitigar, controlar y/o compensar dichos impactos sobre los medios abiótico, biótico y socioeconómico y cultural.
- Establecer la zonificación de manejo ambiental del proyecto, que responda a los resultados de la zonificación ambiental y a los elementos legalmente establecidos, como herramienta de planeación para la intervención área de influencia.
- Presentar la evaluación económica ambiental desarrollada para el proyecto, como instrumento para ser validado en el proceso de modificación de la licencia ambiental.
- Actualizar los planes, programas y acciones de manejo socioambiental orientadas a promover la gestión planificada del medio, en las actividades que contempla el proyecto.
- Identificar y valorar los riesgos que se podrían generar sobre el medio ambiente y el componente socioeconómico por la ejecución del proyecto, con el fin de establecer lineamientos generales de prevención, atención y control eficiente de las emergencias.

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

- Documentar las acciones que hacen parte del Plan de Abandono y Cierre, las cuales permitirán restituir las variables estructurales de los ecosistemas impactados por el proyecto, una vez éste finalice.
- Establecer el plan de compensación por pérdida de biodiversidad, en concordancia con la afectación generada por las obras o actividades del proyecto sobre los ecosistemas del área de estudio.
- Desarrollar y documentar los procesos de participación ciudadana que se ejecutaron en el contexto del estudio, con el fin de evidenciar el proceso de construcción conjunta realizada con las comunidades del área.

2.2.1. Comunicación con otras entidades

CEMEX Colombia S.A.remitió oficios a diferentes entidades de orden nacional y departamental solicitando información sobre la sobreposición del proyecto con otros que estén en proceso de trámite de un permiso ambiental (Ver CAP2-GENE-LES6823-AN#2.005), así mismo ante el Ministerio de Interior elevó la solicitud de certificación de presencia de comunidades étnicas (Ver CAP2-GENE-LES6823-AN#2.003) y tramitó ante el Instituto Colombiano de Antropología e Historia el informe final de la prospección arqueológica en la Planta Minera la Esmeralda (Ver CAP2-GENE-LES6823-AN#2.004

Tabla 3. Carta con entidades nacionales y/o regionales

Entidad	Asunto	Radicación de la solicitud	Respuesta de la entidad	Anexo
CORTOLIMA	Proyectos en proceso del licenciamiento en el área del proyecto	COMUNICACIÓN 0375201-CEMEX-007-20 de septiembre de 2020	Radicado NO. 12936 del 14 de septiembre de 2021	CAP2-GENE-LES6823-AN#2.005
AUTORIDAD NACIONAL DE LICENCIAS AMBIENTALES	Proyectos en proceso del licenciamiento en el área del proyecto	Radicación ANLA No.: 2021145571-1-000 de 17 de julio de 2021	Radicación: 2021151561-2-000 23 de julio de 2021	CAP2-GENE-LES6823-AN#2.005
MINISTERIO DEL INTERIOR.	Certificación presencia de grupos étnicos	EXTMI2021-12237,	ST- 1199 DE 30 AGO 2021	CAP2-GENE-LES6823-AN#2.003
INSTITUTO COLOMBIANO DE ANTROPOLOGÍA E HISTORIA	Aprobación Informe final de prospección arqueológica	Radicación No. 2457 del 2020	Resolución 310 de 28 de mayo del 2020	CAP2-GENE-LES6823-AN#2.004

2.2.2. Limitaciones y/o restricciones del Estudio de Impacto Ambiental

INGETEC a través de la comunicación con radicación ante Cortolima bajo el consecutivo 7379 de octubre 8 de 2020 solicitó información sobre la presencia de proyectos que pudieran sobreponerse en el área del proyecto . La Corporación mediante comunicación 100.04.4.1 informó respecto a la presencia de proyectos licenciados, proyectos en proceso de licenciamiento y la existencia de terceros intervinientes en el área de concesión minera del título minero 745 en jurisdicción del municipio de Payande, relaciona listado de proyectos localizados en el municipio , sin embargo no relacionan la presencia de alguna sobreposición

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

Igual consulta se realizó ante la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales informando con la comunicación 2021151561-2-00023 de julio de 2021, que se realizó la consulta con la base de datos geográfica de ANLA consolidada a la fecha, de proyectos licenciados y en evaluación en los polígonos “Huella_proyecto_6823” encontrando superposición con los siguientes proyectos.

Tabla 3. Reporte ANLA - Sobreposición de proyectos

Expediente	Sector	Operador	Proyecto	No. Acto administrativo	Fecha del . Acto administrativo
LAM 1499	Minería	Cemex Colombia SA	PMA para la explotación de calizas en Payande	367	31/03/2003

Por otro lado, luego de realizar la consulta en el Sistema de Información Ambiental de Colombia –SIAC, se observó que el Proyecto no se intercepta con algún elemento Sistema Nacional de Áreas Protegidas - SINAP, (ver anexo CAP2-GENE-LES6823-AN#2.005. Adicionalmente, las áreas de proyecto, fueron estudiadas en el marco de los Esquemas de Ordenamiento Territorial (EOT) para los municipios de San Luis (2001) y los POMCA¹, de los ríos Luisa y Coello.

2.2.3. Permiso de estudio de recolección de especímenes

INGETEC cuenta con el permiso de estudio para la Recolección de Especímenes de Especies Silvestres de la Diversidad Biológica con Fines de Elaboración de Estudios Ambientales otorgado mediante Resolución 01749 del 04 de septiembre de 2019 (ANLA)². Igualmente se contó con el apoyo del laboratorio AGQ Prodycon quien cuenta permiso de estudio para la Recolección de Especímenes de Especies Silvestres de la Diversidad Biológica con Fines de Elaboración de Estudios Ambientales otorgado mediante Resolución 01586 del 8 de agosto de 2019. (Ver anexo CAP2-GENE-LES6823-AN#2.002.)

2.2.4. Marco legal y normativo

Dentro del marco legal colombiano aplicable a este proyecto, se presenta la reglamentación inherente al uso de los recursos naturales relacionados con el proyecto, a través de los siguientes códigos, leyes, resoluciones y decretos que se muestran en la siguiente tabla

¹ Corporación Autónoma Regional del Tolima. PLANES DE ORDENACIÓN DE MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS. 2018 [Sitios web]. Ibagué: CORTOLIMA. [Consulta: 22 de Abril del 2020]. Disponible en: <https://www.cortolima.gov.co/cuenca-gual/gesti-n-integral-recurso-h-drlico>.

² COLOMBIA. Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). Resolución 01749 de 2019 (04 de septiembre de 2019). Por medio de la cual se otorga el Permiso de Estudio para la Recolección de Especímenes de Especies Silvestres de la Diversidad Biológica con Fines de Elaboración de Estudios Ambientales y se toman otras determinaciones. BOGOTA D.C.: 2019. 48p.

Tabla 4. Normatividad

No.	Norma Técnica				Temática
	Entidad emisora	Identificación	Título	Fecha de aprobación	
1	Congreso de Colombia	Ley 2 de 1959	Por el cual se dictan normas sobre economía forestal de la Nación y conservación de recursos naturales renovables.	16/12/1959	Diversidad biológica
2	Todos los ministerios	Decreto 2811 de 1974	Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente	18/12/1974	Recursos naturales
3	Ministerio de Salud Pública	Decreto 1541 de 1978 compilado en el Decreto 1076 de 2015.	Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973.	28/07/1978	Ocupación de cauces
4	Ministerio de Salud	Ley 9 de 1979	Código Sanitario Nacional	24/01/1979	Medidas sanitarias. Control sanitario de los usos del agua. Residuos líquidos. Residuos sólidos. Disposición de excretas. Emisiones atmosféricas. Áreas de captación. Suministro de agua.
5	Ministerio de Salud Pública	Resolución 2309 de 1986	Por la cual se dictan normas para el cumplimiento del contenido del Título III de la parte 4a. del Libro 1o. del Decreto Ley N° 2811 de 1974 y de los Títulos I, II y XI de la Ley 09 de 1979, en cuanto a Residuos Especiales.	24/02/1986	Residuos sólidos
6	Asamblea		Constitución Política de	20/07/1991	Saneamiento

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

No.	Norma Técnica				Temática
	General Constituyente		Colombia de 1991 2		ambiental. Función social y ecológica de la propiedad. Bienes de la Nación. Derecho a intervenir en los procedimientos administrativos ambientales. Las culturas Patrimonio cultural Derechos colectivos y del ambiente.
7	Congreso de Colombia	Ley 99 de 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y se dictan otras disposiciones.	22/12/1993	Licencias ambientales. Modos y procedimientos de participación ciudadana
8	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Decreto 1076 de 2015	Art. 2.2.5.1.1.1 Contiene el Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire	26/05/2015	Aire y ruido
9	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Decreto 1076 de 2015	Parte 2 Reglamentaciones. Título 2 Biodiversidad. Capítulo 1 Flora Silvestre	26/05/2015	Aprovechamiento forestal
10	Ministerio del Medio Ambiente	Resolución 273 de 1997	Por la cual se fijan las tarifas mínimas de las tasas retributivas por vertimientos líquidos para los parámetros Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST).	01/04/1997	Vertimientos
11	Ministerio de Ambiente y Desarrollo	Decreto 1076 de 2015	Capítulo 9. Certificado de Incentivo Forestal para la Conservación	26/05/2015	Aprovechamiento forestal

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

No.	Norma Técnica				Temática
	Sostenible				
12	Ministerio del Medio Ambiente	Resolución 372 de 1998	Por la cual se actualizan las tarifas mínimas de las tasas retributivas por vertimientos líquidos y se dictan disposiciones.	06/05/1998	Vertimientos
13	Ministerio del Interior	Decreto 321 de 1999	Por el cual se adopta el Plan Nacional de Contingencia contra derrames de Hidrocarburos, Derivados y Sustancias Nocivas.	17/02/1999	Contingencia
14	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Decreto 1076 de 2015	Parte 2. Reglamentaciones. Título 2 Biodiversidad. Capítulo 5 Investigación científica. Sección 1 Investigación científica sobre Diversidad Biológica	26/05/2015	Diversidad biológica
15	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Resolución 0058 de 2002	Por la cual se establecen normas y límites máximos permisibles de emisión para incineradores y hornos crematorios de residuos sólidos y líquidos. Derogado parcialmente por la Resolución 909 de 2008.	21/01/2002	Residuos sólidos
16	Departamento Administrativo de la Función Pública.	Resolución 2106 de 2019	Por el cual se dictan normas para simplificar suprimir y reformar trámites, procesos y procedimientos innecesarios existentes en la administración pública	22/11/2019	Levantamiento de veda
17	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Resolución 0256 de 2018	Por la cual se adopta la actualización del manual de compensaciones ambientales del componente biótico y se toman otras determinaciones	22/02/2018	Compensaciones del componente biótico

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

No.	Norma Técnica			Temática	
18	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Resolución 1428 de 2018	Por la cual se modifican los artículos 9, 10 y 12 de la Resolución N. 256 del 22 de febrero de 2018, por medio de la cual se adopta la actualización del Manual de Compensaciones Ambientales del Componente Biótico y se toman otras determinaciones	31/07/2018	Compensaciones el componente biótico
19	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Decreto 1076 de 2015	Título 6 Residuos Peligrosos. Capítulo 1 en la cual se regula el manejo de los residuos peligrosos	26/05/2015	Residuos especiales
20	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Decreto 1076 de 2015.	Art. 2.2.5.1.2.8 Niveles de prevención de alerta y emergencia por contaminación del aire. Art 2.2.5.1.9.2 Planes de contingencia por contaminación atmosférica. Art 2.2.5.1.10.4 Clasificación "áreas fuente" de contaminación	26/05/2015	Aire y ruido
21	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Resolución 627 de 2006	Por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental.	07/04/2006	Ruido
22	Ministerio de la Protección Social	Decreto 1575 de 2007	Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.	08/05/2007	Vertimientos
23	Ministerio de la Protección Social. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo	Resolución 2115 de 2007	Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano	22/06/2007	Vertimientos

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

No.	Norma Técnica			Temática
	Territorial			
24	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Resolución 1362 de 2007	Por la cual se establecen los requisitos y el procedimiento para el Registro de Generadores de Residuos o Desechos Peligrosos, a que hacen referencia los artículos 27 y 28 del Decreto 4741 del 30 de diciembre de 2005.	02/08/2007 Residuos sólidos
25	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Resolución 909 de 2008	Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones.	05/06/2008 Aire y ruido
26	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Decreto 1076 de 2015	Reglamentación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas: Título 2 Gestión Ambiental. Capítulo 1 Áreas de manejo especial	26/05/2015 Sistema de áreas protegidas
27	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Resolución 1309 de 2010	Por la cual se modifica la Resolución 909 del 5 de junio de 2008	13/07/2010 Aire
28	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Decreto 1076 de 2015.	Título 3 Aguas no marítimas. Capítulo 3 Ordenamiento del recurso hídrico y vertimientos. Establece las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, ordenamiento y vertimientos al recurso hídrico, suelo y alcantarillado	26/05/2015 Vertimientos
29	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Decreto 1076 de 2015	Título 3 Aguas no marítimas. Capítulo 1 Instrumentos para la planificación, ordenación	26/05/2015 Cuencas hidrográficas

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

No.	Norma Técnica			Temática
			y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos	
30	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Decreto 1076 de 2015	Título 9 Instrumentos financieros, económicos y tributarios. Capítulo 7 Tasas retributivas por vertimientos puntuales al agua	Vertimientos
31	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Decreto 1076 de 2015	Capítulo 9 Colecciones biológicas. Sección 2 Permiso de estudio para la recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de elaboración de estudios ambientales.	Diversidad biológica
32	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Resolución 1207 de 2014	Por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas	Vertimientos
33	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Decreto 1076 de 2015	Título 2 Gestión Ambiental. Capítulo 3 contiene la reglamentación de Licencias Ambientales	Licencias ambientales
34	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Resolución 631 de 2015	Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.	Vertimientos
35	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Decreto 1076 de 2015	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.	Medio ambiente y recursos naturales renovables
36	Congreso de	Ley 1757 de	Por la cual se dictan	Mecanismos de

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

No.	Norma Técnica			Temática
	Colombia	2015	disposiciones en materia de promoción y protección del derecho a la participación democrática.	participación ciudadana
37	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Resolución 1377 de 2015	Por la cual se modifica la Resolución 909 de 2008 y se adoptan otras disposiciones	Aire
38	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Decreto 2099 de 2016	Por el cual se modifica el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, Decreto 1076 de 2015, en lo relacionado con la "Inversión forzosa por la utilización del agua tomada directamente de fuentes naturales" y se toman otras determinaciones.	Plan de inversión del 1%
39	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Resolución 472 de 2017	Por la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de Construcción y Demolición (RCD) y se dictan otras disposiciones.	Residuos especiales
40	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio	Resolución 0330 de 2017	Por lo cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico - RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009	Agua potable y saneamiento básico
41	Ministerio de Cultura	Ley 397 de 1997	Ley General de Cultura, reglamentada parcialmente por los Decretos Nacionales 833 de 2002, 763, 2941 de 2009, 1100 de 2014. Refiere al Patrimonio	Arqueología

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

No.	Norma Técnica			Temática	
			Arqueológico y Patrimonio Cultural de la Nación de naturaleza material, al Régimen Especial de Protección de los bienes de interés cultural y al Patrimonio Cultural de la Nación de naturaleza inmaterial.		
42	Ministerio de Cultura	Ley 1185 de 2008	Modifica y adiciona la Ley 397 de 1997, Ley General de Cultura.	12/05/2008	Arqueología
43	Ministerio de Cultura	Decreto Ley 833 de 2002	Decreto 833 de 2002, por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 397 de 1997 en materia de Patrimonio Arqueológico Nacional y se dictan otras disposiciones.	26/04/2002	Arqueología
44	Ministerio de Cultura	Decreto 2667 de 1999	Por el cual se modifica la estructura del Instituto Colombiano de Cultura Hispánica, se crea el Instituto Colombiano de Antropología e Historia.	24/12/1999	Arqueología
45	Ministerio de Cultura	Decreto 763 de 2009	Se reglamentan parcialmente las Leyes 814 de 2003 y 397 de 1997 modificadas por la Ley 1185 de 2008, correspondiente al Patrimonio Cultural de la Nación de naturaleza material.	10/05/2009	Arqueología
46	ICANH	-	Régimen legal y lineamientos técnicos de los programas de arqueología preventiva en Colombia	15/07/2010	Arqueología
47	Ministerio del Interior	Decreto 1320	Por el cual se reglamenta la consulta previa con las comunidades indígenas y negras para la explotación de los recursos naturales	13/07/1998	Consulta previa

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

No.	Norma Técnica			Temática
			dentro de su territorio.	
48	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Resolución 0256	Por la cual se adopta la actualización del Manual de Compensaciones Ambientales del Componente Biótico y se toman otras determinaciones	22/02/2018 Plan de Compensación
49	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Resolución 1669	Por la cual se adoptan los criterios técnicos para el uso de herramientas económicas en los proyectos, obras o actividades objeto de licencia ambiental o instrumento equivalente y se adoptan otras disposiciones	15/08/2017 Valoración económica de impactos
50	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Resolución 1912	Por la cual se establece el listado de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana continental y marino costera que se encuentran en el territorio nacional, y se dictan otras disposiciones	15/09/2017 Diversidad biológica
51	Departamento Administrativo de la Presidencia de la República	Decreto 2157	Por medio del cual se adoptan directrices generales para la elaboración del plan de gestión del riesgo de desastres de las entidades públicas y privadas en el marco del artículo 42 de la ley 1523 de 2012	20/12/2017 Plan de Gestión del Riesgo
52	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Resolución 2254	Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones	01/11/2017 Calidad del aire
53	Ministerio de Ambiente y Desarrollo	Decreto 050	Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1076 de 2015, Decreto	16/01/2018 Hidrología

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

No.	Norma Técnica			Temática
	Sostenible		Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible en relación con los Consejos Ambientales Regionales de la Macrocuencas (CARMAC), el Ordenamiento del Recurso Hídrico y Vertimientos y se dictan otras disposiciones	
54	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Resolución 0827	Por la cual se adopta el Sistema Técnico de Clasificación y se dictan otras disposiciones	16/05/2018 General
55	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Resolución 0886	Por la cual se adoptan los lineamientos para la zonificación y régimen de usos en las áreas de páramos delimitados y se establecen las directrices para diseñar, capacitar y poner en marcha programas de sustitución y reconversión de las actividades agropecuarias y se toman otras determinaciones	18/05/2018 Zonificación
56	Congreso de Colombia	Ley 685 de 2001	Por la cual se expide el Código de Minas y se dictan otras disposiciones.	15/08/2001 Zonificación ambiental
57	Consejo Nacional de Política Económica y Social República de Colombia Departamento Nacional de Planeación	CONPES 3680	Lineamientos para la consolidación del sistema nacional de áreas protegidas.	21/07/2010 Ecosistemas estratégicos - Zonificación ambiental
58	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Decreto 2245 de 2017	Por el cual se reglamenta el artículo 206 de la Ley 1450 de 2011 y se adiciona una sección al	29/12/2017 Ecosistemas estratégicos- Zonificación ambiental

No.	Norma Técnica			Temática
			Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con el acotamiento de rondas hídricas	

Fuente: Elaboración propia

2.3. METODOLOGÍA

2.3.1. Área de influencia

Para la definición, identificación y delimitación del área de influencia se acogerá el proceso que se presenta en la Figura 4 Inicialmente se establecerá un área de influencia preliminar sobre la cual se desarrollará la caracterización, se identificarán y se evaluarán los impactos. Posteriormente, a partir de los resultados de la evaluación ambiental, la cual arroja los impactos significativos, se logra obtener el área de influencia definitiva para cada medio y sus respectivos componentes. Finalmente, de la sumatoria de las áreas de influencia definitiva por medio y componente se obtiene el área de influencia del proyecto.

Los componentes sobre los cuales se hace el análisis de las áreas de influencia corresponden a los componentes de cada uno de los medios (abiótico, biótico y socioeconómico) que se desarrollarán en el capítulo de Caracterización del Área de Influencia del estudio de impacto ambiental.

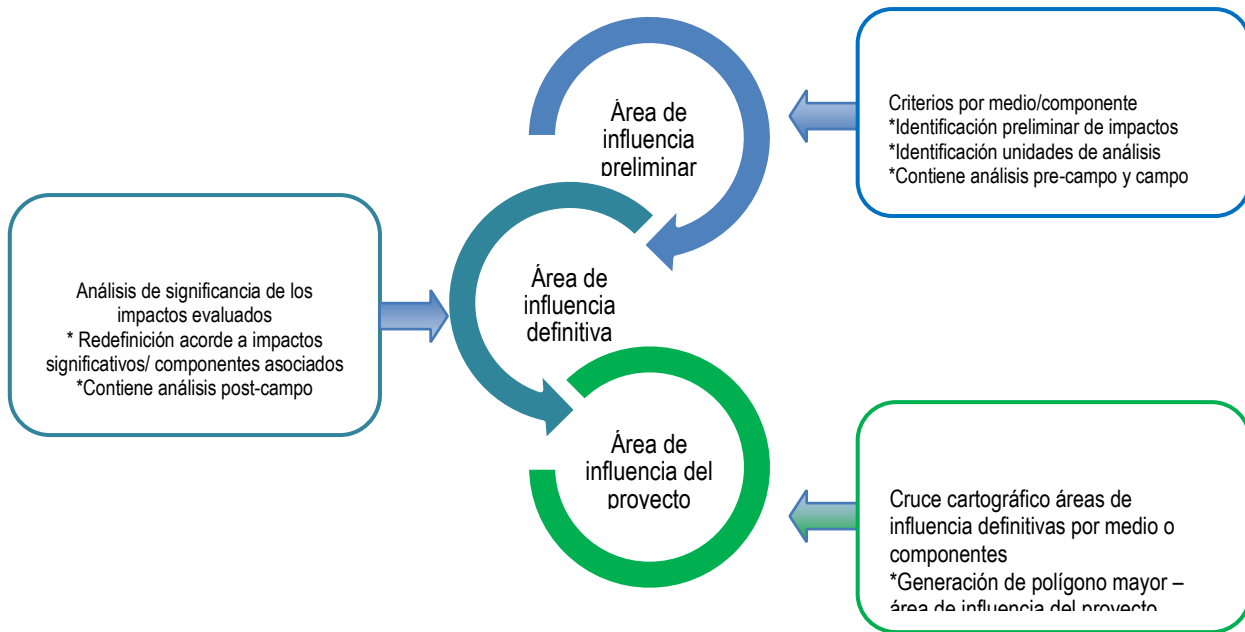


Figura 4. Proceso definición área de influencia.

El primer paso para la definición del área de influencia preliminar del proyecto consistió en el entendimiento del territorio desde la información secundaria disponible y de las implicaciones asociadas a las obras y actividades propias del proyecto para identificar los potenciales impactos que se podrían generar.

Una vez identificados desde cada componente los potenciales impactos a generar por el proyecto, se realiza un taller de expertos, en el cual se hace una primera aproximación conjunta a su espacialización en el territorio; se discute su posible implicación sobre los atributos ambientales propios de otros componentes y/o medios y a partir de allí se ajusta el área preliminar de afectación del impacto. Las áreas resultantes se digitalizan en ArcGis para ser socializadas en un segundo taller, en el cual se homologan áreas con interés de evaluación desde diferentes componentes, se establecen las variables o aspectos más representativos o sensibles que puedan tener mayor relevancia en el desarrollo del proyecto a la hora de evaluar los impactos, se identifican los impactos que en este nivel de avance de los estudios se consideran como los más significativos por sus efectos, se obtiene la espacialización de la extensión en el territorio y se avala por todos los participantes el área de influencia preliminar.

Posteriormente, y una vez realizada la evaluación ambiental de impactos, definida la extensión de los mismos y establecida el área de influencia definitiva para los diferentes componentes o grupos de componentes del ambiente, se procede a realizar un taller final de expertos, con el objetivo de evaluar posibles implicaciones de las superposiciones e interacciones entre estas áreas identificadas. Los análisis realizados permiten corroborar -en muchos casos- o redelimitar -en otros- las áreas de influencia definitiva para los diferentes grupos de componentes o componentes del ambiente.

Finalmente, con el fin de obtener el área de influencia del proyecto, y de acuerdo con lo establecido en Guía para la definición, identificación y delimitación del área de influencia (ANLA, 2018), “el área de influencia del proyecto, obra o actividad debe considerarse como una única área, no necesariamente continua, que resulta de la integración o sumatoria de las áreas de influencia por componente, grupos de componentes o medios”, aclarando que “Los impactos ambientales significativos se determinan después del proceso de evaluación ambiental del proyecto y corresponden a los que obtengan mayores calificaciones, de acuerdo con la metodología utilizada y la jerarquía de valoración establecida” (ANLA, 2018).

2.3.2. Caracterización del área de influencia

2.3.2.1. Medio físico

2.3.2.1.1. Geología

Las consideraciones técnicas establecidas como parámetros para definir, identificar y delimitar el área de influencia del proyecto en esta etapa del estudio ambiental a nivel del componente geoesférico, se basan en los conceptos de medio y del componente Físico, determinados en los términos de referencia establecidos para la formulación de Estudios de Impacto Ambiental para Proyectos Mineros (Resolución 2206 del 27 de diciembre de 2016 de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA). El área de influencia del proyecto en el componente geoesférico, se ha considerado aquella donde se manifiestan los impactos directos generados por las actividades de desmonte y operación por las actividades de explotación del yacimiento de calizas y su infraestructura asociada para el Título Minero 6823.

2.3.2.1.1.1. Recopilación y análisis de la información.

La caracterización geoambiental para el área de influencia del componente, tuvo en cuenta la descripción de las unidades litológicas y los rasgos estructurales, tomando como fuente principal de información secundaria los estudios realizados por INGEOMINAS hoy Servicio Geológico Colombiano, estudios de otras entidades del territorio e informes elaborados por diferentes firmas consultores para CEMEX Colombia S.A. Los documentos e información de referencia que sustentan los análisis abordados en la caracterización geoambiental, se listan a continuación:

- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS). 2010. Reglamento colombiano de Construcción Sismorresistente (NSR-10). Bogotá D.C.
- Esquema de Ordenamiento Territorial municipio de San Luis, Tolima. 2001. Tomo I. Diagnóstico.
- Cemex Colombia, 2018. Actualización Programa de Trabajos y Obras Contrato de Concesión 8-6823.
- Cemex Colombia, 2021. Ortofoto mina La Esmeralda
- Cemex Colombia, 2021. Secuencia minera proyectada TM 6823.
- Geología y Geotecnia - GYG S.A.S. 2019. Análisis geotécnico condición pseudo estática por voladuras mina La Esmeralda.
- GOTTA INGENIERÍA SAS. 2013. Actualización del Estudio Hidrológico e Hidrogeológico en la Zona de Influencia del Pit Final de la Mina La Esmeralda. Medellín.
- Gotta Ingeniería S.A.S, 2013. Informe final: actualización del estudio hidrológico e hidrogeológico en la zona de influencia del Pit Final de la mina La Esmeralda, Títulos Mineros 8-4205 y 8-6823.
- Hidroceron, 2007. Estudio hidrológico e hidrogeológico en el área de influencia de las operaciones mineras de Cemex Colombia en el municipio de San Luis – Tolima.
- Ingeniería, Geología y Perforaciones - IGP S.A.S. 2020. Informe de instrumentación control de inclinómetros y piezómetros mina La Esmeralda Cemex, Payandé. Junio De 2020
- INGEOMINAS. 2002. Mapa Geológico de Colombia Plancha 245 Girardot. Bogotá-Colombia
- INGEOMINAS, 2002. Evaluación de la amenaza volcánica potencial del Cerro Machín. Departamento del Tolima, Colombia. Manizales.
- INGEOMINAS, 2002. Mapa evaluación de la amenaza volcánica potencial del Cerro Machín. Departamento del Tolima, Colombia. Manizales.
- INGEOMINAS, 2003. Memoria explicativa del mapa de Amenaza Volcánica del Cerro Machín. Bogotá.
- Cortolima - Universidad de Ibagué, 2018. Proyecto Piloto Ajuste Parcial a la Zonificación Ambiental del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Coello
- INGETEC, 2016. Informe de Modificación del Plan de Manejo Ambiental Título Minero 4205 - Capítulo 4: Caracterización Ambiental del Área de Estudio.
- Rocks & Rocks, 2020. Informe petrografía muestras LCPG-01 a LCPG-22. Mina La Esmeralda.
- Servicio Geológico Colombiano - SGC. 2015. Guía metodológica para estudios de amenaza vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa - escala detallada. Bogotá D.C.

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

- Servicio Geológico Colombiano - SGC. Mayo, 2021. Boletín Informativo No-2955. Actividad Volcánica segmento Norte de Colombia. Volcán Cerro Machín.
- Red Sismológica Nacional - RSN. 2021. Registro eventos sísmicos.

2.3.2.1.1.2. *Recopilación de información directa y trabajos de campo*

La información de referencia ha sido actualizada con base en los resultados de campañas de campo y de las investigaciones del subsuelo ejecutadas en la mina La Esmeralda; involucra los resultados asociados a las actividades de exploración geotécnica y el programa de ensayos tanto de campo como de laboratorio. En este punto es relevante mencionar, la información recopilada por parte de Cemex a través de las campañas de exploración adelantadas, en donde los trabajos más recientes incluyeron la toma de 16 muestras, lo cual ha permitido complementar la información existente (i.e. proveniente de estudios anteriores) para así construir el modelo geológico geotécnico usado como base y que soportan los análisis de estabilidad de la zona de estudio.

El modelo geológico de superficie y del subsuelo del yacimiento, se sustenta en los resultados de los estudios previos, reconocimiento en campo, exploraciones geotécnicas, que han permitido establecer la distribución de las unidades en planta y a nivel vertical, diferenciando las unidades de roca, suelos y coberturas cuaternarias que hacen parte del área de influencia del proyecto; los puntos de control geológico efectuados en la visita de campo en el mes de septiembre de 2020, se relacionan en la Tabla 5.

Tabla 5. Relación de puntos de control geológico durante la visita de reconocimiento área de influencia título minero 6823 mina La Esmeralda.

Punto de Control	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá		Coordenadas Origen Único Nacional		Punto de Control	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá		Coordenadas Origen Único Nacional	
	Este	Norte	Este	Norte		Este	Norte	Este	Norte
814	885244	966759	4765771,9	2032906,8	854	885822	967828	4766351,2	2033974,7
815	885135	966664	4765662,8	2032812,0	855	886147	967376	4766675,5	2033522,4
816	885180	966657	4765707,8	2032804,9	856	886169	967260	4766697,3	2033406,4
817	885197	966666	4765724,8	2032813,9	857	886151	967275	4766679,3	2033421,4
818	885203	966685	4765730,8	2032832,9	858	885954	967096	4766482,1	2033242,7
819	885139	966733	4765666,9	2032881,0	859	885979	967018	4766507,0	2033164,7
820	884762	966804	4765290,1	2032952,5	860	886024	966918	4766551,9	2033064,7
821	884760	966804	4765288,1	2032952,5	861	885719	968110	4766248,6	2034256,8
822	884741	966843	4765269,1	2032991,5	862	885733	968151	4766262,7	2034297,7
823	884758	966955	4765286,3	2033103,5	863	885666	968341	4766196,0	2034487,8
824	885880	967120	4766408,2	2033266,8	864	885672	968465	4766202,2	2034611,7
825	885836	967338	4766364,5	2033484,8	865	885695	968532	4766225,3	2034678,7
826	885883	967583	4766411,9	2033729,7	866	885507	966205	4766034,0	2032352,6
827	885487	967327	4766015,6	2033474,3	867	885584	966200	4766111,0	2032347,5

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

Punto de Control	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá		Coordenadas Origen Único Nacional		Punto de Control	Coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá		Coordenadas Origen Único Nacional	
	Este	Norte	Este	Norte		Este	Norte	Este	Norte
828	885417	967332	4765945,6	2033479,4	868	886229	966368	4766756,0	2032514,5
829	885550	967301	4766078,6	2033448,2	869	885136	966803	4765664,0	2032951,0
830	885548	967304	4766076,6	2033451,2	870	886113	967512	4766641,7	2033658,4
831	885735	967402	4766263,6	2033548,9	871	886313	967531	4766841,7	2033677,1
832	885890	967308	4766418,5	2033454,8	872	886090	967280	4766618,4	2033426,5
833	885866	967191	4766394,3	2033337,8	873	886063	966904	4766590,8	2033050,6
834	886024	967585	4766552,8	2033731,5	874	886302	966939	4766829,8	2033085,3
835	885866	967698	4766395,0	2033844,7	875	885569	967789	4766098,2	2033936,1
836	885949	967654	4766477,9	2033800,6	876	885497	967831	4766026,3	2033978,2
837	886189	967517	4766717,7	2033663,3	877	885104	968509	4765634,4	2034656,5
838	886212	967508	4766740,7	2033654,2	878	885274	968578	4765804,4	2034725,3
839	886275	967508	4766803,6	2033654,2	879	885104	968106	4765633,8	2034253,6
840	886304	967532	4766832,7	2033678,1	880	886233	966801	4766760,7	2032947,4
841	886292	967669	4766820,9	2033815,1	881	886413	966818	4766940,6	2032964,2
842	886296	967700	4766824,9	2033846,1	882	886097	966414	4766624,1	2032560,7
843	886332	967784	4766861,0	2033930,0	883	885764	966319	4766291,1	2032466,2
844	886352	967794	4766881,0	2033940,0	884	885467	967279	4765995,5	2033426,4
845	886357	967798	4766886,0	2033944,0	885	885500	967127	4766028,3	2033274,4
846	886361	967775	4766890,0	2033921,0	886	885477	967148	4766005,4	2033295,4
847	886386	967706	4766914,9	2033851,9	887	885396	967133	4765924,4	2033280,5
848	886486	967720	4767014,9	2033865,8	888	885373	967179	4765901,4	2033326,5
849	886506	967747	4767034,9	2033892,8	889	885373	967097	4765901,3	2033244,5
850	886292	967714	4766820,9	2033860,1	890	885363	965900	4765889,6	2032047,9
851	885851	967743	4766380,1	2033889,7	891	885222	966315	4765749,3	2032463,0
852	885814	967720	4766343,1	2033866,7	892	884840	966525	4765367,7	2032673,5
853	885814	967751	4766343,1	2033897,7	893	884750	966574	4765277,8	2032722,6

Fuente: Elaboración propia.

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

Para precisar el modelo geológico de superficie y del subsuelo que conforman el área de influencia, que involucra la Formación Payandé no solo por el interés del yacimiento de calizas sino para definir la geometría y distribución como basamento geológico e hidrogeológico, se recopilaron los resultados de las campañas exploratorias ejecutadas hasta octubre de 2019. Se adoptó información sobre la planimetría y topografía de detalle para obtener el DEM del área de influencia y las secciones de análisis sobre las cuales se plasma la información relacionada con las variaciones verticales y laterales de las unidades aflorantes en el área de influencia correlacionando los resultados de las campañas de campo. Se generaron tres secciones geológicas de detalle cuyo cubrimiento espacial se distribuye en el TM 6823, los ejes fueron definidos de acuerdo con el frente de avance de la secuencia de avance proyectada de manera que ilustra las variaciones topográficas más representativas en el sector y la magnitud de las intervenciones a nivel de la geología e hidrogeología del área de estudio.

Respecto a la evaluación del yacimiento, incluye los resultados de las campañas de exploración geológico geotécnica que se han ejecutado en el área del proyecto, y se consignan en el Anexo CAP5.1-CMAB-LES6823-AN#5.1.003. El proceso metodológico, se valida y se incluyen en la interpretación del modelo geológico, los sondeos con recuperación de núcleo con sus respectivos análisis químicos, que además soportan el planeamiento minero proyectado a 20 años para la explotación de las calizas con base en la modelación geológica del cuerpo mineralizado.

Dentro del contrato de concesión minera se realizaron perforaciones con recuperación de testigo, las cuales se relacionan en la Tabla 6 y Tabla 7.

Tabla 6. Campañas de exploración previos al 2019

ID Sondeo	Coord. Y Origen Único	Coord. X Origen Único
P-26	2033906,34	4766682,08
P-27	2033787,79	4766831,25
P-25	2033827,38	4766612,47
P-22	2033779,80	4766518,15
P-24A	2033779,56	4766447,69
P-24	2033778,42	4766447,92
P-20	2033689,39	4766380,02
P-21	2033628,58	4766688,93
P-28	2033621,43	4766745,10
P-28A	2033560,87	4766776,53
P-19	2033571,94	4766538,62
PERF5-07	2033555,12	4766138,69
PERF6-07	2033438,31	4766617,56
P-29	2033403,69	4766565,47
PERF7-07	2033394,91	4766220,45
P-06	2033280,28	4766398,07
P-14	2033269,59	4766282,39
P-03	2033243,47	4766189,31
PERF4-07	2033166,60	4766273,10
P-02	2033072,85	4766039,95
PERF3-07	2032989,99	4765775,48

ID Sondeo	Coord. Y Origen Único	Coord. X Origen Único
P-13	2033052,74	4766162,81
P-05	2033062,52	4766268,57
P-09	2033064,16	4766415,84
P-08	2033082,13	4766500,76
PERF9-07	2033063,43	4766628,55
P-11	2032923,40	4766137,33
PERF8-07	2032908,11	4766138,96
P-04	2032893,75	4766186,96
P-10	2032864,03	4766343,82
P-07	2032841,16	4766385,41
P-01	2032873,97	4765942,72
P-12	2032809,43	4766000,28
P-32	2032787,67	4766147,86
P-34	2032746,63	4765948,49
P-33	2032685,78	4766135,93
P-15	2032644,05	4766209,41
P-17	2032664,64	4765883,39
P-31	2032727,48	4765676,43
P-18	2032711,97	4765662,14
P-30	2032750,32	4765488,44
P-23	2032599,36	4765767,99
PERF1-07	2032467,33	4765745,94
P-16	2032602,65	4766040,30
PERF2-07	2032439,59	4766032,15

Fuente: Cemex, 2020

Tabla 7. Pozos perforados dentro del título 6823 al 2019

ID Sondeo	Coord. X	Coord. Y	Coord. X Origen Único	Coord. Y Origen Único	Long.	DIP	DIP DIR
P-19	886 010	967 425	4 766 538,60	2 033 571,55	210,80	-30	300,00
P-20	885 851	967 543	4 766 379,81	2 033 689,74	89,15	-30	305,00
P-21	886 160	967 482	4 766 688,64	2 033 628,32	97,15	-30	300,00
P-22	885 989	967 633	4 766 517,90	2 033 779,52	70,10	-30	300,00
P-24	885 919	967 631	4 766 447,91	2 033 777,62	195,00	-90	0,00

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

ID Sondeo	Coord. X	Coord. Y	Coord. X Origen Único	Coord. Y Origen Único	Long.	DIP	DIP DIR
P-25	885 083	967 681	4 765 612,22	2 033 828,79	169,00	-90	0,00
P-26	886 153	967 760	4 766 682,03	2 033 906,25	232,00	-90	0,00
P-30	884 960	966 602	4 765 487,74	2 032 750,27	83,00	-90	0,00
P-05-05	885 610	967 408	4 766 138,69	2 033 555,12	141,00	-90	0,00
P-05-07	885 692	967 247	4 766 220,44	2 033 394,05	141,00	-90	0,00

Fuente: Cemex, 2020

Adicionalmente, en el área del proyecto se cuenta instrumentación complementaria relacionada con sondeos y recuperación de núcleo y que hoy conforman la red de monitoreo de piezómetros, cuya localización y características particulares de estos instrumentos depende en gran medida del modelo geológico de la zona de estudio, así como de la red de instrumentos actualmente en uso, Tabla 8 y Figura 5.

Tabla 8. Piezómetros instalados en la Mina La Esmeralda

ID Pzmt	Cota	Coordenada Este	Coordenada Norte	Coord. Este Origen Único	Coord. Norte Origen Único
Piezo-01	700,00	885 590	966 194	4 766 118	2 032 341
Piezo-02	620,00	886 147	966 351	4 766 675	2 03 2498
Piezo-03	650,00	886 065	966 906	4 766 593	2 033 053
Piezo-07	670,00	886 292	966 927	4 766 820	2 033 074
Piezo-08	670,00	886 087	967 276	4 766 615	2 033 423
Piezo-09	670,00	886 109	967 516	4 766 637	2 033 663
Piezo-10	650,00	886 313	967 528	4 766 841	2 033 675
Piezo-05	766,70	885 507	966 196	4 766 035	2 032 343

Fuente: Cemex, 2020

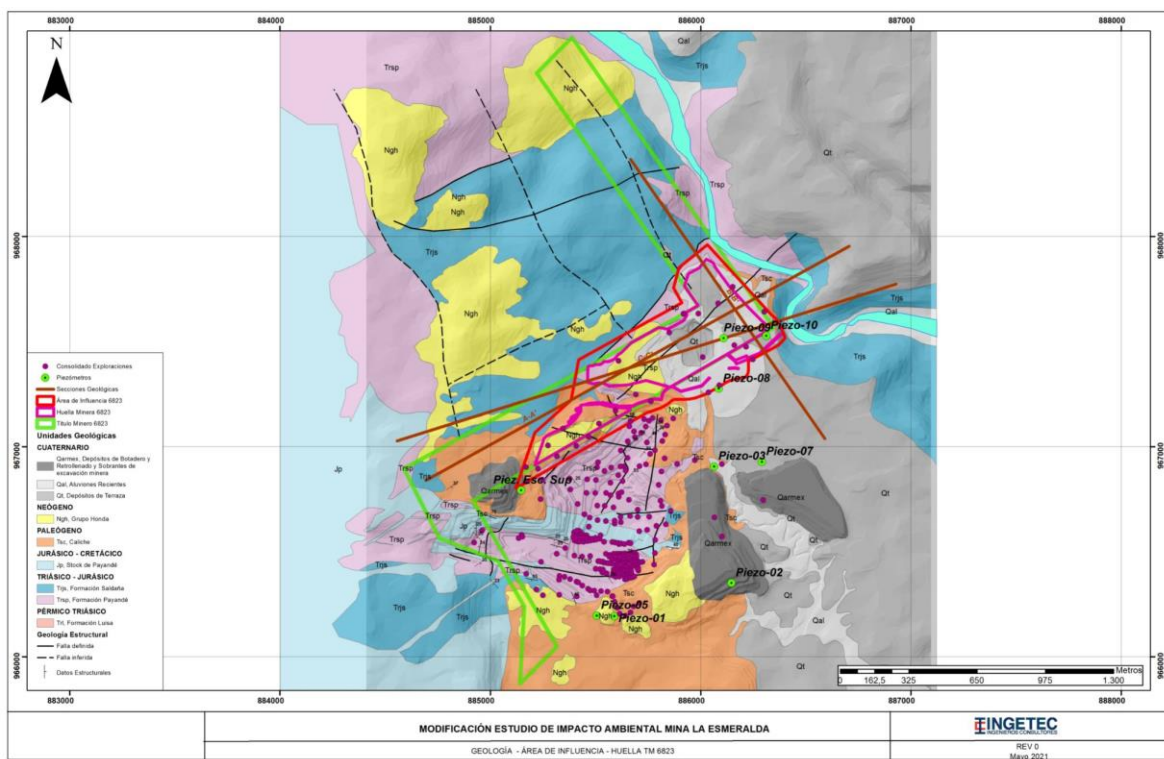


Figura 5. Distribución en planta de las perforaciones TM 6823.

Fuente: Modelo geológico CEMEX, 2019

La información fue compilada y analizada de acuerdo con la finalidad del estudio, realizando los análisis correspondientes al componente y la cartografía temática de soporte, ajustada con las mediciones directas de las campañas de campo e indirectas mencionadas en conjunto con la interpretación de sensores remotos para el área del estudio definida para el proyecto para fines geológicos y geomorfológicos en la caracterización geoambiental.

La información cartográfica elaborada a nivel espacial, se estructuró, consignó y almacenó de acuerdo con la estructura del diccionario de datos geográficos de ANLA 2016 para las capas aplicables para el componente geoambiental del estudio.

2.3.2.1.2. Geomorfología

La metodología para definir la geomorfología del área de influencia está basada en los trabajos de Villota (1997) y de Carvajal et al. (2004), que consisten en una clasificación fisiográfica del terreno y de su comportamiento hechos a partir de un análisis integral de las unidades litológicas que afloran en superficie y de la geomorfología resultante del balance de los procesos tectónicos y del intemperismo (clima, hidrología, desarrollo de suelos).

La geomorfología involucra el aspecto externo de los materiales naturales, de acuerdo a su origen y evolución. La forma corresponde a una imagen instantánea de unos procesos naturales, por lo tanto, puede ser representada como un área o un volumen según la forma como se proyecte. Los procesos naturales imprimen paisajes característicos, los cuales permiten su identificación, delimitación, y cartografía. La evolución de las geoformas, se puede deducir al comparar y establecer la magnitud, la repetición de los trazos y rasgos, y la distribución de los componentes en cualquier área de estudio.

El método de cartografía y clasificación de terrenos propuestos está basado principalmente en el Sistema International Institute for Aerospace Survey and Earth Science – ITC (Van Zuidam, 1986), Verstappen y Van Zuidam (1992) y

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

Carvajal (2002), mediante la interpretación de imágenes aerospaciales (Modelo Elevación Digital - DEM), cuyo objetivo es delimitar áreas, y volúmenes de los materiales naturales de manera concisa y sistemática con base en las formas del terreno y los procesos geomorfológicos que actúan sobre ellas, siempre recordando que el objetivo de la información adquirida debe ser agrupada y compilada mediante sistemas de información Geográfica (SIG).

La metodología tiene en cuenta la clasificación fisiográfica del terreno y de su comportamiento, hechos a partir de un análisis integral de las unidades litológicas que afloran en superficie y de la geomorfología resultante del balance de los procesos tectónicos y del intemperismo (clima, hidrología, desarrollo de suelos, variaciones litológicas, evolución tectónica, etc.).

Para el área de influencia, se consideran las características fisiográficas de geoestructura, provincia geomorfológica, unidades de relieve y sus respectivos ambientes morfogenéticos. Se correlaciona la información obtenida en la cartografía geológica del área de estudio, las condiciones de evolución tectónica del área, factores determinantes en el modelado del relieve, fotointerpretación y verificación en campo.

Una vez realizado el análisis fisiográfico, se incorporaron nuevos símbolos y con base en la interpretación de los sensores remotos (DEM), generado en el desarrollo del estudio con el propósito de lograr un mejor nivel de detalle de la información geomorfológica, trazos de las morfoestructuras asociadas tanto en el contexto regional como del área de estudio; las categorías identificadas se obtuvieron teniendo en cuenta los parámetros específicos relacionados con la litología, la morfogénesis, morfometría y las morfoestructuras asociadas y adoptando los estándares del SGC.

Con base en los parámetros de la metodología utilizada para el levantamiento geomorfológico se efectúa la descripción cualitativa de las geoformas, en términos de índice de relieve, inclinación, longitud y forma de las laderas.

Respecto al geoprocesamiento y modelaciones en el componente geomorfológico involucró las siguientes actividades particulares:

- Extracción del DEM del área de estudio: Contiene todos los pixeles que corresponden a las alturas definidas por una máscara (Área Influencia).
- Generación curvas detalladas de nivel cada 50 cm tomado como base el modelo digital de elevación (Análisis espacial, curvas por superficie): Se crea una entidad tipo línea de contorno (isolíneas) de la superficie con alturas sobre el nivel del mar en metros.
- Elaboración del Triangulated Irregular Network (TIN), (Herramientas de análisis 3D, TIN): Toma como base las curvas de nivel para realizar una triangulación de la superficie, el resultado es un modelo de terreno exacto que representa de forma eficiente y precisa la superficie.
- Conversión del TIN a formato raster (Herramientas de análisis 3D, conversión): Se realiza el cambio de formato TIN a RASTER pues la herramienta de pendientes requiere que la capa de entrada sea tipo RASTER.
- Generación de pendientes a partir del raster (Análisis espacial, superficie): Se identifica la pendiente (gradiente o cambio máxima en z) de cada pixel obteniendo como resultado un mapa raster que muestra dichos cambios en porcentajes o grados los cuales se pueden clasificar de forma manual, geométrica, por cuantiles, desviación estándar, entre otros. Para el análisis, se generaron pendientes por porcentajes y se aplicó el método de clasificación Natural Breaks Jenks, en donde el programa calcula las diferencias de valores entre los individuos estadísticos ordenados de forma creciente colocando un límite para separar los grupos que tienen diferencias de valores altas.

De acuerdo con los datos obtenidos de la información secundaria y de la recolectada en campo, el área de influencia se enmarca dentro de la parte baja de la cuenca del río Coello, caracterizada por la presencia de relieves que van desde geoformas planas, extensas, con inclinación baja a inclinada, disectadas por los sistemas de drenajes de depósitos aluviales presentes en el área, hasta superficies onduladas y escarpadas generadas por las actividades actuales de la

minería de gravas y del retrolleado de los pits liberados de estas actividades antrópicas propias de la minería a cielo abierto.

Los resultados hacen parte integral en el estudio y se consignan en la cartografía temática de soporte y en la GeoDataBase respectiva.

2.3.2.1.3. Paisaje

El paisaje es la expresión visual en el territorio de las interacciones derivadas de diferentes atributos naturales y antrópicos. La descripción del paisaje en el presente estudio se centró principalmente en las características del paisaje local en el área de influencia, cumpliendo lo contenido en los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA en proyectos de uso de Energía Solar Fotovoltaica (MADS - ANLA, 2017) y en línea con lo establecido en la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales ³.

2.3.2.1.3.1. Elementos o atributos del paisaje

Los componentes del paisaje son los aspectos del territorio diferenciables a simple vista y que lo configuran⁴. Estos se agrupan de la siguiente manera:

- Físicos: formas del terreno, superficies del suelo, rocas, cursos o láminas de agua, nieve.
- Bióticos: vegetación y fauna.
- Actuaciones humanas: diversos tipos de estructuras realizadas por el hombre, ya sean puntuales, extensivas o lineales.

Los atributos del paisaje para el área de influencia biótica se identificaron mediante el análisis de un fotomosaico del año 2021, fotografías panorámicas, información cultural y revisión bibliográfica.

2.3.2.1.3.2. Unidades de paisaje local

Según el SEA⁵ las unidades de paisaje corresponden al reconocimiento de porciones del territorio que tienen una apariencia homogénea, la cual es resultante de la combinación de sus atributos visuales. Esta homogeneidad está dada a través de la combinación de rasgos parecidos o por la repetición de formas.

A partir de la definición anterior y con la información obtenida de la calidad visual del paisaje y del índice de fragilidad visual, se clasificaron las unidades de acuerdo con los atributos del paisaje evaluado (relieve, vegetación, color, cuerpos de agua, etc.). La delimitación de las unidades de paisaje se califica teniendo en cuenta las siguientes características.

³ MINAMBIENTE. Metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales. 2018

⁴ AGUILÓ, M.; ALONSO-AMELOT, M. E.; MAQUA, M. Guía para la elaboración de estudios del medio físico: contenido y metodología. 1984.

⁵ SEA. Guía de Evaluación de Impacto Ambiental. Valor paisajístico en el SEIA. Santiago de Chile: Servicio de Evaluación Ambiental SEA. 2013

Tabla 9. Unidades de Paisaje Definidas para el Área de Influencia.

Unidad	Nombre	Descripción
Aal	Calidad visual alta y fragilidad visual alta	Superficies con rasgos singulares y sobresalientes pero que cuentan con una baja capacidad de absorción visual, es decir, una alta fragilidad visual
Amd	Calidad visual alta y fragilidad visual media	Superficies con rasgos singulares y sobresalientes, los cuales cuentan con una capacidad visual de absorción media o una media fragilidad visual
Abj	Calidad visual alta y fragilidad visual baja	Superficies con rasgos singulares y sobresalientes que cuentan con una capacidad de absorción visual alta, es decir, una baja fragilidad visual
Mal	Calidad visual media y fragilidad visual alta	Áreas con variedad de rasgos, pero los cuales resultan comunes en la región estudiada. Estas superficies cuentan con una baja capacidad de absorción visual, es decir, una alta fragilidad visual
Mmd	Calidad visual media y fragilidad visual media	Áreas con variedad de rasgos pero los cuales resultan comunes en la región estudiada; cuentan con una capacidad visual de absorción media o una media fragilidad visual
Mbj	Calidad visual media y fragilidad visual baja	Áreas con variedad de rasgos pero los cuales resultan comunes en la región estudiada, estos presentan una capacidad de absorción visual alta, es decir, una baja fragilidad visual
Bal	Calidad visual baja y fragilidad visual alta	Áreas cuyo valor del paisaje es mínimo; cuentan con una baja capacidad de absorción visual, es decir, una alta fragilidad visual
Bmd	Calidad visual baja y fragilidad visual media	Áreas cuyo valor del paisaje es mínimo; cuentan con una capacidad visual de absorción media o una media fragilidad visual
Bbj	Calidad visual baja y fragilidad visual baja	Áreas cuyo valor del paisaje es mínimo y que presentan una capacidad de absorción visual alta, es decir, una baja fragilidad visual

Fuente: Elaboración propia.

Se presenta a continuación la metodología empleada para la estimación de la calidad visual y la fragilidad visual. Esta incluye una clasificación de los elementos biofísicos que componen el paisaje.

La metodología que se presenta a continuación para la calidad visual y la fragilidad visual siguió conceptualmente a Yeomans⁶ y BLM (U.S.D.I., Bureau of Land Management)⁷, los cuales dan una valoración a los elementos del paisaje descritos en el numeral anterior. Adicionalmente a la estimación de la calidad visual y la fragilidad visual, se estimó el índice de belleza paisajística mediante la metodología propuesta por USDA⁸. El índice tiene como objetivo estimar el

⁶ YEOMANS, W. C. Visual Impact Assessment: Changes in natural and rural environment. New York: John Wiley and sons. 1986.

⁷ BLM (U.S.D.I., Bureau of Land Management). Visual simulation techniques. Washington D.C.: Gubernament Printing Office. 1980.

⁸ USDA. Landscape Aesthetics. A handbook for scenary management. U.S.A: United States Department of Agriculture. 1995.

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

valor del paisaje a través de la calificación de los atributos bióticos que lo componen y la escala visual, con el fin de identificar la percepción que podrían tener los habitantes del sector acerca del paisaje actual.

En la Tabla 10 se presentan los atributos evaluados para cada uno de los parámetros mencionados (calidad visual, fragilidad visual e índice de belleza paisajística), teniendo en cuenta el tipo de elemento del paisaje.

Tabla 10. Atributos Evaluados para cada uno de los Parámetros de acuerdo con los elementos del Paisaje.

Parámetro	Atributo	Elemento del paisaje	Insumo
Calidad visual	Relieve	Físico	DEM Curvas de nivel 1:10.000
	Vegetación	Biótico	Capa de coberturas de la tierra escala 1:7.000
	Agua (Cuerpos de agua)	Físico	Capa de drenajes 1:10.000
	Color	Físico, biótico y actuaciones humanas	Capa de coberturas de la tierra escala 1:7.000
	Rareza	Físico-biótico	Capa de coberturas de la tierra escala 1:7.000
	Modificaciones antrópicas	Actuaciones humanas (antrópico)	Capa de coberturas de la tierra escala 1:7.000
	Influencia de paisajes adyacentes en todos sus componentes	Físico, biótico y actuaciones humanas	Capa de coberturas de la tierra escala 1:7.000
Fragilidad visual	Relieve	Físico	DEM Curvas de nivel 1:10.000
	Diversidad estructural en la vegetación	Biótico	Capa de coberturas de la tierra escala 1:7.000
	Estabilidad del suelo y erosionabilidad	Físico	Capa de susceptibilidad por remoción en masa escala 1:70.000
	Contraste suelo-vegetación	Físico	Imagen Google Earth año 2017 y 2018
	Potencial de regeneración en la vegetación	Biótico	Capa de coberturas de la tierra escala 1:7.000
	Contraste de color entre suelos y rocas	Físico	Imagen Google Earth año 2017 y 2018
Índice de belleza paisajístico	Atractivo escénico	Físico-biótico	Capa de coberturas de la tierra escala 1:7.000
	Elementos discordantes	Actuaciones humanas (antrópico)	Capa de coberturas de la tierra escala 1:7.000
	Correspondencia cromática	Físico, biótico y actuaciones humanas	Capa de coberturas de la tierra escala 1:10.000
	Integridad escénica	Biótico	Capa de coberturas de la tierra escala 1:10.000

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

Parámetro	Atributo	Elemento del paisaje	Insumo
	Escala visual	Percepción visual del entorno	Puntos de observación y capa de escala visual
	Nivel de interés	Percepción visual del entorno	Valoración del atractivo escénico y la escala visual

Fuente: Elaboración propia.

Esta se define como el grado de excelencia o mérito que un determinado paisaje presenta, el cual es definido en función del análisis y valoración de sus atributos biofísicos, estéticos y estructurales⁹.

2.3.2.1.3.3. Calidad visual del paisaje.

La evaluación de la calidad visual del paisaje se realizó siguiendo los lineamientos establecidos por Bureau of Land Management¹⁰, la cual consiste en valorar el paisaje de acuerdo con las características de relieve, vegetación, presencia de los cuerpos de agua, color, rareza, influencia de escenarios adyacentes e influencia antrópica. Se presenta a continuación la calificación de cada uno de los elementos mencionados de acuerdo con sus características (Tabla 11).

Tabla 11. Valoración de los elementos del paisaje para estimar la calidad visual.

Elementos del Paisaje	Descripción		
Relieve	Relieve muy montañoso, marcado y prominente. Relieve de gran variedad superficial o muy erosionado. Presencia de algún rasgo singular y dominante. Pendientes superiores a 50%	Formas erosivas interesantes o relieve variado en tamaño y forma. Presencia de formas y detalles interesantes pero no dominantes o excepcionales. Pendientes entre 12% - 50%	Colinas suaves, fondos de valles planos, pocos o ningún detalle singular. Pendientes menores a 12%.
	Puntuación: 5	Puntuación: 3	Puntuación: 1
Vegetación	Gran variedad de tipos de vegetación, con formas, textura y distribución interesantes. Se encuentran asociadas a coberturas poco intervenidas o con una percepción de intervención baja.	Alguna variedad en la vegetación, pero solo uno o dos tipos. Asociada con los pastos, cultivos y mosaicos.	Poca o ninguna variedad o contraste en la vegetación. En esta categoría incluye las tierras desnudas y degradadas, vías e infraestructura, entre otros.
	Puntuación: 5	Puntuación: 3	Puntuación: 1

⁹ SEA. Guía de Evaluación de Impacto Ambiental. Valor paisajístico en el SEIA. Santiago de Chile: Servicio de Evaluación Ambiental SEA. 2013.

¹⁰ BLM (U.S.D.I., Bureau of Land Management). Visual simulation techniques. Washington D.C.: Gubernament Printing Office. 1980.

Elementos del Paisaje	Descripción		
Agua (Cuerpos de agua)	Presencia de drenajes con numerosos e inusuales cambios en el cauce. Incluye ríos, cascadas, rápidos, pozas o meandros, los cuales son un factor dominante en el paisaje.	Presencia de drenajes o agua en reposo permanente, aunque no domina el paisaje.	Superficies ausentes o presentes pero no perceptibles, se incluyen los arroyos intermitentes dentro de esta categoría.
	Puntuación: 5	Puntuación: 3	Puntuación: 0
Color	Combinaciones de color intensas y variadas o contrastes agradables entre suelo, vegetación, roca y agua.	Característico, aunque similar a otros en la región.	Bastante común en la región
	Puntuación: 5	Puntuación: 3	Puntuación: 1
Rareza	Único en su clase, inusualmente memorable, o muy raro dentro de la región. Hábitat para la fauna excepcional y posibilidad de visualización de flores silvestres, etc.	Distintivo, aunque algo similar a otros dentro de la región.	Interesante dentro de su entorno, pero bastante común en la región.
	Puntuación: 5	Puntuación: 3	Puntuación: 1
Modificaciones antrópicas	Las modificaciones agregan favorablemente a la variedad visual mientras promueven la armonía visual.	Las modificaciones añaden poca o ninguna variedad visual a la zona, e introducen elementos no discordantes.	Las modificaciones añaden variedad, pero son muy discordantes y promueven una fuerte desarmonía.
	Puntuación: 2	Puntuación: 0	Puntuación: -4
Influencia de paisajes adyacentes en todos sus componentes	El paisaje adyacente mejora en gran medida la calidad visual.	El paisaje adyacente mejora moderadamente la calidad visual general.	El paisaje adyacente tiene poca o ninguna influencia en la calidad visual general.
	Puntuación: 5	Puntuación: 3	Puntuación: 0

Fuente: Elaboración propia.

Calificados los elementos, se procedió a realizar un mapa de calidad visual, que consiste en la ponderación de los elementos con igual peso, lo que dio como resultado la calidad visual de las unidades homogéneas para el área de estudio. Esta ponderación corresponde a la superposición de cada uno de los mapas por parámetro, la cual se llevó a cabo mediante el álgebra de mapas, en el software ArcGis® v 10.0. Se presenta a continuación la clasificación para la calidad visual, esta se realizó teniendo en cuenta el resultado de la ponderación de la calidad visual (sumatoria de cada uno de los atributos de paisaje). Para su clasificación se empleó la siguiente ecuación (Ecuación 1).

$$Amplitud = \frac{(xMax - xMin)}{n}$$

Ecuación 1. Amplitud del intervalo.

Variable:

xMax: Valor máximo de la ponderación

xMin: valor mínimo Valor mínimo de la ponderación

n: Número de clases

En la Tabla 12 se presenta la clasificación de los rangos de calidad visual para el área de influencia físico-biótica.

Tabla 12. Valoración de la Calidad Visual Total.

Clasificación de la calidad visual	Rango	Descripción
Calidad visual alta	>21,3	Áreas con rasgos singulares y sobresalientes
Calidad visual media	10,7 - ≤ 21,3	Área cuyos rasgos poseen variedad en la forma, color, línea y textura, y resultan comunes en la región estudiada
Calidad visual baja	< 10,7	Áreas de calidad baja, áreas con muy poca variedad en la forma, color, línea y textura

Fuente: Elaboración propia.

2.3.2.1.3.4. Análisis de fragilidad del paisaje

Para el análisis de fragilidad del paisaje se siguió la metodología establecida por Yeomans¹¹, mediante la cual a la superficie estudiada se le asignan valores según las condiciones y criterios, con base en la información obtenida en campo por parte del personal que realizó los muestreos. Se presenta a continuación la valoración para cada uno de los elementos que se evaluó en el análisis de fragilidad¹² (Ver Tabla 13).

Tabla 13. Valoración para los Elementos del Paisaje desde la Fragilidad Visual.

Factor	Características	Valores	
Relieve (S) Cuanto más inclinada es la pendiente, menor es la capacidad de absorción visual	Escarpado (superior a 50% de pendiente)	Bajo	1
	Moderadamente escarpado (12% - 50% de pendiente)	Moderado	2
	Relativamente plano (0 - 12% de pendiente)	Alto	3
Diversidad estructural en la vegetación (D) Cuanto mayor es la diversidad, mayor es el potencial de capacidad de absorción visual	Baja (superficies sin vegetación, pastos y malezas)	Bajo	1
	Media (plantaciones forestales, cultivos y mosaicos)	Moderado	2

¹¹ Yeomans, W. C. Visual Impact Assessment: Changes in natural and rural environment. New York: John Wiley and sons. 1986.

¹² Yeomans, W. C. Visual Impact Assessment: Changes in natural and rural environment. New York: John Wiley and sons. 1986.

Factor	Características	Valores	
	Diversificada (bosques, incluye vegetación secundaria y elementos con coberturas naturales que presenten grados de alteración limitados)	Alto	3
Estabilidad del suelo y erosionabilidad (E) Un alto riesgo de erosión e inestabilidad produce una menor capacidad de absorción visual; riesgos bajos de erosión producen una mayor capacidad de absorción visual	Restricción alta derivada de riesgos altos de erosión e inestabilidad y baja regeneración	Bajo	1
	Restricción moderada debido a riesgos de erosión e inestabilidad y baja regeneración	Moderado	2
	Poca restricción por riesgos bajos de erosión e inestabilidad y buen potencial de regeneración	Alto	3
Contraste suelo-vegetación (V) Cuanto mayor sea el contraste, mayor será la capacidad de absorción visual	Alto contraste visual entre suelos expuestos y la vegetación adyacente	Bajo	1
	Contraste visual moderado entre los suelos expuestos y la vegetación adyacente	Moderado	2
	Bajo contraste visual entre los suelos expuestos y la vegetación adyacente	Alto	3
Potencial de regeneración en la vegetación (R) Un alto potencial de regeneración eleva la capacidad de absorción visual	Bajo potencial	Bajo	1
	Regeneración moderada o potencial de regeneración	Moderado	2
	Alta regeneración	Alto	3
Contraste de color entre suelos y rocas (C) Un alto valor de contraste disminuye la capacidad de absorción visual debido a una mayor exposición a la vista	Alto contraste	Bajo	1
	Contraste moderado	Moderado	2
	Bajo contraste	Alto	3

Fuente: Elaboración propia.

Evaluados cada uno de los factores se procedió a estimar la fragilidad del paisaje mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Capacidad de absorción visual (CAV)} = S * (E + R + D + C + V)$$

Ecuación 2. Capacidad de absorción visual.

Estimada la capacidad de absorción del paisaje, se procedió a clasificar la fragilidad visual del paisaje, teniendo en cuenta que a mayor capacidad de absorción visual la fragilidad visual es menor y viceversa. Se presenta a continuación la clasificación de la fragilidad visual (Tabla 14); para esta se empleó la Ecuación 2 teniendo en cuenta los resultados obtenidos de la ponderación de las variables.

Tabla 14. Clasificación de la Capacidad de Absorción Visual y la Fragilidad Visual.

Capacidad de absorción del paisaje (CAV)	Rango	Descripción	Fragilidad visual del paisaje
Bajo	$\leq 18,33$	Superficies con baja capacidad de absorción y alta fragilidad	Fragilidad alta
Moderada	$> 18,33 - \leq 31,67$	Superficies con capacidad moderada de absorción y fragilidad media	Fragilidad moderada
Alto	$> 31,67$	Superficies con alta capacidad de absorción y baja fragilidad	Fragilidad baja

Fuente: Elaboración propia

2.3.2.1.3.5. Índice de belleza paisajística

Para determinar el índice de belleza del paisaje del área de estudio se realizó la intersección de los valores asignados a los cinco criterios evaluados: atractivo escénico, elementos discordantes, correspondencia cromática, integridad escénica y escalas visuales (USDA, 1995)¹³. A continuación, se presenta la descripción de cada uno de los parámetros evaluados.

Atractivo escénico: corresponde a aquellos elementos definidos por la percepción humana a través de la belleza intrínseca de las formas de la tierra, como la presencia de recursos históricos y arquitectónicos que presentan gran importancia para la región, las coberturas naturales o afloramientos rocosos. Para este parámetro se tuvo en cuenta el plano de coberturas de la tierra y los lugares identificados como de interés paisajístico. Su valoración se presenta en la Tabla 16.

Elementos discordantes: corresponden a aquellos elementos que no armonizan con el paisaje, principalmente coberturas de origen antrópico que no dan continuidad a las formas y modifican la calidad visual del paisaje (estructuras industriales, vías, construcciones, etc.). La valoración se presenta en la Tabla 16.

Tamaño de la discordancia: hace referencia a la superficie ocupada por cada uno de los elementos discordantes identificados con respecto a la unidad de paisaje. El tamaño de la discordancia se estimará luego de que sean definidas las unidades de paisaje para el área de influencia biótica; se clasifica de acuerdo con lo mencionado en la Tabla 15.

Tabla 15. Clasificación del Tamaño de la Discordancia.

Tamaño de la discordancia por unidad de paisaje	Valoración
$\geq 30\%$	Alto
5% - 30%	Medio
$0 > \text{ y } \leq 5\%$	Bajo
0	Nula

Fuente: Elaboración propia

¹³ USDA. (1995). Landscape Aesthetics. A handbook for scenery management. U.S.A: United States Department of Agriculture.

Correspondencia cromática: hace relación a la diversidad de tonos presentes en el área de estudio y que tienen la capacidad de absorber las modificaciones que se realizan al paisaje. Por lo general, aquellos elementos que presentan una mayor correspondencia cromática se asocian con las coberturas naturales (bosques de ribera, ríos, afloramientos rocosos, etc.); no obstante, existen coberturas antrópicas (vías, construcciones, industrias) o antropizadas (cultivos, pastos, etc.) que presentan una alta correspondencia cromática y que, por lo tanto, producen una menor incidencia sobre el paisaje. La valoración se presenta en la Tabla 16.

Integridad escénica: se define como el grado de desviación directa causada por el hombre en el paisaje. Elementos con una muy baja integridad escénica corresponden a las vías, zonas industriales, zonas de disposición de residuos, entre otras. En la siguiente Tabla 16 se presentan los niveles de integridad escénica.

Escala visual: corresponde a los planos que podría visualizar el observador de su entorno. El insumo para este análisis se construyó a partir de la identificación de los centros poblados, tejido urbano discontinuo y lugares de tránsito como vías y caminos, sobre los cuales se establecen puntos u observadores y mediante los cuales se crea un buffer de acuerdo con los rangos establecidos en la Tabla 16. En esta tabla también se presenta la valoración, de acuerdo con el rango del plano.

Nivel de interés paisajístico: es la relación entre el paisaje visto por el observador a cierta distancia (escala visual) y el grado de interés en dicho paisaje; este grado de interés estará en sintonía con las preferencias de los habitantes para el área de estudio. La información para elaborar la calificación de este aparte, tendrá en cuenta los registros tomados de las encuestas realizadas para la caracterización de los servicios ecosistémicos y la percepción del personal en campo. En la Tabla 16 se presenta la calificación.

Tabla 16. Clasificación de los atributos del índice de belleza paisajística.

Elemento / parámetro	Descripción	Calificación
Atractivo escénico	Deteriorado	1
	Común o típico	3
	Singular	5
Elementos discordantes	Alto (> 3 elementos)	1
	Medio (2 elementos)	2
	Bajo (un elemento)	3
	Nulo (no hay elementos discordantes)	4
Correspondencia cromática	Bajo (Baja correspondencia cromática)	1
	Medio (correspondencia cromática media)	2
	Alto (alta correspondencia cromática)	3
	Nulo	4
Integridad escénica	Muy baja (muy alterado)	1

Elemento / parámetro	Descripción	Calificación
	Baja (moderadamente alterado)	2
	Moderada (levemente alterado)	3
	Alta (parece inalterado)	4
	Muy alta (inalterado)	5
Escala visual	Plano inmediato (0 - 100 m)	1
	Primer plano (100 - 800 m)	2
	Plano intermedio (800 - 6000 m)	3
	Plano lejano (mayor a 6000 m)	4
Nivel de Interés	Vista inmediata con interés bajo	1
	Vista en primer plano con interés bajo	2
	Vista intermedia con interés bajo	3
	Vista lejana con interés bajo	4
	Vista inmediata con interés medio	5
	Vista en primer plano con interés medio	6
	Vista intermedia con interés medio	7
	Vista lejana con interés medio	8
	Vista inmediata con interés alto	9
	Vista en primer plano con interés alto	10
	Vista intermedia con interés alto	11
	Vista lejana con interés alto	12

Fuente: Elaboración propia

Índice final de belleza del paisaje: el índice final de belleza corresponde a la sumatoria de todos los elementos evaluados anteriormente. El cruce de esta información y la estimación del índice se realizaron mediante el álgebra de mapas en ArcGis® v10.0, asumiendo que todos los elementos tienen igual peso para el análisis. En la Tabla 17, que se presenta a

continuación, se establece la valoración para el índice final de belleza del paisaje, el cual se estimó a partir de la ecuación establecida en la Ecuación 1, teniendo en cuenta los valores máximos y mínimos obtenidos de la ponderación.

Tabla 17. Clasificación del Índice de Belleza.

Índice final de belleza del paisaje	Descripción	Valor
Bajo	Superficies con elementos comunes que registran una baja correspondencia cromática y elementos con una alta influencia antrópica.	6 - ≤ 15,3
Medio	Superficies con elementos comunes, los cuales registran una correspondencia cromática media y elementos que aunque han sido modificados por las actividades humanas, agregan valor al paisaje.	> 15,3 - ≤ 24,7
Alto	Superficies con elementos singulares, y una correspondencia cromática nula, lo cuales registran un bajo grado de intervención lo que hace que registren una alta valoración por parte del observador.	> 24,7

Fuente: Elaboración propia.

2.3.2.1.3.6. Análisis de visibilidad de las unidades de paisaje local.

Con el fin de identificar las superficies que serán vistas desde los lugares que con mayor frecuencia son transitados por los habitantes del área de influencia, se realizó la delimitación de la cuenca visual mediante el software ArcGis® v10.0, a través de la herramienta Viewshed. Para el cálculo de la cuenca visual se utilizaron los siguientes insumos:

- Puntos de observación: consistió en ubicar sobre el área de influencia las superficies que presentan un mayor tránsito de personas, mediante puntos asignados allí donde se presenta tejido urbano continuo, que coincide con el equipamiento social reconocido.
- Modelo digital de elevación (DEM por sus siglas en inglés): se realizó un modelo de elevación mediante las curvas de nivel tomadas de la cartografía base del IGAC escala 1:10.000. Este se realizó en el software ArcGis® V10.0.

Con la información listada se procedió a realizar el análisis con el software mencionado empleando la herramienta Viewshed. Esto dio como resultado un mapa binario de dos categorías: zonas vistas y no vistas. La información obtenida de la modelación fue cruzada con la escala visual definida en el numeral Índice de belleza paisajística, que se clasifica de acuerdo con lo establecido en la Tabla 17, a fin de identificar las unidades que serán percibidas en mayor detalle por los observadores.

2.3.2.1.3.7. Descripción del proyecto dentro del componente paisajístico.

La descripción del componente paisajístico consistió en la evaluación de las unidades de paisaje que serán intervenidas por el proyecto (área de intervención); esta información se incluye en el análisis de los resultados obtenidos de la calidad visual, la fragilidad y el índice de belleza paisajística para el área de influencia del proyecto.

2.3.2.1.3.8. Sitios de interés paisajístico.

Para realizar una descripción adecuada de la percepción del paisaje en el área de estudio y su importancia cultural, se tomó la información colectada por el equipo social que hizo parte de la caracterización socioeconómica del presente

estudio. La información obtenida de las actividades con la comunidad se cartografió georeferenciando los lugares de interés paisajístico junto con un registro fotográfico del área de estudio.

2.3.2.1.4. Suelos y Usos de la tierra

Para la realización del presente estudio, la metodología general para la elaboración y presentación de Estudios Ambientales (MADS - ANLA, 2018) y los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA en proyectos de Explotación Minera - (MADS - ANLA, 2016), presentan parámetros establecidos por los diferentes institutos y entidades oficiales que tienen por función la generación, administración y análisis de información que, para el caso del componente edáfico, se basa principalmente en la utilización de la metodología ofrecida y definida por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2014), que ha sido formulada siguiendo el Sistema Taxonómico Americano (Soils Taxonomy), actualizado a 2014 (USDA - NRCS, 2014).

De igual forma, y como consulta base para la caracterización de los suelos en el presente documento, se tiene en cuenta el Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras Departamento de Tolima del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2004), para determinar la relación suelo-paisaje con los elementos ambientales que participan en esta relación. De tal forma que, la descripción de suelos se realiza de acuerdo con los tipos de relieve presentes en cada paisaje, y que se caracterizan por tener condiciones similares en cuanto a clima, topografía y materiales parentales. La caracterización se complementa además con la descripción de perfiles del suelo, pruebas de infiltración y toma de muestras de suelos con sus respectivos análisis de laboratorio, como se describe más adelante.

2.3.2.1.4.1. Precampo - compilación y análisis de información secundaria

Se analizó la información secundaria existente en el Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras Departamento de Tolima (IGAC, 2004), que presenta la cartografía a escala 1:100 000, lo que permite conocer el estado general de la información de los suelos en el área de influencia y determinar a nivel de consulta los tipos de unidades de suelos que se han cartografiado.

La revisión de información secundaria permite tener una visión general del nivel de detalle en la información regional generada por las instituciones en los temas de interés para el proyecto, como es el caso de los componentes: suelos, geomorfología, aptitud y uso de los suelos, así como del manejo técnico propuesto para el recurso.

2.3.2.1.4.2. Trabajo de campo

El desarrollo del trabajo en campo para la descripción de unidades cartográficas de suelos, inicia con el recorrido general por la zona de estudio, para corroborar las geoformas a nivel local y producir el mapa preliminar de suelos; es así como en primera instancia, se registran las apreciaciones de fácil observación de los horizontes superficiales o subsuperficiales del suelo, al igual que se observa la cobertura vegetal, uso actual de la tierra y la naturaleza del material parental existente.

El reconocimiento de campo considera el conjunto de actividades realizadas por el edafólogo en el área de estudio, entre las cuales figuran: el reconocimiento preliminar del área, el levantamiento de información edafológica, la descripción detallada de los perfiles de suelos en calicatas, el ajuste del mapa de unidades de suelo y la elaboración de la leyenda de suelos. El trabajo de campo se planifica considerando el mapa preliminar de unidades de suelos para el área de influencia.

A partir de la Interpretación de la imagen satelital y la fotointerpretación del área de influencia, se ajusta la cartografía a la escala 1:10.000, teniendo en cuenta la descripción geomorfológica y la descripción morfométrica del entorno, considerando la distribución de las pendientes, los patrones de drenaje, laderas, entre otros aspectos; realizado lo anterior y con base en la información presentada en el Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de Tolima, se ajustan las unidades de suelo identificadas y se realizan descripciones de los perfiles de suelo, con su respectiva georreferenciación y registro fotográfico. Se procede a la planificación y desarrollo del trabajo así:

- Determinación de los puntos de monitoreo teniendo en cuenta una ubicación cercana a las vías existentes y las áreas de intervención del proyecto.
- Para llevar a cabo la descripción de perfiles de suelo y el proceso de toma de muestras (para realizar el análisis de propiedades fisicoquímicas y de posibles factores de degradación), se lleva a cabo la construcción de calicatas, las cuales permiten realizar la descripción del perfil del suelo en su estado natural. Se excavan las calicatas con paredes rectas de aproximadamente 80 cm de ancho por 1,5m de largo y una profundidad de 1,2 m.
- En los puntos seleccionados, se realiza la descripción del perfil de suelo para validar o modificar la información secundaria según los hallazgos para la unidad cartográfica de suelos (véase Fotografía 1).
- En un punto contiguo al seleccionado para la construcción de la calicata, se realiza prueba de infiltración para determinar la velocidad de infiltración del agua a través del perfil del suelo (véase Fotografía 2).
- Se realiza la toma de muestras en los horizontes identificados en el perfil, para realizar los respectivos análisis fisicoquímicos en laboratorio.



Fotografía 1. Perfil de suelo



Fotografía 2. Prueba de infiltración en campo

La determinación de los puntos de monitoreo de suelos, se realizó teniendo en cuenta las unidades de suelos que, de acuerdo con los requerimientos propios del proyecto, podrían ser susceptibles de intervención. En la Tabla 18 y en la Figura 6, se presentan los 4 puntos de monitoreo de suelos (LC), donde se realizó la descripción de perfiles, las respectivas pruebas de infiltración y la toma de muestras para análisis fisicoquímicos en laboratorio, todos con sus

respectivas coordenadas, incluyendo las correspondientes unidades geomorfológicas determinadas para el área de influencia del componente edafológico.

Tabla 18. Coordenadas Puntos de Descripción y Monitoreo de Suelos

Identificación del punto	Coordenadas Este	Coordenadas Norte	Fecha de monitoreo
P1	4766606,829	2033749,406	17/11/2020
P2	4766524,479	2033484,597	17/11/2020
P3	4766893,621	2033660,026	18/11/2020
P4	4766018,643	2033499,307	18/11/2020

Fuente: Elaboración propia

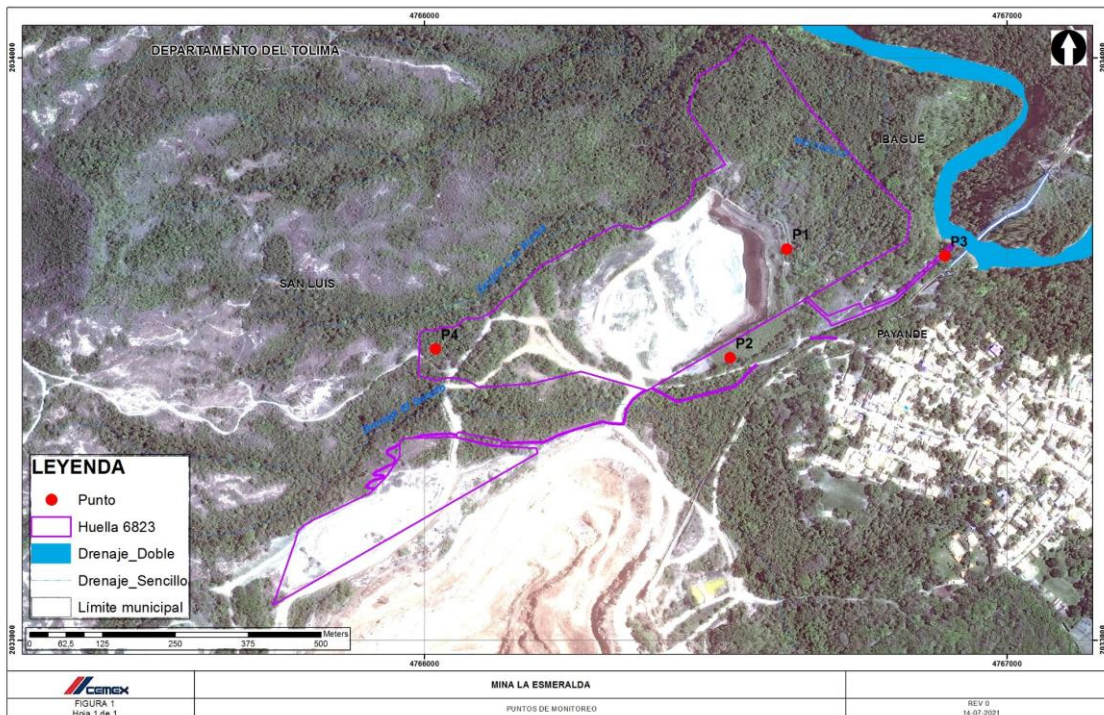


Figura 6. Puntos de Monitoreo de Suelos en el Área de estudio

Fuente: Elaboración propia

Las principales características evaluadas en campo en los diferentes puntos de monitoreo son:

- Pendiente del terreno

La pendiente del terreno en el área circundante al punto de monitoreo se representa como un valor en porcentaje (%). Esto se obtiene multiplicando por 100 la tangente del ángulo que define el desnivel del suelo. En la Tabla 19, se presentan los rangos que definen las clases de pendiente.

Tabla 19. Rangos para clases de pendiente

Símbolo	Descripción
a	Pendiente 0-3%, relieve plano o ligeramente plano
b	Pendiente 3-7%, relieve ligeramente inclinado
c	Pendiente 7-12%, relieve moderadamente inclinado
d	Pendiente 12-25%, relieve fuertemente inclinado
e	Pendiente 25-50%, relieve ligeramente escarpado
f	Pendiente 50-75%, relieve moderadamente escarpado
g	Pendiente > del 75%, relieve fuertemente escarpado

Fuente: IGAC, 2014.

- Erosión del suelo

Es un factor fundamental en la degradación de las tierras y tiene repercusiones en las funciones del suelo, como la capacidad para amortiguar y filtrar contaminantes, el desempeño en los ciclos del agua y del nitrógeno y su aptitud para suministrar hábitat y sustentar la diversidad biológica.

El agua ejerce acción erosiva (erosión hídrica) por medio del impacto que las gotas de lluvia causan en la superficie del terreno, ya que disgregan las partículas del suelo que luego son transportadas mediante el agua de escurrimiento. Las partículas de suelo en suspensión son depositadas en las partes más bajas cuando las corrientes de agua pierden velocidad.

Los procesos erosivos son más comunes en regiones secas, donde las lluvias torrenciales y la escasa vegetación permiten que el impacto de las gotas de lluvia disgregue las partículas del suelo y las arrastre a lugares más bajos. En climas húmedos, también la precipitación y la escorrentía afectan la capa superficial del suelo, ocasionando surcos y cárcavas.

La erosión se puede estimar mediante observaciones en terreno; para calificar el grado erosión, debe tenerse en cuenta el grado de avance del fenómeno en la unidad de suelos. Las clases de erosión se califican de acuerdo con lo presentado en la Tabla 20.

Tabla 20. Tipos de erosión

Grado De Erosión	Descripción	Símbolo
Nula o no apreciable	No se aprecia pérdida de suelo.	N/A
Ligera	El horizonte A o capa arable, solo se adelgaza en menos del 25% de su espesor. En la mayor parte del área, el grosor de la capa superficial está entre los límites normales de variabilidad del suelo no erosionado. Aparecen pequeñas áreas desnudas (sin vegetación natural).	1
Moderada	Hay escasa formación de surquillos. El horizonte A o capa arable ha sido arrastrado entre 25 y 75%. Aparecen en mayor proporción las áreas desnudas. Algunas áreas pueden tener patrones intrincados con manchas pequeñas y sitios erosionados más extensos donde el horizonte original A ha sido removido. En áreas cultivadas la capa superficial consiste en una mezcla del horizonte A y del material subyacente.	2
Severa	El arrastre del material del horizonte A o capa arable es casi total (más de 75%). Frecuentemente ocurre formación de surcos y en ocasiones se presentan cárcavas aisladas. En áreas cultivadas el material que se encuentra debajo del horizonte A está expuesto en la superficie.	3
Muy severa	Hay formación de cárcavas en una red densa. Los suelos han sido destruidos casi	4

Grado De Erosión	Descripción	Símbolo
	totalmente, excepto, en las pequeñas áreas que quedan entre cárcava y cárcava. El suelo original puede identificarse sólo en sitios aislados.	

Fuente: IGAC, 2014.

- Pedregosidad superficial

Hace referencia a la cantidad de fragmentos rocosos presentes en la superficie del suelo y que pueden afectar procesos a nivel de mecanización del suelo. Se consideran como fragmentos gruesos los pedazos de roca que tienen diámetro superior a 2 mm. Las dimensiones del tamaño de las partículas y de los fragmentos gruesos se presentan en la Tabla 21 a continuación:

Tabla 21. Tipos de fragmentos de roca

Tipo	Formas Irregulares (diámetro en cm)	Formas planas (diámetro en cm)
Gravilla fina a media	0,2 – 2	-
Gravilla gruesa	2 – 7,5	-
Cascajo	7,5 - 25	-
Piedra	25 - 60	38 – 60
Pedrejón	> 60	> 60
Laja pequeña	-	0,2 - 15
Laja grande	-	15 – 38

Fuente: IGAC, 2014.

Los fragmentos que se encuentran en los primeros 25 cm de la superficie del suelo, limitan el uso de la maquinaria agrícola y la penetración de la mayor parte de las raíces de las plantas, especialmente las que sirven para tomar los nutrientes. El grado de limitación está de acuerdo a la cantidad en que estos fragmentos aparecen.

- Profundidad efectiva

La profundidad efectiva de un suelo es el espacio en el que las raíces de las plantas comunes pueden penetrar sin mayores obstáculos, con vistas a conseguir el agua y los nutrientes indispensables. Tal información resulta ser de suma importancia para el crecimiento de las plantas.

La profundidad efectiva del suelo puede estar limitada por factores físicos y químicos, como: Abundancia de fragmentos gruesos, cambio textural abrupto (para algunas plantas), presencia de roca, horizontes o capas endurecidas, compactas o calcáreas, texturas esqueléticas o fragmentales y sales, entre otros.

Para caracterizar la profundidad efectiva se emplea una cinta métrica ubicada a lo largo del perfil de suelo y se utilizan los índices presentados en la Tabla 22, clasificando los rangos de profundidad del suelo en centímetros.

Tabla 22. Clases por profundidad efectiva

Clase	Profundidad (cm)
Muy superficial	< 25
Superficial	25-50
Moderadamente superficial	50-75
Moderadamente profunda	75-100

Clase	Profundidad (cm)
Profunda	100-150
Muy profunda	> 150

Fuente: IGAC, 2014.

- Textura del suelo

La textura indica el contenido relativo de partículas de tamaño arena, limo y arcilla, en una muestra o cantidad de suelos determinada. La textura tiene que ver con la facilidad con que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad con que el agua penetra en el suelo y lo atraviesa. Para la clasificación de la textura según los porcentajes, se utilizan los grupos indicados en la Tabla 23 y en la Figura 7.

Para determinar la textura en campo, se toma una muestra pequeña del horizonte en evaluación, se humedece con agua hasta el punto de capacidad de campo y se amasa entre los dedos índice y el pulgar hasta destruir los agregados e intentando moldear con la masa de suelo una bola o pelota. el profesional en campo será capaz de evaluar la textura directamente estimando los porcentajes de arena, limo y arcilla y la clase textural obtenida usando como referencia el diagrama textural de la Figura 7; esta información será corroborada con los reportes fisicoquímicos de laboratorio para cada punto de monitoreo.

Tabla 23. Clases texturales del suelo

Grupo	Clase	Grupo	Clase
GR - Texturas gruesas	Arenosa	ME - Texturas medias	Franco arenosa muy fina
	Arenosa muy gruesa		Franca
	Arenosa gruesa		Franco limosa
	Arenosa media		Limosa
	Arenosa fina	MF - Texturas moderadamente finas	Franco arcillosa
	Arenosa muy fina		Franco arcillo arenosa
	Arenosa franca gruesa		Franco arcillo limosa
	Arenosa franca	FI-Texturas finas	Arcillo arenosa
	Arenosa franca fina		Arcillo limosa
	Arenosa franca muy fina		Arcillosa
MG - Texturas moderadamente gruesas	Franco arenosa gruesa	FF - Texturas muy finas	Arcillosa fina
	Franco arenosa		Arcillosa muy fina
	Franco arenosa fina		

Fuente: IGAC, 2014.

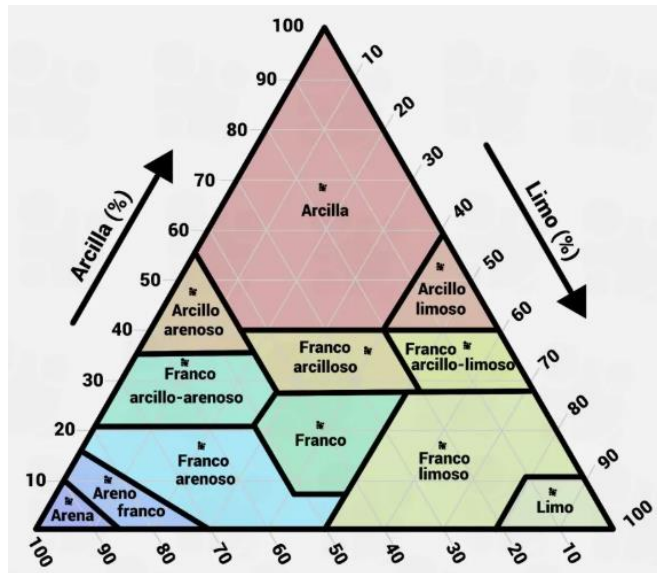


Figura 7. Triángulo textural
Fuente: IGAC, 2014.

- Estructura del suelo

La estructura del suelo se define por la forma en que se agrupan y organizan las partículas individuales de arena, limo y arcilla. Cuando las partículas individuales se agrupan, toman el aspecto de partículas mayores y se denominan agregados. En la Figura 8, se muestran los tipos de estructura de suelos.

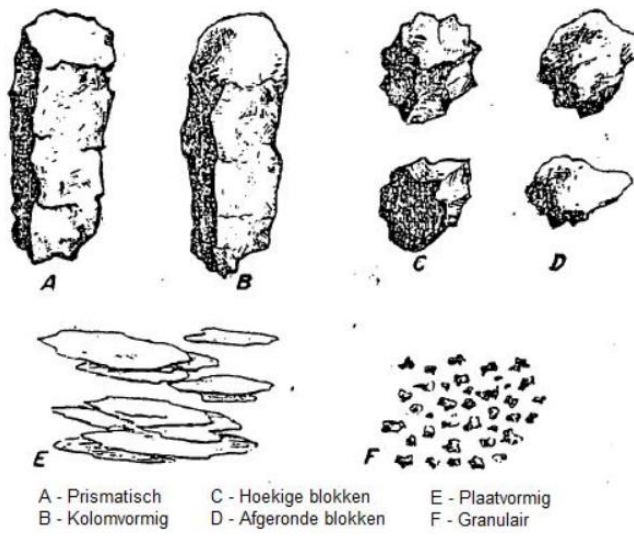


Figura 8. Tipos de estructura del suelo (A: Prismática, B: Columnar, C: Bloques angulares, D: Bloques subangulares, E: Laminar, F: Granular)
Fuente: IGAC, 2014.

- Drenaje del suelo

El drenaje natural del suelo es la mayor o menor rapidez o facilidad para evacuar el agua por escurrimiento superficial y por infiltración profunda. Esta propiedad del suelo se determina según lo indicado en la Tabla 24.

Tabla 24. Tipos de drenaje natural del suelo

Clase	Características
Excesivamente drenado	El agua se retira del suelo muy rápidamente.
Moderadamente excesivo	El agua se retira del suelo con rapidez.
Bien drenado	El agua se retira del suelo con facilidad pero no con rapidez.
Moderadamente bien drenado	El perfil del suelo permanece saturado por periodos cortos.
Imperfectamente drenado	El agua es removida del suelo con lentitud. El nivel freático se localiza a media profundidad del perfil del suelo.
Pobremamente drenado	El nivel freático se encuentra muy cerca de la superficie la mayor parte del año.
Muy pobremamente drenado	El nivel freático alcanza hasta la superficie o permanece sobre ella la mayor parte del año.

Fuente: IGAC, 2014.

- Color del suelo

El color del suelo es una de las características morfológicas más importantes, ya que en los levantamientos de suelos al separar los horizontes por colores utilizando la tabla Munsell, permite identificar distintas clases de suelos (ver Fotografía 3).

Los factores que influyen en la apreciación del color son la calidad e intensidad de la luz, la rugosidad de la superficie reflectora y la humedad de la muestra. El color del suelo es complejo, la medición se realiza mediante la comparación de la muestra con las plaquitas de colores que componen cada una de las hojas de Hue (matiz en la tabla Munsell). Se evalúa el color predominante (color de la matriz del suelo), que se corresponde con el que ocupa más del 50% del volumen del suelo; cuando existen varios colores, donde ninguno de ellos corresponde a más del 50% del volumen, se determinan todos los colores, comenzando con el que ocupa el mayor porcentaje.

El color puede ser utilizado como una clave del contenido de ciertos minerales en el suelo, fundamentalmente minerales férricos ya que ellos proveen la mayoría y la mayor variedad de pigmentos al suelo. Se describe la variedad de colores (negro, rojo, amarillo, marrón, gris, entre otros) sobre la base del origen de los pigmentos y su relación con determinadas condiciones ambientales.



Fotografía 3. Munsell para determinar colores del suelo
Fuente: INGETEC, 2021.

- Velocidad de infiltración

Se refiere a la capacidad que tienen los horizontes o capas superficiales del suelo de absorber el agua aplicada al sistema, representada en la entrada del agua de la superficie al suelo o en la penetración descendente del agua en el suelo. Para definir el comportamiento del flujo del agua a través del suelo (característica importante dentro de la descripción de los perfiles de suelo), se llevan a cabo pruebas de infiltración en lugares contiguos a los sitios donde se construyen calcatas.

Con la información obtenida se calcula la ecuación que caracteriza la infiltración del suelo (infiltración básica), la que puede obtenerse ajustando los resultados de tiempo acumulado y de infiltración instantánea y acumulada a modelos teóricos de tipo $y = ax^b$, por procedimientos estadísticos de regresión. La infiltración básica la define como aquel valor que adquiere la infiltración instantánea cuando presenta la tendencia a ser constante; según la definición anterior y lo que se ha discutido acerca de la infiltración instantánea, si se grafican en escala aritmética el tiempo acumulado vs la infiltración instantánea, se obtiene una curva de forma hiperbólica, la cual, después de un cierto tiempo, empieza a ser asintótica al eje de las abscisas; si se proyecta esta línea asintótica hasta cortar el eje de las ordenadas, se obtiene un valor estimado de la infiltración básica, la cual refleja el movimiento de agua en el suelo saturado, por lo que puede hacerse igual a la conductividad hidráulica saturada del mismo (Mercado, 1989, citado por: Jaramillo Jaramillo, 2002).

Estas pruebas se realizan empleando anillos concéntricos (véase Fotografía 4); donde el anillo exterior asegurará una completa saturación y expansión del suelo independientemente de las condiciones climáticas (época seca o lluviosa), manteniendo el anillo interno lleno de agua durante la realización de la prueba o la toma de lecturas. La saturación del suelo es muy importante porque los sistemas de infiltración deben funcionar correctamente en las épocas de lluvia, con este método se pretende simular ese hecho.

Las lecturas se hacen a diferentes intervalos de tiempo, dejando que baje el nivel de agua y volviendo agregar agua de ser necesario (al hacer esto, al tiempo se le denomina tiempo muerto). entre media y dos horas después de iniciada la

prueba, cuando el nivel varía muy poco o cuando se registran tres lecturas iguales de descenso de la lámina de agua en el anillo interno, en los mismos intervalos de tiempo.

El anillo exterior cuando se le vierte agua va a impedir que el agua del anillo interior fluya en sentido horizontal, evitando así errores en la determinación de la infiltración, en la cual se supone el flujo del agua debe ser en sentido vertical. Para realizar estas pruebas se procede de la siguiente manera:

- **Paso 1.** Se busca un lugar plano y característico del área en estudio para instalar el infiltrómetro. Antes de instalarlo se limpia el pasto o suelo, sacando hojas, basura e impurezas que puedan intervenir en el flujo normal del agua.
- **Paso 2.** Se entierran los anillos, aproximadamente cinco centímetros de la forma más vertical posible, martillando firmemente en los bordes.
- **Paso 3.** Se usa la regla verticalmente en el interior del anillo interno, para así poder medir el nivel del agua, enterrándose unos cuantos centímetros para que quede firme.
- **Paso 4.** Se llena con agua suavemente el interior de los anillos, hasta que el nivel de agua quede entre dos a cuatro centímetros.
- **Paso 5.** De inmediato, se empieza a registrar el tiempo y el nivel del agua; al principio se hacen mediciones con un bajo intervalo de tiempo, menor a 1 minuto, y luego depende de la tasa de descenso.
- **Paso 6.** Una vez efectuadas las medidas, se determina la tasa de infiltración promedio en régimen permanente. Ver Fotografía 4 y Tabla 25



Fotografía 4. Infiltrómetro de Doble Anillo
Fuente: INGETEC, 2021.

La velocidad de infiltración de los suelos se clasifica teniendo en cuenta la Tabla 10.

Tabla 25. Clasificación de la velocidad de infiltración

Velocidad de infiltración (cm/hr)	Interpretación
<0,1	Muy lenta
0,11 – 0,5	Lenta

Velocidad de infiltración (cm/hr)	Interpretación
0,51 – 2,0	Moderadamente lenta
2,01 – 6,3	Moderada
6,31 – 12,7	Moderadamente rápida
12,71 – 25,4	Rápida
> 25,4	Muy rápida

Fuente: IGAC, 2007.

- Uso potencial, uso actual y conflictos de uso de los suelos

Para determinar el uso potencial de los suelos e identificar los posibles conflictos de uso, se realizan observaciones en campo donde se obtendrá la información referente a cada una de las unidades cartográficas generadas con la información secundaria, permitiendo identificar parámetros determinantes tales como pendiente, grados de erosión, remoción en masa; humedad, profundidad del suelo, textura, pedregosidad, afloramiento rocoso; y las generalidades del clima, fertilidad, pisos térmicos, provincias de humedad y distribución de lluvias.

Durante los recorridos de observación, se identifica también el uso actual de los suelos en el área de estudio, de acuerdo con las coberturas vegetales identificadas.

2.3.2.1.4.3. Postcampo

- Análisis fisicoquímicos de laboratorio

Las propiedades físicas y químicas presentes en los suelos, resultan de la acción de diferentes procesos y factores en un medio ecológico definido, siendo principalmente el resultado de las condiciones climáticas del área donde se encuentran, del material parental y de los usos que ha tenido a través del tiempo. Las propiedades de un suelo pueden verse afectadas negativamente por usos inadecuados. La discusión de estas propiedades se hace con base en las características morfológicas observadas en el campo y en las determinaciones de laboratorio para cada suelo.

Durante el desarrollo del trabajo en campo, se realiza la respectiva toma de muestras y el posterior análisis de los cuatro puntos de monitoreo de suelo, en los horizontes identificados, durante la descripción de perfiles para cada punto. En el numeral 5.1.5 del capítulo 5 del presente EIA, se presentan los resultados de los análisis obtenidos por el Laboratorio Nacional de Suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi para los parámetros fisicoquímicos evaluados dentro del área de estudio y su empleo para posteriormente determinar la clasificación agrológica de los suelos estudiados.

- Fertilidad de los suelos

La fertilidad natural es la cualidad que tiene un suelo para proporcionar los nutrientes necesarios para el normal desarrollo de las plantas. Esta condición se determina en el laboratorio mediante análisis químicos; sin embargo, esta información debe ser complementada en el campo con observaciones sobre el desarrollo de los cultivos y la naturaleza

del material parental, ya que los análisis indican solamente los elementos disponibles en el momento actual y no la capacidad de los materiales del suelo para liberar, en forma constante, esos elementos.

La fertilidad se clasifica como de acuerdo con los índices presentados en la Tabla 26. Para el cálculo del índice de fertilidad se requieren los datos de capacidad de reacción de los suelos (pH), la saturación de aluminio (SAI), intercambio catiónico (CIC), porcentaje de saturación de bases, bases totales, porcentaje de carbono orgánico (CO), potasio (K) y fósforo (P) disponibles (IGAC, 2014) (véase Tabla 27):

Tabla 26. Clases por grado de fertilidad

Clase	Rango
Muy baja	≤ 3.6
Baja	3,7 – 5,1
Media	5,2 – 6.7
Alta	6,8 – 8.3
Muy alta	≥ 8,4

Fuente: IGAC, 2014.

Tabla 27. Evaluación de la fertilidad de los suelos

pH Agua 1:1		Rango Puntaje	< 4,5; > 8,5 1	4,6-5,0; 7,9-8,4 2	7,4-7,8 3	5,6 - 6,0 4	6,1-7,3 5
Saturación de Aluminio %		Rango Puntaje	> 60 1	60 – 30 2	29 – 15 3	14 - 5 4	< 5 5
Capacidad de Cambio me/100 g		Rango Puntaje	< 5 1	5- 10 2	11 - 15 3	16 - 20 4	> 20 5
Bases	Porcentaje Saturación	Rango Puntaje	< 10 0,5	10-35 1,0	36-50 1,5	51-70 2,0	> 70 2,5
	Totales me/100g	Rango Puntaje	< 4 0,5	4-8 1,0	8,1-12 1,5	12,1-16 2,0	>16 2,5
% Carbono Orgánico	Clima Frío	Rango Puntaje	< 1,3 1	1,4-2,6; >10 2	2,7-4,0; 8,1-10 3	4,1-5,2; 8,0-6,6 4	5,3-6,5 5
	Clima Medio	Rango Puntaje	< 0,5 1	0,6-1,7; >7,6 2	1,8-2,9; 6,5-7,6 3	3,0-4,1; 5,4-6,5 4	4,2-5,3 5
	Clima Cálido	Rango Puntaje	< 0,2 1	0,2-0,5 2	0,51-1,7 3	1,71-2,9 4	> 3,0 5
Fósforo ppm Bray II		Rango Puntaje	< 10 1	10-20 2	21-30 3	31-40 4	> 40 5
Potasio me/100g		Rango Puntaje	< 0,1 1	0,1-0,2 2	0,21-0,3 3	0,31-0,4 4	> 0,4 5

Fuente: IGAC, 2014.

Con base en la información obtenida de los resultados fisicoquímicos realizados y tomando las diferentes puntuaciones presentadas en la Tabla 12; se calcula la fertilidad total (FT), de acuerdo con la Ecuación 1.

$$FT = (0,7 F1 + 0,3 F2) * K$$

Ecuación 3.

Dónde:

- F1 = Fertilidad 0 – 25 cm
- F2 = Fertilidad 25 – 50 cm
- K = 0,285

- Clasificación agrológica y vocación de uso de los suelos (uso potencial)

Después de conocer los suelos de una zona determinada y el patrón de distribución en la dimensión espacial, el objetivo más importante de los levantamientos agrológicos es la definición de su capacidad de uso y las prácticas de manejo, de tal manera que el desarrollo agrícola, ganadero y forestal, así como las acciones encaminadas a la conservación, preservación y/o restauración del medio natural, se ejecuten de acuerdo con la vocación de las tierras y con los requerimientos de protección cuando son vulnerables ante la acción de los factores ambientales y la actividad del hombre (IGAC, 2014).

En la caracterización del área de influencia, la clasificación de las tierras por su capacidad de uso, se refiere al potencial que tienen las tierras para ser utilizadas bajo cierto tipo general de uso, con prácticas de manejo específicas (IGAC - CORPOICA, 2002), se inicia con la agrupación de las unidades cartográficas de suelos (UCS) según las clases agrológicas establecidas, así como la observación de los limitantes de uso en el trabajo de campo; luego mediante la interpretación de las características morfológicas, físicas, químicas y mineralógicas de los suelos y la evaluación de características externas como relieve, pendientes, erosión, inundaciones, pedregosidad y clima, se establecen los criterios para cada unidad de tierras por su Capacidad de Uso. Los suelos se agrupan según su capacidad para producir plantas cultivadas (cultivos, pastos, bosques), por largos periodos de tiempo sin que se presente deterioro del recurso, además, se pueden hacer generalizaciones basadas en la potencialidad y en las limitaciones en cuanto su uso y manejo.

Según las normas adoptadas por el IGAC del Sistema de Clasificación de Tierras por Capacidad de Uso, la clasificación agrológica se realiza por clases, establecidas básicamente por la capacidad de uso agrícola, pecuario, forestal o de conservación, sus limitaciones, riesgos de daños y formas como responden al manejo. Según este sistema, existen ocho categorías y se designan con números arábigos de 1 a 8, y está estructurado de forma tal que, a medida que se incrementa la clase por capacidad agrológica, disminuye la gama de cultivos a escoger, se incrementan las prácticas de manejo y aumentan significativamente la necesidad de proteger el recurso así:

- **Clase 1:** Tierras arables, no presentan o tienen muy pocas limitaciones para el uso agropecuario, siendo éstas de grado ligero, fácilmente corregibles. Son aptas para una amplia diversidad de cultivos adaptados a las condiciones ecológicas, así como para ganadería intensiva con pastos de corte.
- **Clase 2:** Presentan limitaciones ligeras que pueden reducir la posibilidad de elección de plantas para cultivo y requieren prácticas de manejo fáciles de aplicar, incluyendo las de conservación, para prevenir su degradación o para mejorar la relación agua - aire.
- **Clases 3:** Tierras con moderadas limitaciones y restricciones para el uso por erosión, pendiente, suelo, humedad o daño, solos o combinados. Estas disminuyen las posibilidades de selección de cultivos y las épocas de siembra e implican prácticas adecuadas de labranza y cosecha.
- **Clase 4:** Tienen limitaciones severas que las restringen a cultivos específicos y exigen prácticas cuidadosas de manejo y conservación difíciles de aplicar y mantener. Se pueden utilizar en ganadería con pastos de buenos rendimientos y con un manejo técnico de los potreros. La agroforestería es una buena opción en los sectores de pendientes más pronunciadas y susceptibles al deterioro.
- **Clases 5:** Es una clase potencial que tiene limitaciones severas para el uso que son factibles de modificar, disminuir o eliminar, con cierto grado de dificultad y con altos costos económicos. El uso de las tierras en estado natural se limita a agricultura y ganadería estacional escasamente tecnificada, agroforestería, conservación y preservación de los recursos naturales y ecoturismo.
- **Clase 6:** Presentan limitaciones muy severas que, en términos generales, las hacen aptas únicamente para algunos cultivos semiperennes o perennes, semidensos y densos; también se pueden desarrollar sistemas agroforestales y forestales. La ganadería extensiva es un uso alternativo si se lleva a efecto evitando el sobrepastoreo y con buen manejo de los potreros.
- **Clase 7:** Tierras que presentan limitaciones severas que las hacen inadecuadas para cultivos. Tienen aptitud forestal; el bosque tiene carácter protector, pero cuando las condiciones del relieve o la topografía y los suelos ofrecen suficiente profundidad efectiva para el anclaje y el desarrollo normal de las raíces de las especies arbóreas se puede hacer un uso sostenible del recurso forestal de tipo productor. Excepcionalmente se pueden

establecer sistemas agroforestales como el café con sombrero con prácticas de conservación de suelos y manejo de aguas tendientes a prevenir y controlar los procesos de erosión. La cobertura vegetal permanente de múltiples estratos es absolutamente necesaria dada la muy alta susceptibilidad de los suelos al deterioro. La ganadería debe ser excluida totalmente del área ocupada por las tierras de esta unidad de capacidad.

- **Clase 8:** Son tierras que por su vulnerabilidad extrema (áreas muy escarpadas) o por su importancia como ecosistemas estratégicos (páramo) para la regulación del recurso hídrico y por su interés científico, deben destinarse a la conservación de la naturaleza o a su recuperación en el caso de que hayan sido deterioradas.

El sistema de clasificación es multicategorico: en el nivel más alto de abstracción está entonces la clase, en el nivel intermedio la subclase y en el nivel inferior de la pirámide, el grupo de manejo. De acuerdo con factores limitantes, se obtienen las subclases de capacidad, que son categorías del sistema de clasificación por capacidad de uso, que especifican en las clases 1 a la 8, uno o más factores limitantes generales y específicos para las unidades de suelos. En términos generales se conocen limitaciones por pendiente (p), erosión (e), humedad en exceso (h), suelo (s) y clima (c) y cuando se presenta más de una, deben presentarse en el símbolo cartográfico y siguiendo el orden en el que se mencionaron previamente, haciéndose notar agregando a la correspondiente clase, una o más de dichas letras minúsculas respectivamente. Los grupos de manejo se definen con base en las limitaciones específicas como la temperatura, la distribución de las lluvias y las características particulares de los suelos, conllevando a que en una misma subclase se puedan establecer uno, dos o más grupos (IGAC, 2014).

Una vez analizadas e interpretadas las características de los componentes edáficos de las diferentes unidades cartográficas y analizados los factores climáticos y de pendientes se procede a agruparlas en Clases, Subclases y Grupos de manejo, tomando como base la estructura (categorías) y parámetros contenidos en la metodología de Clasificación de las Tierras por su Capacidad de Uso adaptada y modificada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi del manual 210 de Clasificación por Capacidad de Uso de las Tierras, del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (IGAC, 2014). El uso potencial se establece en función de las limitaciones de los suelos que se expresan con las unidades de clasificación agrológica que agrupa los suelos bajo limitaciones similares, establecidas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, lo que constituye un área definida cartografiable donde se pueden desarrollar los usos potenciales estimados. La determinación del uso potencial se complementa con las actividades de campo, con la evaluación de los siguientes aspectos del suelo: profundidad efectiva, pendiente del terreno, uso actual del suelo y propiedades fisicoquímicas del mismo.

Para establecer el uso potencial de los suelos del área de influencia se determinó la clasificación agrológica de los mismos por medio de una matriz en una hoja de cálculo, que contiene los parámetros definidos por la Metodología del IGAC, y se alimentó con información secundaria suministrada en el Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de Valle del Cauca (IGAC, 2002), con la información levantada en campo y con los resultados de los análisis fisicoquímicos determinados en laboratorio para los cuatro puntos de monitoreo de suelos. Aunque el nivel de detalle en el estudio de suelos es menor que el de este estudio, las comparaciones permiten tener un acercamiento a lo observado en campo y así, definir lo más acertado para cada unidad de suelo.

- Homologación del uso actual de los suelos con base en las coberturas de la tierra

Existen numerosas acepciones que se asignan a los términos "Uso" y "Cobertura" las cuales dependen de la disciplina dentro de la cual se emplean. Así, el término cobertura se aplica en un todo o en parte a algunos de los atributos de la tierra y que en cierta forma ocupan una porción de su superficie, por estar localizados sobre ésta. El término uso se aplica al empleo que el hombre da a los diferentes tipos de coberturas, cíclica o permanentemente, para satisfacer sus necesidades materiales o espirituales (IGAC - CORPOICA, 2002), lo anterior hace referencia a la forma como las comunidades hacen el aprovechamiento del territorio, principalmente de las coberturas de la tierra. El uso del suelo puede evidenciarse a través de métodos indirectos utilizando información proveniente de los sensores remotos como aerofotografías, imágenes satelitales, que sirven para determinar los tipos de coberturas de la tierra. A partir de la información de coberturas se puede inferir el tipo de uso que se está realizando en una determinada región.

El uso actual del suelo corresponde al empleo que se le está dando a cada área y da indicios del grado de intervención antrópica del área de influencia; dado que se construye con base a un mapa escala 1:10 000, con un área mínima de

delimitación de 0,25 ha. El uso actual del suelo se encuentra definido por las actividades a las que la zona está sometida en el momento del desarrollo de la fase de campo, y según las coberturas de la tierra presentes definidas por el sistema Corine Land Cover, la foto interpretación y la verificación en campo

Al igual que en el ítem de uso potencial, para la definición de uso actual de los suelos, se tienen en cuenta los grupos y subgrupos de uso de suelos establecidos por la ANLA y conforme a la metodología desarrollada por el IGAC (véase Tabla 28). Sin embargo, y contemplando lo resuelto por la Resolución 2182 de 2016 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS, 2016), donde se modifica y consolida el modelo de almacenamiento geográfico (geodatabase), se proponen y adicionan los dominios necesarios en las tablas de dominios ("Dom_Uso" y "Dom_TipoUso") que hagan referencia a los usos del suelo no agropecuario como zonas urbanas, transportes (vías) o zonas de extracción minera, entre otros.

Tabla 28. Usos de los suelos

Grupo (Uso)	Subgrupos (Tipo De Uso)
Agrícola	Cultivos transitorios intensivos
	Cultivos transitorios semiintensivos
	Cultivos semipermanentes y permanentes intensivos
	Cultivos semipermanentes y permanentes semiintensivos
Agroforestal	Silvoagrícola
	Agrosilvopastoril
	Silvopastoril
Ganadera	Pastoreo intensivo y semiintensivo
	Pastoreo extensivo
Forestal	Producción
	Producción-protección
	Protección
Conservación	Forestal protectora
	Recursos hídricos
	Recuperación

Fuente: IGAC - CORPOICA, 2002

- Conflictos de uso de los suelos

Los conflictos de uso de la tierra son el resultado de la discrepancia entre el uso que el hombre hace actualmente del medio natural y aquel que debería tener de acuerdo con la oferta ambiental. Se originan por diversas causas entre las que sobresalen la desigualdad en la distribución de tierras y el manejo no planificado de la relación uso-tierra en una determinada región. Los conflictos del uso de la tierra se presentan cuando las tierras son utilizadas inadecuadamente ya sea por sobreutilización o subutilización.

En la determinación de conflictos, se aplica el procedimiento, que se está utilizando en el país para generar la información de conflictos de usos del territorio. Se compara espacialmente mediante el uso de un sistema de información geográfica (SIG) el mapa de usos actuales versus el mapa de capacidad de uso (clases agrológicas) o uso potencial y se analiza con una matriz de doble entrada, las unidades resultantes. El objetivo es identificar aquellas unidades espaciales en las cuales los usos actuales corresponden con la capacidad de uso del territorio, y en donde esto ocurre, no hay

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

conflictos de uso; cuando los usos actuales no corresponden con la capacidad de uso del territorio se presenta el conflicto de uso.

La correspondencia indica que el suelo es utilizado adecuadamente, situación que se define como el equilibrio y significa que el uso existente o actual en el suelo presenta exigencias iguales a su oferta ambiental. Aquellos suelos donde el agroecosistema existente corresponde con la vocación del uso potencial o con un uso compatible, sin causar deterioro ambiental y manteniendo actividades adecuadas y concordantes con la productividad natural de las tierras. Estos suelos se definen entonces como lugares geográficos en los cuales existen las condiciones ambientales propicias para el desarrollo de los usos actuales, por lo cual se recomienda evitar que entren en algún tipo de conflicto.

Cuando se presentan diferencias entre el uso actual y el potencial se dan dos escenarios:

- Subutilización del suelo: Hace referencia al uso actual que es menos intensivo que el uso potencial. Cuando el agro-ecosistema existente corresponde a un nivel inferior de intensidad de uso, si se compara con la mayor capacidad productiva de las tierras.
- Sobreuso del suelo: Cuando las exigencias del uso actual o cobertura vegetal existente son mayores que la oferta productiva del suelo, de acuerdo con sus características agroecológicas. En estas tierras se hace un aprovechamiento intenso de la base natural de recursos, sobrepasando su capacidad natural productiva y propiciando graves riesgos de tipo ecológico y social.

Por sobreuso se presentan varios niveles de diferencias que dan lugar a conflictos tales como los que se relacionan en la Tabla 29.

Tabla 29. Tipos de conflicto de uso de los suelos

Tipo de conflicto	Sigla
Tierras sin conflicto de uso o uso adecuado	A
Conflicto por subutilización ligera	S1
Conflicto por subutilización moderada	S2
Conflicto por subutilización severa	S3
Conflicto por sobreutilización ligera	O1
Conflicto por sobreutilización moderada	O2
Conflicto por sobreutilización severa	O3

Fuente: IGAC - CORPOICA, 2002

Con el fin de evaluar la concordancia, compatibilidad o discrepancia en el uso, mediante el proceso de confrontar ordenadamente cada tema: Vocación Actual de Uso (Capacidad de uso de las tierras) contra Uso Actual, y con base en el capítulo IV de la Zonificación de los Conflictos de Uso de las Tierras en Colombia (IGAC - CORPOICA, 2002), se toma como referencia la matriz de decisión, presentada en la Tabla 30.

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

VOCACIÓN		U S O A C T U A L											
		A G R I C O L A				A G R O F O R E S T A L		G A N A D E R A		F O R E S T A L		C O N S E R V A C I Ó N	
		CTI, CTS		CSI		CSS		SAG	SAP-SPA	PSI	PEX	FPR	FPP
Tipo principal de uso		Cu	Cfa, Ba, Fr, Cf, Pa	Ac	Cs-Cfi	Af	Pa	Pm	Ap, Pn	Bp	Bi, Ma		
A G R I C O L A	Cultivos transitorios intensivos	CTI	A	A	S2	S2	S2	S3	S1	S3	S3	S3	S3
	Cultivos transitorios semi-intensivos	CTS	A	A	S1	S1	S2	S3	S1	S3	S3	S3	S3
	Cultivos semipermanentes y permanentes intensivos	CSI	A	A	S1	S1	S2	S3	S1	S3	S3	S3	S3
	Cultivos semipermanentes y permanentes semi intensivos	CSS	O1	O1	A	A	A	S2	O1	S2	S1	S3	S3
A G R O F O R E S T A L	Silvoagropecuaria	SAG	O3	O1	O2	O1	A	S2	O2	S1	A	S2	S3
	Agrosilvopastoril	SAP	O3	O1	O2	O1	O1	A	O2	A	A	S2	S3
	Silvopastoril	SPA	O3	O2	O3	O2	O2	A	O2	A	A	S2	S3
	Pastoreo intensivo	PSI	O1	O1	O1	O1	O1	S1	A	S2	A	S3	S3
P E C U A R I A	y semiintensivo												
	Pastoreo extensivo	PEX	O3	O3	O3	O2	O2	S1	O1	A	A	S2	S3
F O R E S T A L	Producción	FPR	O3	O2	O3	O3	S1	O1	O3	S2	A	S2	S3
	Protección-producción	FPP	O3	O3	O3	O3	O2	O2	O3	O1	A	A	A
	Protectora	CFP	O3	O3	O3	O3	O2	O3	O3	O2	A	O1	A
C O N S E R V A C I Ó N	Recursos hídricos	CRH	O3	O3	O3	O3	O3	O3	O3	O3	A	O3	A
	Recuperación	CRE	O3	O3	O3	O3	O3	O3	O3	O3	A	O3	A

Tabla 30. Matriz de decisión para conflictos de uso de los suelos
Fuente: Tomado de IGAC - CORPOICA, 2002

2.3.2.1.5. Hidrología

Se realizó la caracterización hidrológica del área de estudio a partir de la información cartográfica, hidrométrica y climatológica disponible, así como de las huellas del proyecto.

Los análisis llevados a cabo en el presente numeral consisten en la caracterización morfométrica de las subcuencas identificadas a partir de la red de drenaje a escala 1:25000 de la plancha IGAC 245IIC y de cartografía detallada del proyecto que cuenta con curvas de nivel cada 2 m.

Se presenta la caracterización hidrológica en términos de caudales medios, máximos y caudal ambiental para estas unidades hidrográficas localizadas en el área de estudio.

Por último se presentan los valores de los índices de regulación hídrica, aridez, escasez y de vulnerabilidad al desabastecimiento en cada una de las subcuencas caracterizadas según los valores regionales presentados en el Estudio Nacional del Agua, 2010 y se estimaron a partir de la caracterización hidrológica de las subcuencas en estudio (curvas de duración de caudales, ETP, ETR).

De acuerdo con la zonificación hidrográfica establecida por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en el informe de "Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia" (IDEAM, 2014), el proyecto se localiza en el área hidrográfica Magdalena Cauca (Código IDEAM 2), Zona hidrográfica Alto Magdalena (Código IDEAM 21) y la subzona hidrográfica río Coello (Código IDEAM 2121). Para los niveles subsiguientes se utilizarán los presentados a continuación:

Tabla 31. Localización del proyecto en la zonificación Hidrográfica

Área hidrográfica	Zona hidrográfica	Subzona hidrográfica	Unidad hidrográfica Nivel I	Unidad hidrográfica Nivel II	Unidad hidrográfica Nivel III
Magdalena Cauca	Alto Magdalena	Río Coello	Río Coello	Río Coello	Drenaje NN 1
					Drenaje NN 2
					Zanjón Los Huilos
		Río Luisa y otros directos al Magdalena	Río Luisa	Quebrada El Cobre	Drenaje El Salado

Fuente: Elaboración propia.

Para la delimitación de las subcuencas asociadas a la red de drenaje de interés se empleó la cartografía IGAC a escala 1:25.000, definiendo las divisorias de agua asociadas a las subcuencas hidrográficas y se determinando las principales características morfométricas como son área de drenaje, longitud de cauce principal, pendiente media de cauce principal, tiempo de concentración, coeficiente de compacidad, factor de forma, densidad de drenaje, pendiente media de cuenca e índice de sinuosidad.

Las estaciones de precipitación se encuentran distribuidas espacialmente como se muestra en la Figura 9. Las coordenadas de localización de estas estaciones se encuentran en la Tabla 32, se observa que la estación La Resaca es la más representativa de las subcuencas de los drenajes localizados en la zona de estudio.

Tabla 32. Estaciones de precipitación empleadas.

Código	Nombre	Tipo	Depto	Norte	Este	Elevación	Periodo de registro
21210190	La Resaca	PG	TOLIMA	4761635	2030663	1250	1987-2019
21210200	Buenos Aires	PM	TOLIMA	4769975	2037345	728	1987-2019
21180210	Valle de San Juan	PM	TOLIMA	4765569	2021524	591	1972-2019
21215080	Chicoral	CO	TOLIMA	4778612	2025866	432	1963-2019
21245040	Apto Perales	SS	TOLIMA	4762681	2047206	943	1971-2019

Fuente: IDEAM.

Nota: CP: Climatológica Principal, CO: Climatológica Ordinaria, PM: Pluviométrica, SS: Sinóptica Secundaria.

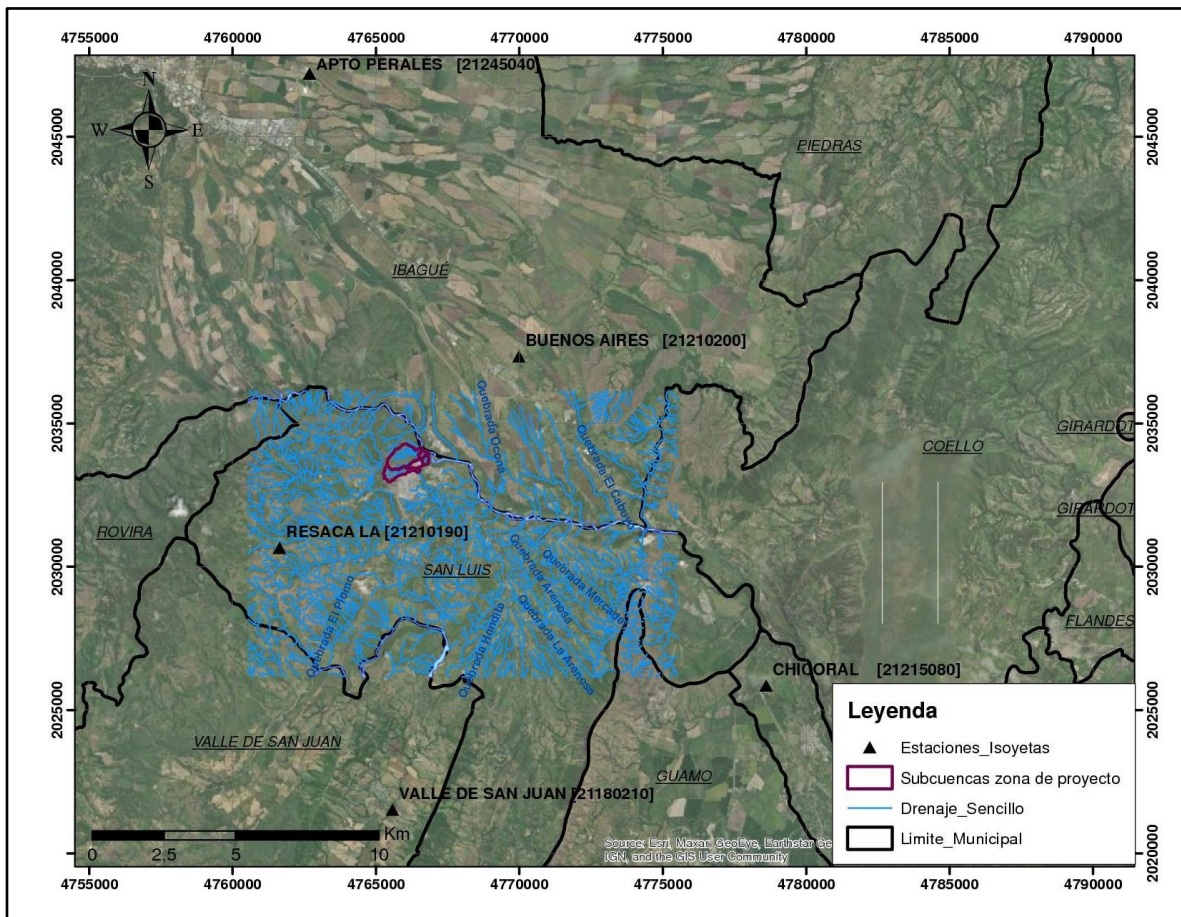


Figura 9. Localización de estaciones de precipitación.

A las series de precipitación, se les realizaron cuatro pruebas de normalidad con el objetivo de definir el conjunto de pruebas paramétricas o no paramétricas que evaluarán la consistencia y la homogeneidad de las series.

Para tal efecto se realizaron las pruebas de Shapiro Wilk, Kolmogorov Smirnov, Anderson Darling, Lillie y Shapiro Francia para un nivel de significancia del 5%. Se encontró que todas las estaciones analizadas se comportan bajo una distribución de probabilidad no paramétrica, es decir que no siguen una distribución normal. Adicionalmente se realizaron curvas de doble masa y complementación de vacíos de precipitación aplicando el método propuesto por Monsalve (1995), el cual estima la precipitación de la estación a complementar a partir de las estaciones más cercanas.

2.3.2.1.5.1. Caudales medios

Dentro del área de influencia no se identificaron estaciones hidrométricas que permitan realizar la caracterización de los drenajes identificados a partir de información directa de estos cuerpos de agua. En las cuencas principales (río Coello y río Luisa) sí se encontraron estaciones de caudales a partir de las cuales se pudo realizar calibración de un modelo hidrológico.

En la cuenca del río Coello se cuenta con la estación Payandé (21217070), que tiene un área de drenaje aproximado de 1529 km², mientras que en la cuenca del río Luisa se cuenta con las estaciones Cucunubá (código 2118703, área 322,8 km²) y Pavo Real (código 2118702, área 168,12 km²)

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

El cálculo de los caudales medios se basó en los resultados obtenidos de la aplicación del modelo IHACRES. El modelo IHACRES fue seleccionado para generar la serie diaria de caudales medios para un periodo de 30 años a partir de los cuales se realizó la estimación del caudal medio mediante la construcción del histograma mensual. Su calibración se realizó en la cuenca intermedia del río Luisa, entre las estaciones Cucunubá y Pavo Real.

2.3.2.1.5.2. Caudales máximos

Dada la poca instrumentación de cauces cercanos al área de influencia, se evidenció la necesidad de implementar modelos de transformación de precipitación en escorrentía directa; con estos métodos, en los que se requieren datos históricos de lluvia de corta duración y que se aplican a una cuenca hidrográfica, se calcula el caudal máximo de escorrentía superficial.

En este caso se calcularon los caudales máximos con el Modelo Lluvia-Escorrentía del HEC-HMS, utilizando el método del hidrograma unitario del SCS, como se describe a continuación. Este método se implementó para las seis subcuencas identificadas en el área de estudio que son: Zanjón Los Huilos, Drenaje El Salado, Drenaje NN 1 y Drenaje NN 2.

En términos generales, un hidrograma unitario es la función de respuesta de pulso unitario para un sistema lineal, y se define como el hidrograma de escorrentía directa resultante de una unidad de exceso de lluvia (precipitación efectiva) generado uniformemente sobre el área de drenaje a una tasa constante a lo largo de una duración efectiva (Ven Te Chow, 1994). Las suposiciones del modelo son: i) El exceso de precipitación tiene una intensidad constante dentro de la duración efectiva, ii) El exceso de precipitación está fuertemente distribuido a través de toda el área de drenaje, iii) el tiempo base, del hidrograma unitario resultante de un exceso de lluvia de una duración dada, es constante, iv) las ordenadas de todos los hidrogramas son directamente proporcionales a la cantidad de escorrentía directa, y v) el hidrograma resultante de un exceso de lluvia dado refleja las características no cambiantes de una cuenca.

El SCS propuso un hidrograma sintético triangular cuya geometría (Figura 10) se define con el área y el tiempo de concentración de la cuenca, como se presenta en la Ecuación 4.

$$Q_p = 0,2083 \frac{A}{t_p} E$$

Ecuación 4.

Fuente: (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

Donde:

A es el área de la cuenca en km².
E es la escorrentía unitaria, 1 mm
Tp es el tiempo al pico

El tiempo al pico medio desde el comienzo del hidrograma, el cual se obtiene con la expresión presentada en la Ecuación 5.

$$t_p = \frac{d}{2} + t_l = \frac{d}{2} + 0,6 * t_c$$

Ecuación 5.

Fuente: (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

Donde:

t_l es el tiempo de rezago de la cuenca que corresponde a una fracción (60%) del tiempo de concentración t_c , definido en el numeral de morfometría
 d es la duración de exceso de precipitación unitaria.

Para finalizar la descripción geométrica del hidrograma, el ancho de la base se define como la Ecuación 6

$$T_{bt} = \frac{8}{3} t_p$$

Ecuación 6.

Fuente: (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

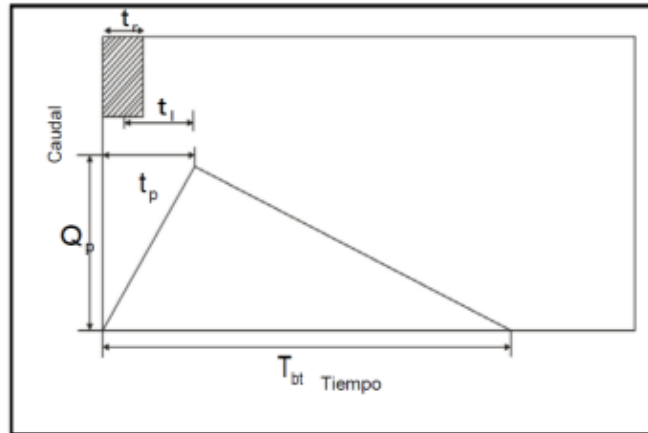


Figura 10. Hidrograma Unitario Triangular del SCS

Fuente: (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

El software utilizado en el modelo lluvia escorrentía fue el HEC-HMS del Hydrologic Engineering Center de los Estados Unidos que es de libre distribución y utiliza parámetros que no requieren información detallada o mediciones adicionales a registros de lluvias y caudales. Este modelo representa la relación física precipitación-suelo-cobertura del suelo-escorrentía a partir de datos de precipitación aplicada sobre un área con características morfométricas y de usos del suelo definidas generando un hidrograma de salida de la cuenca.

Como parámetros de entrada del modelo se tienen área, cobertura vegetal y usos del suelo obtenidas a partir de la información disponible de la zona, de datos abiertos del IDEAM y del IGAC.

Tormenta de diseño

La tormenta de diseño se generó a partir de la información de la estación La Resaca.

Precipitaciones máximas en 24 horas

A partir de los registros de precipitación máxima en 24 horas en la estación representativa de las subcuencas, se realizó el ajuste estadístico mediante diferentes funciones de distribución de probabilidad, seleccionando la de mejor ajuste, con el propósito de estimar las precipitaciones máximas asociadas diferentes periodos de retorno, entre 2,33 y 100 años.

Distribución espacial de la precipitación y reducción por área

Debido a que los registros de precipitación máxima en las subcuencas son puntuales por la localización de las estaciones, son máximos en 24 horas y no corresponden a duraciones inferiores de tormentas, se determinó la precipitación máxima promedio sobre las cuencas mediante el uso de diferentes metodologías.

Factores de reducción por área recomendados.

Para determinar el factor de reducción por área, el manual de drenajes del INVIAS recomienda el uso de tres ecuaciones y el uso del estudio realizado por INGETEC en 2005 para la Empresa de Acueducto de Bogotá denominado Estudio y revisión de las curvas IDF y del Análisis Espacial de las Tormentas, curvas PADF para la Sabana de Bogotá – Referencia 2.14 del manual de drenajes.

El factor de reducción por área y duración considerando el promedio del factor de reducción por área (entre 0,95 y 0,97) es de 0,48 ($0,96 \cdot 0,50$) para las cuencas 1 y 2, teniendo en cuenta que la diferencia es muy poca, se adopta este mismo factor para las 4 subcuencas en estudio.

Hietograma

Para la aplicación de modelos lluvia-escorrentía es necesario calcular los hietogramas de diseño, que básicamente son el ordenamiento de la precipitación de diseño durante la duración total del aguacero de diseño y el periodo de retorno que se esté analizando. La metodología implementada corresponde a la distribución del Soil Conservation Service tipo II.

En la Figura 11 se presenta la distribución temporal del evento de lluvia que se empleó en la modelación hidrológica para un periodo de retorno de 100 años para las subcuencas en estudio a manera de ejemplo.

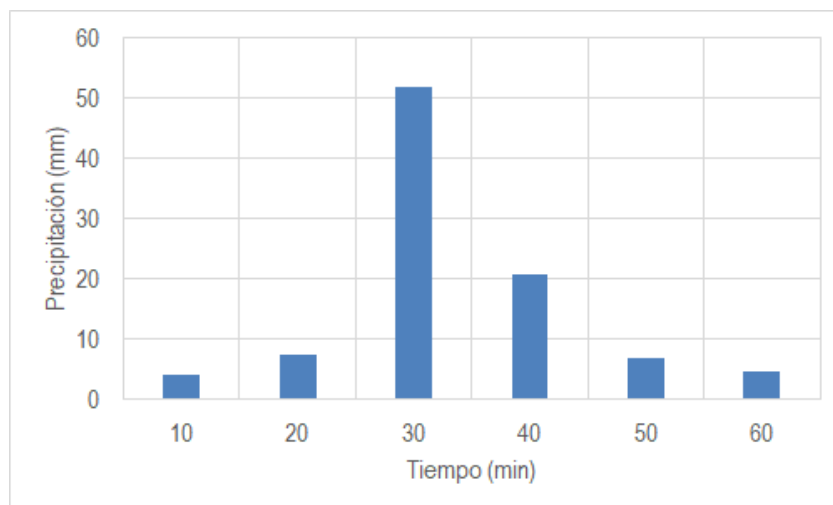


Figura 11. Distribución de la precipitación para las subcuencas en estudio, Tr 100 años.

Precipitación efectiva

La precipitación efectiva es la precipitación que se convierte en escorrentía directa, por lo tanto, es importante calcular las abstracciones de una tormenta, las cuales incluyen la interceptación, la detención superficial y la infiltración propiamente dicha.

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

El método implementado se denomina “Número de Curva”, propuesto por el SCS; en este método, la profundidad de escorrentía (es decir, la profundidad efectiva de precipitación) es una función de la profundidad total de precipitación y de un parámetro de abstracción referido al número de curva de escorrentía, denominado número de curva o CN. El número de curva varía en un rango de 1 a 100, existiendo una función de las siguientes propiedades productoras de escorrentía de la cuenca hidrográficas: i) tipo de suelo hidrológico, ii) utilización y tratamiento del suelo, iii) condiciones de la superficie del terreno, y (iv) condición de humedad antecedente del suelo. (INVIAS, 2009).

El valor de CN II utilizado corresponde principalmente a pastos y vegetación secundaria, de grupo hidrológico de suelo B (poco profundos, bien drenados y texturas gruesas a medias).

2.3.2.1.5.3. Caudales mínimos

La cartografía IGAC a escala 25 000 clasifica los drenajes identificados en la zona de estudio como drenajes de tipo intermitente, por lo tanto, estos cuerpos de agua pueden secarse anualmente y presentar un valor de caudal mínimo de 0 l/s. En la Tabla 33, se presenta el caudal mínimo estimado de los caudales medios mensuales.

Tabla 33. Caudales mínimo del caudal medio mensual.

Nombre	Zanjón Los Huilos	Drenaje NN 1	Drenaje NN 2	Drenaje el Salado
Tipo	Intermitente	Intermitente	Intermitente	Intermitente
Caudal (l/s)	0,0	0,0	0,0	0,0

2.3.2.1.5.4. Caudales del río Coello

En el proyecto se tiene contemplado un punto de vertimiento de aguas lluvias interceptadas por el pit minero, este punto de vertimiento se encuentra localizado sobre el río Coello, aguas arriba de la estación Limnigráfica Payandé (código 21217070), como se presenta en la Figura 12.

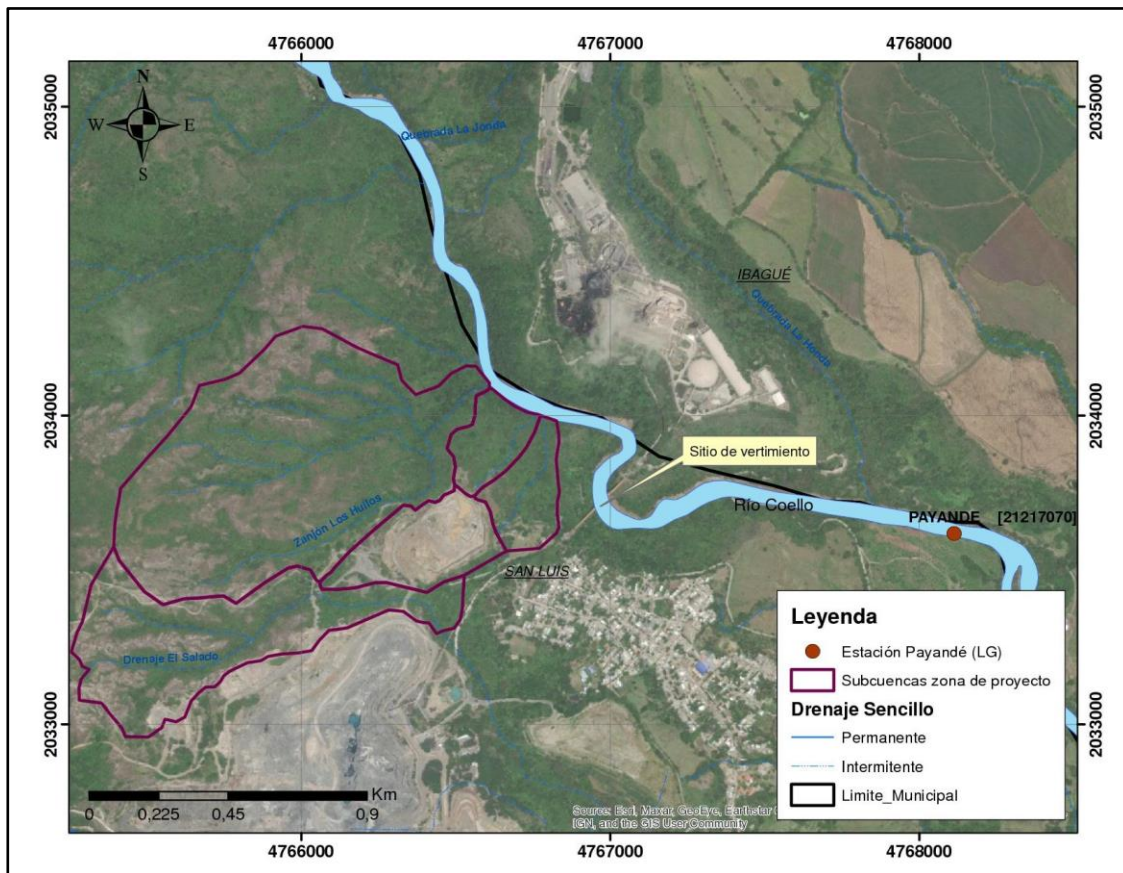


Figura 12. Localización de la estación Payandé y el sitio de vertimiento sobre el río Coello

Para caracterizar los caudales medios, máximos y mínimos del río Coello en el punto de vertimiento, se emplearán los registros de caudales medios diarios de la estación Payandé, que cuenta con registros para el periodo 1983-2017.

2.3.2.1.6. Calidad de agua

Con el propósito de evaluar el estado de la calidad del agua antes de la ejecución del proyecto, estimar los potenciales impactos sobre este y con base en los cuerpos de agua susceptibles de intervención del proyecto por ocupación de cauce y vertimientos, se realizó la caracterización fisicoquímica, bacteriológica, microbiológica sobre los cuerpos de agua más representativos en el área de influencia del proyecto. Por lo anterior, se desarrolló una campaña llevada a cabo en los meses de febrero y marzo de 2021, correspondiente a época seca y húmeda respectivamente.

Los parámetros a monitorear corresponden a los establecidos en los términos de referencia de minería (ANLA 2016) y los correspondientes a la resolución 631 de 2015 específicamente para el río Coello como cuerpo receptor de la descarga de aguas almacenadas en el fondo del pit de explotación. Los resultados se comparan con los valores límite del decreto 1076 de 2015 y resolución 631 de 2015.

Los muestreos de calidad de agua se realizaron a través del laboratorio acreditado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, AGQ PRODYCON COLOMBIA SAS. Adicionalmente, el laboratorio realizó el monitoreo teniendo en cuenta la guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas del IDEAM. 2002 y el protocolo de seguimiento del agua IDEAM. 2007. La recolección de muestras de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos se realizaron con base en los requerimientos exigidos en el documento de los términos

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

de referencia para la elaboración del estudio de impacto ambiental en proyectos de explotación minera del ANLA (2016). En la Tabla 34, se presentan los parámetros analizados con sus respectivos métodos analíticos.

Tabla 34. Variables y Métodos Analíticos por el Laboratorio

PARÁMETROS	UNIDADES	TÉCNICA	TDR	RES 631 DE 2015
INSITU				
% Saturación de Oxígeno	%	EPA 360.3_OXiDis_A_CONDUS	X	X
Oxígeno Disuelto In Situ Medido MA	mg/L	SM 4500-OG/ASTMD-888-12_OxiDis_A_ELECTRM	X	X
pH In Situ Medido MA	Unidades de pH	SM 4500 H+B_pH_A_ELCTRM	X	X
Temperatura In Situ Medido MA	°C	SM 2550B_Tem_A_ELECTRM	X	X
PARÁMETROS MEDIDOS EN LABORATORIO				
Aceites y Grasas	mg/L	SM 5520 C_GyA_A_FTIR	X	X
Acenafteno	µg/L	EPA8270E Rev6 2018_ComHAP_A_CG_MS	X	X
Acenaftileno	µg/L	EPA8270E Rev6 2018_ComHAP_A_CG_MS	X	X
Acidez Total	mg/L CaCO3	SM 2310 B_Aci_A_VOLUM	X	X
Alcalinidad Total	mg/L CaCO3	SM 2320 B_AlcTotBic_A_CALC	X	X

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

PARÁMETROS	UNIDADES	TÉCNICA	TDR	RES 631 DE 2015
Algas del Perifiton	ind/cm2	SM 10300C_AlgPer_A_IDENTF	X	X
Algas del Perifiton	taxa	SM 10300C_AlgPer_A_IDENTF	X	X
Aluminio Total	mg/L	EPA 200.7_MetTot_A_ICP_OES	X	X
Antraceno	µg/L	EPA8270E Rev6 2018_ComHAP_A_CG_MS	X	X
AOX (Comp. Organicos Adsorbibles)	µg/L	PS-9129_AAOX_A_SUBCT	X	X
Arsénico Total	mg/L	EPA 200.7_MetTot_A_ICP_OES	X	X
Benceno	µg/L	EPA 8260 D_SumBTEX_A_CG_MS_PT	X	X
Benzo (a) antraceno	µg/L	EPA8270E Rev6 2018_ComHAP_A_CG_MS	X	X
Benzo (a) pireno	µg/L	EPA8270E Rev6 2018_ComHAP_A_CG_MS	X	X
Benzo (b) fluoranteno	µg/L	EPA8270E Rev6 2018_ComHAP_A_CG_MS	X	X
Benzo (g,h,i) perileno	µg/L	EPA8270E Rev6 2018_ComHAP_A_CG_MS	X	X
Benzo (k) fluoranteno	µg/L	EPA8270E Rev6 2018_ComHAP_A_CG_MS	X	X
Cadmio Total	mg/L	EPA 200.7_MetTot_A_ICP_OES	X	X

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

PARÁMETROS	UNIDADES	TÉCNICA	TDR	RES 631 DE 2015
Calcio Total	mg/L	EPA 200.7_MetTot_A_ICP_OES	X	X
Carbono Orgánico Disuelto	mg/L	SM 5310 B_COT_A_COM_IR		X
Carbono Orgánico Total - COT	mg/L	SM 5310 B_COT_A_COM_IR	X	
Cianuro Disponible	mg/L	PS-9273_CiDis_A_SUBCT	X	X
Cianuro Libre	mg/L	PS-9041_CiaLib_A_SUBCT	X	X
Cianuro Total	mg/L	SM 4500 CN-E Mod_Cia_A_UV_VIS	X	X
Cloruros	mg/L	SM 4110 B Mod_Ani_A_CRM_ION	X	X
Cobre Total	mg/L	EPA 200.7_MetTot_A_ICP_OES	X	X
Coliformes Fecales por NMP	NMP/100mL	SM 9221 E_ColFec_A_NMP	X	X
Coliformes Termotolerantes (Fecales)	u.f.c./100 ml	SM 9222D_ColTerFec_A_FIL_MEMB		X
Coliformes Totales	u.f.c./100 ml	ISO 9308-1:2014_FilMem_A_FIL_MEMB		X
Coliformes Totales por NMP	NMP/100mL	SM9221B Mod_ColFec_A_TUB_MUL	X	X
Color Real a 436 nm	m-1	ISO7887 2011MetB_ColRea_A_UV_VIS	X	X
Color Real a 525 nm	m-1	ISO7887 2011MetB_ColRea_A_UV_VIS	X	X
Color Real a 620 nm	m-1	ISO7887 2011MetB_ColRea_A_UV_VIS	X	X
Color Real a tres longitudes	m-1	ISO7887 2011MetB_ColRea_A_UV_VIS	X	X
Conductividad Eléctrica	µS/cm	SM 2510 B_ConEle_A_ELECTM	X	X

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

PARÁMETROS	UNIDADES	TÉCNICA	TDR	RES 631 DE 2015
Criseno	µg/L	EPA8270E Rev6 2018_ComHAP_A_CG_MS	X	X
Cromo Hexavalente	mg/L	SM 3500 Cr-B_Cro_A_UV_VIS	X	X
Cromo Total	mg/L	EPA 200.7_MetTot_A_ICP_OES	X	X
DBO 5 Filtrada	mg/L	SM5210B-C/ASTM888MétC_Dbo_A_ELECTRM		X
DBO 5 Suspendida	mg/L	SM5210B-C/ASTM888MétC_Dbo_A_ELECTRM		X
DBO5	mg/L	SM5210B-C/ASTM888MétC_Dbo_A_ELECTRM		X
Dibenzo (a,h) antraceno	µg/L	EPA8270E Rev6 2018_ComHAP_A_CG_MS	X	X
DQO	mg/L	SM 5220 D_Dqo_A_UV_VIS	X	X
DQO Filtrada	mg/L	SM 5220 D_Dqo_A_UV_VIS		X
DQO Suspendida	mg/L	SM 5220 D_DqoSus_A_CALC		X
Dureza Cálctica	mg/L	SM 2340B C_Dur_A_VOLUM	X	
Dureza Total	mg/L	SM 2340B C_Dur_A_VOLUM	X	X
Etilbenceno	µg/L	EPA 8260 D_SumBTEX_A_CG_MS_PT	X	X
Fauna Íctica	taxa	EPA 841-B-99-002_MacInv_A_	X	X
Fauna Íctica	Indiv	EPA 841-B-99-002_MacInv_A_	X	X

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

PARÁMETROS	UNIDADES	TÉCNICA	TDR	RES 631 DE 2015
Fenantreno	µg/L	EPA8270E Rev6 2018_ComHAP_A_CG_MS	X	X
Fenoles	mg/L	SM 5530 B,C,D_Fen_A_UV_VIS	X	X
Fluoranteno	µg/L	EPA8270E Rev6 2018_ComHAP_A_CG_MS	X	X
Fluoreno	µg/L	EPA8270E Rev6 2018_ComHAP_A_CG_MS	X	X
Fosfatos	mg/L	SM 4110 B Mod_Ani_A_CRM_ION	X	X
Fósforo Reactivo Soluble	mg/L	PS-9207_FosRea_A-_SUBCT		X
Fósforo Total	mg/L	EPA 200.7_MetTot_A_ICP_OES	X	X
Hidrocarburos	mg/L	SM 5520 C,F_Hid_A_FTIR	X	X
Hierro Total	mg/L	EPA 200.7_MetTot_A_ICP_OES	X	X
Indeno (1,2,3-cd) pireno	µg/L	EPA8270E Rev6 2018_ComHAP_A_CG_MS	X	X
m,p-Xileno	µg/L	EPA 8260 D_SumBTEX_A_CG_MS_PT	X	X
Macroinvertebrados Bentónicos	ind/m2	EPA 841-B-99-002_MacInv_A_	X	
Macroinvertebrados Bentónicos	taxa	EPA 841-B-99-002_MacInv_A_	X	
Macroinvertebrados bentónicos abundancia	ind/m2	EPA 841-B-99-002_MacBen_A_		X

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

PARÁMETROS	UNIDADES	TÉCNICA	TDR	RES 631 DE 2015
Macroinvertebrados bentónicos riqueza	taxa	EPA 841-B-99-002_MacBen_A_		X
Magnesio Total	mg/L	EPA 200.7_MetTot_A_ICP_OES	X	X
Manganeso Total	mg/L	EPA 200.7_MetTot_A_ICP_OES	X	X
Mercurio Total	µg/L	SM 3112 B Mod_Met_A_AA_VF	X	X
Metilmercurio	mg/L	PC-373_Merc_A_ICP_MS	X	X
Molibdeno Total	mg/L	EPA 200.7_MetTot_A_ICP_OES	X	X
Naftaleno	µg/L	EPA8270E Rev6 2018_ComHAP_A_CG_MS	X	X
Níquel Total	mg/L	EPA 200.7_MetTot_A_ICP_OES	X	X
Nitratos	mg/L N	SM 4110 B Mod_Ani_A_CRM_ION		X
Nitratos	mg/L	SM 4110 B Mod_Ani_A_CRM_ION	X	
Nitritos	mg/l Br-	SM 4110 B Mod_Ani_A_CRM_ION	X	
Nitritos	mg/L N	SM 4110 B Mod_Ani_A_CRM_ION		X
Nitrógeno Amoniacal	mg/L NH3-N	SM4500 NH3-F_NitAmo_A_UV_VIS		X
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	SM4500 NH3-F_NitAmo_A_UV_VIS	X	
Nitrógeno Kjeldahl	mg/L	PS-9084_NitKje_A_SUBCT	X	X
Nitrógeno Total	mg/L	DIN EN 12260_NitTot_A_UV_VIS	X	
Olor		SM 2150B/2160B Mod_Org_A_ORGLP	X	X

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

PARÁMETROS	UNIDADES	TÉCNICA	TDR	RES 631 DE 2015
o-Xileno	µg/L	EPA 8260 D_SumBTEX_A_CG_MS_PT	X	X
Pireno	µg/L	EPA8270E Rev6 2018_ComHAP_A_CG_MS	X	X
Plata Total	mg/L	EPA 200.7_MetTot_A_ICP_OES	X	X
Plomo Total	mg/L	EPA 200.7_MetTot_A_ICP_OES	X	X
SAAM	mg/L	SM 5540 C_SAAM_A_UV_VIS	X	X
Sabor		SM 2150B/2160B Mod_Org_A_ORGLP	X	X
Sólidos Sedimentables	mL/L	SM 2540 F_SolSed_A_VOLUM	X	X
Sólidos Totales	mg/L	SM 2540B_SolTot_A_GRAV	X	
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	SM 2540 C_SolDisTot_Aa_GRAV	X	X
Sólidos Totales en Suspensión (TSS)	mg/L	SM 2540 D_SolSusTot_A_GRAV	X	X
Sólidos Volátiles	mg/L	SM 2540 E_SolVol_A_GRAV		X
Sulfatos	mg/L	SM 4110 B Mod_Ani_A_CRM_ION	X	X
Sulfitos	mg/L	SM 4500-SO3-2 B_Sul_A_TRIT	X	X
Sulfuros	mg/L	SM 4500 S2-F_SulYod_A_VOLUM	X	X
Suma BTEX	µg/L	EPA 8260 D_SumBTEX_A_CG_MS_PT	X	X
Suma HAP's	µg/L	EPA8270E Rev6 2018_ComHAP_A_CG_MS	X	X

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

PARÁMETROS	UNIDADES	TÉCNICA	TDR	RES 631 DE 2015
Tolueno	µg/L	EPA 8260 D_SumBTEX_A_CG_MS_PT	X	X
Turbidez	NTU	SM 2130 B_Tur_A_NEFEL	X	
Zinc Total	mg/L	EPA 200.7_MetTot_A_ICP_OES	X	X

Fuente: Elaboración propia

La definición de la ubicación de puntos de monitoreo tuvo en cuenta los cuerpos de agua aledaños a los sitios de explotación minera y en los cuales se tiene contemplada la solicitud de permisos ambientales (tales como ocupación de cauce y vertimiento).

Tabla 35. Puntos de monitoreo agua superficial

ID	Cuerpo de agua	Fecha de monitoreo		Coordenadas origen único	
		época seca	época húmeda	Este	Norte
FQ1	Río Coello aguas arriba mina La Esmeralda	25-02-2021	27-03-2021	4767011,694	2033858,045
FQ2	Río Coello Intermedio	25-02-2021	27-03-2021	4767215,629	2033751,340
FQ3	Río Coello Aguas abajo mina La Esmeralda	25-02-2021	27-03-2021	4767570,701	2033711,666
FQ6	Drenaje El Salado	25-02-2021	26-03-2021	4766019,755	2033404,978
FQ7	Afluente Zanjón Los Huilos	25-02-2021	26-03-2021	4766353,883	2033998,442
FQ8	Zanjón Los Huilos	25-02-2021	26-03-2021	4766543,48	2034073,423
FQ9	Pit Explotación	25-02-2021	26-03-2021	4766554,298	2033583,981

Fuente: Elaboración propia

2.3.2.1.6.1. Metodología de muestreo

El proceso de control y vigilancia del muestreo, preservación y análisis (chain-of custody procedure) es esencial para asegurar la integridad de la muestra desde su recolección hasta el reporte de los resultados. Este proceso consiste en seguir o monitorear las condiciones de la toma de muestra, preservación, dosificación, transporte y su posterior análisis.

Se considera que una muestra está bajo custodia de una persona, si está bajo su posesión física individual, a su vista, y en un sitio seguro. Los siguientes procedimientos resumen los principales aspectos del control y vigilancia de las muestras.

- Plan de Muestreo: Antes del muestreo se realizó el plan de muestreo que contiene la información de: Tipo de Muestreo, Número de Muestras por Punto de Muestreo, Sitio de Monitoreo, Recipientes, Parámetros a Analizar, Preservación y demás aspectos logísticos relacionados.
- Etiquetas: Para prevenir confusiones en la identificación de las muestras, estas se etiquetan antes de o en el momento del muestreo; en estas etiquetas se registró, con tinta a prueba de agua, la siguiente información: Número de muestra, fecha y lugar de recolección, preservación realizada según sea el caso y la firma de la persona que realizó el monitoreo.
- Datos de campo y Cadena de Custodia: Se registró toda la información pertinente a las observaciones de campo o del muestreo en el formato cadena de custodia según la matriz de análisis a monitorear, en el que se incluyó: tipo de muestreo, matriz de análisis, localización y georreferenciación de la estación de muestreo o punto de monitoreo, empresa que solicitó el servicio, número de la muestra, fecha y hora, firma de la persona que realizó el monitoreo, tipo de muestra y método de preservación. Se registró también el número y cantidad de recipientes y muestras tomadas; la descripción del punto con referencias tales como diagramas del sitio de muestreo y mediciones de campo.
- Preservación y Cantidad de Muestra: La preservación de las muestras se realizó inmediatamente después de la toma con reactivos de calidad analítica, material refrigerante y apropiado embalaje, según las indicaciones de la Guía para el Monitoreo de Vertimientos, Aguas Superficiales y Subterráneas del IDEAM (2002), normas colombianas NTC 5667-n y Standard Methods 23rd para asegurar la integridad de las muestras.
- Envío de la muestra al laboratorio: las muestras fueron enviadas al laboratorio por transporte terrestre. Se contó con los tiempos máximos de almacenamiento previos al análisis de los parámetros, además de las condiciones particulares establecidas en el instructivo IN-TV-002 "Recipientes, preservación y almacenamiento de muestras por parámetros" y los criterios establecidos en el procedimiento PR-TV-001 "Recepción e ingreso de muestras" garantizando la integridad completa de las muestras transportadas para así garantizar la integridad completa de las muestras transportadas.

El Director Técnico, la Dirección de Operaciones y los Coordinadores o Profesionales de Proyectos fueron los responsables de supervisar el proceso de custodia de las muestras; los profesionales, técnicos y auxiliares de campo fueron los responsables de la toma, manipulación y transporte de muestras al laboratorio.

Los procedimientos de muestreo físico químico están basados en las técnicas establecidas por la EPA (1999), el Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 23rd edición (2017), NTC-ISO-5667-3, NTC-ISO-5667-4, NTC-ISO-5667-6 y la Guía para el Monitoreo de Vertimientos, Aguas Superficiales y Subterráneas del IDEAM (2002). Estos procedimientos sugieren que se debe seguir la metodología para muestras simples.

Para todos los puntos de monitoreo se realizó un tipo de muestreo manual, lo que permitió que el técnico de campo pudiera observar cambios en las características del agua, como sustancias flotantes, color, olor, aumentos en el caudal etc. Según lo establecido en la Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas del IDEAM (2002), para los parámetros fisicoquímicos, se tomaron muestras de tipo puntual, para lo cual se utilizaron recipientes nuevos según lo indicado en el Standard Methods (2017), tal como se relaciona en la Tabla 36.

Para los recipientes destinados a las muestras de grasas, se reemplazó el HCL por mezcla Sulfocrómica. La preservación fue realizada inmediatamente después de la toma de las muestras utilizando reactivos de calidad analítica, según las indicaciones del Standard Methods (2017).

La toma de muestras se realizó sumergiendo un balde en el cuerpo de agua y luego se procedió a llenar los recipientes. Para esto, se organizaron los recipientes según el analito, estos fueron previamente identificados con etiquetas, en donde se registró el código de muestra, el sitio de muestreo, el análisis que se le debe realizar y el tipo de preservación. A continuación, se procedió a llenar los recipientes con la muestra, para esto, se homogenizó el contenido del balde, se

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

evitó la inclusión de material y objetos flotantes y se dejó un espacio aproximadamente de dos centímetros en el cuello de la botella.

Las muestras fueron protegidas contra el agua y almacenadas de forma vertical en neveras de plástico refrigeradas con bolsas de hielo, para alcanzar una temperatura cercana a los 4°C. Se aseguró que los recipientes tuvieran estabilidad y no se cayeran, ni se hubiese desprendido la etiqueta. Una vez dentro de la nevera, ésta fue sellada y se embolsó para su transporte al laboratorio. Las muestras fueron transportadas en el vehículo de AGQ Prodycon Colombia S.A.S. una vez concluido el ciclo de monitoreo.

Tabla 36. Recipientes para muestras de agua superficial por parámetro

DESCRIPCIÓN DEL PARÁMETRO	RECIPIENTE	VOLUMEN mL	MUESTREO
Sólidos Sedimentables	Poliétileno / Vidrio	1000	Puntual
Sólidos Totales		1000	
Sólidos Totales Disueltos		1000	
Sólidos Totales en Suspensión (TSS)		1000	
Sólidos Volátiles		1000	
Sulfatos	Poliétileno / Vidrio / PTFE o Teflon	20	
Sulfitos		20	
Sulfuros		20	
Turbidez		20	
Alcalinidad Total		50	
Cloruros		50	
Color Real a tres longitudes		50	
DQO		50	
DQO Filtrada		50	
DQO Suspendida		50	
Dureza Cálcica		50	
Dureza Total		50	
Nitratos		50	
Nitritos		50	
Nitrógeno Amoniacal		50	
Nitrógeno Kjeldahl		50	
SAAM		200	
DBO 5 Filtrada		500	
DBO 5 Suspendida		500	
DBO5		500	
Fenoles	500		
Aluminio Total	1000		
Arsénico Total	1000		
Cadmio Total	1000		
Calcio Total	1000		
Cianuro Disponible	1000		
Cianuro Libre	1000		
Cianuro Total	1000		
Cobre Total	1000		
Cromo Hexavalente	1000		
Cromo Total	1000		
Fósforo Reactivo Soluble	1000		
Fósforo Total	1000		
Hierro Total	1000		
Magnesio Total	1000		
Manganeso Total	1000		
Mercurio Total	1000		
Molibdeno Total	1000		
Níquel Total	1000		
Nitrógeno Total	1000		
Plata Total	1000		
Plomo Total	1000		
Zinc Total	1000		
Acidez Total	50		
Carbono Orgánico Disuelto	Poliétileno / Vidrio de Borosilicato / PTFE o Teflon	50	
Carbono Orgánico Total - COT		50	
Fosfatos		50	
Aceites y Grasas	Vidrio	1000	
Hidrocarburos		1000	
Algas del Perifiton		60	
AOX (Comp. Orgánicos Adsorbibles)	Vidrio Ambar	1000	
Suma BTEX		1000	
Suma HAP's		1000	
Coliformes Fecales por NMP	Vidrio claro	250	
Coliformes Totales por NMP		250	
Macroinvertebrados Bentónicos	Bolsa Ziploc	N/A	
Fauna Ictica		N/A	

Fuente: AGQ Prodycon Colombia S.A.S.

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

El procedimiento de muestreo para sedimentos consiste en la determinación de la localización y la profundidad del muestreo como primera medida (aquí se puede escoger la forma de muestreo, bien sea a partir de una cuadrícula, en Zig-Zag o en diagonales).

El procedimiento de muestreo de sedimentos, sedimentos y lodos contempla las siguientes metodologías según el tipo de muestra a evaluar.

- Muestra simple o puntual: Muestra en el sitio; una muestra discreta tomada aleatoriamente en un área bien sea de sedimento, sedimentos o lodos.
- Muestras de área integrada: Muestra de sedimento obtenida después de combinar una serie de muestras simples o submuestras, tomadas en diferentes puntos de un área (de sedimento, sedimentos o lodos), a una profundidad particular, reunida en un recipiente y bien mezclada. Lo anterior, teniendo en cuenta que cada submuestra sea del mismo volumen que las demás y representar la misma sección transversal del volumen de que se toma.
- Reducción del tamaño de la muestra (Cuarteo): Con el fin de reducir la masa de la muestra, se debe mezclar muy bien el total de esta amontonándose sobre una superficie limpia, plana y dura, para formar un cono. Luego se le da la vuelta con una pala, para formar un nuevo cono. Esta operación se lleva a cabo tres veces. Luego el montículo se divide en cuartos, que deben ser de diámetro y espesor uniforme y se debe considerar y recombinar los cuartos opuestos diametralmente. El proceso se repite hasta que los dos cuartos finales producen la masa de muestra requerida. Los cuartos pueden ser utilizados para la toma de muestras por duplicado o triplicado.

La toma de las muestras en campo se realizó de forma puntual, con ayuda de un corazonador a un nivel superficial para cada punto monitoreado. Para la toma de muestras, se prepararon recipientes nuevos de vidrio transparente (boca ancha) de 500 mL.

Todas las muestras fueron identificadas con etiquetas protegidas contra el agua y almacenadas en neveras de plástico refrigeradas con hielo para su transporte al laboratorio. Las muestras fueron transportadas en el vehículo de Prodycon una vez concluido el ciclo de monitoreo.

Al ser recibida por el personal encargado, bajo supervisión del Director Técnico y/o Jefe de Laboratorio, la muestra es revisada en su integridad y se determina su estado para los ensayos solicitados.

2.3.2.1.6.2. Metodología de análisis

En la Tabla 37 se presentan los métodos y unidades utilizados por el laboratorio AGQ Prodycon Colombia S.A.S. para el análisis de los parámetros muestreados.

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

Tabla 37. Técnicas analíticas utilizadas

Nombre a mb lisis	Nombre Metodo	Unidad Analisis	Nombre a mb lisis	Nombre Metodo	Unidad Analisis
% Saturación de Oxígeno	EPA 800.3 OXIDIS A CONDUS	%	Dureza Total	SM2340B Dur A VOLUM	mg/L
Caudal Micromolinete In Situ	Aforo Sección	l/s	Bifenileno	EPA 8260 D SumBTEX A CG MS PT	µg/L
Oxígeno Disuelto In Situ Medido MA	SM 4500 OG/ASTMD 888-12 Ox Dis A ELECTRM	mg/L	Fenoles	EPA 841 B 99 002 Macinv A	indiv
pH In Situ Medido MA	SM 4500 H+ pH A ELECTRM	Unidades de pH	Fluoranteo	EPA 841 B 99 002 Macinv A	taxa
Temperatura In Situ Medido MA	SM2530B Tem A ELECTRM	°C	Fluoranteo	ERASZ70E Rev6.2018 ComHAP A CG MS	µg/L
Acido y Gases	SM 5520C GYA A FTIR	mg/L	Fenoles	SM 5530B C,D Fen A UV VIS	mg/L
Acefteno	EPASZ70E Rev6.2018 ComHAP A CG MS	µg/L	Fluoranteo	ERASZ70E Rev6.2018 ComHAP A CG MS	µg/L
Aceftileno	EPASZ70E Rev6.2018 ComHAP A CG MS	µg/L	Fluoranteo	ERASZ70E Rev6.2018 ComHAP A CG MS	µg/L
Acidez Total	SM2310B Ad A VOLUM	mg/L CaCO3	Fosfatos	SM 4130B Mod Ani A CRM ION	mg/L
Alcalinidad Total	SM2320 B AlkTotBic A CALC	mg/L CaCO3	Fosforo Reactivo Soluble	PS 9207 FosRea A SUBCT	mg/L
Algas del Perifiton	SM10300C AlgPer A IDENTF	ind/cm2	Fosforo Total	EPA 200.7 MerTot A ICP OES	mg/L
Algas del Perifiton	SM10300C AlgPer A IDENTF	taxa	Hidrocarburos	SMS520 C,F Hid A FTIR	mg/L
Aluminio Total	EPA 200.7 MerTot A ICP OES	mg/L	Hierro Total	EPA 200.7 MerTot A ICP OES	mg/L
Antraeno	EPASZ70E Rev6.2018 ComHAP A CG MS	µg/L	Indeno (1,2,3 cd) ptereno	ERASZ70E Rev6.2018 ComHAP A CG MS	µg/L
AOX (Comp. Organicos Adsorbibles)	PS 9129 AOX A SUBCT	µg/L	m.p. Xileno	EPA 8260 D SumBTEX A CG MS PT	µg/L
Ararínico Total	EPA 200.7 MerTot A ICP OES	mg/L	Macrolinvertebrados Bentónicos	EPA 841 B 99 002 Macinv A	ind/m2
Benceno	EPA 8260 D SumBTEX A CG MS PT	µg/L	Macrolinvertebrados Bentónicos	EPA 841 B 99 002 Macinv A	taxa
Benzo (a) antraceno	EPASZ70E Rev6.2018 ComHAP A CG MS	µg/L	Macrolinvertebrados bentónicos abundancia	EPA 841 B 99 002 MacBen A	ind/m2
Benzo (a) ptereno	EPASZ70E Rev6.2018 ComHAP A CG MS	µg/L	Macrolinvertebrados bentónicos riqueza	EPA 841 B 99 002 MacBen A	taxa
Benzo (b) fluoranteo	EPASZ70E Rev6.2018 ComHAP A CG MS	µg/L	Magnesio Total	EPA 200.7 MerTot A ICP OES	mg/L
Benzo (g,h,i) ptereno	EPASZ70E Rev6.2018 ComHAP A CG MS	µg/L	Manganeso Total	EPA 200.7 MerTot A ICP OES	mg/L
Benzo (k) fluoranteo	EPASZ70E Rev6.2018 ComHAP A CG MS	µg/L	Mercurio Total	SM 3112 B Mod. Mer. A AA VF	µg/L
Cadmio Total	EPA 200.7 MerTot A ICP OES	mg/L	Metilmercurio	PC 373 Merc A ICP MS	mg/L
Calcio Total	EPA 200.7 MerTot A ICP OES	mg/L	Molibdeno Total	EPA 200.7 MerTot A ICP OES	mg/L
Carbono Organico Disuelto	SM 5310B COD A COM IR	mg/L	Naftaleno	ERASZ70E Rev6.2018 ComHAP A CG MS	µg/L
Carbono Organico Total - COD	SM 5310B COD A COM IR	mg/L	Niquel Total	EPA 200.7 MerTot A ICP OES	mg/L
Carbono Disponible	PS 9273 CODis A SUBCT	mg/L	Nitratos	SM 4130B Mod Ani A CRM ION	mg/L N
Carbono Libre	PS 9041 Calib A SUBCT	mg/L	Nitratos	SM 4130B Mod Ani A CRM ION	mg/L N
Carbono Total	SM 4500 ON E Mod Cla A UV VIS	mg/L	Nitrogeno Amoniaco	SM 8300 NH3 F NH4mo A UV VIS	mg/L NH3 N
Cloruros	SM 4130B Mod Ani A CRM ION	mg/L	Nitrogeno Kjeldahl	PS 9084 N195je A SUBCT	mg/L
Cobre Total	EPA 200.7 MerTot A ICP OES	mg/L	Nitrogeno Total	DIN EN 12260 NitTot A UV VIS	mg/L
Coliformes Focales por NMP	SM 9221 E ColFec A NMP	NMP/100ml	Olor	SM 2150B/2360B Mod Org A ORGLP	organoleptico
Coliformes Termotolerantes (Fecaleoj)	SM 9222 D ColTerFec A FIL MEMB	u.f.c./100ml	o-Xileno	EPA 8260 D SumBTEX A CG MS PT	µg/L
Coliformes Totales	ISO 9308 1-2014 FilMem A FIL MEMB	u.f.c./100ml	Pireno	ERASZ70E Rev6.2018 ComHAP A CG MS	µg/L
Coliformes Totales por NMP	SM 9221 B Mod ColFec A TUB MUL	NMP/100ml	Plata Total	EPA 200.7 MerTot A ICP OES	mg/L
Color Real a 485nm	ISO 7887 2011MetB ColRea A UV VIS	m-1	Plomo Total	EPA 200.7 MerTot A ICP OES	mg/L
Color Real a 525nm	ISO 7887 2011MetB ColRea A UV VIS	m-1	SAAM	SM 5540 C SAAM A UV VIS	mg/L
Color Real a 620nm	ISO 7887 2011MetB ColRea A UV VIS	m-1	Sabor	SM 2150B/2360B Mod Org A ORGLP	organoleptico
Color Real a tres longitudes	ISO 7887 2011MetB ColRea A UV VIS	m-1	Sólidos Sedimentables	SM 2540 F SolSed A VOLUM	ml/L
Conductividad Eléctrica	SM 2530 B ConEle A ELECTM	µS/cm	Sólidos Totales	SM 2540B SolTot A GRAV	mg/L
Cromo	EPASZ70E Rev6.2018 ComHAP A CG MS	µg/L	Sólidos Totales Disueltos	SM 2540 C SolDisTot Aa GRAV	mg/L
Cromo Hexavalente	SM 3500Cr B Cro A UV VIS	mg/L	Sólidos Totales en Suspensión (TSS)	SM 2540 D SolSusTot A GRAV	mg/L
Cromo Total	EPA 200.7 MerTot A ICP OES	mg/L	Sólidos Volátiles	SM 2540E SolVol A GRAV	mg/L
DBO 5 Filtrada	SMS 2106 C/ASTM888 MerC Dbo A ELECTRM	mg/L	Sulfatos	SM 4130B Mod Ani A CRM ION	mg/L
DBO5 Suspendida	SMS 2106 C/ASTM888 MerC Dbo A ELECTRM	mg/L	Sulfatos	SM 4500 SCS 2 B Sul A TRIT	mg/L
DBO5	SMS 2106 C/ASTM888 MerC Dbo A ELECTRM	mg/L	Sulfuros	SM 4500S2 F SulYod A VOLUM	mg/L
Dibenz(a,h) antraceno	EPASZ70E Rev6.2018 ComHAP A CG MS	µg/L	Suma BTEX	EPA 8260 D SumBTEX A CG MS PT	µg/L
DDO	SMS 220 D Dap A UV VIS	mg/L	Suma HAP's	ERASZ70E Rev6.2018 ComHAP A CG MS	µg/L
DDO Filtrada	SMS 220 D Dap A UV VIS	mg/L	Tolueno	EPA 8260 D SumBTEX A CG MS PT	µg/L
DDO Suspendida	SM 5220 D DapSus A CALC	mg/L	Turbidez	SM 2130B Tur A NEFEL	NTU
Dureza Cálcica	SM2340B Dur A VOLUM	mg/L	Zinc Total	EPA 200.7 MerTot A ICP OES	mg/L

Fuente: AGQ Prodycon Colombia S.A.S.

En la Tabla 38, se presentan los métodos y unidades utilizados para los parámetros subcontratados.

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

Descripción de parámetros	Métodos	Unidades
Cianuro Disponible	PS-9273_CiDis_A_SUBCT	mg/L
Cianuro Libre	PS-9041_CiaLib_A_SUBCT	mg/L
Fósforo Reactivo Soluble	PS-9207_FosRea_A-_SUBCT	mg/L
Nitrógeno Kjeldahl	PS-9084_NitKje_A_SUBCT	mg/L
AOX (Comp. Organicos Adsorbibles)	PS-9129_AAOX_A_SUBCT	µg/L

Fuente: AGQ Prodycon Colombia S.A.S.

En la siguiente tabla se presentan los equipos y métodos utilizados por AGQ PRODYCON COLOMBIA S.A.S para el análisis de las muestras de sedimentos.

Tabla 39. Métodos - Parámetros de sedimentos

PARAMETROS	TECNICA
Aluminio Total*	PS-9137_Met_S_SUBCT
Arsénico Total*	PS-9217_MetTot_S_SUBCT
Bario Total*	PS-9217_MetTot_S_SUBCT
Cadmio Total*	PS-9217_MetTot_S_SUBCT
Calcio Total*	PS-9140_Cal_S_SUBCT
Cianuro Total*	PS-9282_CiaTot_S_SUBCT
Cloruros*	PS-9141_Clo_S_SUBCT
Cobre Total*	PS-9217_MetTot_S_SUBCT
Compuestos Orgánicos Halogenados - AOX*	PS-9274_ComOrg_S_SUBCT
Conductividad Eléctrica*	PS-9142
Cromo Total*	PS-9275_Met_S_SUBCT
Fenoles	SM5530B/EPA1311_Fen_S_UV_VIS
Grasas y Aceites*	PS-9225_GyA_S_SUBCT
Hidrocarburos	NTC11464_EPA9071B_SM5520F Modif_HidTot_S_GRAV
Hierro Total*	PS-9217_MetTot_S_SUBCT
Humedad	NTC 1495 / 2013_Hum_S_GRAV
Manganeso Total*	PS-9139_Met_S_SUBCT
Mercurio Total*	PS-9217_MetTot_S_SUBCT
Níquel Total*	PS-9217_MetTot_S_SUBCT
Nitratos*	PS-9152_Nit_S_SUBCT
Nitros*	PS-9267_Nit_S_SUBCT
pH*	PS-9146_pH_S_SUBCT
Plata Total*	PS-9217_MetTot_S_SUBCT
Plomo Total*	PS-9217_MetTot_S_SUBCT
Selenio Total*	PS-9217_MetTot_S_SUBCT
Sodio	EPA3050B/SM3120B_Sod_S_SUBCT
Sulfatos*	PS-9189_Sul_S_SUBCT
Sulfuros Ácidos Volátiles	EPA 821-R-91 100EPAOWOST376.3-SM4500S2_SulAdVol
Suma BTEX	EP 8260D_VOCBTEX_S_OG_MS
Suma HAP's	EPA8270E_HAP_S_OG_MS
Vanadio Total*	PS-9217_MetTot_S_SUBCT
Zinc Total*	PS-9229_ZinTot_S_SUBCT

Parámetros Subcontratados (*)

Fuente: AGQ Prodycon Colombia S.A.S.

Para determinar los diferentes índices de calidad de agua se utilizaron las siguientes metodologías:

- Índices de contaminación (ICOs)

Estos índices permiten evaluar cuantitativamente los niveles de uno o varios parámetros fisicoquímicos indicando el grado de contaminación que estos originan en un cuerpo de agua (Ramírez & Viña, 1998), se calcularon relacionando los parámetros fisicoquímicos mediante tratamientos matemáticos, lo que permitió generar una calificación (rango) de acuerdo con sus concentraciones (Tabla 40).

Tabla 40. Calificación de los Índices de Contaminación ICOs

Valor del índice	Rango
0,000 – 0,200	Muy bajo
0,200 – 0,400	Bajo
0,400 – 0,600	Medio
0,600 – 0,800	Alto
0,800 – 1,000	Muy alto

Fuente: Modificado de Ramírez & Viña (1998).

- Índice de Langelier

La determinación del índice de Langelier se realiza usando la siguiente ecuación:

$$IL = pH_A - pH_s$$

En donde IL es el Índice de Langelier (adimensional), pH_A es el pH actual del agua (unidades de pH) y pH_s es el pH de saturación o pH al cual se logra el equilibrio calcocarbónico del agua (unidades de pH). El valor de pH_s se calcula con la siguiente ecuación:

$$pH_s = (9,3 + A + B) - (C + D)$$

En donde A (adimensional), B (adimensional), C (adimensional) y D (adimensional) se obtienen mediante las siguientes ecuaciones:

$$A = \frac{\log(SDT) - 1}{10}$$

$$B = -13,12 \times \log(T + 273) + 34,55$$

$$C = \text{Log}(\text{Dureza Cálctica})$$

$$D = \text{Log}(\text{Alcalinidad})$$

Siendo SDT la concentración de sólidos disueltos totales en la muestra de agua (mg/l), T la temperatura del agua (°C), DC la dureza cálcica -para las muestras el cálculo se realiza con dureza total y cálcica- (mg CaCO₃/l) y ALC la alcalinidad (mg CaCO₃/l). Para el cálculo de los sólidos disueltos totales - SDT puede utilizarse la siguiente aproximación:

$$SDT = \text{Conductividad Eléctrica} \times 0,64$$

En donde SDT está dado en mg/l y CE (conductividad) está dada en µS/cm. Para aguas dulces (lagunas, lagos, ríos, arroyos) es más adecuado usar un factor de 0,5.

La clasificación general del índice de Langelier se presenta en la Tabla 41

Tabla 41. Clasificación del Índice Langelier

Índice de Langelier	Clasificación
IL = 0	Agua en equilibrio químico
IL < 0	Agua con tendencia a ser corrosiva
IL > 0	Agua con tendencia incrustante

Fuente: (Arnalich, 2008)

- Índice de Calidad de Agua - ICA

El indicador se calcula a partir de los datos de concentración de un conjunto de cinco variables que determinan la calidad de las aguas corrientes superficiales. Las variables son: oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno, conductividad eléctrica y pH. A continuación en la Tabla 42 se presentan las ecuaciones de referencia para cada una de las variables:

Tabla 42. Ecuaciones para cálculo del Índice utilizado en el ICA

VARIABLE	DESCRIPCIÓN
Oxígeno disuelto (OD)	<p>Esta variable tiene el papel biológico fundamental de definir la presencia o ausencia potencial de especies acuáticas.</p> $I_{OD} = 1 - (1 - 0,01 * I_{OD})$ <p>Cuando el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto es mayor al 100%.</p> $I_{OD} = 1 - (0,01 * I_{OD} - 1)$
Sólidos Suspendidos Disueltos (SST)	<p>La presencia de sólidos suspendidos en los cuerpos de agua indica cambio en el estado de las condiciones hidrológicas de la corriente.</p> <p>El subíndice de calidad para sólidos suspendidos se calcula así:</p>

VARIABLE	DESCRIPCIÓN
	$I_{SST} = 1 - (-0,02 + 0,003 * SST)$ <p>Si $SST \leq 4,5$, entonces $I_{SST} = 1$ Si $SST \geq 320$, entonces $I_{SST} = 0$</p>
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	<p>La DBO refleja la presencia de sustancias químicas susceptibles de ser oxidadas a condiciones fuertemente ácidas y alta temperatura, como la materia orgánica, ya sea biodegradable o no y la materia inorgánica.</p> $\text{Si } DQO \leq 20, \text{ entonces } I_{DQO} = 0,91$ $\text{Si } 20 < DQO \leq 25, \text{ entonces } I_{DQO} = 0,71$ $\text{Si } 25 < DQO \leq 40, \text{ entonces } I_{DQO} = 0,51$ $\text{Si } 40 < DQO \leq 80, \text{ entonces } I_{DQO} = 0,26$ $\text{Si } DQO > 80, \text{ entonces } I_{DQO} = 0,12$

Fuente: IDEAM

En la Tabla 43, se presenta la ponderación que tienen dentro de la fórmula de cálculo del ICA.

Tabla 43. Variables y ponderación para el caso de 5 variables

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, CE	μS/cm	0,2
pH	Unidades de pH	0,2

Por último, el Índice de calidad del agua que contempla todas las variables, se determina a través de la sumatoria del producto de cada variable por el factor ponderador, como se ilustra a continuación:

$$\sum_{i=1}^n (W * I)$$

El indicador es comparado y clasificado a través de un código de colores que permite emitir señales de alerta, según el nivel de contaminación del cuerpo hídrico, como se muestra en la Tabla 44.

Tabla 44. Calificación de la calidad del agua según los valores que tome el ICA

Categorías de valores que puede tomar el indicador	Calificación de la calidad del agua	Señal de alerta
0,00 - 0,25	Muy mala	Rojo
0,26 - 0,50	Mala	Naranja
0,51 - 0,70	Regular	Amarillo
0,71 - 0,90	Aceptable	Verde
0,91 - 1,00	Buena	Azul

Fuente: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2011)

- Índice de Alteración del Potencial de la calidad del Agua - IACAL

Este indicador determina la relación entre la carga contaminante y la oferta hídrica de un cuerpo de agua superficial para un año medio, en el cual se consideran cinco (5) variables. Las variables que se utilizan para la estimación del IACAL son DBO, diferencia entre DQO y DBO, SST, NT y PT.

$$iacal_{ijt-añomed} = \frac{C_{ijt}}{O_{añomed}}$$

La razón entre la carga contaminante de cada variable y la oferta hídrica del cuerpo hídrico (es decir el IACAL de la variable se encuentra asociada a una categoría de clasificación como se muestra en las siguientes tablas

Tabla 45. IACAL DBO

Rangos $iactal_{DBO-jt-ahomed}$ $iactal_{DBO-jt-ahosec}$	Categoría de clasificación $catiactal_{DBO}$	Calificación de la presión
$iactal_{DBO} < 0,14$	1	Baja
$0,14 \leq iactal_{DBO} < 0,40$	2	Moderada
$0,40 \leq iactal_{DBO} < 1,21$	3	Media-Alta
$1,21 \leq iactal_{DBO} < 4,86$	4	Alta
$iactal_{DBO} \geq 4,86$	5	Muy Alta

Tabla 46. Diferencia entre DQO y DBO

Rangos $iactal_{DQO-DBO-jt-ahomed}$ $iactal_{DQO-DBO-jt-ahosec}$	Categoría de clasificación $catiactal_{DQO-DBO}$	Calificación de la presión
$iactal_{DQO-DBO} < 0,14$	1	Baja
$0,14 \leq iactal_{DQO-DBO} < 0,36$	2	Moderada
$0,36 \leq iactal_{DQO-DBO} < 1,17$	3	Media-Alta
$1,17 \leq iactal_{DQO-DBO} < 6,78$	4	Alta
$iactal_{DQO-DBO} \geq 6,78$	5	Muy Alta

Tabla 47. IACAL Sólidos suspendidos totales

Rangos $iactal_{SST-jt-ahomed}$ $iactal_{SST-jt-ahosec}$	Categoría de clasificación $catiactal_{SST}$	Calificación de la presión
$iactal_{SST} < 0,4$	1	Baja
$0,4 \leq iactal_{SST} < 0,8$	2	Moderada
$0,8 \leq iactal_{SST} < 1,9$	3	Media-Alta
$1,9 \leq iactal_{SST} < 7,7$	4	Alta
$iactal_{SST} \geq 7,7$	5	Muy Alta

Tabla 48. IACAL Nitrógeno total

Rangos $iactal_{NT-jt-añomed}$ $iactal_{NT-jt-añosec}$	Categoría de clasificación $catiactal_{NT}$	Calificación de la presión
$iactal_{NT} < 0,03$	1	Baja
$0,03 \leq iactal_{NT} < 0,06$	2	Moderada
$0,06 \leq iactal_{NT} < 1,14$	3	Media-Alta
$1,14 \leq iactal_{NT} < 0,56$	4	Alta
$iactal_{NT} \geq 0,56$	5	Muy Alta

Tabla 49. IACAL Fósforo total

Rangos $iactal_{PT-jt-añomed}$ $iactal_{PT-jt-añosec}$	Categoría de clasificación $catiactal_{PT}$	Calificación de la presión
$iactal_{PT} < 0,005$	1	Baja
$0,005 \leq iactal_{PT} < 0,014$	2	Moderada
$0,014 \leq iactal_{PT} < 0,036$	3	Media-Alta
$0,036 \leq iactal_{PT} < 0,135$	4	Alta
$iactal_{PT} \geq 0,135$	5	Muy Alta

EL IACAL de una fuente hídrica se encuentra numéricamente definido por “el promedio de las categorías de clasificación (catiactal) asignadas a los cocientes que surgen de dividir las cargas de cada una de las cinco variables fisicoquímicas, por la oferta hídrica superficial” (IDEAM, 2012), como se presenta a continuación:

$$IACAL_{jt-añomed} = \frac{\sum_{i=1}^n catiactal_{ijt-añomed}}{n}$$

En donde, catiactal = categoría de clasificación

n = número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador (n=5). La calificación total del cuerpo hídrico, considerando las cinco (5) variables anteriores, se presenta en la Tabla 50.

Tabla 50. Interpretación del índice de alteración potencial de la calidad del agua.

Rangos <i>IACAL_{p-ahmed}</i>	Categoría de clasificación	Calificación de la vulnerabilidad
$1,0 \leq IACAL \leq 1,5$	1	Baja
$1,5 < IACAL \leq 2,5$	2	Moderada
$2,5 < IACAL \leq 3,5$	3	Media-Alta
$3,5 < IACAL < 4,5$	4	Alta
$4,5 \leq IACAL \leq 5,0$	5	Muy Alta

Fuente: Hoja Metodológica Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua IACAL. IDEAM.

- Índice de la capacidad de buffer (Tampón)

En relación con la capacidad de buffer, se tomó como parámetro representativo la alcalinidad total, la cual está determinada por el contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos y representa el principal sistema amortiguador de las aguas. Cuando las aguas tienen alcalinidades inferiores se vuelven muy sensibles a la contaminación, ya que no tienen capacidad para oponerse a las modificaciones que generen disminuciones del pH (acidificación).

Tabla 51. Clasificación de los cuerpos de agua según su alcalinidad total

Descripción	Alcalinidad (mg/L)
Sensibles a contaminación	<20
Mínimo aceptable	20
Pobrementemente amortiguadas	< 25
Moderadamente amortiguadas	25 - 75
Muy amortiguadas	> 75

2.3.2.1.7. Usos del agua

Para la caracterización de usos del agua, se consultó información secundaria del área de influencia, así como la obtención de información primaria a través de recorridos en la zona. Dentro de la información secundaria se consultó la siguiente información:

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

- Los usos definidos por el POMCA del río Coello (CORTOLIMA, 2019) y POMCA del río Luisa y otros directos al Magdalena (CORTOLIMA, 2019).
- Las metas y objetivos de calidad definidos por la Corporación Autónoma Regional del Tolima (CORTOLIMA) en la resolución 601 de 2006.
- Los usuarios legalmente constituidos de acuerdo con la información entregada por CORTOLIMA (solicitadas para el año 2020)

Para la información primaria se realizó recorrido de campo, con el fin de identificar puntos de captación registrados y no registrados en los cuerpos de agua que se pueden ver afectados por el proyecto y complementar la información secundaria recolectada. El recorrido se llevó a cabo en el mes de octubre del año 2020. La metodología consistió en realizar recorridos directamente sobre los cuerpos de agua a intervenir: Zanjón los Huilos, cuenca hidrográfica del río Coello y drenaje El Salado (Subcuenca hidrográfica de la quebrada El cobre).

El recorrido 1 se realiza por la margen derecha del río Coello iniciando en el inicio de la planta de Caracolito (en el costado izquierdo del río) y finalizando en el Zanjón los Huilos. En este se recorren dos afluentes del río Coello y un afluente del Zanjón los Huilos (sin identificación en la cartografía). El recorrido 2 se realiza por la margen izquierda de un afluente del Zanjón los Huilos sin identificación en la cartografía. El recorrido 3 inicia en la quebrada Chicalá y finaliza en el municipio de Payandé. En este se recorre la margen derecha e izquierda del drenaje El Salado, en su paso por la mina la Esmeralda. El recorrido 4 se desarrolló por la vía que conecta las vías de San Luis - Guamo con la vía Rovira, en este se recorren los cuerpos de agua: quebrada Chicalá, drenaje El Salado y un afluente del drenaje El Salado. El recorrido 5 se realiza por la margen derecha del Río Coello, iniciando en el Zanjón los Huilos y finalizando en el municipio de Payandé. En este se cruzan los cuerpos de agua, zanjón Los Huilos, drenaje 1 y drenaje 2.

2.3.2.1.8. Hidrogeología

2.3.2.1.8.1. Modelo Hidrogeológico Conceptual - MHC

El alcance de este componente está enfocado en la identificación y caracterización del agua subterránea y los acuíferos presentes en el área de modelación conceptual y numérica con base en los estudios técnicos especializados realizados en la mina La Esmeralda desde el 2007 hasta el año 2020 y análisis específicos para el área de influencia del título minero 6823; los resultados permiten establecer una línea base hidrogeológica que sirve como punto de referencia de las condiciones y comportamiento de este recurso en términos de calidad y cantidad.

Como base para el desarrollo del modelo hidrogeológico del proyecto, se compiló, revisó, analizó e incorporó los resultados de los estudios previos, elaborados para CEMEX por diferentes compañías, los cuales se listan a continuación:

- Mapa Geológico de Colombia Plancha 245 Girardot. Bogotá-Colombia. INGEOMINAS. 2002.
- Estudio hidrológico e hidrogeológico en el área de influencia de las operaciones mineras de Cemex Colombia en el municipio de San Luis – Tolima. Hidrocron, 2007.
- Informe final: actualización del estudio hidrológico e hidrogeológico en la zona de influencia del Pit Final de la mina La Esmeralda, Títulos Mineros 8-4205 y 8-6823. Gotta Ingeniería S.A.S, 2013.
- Informe de Modificación del Plan de Manejo Ambiental Título Minero 4205 - Capítulo 4: Caracterización Ambiental del Área de Estudio. INGETEC, 2016.
- Informe técnico: actualización del modelo hidrogeológico conceptual del área de influencia de la mina La Esmeralda de Cemex Colombia, municipio de San Luis, Tolima Gotta Ingeniería S.A.S, 2018.
- Informe Parcial sobre la Perforación, Construcción y Pruebas Slug de Ocho Piezómetros, Localizados en la Mina La Esmeralda, Corregimiento de Payandé, Municipio de San Luis, Departamento de Tolima. Empresa Colombiana de Hidrogeología, 2017.

- Informe sobre la perforación, construcción y pruebas slug de seis piezómetros, localizados en la Mina La Esmeralda, corregimiento de Payandé, municipio de San Luis, departamento del Tolima. Empresa Colombiana de Hidrogeología, 2018.
- Estudio Hidrogeológico Mina La Esmeralda, municipio de San Luis, Tolima. WES, 2019
- Estudio Hidroquímico e Isotópico de Agua Subterránea en el Área del Complejo Minero La Esmeralda. Tomo N° 01: Análisis Hidroquímico e Isotópico. WES, 2020.
- Estudio Hidroquímico e Isotópico de Agua Subterránea en el Área del Complejo Minero La Esmeralda Tomo N° 02: Modelo Hidrogeológico Numérico. WES, 2020.

La actualización del Modelo Hidrogeológico Conceptual - MHC, parte de la caracterización cualitativa y cuantitativa de los acuíferos, estimando su capacidad de almacenamiento y calidad del agua con base en los registros y pruebas de campo ejecutadas desde el 2007 hasta el 2020, definiendo su distribución a través del medio geológico, lo que sumado a la determinación de los niveles del agua en el subsuelo y la definición de la zonas de recarga y direcciones de flujo, ha permitido la elaboración de un modelo hidrogeológico conceptual (MHC); el alcance del MHC, es establecer las condiciones iniciales del sistema y predecir los posibles impactos relacionados a las actividades mineras en la integridad de los acuíferos así como en la red de drenaje principal como el río Coello. Es así como el objetivo principal de la caracterización hidrogeológica es:

Desarrollar un modelo hidrogeológico conceptual con el fin de tener una línea base hidrogeológica, de describir la dinámica del régimen de aguas subterráneas para el área de la Modificación Estudio de Impacto Ambiental del Título 6823, y poder evaluar los efectos previstos en los flujos y niveles freáticos de acuerdo con la secuencia minera proyectada a 20 años de vida útil para el yacimiento de caliza, cierre progresivo y final del TM 6823.

Para lograr los resultados obtenidos en la modelación hidrogeológica conceptual, se utilizó una metodología basada en fases secuenciales, que permite de una manera sistemática desarrollar un análisis coherente de la información proporcionada por cada uno de los insumos de entrada (Geología, Hidrología, Hidráulica e Hidroquímica) que alimentan el Modelo Hidrogeológico Conceptual. La metodología de trabajo es presentada de manera esquemática en el flujograma que se presenta a continuación, Figura 13:

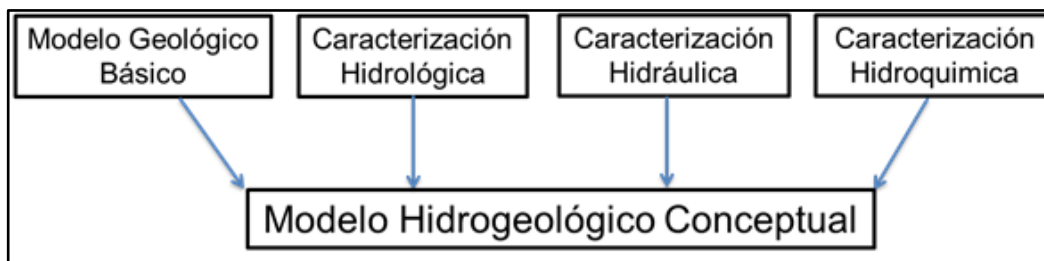


Figura 13. Flujograma utilizado para la elaboración del modelo hidrogeológico conceptual del área de influencia de la Modificación del Estudio Impacto Ambiental TM 6823

Fuente: Elaboración propia

- Condiciones litológico-estructurales relacionadas a la hidráulica

Incluye la caracterización y definición de las unidades hidrogeológicas, las cuales son determinadas a partir de la distribución litológica espacial y su probable capacidad para almacenar y transmitir agua con base en sus características geológicas intrínsecas y sus propiedades hidrodinámicas. Para esta definición, se tomaron como base los estudios previos realizados por la compañía GOTTA (2013 y 2018), WES (2029, 2020), en donde se identificaron seis unidades hidrogeológicas, ver Plano CAP05.1-CMAB-LES6823-HIDG-001.

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

La información y resultados de muestreos y datos en campo, se utilizan e integran para la clasificación, adaptando la jerarquización recomendada por la Asociación Internacional de Hidrogeología (Struckmeir, 1995), buscando clasificar las unidades hidrogeológicas básicamente como acuíferos, acuitardos o acuífugos.

- Superficies piezométricas

A partir del análisis de la información recopilada del sistema acuífero, se realiza una interpretación del trazado de la superficie piezométrica para el área de la modelación conceptual y numérica. Es necesario entender, que al tratarse de un sistema acuífero único se considera también un nivel piezométrico único, compartido por todas las unidades que componen este sistema. Es válido mencionar, que el área de evaluación de la hidrogeología conceptual y numérica, estuvo definida por WES (2020), se establece con base en el límite hidrológico de la cuenca, tiene un área cercana a 21 km². Los límites naturales coinciden con el noreste y al sur, por el trazo natural del río Coello; en dirección oeste y norte, coincide con la divisoria de agua superficial, ubicándose en el sector centro oriental, las operaciones mineras de La Esmeralda.

Se realiza el registro, análisis y correlación de la trazabilidad de los niveles piezométricos registrados a la fecha desde el 2017, los cuales se incluyen los datos en el Anexo CAP5.1-CMAB-LES6823-AN#5.1.025 y CAP5.1-CMAB-LES6823-AN#5.1.029. Estos datos fueron revisados e incluidos en los resultados de la modelación conceptual y numérica del estudio.

La superficie piezométrica registrada para los dos periodos climáticos se relaciona en la Tabla 88. La definición de la variación de las superficies piezométricas se relacionan a nivel del área de la modelación y con las tres secciones de análisis local con las superficies de avance de la explotación proyectada para el yacimiento de interés del título minero, y así determinar con base en el comportamiento del flujo, la magnitud de las posibles afectaciones al recurso hídrico subterráneo, Figura 14 y Figura 15.

En general, con la base compilada de los niveles de agua medidos, se concluye que estarían entre la cota 650 y 740 m.s.n.m. y con profundidades desde la superficie del terreno que varían entre 10 a 56 m; Tabla 52, Figura 14.

Tabla 52. Profundidad de la columna de agua para el año 2017 y 2020 periodo estiaje y lluvias en el área del proyecto mina La Esmeralda con base en la red de piezómetros instalados

		Pzm 1	Pzm 3	Pzm 7	Pzm 8	Pzm 9	Pzm 10	Pzm 2 E. Inf
Año 2017	Periodo Seco	659,8	633,6	645,0	635,1	630,3	599,5	587,0
	Periodo Húmedo	659,8	635,2	645,3	635,6	630,6	600,0	587,5
Año 2020	Periodo Seco	657,5	629,7	642,6	630,3	630,4	593,8	583,8
	Periodo Húmedo	657,5	625,9	642,6	630,3	630,6	593,8	583,8

Fuente: Elaboración propia

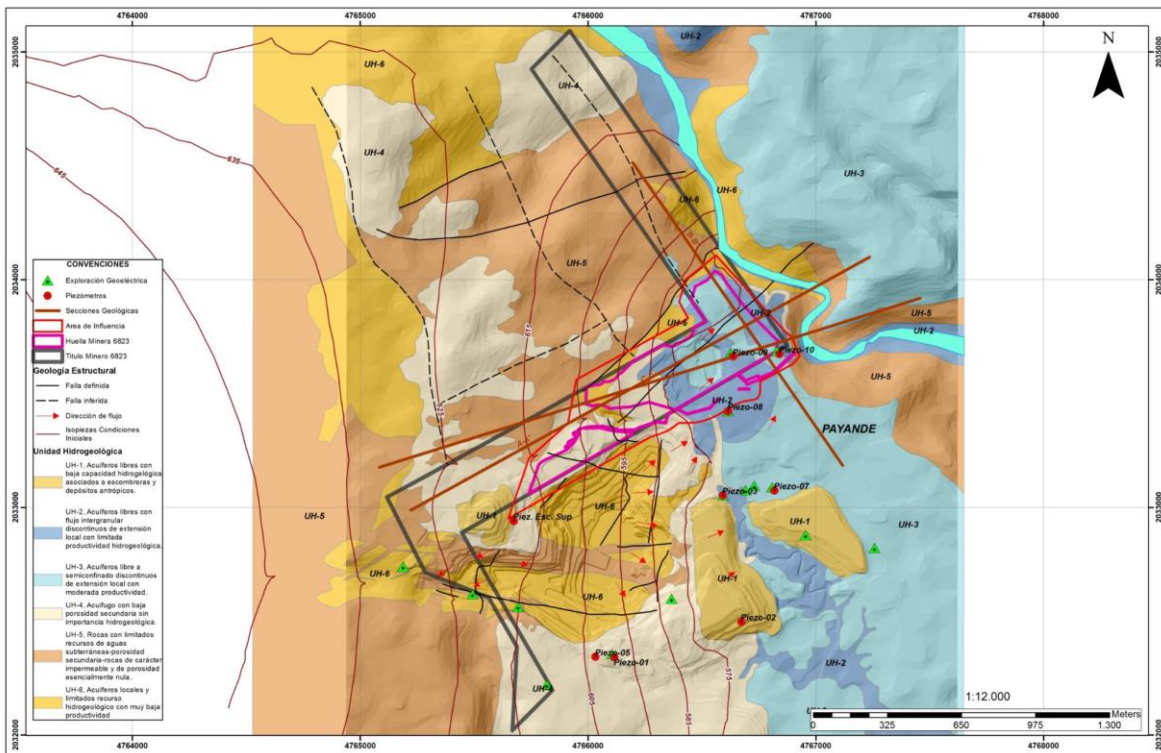


Figura 14. Mapa hidrogeológico que incluye la ubicación de la red piezométrica, área de influencia y ejes secciones de análisis local

Fuente: Cemex, 2021; INGETEC, 2021

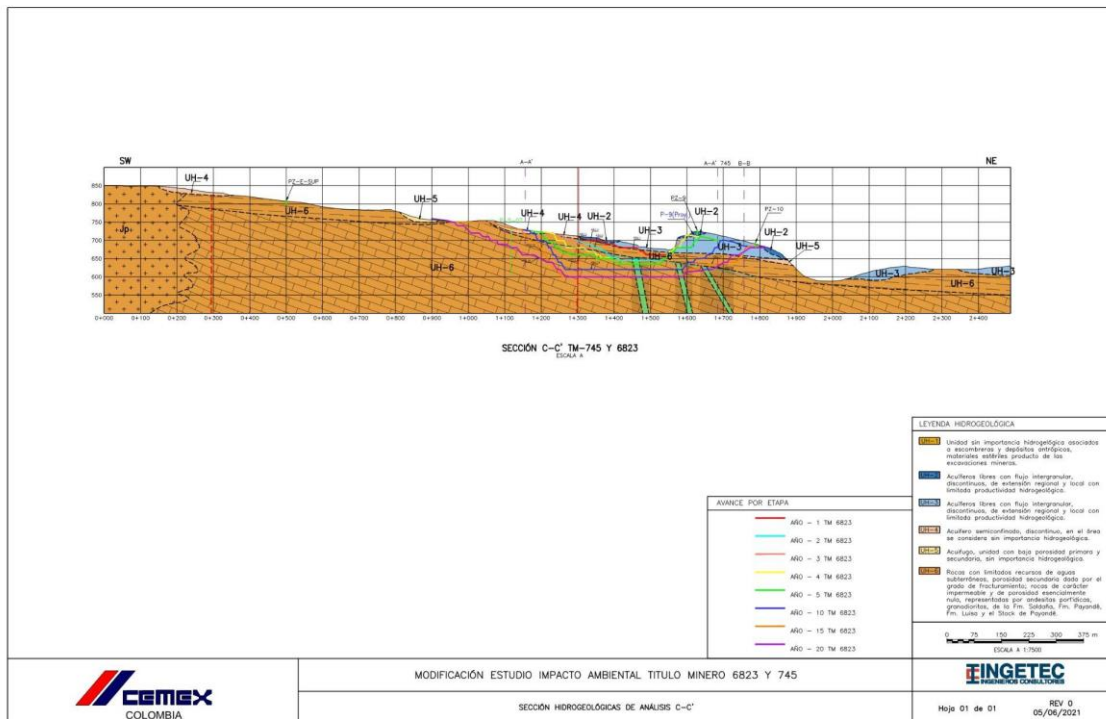
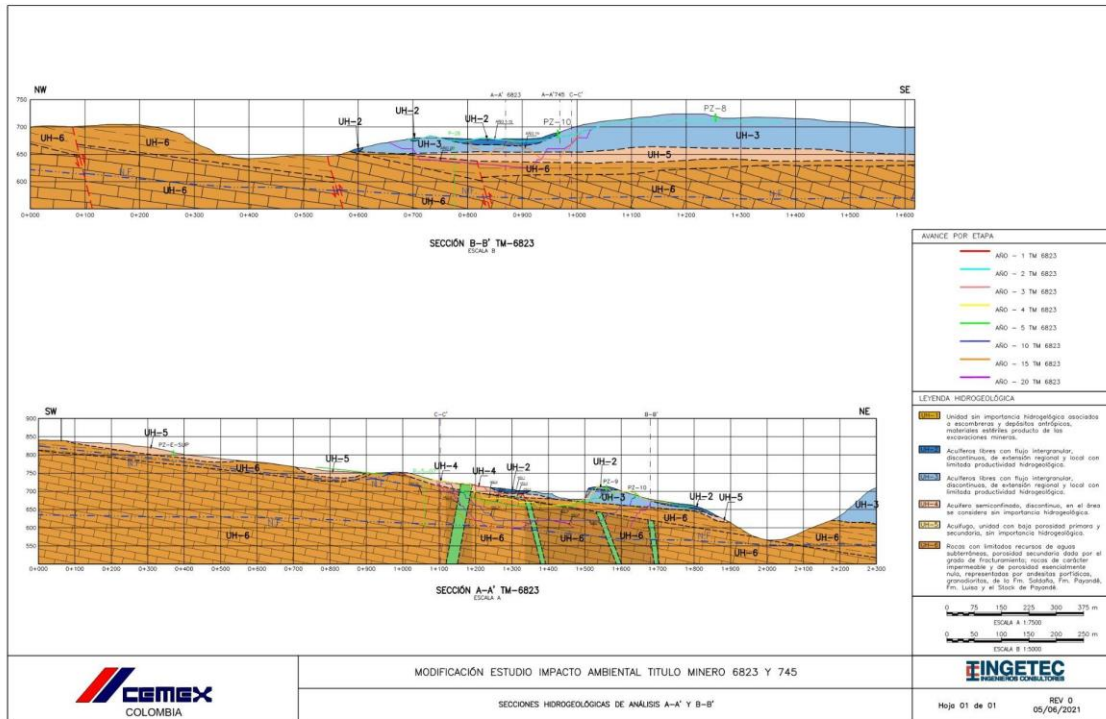


Figura 15. Secciones de análisis hidrogeológico conceptual para el área de influencia del TM 6823 y la distribución de las superficies de avance minero proyectado
Fuente: Cemex, 2021; INGETEC, 2021

- Balance hídrico y recarga por infiltración de agua lluvia

El balance se fundamenta en la aplicación del principio de la conservación de la masa, también conocido como ecuación de continuidad. Esta establece que, para cualquier volumen arbitrario y durante cualquier período de tiempo, la diferencia entre las entradas y salidas estará condicionada por la variación del volumen de agua almacenada.

$$\Sigma \text{Entradas} - \Sigma \text{Salidas} = \Delta S$$

El desarrollo del balance hídrico para el área de estudio considera un sistema en equilibrio, entendiendo por ello que la variación en el almacenamiento del acuífero para cada ciclo hidrológico sea despreciable. Este precepto tiene una base conceptual en los efectos de la extracción en el balance de los recursos subterráneos, lo cual afirma que en condiciones naturales a largo plazo el sistema acuífero permite que las entradas sean iguales a las salidas según la ecuación de continuidad, esto adquiere soporte al no considerar que exista, de acuerdo con el inventario, extracción subterránea en el área ni filtraciones producto de, por ejemplo, campos de riego de grandes extensiones.

Finalmente, el volumen de control se establece que el acuífero se encuentra en equilibrio, por lo que se obtiene la siguiente igualdad definiendo las variables de recarga por lluvia y caudal base¹⁴:

$$\text{Recarga de Lluvia} = \text{Descarga al Río (Caudal Base)}$$

Para la recarga, de acuerdo con la metodología propuesta de Losilla & Schosinsky (2000) en WES, aplicado al sistema de información geográfica, la recarga de agua subterránea varía de un sitio a otro y de una época a otra, debido a las condiciones en las que el flujo ingresa al sistema. El agua de lluvia que ocurre después de que se satisface la diferencia de humedad del suelo, es la que recarga al almacén de aguas subterráneas¹⁵.

Para obtener la recarga al acuífero en el área de estudio se incluyen los datos del balance hídrico de suelos (BHS) aplicando herramientas del Sistema de Información Geográfica (SIG). Los datos de entrada relacionan un balance promedio anual de entradas y pérdidas de las variables climáticas, es decir, la lluvia promedio anual y la evapotranspiración real promedio anual, además de los parámetros de propiedades del suelo. La Figura 96 ilustra el diagrama de flujo de procesos con el cual se lleva a cabo el cálculo de recarga (IRp), Figura 16.

A continuación, se presentan las variables que influyen en el balance de suelo y los resultados de la recarga:

La información de entrada y utilizada en el balance corresponde a:

- Modelo de elevación digital del terreno de 12,5 m de píxel, ASTER para toda el área.
- Mapa de series de suelos.
- Mapa de uso-cobertura de la tierra.
- Datos climáticos: Lluvia y Evapotranspiración Real.

Toda esta información se presenta en capas o layers, en archivos tipo RASTER, los cuales permiten la interacción entre los mismos.

¹⁴ Estudio Hidrogeológico Mina La Esmeralda, municipio de San Luis, Tolima. WES, 2019

¹⁵ Estudio Hidrogeológico Mina La Esmeralda, municipio de San Luis, Tolima. WES, 2019.

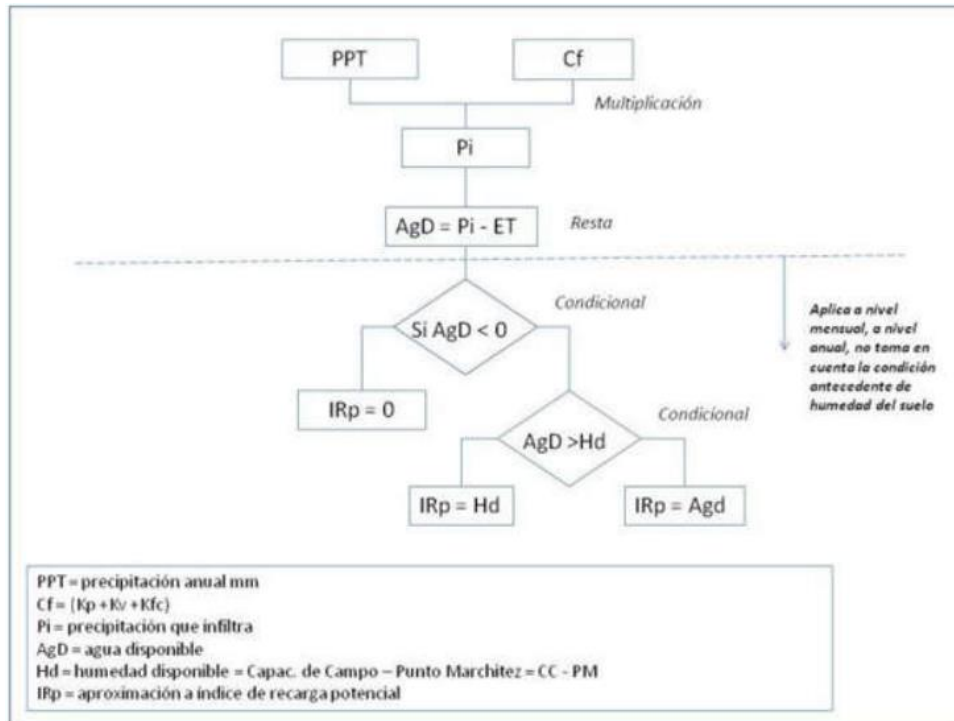


Figura 16. Esquema para el cálculo de recarga.
Fuente: Losilla & Schosinsky, 2000; en Wes, 2019.

2.3.2.1.8.2. Modelo Hidrogeológico Numérico (MHN)

De manera general la metodología de trabajo consistió en un análisis secuencial de los distintos elementos que constituyen el modelo numérico, los cuales se lista a continuación:

- Definición del software a emplear.
- Caracterización del código numérico empleado por el software.
- Definición del área o dominio de modelación.
- Definición de la geometría y del mallado a emplear.
- Definición de las condiciones de frontera necesarias para representar de manera adecuada el sistema hidrogeológico.
- Caracterización de los parámetros hidrogeológicos (conductividad hidráulica de las unidades o formaciones simuladas).
- Definición de los puntos de monitoreo y periodos a tener en cuenta como referencia de datos observados para el análisis de la bondad de ajuste del modelo.
- Calibración del MHN.
- Simulación y análisis de resultados.

A partir de la información obtenida por parte de Máquinas Amarillas y Cemex relacionada con el componente hidrogeológico del proyecto y de la actualización desarrollada como parte del Modelo Hidrogeológico Conceptual se realizó el trabajo de recopilación de información y construcción del componente hidrogeológico de acuerdo con los requerimientos establecidos en los términos de referencia emitidos por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA).

La actualización y ajuste del MHN se basó en la caracterización geológica del título minero, los análisis relacionados con la hidrología de la zona de modelación en cuanto al balance hídrico y la posible recarga del sistema y los análisis

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

hidráulicos del río Tunjuelo para establecer de manera adecuada las condiciones de frontera del MHN. Con base en dichos ajustes se estableció el modelo relacionado con la condición base del proyecto, es decir, la condición promedio asociada al sistema para el año 2019.

A partir del modelo base se construyó el modelo asociado al avance de la secuencia minera (etapa 1 a etapa 21) constituyendo un modelo de 11 años de simulación con 3 años de calentamiento permitiendo estimar los cambios en los niveles freáticos y los cambios en la dinámica de aguas subterráneas en cuanto a la interacción del río Tunjuelo y los acuíferos circundantes, con un análisis específico de la zona aledaña al título minero.

2.3.2.1.9. Geotecnia

A partir de los trabajos efectuados por parte de CEMEX referentes al componente geotécnico de las obras que se desarrollarán para el proyecto la Esmeralda en el título minero 6823, se realizó el trabajo de compilación y adaptación de acuerdo con los requerimientos establecidos en los términos de referencia emitidos por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). Al respecto se destaca que el componente geotécnico del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) del proyecto en mención involucra los siguientes ejes temáticos:

- Amenaza sísmica para la zona de proyecto.
- Exploración geotécnica y respectivos ensayos de campo y laboratorio para la caracterización de materiales.
- Criterios y consideraciones tenidas en cuenta que permitieron llevar a cabo los análisis de tipo geotécnico.
- Evaluación de la amenaza.
- Características del programa de monitoreo geotécnico.
- Consideraciones desde el punto de vista geotécnico que se deben tener en cuenta durante la etapa de operación y cierre de la mina.

A continuación, se mencionan los aspectos generales de los contenidos señalados.

2.3.2.1.9.1. Amenaza Sísmica

El objetivo principal de este apartado consiste en determinar los valores de aceleración pico del terreno (PGA por sus siglas en inglés) a ser usados en el diseño ante cargas sísmicas de las excavaciones. Para el caso de este EIA, se recurrió a la información contenida en la NSR-10 (AIS, 2010) que es la normativa vigente de construcción sismo resistente en Colombia. Este valor de aceleración pico del terreno es la base para determinar el coeficiente de aceleración sísmico (k_h) a utilizar en los análisis de estabilidad. Dicho esto, vale la pena destacar que en la selección del k_h a usar para el proyecto Esmeralda, se tuvieron en cuenta aspectos como: tipo de obra, normativa vigente y aplicable, vida útil del proyecto y consecuencias de una posible falla.

2.3.2.1.9.2. Exploración geotécnica y ensayos de caracterización de materiales

Otro aspecto de gran importancia dentro del componente geotécnico del EIA de la mina Esmeralda, corresponde a las actividades ejecutadas para la exploración geotécnica y el programa de ensayos tanto de campo como de laboratorio llevado a cabo. En este punto es relevante mencionar la información recopilada por parte de Cemex a través de las campañas de exploración adelantadas, en donde los trabajos más recientes incluyeron la toma de 16 muestras, lo cual ha permitido complementar la información existente (i.e. proveniente de estudios anteriores) para así construir el modelo geológico geotécnico usado como base para los análisis de estabilidad de la zona de estudio.

En lo referente a los ensayos propiamente dichos, se llevaron a cabo pruebas tanto en campo (ej. ensayos de penetración estándar) como pruebas de laboratorio sobre suelos (propiedades índice y de resistencia) que constituyeron la herramienta fundamental para el proceso de caracterización geotécnica.

2.3.2.1.9.3. Criterios y consideraciones de diseño

Establecidas las características de los materiales térreos, se requiere establecer los criterios de diseño para las obras en superficie (excavaciones) que hacen parte del estudio. Estos criterios constituyen los lineamientos a seguir dentro del proceso de análisis y, por lo tanto, son la base de las evaluaciones geotécnicas realizadas. Dentro de estos criterios se tuvo en cuenta aspectos como:

- Factores que inciden en la estabilidad de la obra diseñada (i.e. propiedades de los materiales, presencia de agua, geología, sismicidad).
- Requerimientos desde el punto de vista de operación minera y de manejo ambiental.
- Riesgos asociados.
- Lineamientos establecidos por la autoridad ambiental.

La definición de estos criterios, permitió fijar entre otros, los siguientes aspectos:

- Escenarios de análisis considerados.
- Mecanismos de falla.
- Factores de seguridad mínimos a alcanzar en los análisis de estabilidad.
- Aceleración pico a usar dentro de los análisis pseudoestáticos para obras en superficie.

A partir de la integración de los anteriores elementos y a través de procedimientos que hacen parte del estado del arte de ingeniería, fue posible establecer mediante análisis geotécnicos la geometría para la conformación de las excavaciones que hacen parte del proyecto en estudio, logrando de esta manera un cumplimiento de los requerimientos técnicos, bajo condiciones de seguridad tanto para la operación minera como para las comunidades e infraestructuras aledañas. Como metodología usada en estos análisis de estabilidad se recurrió a análisis de equilibrio límite mediante el uso de software comercial.

Estos análisis geotécnicos involucraron entre otros aspectos, la definición de los siguientes puntos esenciales: Altura, inclinación, anchos de bermas y geometría general de los taludes de excavación.

2.3.2.1.9.4. Evaluación de la amenaza por estabilidad de taludes.

Definidas las características de las obras, el siguiente punto a tratar dentro de las labores de índole geotécnica se relaciona con la evaluación de la amenaza por temas de estabilidad de taludes conformados. Para tal fin, si bien existen diferentes metodologías para llevar a cabo la evaluación solicitada, para el caso específico del proyecto Esmeralda se siguió la metodología establecida por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) en el documento "Términos de referencia para la elaboración del estudio de impacto ambiental – EIA. Proyectos de explotación minera" (ANLA, 2016). Según este método, los niveles de amenaza se clasifican en Alto, Medio y Bajo de acuerdo con los resultados obtenidos en términos de factores de seguridad (FS) provenientes de los análisis de estabilidad.

2.3.2.1.9.5. *Monitoreo geotécnico complementario.*

Definidas las características de las obras, es esencial saber cómo se comportan desde el punto de vista de su estabilidad, razón por la cual para el presente estudio se planteó un monitoreo geotécnico complementario al ya existente enfocado en puntos específicos del proyecto considerados de especial interés cuyas condiciones de estabilidad deben ser vigiladas. Para lograr lo anteriormente expuesto se ha seguido la siguiente secuencia metodológica:

- Definición de la variable a medir.
- Selección del instrumento que mejor se ajuste a las necesidades.
- Planeación de la localización del o los instrumentos, tomando en cuanto la interacción que se podría tener con las actividades a ejecutar.

2.3.2.1.9.6. *Consideraciones geotécnicas etapa de cierre y post-cierre.*

Para concluir la parte del estudio correspondiente a temas geotécnicos, se han incluido las consideraciones que desde ésta área del conocimiento se tendrán para la etapa de cierre y post cierre, en donde se plantea que el manejo de los taludes para dichas fases del proyecto se concentre en tres actividades orientadas hacia la prevención de la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa:

- Monitoreo de taludes
- Control de erosión
- Manejo de aguas.

2.3.2.1.10. *Atmósfera*

Fueron recopilados los registros de las estaciones climatológicas del área de estudio, operadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), las cuales permiten conocer el comportamiento altitudinal, temporal y espacial de variables tales como: precipitación, temperatura, brillo solar, humedad relativa, evaporación y velocidad y dirección del viento.

Los registros recopilados fueron sometidos a análisis estadísticos de consistencia y homogeneidad e identificación de datos anómalos según lo requerido por la (Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, 2018) con el fin de evaluar su calidad y verificar la pertinencia de su uso para el proceso de caracterización hidrológica y climatológica del área de estudio. Así mismo, se realizó la exploración gráfica de las series identificando su régimen y distribución temporal.

Por último, a partir de la elevación de las estaciones y los valores medios mensuales multianuales, se realizó el análisis del comportamiento espacial de la temperatura media y de la evaporación. Para la espacialización de la precipitación se obtuvo un raster con el software libre Surface Mapping System Surfer versión 7 mediante la interpolación del método de Kriging. La espacialización de la evaporación y temperatura media se realizó mediante la identificación de la relación entre los valores de las variables y la elevación a la que se ubican las estaciones. Con dicha relación y a partir de las curvas de nivel se obtuvo un raster con la herramienta "Map Algebra/Raster Calculator" del software ArcMap 10 para cada una de las variables mencionadas.

2.3.2.1.10.1. Calidad del aire

La caracterización de la calidad del aire comprendió el inventario de fuentes fijas de emisión y receptores sensibles, la cuantificación de la contaminación atmosférica en el territorio y la modelación de dispersión de contaminantes atmosféricos. A continuación se describe la metodología de cada aspecto:

- Inventario de emisiones atmosféricas y receptores sensibles

Un inventario de emisiones es la base de datos de las fuentes de emisión objeto de estudio, las cuales tienen asociadas diferentes variables y características que las clasifican. El inventario de receptores sensibles comprende la georreferenciación y clasificación de los equipamientos sociales y áreas ambientales estratégicas que se localicen cerca a las fuentes de emisión del proyecto. Para el desarrollo de ambos inventarios, se llevó a cabo un recorrido en el territorio del proyecto, siguiendo los lineamientos establecidos en la Guía para la Elaboración de Inventario de Emisiones Atmosféricas, publicada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS en el 2017 y en los Términos de Referencia del proyecto.

Durante la salida de campo, se identificaron las fuentes fijas de emisión y se caracterizaron las fuentes lineales mediante aforos vehiculares. También se identificaron y georeferenciaron los receptores sensibles aledaños a la huella del proyecto. Los aforos vehiculares fueron desarrollados mediante conteo manual en dos vías con el fin de conocer el flujo de vehículos en las fuentes de emisión lineales. La primera vía corresponde a la conexión del corregimiento Payandé con la mina La Esmeralda; la segunda vía se ubica en la cabecera municipal del corregimiento Payandé, corresponde a la vía San Luis-Guamo, en el punto conocido como la Virgen.

El aforo se realizó en jornadas continuas de 24 horas para un día hábil correspondiente al día 7 de octubre del 2020 empezando a las 2 pm y finalizando a las 2 pm del día 8 de octubre del 2020. Asimismo, se realizó el aforo para un día festivo correspondiente al día 11 de octubre comenzando a las cero horas. Este aforo se realizó por medio de conteo de vehículos los cuales se discretizó en vehículos livianos y pesados. Los vehículos pesados se componen por motos, automóviles, camionetas y microbuses. Los vehículos pesados se conforman por camiones de dos ejes pequeño (C2P), camiones de 2 ejes grandes (C2G), camiones de tres ejes (C3), camiones de cuatro ejes (C4) y camiones de cinco ejes (C5). Finalmente, se discretizó el conteo de las motos según su motor, es decir de dos tiempos y de cuatro tiempos, como también los automóviles y camionetas según su combustible diésel o gasolina

Con los resultados del inventario de emisiones y aforo vehicular, se estimaron las emisiones atmosféricas existentes utilizando factores de emisión. los factores de emisión son un valor representativo que intenta relacionar la cantidad de un contaminante emitido a la atmósfera con un valor de actividad asociada con la descarga de ese contaminante; estos factores se expresan normalmente como el peso del contaminante dividido por una unidad de peso, volumen, distancia o la duración de la actividad de emisión de contaminante. Estos fueron aplicables a las emisiones por rodamiento en superficie de vías. Finalmente, el modelo IVE es ampliamente reconocido para estudios de inventario de emisiones en países no desarrollados o que no cuentan con factores de emisión asociados a las condiciones locales, y fue utilizado para estimar las emisiones por combustión interna de los vehículos.

- Campaña de monitoreo de calidad del aire

La caracterización de la calidad del aire en la zona de estudio se realizó con base en información secundaria, correspondiente a los monitoreos realizados de material particulado PM₁₀, en los años 2018 y 2019 en el área inmediata al título minero 6823; la información tomada, hace parte de:

- Estudio de calidad de aire planta caracolito P-795, elaborado por Ingeniería y Consultoría Global Ltda.
- Informe cuatrimestral de calidad de aire noviembre 2017 a febrero 2018, elaborado por Corporación de Cuencas del Tolima (CORCUENCAS) - Laboratorio Ambiental del Tolima.
- Informe cuatrimestral de calidad de aire marzo a junio 2018, elaborado por Corporación de Cuencas del Tolima (CORCUENCAS) - Laboratorio Ambiental del Tolima.

- Informe de estudio especial de calidad de aire en la mina de caliza la Esmeralda, elaborado por Corporación de Cuencas del Tolima (CORCUENCAS) - Laboratorio Ambiental del Tolima.

También se efectuó la caracterización con información primaria a partir de las campañas de monitoreos para PM₁₀ y PM_{2.5}, las cuales fueron llevadas a cabo entre el 08 de octubre y el 12 de noviembre de 2020 para época húmeda y entre el 19 de enero al 5 de febrero de 2021 para época seca. Los monitoreos se realizaron a la luz de las especificaciones de los manuales del Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire, desarrollado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y adoptado por medio de la Resolución 2254 del 01 de noviembre de 2017. En estos se especifica la metodología y lineamientos para el diseño de los Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA), la calibración de equipos, actividades pre campo, toma de muestras, análisis de laboratorio y presentación de resultados.

El monitoreo estuvo a cargo del laboratorio AGQ PRODYCON COLOMBIA S.A.S. , el cual se encuentra con certificación vigente ante el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM en la norma NTC ISO/IEC 17025 – 2005 “Requisitos Generales para la competencia de Laboratorios de Ensayo y de calibración”, mediante la siguiente resolución: Resolución 0486 del 16 de junio de 2020.

El tiempo de monitoreo fue de 36 días en época de lluvias y de 18 días en época seca, periodo durante el cual, las estaciones de monitoreo capturaron datos diezminutales, que fueron compilados en horas-días y archivados para el análisis total de la campaña. Los métodos o técnica utilizada para el reporte de datos de equipos automáticos, incluidos dentro del Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire, son:

Tabla 53. Métodos de referencia

Contaminante	Método	Técnica
Material Particulado <10 µm	EN 16450:2013	Dispersión de Luz 90°
Material Particulado <2.5 µm	EPA EQPM-0311-195	

Fuente: AGQ Prodycon Colombia S.A.S.

Tabla 54. Equipos de monitoreo.

Equipo		Código Inventario		
		CA1 Mini Shelter	CA2 Mini Shelter	CA3 Mini Shelter
Medidor automático de PM10, PM2.5 EGC-PM	Grimm	18A09100 CG2019112001	18A12051 CG18A12051 EDM180D 20021202	18A10077 CG2020020502

Fuente: AGQ Prodycon Colombia S.A.S.

Los resultados obtenidos fueron comparados con los límites máximos permisibles, dispuestos en la Resolución 2254 de 2017 del MADS, y se estimaron los Índices de Calidad del Aire.

- Modelo de calidad del aire

Finalmente, se realizó la modelación de la calidad del aire para el proyecto bajo tres escenarios: escenario sin proyecto, escenario operación máxima del proyecto sin medidas de control, y escenario operación máxima del proyecto con medidas de control. El modelo fue construido a la luz del contenido exigido en los Términos de Referencia y la

Metodología General para la Presentación y Elaboración de Estudios Ambientales del 2018 MADS. Los contaminantes evaluados fueron los mismos analizados en el monitoreo de calidad del aire: CO, NO₂, SO₂, PM₁₀ y PM_{2.5}.

El modelo utilizado fue el AERMOD, dadas las características del proyecto y su localización. AERMOD es un modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos de estado estacionario, en el que las concentraciones en todas las distancias durante las simulaciones son gobernadas por un promedio meteorológico en una resolución horaria y el comportamiento de la pluma obedece una distribución gaussiana en la vertical y horizontal. El modelo realiza los cálculos con base en las características del terreno y datos meteorológicos en superficie y perfil. Incorpora aspectos avanzados de modelación y algoritmos de dispersión basados en conceptos de escalamiento y estructura de la turbulencia de la capa límite planetaria, el tratamiento de fuentes de tipo puntuales, de área, de volumen y lineales: el manejo de terreno simple, elevado y complejo, distribución de coberturas y usos del suelo y la presencia de edificios u obstáculos cerca de las fuentes de emisión.

En el informe se incluye la estimación de emisiones atmosféricas para diferentes escenarios de análisis (sin proyecto y con proyecto) y se cuantifican las concentraciones de contaminantes atmosféricos a diferentes periodos de exposición en el territorio por cada escenario. Los resultados son insumos para el análisis del área de influencia del medio abiótico, zonificación ambiental, evaluación de impactos y propuesta de medidas de manejo ambiental. La configuración de emisiones se realizó evaluando la huella del proyecto, sus frentes de obra, el cronograma de obra, las actividades asociadas y el balance de materiales de construcción del proyecto. Las emisiones fueron estimadas utilizando los factores de emisión dispuestos en el compilado AP-42 de la EPA.

Como resultado de las diferentes simulaciones, se obtuvieron los siguientes elementos:

- Definición del Área de Influencia del componente atmosférico en calidad del aire
- Isopleas de concentración de cada contaminante en los tres escenarios y bajo los diferentes periodos de exposición.
- Análisis de impacto acumulativo por contaminación atmosférica
- Evaluación de la afectación a receptores sensibles aledaños al proyecto
- Evaluación de las medidas de manejo implementadas en el PMA del proyecto para el control de emisiones atmosféricas
- Análisis de cobertura, magnitud y extensión de la contaminación para el permiso de emisiones atmosféricas del proyecto

2.3.2.1.10.2. Ruido

La caracterización de los niveles de presión sonora en el área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Mina La Esmeralda para el título 6823, se llevó a cabo con dos campañas de monitoreo. La primera se realizó entre el 14 y 20 de noviembre de 2019 por la firma CCA COMPAÑÍA DE CONSULTORÍA AMBIENTAL LTDA y la segunda entre el 30 de octubre y el 1 de noviembre de 2020 la cual fue realizada por la firma AGQ PRODYCON COLOMBIA S.A.S.

Estas mediciones se realizaron por un periodo de 24 horas continuas divididas en jornada diurna (7:01 a 21:00 horas) y jornada nocturna (21:00 horas a 7:00 horas) en conformidad con lo establecido en la Resolución 0627 de 2006 expedida por el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Sostenible y teniendo en cuenta las consideraciones metodológicas de la norma UNE-ISO 1996:2009 (Acústica - Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental Parte 2: Determinación de los niveles de Ruido Ambiental) que se encuentra aprobada en el inciso b del capítulo II de la resolución 0627 de 2006 "Las medidas de niveles de ruido ambiental con ponderación A, se efectúan teniendo en consideración la norma ISO 1996 o aquella norma que la adicione, modifique o sustituya"

Como instrumento de medición de niveles de presión sonora del monitoreo realizado en 2020 se empleó un sonómetro integrador marca Quest Technologies, Tipo 1, modelo SoundPro SE/DL1, con número de serie BLG110013. Este ha sido

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

previamente calibrado en nivel de presión sonora y frecuencia, considerando la ponderación A, ponderación C y ponderación Z, además de ser calibrado (mediante prueba de atenuación) en cada uno de los filtros de octavas; esto en conformidad con el Capítulo IV: De los equipos de medida y las mediciones, Artículo 18, de la Resolución 627 de 2006.

El sonómetro tiene capacidad de medir el nivel equivalente de presión sonora con ponderación frecuencial A, -LAeq-, directa e indirectamente; cumple con las especificaciones de sonómetro Tipo 1 y es integrador de clase P.

Este sonómetro cumple con los requerimientos del American National Standards Institute (ANSI S1.4—1983-R2001, ANSI S1.11-2004 y ANSI S1.43-1997-R2002), Especificación Estándar de medidores de niveles de sonido para propósitos generales tipo 1; y la International Electro - Technical Commission (IEC 61672-1, IEC 61672-2, IEC 61260, IEC 61000). Además, cumple con los requerimientos de la Resolución 627 de 2006 del Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. A continuación, en la Tabla 55, se resumen las especificaciones técnicas del sonómetro empleado.

Tabla 55. Especificaciones técnicas sonómetro empleado campaña 2020

Clase	1
Parámetros de medida	SPL, MAX, MIN, Peak, Ln, Leq, Lavg, Sel, TWA, Taktm, DOSE, PDOSE, Ldn, CNEL, exposición en tiempo real.
Intervalo de registro	1, 10, 15, 30, 60 segundos 5, 10, 15, 30, 60 minutos
Rango de medida	0 – 140 dB
Rango de frecuencia	12,5 Hz a 20 KHz
Tiempo de respuesta	Rápida, lenta e impulsos
Filtro de frecuencia	1/1, 1/3 Bandas de octava
Ratas de intercambio	3, 4, 5, 6 dB(A)
Ponderación de frecuencias	A, C, Z

Fuente: Quest Technologies - 3M.

Este equipo dispone además de un dispositivo integrador de resultados o data logger que permite el almacenamiento y procesamiento de la información registrada, además de permitir su programación en los horarios de tiempo deseados.

Para el manejo y procesamiento de los datos se utilizó el programa especializado Detection Management Software – DMS, el cual permite descargar los datos desde el sonómetro, además de arrojar estadísticas, tablas y gráficas de los parámetros de interés.

Por otra parte, la velocidad del viento fue medida utilizando un anemómetro marca Kestrel® 4500 Pocket Air Flow® Tracker.

En el contexto de la valoración del ruido en el área de influencia, se siguió en forma estricta el procedimiento de medición para ruido ambiental, estipulado en el Anexo 3, Capítulos II de la Resolución 627 de 2006 del actual Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).

Los niveles de ruido se evaluaron durante los días 30 de octubre de 2020, 31 de octubre de 2020 y 1 de noviembre de 2020. Las mediciones se realizaron en los intervalos unitarios de tiempo de medida establecidos en la Resolución 0627 de 2006, estos intervalos fueron previamente definidos para cada punto de medida, considerando intervalos de tiempo de referencia diurnos (durante el periodo comprendido entre las 7:01 y las 21:00 horas) y nocturnos (durante el periodo comprendido entre las 21:01 y las 7:00 horas). Este procedimiento se realiza tanto en día hábil como en día no hábil, con el fin de poder establecer un patrón de comportamiento de un día ordinario normal más o menos característico y en día no hábil, con la finalidad de detectar posibles incidencias externas.

El ruido ambiental, según lo establecido en la Resolución 627 de 2006, se midió instalando el micrófono a una altura de cuatro (4) metros medidos a partir del suelo terrestre y a una distancia equidistante entre los límites del espacio público correspondiente. Se obtuvieron quince (15) minutos de captura de información distribuidos uniformemente para cada punto (tres mediciones de 5 minutos). Cada una de estas mediciones consta de quince (15) mediciones parciales distribuidas en tiempos iguales y tomadas en las siguientes orientaciones del micrófono: Norte, Sur, Este, Oeste y Vertical hacia arriba. Para cada orientación, en cada punto y horario, se aplica la siguiente fórmula:

$$L_{Aeq} = 10 \cdot \log \left(\left(\frac{1}{3} \right) \cdot \left(10^{L_{\text{primera medición}}/10} + 10^{L_{\text{segunda medición}}/10} + 10^{L_{\text{tercera medición}}/10} \right) \right)$$

El resultado de la medición es obtenido finalmente mediante la siguiente expresión:

$$L_{Aeq} = 10 \cdot \log \left(\left(\frac{1}{5} \right) \cdot \left(10^{L_N/10} + 10^{L_O/10} + 10^{L_S/10} + 10^{L_E/10} + 10^{L_V/10} \right) \right)$$

Donde:

- L_{Aeq} : Nivel equivalente resultante de la medición.
- L_N : Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido norte.
- L_O : Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido oeste.
- L_S : Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido sur.
- L_E : Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido este.
- L_V : Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido vertical.

Los niveles de presión sonora continuo equivalente ponderados A, ($L_{Aeq,T}$) para cada uno de los monitoreos de ruido fueron ajustados o corregido de acuerdo con lo estipulado en el Artículo 8 de la Resolución 0627 de 2006, utilizando la metodología presentada en el Anexo II de la citada Resolución, de la siguiente manera.

$$L_{RA(X),T} = L_{A(X),T} + (K_I, K_T, K_S)$$

Donde:

- $L_{RA(X),T}$: Nivel de presión sonora continuo equivalente corregido. (X) corresponde a cualquiera de los parámetros de medida
- K_I : Ajuste por impulsos (dB(A))
- K_T : Ajuste por tono y contenido de información (dB(A))
- K_S : Ajuste (positivo o negativo) para ciertas fuentes y situaciones (ej. bajas frecuencias)

El nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, $L_{Aeq,T}$, solo se corrige por un solo factor K, el de mayor valor en dB(A). El cálculo de los Factores de K se describe a continuación:

Para el ajuste por impulsos, en cada horario y punto de monitoreo se realizó una lectura por impulsos (L_{AI}). Posteriormente se determinó la diferencia entre la lectura por impulsos (L_{AI}) y el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado del punto de monitoreo ($L_{Aeq,T}$).

Si la diferencia (L_i) es menor a 3 decibeles no hay componentes impulsivos, si se encuentra entre 3 y 6 decibeles hay percepción neta de componentes impulsivos y si es superior a 6 decibeles hay percepción fuerte de componentes impulsivos: Según lo anterior se realizan las siguientes correcciones: Para la ausencia de percepción no se adicionan decibeles, si la percepción es neta se adicionan 3 dB(A) y si es fuerte se adicionan 6 dB(A).

El siguiente ajuste corresponde a las tonalidades, para lo cual en campo se realizó una lectura por filtros de tercios de octava. Con los resultados obtenidos en el espectro de tercios de octava se calcula la diferencia:

$$L = L_t - L_s$$

Donde:

- L_t : Es el nivel de presión sonora de la banda f que contiene el tono puro.
- L_s : Es la media de los niveles de las dos bandas situadas inmediatamente por encima y por debajo de f (L_{encima} y L_{debajo}).

Se determina la presencia o ausencia de componentes tonales, entre 20 a 125 Hz:

- Si $L < 8$ dB(A), no hay componentes tonales.
- Si 8 dB(A) $< L < 12$ dB(A), hay componente tonal neto.
- Si $L > 12$ dB(A), hay componente tonal fuerte.

Se determina la presencia o ausencia de componentes tonales, entre 160 a 400 Hz:

- Si $L < 5$ dB(A), no hay componentes tonales.

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

- Si $5 \text{ dB(A)} < L < 8 \text{ dB(A)}$, hay componente tonal neto.
- Si $L > 8 \text{ dB(A)}$, hay componente tonal fuerte.

Se determina la presencia o ausencia de componentes tonales a partir de 500 Hz:

- Si $L < 3 \text{ dB(A)}$, no hay componentes tonales.
- Si $3 \text{ dB(A)} < L < 5 \text{ dB(A)}$, hay componente tonal neto.
- Si $L > 5 \text{ dB(A)}$, hay componente tonal fuerte.

Para la ausencia de componentes tonales no se adicionan decibeles, si hay componentes tonales netos se adicionan 3 dB(A) y si es fuerte se adicionan 6 dB(A).

Por último, la corrección de nivel K_s se aplica de la siguiente manera:

Si el ruido proviene de las instalaciones de ventilación y climatización, bajas frecuencias:

5 dB(A) en período diurno; 8 dB(A) en período nocturno.

2.3.2.1.10.3. Vibraciones

Se desarrolló el estudio con el fin de caracterizar los niveles de vibración percibidos en las zonas receptoras y edificaciones de interés, localizadas en cercanías al área de influencia propuesta. Se buscó determinar los niveles de vibración producidas por los trabajos mineros incluidos en el título minero 4205 y predecir los niveles de vibración asociados al efecto de voladuras en la zona de estudio asociado a las labores de extracción para el título minero 6823.

Los alcances particulares de la actividad de caracterización de vibraciones en la zona de estudio incluyeron:

- Caracterización de los niveles de las vibraciones asociadas a las voladuras incluidas dentro de los trabajos de extracción del título minero 4205 y con esto establecer las características de línea base del proyecto con el fin de estimar la relación con la etapa de operación sobre la Huella del proyecto.
- Consolidación de resultados, análisis de la información y proyección de impactos en los predios seleccionados como de interés ambiental.

La caracterización de vibraciones se desarrolló con base a los registros obtenidos a partir de los procesos de voladuras inducidas en el proyecto minero Esmeralda asociado a las labores incluidas en el título minero 4205. Lo anterior, considerando la importante base de datos que se tiene de ubicación, y características de voladuras (carga por barrenos, principalmente) y su efecto en término de vibraciones en el casco urbano de Payandé (registro velocidad pico de partícula con respecto a los umbrales establecidos).

El monitoreo de vibraciones se desarrolló en los mismos tres puntos en los cuales se efectuó el monitoreo de ruido, que alcanzan a cubrir la infraestructura del casco urbano de Payandé, lo que permite la caracterización de la zona de influencia del proyecto en términos de niveles de vibraciones naturales (línea base).

2.3.3. Medio biótico

2.3.3.1. Ecosistemas

Se realizó una descripción preliminar del Gran Bioma, el Bioma, la Zona de vida, los Ecosistemas naturales y transformados y las Coberturas de la tierra presentes. Se evidenció el Área de Influencia Biótica - AIB, así como los cuerpos de agua del área de estudio, entre ellos cabe mencionar aquellos por los que cruzan el área de influencia del proyecto.

A partir del mapa de Ecosistemas Continentales, Costeros y marinos de Colombia (MEC) a escala 1:100.000¹⁶, se establecen las unidades de acuerdo con la interpretación de cartografía básica y temática a escala 1:100.000, la cual es una a escala muy gruesa para estudio en áreas puntuales. De este modo, para el presente estudio se presenta una descripción y análisis de ecosistemas presentes en el área de estudio de los títulos mineros presentes en la Mina La Esmeralda a una escala más detallada de 1:25.000.

La descripción y análisis de ecosistemas presentes en el área de estudio, se realizó a partir del mapa de Ecosistemas, y se basó en tres niveles de integración:

1. Tipo general de bioma (Gran bioma): se basa en la clasificación de biomas de Colombia de Hernández y Sánchez¹⁷ e IDEAM¹⁸.
2. Bioma: se basa en las unidades biogeográficas de Colombia de Hernández y Sánchez¹⁹.
3. Ecosistema: Unión del bioma con la cobertura de la tierra (Rodríguez et al.²⁰).

Para el área de estudio se presentan las unidades de cobertura a nivel tres y cuatro según la Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra escala 1:100.000, de acuerdo con la metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia²¹, propuesta metodológica para la caracterización de las coberturas naturales y antropizadas presentes en el territorio colombiano. El análisis de coberturas se presenta con base en la fotointerpretación de una ortofoto reciente y su verificación en campo. La información resultante permite establecer el área ocupada por cada una de las coberturas de tipo natural, seminatural y artificial, que se encuentran presentes.

2.3.3.1.1. Flora

Para la caracterización de los ecosistemas terrestres se describe el proceso metodológico aplicado al componente de flora (Figura 17) basado en los Términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) proyectos de explotación minera del año 2016 y la metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales del año 2018.

¹⁶ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES - IDEAM *et al.* Mapa de Ecosistemas continentales, Costeros y Marinos de Colombia Versión 2.1. Escala 1:100.000. Bogotá. 2017.

¹⁷ HERNÁNDEZ, J y H. SÁNCHEZ. Biomas terrestres de Colombia. En: G. Halffter (editor). La diversidad biológica iberoamericana I. Acta Zoológica Mexicana, México. 1992. 153-173 pp.

¹⁸ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES - IDEAM *et al.* Op.cit.

¹⁹ HERNÁNDEZ, J y H. SÁNCHEZ. Op.cit.153-173 pp.

²⁰ RODRÍGUEZ, N. *et al.* Ecosistemas de los Andes colombianos 2 ed. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt - IAvH. Bogotá, D. C., Colombia, 2003, 154 p.

²¹ IDEAM. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra, Metodología CORINE Land Cover Adaptada para Colombia Escala 1:100 000. Bogotá D.C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2010. p. 72

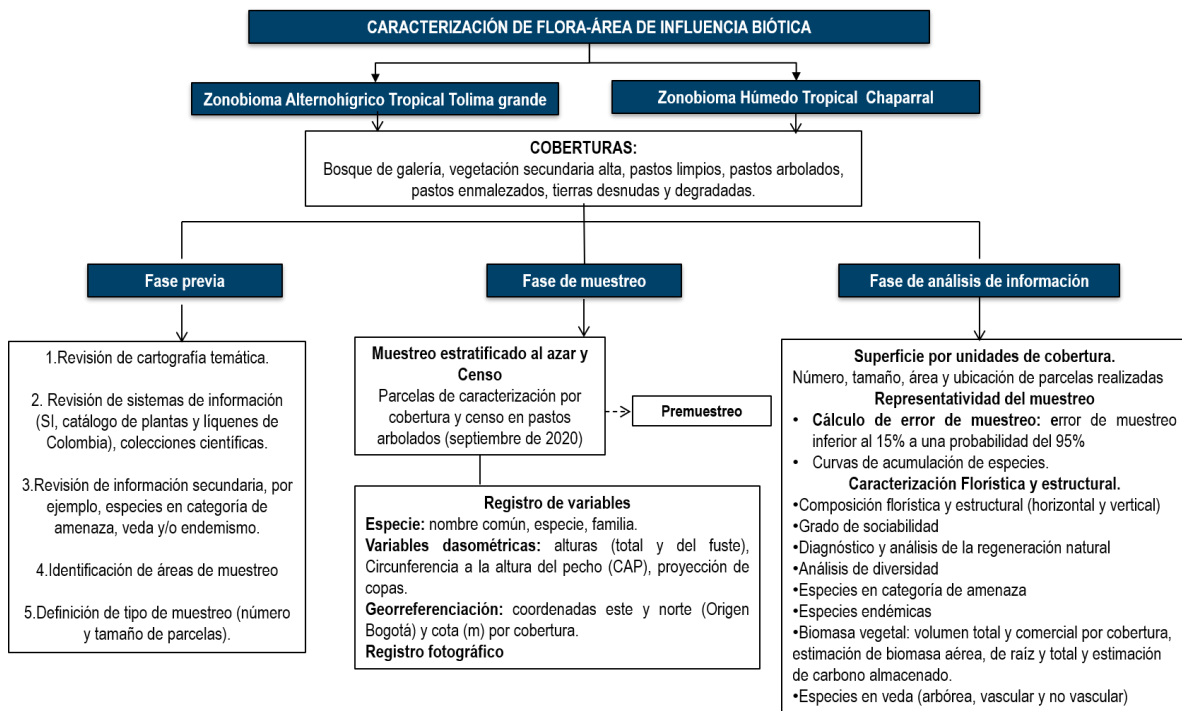


Figura 17. Proceso metodológico de la Caracterización de Flora en Área de Influencia Biótica

2.3.3.1.1.1. Fase Previa

La fase previa al muestreo consta de las siguientes fases:

- Revisión y realización de cartografía base a partir de cartografía base IGAC y CORTOLIMA, para la obtención de planos de cobertura vegetal, este procesamiento cartográfico se obtuvo mediante el uso del software ArcGis versión 10.1
- Revisión de información secundaria de especies reportadas en veda, amenaza y endémicas para el área de estudio en la Jurisdicción CORTOLIMA
- Identificación de las áreas de muestreo (coberturas vegetales de interés y Biomas presentes)
- Definición de tipo de muestreo (número y tamaño de parcelas) para todas las unidades de cobertura natural presente: bosque de galería y/o ripario, vegetación secundaria, pastos arbolados, pastos enmalezados y tierras desnudas y/o degradadas.

2.3.3.1.1.2. Fase de campo

Las actividades de caracterización de flora se adelantaron durante el mes de septiembre del año 2020 en el Área de Influencia Biótica (AIB). Las coberturas vegetales evaluadas fueron: Bosque de galería, vegetación secundaria alta, pastos arbolados, pastos limpios, pastos enmalezados, tierras desnudas y degradadas. En dichas coberturas se colectó información a partir de la instalación temporal de parcelas de caracterización las cuales fueron distribuidas al azar dentro del área, con excepción de los pastos arbolados donde se realizó censo. Las parcelas se establecieron mediante cuatro categorías de tamaño (Fustal, latizal, brinzal, rasantes y herbáceas) de acuerdo con los criterios de clasificación que se relacionan en la Tabla 56.

Tabla 56. Unidades de muestreo para cada una de las categorías evaluadas

Categoría	Diámetro (cm)	Altura (m)
Fustal	≥10	-
Latizal	Entre 2,5 - 10	≥1,5
Brinzal	< 2,5	0,30 - <1,5
Rasante o Herbáceo	-	0,30<

En las coberturas bosque de galería y vegetación secundaria alta se realizó un muestreo estratificado asegurando un error de muestreo inferior al 15% con una probabilidad del 95% mediante parcelas rectangulares de 0,1 ha, de 50 por 20 m o 100 por 10 m dependiendo de la forma de los parches de cada cobertura y de las condiciones de acceso y topografía, de igual forma se calcularon las curvas de acumulación usando el software Estimates. En el caso de pastos arbolados, para cada bioma se realizó un censo de todos los individuos de categoría fustal presentes (individuos arbóreos con valores mayores o iguales a 10 cm de diámetro a la altura del pecho o mayores o iguales a 32 cm de circunferencia a la altura del pecho, medidos a 1,3 m sobre el suelo). Para pastos enmalezados, pastos limpios y tierras desnudas y degradadas se realizó el análisis de representatividad mediante las curvas de acumulación.

Cada parcela de fustales fue marcada en campo con pintura de esmalte amarilla asignando un código alfanumérico (Número de parcela, bioma y cobertura, por ejemplo: 1-BG-TG-X). Adicionalmente, se colectó la siguiente información en el aplicativo Memento Database version 4.3.5:

- Fecha, responsable de la medición
- Punto de muestreo, código de parcela y número del árbol dentro de la parcela. En el caso del censo solo se registra el punto de muestreo y número de árbol.
- Especie o nombre científico de cada individuo arbóreo si se reconoce en campo, si no se procede a realizar la colecta de material vegetal, para su posterior identificación mediante la utilización de claves taxonómicas, comparación con material vegetal de herbarios nacionales y regionales.
- Nombre común: es el nombre regional dado a un ejemplar vegetal.
- Variables dasométricas:

Circunferencia a la altura del pecho (CAP) para cada una de las bifurcaciones o ramas principales de un individuo arbóreo, esta variable se refiere a la circunferencia del tronco a la altura de 1,3 m. Para la captura de este valor se tuvo en cuenta la morfología del árbol y la topografía del terreno (Ver Tabla 56).

Altura Total (Ht) de cada una de las bifurcaciones o ramas principales de un individuo arbóreo, comprende la medida entre el suelo o base del árbol y el límite superior del follaje.

Altura Comercial (Hc) de cada una de las bifurcaciones o ramas principales de un individuo arbóreo. Comprende la medida desde la base del árbol hasta la primera reiteración gruesa del árbol.

Proyecciones de copa (X,Y), corresponde a la proyección del diámetro de la copa con respecto al suelo en sentido sur-norte y occidente-oriente.

Ubicación Geográfica (toma de coordenadas por individuo arbóreo), capturada con GPS Garmin Oregon 550.

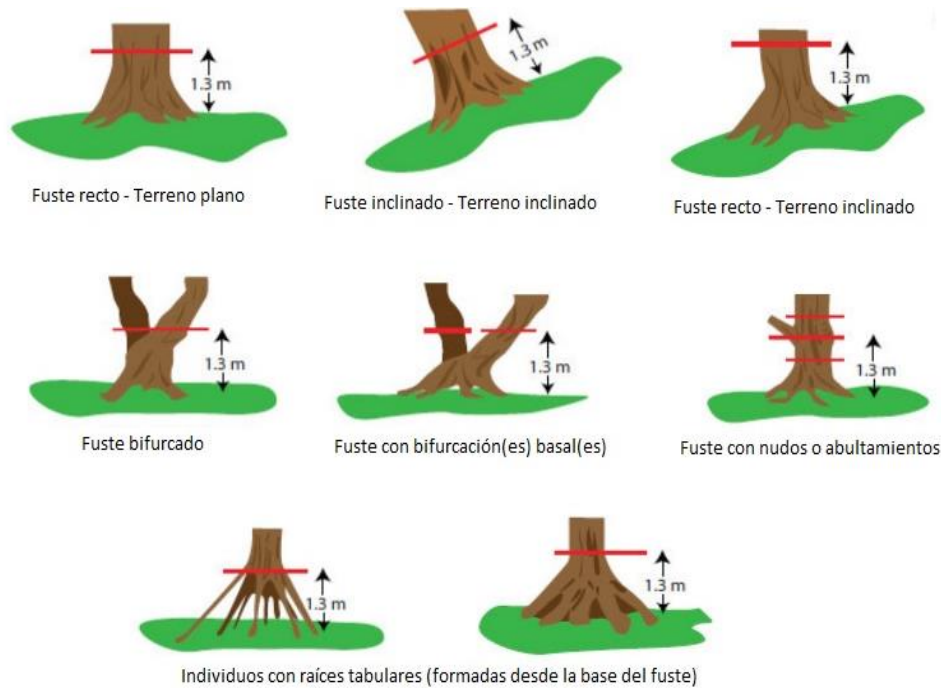


Figura 18. Forma de medir el CAP según las condiciones del terreno y las características del fuste

Fuente: Tomada y adaptada. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2010).

Para los latizales se establecieron aleatoriamente subparcelas de 25 m² (5 x 5 m) dentro de las parcelas de fustales, donde se registró el nombre común y nombre científico, altura total y CAP para todos los individuos; para la evaluación de la categoría brinzal se establecieron aleatoriamente subparcelas de 4 m² (2 x 2 m), en la cual se registraron las variables de nombre común y nombre científico, altura total y abundancia (número de individuos); para los estratos herbáceo y rasante se establecieron subparcelas de 10 m² (1 x 10 m), donde se caracterizaron las diferentes especies y se determinó el porcentaje de cobertura (por cálculo visual). Cada parcela fue georreferenciada mediante GPS (Garmin Oregon 550).

Las especies que no pudieron ser identificadas en campo o de las que no se tenía la certeza de su identidad, fueron colectadas siguiendo la Guía para la recolección y preservación de muestras botánicas en campo del Herbario de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas²², el cual establece la forma correcta para la toma de muestras botánicas en campo (preferiblemente en estado de floración o fructificación), descripción de características morfológicas que pueden perderse con el paso del tiempo como presencia de olor, exudado, glándulas, estípulas, color de flores o frutos, tamaño, vegetación o árboles asociados, entre otros, proceso de prensado, alcoholización y secado (dos días a 70 °C) (ver Figura 20 y Figura 19)

²²UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS. Guía para la recolección y preservación de muestras botánicas en campo. Herbario de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas- Gilberto Emilio Mahecha Vega. Bogotá. Colombia. 2011. p. 12.



Figura 19. Colecta de muestra en campo



Figura 20. Muestra botánica colectada para proceso de identificación

2.3.3.1.1.3. Fase de análisis

Para el análisis de la información recolectada en campo se tienen en cuenta los siguientes aspectos:

- Superficie por unidades de cobertura: para todas las coberturas en cada bioma se presenta el número unidades muestrales levantadas (parcelas y subparcelas), el tamaño de parcelas (m^2) y el total del área muestreada (ha).
- Localización de puntos de muestreo y censo: para cada una de las unidades muestrales (parcelas) se presenta la localización geográfica (Coordenadas Este y Norte), con sus respectivas cotas (m).

- Representatividad del muestreo: se presentan las curvas de acumulación de cada una de las coberturas y la estimación de error.
- Caracterización florística: listado de familias, géneros y especies por cada cobertura.
- Estructura horizontal: la estructura horizontal permite evaluar el comportamiento de los árboles individuales y de las especies en la superficie del bosque, esta estructura puede evaluarse a través de índices que expresan la ocurrencia y el número de las especies, lo mismo que su importancia ecológica dentro del ecosistema, es el caso de las densidad, abundancias, frecuencias y dominancias, cuya suma relativa genera el Índice de Valor de Importancia (IVI), ver Tabla 57.

Tabla 57. Parámetros utilizados para describir estructura de la vegetación

Parámetro evaluado	Descripción	Ecuación
Abundancia absoluta y relativa	Número de individuos de la especie en un área determinada. La abundancia relativa es la relación porcentual entre el número de árboles de cada especie y el número total encontrado en la muestra.	<p>Abundancia relativa</p> $Ar = (Spi / Sp \text{ total}) \times 100$ <p>Ecuación 7.</p> <p>Variables: AR: abundancia relativa (%) Spi: número de individuos de la especie i Sp Total: sumatoria de especies en la cobertura</p>
Dominancia absoluta y relativa	<p>Superficie de una sección transversal del tallo o tronco del individuo a determinada altura del suelo.</p> <p>La dominancia relativa se expresa en porcentajes y está dada por la relación entre el área basal de una especie y el área basal de todas las especies encontradas dentro de la muestra. La dominancia absoluta de una especie se obtiene mediante la suma de las áreas basales expresada en m² y la dominancia relativa se calcula como la proporción de una especie en el área basal total calculada. La información del área basal (AB), indica la magnitud de la dominancia de algunas especies y el estado de equilibrio y desarrollo del ecosistema boscoso.</p>	<p>Área basal</p> $AB = \pi/4 \times (DAP)^2$ <p>Fuente: Rangel-Ch. O y Velásquez A, 1997²³</p> <p>Ecuación 8.</p> <p>Variables: DAP es el Diámetro a la Altura del Pecho</p> <p>El DAP de cada una de las bifurcaciones de un individuo arbóreo es la medida en del diámetro del tronco a la altura de 1,3 m, éste se calcula así:</p> $DAP = CAP/\pi$ <p>Fuente: MADS, 2010²⁴.</p> <p>Ecuación 9.</p> <p>Variables: CAP es la Circunferencia a la Altura del Pecho</p> <p>Para los casos en los que hay más de una rama principal, el valor que se toma por individuo para el análisis de clases diamétricas es el Diámetro Medio Cuadrático (DMC), éste se calcula así:</p> $DMC = \sqrt{\Sigma(DAP_i^2)/n}$ <p>Fuente: Pereira et al, 2012²⁵</p>

²³ RANGEL-CH, Orlando y VELÁZQUEZ, Alejandro. Métodos de estudio de la vegetación. En: RANGEL-CH, Orlando; LOWY, Petter y AGUILAR, Mauricio. *Colombia Diversidad Biótica II, Tipos de Vegetación en Colombia*. Santafé de Bogotá: Editorial Guadalupe Ltda, 1997, pp. 59-87. ISBN: 958-608-125-7.

²⁴ MADS. Guía práctica para la cubicación de maderas. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá. 2010. p.7.

²⁵ PEREIRA, EDER MIGUEL, IMAÑA-ENCINAS, JOSÉ Y REZENDE, ALBA VALÉRIA. Evaluación de procedimientos simplificados en la cuantificación volumétrica de una plantación de pino. *Colombia Forestal*. 2012. Vol. 15(1): 131 - 138.

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

Parámetro evaluado	Descripción	Ecuación
		De este modo, la dominancia se calcula: $Dr = \sum AB Spi / \sum ABSpp.$ Ecuación 10.
Frecuencia relativa	Probabilidad de encontrar un atributo en una unidad muestral particular. Hace referencia a la presencia o ausencia de una especie en cada una de las muestras. La frecuencia absoluta se expresa en porcentaje (100% = existencia en todas las parcelas) la frecuencia relativa se calcula como el porcentaje en la suma de las frecuencias absolutas de todas las especies.	Frecuencia relativa $Fr = (m_i/M) \times 100$ Ecuación 11. Variables: m_i : número de unidades muestreadas en las que el atributo aparece M : número total de unidades muestrales
Índice de valor de importancia (IVI)	Los índices tratados anteriormente muestran aspectos esenciales de la composición florística, pero en forma individual ninguno caracteriza la estructura florística. Para tener una visión más amplia que señale la importancia de cada especie en el conjunto se combinan los índices anteriores en una sola expresión denominada Índice de Valor de Importancia. El resultado es la suma de los valores relativos de Abundancia, Dominancia y Frecuencia de cada especie. El IVI se utiliza para comparar submuestras provenientes de una superficie como una hectárea pertenecientes a una misma unidad paisajística y ofrece información directa sobre la importancia relativa de una especie en la estructura horizontal.	Índice de Valor de Importancia (IVI) $IVI = Dr (\%) + Dr (\%) + Fr (\%)$ Ecuación 12. Variables: IVI : Índice de valor de importancia Fr%: Frecuencia relativa Ar%: Abundancia relativa Dr%: Dominancia relativa

- Distribución de individuos por clase diamétrica

Se establecen intervalos utilizando la regla de Herbert Sturges que determina el número de intervalo para establecer el número de clases, mediante la siguiente expresión:

$$K = 1 + \log_2(n)$$

$$K = 1 + 3,322 X \log (n)$$

Ecuación 13.

Variables:
 n es el tamaño de la muestra (número total de individuos).

La amplitud del intervalo se calcula con la siguiente fórmula:

$$C = (X_{max} - X_{min}) / m$$

Ecuación 14.

Variables:

C: Amplitud del intervalo
 Xmax: Valor máximo del parámetro
 Xmin: Valor mínimo del parámetro
 m: número de intervalos

- Estructura vertical

Se consideran la distribución de los individuos por clase altimétrica, para conocer la distribución se aplicó la regla de Herbert Sturges²⁶ mencionada en el cálculo de las clases diamétricas (Ecuación 13 y Ecuación 14). Además, el Índice de posición sociológica (Ps%): para determinar la distribución de las especies en los diferentes estratos del bosque mediante el Índice de Posición Sociológica (Ps%) se definieron los intervalos de acuerdo a lo presentado en la Tabla 58.

Tabla 58. Subestratos por altura ascendente

Estrato	Definición	Valor de adición por estrato	Intervalo
Subestrato inferior I	En el cual se reúne el 40% de los individuos	$h_I = \text{Altura máxima} \times 0,4$	Valores menores o iguales a h_I
Subestrato medio II	En el cual se reúne el 30% de los individuos	$h_{II} = \text{Altura máxima} \times 0,3$	Valores iguales o entre $(h_I + 0,01)$ y $(h_I + 0,01 + h_{II})$
Subestrato superior III	En el cual se reúne el 30% restante de los individuos	$h_{III} = \text{Altura máxima} \times 0,3$	Valores mayores o iguales a h_{III}

- 2.3.3.1.1.4. Diagnóstico de la regeneración natural (RN)

El éxito del manejo del bosque depende en gran parte de la existencia de la regeneración natural que asegure la sostenibilidad del recurso a través del tiempo. Para el análisis de la regeneración natural, se calculan el valor fitosociológico y la posición sociológica:

- Valor Fitosociológico (VF): corresponde al cociente entre el número de individuos del subestrato y el número total de individuos de todas las especies (Araujo, et al 2003).
- Posición Sociológica (PS): es la sumatoria de los valores fitosociológicos de cada subestrato, que se obtuvieron por el producto del VF del subestrato considerado y el número de individuos de la especie en ese mismo subestrato (Araujo et al 2003). Dependiendo del tipo de cobertura la altura para la diferenciación de los estratos varía.
- Regeneración natural (Rn): Descendientes de las plantas arbóreas, siguiendo la metodología propuesta por Finol (1971)²⁷, se deben tener en cuenta las siguientes categorías de tamaño (Ct):

C.t I = de 0,1 a 1 m de altura

C.t II = de 1 a 3 m de altura

²⁶ STURGES, Herbert. The choice of a class interval. Journal of the American Statistical Association. 1926. Vol 21, No. 153. pp. 65-66.

²⁷ FINOL, Hermán. Nuevos parámetros a considerarse en el análisis estructural de las selvas vírgenes tropicales. Revista Forestal Venezolana. 1971. Vol. 13. No. 21. p. 29-42.

Ct. III= de 3 m a 9,9 cm de DAP

Por cada categoría de tamaño (Ct) se evalúan las variables posición sociológica absoluta (PS) y relativa (PS%), Abundancia absoluta (AB) y relativa (AB%) y Frecuencia absoluta (Fr) y relativa (Fr%):

Abundancia absoluta= Número de individuos.

Abundancia Relativa = 100 x (Número de individuos por especie / número de individuos total de individuos de la comunidad).

Frecuencia Relativa = 100 x (Número de veces en las que aparece la especie en las parcelas / número total de parcelas).

La Regeneración natural (Rn%) para cada una de las especies de obtiene por el promedio aritmético de los tres parámetros antes mencionados:

$$Rn \% = (Ab\% Rn + Fr \% Rn + Ct\% Rn)/3$$

Ecuación 15.

- Índice de valor de importancia ampliado

Corresponde a la suma de los valores relativos de los índices anteriores, definido por Finol (1971) y Hosocawa (1986) *Ar* = Abundancia relativa, *Dr* = Dominancia relativa, *Fr* = Frecuencia relativa y *%RN*=porcentaje de regeneración y posición sociológica.

- Análisis de diversidad

Para determinar la diversidad alfa por cobertura se calcularon los índices de diversidad y dominancia²⁸ a través del programa PAST²⁹, en la Tabla 59 se presenta la descripción de cada uno de los índices.

Tabla 59. Índices de diversidad de las especies

Índice	Descripción	Ecuación
Índice de Shannon Weaver	Mide la información por individuos obtenida aleatoriamente de una comunidad extensa de la que se conoce el número total de especies. El índice tiene en cuenta la cantidad de especies presentes en el área de estudio (riqueza) y la cantidad relativa de individuos (abundancia), por medio de una expresión matemática, dicho índice le da más importancia a las especies raras que a las dominantes. Es una aplicación de la teoría de la información, basado en la idea de que una mayor diversidad corresponde a una mayor incertidumbre en la recolección al azar de un individuo de una especie particular ³⁰	Índice de Shannon Weaver $H = -\sum P_i \log^2 P_i$ $P_i = N_i / N$ Ecuación 16. Variables: Pi= proporción o probabilidad de las especies i respecto al total de individuos ni/N. Ni=cantidad de individuos de una especie N=cantidad total de la población
Índice de Simpson	Se basa en el hecho de que en una comunidad biológica muy diversa la probabilidad de que dos organismos tomados al azar sean de la misma	Índice de Simpson

²⁸ FINOL, Hermán. Nuevos parámetros a considerarse en el análisis estructural de las selvas vírgenes tropicales. Revista Forestal Venezolana. 1971. Vol. 13. No. 21. p. 29-42.

²⁹ HAMMER, O., HARPER, D. A., & RYAN, P. D. Paleontological statistics software package for education and data analysis. 2001. Palaeontologia Electronica, Vol. 4, nro.1, p. 9.

³⁰ FINOL, Hermán. Nuevos parámetros a considerarse en el análisis estructural de las selvas vírgenes tropicales. Revista Forestal Venezolana. 1971. Vol. 13. No. 21. p. 29-42.

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

Índice	Descripción	Ecuación
	especie está fuertemente determinada por la importancia de las especies más dominantes. En un ecosistema natural relativamente diverso, este índice alcanza valores de 1. Para el índice de Simpson, el valor mínimo es 0; para el índice de Shannon es 1. Ambos valores mínimos indican ausencia de diversidad. En teoría el valor máximo para cada índice es limitado sólo por el número de especies y como están estas distribuidas uniformemente en el ecosistema (Finol, 1971)	$D = 1 - \sum P_i^2$ Ecuación 17. Variables: Pi= proporción o probabilidad de las especies i respecto al total de individuos ni/N.
Índice de Margalef	Estima la biodiversidad de una comunidad con base a la distribución numérica de los individuos de las diferentes especies en función del número de individuos existentes en la muestra analizada.	Índice de Margalef $D_{mg} = S - 1 / \ln N$ Ecuación 18. Variables: S= número de especies N= número de individuos
Coefficiente de mezcla (CM)	Es el indicador de la homogeneidad o heterogeneidad del bosque, relacionando el número de especies y el número de individuos totales. Este cociente ayuda a tener una idea general de la intensidad de mezcla, es decir, de la forma como se distribuyen los individuos de las diferentes especies dentro del bosque. Este valor varía entre 0 y 1 en donde los valores más cercanos a 0 indican una mayor homogeneidad.	Coeficiente de mezcla (CM) $CM = S / N$ Ecuación 19. Variables: S: Número total de especies en el muestreo N: Número total de individuos en el muestreo

Para los análisis de los índices de riqueza y diversidad, se utilizaron los rangos y criterios establecidos por Caviedes (1999), utilizados en diferentes estudios de vegetación,

Tabla 60. Rangos y criterios para los índices de Margalef, Shannon y Simpson

Índice	Rango	Criterio
Margalef	< 1	Muy baja diversidad
	< 1 - 2	Baja diversidad
	>2 - 2,7	Diversidad media
	>2,7 - 3	Alta diversidad
	>3	Muy alta diversidad
Simpson	0 - 0,5	Muy alta dominancia
	0,5 - 0,7	Alta dominancia
	>0,7 - 0,8	Dominancia media
	>0,8 - 0,9	Baja dominancia
	>0,9 - 1	Muy baja dominancia
Shannon	< 1	Muy baja diversidad
	>1 - 1,8	Baja diversidad
	>1,8 - 2,1	Diversidad media
	>2,1 - 2,3	Alta diversidad
	>2,3	Muy alta diversidad

Fuente: Caviedes, 1999

- Especies con alguna categoría de amenaza y endémicas

Se presenta el listado de especies con alguna categoría de amenaza según los apéndices de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES)³¹, según las categorías de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN)³² y según las categorías de amenaza según la Resolución 1912 de 2017 MADS³³. Para las especies endémicas para Colombia se presenta un listado de las especies de acuerdo a reportes de la CVC y del catálogo de plantas y líquenes de Colombia.

- Biomasa vegetal

Se realizó el cálculo de volumen total, volumen comercial y la estimación de biomasa y carbono de acuerdo a los siguientes parámetros:

El volumen hace referencia al espacio ocupado por la madera de un individuo arbóreo dentro de un ambiente o ecosistema; siendo el volumen total (VT) la cantidad de madera estimada en metros cúbicos a partir del tocón hasta el ápice del árbol; mientras que el volumen comercial (VC) no incluye las ramas, partes afectadas del individuo y segmentos delgados del fuste³⁴. En este caso para la estimación del volumen de árboles fustales (DAP ≥ 10 cm), se utilizó la siguiente expresión matemática (Tabla 57).

$$VT = \sum ABi * hTi * ff$$

Fuente: MADS. Guía Práctica para la Cubicación de Madera. (2010)

Ecuación 20.

Variables:

VT= Volumen total

ABi= Área basal para cada uno de los DAP

hTi= Altura total para cada uno de los DAP

ff= Factor forma variable que se relaciona conforme a la forma del fuste. En este caso se asumirá un ff de 0,7 pues en gran medida los fustes imitan formas irregulares entre paraboloides y cilindros.

Para la estimación de biomasa se aplicó el método indirecto de ecuaciones alométricas, para la zona de vida de Bosque seco tropical (bs-T), establecida en el Protocolo para la estimación nacional y subnacional de Biomasa-Carbono para Colombia. La Biomasa aérea según Yepes *et al.*³⁵, incluye toda la biomasa viva que se encuentra sobre el suelo, para el caso de los bosques incluye todas las plantas leñosas a excepción de algunas lianas, en este estudio la biomasa se estimó para individuos con un DAP mayor o igual a 10 cm. Es así como la Biomasa Aérea en este caso se determinó por medio de la siguiente ecuación cuyo ajuste R2 del modelo es 0,954:

$$\ln(BA) = a + b \ln(DAP) + c (\ln(DAP))^2 + d (\ln(DAP))^3 + B1 \ln(P)$$

Fuente: Yepes *et al.* Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa. (2011)

³¹ CONVENCIÓN SOBRE EL COMERCIO INTERNACIONAL DE ESPECIES AMENAZADAS DE FAUNA Y FLORA SILVESTRES, CITES. Apéndices I, II, III en vigor a partir del 26 de noviembre de 2019 [Sitios web]. [Consulta: 3 febrero 2020]. Disponible en: <https://www.cites.org/esp/app/appendices.php>

³² THE IUCN RED LIST OF THREATENED SPECIES. 2020. Versión 2019-3 [Sitios web]. [Consulta: 3 febrero 2020]. Disponible en: <https://www.iucnredlist.org>

³³ MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 1912 del 15 de septiembre de 2017, por la cual se establece el listado de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana continental y marino costera que se encuentran en el territorio nacional, y se dictan otras disposiciones. Bogotá. 2017. p.p. 38

³⁴ Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. MADS. Guía Práctica para la Cubicación de Maderas. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá. 2010. pp.11-13.

³⁵ YEPES, A.; NAVARRETE, D.; DUQUE, A.; PHILLIPS, J.; CABRERA, K.; ÁLVAREZ, E.; GARCÍA, M. & ORDOÑEZ, M. Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa - carbono en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM. Bogotá. 2011. pp. 47-50.

Variables:

BA es la biomasa aérea

DAP es el Diámetro a la Altura del Pecho en centímetros

a, b, c, d, B1 son coeficientes alométricos que se adecúan a la zona de vida de cada bosque o cobertura en la que se desea calcular la biomasa, para este caso bs-T (4,040, -1,991, 1,237, -0,126 y 1,283 respectivamente) y P es igual a la densidad de la madera de cada especie dada en g/cm³.

Para la obtención de la densidad de la madera por especie, se utilizó la base de datos de Zanne³⁶, donde se encuentran registradas las densidades de la madera de especies tropicales. Para las especies cuyos valores de densidad no se encuentren en la base de datos, se tomarán los registros promedio de densidad para especies del mismo género o de la misma familia dependiendo el caso.

$$BRG = R * BA$$

Fuente: Yepes *et al.* Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa. (2011)

Variables:

BRG es la biomasa de raíces gruesas

BA es la biomasa aérea

R es la relación de raíces, donde el valor que recomienda la literatura es 0,24

El carbono fue calculado como el 50% de la biomasa total por individuo.

$$C = 0,5 * BT$$

Fuente: Yepes *et al.* Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa. (2011)

Variables:

C= Carbono (t)

BT = Sumatoria de biomasa aérea (t) y biomasa de raíces (t).

- Estimación del error de muestreo

La estimación del error de muestreo se realizó con la información de los volúmenes estimados para fustales (árboles con diámetro a la altura del pecho –DAP- superior a los 10 cm). El muestreo contó con una confiabilidad del 95% y un error inferior al 15% del volumen total a intervenir. Los criterios utilizados para este cálculo son los siguientes:

- Población: Se determinó como población de estudio las coberturas de interés forestal que requieren ser intervenidas; en este caso son vegetación secundaria alta, pastos arbolados y bosque abierto.
- La muestra: Es una parte representativa de la población, con la cual se pueden hacer inferencias correctas de los valores de la población, con el objeto de estimar el volumen de madera a aprovechar en las coberturas de interés forestal, para el presente estudio la muestra se constituye de un número determinado de parcelas por estrato (coberturas).
- La unidad de muestreo: Las unidades de muestreo son las parcelas de forma rectangular, las cuales originan una distribución aproximada de la variabilidad de la población.
- Tamaño de la muestra: Corresponde al número de parcelas que fueron consideradas para cumplir con el error y la confiabilidad solicitada en los términos de referencia de la autoridad ambiental.

De acuerdo con lo anterior se estimó el error de muestreo para la variable de volumen en cada uno de los tipos de coberturas (estratos establecidos) por unidades de muestreo, el análisis estadístico se presenta para la población total y

³⁶ ZANNE, A.; LOPEZ, G.; COOMES, D.; LLIC, J.; JANSEN, S.; LEWIS, S.; MILLER, R.; SWENSON, N.; WIEMANN, M. & CHAVE, J. Global wood density database. 2009. Dryad. Identifier: <http://hdl.handle.net/10255/dryad.235>.

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

por estratos. En cada estrato se calculó los estadígrafos como se hace en un muestreo simple al azar y se emplean las ecuaciones presentadas en la Tabla 61 y Tabla 62.

Los estadígrafos usados para calcular el error para la población total corresponden a la media estratificada de la población y al error estándar de la media estratificada, los cuales se describen en la Tabla 21.

Tabla 61. Estadígrafos estimados en cada estrato (coberturas)

Parámetro	Símbolo	Ecuación	Observación
Media	\bar{u}	$\bar{u} = \frac{\sum a_j}{n}$	u= Valor observado de la unidad n= número de unidades de la muestra
Desviación	S	$S = \sqrt{\frac{\sum u_j^2 - \frac{(\sum u_j)^2}{n}}{n - 1}}$	
Coefficiente de Variación	CV	$CV = \left(\frac{S}{\bar{u}}\right) \times 100$	
Error estándar	S_x	$S_x = \frac{S}{\sqrt{n\left(1 - \frac{n}{N}\right)}}$	
Error de muestreo relativo	E%	$E\% = \frac{t(S_x)}{X} * 100$	X= Media
Límites de confianza	Lcs ó Lci	$Lc = \bar{u} \pm t(S_x)$	

Tabla 62. Estadígrafos estimados para la población total.

Estadígrafo	Fórmula	Descripción
Volumen Promedio Ponderado	$Vst = \sum (P_j * V_j)$	Vj: Volumen para el estrato J Pj: Porcentaje de área estrato j
Error estándar	$S_{xst} = \sqrt{1/N \sum (N_j^2 * V^2 * x_j) / n_j * (1 - n_j / N_j)}$	Nj: Tamaño del estrato j (número de unidades). Si: Varianza del estrato j. N : Tamaño total del área de estudio= $\sum N_j$
Error de Muestreo al 95% de Confiabilidad	$E = S_{xst} * t_{0,025} / gl-x$	Sxst: Error estándar
Error de Muestreo en %	$E\% = (E / Vst) * 100$	E: Error de muestreo Vst: Volumen Promedio Ponderado
Volumen Total Vegetación	$T = Vst * N$	
Límite de Confianza Superior	$TLs = N * [Vst + E]$	
Límite de Confianza Inferior	$TLi = N * [Vst - S_{xst} - E]$	

Se calculó el error de muestreo (menor o igual 15%) por cobertura vegetal (bosque de galería, vegetación secundaria alta, pastos arbolados) y posteriormente para el total de las coberturas vegetales que presentaban un muestreo por parcelas y que contenían individuos de la categoría fustal.

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

En el plano CAP05.2-CMBI-LAES6823-BIOT-005, se localizan las parcelas levantadas en campo para las diferentes unidades de coberturas naturales y transformadas presentes en los dos ecosistemas (Zonobioma húmedo tropical Chaparral y Zonobioma alternohigróico tropical Tolima Grande); para la categoría de tamaño fustal la coordenada corresponde al punto de inicio de la parcela.

2.3.3.1.2. Flora en veda

2.3.3.1.2.1. Fase previa

Se realizó un análisis previo que incluye las zonas de vida, biomas, ecosistemas y coberturas vegetales presentes en el área de influencia del proyecto. Además se revisó información acerca de las especies en veda reportadas para la zona.

2.3.3.1.2.2. Fase de campo

Los muestreos adelantados para las especies en veda vasculares y no vasculares se realizaron dentro del área de intervención del proyecto presentada y su ubicación se presenta en el plano CAP05.2-CMBI-LAES6823-BIOT-006. El tipo de muestreo depende del hábito de las especies de flora en veda encontradas, a continuación, se explica con detalle la metodología de muestreo utilizada para especies epífitas, terrestres y rupícolas.

- Especies epífitas

Para la caracterización de especies vasculares y no vasculares de hábito epífita se realizaron muestreos puntuales a lo largo del área de intervención, tomando como unidad de muestreo el forófito y siguiendo los lineamientos para un muestreo rápido y representativo de la diversidad de epífitas vasculares y no vasculares (RRED-analysis) establecido por Gradstein *et al.* (2003). La selección de los forófitos se realizó siguiendo los criterios propuestos por MADS (2019) que se exponen en la Tabla 63. Sin embargo, en algunos casos no fue posible cumplir con el criterio de distancia mínima de 25 m entre árboles debido a la disposición de los individuos en la cobertura.

Tabla 63. Criterios de selección de forófitos

Variable	Medida	Observación y Excepciones
Altura	>7 m	En caso de no encontrar forófitos de ese porte, se buscarán los individuos con las mayores alturas disponibles en la cobertura a caracterizar y se registrará fotográficamente esta condición (por ejemplo en arbustales).
DAP	>10 cm	Se procurará buscar los árboles con los mayores diámetros disponibles en la cobertura (p.e. >5 cm).
Corteza		No exfoliable, rugosas.
% Epífitas	>40 %	Se buscarán forófitos que presenten los mejores crecimientos.
Distancia mínima entre árboles	25 m	En caso de que estas distancias no se puedan cumplir por una condición particular del parche de vegetación a caracterizar, se buscarán individuos cuya separación no sea menor a 20 m.
Copas		Idealmente con alta diversificación con horquillas horizontales.

Fuente: Lineamientos técnicos para la conservación de especies de flora en veda (MADS, 2019)

La localización de cada uno de los forófitos evaluados se georreferenció con GPS Garmin Oregon 750. En la Tabla 64 se presenta la relación del número de forófitos inspeccionados por ecosistema dentro del área de intervención del proyecto.

Tabla 64. Número de forófitos muestreados por ecosistema para el área de intervención del proyecto.

Cobertura		Tipo de muestreo	
		Número de forófitos	
		No vascular	Vascular
Bosque de galería y ripario	314	19	
Pastos arbolados	232	29	
Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	122	4	
Tierras desnudas y degradadas	333	4	
Vegetación secundaria alta	3231	174	1
Total		230	1

Los árboles evaluados fueron marcados con pintura roja con la letra "V" seguida de un número consecutivo para su identificación (Figura 54 y Figura 55). Adicionalmente se registró información acerca del nombre científico, CAP, altura y nombre común de estos forófitos (Figura 56). En los casos en que no se tuviera certeza de la especie del árbol se realizó la colecta para su posterior identificación (Figura 57).



Figura 21. Marcación de forófitos en campo



Figura 22. Forófito marcado



Figura 23. Medida de CAP de forófitos en campo.



Figura 24. Muestra de forofito *Senna spectabilis*

Sobre cada forofito con presencia de epífitas se registraron todas las morfoespecies presentes en los diferentes estratos propuestos en los lineamientos técnicos para la conservación de especies de flora en veda (MADS, 2019) de la siguiente manera: Zona a) Base del tronco; Zona b) tronco; Zona c) Dosel (Figura 25), esto con el fin de establecer las preferencias de las especies en relación a la humedad, radiación solar y los rangos de distribución vertical.

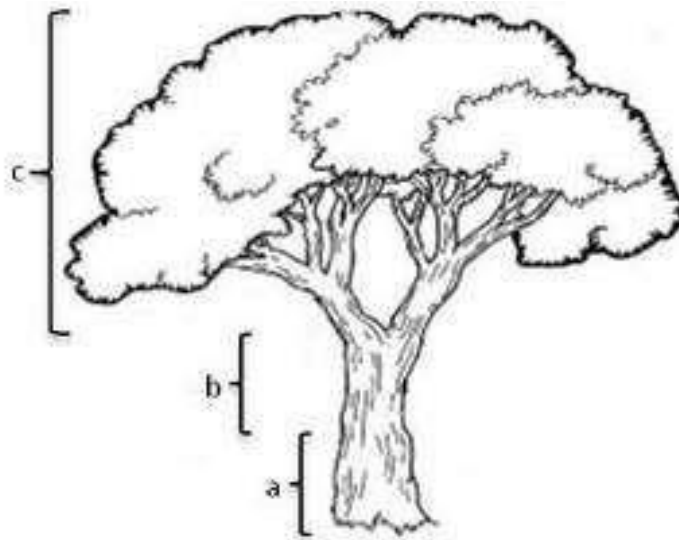


Figura 25. Zonificación del Forofito para epífitas vasculares y no vasculares
Fuente: Lineamientos técnicos para la conservación de especies de flora en veda (MADS, 2019).

Para las especies epífitas vasculares se registró el número de individuos encontrados en cada una de las zonas del árbol, se determinó su estado de desarrollo y estado fitosanitario.

Para las especies epífitas no vasculares se realizó una exploración visual directa, con la ayuda de una lupa (20X) se determinó la morfoespecie (Figura 59) y se midió la cobertura de los ejemplares registrados utilizando una plantilla en

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

acetato transparente de 20 x 20 cm con cuadrículas de 1 cm² (400 cm²), en cada una de las áreas de muestreo (Gradstein et al., 2003; Churchill & Linares, 1995; Rangel & Velásquez, 1997; MADS, 2019) (Figura 60).



Figura 26. Inspección visual de no vasculares con lupa



Figura 27. Medición de no vasculares con plantilla

Todos los morfotipos de especies no vasculares registrados durante la fase de campo fueron colectados y fotografiados para su posterior determinación. La toma de muestras se hizo por medio de martillo y formón, evitando maltratar la muestra o sus estructuras reproductivas (Figura 28, Figura 29, Figura 30). El material colectado se depositó en bolsas de papel debidamente rotuladas (Figura 31) y se secó a temperatura ambiente en un lugar fresco y ventilado, para su posterior identificación taxonómica, según como lo sugiere Churchill & Linares (1995).



Figura 28. Colecta de especies no vasculares sobre el forófito.



Figura 29. Colecta de especies no vasculares sobre roca.



Figura 30. Figura 46. Extracción de muestra no vascular sobre roca.



Figura 31. Muestra no vascular marcada.

La información fue registrada en una tablet mediante la aplicación Memento, que permite asociar fotografías con los registro de flora.

- Especies terrestres, rupícolas y humícolas

La caracterización de especies vasculares y no vasculares de hábito terrestre, rupícola y humícola se realizaron recorridos por toda el área de intervención y se revisaron con detenimiento los posibles hábitats. Cuando se observó la presencia de especies en veda se registró su abundancia levantando cuadrantes de 1 x 1 m (1 m²) (Figura 48 y Figura 49).



Figura 32. Cuadrante con especies no vasculares rupícolas



Figura 33. Cuadrante con especie vascular *Bromelia karatas*

La localización de cada uno de los cuadrantes se georreferenció con GPS Garmin Oregon. En la Tabla 44 se presenta la relación de los cuadrantes levantados por bioma y ecosistema dentro del área de intervención.

Tabla 65. Unidades de muestreo realizados por tipo de ecosistema para las especies no vasculares de hábito terrestre, humícola y rupícola

Cobertura		Tipo de muestreo	
		Número de cuadrante	
		No vascular	Vascular
Bosque de galería y ripario	314	13	3
Pastos arbolados	232		4
Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	122	2	1
Tierras desnudas y degradadas	333		2
Vegetación secundaria alta	3231	48	11
Total		63	21

2.3.3.1.2.3. Fase de análisis

- Determinación de material botánico recolectado

La determinación taxonómica de los ejemplares colectados en campo fue realizada por profesionales expertos haciendo uso de herramientas como microscopio, estereoscopio, reactivos y claves específicas de cada grupo taxonómico. De igual manera se realizó la comparación con información disponible en herbarios como Herbario de la Pontificia Universidad Javeriana (HPUJ), Herbario Nacional Colombiano (COL) y Herbario del Missouri Botanical Garden (MOBOT-

Trópicos). Se revisó el Catálogo de plantas y líquenes de Colombia Bernal *et. al*, 2015), APG IV (2016), se emplearon fuentes de información electrónica disponibles en la web como: [www.mycportal.org.](http://www.mycportal.org), [www.lichenportal.org.](http://www.lichenportal.org), [www.eol.org.](http://www.eol.org), [www.discoverlife.org.](http://www.discoverlife.org), www.britishtlichens.co.uk, Consortium of North American lichen herbaria, The Global Biodiversity Information Facility (<http://www.gbif.org/>) y The plant list (<http://www.theplantlist.org/>), entre otras.

Las determinaciones se llevaron hasta el máximo nivel taxonómico posible (familia, género o especie), teniendo en cuenta la disponibilidad de literatura especializada, la complejidad taxonómica del grupo, la calidad de la muestra botánica y la presencia/ausencia de estructuras reproductivas.

Los certificados de identificación taxonómica para especies no vasculares se presentan en el anexo CAP5.2-CMBI-LES6823-AN#5.2.013 y para especies vasculares el anexo CAP5.2-CMBI-LES6823-AN#5.2.014. Las muestras que fueron aptas para ingreso a colección se encuentran en proceso de inclusión en el Herbario Tropical.

- Especies terrestres, rupícolas y humícolas

Para establecer la completitud de muestreo se elaboraron curvas de acumulación de especies para cada grupo vegetal y unidad de la cobertura de la tierra. Se utilizó el software Estimate S versión 9.0.0 (Colwell, 2013), en donde se cargaron los datos de los muestreos realizados (abundancia en vasculares y coberturas en cm² para no vasculares) y se emplearon los estimadores Singletons, Doubletons, ACE, Chao 1 y Cole rarefaction. Estos se contrastaron con el número total de especies S (est) que muestra la riqueza obtenida en el muestreo y se graficaron de manera que, el eje Y representa el número de especies acumulado y en el eje X se muestra el número de unidades de muestreo, ya sean forófitos o cuadrantes (MADS, 2019).

- Identificación del estado de amenaza de las especies registradas.

Para determinar endemismos y amenazas de las especies registradas en veda en el área de intervención del proyecto, se revisó detalladamente la información disponible utilizando las bases de datos nacionales e internacionales. Se revisaron las colecciones virtuales de Colombia y de los principales herbarios relacionados con la flora neotropical como el herbario de Kew, el herbario de New York, el del jardín botánico de Missouri (base de datos Tropicos). Adicionalmente, se revisó bibliografía especializada como el Catálogo de las plantas y Líquenes de Colombia (Bernal *et. al*, 2015), la serie de publicaciones “Los Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia”, el Apéndice CITES (2017) y la lista roja de UICN (IUCN, 2020). Finalmente, se consultó la Resolución 1912 del 15 de septiembre de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS, 2017).

2.3.3.1.3. Análisis de fragmentación

El análisis de las métricas del paisaje se realizó mediante el mapa de coberturas de la tierra delimitado para el área de influencia, el cual se elaboró a partir de la fotointerpretación de una ortofoto del año 2018 (escenario 1) y 2021 (escenario 2), para ello se empleó la metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia³⁷.

Para estimar las métricas de paisaje se empleó la herramienta vLate versión 2.0 @³⁸ la cual es una extensión del software ArcGis v 10.0 y se siguió conceptualmente a McGarigal & Marks (1994)³⁹ a través del cálculo de las siguientes métricas a nivel de clase.

³⁷ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES - IDEAM. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra, Metodología CORINE Land Cover Adaptada para Colombia Escala 1:100 000. Bogotá D.C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2010. 72 p.

³⁸ LANG, S. y TIEDE, D. vLATE Extension für ArcGIS–vektorbasiertes Tool zur quantitativen Landschaftsstrukturanalyse. ESRI Anwenderkonferenz. 2003, 10 p.

- Configuración de paisaje

Estas métricas diferencian y evalúan el estado, número y forma de los parches que componen el paisaje, facilitando el análisis de una amplia gama de posibilidades de valoración cuantitativa con el objetivo de analizar la situación en un momento dado, así como la evaluación de los cambios a lo largo del tiempo y su incidencia paisajística, ecológica, etc⁴⁰.

La configuración del paisaje, incluye la composición de cada una de las clases analizadas. Para ello mediante el software vLate se cuantificó el tamaño de los parches, tamaño promedio y su desviación estándar, así como el número de parches totales y el número de parches por clase. Adicionalmente se estimó la densidad total y el borde relativo (Tabla 66)

Tabla 66. Métricas de borde.

Métrica	Ecuación	Definición	Interpretación
Borde total (TE)	$TE = \sum_{k=1}^m e_{ik}$	eik: longitud total (m) del borde en el paisaje con el tipo de parche (clase) i; Incluye los límites del paisaje y los segmentos de fondo que implican el tipo de parche i.	El valor es igual a 0 cuando no existe un borde de clase en el paisaje. Esto es cuando el paisaje entero y el límite del paisaje, si está presente, consiste en el tipo de parche correspondiente. No existe borde de clase, sino borde de paisaje.
Densidad de borde (ED)	$ED = \frac{\sum_{k=1}^m e_{ik}}{A} \times 10.000$	eik: longitud total (m) del borde en el paisaje con el tipo de parche (clase). aij: área en metros cuadrados (m ²) del parche.	ED = 0 cuando no hay borde de clase en el paisaje

Fuente: Elaboración propia.

³⁹ McGarigal, K., & Marks, B. (1994). Spatial pattern analysis program for quantifying landscapes structure. Oregon: Forest science department, Oregon State University.

⁴⁰ Vila-Subirós, J., Varga-Linde, D., Llausás-Pascual, A., & Ribas-Palom, A. (2006). Conceptos y métodos fundamentales en ecología del paisaje (landscape ecology). Una interpretación desde la ecología. Documents d'anàlisi geogràfica, 151-166.

- Métricas a nivel de clase

Para el análisis de las métricas a nivel de clase, con el fin de evaluar el estado de los relictos de vegetación natural en el área de influencia, se realizó el análisis de la forma y agregación de los parches para las coberturas naturales presentes. Se presenta a continuación la descripción de estos dos parámetros así como las métricas mediante las que fueron evaluadas.

Forma: la forma de los parches ha mostrado tener influencia en los procesos que se dan entre estos, tales como la migración de pequeños mamíferos, la colonización de plantas leñosas y puede influir en las estrategias de búsqueda de alimento por parte de los animales⁴¹. No obstante, el significado principal de la forma en términos de la naturaleza de los parches en el paisaje está relacionado con el efecto de borde. Para la evaluación de la forma se van a utilizar las métricas presentadas en la Tabla 67.

Agregación: La conectividad del paisaje es el grado en el cual el paisaje facilita o impide el movimiento entre parches⁴² o las relaciones funcionales entre los parches de hábitat debido al vínculo espacial del hábitat y movimientos de los organismos en respuesta a la estructura del paisaje⁴³.

Debido a la dependencia estructural de la conectividad con la organización espacial de los parches de hábitat, este atributo va a ser evaluado a través de medidas de aislamiento que indican de manera indirecta el papel de los parches en la facilidad de movimientos de la flora y fauna que habita el área de influencia. La medición de este atributo se va a realizar a través de las métricas presentadas en la Tabla 67. A medida que la forma del parche es más compleja y su superficie es reducida, la funcionalidad del ecosistema disminuye, sin embargo si las formas son menos complejas (circular o cuadrada) pero la superficie es baja, la funcionalidad del ecosistema se encuentra comprometida.

Tabla 67. Métricas a Nivel de Clase.

Tipo de métrica	Métrica	Ecuación	Definición	Interpretación
Forma (SHAPE)	Índice de forma (MSI)	$SHAPE = \frac{P_{ij}}{2\sqrt{\pi a_{ij}}}$	p _{ij} : perímetro del parche en metros. a _{ij} : área en metros cuadrados (m ²) del parche	El valor tiende a 1 cuando el parche se asemeja a un cuadrado y aumenta sin límite conforme aumenta la complejidad del parche.

⁴¹ McGarigal, K., & Marks, B. (1994). Spatial pattern analysis program for quantifying landscapes structure. Oregon: Forest science department, Oregon State University.

⁴² Taylor, P., Fahrig, L., Henein, K., & Merriam, G. (1993). Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos*, 571-572.

⁴³ With, K., Gardner, R., & Turner, M. (1997). Landscape connectivity and population distributions in heterogeneous environments. *Oikos*, 219-229.

Tipo de métrica	Métrica	Ecuación	Definición	Interpretación
	Índice de dimensión fractal (MFRAC)	$FRAC = \frac{2 \ln (0,25p_{ij})}{\ln a_{ij}}$	p _{ij} : perímetro del parche en metros. a _{ij} : área en metros cuadrados (m ²) del parche	$1 \leq FRAC \leq 2$ Una dimensión fractal mayor que 1 indica un aumento en la complejidad de la forma. Se aproxima a 1 para formas con perímetros muy simples como cuadrados y es cercano a 2 para formas de mayor complejidad
	Perímetro-Área Radio (MPAR)	$PARA = \frac{p_{ij}}{a_{ij}}$	p _{ij} : perímetro del parche en metros. a _{ij} : área en metros cuadrados (m ²) del parche	PARA > 1 sin límite Donde 1 se asemeja a formas simples.
Agregación	Distancia Euclidiana al vecino más próximo (ENN)	$ENN = h_{ij}$	h _{ij} : distancia (m) de un parche ij al parche vecino más cercano del mismo tipo (clase)	Distancia al parche más cercano, su variación depende de la distancia máxima entre parches
	Índice de proximidad promedio (MPI o PROX)	$PROX = \sum_{s=1}^n \frac{a_{ijs}}{b_{ijs}^2}$	a _{ijs} = área (m ²) del parche ijs dentro del parche vecino parche (m) ij. h _{ijs} = distancia (m) entre el parche ijs y el parche ijs, basado en la distancia borde - borde del parche.	PROX aumenta a medida que aumenta la vecindad. El límite superior de PROX se ve afectado por el radio de búsqueda y la distancia mínima entre parches.

Fuente: McGarigal & Marks (1994).

- Métricas a nivel de Paisaje

A nivel del paisaje se evaluará la diversidad de clases presentes en el área de influencia, se estimó mediante el Índice de diversidad de Simpson, el cual representa la probabilidad de que dos píxeles seleccionados al azar sean diferentes tipos de parches⁴⁴.

$$SIDI=1 - \sum_{i=1}^m P_i^2$$

Ecuación 24. Índice de simpson.

Dónde:

Pi: Proporción de paisaje ocupado por el tipo de parche de la clase i

- Índice de fragmentación del paisaje (índice de vegetación remanente – IVR)

El análisis del índice de fragmentación, se estimó mediante el índice de vegetación remanente (IVR) que consiste en una evaluación del área total ocupada por las coberturas naturales frente al área total del área de influencia, este indicador se evalúa de acuerdo a los parámetros establecidos en la Tabla 68⁴⁵.

Tabla 68. Grado de Fragmentación.

Grado de fragmentación	Rango
Poco fragmentado	IVR ≥ 70%
Parcialmente fragmentado	50% ≥ IVR < 70%
Medianamente fragmentado	30% ≥ IVR < 50%
Muy fragmentado	10% ≥ IVR < 30%
Completamente fragmentado	IVR < 10%

Fuente: Márquez (2002) modificado por INGETEC (2020).

- Análisis de conectividad

El análisis de conectividad de las coberturas naturales (escenario 2), se realizó mediante la metodología propuesta por Gurrutxaga (2003)⁴⁶. Esta metodología consiste en elaborar dos mapas en formato raster. El primero de ellos consiste en un mapa de “fuentes”, sobre el cual se espacializan las zonas del territorio que contienen hábitats cuya conectividad se desea medir, en este caso las coberturas naturales delimitadas para el área de influencia, así como aquellas que han sido intervenidas en cierto grado como la vegetación secundaria o en transición.

⁴⁴ McGarigal, K., & Marks, B. (1994). Spatial pattern analysis program for quantifying landscapes structure. Oregon: Forest science department, Oregon State University.

⁴⁵ Márquez, G. (2002). Vegetación, población y huella ecológica como indicadores de sostenibilidad en Colombia. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

⁴⁶ Gurrutxaga, M. (2003). Índices de fragmentación y conectividad para el indicador de biodiversidad y paisaje de la Comunidad Autónoma del País Vasco. Department of Urbanism, Housing and Environment, Basque Government.

El segundo mapa, consiste en dar una calificación a cada una de las coberturas de la tierra (delimitadas siguiendo la metodología CORINE Land Cover Adaptada para Colombia⁴⁷) presentes en el área de influencia teniendo en cuenta la permeabilidad, es decir la facilidad de desplazamiento de las especies de una a otra cobertura natural o sus parches semejantes; en la Tabla 69 se presentan los valores de resistencia dados a las coberturas reportadas en la Metodología CORINE Land Cover. El modelo de análisis se ejecutó en el software ArcGis V10.0.

La resistencia se refiere al grado de permeabilidad de las coberturas, es decir, a la facilidad de desplazamiento de especies de fauna y flora por el área de influencia; una mayor resistencia se relaciona con una menor permeabilidad de la cobertura, es decir la facilidad de desplazamiento de las especies es muy baja.

Tabla 69. Resistencia de las Coberturas para el Área de Influencia del Proyecto.

CLC	Cobertura	Resistencia
122	Red vial y terrenos asociados	100
233	Pastos enmalezados	30
232	Pastos arbolados	40
231	Pastos limpios	60
314	Bosque de galería y ripario	1
323	Vegetación secundaria alta	10
131	Zonas de extracción minera	100
333	Tierras desnudas y degradadas	100

Fuente: Elaboración propia.

Luego de obtenidos los dos mapas, el de “fuentes (coberturas de las que se quiere determinar la conectividad)” y “resistencias (asociado al grado de permeabilidad del ecosistema)”, el cálculo de la conectividad se estimó mediante el software ArcGis®, a través de la función *CostDistance*, la cual estima las superficies por las cuales de acuerdo a la resistencia de las coberturas es más posible que una especie se desplace.

El índice de conectividad se calcula obteniendo el valor medio de todas las celdas del mapa Costo-distancia obtenido, exceptuando las de valor de cero. Los valores del índice de conectividad varían entre 0 e infinito, no siendo posible establecer un baremo estándar de variación del índice, ya que este depende del contexto regional en el que se analice y se requeriría conocer el estado anterior para identificar el cambio en la conectividad.

⁴⁷ IDEAM. (2010). Leyenda nacional de coberturas de la tierra - Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia. Bogotá.

2.3.3.1.4. Fauna

2.3.3.1.4.1. Contexto regional

- Aves

Para determinar las especies de aves con posible presencia en la región donde se encuentra el área de influencia se realizó una revisión de información secundaria y fuentes bibliográficas. Se tomaron en cuenta los listados de especies y literatura especializada incluyendo Hilty y Brown (2001), Restall et al. (2006), Naranjo y Amaya (2009), McMullan et al. (2015). También se incluyó la información colectada en el estudio Modificación del Plan de Manejo Ambiental Título Minero 4205 de Ingetec S.A.S. (2016).

Las especies de aves fueron organizadas siguiendo la clasificación taxonómica propuesta por Remsen et al. (2020) a lo largo del documento.

- Herpetos

Para la búsqueda de información de los anfibios y reptiles presentes en la región del proyecto se realizó una búsqueda a partir de diferentes fuentes bibliográficas. Los insumos principales fueron Clavijo-Garzón et al. (2018) y Llano-Mejía et al. (2010), ya que cuentan con la información base por ecorregiones para el departamento del Tolima y el documento de Modificación del Plan de Manejo Ambiental del título minero 4205 (INGETEC S.A., 2016). Adicionalmente se complementó la búsqueda con publicaciones científicas recientes y con varios portales en línea tales como la Lista de anfibios de Colombia (Acosta-Galvis, 2019), The Reptile database (Uetz et al., 2020), las colecciones biológicas en línea de la Universidad Nacional de Colombia (2019), la red nacional de datos abiertos sobre biodiversidad, Reptiles de Centroamérica (Köhler, 2008).

El nivel de endemismo para la herpetofauna se determinó por medio de los rangos de distribución reportados en la lista de anfibios de Colombia (Acosta-Galvis, 2019), Amphibiaweb (University of California, 2020), SiB Colombia (2020), Amphibian Species of the World (Frost, 2020) y The Reptile database (Uetz et al., 2020). La taxonomía de las especies sigue la propuesta de nomenclatura de Frost para anfibios (Frost, 2020) y The Reptile database para los reptiles (Uetz et al., 2020) a lo largo del documento.

- Mamíferos

Para la elaboración del listado potencial de mamíferos presentes en el área de estudio del proyecto se hizo énfasis en las especies del departamento del Tolima; en este sentido, se hizo la revisión de información secundaria disponible en la literatura como listados nacionales (Solari et al., 2013; Ramírez-Chaves et al., 2016), regionales (García-Herrera et al., 2019), presentes en las bases de datos Global Biodiversity Information Facility (GBIF), la lista de referencia de las especies de mamíferos de Colombia del Sistema de la Sociedad Colombiana de Mastozoología (2017) y la información colectada en el estudio Modificación del Plan de Manejo Ambiental Título Minero 4205 de Ingetec S.A.S. (2016). Para el caso de las especies endémicas se establecieron con base en los trabajos publicados de Solari, et al. (2013) y Ramírez-Chaves et al. (2016).

La taxonomía de las especies registradas sigue la clasificación expuesta en Solari *et al.* (2013) con las actualizaciones de Ramírez-Chaves *et al.* (2016) y la Sociedad Colombiana de Mastozoología (2017) a lo largo del documento.

- Especies amenazadas y de importancia

Por último, el estado de amenaza de las especies de aves, herpetos y mamíferos se estableció mediante la consulta de la Resolución 1912 de 2017 (MADS), el libro rojo de aves de Colombia (Renjifo et al., 2014), el libro rojo de los anfibios

de Colombia (Rueda-Almonacid et al., 2004), el libro rojo de los reptiles de Colombia (Morales-Betancourt et al., 2015), el libro rojo de los mamíferos de Colombia (Rodríguez-Mahecha et al., 2006), los apéndices de las especies con valor comercial de la Convención Internacional de Especies de Fauna y Flora Silvestre (CITES, 2020) y la lista roja de especies amenazadas de la Unión Internacional por la Conservación de la Naturaleza versión 2020-02 (IUCN, 2020).

2.3.3.1.4.2. Área de influencia

Aves

Para el registro de aves se siguieron los lineamientos metodológicos de Villarreal, et al. (2004), empleando dos métodos: captura con redes de niebla y recorridos de búsqueda libre (REV) para la detección auditiva y visual. Tanto las redes como los recorridos fueron georreferenciados.

- Muestreo
- Redes de niebla

Se instalaron 6 redes con dimensiones de 12 x 2,5 m y 30 mm de ojo de red, en cada sitio de muestreo, dispuestas en línea, teniendo en cuenta los hábitats para fauna seleccionados en el área objeto de estudio. Las redes fueron abiertas en la mañana entre las 06:00-10:00 horas y entre las 15.30 y las 18.00 en la tarde, se revisaron cada 30 minutos. Las aves capturadas fueron manipuladas de forma manual e introducidas en bolsas de tela. Posteriormente se tomaron medidas morfométricas, identificación taxonómica y registro fotográfico. La identificación taxonómica fue realizada con el apoyo de guías especializadas y todos los individuos capturados fueron liberados en el mismo sitio de captura.

- Recorrido de observación

Se realizaron recorridos para la detección visual y auditiva de las aves, con la ayuda de Binoculares Nikon® 10 x 42, cubriendo los diferentes tipos de hábitats para fauna en el área de interés. Se tomaron registros fotográficos (cuando fue posible) y datos ecológicos de cada especie avistada. Los recorridos fueron realizados desde el amanecer a las 06:00-10:00 horas en la mañana y entre las 15.30 y las 18.00 horas.

- Esfuerzo y representatividad del muestreo
- Recorridos de observación

Para los recorridos de observación de avifauna, el esfuerzo de los recorridos libres por relevos (REV) se calculó en unidades horas/persona (Ecuación 26), incluyendo todas las jornadas de muestreo realizadas y la participación del profesional en ornitología y un auxiliar de campo.

- Redes de niebla

El esfuerzo de muestreo se calculó sumando el número total de metros de redes y el número total de horas durante las cuales permanecieron abiertas; este último se calcula teniendo en cuenta la hora de apertura de las redes (hora en la cual se abre la última red) y la hora de cierre de las mismas (momento en que se cierra la primera red). El resultado se expresa en unidades de horas/red (Ecuación 25).

$$E = (\sum r/12 \text{ metros}) \times t$$

$$E = X \text{ horas/red}$$

Fuente: Tomada y adaptada de Ralph et al. (1996)

Variables:

E es el esfuerzo de muestreo total en redes de niebla (horas-red).

r es el total de metros de redes.

m es la longitud de las redes en metros.

t es el tiempo en horas.

- Índices de diversidad

Para analizar la diversidad alfa, se calcularon los índices de diversidad de: Margalef (índice de riqueza específica, Ecuación 27), Simpson (índice de dominancia, Ecuación 28) y el índice de Shannon-Wiener (índice de equidad, Ecuación 29). Con respecto a la diversidad beta se usó el índice de similaridad de Bray Curtis. Para calcular estos índices se empleó el programa PAST® 3.181 25 (Hammer et al., 2001).

- Gremios y asociación con el hábitat

Se establecieron como gremios tróficos: los carnívoros que se alimentan de vertebrados, los carroñeros que aprovechan vertebrados muertos, los frugívoros que consumen frutos, los herbívoros que consumen otras partes de las plantas como hojas, flores y tallos, los granívoros que se alimentan de semillas, los insectívoros que se alimentan de artrópodos, los nectarívoros que se alimentan del néctar de las flores y los omnívoros que consumen tres o más tipos de alimento. Aquellas especies que complementan su dieta con un tipo secundario de alimento fueron ubicadas dentro del gremio trófico de aquel alimento que consumen principalmente; la dieta asignada a cada especie corresponde a la de su preferencia, lo cual no significa que sea el único alimento que pueda consumir. Se realizó un análisis de diversidad de acuerdo con los hábitats que ocupan las especies, para esto se construyeron las respectivas gráficas de riqueza vs. hábitats para fauna.

- Especies de importancia

Para relacionar las aves endémicas y bajo algún riesgo de amenaza de extinción se tuvieron en cuenta los criterios nacionales del libro rojo de aves (Renjifo et al., 2014) así como la Resolución 1912 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS, 2017) y la Lista de chequeo de las aves de Colombia (2017). También se consideraron los criterios globales de la lista roja de la UICN (2020) y los Apéndices CITES (2020). Con respecto a las especies migratorias se consultó la Guía de especies migratorias de Colombia (Naranjo y Amaya, 2009).

Herpetos

- Muestreo

La caracterización de la herpetofauna para el área de influencia se llevó a cabo mediante recorridos de muestreo por el método de búsqueda libre sin restricciones por relevos por encuentro visual (VES). Este método se seleccionó por ser una metodología que permite obtener el mayor número de especies en el menor tiempo posible (Angulo et al., 2006). La jornada de muestreo se dividió en dos jornadas de trabajo, una para trabajo durante el día y otra durante el crepúsculo y noche, para poder registrar especies con diferentes patrones de actividad (Fotografía 5). El diseño de los muestreos buscó mantener el mismo esfuerzo de muestreo por área a muestrear, con un esfuerzo equiparable entre la jornada diurna y nocturna, en general cada recorrido tuvo cuatro horas efectivas de muestreo en la franja de 8:00 am - 12:00 pm y 6:00 pm - 10:00 pm y fue georreferenciado desde su inicio hasta el final de cada jornada de trabajo.



Fotografía 5. Muestreo diurno de herpetofauna con pinza herpetológica. (F_HERP1)

Durante cada jornada de muestreo, se revisaron minuciosamente los diferentes microhábitats posibles que ocupa la herpetofauna dentro de los cuales se incluyen troncos, piedras, hojarasca, cuerpos de agua y estratos de la vegetación hasta 2 m de altura (Angulo et al., 2006). Al momento de avistar un ejemplar, se registraron datos de fecha y hora, coordenadas geográficas (con GPS Garmin), el número de individuos, datos ecológicos y determinación taxonómica. Se procuró evitar la manipulación de anfibios para disminuir la posibilidad de transmitir patógenos entre individuos y sólo se realizó dependiendo de la necesidad de identificación a especie con una revisión morfológica más detallada, las serpientes fueron manipuladas con ayuda de una pinza herpetológica y los renacuajos con una red para acuario. Los anfibios capturados se introdujeron en bolsas plásticas con vegetación, mientras que los reptiles en bolsas de tela y se mantuvieron allí para su identificación, cada ejemplar capturado fue liberado en el mismo sitio de captura. En lo posible se tomó registro fotográfico de al menos un ejemplar por especie.

- Esfuerzo y representatividad

Para el muestreo de herpetofauna, el esfuerzo de los recorridos libres por relevos (REV) se calculó en unidades horas/persona (Ecuación 26), incluyendo todas las jornadas de muestreo realizadas y la participación del profesional en herpetología y un auxiliar de campo. Se obtuvo un total de 88 horas de esfuerzo de muestreo en los recorridos de muestreo para las actividades en el área del proyecto a lo largo de los seis días de muestreo. La representatividad del muestreo se determinó con base en la elaboración de una curva de acumulación de especies siguiendo los lineamientos de (Magurran & McGill, 2011; Villarreal, 2006) utilizando el programa EstimateS ver 9.11.35 (Colwell, 2013). Como unidad de muestreo se tomó cada uno de los días de muestreo, juntando los datos obtenidos en los transectos diurno y nocturno.

$$E = (t) (n)$$

Fuente: Villarreal et al. (2006)

Ecuación 26.

Variables:

E es el esfuerzo de muestreo total en recorridos de observación (horas-/persona).

t es el tiempo en horas.

n es el número de personas.

El objetivo de este análisis es evaluar la representatividad de la muestra basándose en varios estimadores estadísticos y la composición de especies de una comunidad. Las curvas de acumulación de especies son sensibles a diversos factores, como la presencia de especies raras interpretadas como singletons (especies que aparecen una vez) y doubletons (especie que aparece dos veces en el muestreo). Cuando estos factores influyen en el análisis, los estimadores de diversidad tenderán a estimar que falta más muestreo para conocer la composición total de especies de un sitio de interés (Magurran & McGill, 2011). No obstante, es importante mencionar que a pesar de que una curva no

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

presente una tendencia asintótica, esto se puede deber a que ciertos estimadores pueden sobreestimar las especies probables, la comunidad de especies es reducida, u otros factores particulares que generan un sesgo o desviación en los resultados.

- Riqueza y composición

La identificación taxonómica de las especies registradas en el área se realizó con base en literatura especializada y claves taxonómicas para cada grupo, apoyándose en información de portales en línea como Amphibiaweb (University of California, 2020), Batrachia (Acosta-Galvis, 2019) y The Reptile database (Uetz et al., 2020).

- Índices de diversidad

Para analizar la diversidad de herpetofauna, la selección de los estimadores de diversidad se realizó con base en la naturaleza de la información colectada, teniendo la cantidad de especies y su abundancia en cada muestra y el muestreo en general. Los índices de diversidad aplicados se estimaron con el software PAST ver 3.251 (Hammer et al., 2001), se estimaron varios índices para evaluar diferentes aspectos del ensamblaje de especies, como son la riqueza (Margalef, Ecuación 27), la dominancia (índice de Simpson, Ecuación 28) y la equidad (índice de Shannon-W, Ecuación 29). Finalmente se comparó la composición de especies entre diferentes hábitats por un análisis de diversidad beta de Bray Curtis.

Índice de Margalef

$$DMg = S - 1 / \ln N$$

Fuente: Villarreal et al. (2006)

Ecuación 27.

Variables:

S es el número de especies
N es el número total de individuos de la muestra
 $\ln N$ es el logaritmo natural de N

Índice de Simpson

$$1-D = 1 - \sum (pi)^2$$

Fuente: Villarreal et al. (2006)

Ecuación 28.

Variables:

pi es la proporción de cada especie en la comunidad, es decir n/N
 n es el número de individuos de cada especies
N es el número total de individuos de la muestra

Índice de Shannon-W

$$H' = - \sum pi * \ln pi$$

Fuente: Villarreal et al. (2006)

Ecuación 29.

Variables:

pi es la proporción de los individuos para cada una de las especies
 $\ln pi$ es el logaritmo natural de pi

- Gremios y asociación con el hábitat

En el caso de la herpetofauna, se pueden identificar diferentes gremios dependiendo del grupo de estudio. En general, para el caso de los anfibios casi la totalidad de las especies son insectívoras y su dieta comprende por lo tanto una gran variedad de artrópodos (Vitt y Caldwell, 2014). No obstante, especies que pueden alcanzar tamaños relativamente grandes como el sapo común *Rhinella horribilis*, pueden presentar una dieta facultativamente carnívora ya que pueden

alimentarse de otros vertebrados pequeños como otros anfibios, reptiles e incluso mamíferos pequeños (Isaacs & Hoyos, 2010). Otro caso particular se da con ranas venenosas de la familia Dendrobatidae, las cuales se especializan en consumir hormigas y acaros, de las cuales secuestran su veneno (Santos et al., 2003). También es importante mencionar que los anfibios con etapa larval, durante etapas tempranas en su desarrollo presentan una dieta diferente como detritívoros o herbívoros, aunque existen larvas carnívoras (Altig y Johnston, 1989). Por lo tanto, dependiendo de su etapa de vida pueden encontrarse en varios gremios. Para los reptiles, existe una diversidad mayor en cuanto a los gremios, gran parte de los reptiles de pequeño porte se alimentan de insectos mientras que los de mayor porte son carnívoros, consumiendo otros vertebrados de pequeño y mediano porte (Vitt y Caldwell, 2014). Existen excepciones con especies de hábitos omnívoros como con ciertas tortugas y el caso de *Cnemidophorus lemniscatus*, el cual puede consumir tanto insectos como material vegetal (Barragán-Contreras & Calderón Espinosa, 2016) o el caso de la iguana o varias tortugas que son herbívoras y frugívoras (Morales-Betancourt et al., 2015).

- Especies amenazadas y endémicas

Para las categorías y prioridades de conservación se revisaron las bases de datos de la UICN (IUCN, 2020), la cual contiene una evaluación de amenaza de la especie a nivel global teniendo en cuenta diferentes criterios poblacionales, adicionalmente se revisaron los apéndices CITES (2020) que regulan la explotación de ciertas especies. En cuanto al contexto nacional se tuvieron en cuenta dos referencias principales, el libro rojo de los anfibios de Colombia (Rueda-Almonacid et al., 2004), el libro rojo de reptiles de Colombia (Morales-Betancourt et al., 2015), la resolución 1912 de 2017 (MADS). Para estimar el grado de endemismo, se revisó la información de distribución en Amphibiaweb (University of California, 2020), Amphibian species of the World (Frost, 2020) y The Reptile database (Uetz et al., 2020).

Mamíferos

- Muestreo

Para la caracterización de mamíferos del área de influencia biótica del Proyecto “Mina La Esmeralda -Título 6823-”, siguiendo la metodología de Muñoz-Saba *et al.*, (2011) con las consideraciones de Villarreal *et al.* (2004) y teniendo en cuenta los términos de referencia para la elaboración del EIA en proyectos de explotación minera, se realizaron muestreos entre el 17 al 23 de septiembre en las diferentes coberturas vegetales presentes en el área de estudio, mediante la implementación de cinco técnicas con el objetivo de registrar pequeños (voladores y terrestres), medianos y grandes mamíferos:

- Redes de niebla

Para la captura de mamíferos voladores (murciélagos), dependiendo de las coberturas vegetales presentes en el área, se instalaron en estrato de sotobosque (0-3 m) cuatro redes de niebla de 9 m de longitud en tres sitios de muestreo que tenían la mayor probabilidad de captura debido a su oferta de recursos, refugio y sitios de paso (Fotografía 6, Fotografía 7). Las redes fueron georreferenciadas, permanecieron abiertas entre las 18:00 – 21:00 horas y fueron revisadas en intervalos de diez minutos.



Fotografía 6. Instalación de red de niebla en el área de influencia biótica (F_M01).



Fotografía 7. Manipulación de murciélago capturado en red de niebla (F_M02).

Los murciélagos capturados fueron manipulados e introducidos de manera individual en bolsas de tela marcadas con datos de fecha y hora de captura. A cada individuo se le tomaron medidas morfométricas de longitud del antebrazo, cola, oreja y tibia, se determinó su sexo (macho/hembra), edad, y se anotaron aspectos morfológicos como coloración del pelaje, características dentarias y presencia de ornamentaciones (Fotografía 8). Con estos datos se procedió a confrontar la información con las claves taxonómicas o literatura especializada con el propósito de identificar la especie. Finalmente, se realizó el registro fotográfico y se liberaron todos los individuos en los mismos sitios de captura.



Fotografía 8. Toma de medidas morfométricas a individuo capturado (F_M03).

- Trampas Sherman

Para la captura de pequeños mamíferos terrestres se instalaron dos estaciones de muestreo, cada una conformada por 25 trampas Sherman® plegables de tamaño mediano (23 x 8 x 9 cm), en coberturas de - Bosque de galería y ripario y - Vegetación secundaria o en transición. Las trampas fueron ubicadas a nivel del suelo y dispuestas en un transecto lineal, se cebaron con una mezcla de mantequilla de maní, avena y esencia de vainilla, se marcaron con una cinta reflexiva a una altura de 1,50 m del suelo y se realizó la correspondiente georreferenciación (Fotografía 9, Fotografía 10). Las trampas permanecieron activas de dos a tres noches consecutivas por estación de muestreo y durante el proceso diario de revisión, además de recebar, se registró si había alguna captura para desinstalar la trampa y llevar a cabo la identificación del individuo (no se obtuvieron capturas con esta técnica de muestreo).



Fotografía 9. Instalación de trampa Sherman (F_M04).



Fotografía 10. Trampa Sherman instalada (F_M05).

- Cámaras trampa

Para la obtención de registros de mamíferos terrestres, principalmente medianos y grandes, se instalaron ocho cámaras trampa Stealth Cam® Modelo STC-G42NG en las zonas con mayor vegetación, con cercanía a cuerpos de agua, sitios de paso o con presencia de rastros. Las cámaras se ubicaron aproximadamente a 50 metros del suelo sujetadas a troncos, fueron configuradas para la grabación de videos y toma de fotografías, cebadas con banano y atún enlatado, georreferenciadas y estuvieron activas durante seis a cuatro días (24 h/día) (Fotografía 11, Fotografía 12). Los videos y fotos se revisaron al final del muestreo.



Fotografía 11. Instalación de cámara trampa (F_M06).



Fotografía 12. Cámara trampa instalada (F_M07).

- Recorridos de observación y búsqueda de rastros y refugios

Se realizaron cinco recorridos de observación diurnos (7:00 - 11:00 h) con énfasis en búsqueda de refugios y rastros (senderos, huellas, excrementos, rasguños), y tres recorridos nocturnos (18:00 -20:30 h) con énfasis en el registro directo de mamíferos mediante observación (Fotografía 13, Fotografía 14). Cada recorrido fue realizado por un profesional en la compañía de un auxiliar de campo, tuvo una duración aproximada de entre una a tres horas y fue

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

georreferenciado desde el inicio hasta el final; los datos de localización, fecha y las especies registradas en cada transecto realizado fue consignado en la libreta de campo. Los registros de huellas fueron confrontados con el Manual de huellas de algunos mamíferos terrestres de Colombia (Navarro y Muñoz, 2000) y el Manual para el rastreo de mamíferos silvestres de México (Aranda, 2012).



Fotografía 13. Toma de registro fotográfico en recorrido diurno (F_M08).



Fotografía 14. Búsqueda directa en recorrido de observación nocturno (F_M09).

- Entrevistas informales

Con el fin de obtener información de las especies de medianos y grandes mamíferos que son de difícil registro y observación, se realizaron dos entrevistas informales a dos pobladores del área de estudio teniendo como soporte fichas ilustradas. En adición, también se indagó sobre datos de la ecología y el uso que les dan a las especies, estos se anotaron en la libreta de campo (Fotografía 15).



Fotografía 15. Realización de entrevista informal a poblador de la zona (F_M10).

- Análisis de la información

- Esfuerzo y representatividad

Redes de niebla

El esfuerzo de muestreo se calculó multiplicando el número total de metros de redes utilizados por el tiempo en horas durante las cuales permanecieron abiertas; este último se calcula teniendo en cuenta la hora de apertura de las redes (hora en la cual se abre la última red) y la hora de cierre de las mismas (momento en que se cierra la primera red), de acuerdo a la Ecuación 25.

Trampas Sherman, Cámaras-trampa

Se calculó el esfuerzo de muestreo multiplicando el número de trampas instaladas por el número de noches o días que permanecieron instaladas, teniendo así la Ecuación 30:

$$\begin{aligned} E &= \text{trampas instaladas} \times \text{número de días} \\ E &= X \text{ trampas-noche} \\ E &= X \text{ cámaras-día} \end{aligned}$$

Ecuación 30.

Recorridos

El esfuerzo de muestreo (en términos de tiempo) se calculó multiplicando el tiempo de duración del recorrido, por el número de personas que lo efectuaron (Ecuación 31). Así, el resultado se expresa en horas-persona.

$$\begin{aligned} E &= \text{tiempo (horas)} \times \text{número de personas} \\ E &= X \text{ horas-persona} \end{aligned}$$

Ecuación 31.

Además, se estimó la representatividad del muestreo por medio de una curva de acumulación de especies siguiendo los lineamientos propuestos por Villareal *et al.* (2004). La matriz de datos se elaboró en una hoja de cálculo y se procesó con el programa EstimateS® (Colwell, 2013), graficando los estimadores Bootstrap y Chao 2 que tienen en cuenta datos de presencia-ausencia y como complemento los estimadores ACE y Cole que tienen en cuenta datos de abundancia. Se definieron las muestras teniendo en cuenta los registros por fecha y técnica de registro implementada.

- Índices de diversidad

Para el análisis de la diversidad de cada hábitat, se calcularon los índices de diversidad alfa de Margalef, índice de Simpson e Índice de Shannon-Wiener teniendo en cuenta las especies registradas en el área de influencia biótica (sin incluir entrevistas) (Tabla 70), y con respecto a la diversidad beta se usó el índice de similaridad de Bray-Curtis. Para calcular estos índices se empleó el programa PAST® 3.18 20 (Hammer *et al.*, 2001).

Tabla 70. Fórmulas para calcular los índices de diversidad alfa analizados

Índice	Tipo de índice	Ecuación	Convenciones
Margalef	Riqueza específica	$DMg = S - 1 / \ln N$	S=número de especies N=número total de individuos
Simpson_1-D	Dominancia	$D = \sum (ni/N)^2$	ni= número de individuos N= total individuos encontrados
Shannon-H	Equidad	$H = - \sum (pi * \log pi)$	pi= abundancia relativa de la especie

- Gremios tróficos y uso del hábitat

Se presenta un análisis de riqueza y composición a nivel de orden y familia de los mamíferos presentes en el área de influencia biótica del Proyecto Mina La Esmeralda -Título 6823-.

Se recopiló información sobre el tipo de dieta de las especies registradas, para lo cual se consultaron bases de datos, al igual que artículos científicos y guías de campo de las especies de la zona. Con dicha información, las especies se categorizaron en seis gremios tróficos: insectívoro, omnívoro, frugívoro, herbívoro, carnívoro y hematófago. Se consideraron omnívoras aquellas especies que incluyen en su dieta tres o más tipos de alimentos, siendo todas consumidas en una proporción similar (Tirira, 2017).

Así mismo, se relacionaron las especies con el hábitat en el que fueron observados: -Zonas abiertas (Za), -Bosque ripario (Br), -Vegetación secundaria (Vs) y Cuerpos de agua (Ca). Para las especies registradas únicamente por entrevistas se les asignó hábitat con base en información secundaria.

Especies de importancia

Para confirmar si las especies registradas para el área de influencia del proyecto se encuentran en alguna categoría de amenaza (CR -Crítico-, EN -En peligro- o VU -Vulnerable-) se consultó el Libro Rojo de Mamíferos (Rodríguez-Mahecha *et al.* 2006), la Resolución 1912 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, la IUCN (2020) y los apéndices CITES (2019). Para las especies endémicas y casi endémicas se consultó bibliografía especializada como Solari *et al.*, (2013) y Ramírez-Chaves *et al.*, (2016). En adición, con el fin de identificar las especies migratorias en el área se consultó la Guía de especies migratorias de la biodiversidad de Colombia (Rojas-Díaz y Saavedra-Rodríguez, 2014).

2.3.3.1.5. Ecosistemas acuáticos

Con el fin de determinar la composición y estructura de la hidrobiota existente en los ecosistemas acuáticos presentes en el área de influencia, realiza la caracterización de las comunidades hidrobiológicas a partir de muestreos de perifiton, macroinvertebrados asociados al bentos y fauna íctica en sistemas lóticos y lénticos, y adicionalmente muestreos de plancton (fito y zoo) y macrófitas en sistemas lénticos.

Para cada grupo, brindando la información taxonómica de los ejemplares o morfo capturados hasta la más detallada clasificación posible, se recopiló información de densidad, abundancia, extensión, dominancia y aspectos fisicoquímicos. Posteriormente se emplearon herramientas estadísticas e índices ecológicos, para caracterizar a los grupos según su preferencia de hábitat, su distribución espacial y temporal (para época de lluvias y época seca), expresión de su composición y estructura en función de las variables ambientales y las interrelaciones que tienen con otros grupos de organismos y otros ecosistemas. Asimismo, se analizaron estas comunidades como indicadores de calidad biológica del agua a partir de la correlación de los datos fisicoquímicos registrados en los muestreos.

Para la fauna íctica se identificaron y caracterizaron las especies de mayor importancia ecológica y económica asociada a los principales cuerpos de agua, se destacaron las especies migratorias, en veda, y/o endémicas. Adicionalmente se identificó la presencia de metales pesados mediante análisis toxicológico; las muestras se tomaron en los cuerpos de agua objeto de intervención.

Los muestreos para la caracterización consideran los dos periodos climáticos (época húmeda de aguas altas y aguas bajas en época seca). Para el análisis de hidrobiológico se llevó a cabo el estudio en temporada seca el 25 de febrero de 2021; y en temporada húmeda del 24 al 27 de marzo de 2021, excepto para el caso del análisis toxicológico, que se adelantó gracias a la toma de muestras del 18 y 19 de septiembre de 2020. Los sitios de muestreo de la hidrobiota corresponden con los sitios donde se realizó la caracterización fisicoquímica del agua, y están debidamente georreferenciados y detallados.

2.3.3.1.5.1. Fase de campo

- Protocolos

Antes del muestreo se debe realizar el plan de muestreo que contiene la información sobre: Tipo de Muestreo, Número de Muestras por Punto de Muestreo, Sitio de Monitoreo, Recipientes, Parámetros a Analizar, Preservación y además aspectos logísticos relacionados. El cliente debe proporcionar la información de entrada para la elaboración del plan muestral.

El proceso de control y vigilancia del muestreo, preservación y análisis (*chain of custody procedure*) es esencial para asegurar la integridad de la muestra desde su recolección hasta el reporte de los resultados. Este proceso consiste en seguir o monitorear las condiciones de la toma de muestra, preservación, dosificación, transporte y su posterior análisis. Se considera que una muestra está bajo custodia de una persona, si está bajo su posesión física individual, a su vista, y en un sitio seguro. Los siguientes procedimientos resumen los principales aspectos del control y vigilancia de las muestras.

- **Etiquetas:** Para prevenir confusiones en la identificación de las muestras, estas se etiquetaron antes de o en el momento del muestreo; en estas etiquetas se registró, con tinta a prueba de agua, la siguiente información: Número de muestra, fecha y lugar de recolección, preservación realizada según sea el caso y la firma de la persona que realizó el monitoreo.

- **Datos de campo y Cadena de Custodia:** Se registró toda la información pertinente a las observaciones de campo o del muestreo en el formato cadena de custodia según la matriz de análisis a monitorear, en el que se incluyó: tipo de muestreo, matriz de análisis, localización y georreferenciación de la estación de muestreo o punto de monitoreo, empresa que solicitó el servicio, número de la muestra, fecha y hora, firma de la persona que realizó el monitoreo, tipo de muestra y método de preservación. Se registró también el número y cantidad de recipientes y muestras tomadas; la descripción del punto con referencias tales como diagramas del sitio de muestreo y mediciones de campo. En el Anexo 16 se presenta la cadena de custodia de los muestreos de las comunidades hidrobiológicas.

- **Preservación y Cantidad de Muestra:** La preservación de las muestras se realizó inmediatamente después de la toma con reactivos de calidad analítica, material refrigerante y apropiado embalaje, según las indicaciones de la Guía para el Monitoreo de Vertimientos, Aguas Superficiales y Subterráneas del IDEAM (2002), normas colombianas NTC 5667-n y Standard Methods 23nd para asegurar la integridad de las muestras.

- **Envío de la muestra al laboratorio:** las muestras fueron enviadas al laboratorio por transporte terrestre. Se contó con los tiempos máximos de almacenamiento previos al análisis de los parámetros, además de las condiciones particulares establecidas en el instructivo IN-QA-5.7-3 "Recipientes, preservación y almacenamiento de muestras por parámetros" y

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

los criterios establecidos en el procedimiento. P5.8.1-1 “Recepción e ingreso de muestras” para así garantizar la integridad completa de las muestras transportadas.

El Director Técnico, la Dirección de Operaciones y los Coordinadores o Profesionales de Proyectos fueron los responsables de supervisar el proceso de custodia de las muestras; los profesionales, técnicos y auxiliares de campo fueron los responsables de la toma, manipulación y transporte de muestras al laboratorio.

El laboratorio AGQ Prodycon Colombia S.A.S., cuenta con permiso de recolección con fines de elaboración de estudios ambientales otorgado por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) bajo Resolución 01586 del 8 de agosto de 2019.

- Toma de muestras de aguas

La toma y análisis de muestras en aguas superficiales se realizó conforme a lo estipulado en el Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 23rd edición (2017), EPA (1999) y las guías del IDEAM. Estos procedimientos contemplan las siguientes metodologías según el tipo de muestra a evaluar:

- Muestra compuesta: Dos o más muestras o submuestras, mezcladas en proporciones conocidas apropiadas a partir de las cuales se obtiene el resultado promedio de una característica deseada. Las proporciones se basan en mediciones de flujo.

- Muestra simple (instantánea): Muestra en el sitio; una muestra discreta tomada aleatoriamente en una masa de agua.

- Muestras de área integrada: Muestra de agua obtenida después de combinar una serie de muestras tomadas en diferentes sitios de un cuerpo de agua, de una profundidad particular.

- Puntos de monitoreo

AGQ Prodycon Colombia S.A.S. tomó las muestras directamente en los puntos programados y fueron enviadas a para su respectivo análisis, con el fin de determinar el estado ambiental de los cuerpos de agua mediante la abundancia, riqueza y bioindicación de las especies para cada comunidad y el análisis de los parámetros fisicoquímicos los cuales fueron comparados con lo estipulado en los artículos 2.2.3.3.9.3, 2.2.3.3.9.4, 2.2.3.3.9.5 y 2.2.3.3.9.6 del Decreto 1076 de 2015 que indican el estado del cuerpo de agua con base en las características propicias para consumo humano y doméstico, desinfección, uso agrícola, y uso pecuario. Asimismo, se calcularon los índices de diversidad y se relacionaron con la bioindicación de las especies para generar el estado ambiental aproximado.

Para el monitoreo de las muestras de agua superficiales se eligieron los puntos identificados como FQ 6. Drenaje El Salado, FQ 7. Afluente Zanjón Los Huilos, FQ 8. Zanjón Los Huilos y FQ 9. Pit de explotación, puntos ubicados dentro del área de influencia del proyecto en el municipio de Payandé, departamento de Tolima. AGQ Prodycon Colombia S.A.S. realizó logística y trabajos de campo de acuerdo con lo establecido en el plan muestral IGN-ESM-PM001-02-21.

A continuación, en la Tabla 71 se presenta el nombre, codificación de las muestras y coordenadas para cada uno de los puntos monitoreados en temporada seca (Figura 34, Figura 35, Figura 36, Figura 37). Así mismo, se observa una panorámica de la localización de los sitios de muestreo en dicha época (Figura 38 y Figura 39).

Tabla 71. Ubicación Puntos monitoreados en temporada seca – Mina La Esmeralda

Ubicación	No Muestra	Coordenadas planas origen único	
		Norte	Este
FQ 6. Drenaje El Salado	A-21/026652	2033435,165	4765994,928
FQ 7. Afluente Zanjón Los Huilos	A-21/02660	2034003,626	4766342,801
FQ 8. Zanjón Los Huilos	A-21/026658	2033890,787	4766364,689
FQ 9. Pit de explotación	A-21/026653	2033583,993	4766554,309

Fuente: AGQ Prodycon Colombia S.A.S.



Figura 34. Registro Fotográfico – FQ 6. AFLUENTE ZANJÓN LOS HUILOS Temporada seca
Fuente: AGQ Prodycon Colombia S.A.S.



Figura 35. Registro Fotográfico – FQ 7. AFLUENTE ZANJÓN LOS HUILOS Temporada seca
Fuente: AGQ Prodycon Colombia S.A.S.



Figura 36. Registro Fotográfico – FQ 8. ZANJÓN LOS HUILOS Temporada seca
Fuente: AGQ Prodycon Colombia S.A.S.



Figura 37. Registro Fotográfico – FQ 9. PIT DE EXPLOTACIÓN Temporada seca
Fuente: AGQ Prodycon Colombia S.A.S.



Figura 38. Ubicación específica de los piezómetros monitoreados en Temporada seca – proyecto mina La Esmeralda
Fuente: Google Earth (2021) adaptado por AGQ Prodycon Colombia S.A.S.



Figura 39. Ubicación general de los piezómetros monitoreados en Temporada seca – proyecto mina La Esmeralda
Fuente: Google Earth (2021) adaptado por AGQ Prodycon Colombia S.A.S.

Por otro lado, en la Tabla 72 se presenta el nombre, codificación de las muestras y coordenadas para cada uno de los puntos monitoreados en temporada húmeda (Figura 40, Figura 41, Figura 42, Figura 43, Figura 44 y Figura 45). Así mismo, se observa una panorámica de la localización de los sitios de muestreo en dicha época (Figura 46).

Tabla 72. Ubicación Puntos monitoreados en temporada húmeda – Mina La Esmeralda

Ubicación	No Muestra	Coordenadas planas origen único	
		Norte	Este
FQ1 (R. Coello aguas arriba)	A-21/036818	2033858,04	4767011,69
FQ2 (R. Coello intermedio)	A-21/036823	2033751,34	4767215,63
FQ3 (Rio Coello Intermedio 2)	A-21/036825	2033711,66	4767570,70
FQ6 (El Salado)	A-21/036819	2033405,02	4766019,70
FQ7 (Afluente Zanjón Los Huilos)	A-21/036821	2034005,82	4766346,13
FQ8 (Zanjón Los Huilos)	A-21/036822	2033890,7	4766364,68
FQ9 (Pit de explotación)	A-21/036820	2033644,84	4766540,49
FQ4	A-21/026652	No se muestrea por la crecida en el nivel del Rio Coello	
FQ5	A-21/026653		
FQ10	A-21/026658		
FQ11	A-21/026660		

Fuente: AGQ Prodycon Colombia S.A.S.



Figura 40. Registro Fotográfico – FQ1 (R. Coello aguas arriba) Temporada húmeda
Fuente: AGQ Prodycon Colombia S.A.S.



Figura 41. Registro Fotográfico – FQ2 (R. Coello intermedio) Temporada húmeda
Fuente: AGQ Prodycon Colombia S.A.S.



Figura 42. Registro Fotográfico – FQ3 (Rio Coello Intermedio 2) Temporada húmeda
Fuente: AGQ Prodycon Colombia S.A.S.



Registro Fotográfico – FQ6 (El Salado) Temporada húmeda
Fuente: AGQ Prodycon Colombia S.A.S.



Figura 43. Registro Fotográfico – FQ7 (Afluente Zanjón Los Huilos) Temporada húmeda
Fuente: AGQ Prodycon Colombia S.A.S.



Figura 44. Registro Fotográfico – FQ8 (Zanjón Los Huilos) Temporada húmeda
Fuente: AGQ Prodycon Colombia S.A.S.



Figura 45. Registro Fotográfico – FQ 9. PIT DE EXPLOTACIÓN Temporada húmeda

Fuente: AGQ Prodycon Colombia S.A.S.



Figura 46. Ubicación específica de las fuentes superficiales monitoreadas en Temporada húmeda – proyecto mina La Esmeralda

Fuente: Google Earth (2021) adaptado por AGQ Prodycon Colombia S.A.S.

El monitoreo correspondiente a temporada seca se llevó a cabo el 25 febrero de 2021 en condiciones normales, evidenciándose que durante la jornada de toma de muestras no se presentaron lluvias y el cielo estaba ligeramente nublado. Mientras que los puntos en temporada húmeda se monitorearon entre el 24 y el 27 de marzo de 2021 en condiciones normales, evidenciándose que durante la jornada de toma de muestras se presentaron lluvias intensas y el cielo estuvo nublado (4/8).

- Análisis de toxicología

Para el análisis toxicológico en el área del proyecto minero La Esmeralda se eligieron dos puntos que permitían recopilar la información necesaria para evidenciar la presencia de metales pesados, además de reportar suficientes peces como para poder obtener muestras apropiadas (FQ 6. Drenaje El Salado, FQ 8. Zanjón Los Huilos). Se eligió la especie *Cynodonichthys magdalena* debido a que fue representativa en la zona de estudio, por su abundancia en los cuerpos de agua del AIB. Es importante aclarar que en Colombia, el marco legal para las concentraciones máximas de metales pesados en peces corresponde a la Resolución 0122 de 2012⁴⁸ y estas concentraciones máximas permitidas son las mismas propuestas por el Codex Alimentarius de la FAO (2015)⁴⁹.

⁴⁸ MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución 0122 del 26 de enero de 2012, por la cual se modifica parcialmente la Resolución 776 de 2008. 2012.

⁴⁹ FAO. Codex Alimentarius - Norma general para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos. CODEX STAN 193-1995. 2015.

2.3.3.1.5.2. Fase de laboratorio

- Fito y Zooplancton

Las muestras son homogenizadas manualmente, luego con una micropipeta se toma una alícuota de 1 ml y se dispone en la cámara Sedgewick Rafter y se procede a realizar el conteo e identificación en el microscopio óptico. La identificación de los grupos taxonómicos se realiza con ayuda de material bibliográfico de Streble & Krauter (1987), Reid (1985) y se tiene en cuenta las categorías taxonómicas propuestas por Integrated Taxonomy Information System (ITIS). Los resultados son expresados en individuos por mililitro (Ind/ml).

- Macroinvertebrados bentónicos

Las muestras fueron lavadas en tamices de 4,00 y 0,425 μm con abundante agua para remover el preservante; el material fue dividido por tamaño y se separaron los organismos que se vieran a simple vista. A continuación, las muestras fueron dispuestas en cajas Petri y observadas en su totalidad mediante el uso de un estereoscopio donde se efectuó la identificación y conteo de todos los organismos, los cuales fueron almacenados en frascos con alcohol al 70%. Los resultados se expresaron en número de individuos por metro cuadrado (Ind/m²) por estación o punto de muestreo.

La identificación se basó en la literatura de: Posada-García & Roldán-Pérez (2003); Domínguez & Fernández (2009); Epler (2006, 2010); Ramírez (2010); Gutiérrez-Fonseca (2010); Springer (2010); Segura, Valente-Neto & Fonseca-Gessner (2011); Heckman (2011); Hamada, Nessimian & Ranyse (2014), Gutierrez & Dias (2015) y González-Córdoba, Zúñiga & Manzo (2015). La clasificación taxonómica fue de acuerdo con lo propuesto por Integrated Taxonomy Information System (ITIS).

- Perifiton

Las muestras fueron homogenizadas manualmente mediante movimientos de vaivén, luego con una micropipeta se tomaron alícuotas de 100 μL y se dispusieron en la cámara Palmer y empleando el microscopio óptico se realizó el conteo e identificación. Los resultados para perifiton fueron expresados en número de individuos por centímetro cuadrado (Ind/cm²) y para fitoplancton en número de individuos por mililitro (Ind/ml).

La literatura que se empleó para la identificación fue: Parra, González, Dellarossa, Rivera & Orellana (1982); Parra, González & DellaRosa (1983); Streble & Krauter (1987); Wehr & Sheath (2003); Bicudo & Menezes (2006) y Belliger & Sigee (2010). La clasificación taxonómica está basada en lo propuesto por Integrated Taxonomy Information System (ITIS) y Algaebase. El recuento de individuos se efectuó por género numerado (morfoespecie). El análisis cuantitativo se hizo mediante conteo de las algas a través de cámaras de Sedgwick-Rafter según la técnica 1002F

- Macrófitas

Para la identificación de las macrófitas se revisó el registro fotográfico y los datos proporcionados en campo; y con ayuda de las referencias bibliográficas de Brünner & Beck (1990), Velásquez (1994); Hiscock (2003); Smagula & Connor (2007); García, Fernández & Cirujano (2009) y Posada & López (2011) se realizó la identificación al menor nivel taxonómico posible. La clasificación taxonómica también se basó en lo propuesto por Integrated Taxonomy Information System (ITIS).

- Ictiofauna

La identificación de los peces tanto por registro fotográfico como los colectados y enviados al laboratorio se realizó mediante características morfológicas y de acuerdo con la cuenca hidrográfica a la que pertenecían se empleó la literatura propuesta por Galvis, Mojica & Camargo (1997); Salinas & Agudelo (2000); Taphorn, (2003); Lasso, et al., (2004), Maldonado-Ocampo, et al., (2005), Galvis, et al., (2007), Lasso, et al., (2011); Gutiérrez, Lasso, Baptiste, Sánchez-Duarte & Díaz, (2012), Mojica, Usma, Álvarez & Lasso, (2012), y Álvarez-León, Orozco-Rey, Páramo-Fonseca & Restrepo-Santamaría, (2013). La clasificación taxonómica y estado de vulnerabilidad se basó en lo propuesto por Integrated Taxonomy Information System (ITIS), FishBase y la Lista Roja de Especies Amenazadas de la IUCN (International Union for Conservation of Nature).

- Análisis de toxicología

Las muestras recolectadas (FQM006290, FQM006287) se enviaron al laboratorio Tecnimicro Laboratorio de Análisis S.A.S para su análisis. El informe resumen obtenido del laboratorio contenía información sobre datos de la recepción de la muestra: producto entregado, muestra, fecha, temperatura, cantidad, aspecto, olor y color. Las muestras se procesaron realizando análisis de metales pesados siguiendo la metodología acreditada para cada uno: Cadmio (*Standar Methods 3120 A, B, Ed. 23 Modificado*), Mercurio (IN-GS-3.471 V7 2017-09-26 ONAC) y Plomo (*Standar Methods 3120 A, B, Ed. 23 Modificado*). Los valores obtenidos se compararon con la norma especificada para cada compuesto: Cadmio (máximo 0,05 mg/Kg), Mercurio (máximo 0,5 mg/Kg), Plomo (máximo 0,3 mg/Kg).

2.3.3.1.5.3. Fase de análisis

- Diseño estadístico

Esta fase consistió en la organización de los datos primarios de cada comunidad y parámetros fisicoquímicos en tablas, expresando los resultados en términos de individuos por unidad de área o volumen y concentraciones, luego se realizaron las gráficas de abundancia y riqueza para las comunidades hidrobiológicas y gráficas de las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos comparados contra los lineamientos establecidos en el Decreto 1076 de 2015 en los artículos 2.2.3.3.9.3; 2.2.3.3.9.5 y 2.2.3.3.9.6.

El planteamiento del estudio se basó en el cálculo y la comparación de las riquezas y abundancias de las comunidades hidrobiológicas para cada uno de los puntos, con el fin de identificar la estabilidad o causas que estuvieran moldeando cada comunidad. Además de los análisis respectivos de riqueza, abundancia, composición taxonómica se calcularon diversos índices ecológicos. El análisis estadístico estuvo determinado por los índices ecológicos de Shannon-Wiener (H'), Pielou (J') y Simpson (λ). La metodología de cada índice se expone a continuación:

- Índice de Shannon-Wiener (H'):

$$H' = -\sum p_i \ln p_i$$

Donde P_i : es la abundancia proporcional de la especie i , es decir el número de individuos de la especie i , dividido entre el número total de individuos

- Equidad de Pielou (J'):

$$J' = \frac{H'}{H'_{\max}}$$

Donde la H'_{\max} corresponde a $\ln(S)$, siendo el S el número de especies encontrado.

- Dominancia de Simpson (λ)

$$\lambda = \sum p_i^2$$

La dominancia calcula la probabilidad de que al sacar dos individuos al azar de la población estos correspondan a la misma especie, a diferencia del índice de Shannon da más importancia a las especies más comunes.

Se realiza un Análisis de Correspondencias Canónicas (ACC) que permitirá correlacionar los datos fisicoquímicos con la riqueza de individuos de cada grupo.

2.3.3.2. Medio Socioeconómico

Para la realización del presente estudio, se privilegia la metodología general para la elaboración y presentación de Estudios Ambientales (MADS - ANLA, 2018) y los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA en proyectos de Explotación Minera - (MADS - ANLA, 2016).

2.3.3.2.1. Información y participación

El Estudio de Impacto Ambiental para la modificación de la licencia ambiental del título minero 6823, en este aspecto en particular, se guió bajo los lineamientos de participación y socialización establecidos en los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental -EIA- Proyectos de Explotación Minera, según Resolución 2206 del 27 de diciembre de 2016 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, con participación de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA); en la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales, de julio de 2018, según Resolución 1402 del 25 de julio de 2018 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, y con participación de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA); y en la Guía de Participación Ciudadana para el Licenciamiento Ambiental de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) de julio de 2018. Igualmente se fundamentan en el derecho constitucional de la ciudadanía colombiana a la participación, la cual se garantizó a través de la interacción con la comunidad del corregimiento de Payandé, CORTOLIMA y representantes de la administración municipal de San Luis. A los diferentes agentes implicados se les explicó desde el inicio de las labores del estudio. los alcances del proyecto, sus implicaciones ambientales y las medidas de manejo que serán implementadas por CEMEX Colombia S.A una vez sea aprobada la respectiva modificación de licencia.

Los lineamientos de participación se han entendido como el conjunto de directrices, acciones y actividades que ejecutó la empresa consultora INGETEC, conjuntamente con CEMEX Colombia S.A, para comunicar, informar y construir de forma conjunta el Plan de Manejo Ambiental del título minero 6823. Esto se logró mediante tres etapas de socialización: El primer momento consistió en socializar la información relacionada con las características técnicas, actividades y alcance tanto del proyecto como de los estudios ambientales; el segundo momento abordó la identificación y socialización de los impactos asociados a la modificación y medidas para su manejo ambiental en cada medio (social, biótico y abiótico) de manera participativa; el tercer momento, por su parte, radicó en la socialización de los resultados del EIA, con actores institucionales, sociales y comunidad en general, con el fin de realizar las modificaciones o ajustes, previo a la radicación del estudio ante la autoridad ambiental, para este caso CORTOLIMA.

El proceso de participación y consulta se desarrolló mediante la aplicación de metodologías de estudio cuantitativas, cualitativas y técnicas participativas, buscando incentivar un proceso de exploración y reconocimiento con la participación activa de la comunidad. De esta manera, se buscó que los resultados del estudio (impactos y medidas de manejo) tuvieran un análisis teórico y comunitario, el cual incluyera el punto de vista de la comunidad de Payandé. Sin

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

embargo, debido a la contingencia producida por el SARS-CoV2 o COVID-19, los procesos de participación y socialización con las comunidades tuvieron que reconfigurarse y adaptarse a las condiciones impuestas por la pandemia. Esto representó un desafío para todo el equipo profesional social de INGETEC, los profesionales de CEMEX y la comunidad misma al pensar, aceptar y ejecutar otras maneras de participación y socialización del EIA.

2.3.3.2.1.1. Primer momento participativo

El primer momento de socialización tuvo como fin socializar la información relacionada con las características técnicas, actividades y el alcance tanto del proyecto como de los estudios ambientales a desarrollar. Por lo cual, en primera instancia, fue necesario identificar los diferentes grupos de interés de la comunidad de Payandé, y los actores institucionales y ambientales; esta información fue suministrada por el equipo social de CEMEX Colombia S.A y por los estudios ambientales anteriores (2016), adelantados por INGETEC. A nivel municipal, se realizó una gestión de acercamiento y búsqueda de información en la Alcaldía Municipal, con el propósito de socializar las actividades a adelantar con respecto al estudio para la modificación de la licencia y PMA de la mina La Esmeralda, así como la obtención de información secundaria en los diferentes despachos municipales; cabe aclarar que por la incidencia de COVID-19 durante la realización de este proceso, la gestión se realizó a través canales telefónicos, virtuales y con la ayuda de equipo social en campo de CEMEX. Dentro de las actividades realizadas se encuentran:

- Búsqueda y verificación del directorio institucional de la Administración Municipal
- Contacto telefónico e invitación vía correo electrónico a los funcionarios de la Alcaldía Municipal, integrantes del Concejo Municipal y de la Personería Municipal para gestionar su acompañamiento en la primera reunión virtual de socialización del estudio
- Trámite y consecución de información secundaria

Al nivel de la comunidad, se realizó igualmente una gestión de acercamiento e identificación de actores interesados y líderes del corregimiento, a partir de la información compilada en la Alcaldía y de la revisión de la base de datos y directorios proporcionados por CEMEX Colombia S.A. Con esta estrategia se logró identificar los siguientes grupos de interés:

Institucionales:

- Funcionarios de la Alcaldía Municipal de San Luis
- Concejo Municipal de San Luis
- Personería de San Luis
- CORTOLIMA

Comunitarios:

- Junta de Acción Comunal de Payandé
- Junta Administradora Local (JAL)
- Líderes del corregimiento interesados en la operación minera
- Comunidad que desarrolla pequeña y mediana minería
- Emprendedores CEMEX
- Personal educativo y religioso
- Diferentes sectores de la comunidad en general

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

Posterior a la identificación de los actores interesados, se decidió hacer uso de los canales virtuales para iniciar la socialización del proyecto, teniendo en cuenta las restricciones impartidas por las autoridades como consecuencia de la incidencia de COVID -19 en el municipio de San Luis y en el corregimiento de Payandé. En cada En cada reunión virtual participó el equipo de CEMEX Colombia S.A, INGETEC y los miembros de los respectivos grupos de interés, se hizo un registro fotográfico y fílmico, y se envió un formulario por google forms para que los participantes registraran su asistencia.

Teniendo en cuenta las limitaciones de gran parte de la población para participar activamente en este tipo de reuniones, se optó por implementar una herramienta de comunicación e información masiva de amplio uso y conocimiento por parte de la comunidad del municipio y el corregimiento, por lo cual, se implementó la estrategia de producir un programa de televisión en el canal comunitario de Payandé, con difusión en San Luis, con el fin de socializar los pormenores de la modificación de licencia y actividades relacionadas con el estudio de impacto ambiental, y así, una vez terminada las jornadas virtuales, se empezó a presentar la información respectiva, mediante una programa de televisión transmitido por Payandé TV, en la franja informativa del fin de semana.

Con el fin de lograr que el programa de televisión tuviera acogida y fuera visto por el mayor número de personas posible en el corregimiento de Payandé, e incluso en el municipio de San Luis, se contó con varias estrategias de difusión. Se planearon y se utilizaron tres herramientas diferentes para promocionar la transmisión: i) Instalar una serie de afiches en los lugares más frecuentados por la comunidad ii) Hacer publicidad a través de perifoneo por todo el centro poblado de Payandé, iii) Transmitir comerciales por el Canal Comunitario Payandé TV. De esta manera, sumado al horario estratégico de presentación del programa y repetición al día siguiente de su emisión original, se garantizó tener el mayor alcance posible.

Como complemento a esta estrategia y en aras de garantizar la comunicación en doble vía, se abrió un espacio de preguntas e inquietudes, a través de correo electrónico, vía telefónica o de manera presencial, de manera que se pudiera recopilar y dar respuesta a las inquietudes surgidas como resultado de las reuniones virtuales y programa de televisión transmitido con la información de inicio del EIA. Para lo cual se emitió un segundo programa en el cual, a manera de entrevista se dio respuesta a las principales inquietudes recibidas en los diferentes encuentros realizados con la comunidad e instituciones, y recibidas a través de correo electrónico o presencialmente.

2.3.3.2.1.2. Segundo momento momento participativo

La segunda fase de socialización tuvo como objetivo identificar de manera participativa los posibles impactos, que la modificación de Licencia Ambiental del TM 6823 del complejo minero La Esmeralda de CEMEX Colombia S.A podría tener en la comunidad, en los medios biótico, abiótico y socioeconómico. Asimismo, tenía el objetivo de promover y recoger propuestas por parte de los participantes, con el fin de determinar diferentes medidas de manejo que permitieran desde su punto de vista, prevenir, mitigar, corregir o compensar impactos.

Para cumplir con el objetivo de esta etapa, se debía realizar un Taller de Impactos. Sin embargo, esta estrategia debía adaptarse a las restricciones actuales por el COVID-19, así que se planeó hacer cinco sesiones en diferentes días y horas, con el fin de tener el mayor alcance posible con la comunidad. También se decidió hacer una convocatoria abierta y otra cerrada, se quería que los líderes y representantes de la comunidad tuvieran una invitación especial; al igual que se deseaba la participación general de las y los ciudadanos de Payandé. Se utilizaron varias estrategias de difusión: perifoneo, carteles y jornada de inscripción; de tal manera que la gente estuviera enterada con suficiente tiempo de anticipación y pudiera inscribirse.

Las convocatorias cerradas estuvieron enfocadas a tres grupos de interés:

- JAC-JAL y Corregiduría
- JAC-JAL Veredas de Payandé
- Emprendedores

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

La razón de esta decisión se basó en la importancia de la presencia activa de los líderes y representantes de la comunidad dentro del desarrollo del proyecto, tanto del centro poblado como de las veredas del corregimiento. Por otro lado, los emprendedores también se incluyeron en la convocatoria cerrada debido a su importancia para la reactivación de la economía local. Esta convocatoria se llevó a cabo por medio telefónico por parte del equipo social de CEMEX.

Por su parte, la convocatoria abierta estuvo enfocada a invitar a participar de manera activa en el proceso del EIA a toda la comunidad de Payandé. Para esto se aplicaron diversas estrategias, como instalación de afiches, perifoneo, y una jornada de inscripción presencial con el fin de organizar los espacios de manera que se pudiera tener control de aforo.

La metodología propuesta para el segundo momento de socialización se orientó a presentar de forma clara las actividades propias de la modificación de licencia ambiental, y promover la participación de los asistentes en el reconocimiento e identificación de impactos y medidas de manejo frente a esta. La propuesta metodológica consideró y capitalizó las experiencias de los procesos de participación adelantados en el pasado y los realizados en el marco del presente EIA, de igual manera vinculó y articuló las particularidades y dinámicas de las comunidades mediante el reconocimiento de elementos propios del territorio, por lo cual se planteó como elemento central del ejercicio, la construcción colectiva sobre un árbol de mango. La parte inicial de la reunión se realizó mediante un método expositivo de los aspectos geográficos y técnicos de la modificación, seguido de un momento de interacción entre los asistentes mediante una actividad lúdica que diera apertura al taller de identificación de impactos y medidas de manejo en el que se aplicó una metodología de análisis de contenido en un escenario participativo, para realizar finalmente una plenaria.

2.3.3.2.1.3. Tercer momento momento participativo

El tercer momento tuvo como objetivo socializar a las Autoridades Municipales, comunidades, líderes comunitarios, y actores clave, la descripción y generalidades del Proyecto, los impactos y las medidas de manejo planteadas desde el Proyecto, y resultados del Estudio de Impacto Ambiental.

Con este fin se implementaron las siguientes estrategias de comunicación y participación, para garantizar un proceso participativo tanto con autoridades municipales, gobernaciones y autoridades ambientales regionales, como con comunidades, líderes comunitarios, actores clave y demás interesados acogiendo la metodología para organización de los espacios y participantes como se realizó para el segundo momento, integrando nuevamente los siguientes grupos de interés:

Institucionales:

- Funcionarios de la Alcaldía Municipal de San Luis
- Concejo Municipal de San Luis
- Personería de San Luis
- CORTOLIMA

Comunitarios:

- Junta de Acción Comunal de Payandé
- Junta Administradora Local (JAL)
- Líderes del corregimiento interesados en la operación minera
- Comunidad que desarrolla pequeña y mediana minería
- Emprendedores CEMEX
- Personal educativo y religioso
- Diferentes sectores de la comunidad en general

2.3.3.2.2. Caracterización

Desde la perspectiva social, se planteó la realización del estudio desde un enfoque territorial que tuviera como centro, la participación de los diferentes actores en el territorio, pero que a su vez permitiera dar cuenta de la diversidad de opiniones y posturas de los diversos actores de interés identificados.

Este enfoque territorial participativo es útil para el establecimiento de metodologías y herramientas durante los procesos de definición de área de influencia, caracterización, evaluación de impactos, zonificación y proposición de medidas de manejo. Desde el punto de vista metodológico, para su elaboración se utilizó como primer insumo la "Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales 2018", y los "Términos de referencia para la Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA en proyectos de Explotación Minera - (MADS - ANLA, 2016)".

Así las cosas, a partir de lo indicado en los TdR de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales referenciados, se lleva a cabo la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental, integrando las temáticas desde el insumo obtenido de fuentes oficiales, con el abordaje de la información a nivel de corregimiento a partir de los ejercicios de acercamiento, y participación con la comunidad y las autoridades municipales. De igual manera, la información obtenida es revisada y complementada buscando dar el mayor significado posible en relación con la actualidad del contexto territorial, ejercicio que necesariamente se alimenta del trabajo de campo; el cual es de vital importancia para lograr el entendimiento del territorio en su contexto y las tendencias del territorio.

En la etapa de planeación para el abordaje del medio socioeconómico se realizarán las siguientes actividades:

- Definición de las metodologías a implementar
- Revisión de información secundaria
- Preparación y elaboración de oficios con los siguientes propósitos:
 - Presentar oficialmente ante autoridades locales, personería y actores institucionales y comunitarios del a la empresa INGETEC consultor responsable de la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental.
 - Comunicar las acciones a desarrollar por parte de INGETEC en el territorio, así como la descripción de los tiempos estimados para los diferentes escenarios de encuentros con los líderes, actores institucionales y comunitarios.
 - Recibir las inquietudes, sugerencias y/o aportes de relacionamiento y de introducción al territorio por parte de los actores institucionales con quienes sea posible interactuar.

Así, para el desarrollo de los diferentes componentes se requieren entre otros elementos visitas de campo, que incluyeron la aplicación de herramientas tales como: cartografía social, fichas territoriales, encuestas, diálogos informales, entrevistas semi-estructuradas, inventario y georeferenciación de infraestructura, observación y recorridos de caracterización, entre otros.

Como complemento al proceso de socialización con las comunidades, y con el fin de complementar, actualizar y fortalecer la información para la caracterización del área de influencia, se llevó a cabo con el corregimiento de Payandé como área de influencia y sectores veredales un taller de recolección de información primaria a partir de los siguientes instrumentos:

Taller de cartografía social: cuya metodología pedagógica permite a la comunidad, de forma lúdica, reconstruir su historia y dinámicas del corregimiento, lo que alimenta el estudio y captura la información cualitativa y cuantitativa. Complementa y fortalece la información recopilada en la ficha de recolección de información. El objetivo se centra en establecer una representación gráfica del territorio y de los elementos que lo conforman (límites, recursos naturales, servicios, sitios de interés cultural y económico, entre otros) estableciendo relaciones entre los diferentes elementos.

Para la cartografía social se manejaron los siguientes ejes temáticos:

- a. Identificación de referentes geográficos (puntos cardinales, límites, vías, ríos, montañas, barrios, sectores, etc)
- b. Identificación de referentes institucionales, infraestructura y organizaciones (Iglesias, colegios, organizaciones comunitarias, empresas, etc.)
- c. Identificación de referentes poblacionales o sociales (Familias más antiguas, líderes, etc.)
- d. Identificación de lugares de comercio (tiendas, restaurantes, supermercados, etc.)
- e. Identificación de factores de riesgo en la comunidad
- f. Identificación de lugares de referencia cultural

Calendario cultural: instrumento que permite identificar diferentes actividades desarrolladas por las comunidades en el año, en este sentido se logra recopilar información relacionada con actividades culturales, ciclos económicos, festividades, entre otros. (Ver Figura 47)

Línea de tiempo: permite hacer un recorrido histórico por los acontecimientos más relevantes en la unidad territorial y los cambios que marcaron para la comunidad. (Ver Figura 47)

Encuestas o entrevistas: las cuales permiten la profundización de la participación y el fortalecimiento en la recolección y análisis de la información.

Fichas territoriales: facilitan la profundización y validación de información secundaria a través del conocimiento de los mismos pobladores acerca de temas específicos, permiten la actualización y complementación de la información secundaria en los componentes cultural, económico, demográfico, espacial e institucional que se tenía de las unidades territoriales del área de influencia. Mediante este ejercicio se registrarán y sistematizarán datos a través de un documento previamente estructurado para la obtención de información primaria, la cual será trabajada de forma conjunta con las comunidades localizadas en el área de influencia del medio socioeconómico. Las temáticas que se abordan con las fichas son las siguientes:

- Temática económica: estructura comercial, redes de comercialización, cadenas productivas, tendencias de empleo (corto y mediano plazo), actividades económicas relacionadas con el turismo y/o recreación, actividades agropecuarias.
- Temática cultural: dependencia económica y sociocultural, tradiciones económicas, tecnológicas, organizativas, religiosas, artísticas y otras, usos tradicionales de recursos naturales y manejo del entorno, espacios de tránsito y desplazamiento.
- Temática político organizativa: partidos políticos, relaciones de poder, organizaciones privadas, sociales y comunitarias. Además de situaciones de conflicto planteadas por autoridades, comunidades y organizaciones que han manifestado una posición en contra del licenciamiento del proyecto.
- Temática demográfica: Dinámicas de poblamiento y dinámicas poblacionales.
- Temática espacial: presencia, demanda, uso y aprovechamiento de servicios públicos y sociales
- Servicios ecosistémicos: este instrumento está enfocado a identificar por medio de la ficha, la relación que tienen las comunidades con los bienes y servicios ecosistémicos de su entorno, determinado el nivel de dependencia hacia ellos, al igual que la tendencia hacia el futuro
- Percepción del paisaje: cambios de paisaje, percepción, disfrute.

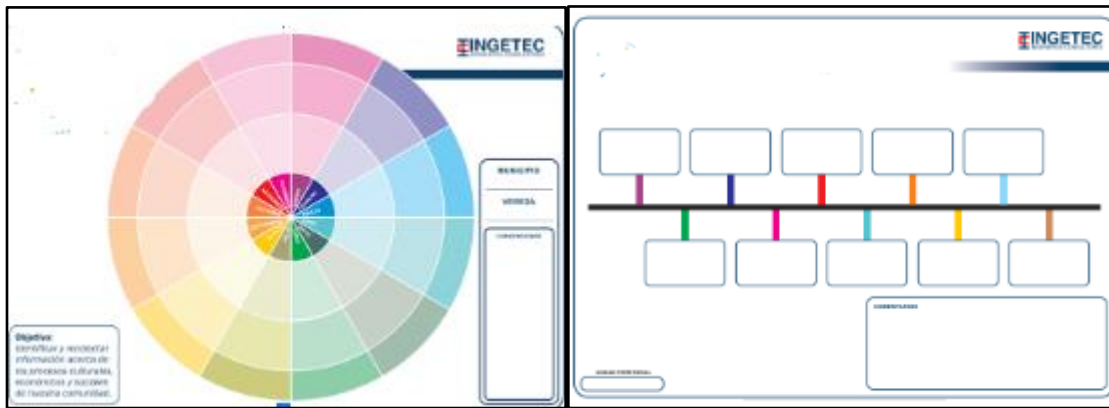


Figura 47. Formato calendario cultural y línea de tiempo

2.3.3.3. Servicios Ecosistémicos

Para caracterizar los servicios ecosistémicos presentes en el área de influencia, se realizará el siguiente procedimiento metodológico.

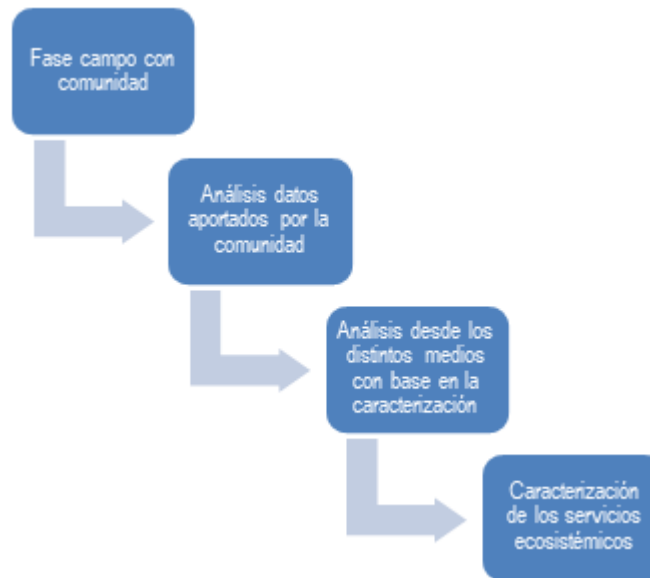


Figura 48. Metodología desarrollo servicios ecosistémicos

2.3.3.3.1. Fase de campo comunidad

De acuerdo con las diferentes percepciones y posiciones que la comunidad local tiene respecto al lugar en que habita, la obtención de la información referente a servicios ecosistémicos requiere la indagación por medio de sondeos y charlas informativas con los habitantes o líderes de las unidades territoriales del área de influencia. La actividad se enfocó en la identificación de percepciones y elementos relacionados con los servicios ecosistémicos que la comunidad reconoce en su entorno.

2.3.3.3.2. Análisis de datos aportados

Con la realización de las entrevistas semiestructuradas a las comunidades de la unidad territorial corregimiento de Payandé, se procedió a describir los resultados obtenidos para cada ítem contenido en el formato, resaltando el tema de la dependencia de los bienes y servicios para las comunidades, aspecto que se desarrolló en oficina.

2.3.3.3.3. Análisis desde los distintos medios con base en la caracterización

Con el fin de realizar una identificación adecuada de los servicios ecosistémicos presentes en el área de influencia del proyecto, se integró la información recopilada en los capítulos 5.1, 5.2 y 5.3, caracterización del medio biótico, abiótico y socioeconómico, haciendo énfasis sobre aquella información de línea base que denota o comprende un SSEE (servicio ecosistémico), con la revisión bibliográfica sobre los SSEE asociados a los ecosistemas identificados, para conformar una lista de aquellos presentes en la zona en referencia. Además, en este numeral se establece la dependencia del proyecto con los servicios ecosistémicos del área y el impacto que este podría causar sobre los mismos.

El nivel de dependencia del proyecto se determinó teniendo en cuenta la información relacionada en el capítulo del estudio, Demanda, Uso Aprovechamiento y/o Afectación de Recursos Naturales, pues se describe todo lo requerido para la construcción y operación del proyecto.

Tabla 74. Definición valores dependencia del proyecto

Nivel de dependencia o importancia	Descripción
Alta	Son las actividades que hacen parte integral y central del proyecto y por tanto requieren directamente de este servicio.
Media	Algunas actividades secundarias asociadas al proyecto dependen directamente de este servicio ecosistémico pero podría ser reemplazado por un insumo alternativo.
Baja	Aquellas actividades principales o secundarias que no tienen dependencia directa con el servicio ecosistémico.

Para determinar el nivel de impacto que el proyecto genera sobre la prestación de un servicio, ésta se obtiene a partir de la Evaluación Ambiental donde se lleva a cabo la identificación, descripción y evaluación de los impactos positivos y negativos que se pueden causar sobre los distintos componentes/medios ambientales; la evaluación del impacto del proyecto se calificó en las categorías alto, medio o bajo

Tabla 76. Nivel de impacto del proyecto

Categoría del impacto	Descripción
Alto	Incluye las categorías relacionadas en la evaluación de impactos de los correspondientes a significativos y muy significativos.
Medio	Agrupar las categorías de impacto referidas a medianamente significativo de los impactos negativos y positivos, respectivamente.
Bajo	Contiene sólo las categorías de impacto que indican los valores más bajos de impactos negativos y positivos, es decir poco significativos.

De esta manera se cumple con lo señalado en la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales definidas por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales en 2018, acerca de establecer las categorías del impacto del proyecto.

2.3.3.3.4. Caracterización de los servicios ecosistémicos

Con la información reunida se muestra la caracterización de los bienes y servicios en el área de influencia del proyecto, con sus respectivas conclusiones.

2.3.4. Zonificación Ambiental

La zonificación ambiental consiste en la identificación de la sensibilidad ambiental del territorio ante una intervención. Esta sensibilidad se obtiene mediante la agrupación temática en áreas homogéneas, cuyas características las hacen sensibles a fenómenos naturales y antrópicos que conviene delimitar y analizar para establecer la zonificación ambiental. Esta agrupación de áreas se realiza desde la información levantada en la línea base para el área de influencia de cada uno de los medios (abiótico, biótico y socioeconómico), sus componentes o atributos y para su identificación se acogen las categorías definidas para delimitación y análisis en el Numeral 5 de las especificaciones técnicas del estudio de impacto ambiental y del plan de manejo ambiental de la Metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales (MADS - ANLA, 2018).

Inicialmente se realiza una migración de los atributos específicos de los factores o elementos del ambiente que se consideran más relevantes desde la caracterización ambiental, hacia atributos de sensibilidad ambiental. Seguidamente se realiza una superposición de esta información, mediante álgebra de mapas, agrupándolos en áreas homogéneas, las cuales a su vez se reagrupan en los tres medios que conforman el ambiente (abiótico, biótico y socioeconómico) para finalmente ser consolidadas en un mapa de zonificación ambiental del área de influencia del proyecto.

Los pasos para la zonificación ambiental se establecen a continuación:

Paso 1. El primer paso de la metodología consiste en identificar dentro de los grupos de áreas o unidades indicadas por la autoridad ambiental en los Términos de referencia y en la Metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales de 2018, las áreas existentes y caracterizadas en el área de influencia del proyecto. Realizado este ejercicio se continúa con el Paso 2.

Paso 2. Acorde con los lineamientos y conceptos claves referenciados en la Metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales de 2018 y las definiciones y conceptos presentados en este documento, se establecen desde la caracterización de línea base en cada área seleccionada en el paso anterior, los factores para el análisis de la zonificación en cada medio (abiótico, biótico y socioeconómico).

La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales -ANLA- define “Factor” estableciendo que “Los componentes tienen una serie de atributos que se denominan Factores. Por ejemplo, un factor del componente hidrológico puede ser el volumen de agua y otro más el caudal” (MADS,2018). La Metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales de 2018 lo define como: “ atributo de un componente ambiental que puede ser descrito mediante parámetros.”

Para hacer más didáctica la descripción de la metodología se presentan como ejemplos los factores y condiciones de caracterización para las áreas o unidades de zonificación la susceptibilidad a inundaciones y las coberturas vegetales; se presenta también el medio en el que estas áreas o unidades se agrupan (Tabla 77).

Tabla 77. Ejemplos de definición de factores – atributos por unidad de zonificación

Medio	Unidad de zonificación	Factor/Atributo	Condición de caracterización
Abiótico	Áreas susceptibles a eventos amenazantes	Susceptibilidad a inundaciones	Riesgo alto de inundación
			Riesgo bajo de inundación
			No susceptible a inundación
Biótico	Áreas de Especial Interés Ambiental (AEIA)	Coberturas vegetales	Vegetación secundaria y/o en transición
			Mosaico de pastos con espacios naturales
			Mosaico de pastos y cultivos

6.4.2. Categorización de la sensibilidad.

Paso 3. Identificados en los pasos anteriores las áreas con las que se realizará la zonificación ambiental para cada medio y los factores para cada una de estas áreas, en este paso se establecen las categorías de sensibilidad correspondientes a cada uno de los factores/atributos en análisis, aclarando que cada uno de estos factores o atributos del ambiente han sido previamente analizados y espacializados en la caracterización de línea base y el paso a seguir en esta metodología es migrar esta condición de caracterización hacia una categoría de sensibilidad ambiental.

Las categorías de sensibilidad que se utilizan en esta metodología de zonificación ambiental corresponden a un rango de sensibilidad que va desde una potencialidad hasta una fragilidad ante la intervención, pasando por tres grados

intermedios de sensibilidad (sensibilidad baja, sensibilidad media y sensibilidad alta), tal como se presenta en la Figura 1 y en la Tabla 78:

Tabla 78. Categorías de sensibilidad establecida en la Zonificación Ambiental

Categoría de sensibilidad para zonificación	
	Fragilidad
	Alta sensibilidad
	Mediana Sensibilidad
	Baja sensibilidad
	Potencialidad

Para cada uno de los factores analizados se asigna la categoría de sensibilidad correspondiente por parte del especialista, categoría que responde al nivel de “resistencia” que ofrece el factor al cambio ante disturbios externos.

La categoría de sensibilidad resulta de la aplicación de criterios que cada especialista define de acuerdo con el entendimiento de cada área, de la normatividad ambiental vigente y de la respuesta de cada componente a la intervención.

Los criterios definidos para establecer los niveles o categorías de sensibilidad se muestran a lo largo del documento en los apartes en donde se describen cada uno de los temas y de las áreas.

Paso 4. Una vez establecidos los criterios para las categorías o niveles de sensibilidad, se realiza la espacialización de cada área, factor y medio en función de su nivel de sensibilidad y se calculan los porcentajes y hectáreas, en relación con el área de influencia correspondiente. En este paso se presenta de manera resumida la condición del atributo identificado en la línea base y las consideraciones utilizadas para asignarle la categoría de sensibilidad, tal como se presenta en el ejemplo de la Tabla 79. Se indica en cada tema la condición de caracterización establecida para asignar la categoría de sensibilidad.

Tabla 79. Ejemplo de determinación de categorías de sensibilidad para los factores – atributos definidos

Medio	Unidad de zonificación	Factor / Atributo	Condición de caracterización	Categoría de sensibilidad para zonificación
Abiótico	Áreas susceptibles a eventos amenazantes	Susceptibilidad a inundaciones	Riesgo alto de inundación	Alta sensibilidad
			Riesgo bajo de inundación	Baja sensibilidad
			No susceptible a inundación	Potencialidad
Biótico	Áreas de Especial Interés Ambiental (AEIA)	Coberturas vegetales	Vegetación secundaria y/o en transición	Alta sensibilidad
			Mosaico de pastos con espacios	Mediana sensibilidad

Medio	Unidad de zonificación	Factor / Atributo	Condición de caracterización	Categoría de sensibilidad para zonificación
			naturales	
			Mosaico de pastos y cultivos	Baja sensibilidad

6.4.3. Superposición de información temática y obtención de planos intermedios.

Paso 5. Una vez categorizados los factores y sus atributos desde su sensibilidad ambiental y obtenida la zonificación para cada mapa temático (factor), se realiza superposición de la información temática, utilizando sistemas de información geográfica (SIG) mediante el cruce de capas de categoría de sensibilidad (álgebra de mapas) para cada factor analizado. Lo anterior siguiendo lo requerido en los términos de referencia y en la Metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales de 2018 en donde se indica “La sensibilidad del área de influencia debe ser el resultado de la agregación de la sensibilidad ambiental de los factores que constituyen los componentes ambientales de los medios abiótico, biótico y socioeconómico.”

La metodología seguida para realizar la agregación de la información como se indicó consistió en superponer por pares los mapas de categorías de sensibilidad de cada área que integran un tema que representa cada medio. Este ejercicio se realizó con el sistema de información geográfica ArcGis mediante álgebra de mapas.

Los niveles y categorías de sensibilidad y el resultado de su superposición o agregación se muestran en la Tabla 80 Al final de la descripción del Paso 7, se describen los criterios utilizados para establecer el resultado de los cruces o agregaciones de los niveles de sensibilidad.

Paso 6. Las áreas indicadas en la Metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales de 2018 que son las que “... cuyas características las hacen sensibles a fenómenos naturales y antrópicos, que conviene delimitar y analizar, para establecer la zonificación ambiental:” son las indicadas a continuación y cuya agrupación genera un mapa que sintetiza la información de las áreas que la integran.

Esta superposición genera como resultado seis mapas:

Mapa 1. Áreas degradadas en recuperación ambiental o en las que se prevé adelantar acciones de

- Áreas en conflicto por uso del suelo
- Áreas en Recuperación Ambiental EOT San Luis
- Áreas de sensibilidad atmosférica por calidad del aire
- Áreas de restauración de la mina La Esmeralda

Mapa 2. Áreas de riesgo natural

- Áreas susceptibles a ocurrencia procesos de remoción en masa
- Áreas potencialmente inundables
- Área de riesgo volcánico

Mapa 3. Áreas de Especial Interés Ambiental (AEIA) Se obtiene de la superposición de los mapas relacionados, los cuales corresponden en el presente estudio a los mapas de sensibilidad producto de la migración de atributos desde los mapas de:

- Coberturas vegetales
- Grado de conectividad

- Ecosistemas acuáticos
- Unidades de paisaje y visibilidad

Mapa 4. Áreas con reglamentación especial definida en los instrumentos de ordenamiento y planificación del territorio

- Aislamiento forestal protector
- POMCA río Coello
- POMCA río Luisa
- EOT San Luis

Mapa 5. Areas destinadas a la producción económica agropecuaria, forestal, pesquera, acuícola, minera, entre otras

- Actividad agrícola
- Actividad pecuaria
- Actividad acuícola
- Actividad minera
- Actividad comercial
- Tamaño de los predios

Mapa 6. Áreas de importancia social tales como asentamientos humanos y áreas con infraestructura física y social y de importancia histórica y cultural

- Asentamientos humanos
- Áreas con infraestructura física de importancia social y cultural
- Infraestructura vial y de transporte

Paso 7. Integración de la información de zonificación por Medios: Como se indicó en el paso 5, de acuerdo con la información de cada área indicada en la Metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales de 2018, estas se agrupan en cada uno de los Medios (abiótico, biótico y socioeconómico) de acuerdo con la información contenida en la caracterización (línea base) de cada medio.

Dicho de otra forma, los temas desarrollados en cada uno de los medios y que alimentan la información de los grupos de áreas indicadas en la Metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales de 2018, son los que una vez agrupados reflejan la zonificación ambiental por medios.

Ejemplo: para la unidad de zonificación de Áreas de Especial Interés Ambiental (AEIA), en el medio biótico, ecosistemas terrestres, el análisis se realiza con las coberturas vegetales existentes, las Áreas protegidas y las áreas definidas como Prioridades de conservación nacional por el CONPES 3680, a cada una de las cuales se les ha asignado una categoría de sensibilidad ante la intervención de las definidas (fragilidad, alta sensibilidad, mediana sensibilidad, baja sensibilidad y potencialidad). Estos mapas se cruzan con el apoyo de la herramienta ArcGis, mediante álgebra de mapas, tal como se presenta en la Tabla 80 El criterio utilizado para establecer el resultado de los cruces o de la agregación de los mapas, es que la categoría de mayor sensibilidad prima sobre las demás. Así la fragilidad prima sobre las demás categorías, la sensibilidad alta sobre las más bajas a excepción de la fragilidad; el criterio para obtener los resultados de los cruces se representa en la Tabla 80 La justificación de este método es que al tratarse de sensibilidad de áreas, es la mayor sensibilidad afecta al área, independientemente de los niveles de sensibilidad asociado a otros medios, componentes o factores; si bien este grado de sensibilidad no siempre debe limitar actividades en el área o en el espacio físico zonificado, es mediante la revisión de las condiciones particulares como se identifican las posibilidades de actuación en esta zona. Para efectos de la representación de los niveles de sensibilidad en mapas, se utilizan los colores de rojo a verde, representando el rojo la fragilidad (mayor nivel de sensibilidad) y el verde la potencialidad (menor nivel de sensibilidad) y en colores intermedios los otros niveles de sensibilidad.

Tabla 80. Matriz de superposición para obtención de zonificación

	Fragilidad (F)	Alta Sensibilidad (AS)	Mediana Sensibilidad (MS)	Baja sensibilidad (BS)	Potencialidad (P)
Fragilidad (F)	F	F	F	F	F
Alta Sensibilidad (AS)	F	AS	AS	AS	AS
Mediana Sensibilidad (MS)	F	AS	MS	MS	MS
Baja sensibilidad (BS)	F	AS	MS	BS	BS
Potencialidad (P)	F	AS	MS	BS	P

De este ejercicio resulta un mapa por cada una de las seis categorías referidas. Estos mapas corresponden dentro de la metodología a mapas intermedios, los cuales, para el entendimiento del proceso, son presentados como figuras en este capítulo y serán la base para la obtención de la zonificación ambiental de cada uno de los medios, como se registra en los pasos siguientes.

6.4.4. Segunda superposición de mapas.

Paso 8. Corresponde a la superposición de los mapas intermedios obtenidos en el paso anterior para obtener, en un siguiente nivel de agrupación, los mapas por cada medio y, a partir de ellos, el mapa final de zonificación. Se obtienen entonces los mapas de zonificación por medio (biótico, abiótico y socioeconómico), los cuales son resultado de la superposición de los mapas intermedios de zonificación del paso anterior y finalmente un mapa único de zonificación ambiental, resultante de la superposición de los mapas de zonificación por medio, en la secuencia que se grafica a continuación, Figura

49

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

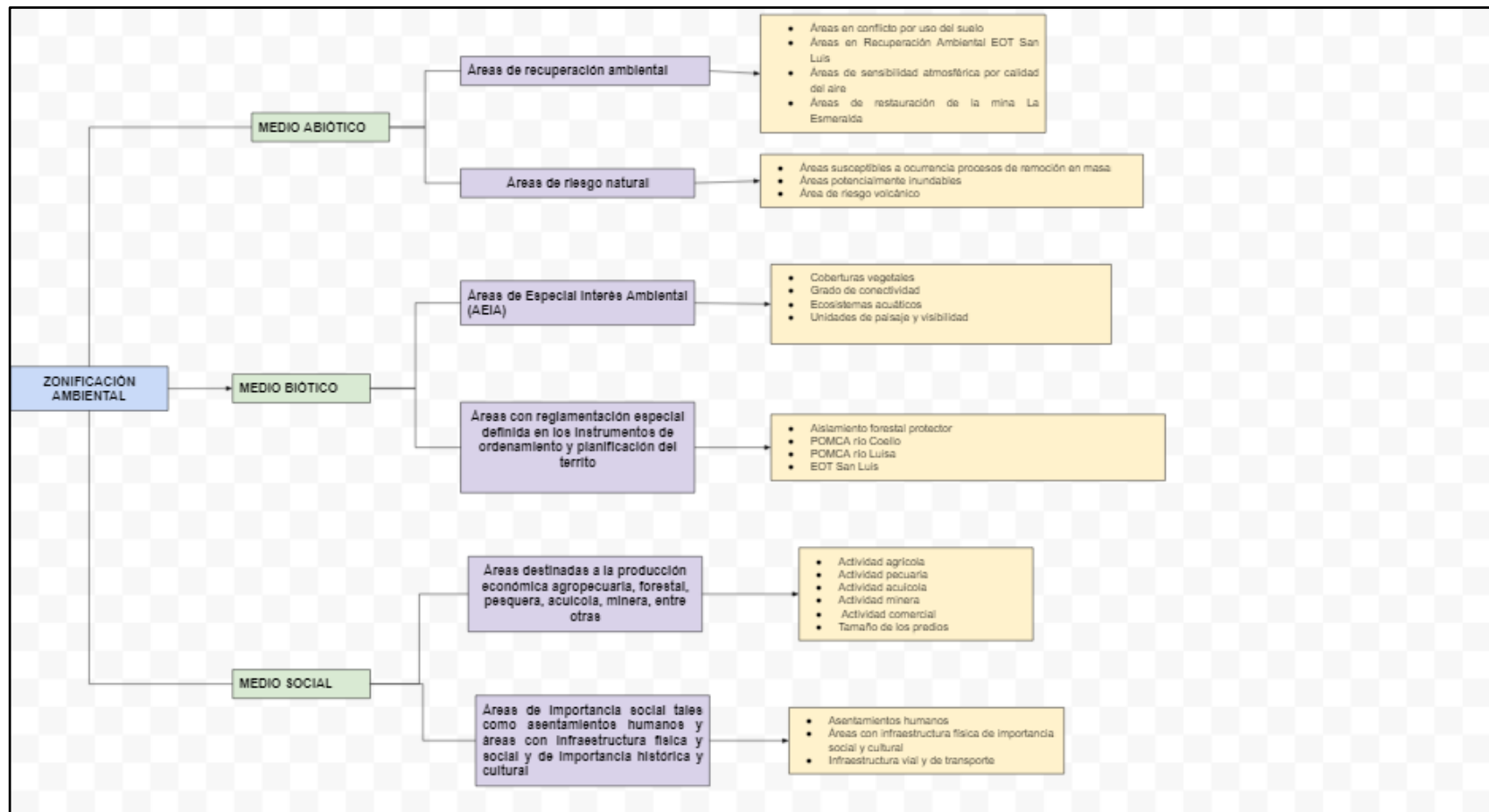


Figura 49. Obtención de la Sensibilidad Ambiental en el territorio del Área de Influencia del proyecto.

6.4.5. Taller de especialistas.

Paso 9. Una vez generada la zonificación ambiental del territorio mediante el procedimiento de superposición de mapas se realiza un taller entre los especialistas que han participado en la construcción de la línea base y en la elaboración de la zonificación ambiental, con la finalidad de revisar conjuntamente el resultado generado en la superposición de mapas, para corroborar que responde al conocimiento obtenido del territorio. De no responder a los resultados de la evaluación conjunta, identificar cual es el factor, atributo, criterio utilizado para establecer el nivel o la categoría de sensibilidad dado y que está generando dudas y evaluar su pertinencia en el análisis conjunto para corroborar o replantear el análisis realizado. De ser necesario, volver a correr la superposición de mapas, una vez ajustado el valor de sensibilidad que genera incoherencia.

6.4.6. Presentación de los resultados.

Paso 10. Como resultado del proceso se obtiene la espacialización de la sensibilidad ambiental para el área de influencia de cada medio y la sensibilidad ambiental conjunta para el territorio. Esta espacialización de áreas se presenta tabulada y cartografiada -en formato plano- para cada uno de los medios (abiótico, biótico y socioeconómico) y para la zonificación ambiental final del área de influencia; los mapas resultantes de la migración de atributos desde los mapas temáticos y los mapas de las unidades de sensibilidad (mapas intermedios) se presentan en el documento como figuras dentro del texto (imágenes de contextualización) y se anexan para mejor visualización

Teniendo en cuenta que la sensibilidad del área de influencia es el resultado de la agregación de la sensibilidad ambiental de los factores definidos en cada uno de los componentes ambientales de los medios abiótico, biótico y socioeconómico, se describen, para comprensión del producto final, los atributos de las unidades de zonificación que han generado la condición de sensibilidad en la zonificación de cada medio así como la zonificación final. Se referencian los planos (intermedios y final) en donde se especializa la zonificación resultante.

Dado que las áreas de influencia difieren para cada medio, no toda la información es requerida en todo el territorio. Esto quiere decir que habrá zonas del territorio del AI del Proyecto que tendrán la información de un medio pues no es área de influencia de los otros dos medios. En la Figura 50 se presenta una explicación gráfica de lo anterior.

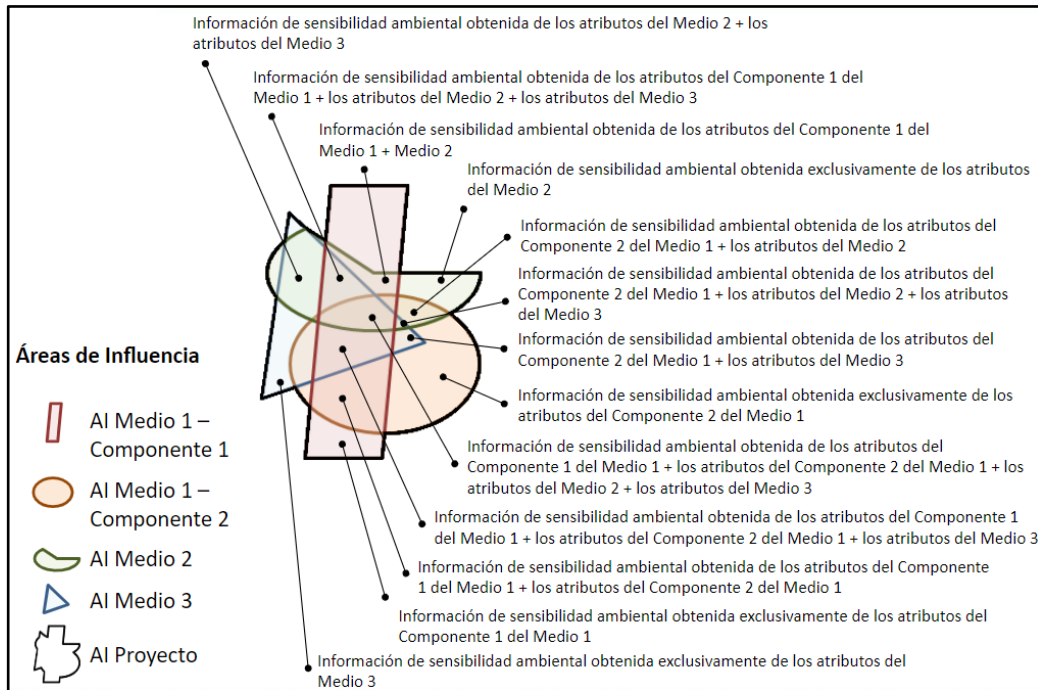


Figura 50. Explicación gráfica de la superposición de información de sensibilidad

2.3.5. Demanda uso y aprovechamiento de recursos naturales

2.3.5.1. Aguas Superficiales

No se consideran captaciones de fuentes hídricas naturales superficiales continentales o marítimas para los usos definidos como consumo humano u otro uso industrial; debido a que el proyecto utilizará el recurso a través de la infraestructura existente y permisos ya incluidos en el complejo minero. Para la ampliación de las áreas de explotación del título mineros 6823 se requiere concesión de aguas superficiales del pit de la mina, el cual recibe los aportes de agua de escorrentía superficial del área del proyecto. El agua será tratada y vertida al río Coello.

Para la determinación de la cantidad de agua que será almacenada en el fondo del pit y para lo cual se solicita permiso de concesión de aguas, se realizó modelación de la escorrentía producida en el pit, dimensionamiento del sumidero y la capacidad de bombeo requerida teniendo en cuenta el siguiente procedimiento:

- Se tomó una serie de precipitación diaria con periodo de 30 años.
- La precipitación de cada día se convirtió en volumen de escorrentía ejecutándola por un coeficiente de escorrentía, y esta escorrentía es recibida por el sumidero o los sumideros que deben estar dentro del pit minero. A partir de este sumidero el agua se bombea hacia la piscina de sedimentación a diseñar localizada fuera del pit minero.
- Se consideraron diferentes capacidades de bombeo desde el sumidero hacia la piscina de sedimentación, entre 200 m³/h y 400 m³/h equivalentes a 47,2 l/s y 94,4 l/s considerando eficiencia de 0,85.
- Se consideraron diferentes capacidades de sumidero (volumen de almacenamiento) entre 2000 m³ y 7500 m³. Entonces, si algún día ese valor es superado, teniendo en cuenta la capacidad de bombeo con que se cuente, el sumidero se rebosará y por ende presentará inundación en el fondo del pit.

2.3.5.2. Aguas Subterráneas

De acuerdo a las nuevas actividades, no se identifica que se requiere demanda de aguas subterráneas por la explotación de caliza del título 6823. La comprobación se realizó a partir de los resultados obtenidos en el modelo hidrogeológico numérico de la caracterización del área de influencia en donde se observó que el nivel de agua respecto a la topografía actual del tajo está entre 125 m y 16 m (cota mínima actual), por lo cual actualmente no existiría injerencia de las operaciones de excavación sobre el agua subterránea; además se evidencia claramente la desconexión de los drenajes superficiales con el agua en el acuífero, que fluye en dirección W-E.

2.3.5.3. Vertimiento

Por la ampliación de las áreas de explotación del título mineros 6823 no se generan aguas residuales domésticas e industriales adicionales. Las aguas residuales seguirán siendo manejadas, tratadas y reutilizadas dentro de la infraestructura existente y permisos ya incluidos en el complejo minero.

Para efectos del presente trámite para el área de explotación del título 6823, se llevará a cabo solicitud de permiso de vertimiento de aguas de escorrentía que serán canalizadas y tratadas en una piscina de sedimentación para posteriormente ser descargadas en cuerpo de agua superficial - Río Coello. La cantidad de agua de vertimiento corresponde a la cantidad de agua establecida en el modelo de escorrentía realizado en el aparte de concesión de agua.

En la Figura 51, se exponen los insumos y productos físicos utilizados en la actividad que genera los vertimientos. Dado que la fuente de agua es principalmente precipitación - escorrentía, la actividad generadora no incluye productos químicos.

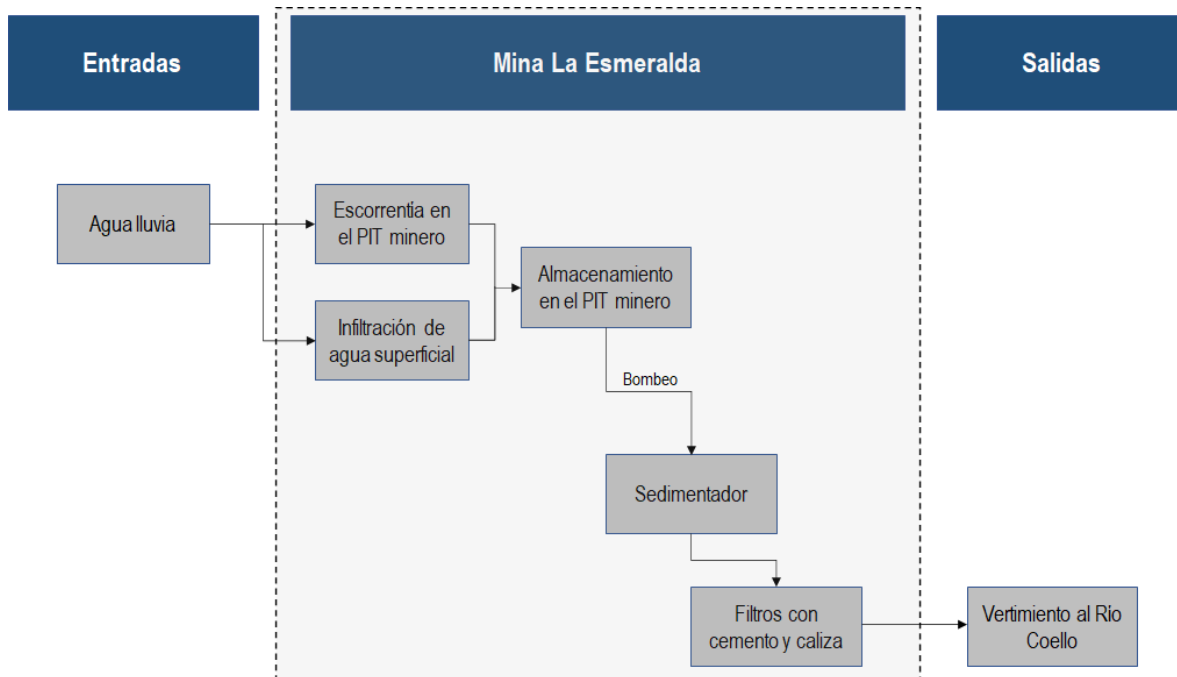


Figura 51. Insumos y productos en las actividades generadoras del vertimiento

Como protocolo de modelación se siguió una metodología basada en la estimación teórica de factores de asimilación de carga contaminante en cuerpos receptores, con el fin de estimar los efectos que conlleva un aporte de carga asociado a un vertimiento de agua residual no doméstica. En la Figura 21, se expone la metodología a seguir..

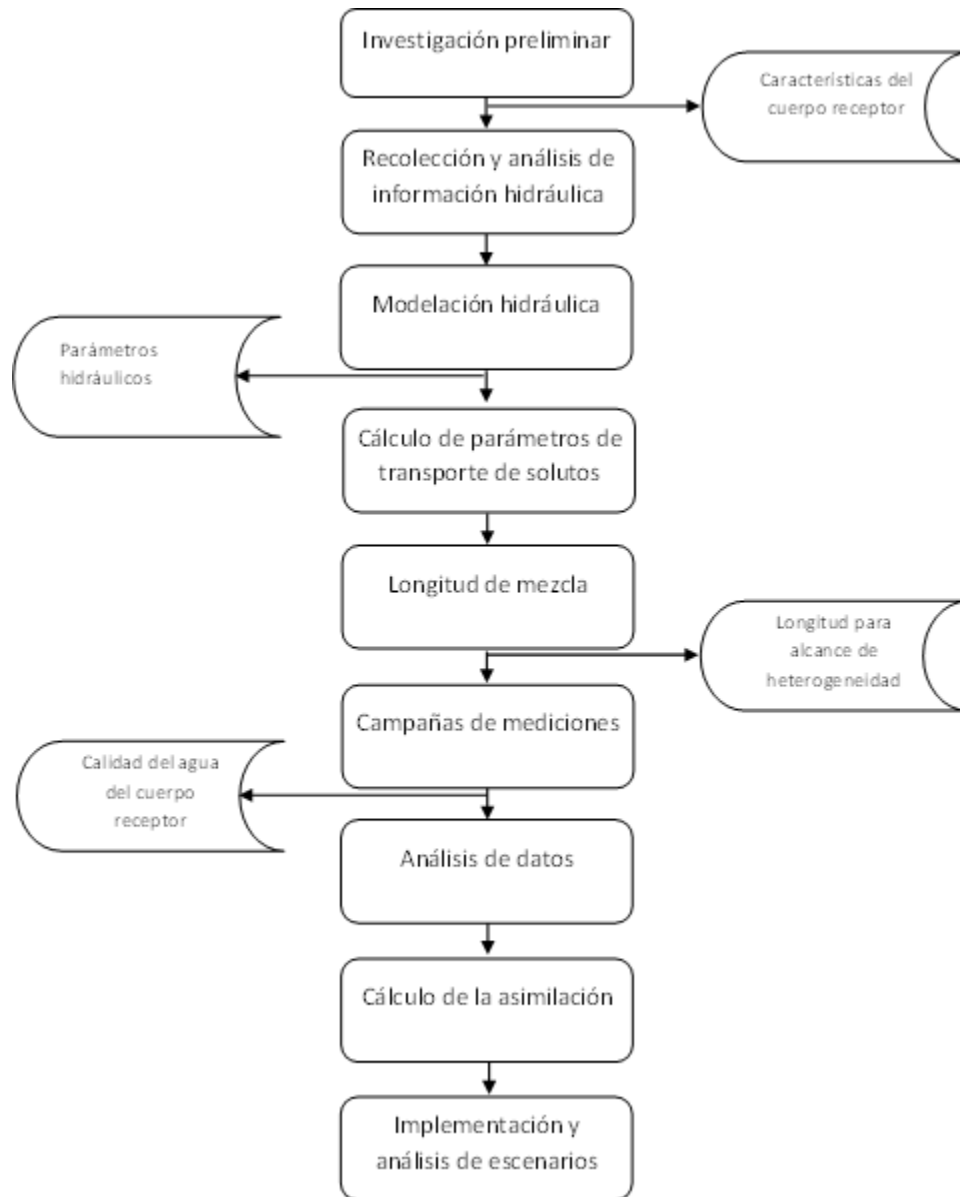


Figura 52. Marco de la modelación

2.3.5.4. Ocupación de Cauce

Dentro de las actividades de explotación minera se requiere la construcción de la estructura de descarga de las aguas de escorrentía que se almacenan en el fondo del PIT, y que serán descargadas al río Coello, por lo que teniendo en cuenta la información de caudales de escorrentía y sistema de bombeo, se estableció las obras hidráulicas requeridas para la descarga de aguas al río Coello y que generan ocupación de cauce.

La información hidrológica se definió teniendo en cuenta la información de caracterización del área de influencia abiótica del presente estudio de impacto ambiental, específicamente caudales medios y máximos del río Coello en el punto de

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

vertimiento, y ocupación de cauce con los registros de caudales medios diarios de la estación Payandé, que cuenta con registros para el periodo 1983-2017.

2.3.5.5. Aprovechamiento Forestal

2.3.5.5.1. Fase de planeación.

Se realizó revisión de información secundaria sobre las posibles especies a encontrar en el área (resaltando especies amenazadas o endémicas) y su relación de predios, cartografía temática (mapa de coberturas de la tierra preliminar y mapa de ecosistemas 1:100.000⁵⁰), área de aprovechamiento forestal donde se piensa realizar una intervención directa y definición del tipo de muestreo en varios niveles (estratificado, aleatorio o sistemático) dependiendo de los ecosistemas encontrados en las capas temáticas.

Adicionalmente, se revisaron de listados de especies amenazadas y en veda a nivel nacional (MINAMBIENTE) como la Corporación autónoma regional del Tolima (CORTOLIMA), a nivel internacional se consultaron los listados de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN⁵¹) y los apéndices de la Convención sobre el Comercio Internacional Especies Amenazadas De Fauna y Flora Silvestres (CITES⁵²).

2.3.5.5.2. Fase de ejecución.

2.3.5.5.2.1. Método de muestreo.

En el corregimiento de Payandé del municipio de San Luis (Tolima), se encuentra ubicado el título minero 6823 (Ver Figura 53). En este título minero se estableció el área destinada para aprovechamiento forestal (PIT 6823) y en donde se realizaron las actividades de inventario forestal durante el mes de septiembre de 2020.

⁵⁰ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES - IDEAM. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra, Metodología CORINE Land Cover Adaptada para Colombia Escala 1:100 000. Bogotá D.C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2010. 72 p. ISBN: 978-958-806729-2.

⁵¹ THE IUCN RED LIST OF THREATENED SPECIES. 2020. Versión 2019-3 [Sitios web]. [Consulta: 3 febrero 2020]. Disponible en: <https://www.iucnredlist.org>

⁵² CONVENCION SOBRE EL COMERCIO INTERNACIONAL DE ESPECIES AMENAZADAS DE FAUNA Y FLORA SILVESTRES, CITES. Apéndices I, II, III en vigor a partir del 26 de noviembre de 2019 [Sitios web]. [Consulta: 3 febrero 2020]. Disponible en: <https://www.cites.org/esp/app/appendices.php>

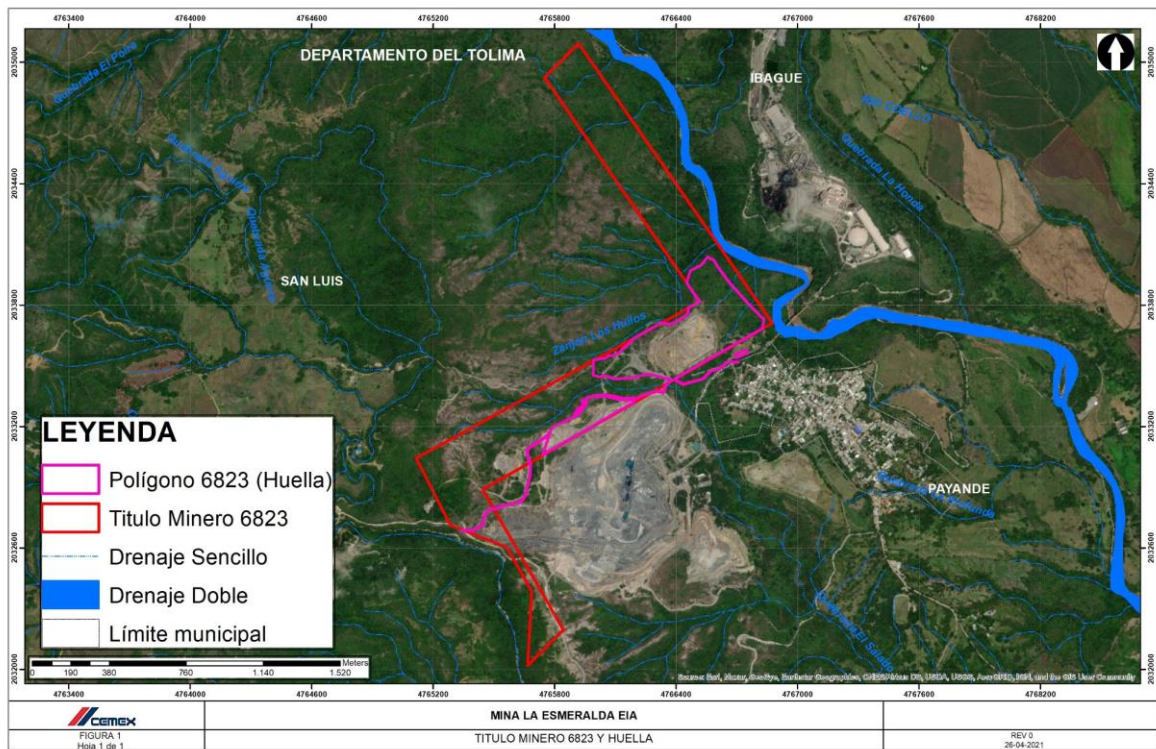


Figura 53. Título minero 6823 y huella.

Se realizó un muestreo para cada tipo de cobertura de interés forestal identificada, correspondientes a bosque de galería, vegetación secundaria alta y pastos arbolados. Las unidades de muestreo se determinaron según la cobertura a estudiar y en el bioma en el que se encuentran.

En las coberturas bosque de galería y vegetación secundaria alta se realizó un muestreo estratificado asegurando un error de muestreo inferior al 15% con una probabilidad del 95% mediante parcelas rectangulares de 0,1 ha, de 50 por 20 metros o 100 por 10 metros dependiendo de la forma de los parches de cada cobertura y de las condiciones de acceso y topografía. En el caso de pastos arbolados, para cada bioma se realizó un censo de todos los individuos de categoría fustal presentes (individuos arbóreos con valores \geq a 10 cm de diámetro a la altura del pecho o \geq a 32 cm de circunferencia a la altura del pecho, medidos a 1,3 m sobre el suelo).

Cada una en las parcelas y los individuos presentes en el censo fueron marcadas con pintura amarilla siguiendo un codificación consecutiva que incluyera el tipo de cobertura y el bioma (Fotografía 16).



Fotografía 16. Marca de inventario forestal realizado en el título minero

2.3.5.5.2.2. *Recolección de información.*

Los datos se recolectaron en formularios de campo digitales mediante el uso del aplicativo Memento Database version 4.3.5, el formato de recolección de datos en campo tuvo en cuenta los siguientes datos por individuo:

- Fecha, responsable de la medición
- Punto de muestreo, código de parcela y número del árbol dentro de la parcela. En el caso del censo solo se registra el punto de muestreo y número de árbol.
- Especie o nombre científico de cada individuo arbóreo si se reconoce en campo, si no se procede a realizar la colecta de material vegetal, para su posterior identificación mediante la utilización de claves taxonómicas, comparación con material vegetal de herbarios nacionales y regionales.
- Nombre común: es el nombre regional dado a un ejemplar vegetal.
- Variables dasométricas:

Circunferencia a la altura del pecho (CAP) para cada una de las bifurcaciones o ramas principales de un individuo arbóreo, esta variable se refiere a la circunferencia del tronco a la altura de 1,3 m. Para la captura de este valor se tuvo en cuenta la morfología del árbol y la topografía del terreno (Ver Figura 51).

Altura Total (Ht) de cada una de las bifurcaciones o ramas principales de un individuo arbóreo, comprende la medida entre el suelo o base del árbol y el límite superior del follaje.

Altura Comercial (Hc) de cada una de las bifurcaciones o ramas principales de un individuo arbóreo. Comprende la medida desde la base del árbol hasta la primera reiteración gruesa del árbol.

Proyecciones de copa (X,Y), corresponde a la proyección del diámetro de la copa con respecto al suelo en sentido sur-norte y occidente-oriente.

Ubicación Geográfica (toma de coordenadas por individuo arbóreo), capturada con GPS Garmin Oregon 550.

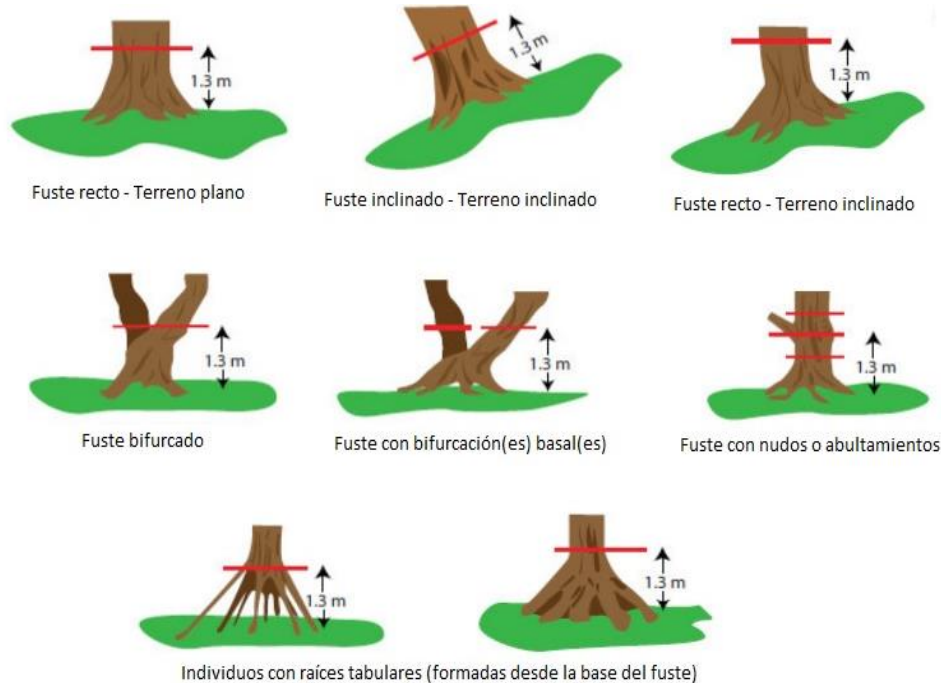


Figura 54. Forma de medir el CAP según las condiciones del terreno y las características del fuste
Fuente: Tomada y adaptada. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2010).

2.3.5.5.3. Fase de análisis de la información.

Posterior al levantamiento de información en campo se realizó el procesamiento de los datos recolectados, para ello se tienen en cuenta los siguientes aspectos:

2.3.5.5.3.1. Identificación de especies.

El material vegetal obtenido de las especies que no fue posible identificar en campo se colectó siguiendo la Guía para la recolección y preservación de muestras botánicas en campo del Herbario de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas⁵³, el cual establece la forma correcta para la toma de muestras botánicas en campo (preferiblemente en estado de floración o fructificación), descripción de características morfológicas que pueden perderse con el paso del tiempo

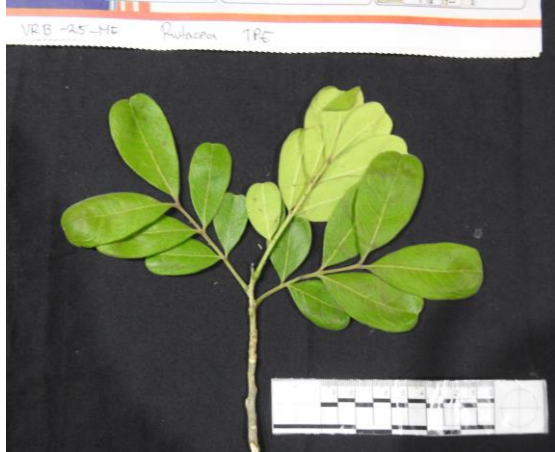
⁵³UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS. Guía para la recolección y preservación de muestras botánicas en campo. Herbario de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas- Gilberto Emilio Mahecha Vega. Bogotá. Colombia. 2011. p. 12.

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

como presencia de olor, exudado, glándulas, estípulas, color de flores o frutos, tamaño, vegetación o árboles asociados, entre otros, proceso de prensado, alcoholización y secado (dos días a 70 °C). Ver Fotografía 17 y Fotografía 18.



Fotografía 17. Colecta de muestra en campo



Fotografía 18. Muestra botánica colectada para proceso de identificación

Posteriormente, un ingeniero forestal o biólogo realizó la identificación de las especies vegetales a partir de las muestras recolectadas, teniendo en cuenta: (1) información secundaria de especies reportadas en la zona de estudio (catálogos, claves taxonómicas, comparación con material vegetal de herbarios nacionales y regionales, etc.), (2) conocimientos previos de especies reportadas por parte del profesional en campo y (3) información por parte de auxiliares de campo y habitantes de la región referente a nombres comunes y usos frecuentes. La identificación se realizó siguiendo el sistema de clasificación APG IV.

2.3.5.5.4. Estimación de parámetros para el aprovechamiento forestal.

La etapa de análisis se fundamentó en la estimación de la demanda de recursos naturales a través del cálculo de volumen, para lo cual, se emplean las fórmulas de diámetro, área basal y se calcula volumen de individuos bifurcados cada uno por separado (como si fueran individuos aislados), las cuales se presentan a continuación:

2.3.5.5.4.1. Diámetro a la altura del pecho.

Durante la fase de campo se toma la Circunferencia a la Altura del Pecho (CAP), es decir el perímetro de cada una de las secciones principales, que conforman el fuste de un individuo arbóreo medido a 1,3 m con respecto al nivel del suelo, para realizar la conversión de este valor a DAP se utilizó la siguiente fórmula⁵⁴ (véase Ecuación 32).

$$DAP = CAP/\pi$$

⁵⁴ Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. MADS. Guía Práctica para la Cubicación De Maderas. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá. 2010. p.7.

Ecuación 32.

Fuente: MADS. Guía práctica para la cubicación de madera. (2010).

Variables:

DAP= Diámetro a la altura del pecho (1,3 m)

CAP= Circunferencia a la altura del pecho (1,3 m):

2.3.5.5.4.2. Área basal.

El área basal es la superficie de una sección transversal del fuste de un árbol a una determinada altura del suelo. Para su cálculo se utilizó la siguiente fórmula⁵⁵ (véase Ecuación 33).

$$AB = \pi/4 (DAP)^2$$

Ecuación 33.

Fuente: MADS. Guía práctica para la cubicación de madera. (2010).

Variables:

AB= Área basal (m²)

DAP = Diámetro a la altura del pecho (1,3 m)

2.3.5.5.4.3. Volumen total y comercial.

El volumen hace referencia al espacio ocupado por la madera de un individuo arbóreo dentro de un ambiente o ecosistema; siendo el volumen total (VT) la cantidad de madera estimada en m³ a partir del tocón hasta el ápice del árbol; mientras que el volumen comercial (VC) no incluye las ramas, partes afectadas del individuo y segmentos delgados del fuste⁵⁶. En este caso para la estimación del volumen de árboles fustales (DAP ≥10 cm), se utilizó la siguiente expresión matemática (véase Ecuación 34 y Ecuación 35).

$$VT = \sum ABi * hTi * ff$$

Ecuación 34.

$$VC = \sum ABi * hCi * ff$$

Ecuación 35.

Fuente: MADS. Guía Práctica para la Cubicación de Madera. (2010).

Donde:

VT= Volumen total (m³)VC= Volumen comercial (m³)ABi= Área basal (m²) para cada uno de los DAP (bifurcación)hTi= Altura total (m²) para cada uno de los DAP (bifurcación)

hCi= Altura comercial (m) para cada uno de los DAP

⁵⁵ Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. MADS. Ibíd., p.10.

⁵⁶ Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. MADS. Guía Práctica para la Cubicación de Maderas. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá. 2010. pp.11-13.

ff= Factor forma variable que se relaciona conforme a la forma del fuste (véase Figura 55). En este caso se asumirá un ff de 0,7 pues en gran medida los fustes imitan formas irregulares entre paraboloides y cilindros.





Forma del Fuste		Factor Forma
Cilíndrico		0,75
Paraboloide		0,74 - 0,4
Cono		0,39 - 0,27
Neiloide		< 0,38

Figura 55. Factor de forma según la forma del fuste

Fuente: Tomada y adaptada. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Guía Práctica para la Cubicación de Madera. (2010).

Se realizó cálculo del volumen total y comercial para cada una de las bifurcaciones y posteriormente se realizó la sumatoria. El volumen total, volumen comercial, biomasa total y carbono por hectárea se calculó teniendo en cuenta el área de infraestructura asociada (PIT) y la cobertura.

2.3.5.5.4.4. Estimación de biomasa - carbono.

Para la estimación de biomasa se aplicó el método indirecto de ecuaciones alométricas, para la zona de vida de Bosque seco tropical (bs-T), establecida en el Protocolo para la estimación nacional y subnacional de Biomasa-Carbono para Colombia. La Biomasa aérea según Yepes⁵⁷, incluye toda la biomasa viva que se encuentra sobre el suelo, para el caso de los bosques incluye todas las plantas leñosas a excepción de algunas lianas, en este estudio la biomasa se estimó para individuos con un DAP ≥ 10 cm. Es así como la Biomasa Aérea en este caso se determinó por medio de la siguiente ecuación cuyo ajuste R^2 del modelo es 0,954 (Véase Ecuación 36).

$$\ln(BA) = a + b \ln(D) + c (\ln(D))^2 + d (\ln(D))^3 + B1 \ln(P)$$

Ecuación 36.

Fuente: Yepes *et al.* Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa⁵⁸. (2011).

⁵⁷ YEPES, A.; NAVARRETE, D.; DUQUE, A.; PHILLIPS, J.; CABRERA, K.; ÁLVAREZ, E.; GARCÍA, M. & ORDOÑEZ, M. Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa - carbono en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM. Bogotá. 2011. p. 47-50.

⁵⁸ YEPES, A.; NAVARRETE, D.; DUQUE, A.; PHILLIPS, J.; CABRERA, K.; ÁLVAREZ, E.; GARCÍA, M. & ORDOÑEZ, M. *Ibíd.*, p. 47-50.

Donde:

BA= Biomasa aérea (kg)

D= Diámetro a la altura del pecho en cm

a, b, c, d, B1 = son coeficientes que alométricos que se adecúan a la zona de vida de cada bosque o cobertura en la que se desea calcular la biomasa, para este caso bh-T (4,040, -1,991, 1,237, -0,126 y 1,283 respectivamente)

P= Densidad de la madera de cada especie dada en g/cm³.

Para la obtención de la densidad de la madera por especie, se utilizó la base de datos de Zanne⁵⁹, donde se encuentran registradas las densidades de la madera de especies tropicales. Para las especies cuyos valores de densidad no se encuentren en la base de datos, se tomarán los registros promedio de densidad para especies del mismo género o de la misma familia dependiendo el caso.

Para calcular la biomasa que aportan las raíces gruesas para bosques naturales según el protocolo de Yepes⁶⁰, se empleó la siguiente ecuación (véase Ecuación 37).

$$BRG = R * BA$$

Ecuación 37.

Fuente: Yepes *et al.* Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa. (2011).

Donde:

BRG= Biomasa de raíces gruesas (kg)

BA = Biomasa Aérea (kg)

R= Relación de raíces, donde el valor que recomienda la literatura es 0,24

La biomasa total (BT) es la sumatoria entre la Biomasa aérea y la Biomasa de raíces, expresada en kilogramos o toneladas. Por último, el cálculo de carbono se basó en el factor recomendado para bosques tropicales de 0,5 (Véase Ecuación 38).

$$C = 0,5 * BT$$

Ecuación 38.

Fuente: Yepes *et al.* Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa. (2011)

Donde:

C= Carbono (t)

BT = Sumatoria de biomasa aérea (t) y biomasa de raíces (t).

2.3.5.5.5. Estimación de error de muestreo.

El método de muestreo realizado fue el estratificado al azar de las superficies forestales que requieren ser intervenidas para la etapa de aprovechamiento forestal. La estimación del error de muestreo se realizó con la información de los volúmenes estimados para fustales (árboles con diámetro a la altura del pecho –DAP- superior a los 10 cm). El

⁵⁹ ZANNE, A.; LOPEZ, G.; COOMES, D.; LLIC, J.; JANSEN, S.; LEWIS, S.; MILLER, R.; SWENSON, N.; WIEMANN, M. & CHAVE, J. Global wood density database. 2009. Dryad. Identifier: <http://hdl.handle.net/10255/dryad.235>.

⁶⁰ YEPES, A.; NAVARRETE, D.; DUQUE, A.; PHILLIPS, J.; CABRERA, K.; ÁLVAREZ, E.; GARCÍA, M. & ORDOÑEZ, M. Op cit., p. 86.

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

muestreo contó con una confiabilidad del 95% y un error inferior al 15% del volumen total a intervenir. Los criterios utilizados para este cálculo son los siguientes:

- Población: Se determinó como población de estudio las coberturas de interés forestal que requieren ser intervenidas; en este caso son vegetación secundaria o en transición, pastos arbolados y bosque abierto.
- La muestra: Es una parte representativa de la población, con la cual se pueden hacer inferencias correctas de los valores de la población, con el objeto de estimar el volumen de madera a aprovechar en las coberturas de interés forestal, para el presente estudio la muestra se constituye de un número determinado de parcelas por estrato (coberturas).
- La unidad de muestreo: Las unidades de muestreo son las parcelas de forma rectangular, las cuales originan una distribución aproximada de la variabilidad de la población.
- Tamaño de la muestra: Corresponde al número de parcelas que fueron consideradas para cumplir con el error y la confiabilidad solicitada en los términos de referencia de la autoridad ambiental.

De acuerdo con lo anterior, se estimó el error de muestreo para la variable de volumen en cada uno de los tipos de coberturas (estratos establecidos) por unidades de muestreo, el análisis estadístico se presenta para la población total y por estratos. En cada estrato se calculó los estadígrafos como se hace en un muestreo simple al azar y se emplean las ecuaciones presentadas en la Tabla 81 y Tabla 82.

Los estadígrafos usados para calcular el error para la población total corresponden a la media estratificada de la población y al error estándar de la media estratificada, los cuales se describen en la Tabla 82.

Tabla 81. Estadígrafos estimados en cada estrato (coberturas)

Parámetro	Símbolo	Ecuación	Observación
Media	\bar{u}	$\bar{u} = \frac{\sum a_j}{n}$	u= Valor observado de la unidad n= número de unidades de la muestra
Desviación	S	$S = \sqrt{\frac{\sum u_j^2 - \frac{(\sum u_j)^2}{n}}{n - 1}}$	
Coefficiente de Variación	CV	$CV = \left(\frac{S}{\bar{u}}\right) \times 100$	
Error estándar	S_x	$S_x = \frac{S}{\sqrt{n\left(1 - \frac{n}{N}\right)}}$	
Error de muestreo relativo	E%	$E_{\%} = \frac{t(S_x)}{X} * 100$	X= Media
Límites de confianza	Lcs ó Lci	$Lc = \bar{u} \pm t(S_x)$	

Tabla 82. Estadígrafos estimados para la población total.

Estadígrafo	Fórmula	Descripción
Volumen Promedio Ponderado	$Vst = \sum (P_j * V_j)$	V _j : Volumen para el estrato J P _j : Porcentaje de área estrato j
Error estándar	$Sxst = \sqrt{1/N2 \sum (N_j^2 * V^2 * x_j) / n_j * (1 - n_j / N_j)}$	N _j : Tamaño del estrato j (número de unidades). S _i : Varianza del estrato j. N : Tamaño total del área de estudio= $\sum N_j$
Error de Muestreo al 95% de Confiabilidad	$E = Sxst * t_{0,025} / gl-x$	Sxst: Error estándar
Error de Muestreo en %	$E\% = (E / Vst) * 100$	E: Error de muestreo Vst: Volumen Promedio Ponderado
Volumen Total Vegetación	$T = Vst * N$	
Límite de Confianza Superior	$TLs = N * [Vst + E]$	
Límite de Confianza Inferior	$TLi = N * [Vst - Sxst - E]$	

Se calculó el error de muestreo (menor o igual 15%) por cobertura vegetal (bosque de galería, vegetación secundaria alta, pastos arbolados) y posteriormente para el total de las coberturas vegetales que presentaban un muestreo por parcelas y que contenían individuos de la categoría fustal.

2.3.5.6. Emisiones Atmosféricas

El complejo minero La Esmeralda cuenta con un permiso de emisiones atmosféricas por medio de la resolución 1859 del 26 de junio de 2018, por la cual Cortolima renovó permiso de emisiones atmosféricas otorgado mediante la resolución No. 2744 del 11 de julio de 2011, para la actividad de explotación, cargue y transporte de caliza en la mina La Esmeralda en el corregimiento de Payandé, municipio de San Luis, departamento del Tolima, a favor de la sociedad CEMEX COLOMBIA S.A, por un término de cinco años. No obstante, para el título 6823 se proyecta la solicitud del permiso de emisiones atmosféricas para fuentes fijas exclusivamente para el pit de explotación de caliza del proyecto.

En este numeral se presenta entonces la información técnica, ambiental y predial solicitada en el permiso de emisiones atmosféricas para fuentes fijas.

2.3.5.7. Fuentes de generación de ruido

Se realizó la medición de dos vías en 3 puntos de aforo vehicular con el fin de conocer el flujo de vehículos en las fuentes de emisión lineales. La primera vía corresponde a la conexión del corregimiento Payandé con la mina La Esmeralda, en esta se ubicaron dos puntos de medición: el primero en la entrada de la mina por el sur este y el segundo en la entrada de la mina en el noroeste (municipio de Payandé). La segunda vía se ubica en la cabecera municipal del corregimiento Payandé, corresponde a la vía San Luis-Guamo, en el punto conocido como la Virgen. Esta intersección es el punto de salida del corregimiento hacia el puente Payandé que hace la conexión con el municipio de Ibagué. Ver Tabla 83 y Figura 22.

Tabla 83. Ubicación de puntos de aforo

Vía	Punto de aforo	Coordenadas	
		Este	Norte
Mina -Payandé	Punto 1a – Entrada Mina Payandé	4766724,46	2033509,31
	Punto 1b – Paso Mular		
San Luis - Guamo	Punto 2 – Entrada Payandé (La Virgen)	4767102,29	2033465,79

Fuente: Elaboración propia.

El aforo se realizó en jornadas continuas de 24 horas para un día hábil correspondiente al día 7 de octubre del 2020 empezando a las 2 pm y finalizando a las 2 pm del día 8 de octubre del 2020. Asimismo, se realizó el aforo para un día festivo correspondiente al día 11 de octubre comenzando a las cero horas.

Este aforo se realizó por medio de conteo de vehículos los cuales se discretizó en vehículos livianos y pesados. Los vehículos livianos se componen por motos, automóviles, camionetas y microbuses. Los vehículos pesados se conforman por camiones de dos ejes pequeños (C2P), camiones de 2 ejes grandes (C2G), camiones de tres ejes (C3), camiones de cuatro ejes (C4) y camiones de cinco ejes (C5).

Finalmente, se discretizó el conteo de las motos según su motor, es decir de dos tiempos y de cuatro tiempos, como también los automóviles y camionetas según su combustible diésel o gasolina.

2.3.5.8. Permiso de recolección de especímenes de especies silvestres de la biodiversidad

2.3.5.9. Materiales de construcción

De acuerdo a las nuevas actividades, no se identifica que se requieran materiales de construcción por la explotación de caliza del título 6823.

2.3.6. Evaluación Ambiental

2.3.6.1. Identificación y evaluación de impactos

La evaluación de impactos que se realiza en este capítulo se desarrolla mediante una metodología construida por INGETEC en un proceso de maduración y actualización de más de 20 años y que ha sido utilizada en Estudios de Impacto Ambiental de proyectos de diferentes sectores productivos (energía, minería, vías, infraestructura, entre otros).

Esta metodología recoge, adapta y da cumplimiento a lo establecido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en la Metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales. El método integra definiciones y conceptos de metodologías de INGETEC, utilizadas en múltiples estudios (muchos de ellos licenciados y construidos). De igual modo, el método integra definiciones y conceptos de Vicente Conesa Fernández y Jorge Alonso Arboleda González, aunque introduciendo variaciones en los procedimientos y enfoques de acuerdo con las consideraciones y análisis de expertos de la firma.

La estructura del método de INGETEC está conformada por cuatro secciones temáticas: dos secciones descriptivas, correspondientes a la Identificación del impacto (Sección 1) y a la Descripción y Caracterización del impacto (Sección 2). La Sección 3 califica el impacto y en la Sección 4 se analizan las posibilidades de manejo del impacto.

Para la calificación del impacto (Sección 3), la metodología define un índice conformado por siete parámetros (P) o indicadores claves que determinan el comportamiento y la capacidad de afectación de los impactos sobre el entorno natural y social y, de manera específica, sobre los elementos y sujetos afectados. El índice se denomina Significancia (SG) y es un índice de afectación neta del Impacto, pues se espera, en el escenario con proyecto, tener en cuenta la influencia de los impactos acumulativos, los impactos sinérgicos y la medición de los cambios (sin ningún parámetro atenuante de manejo). Los parámetros utilizados en la sección de calificación son: i) Clase –CL- (Naturaleza del impacto); ii) Duración –DU-; iii) Extensión –EX-; iv) Magnitud Relativa –MR-; v) Incertidumbre –INC- Incertidumbre del grado de la Afectación; vi) Vulnerabilidad –NV- Capacidad de asimilación del cambio en el Sujeto, Objeto o Elemento Expuesto; vii) Acumulación –AC- Relación sistémica de las afectaciones o cambios (para el escenario CON proyecto) o Tendencia –TE- (para el escenario SIN Proyecto); viii) Sinergia –SI- y ix) Significancia –SG- correspondiente a la calificación resultado de la aplicación de la fórmula (suma ponderada) de los parámetros anteriores.

El Índice de Significancia (SG) expresa una suma ponderada de los parámetros (P) que se utilizan en la medición del impacto con el fin obtener una calificación total o de síntesis que indica la importancia del impacto y que permite su clasificación y jerarquización entre las categorías “Muy significativos”, “Significativos”, “Moderadamente Significativos” y “Poco Significativos”, con el fin de definir el área de influencia del Proyecto⁶¹ así como la priorización y direccionamiento de la planeación de las medidas de manejo, las cuales incluyen, desde luego, el análisis de todos los impactos.

El contenido de esta metodología se presenta en el Anexo CAP2-GENE-LES6823-AN#2.001

2.3.6.2. Evaluación económica ambiental

Se efectuará la Evaluación Económica Ambiental siguiendo el desarrollo metodológico.

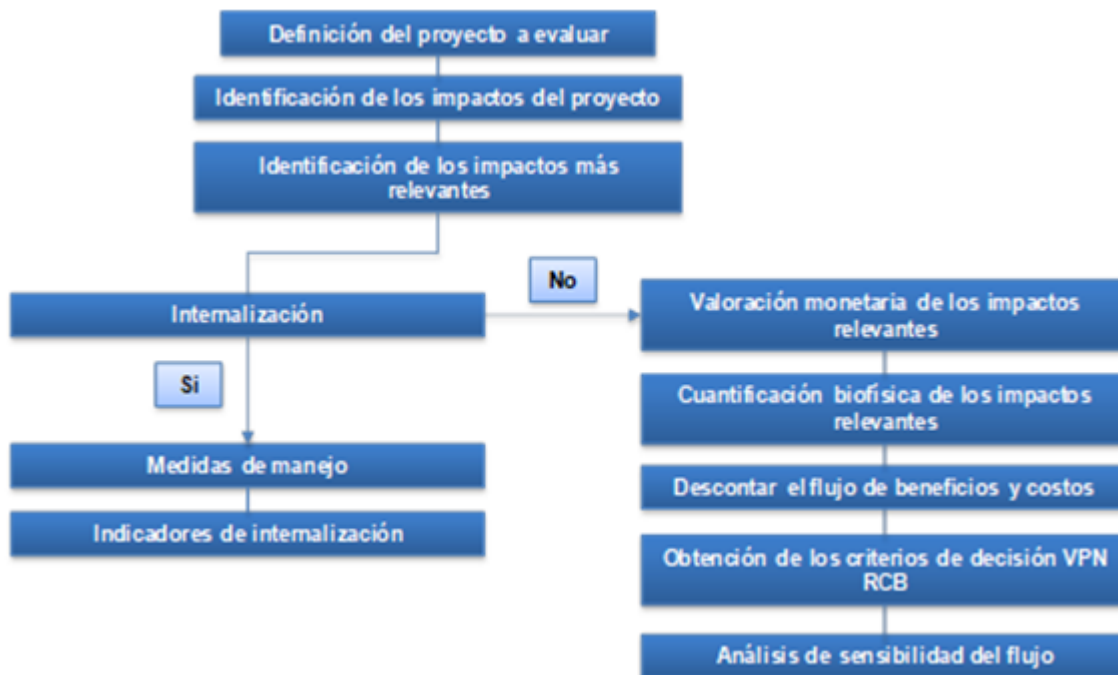


Figura 56. Flujograma metodología evaluación económica ambiental

⁶¹ El área de influencia del proyecto se define de acuerdo con la “Guía para la definición, identificación y delimitación del área de influencia” expedida por la ANLA, como “aquella en la que se manifiestan los impactos ambientales significativos derivados del desarrollo del proyecto, obra o actividad, en cualquiera de sus fases, sobre los componentes de los medios abiótico, biótico y socioeconómico”.

La metodología cumple con lo establecido en la Resolución 1669 de agosto 15 de 2017 sobre la Evaluación Económica Ambiental proferida por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), contenida en los Criterios Técnicos para el Uso de Herramientas Económicas.

2.3.6.2.1. Identificación de los impactos relevantes

El criterio para la identificación de impactos relevantes, obedece a la calificación de importancia dada en la matriz de evaluación de impactos con proyecto, donde se toman las dos primeras jerarquías, en la medida que se definieron cuatro niveles de importancia⁶² (poco significativo, moderado, significativo y muy significativo) para los impactos, lo cual implica que los impactos relevantes, serían los que obtuvieron una calificación de importancia significativa y muy significativa.

2.3.6.2.2. Internalización de impactos

Los impactos que cuenten con un plan de manejo, identificando los costos de prevención y/o corrección, se entiende que ya están internalizados dentro de la estructura de costos del proyecto. Se debe identificar qué afectaciones sobre el bienestar no alcanzan a ser internalizados por dichas medidas, y sobre las cuales debe realizarse la valoración económica.

2.3.6.2.3. Valoración económica de las externalidades

Las externalidades encontradas, proceden a valorarse de acuerdo con los métodos señalados en los Criterios Técnicos para el Uso de Herramientas Económicas para proyectos, obras y actividades sujetos al licenciamiento ambiental.

2.3.6.2.4. Elaborar flujo de caja descontado

El valor de las externalidades se lleva al flujo de caja proyectado, de acuerdo a la vida útil del proyecto y la permanencia de las afectaciones en el tiempo. Se utiliza la tasa de oportunidad propuesta por Francisco Correa Restrepo en el Documento Tasa Ambiental Gamma: Una Aplicación para Colombia⁶³, para el descuento de los flujos económicos.

2.3.6.2.5. Evaluación de indicadores y análisis de sensibilidad

Mediante el indicador del valor presente neto económico VPNE se determina si los beneficios ambientales son mayores que los costos, y se acepta el proyecto al generar ganancias en bienestar social. También se procede a sensibilizar valores de costos o beneficios para ver la variación que sufre el VPNE.

2.3.7. Zonificación de manejo

La zonificación de manejo se desarrolla a partir de la zonificación ambiental del área, según la sensibilidad obtenida para los medios abiótico, biótico y socioeconómico y teniendo en cuenta la evaluación de impactos para el Proyecto. Esta zonificación se realiza mediante la migración de atributos de sensibilidad establecidos en la zonificación ambiental hacia los atributos definidos para la zonificación de manejo.

Paso 1 Obtención de mapas intermedios de Zonificación de manejo

⁶² La ANLA en las socializaciones de la Resolución 1669 de 2017 realizada a los diferentes sectores con proyectos de licenciamiento (infraestructura, hidrocarburos, minería etc.) ha hecho esta aclaración sobre la selección de los impactos relevantes.

⁶³ Correa, Francisco. Tasa Ambiental Gamma: Una Aplicación para Colombia. 2008

La migración, cuya representación gráfica se presenta en la Figura 57, se realiza para cada uno de los medios que configuran el ambiente (medios abiótico, biótico y socioeconómico), obteniendo de esta manera los mapas de zonificación para cada uno de los medios (mapas intermedios de zonificación de manejo)

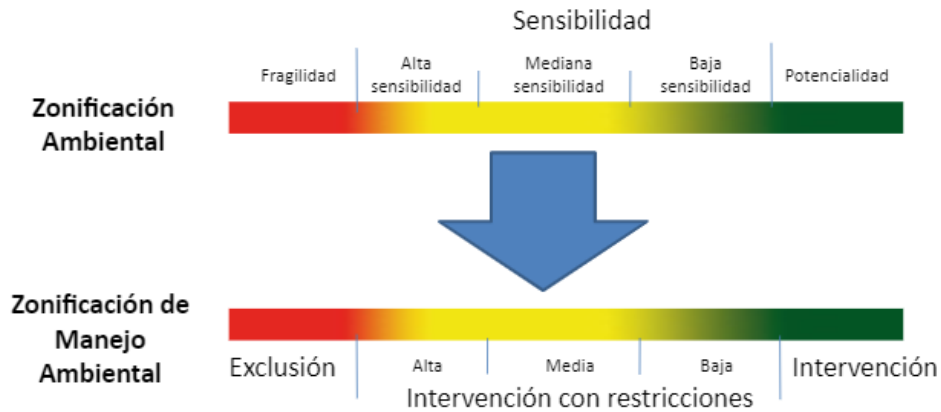


Figura 57. Migración de atributos desde la zonificación ambiental a la zonificación de manejo
Fuente: INGETEC, 2020

A continuación se detalla la migración específica de atributos de sensibilidad obtenidos en la zonificación ambiental para cada uno de los medios (mapas intermedios).

- Áreas de Exclusión

Las áreas de exclusión se identifican a partir de aquellas áreas definidas en la zonificación ambiental como áreas frágiles, tal como se presenta en la Figura 58

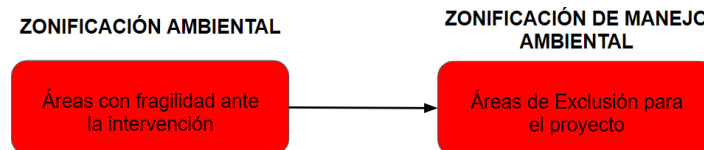


Figura 58. Migración de atributos desde la zonificación ambiental hacia Áreas de Exclusión en la zonificación
Fuente: INGETEC, 2020

En las áreas identificadas dentro de esta categoría de zonificación de manejo no podrá realizarse por parte del proyecto ninguna actividad que implique su intervención.

- Áreas de Intervención con restricciones

Se establecen tres categorías para áreas de intervención con restricciones:

- Intervención con restricciones altas
- Intervención con restricciones medias

- Intervención con restricciones bajas

Estas áreas de intervención con restricciones se corresponden metodológicamente, en términos generales, con las áreas establecidas como de alta, mediana y baja sensibilidad en la zonificación ambiental (Figura 59).

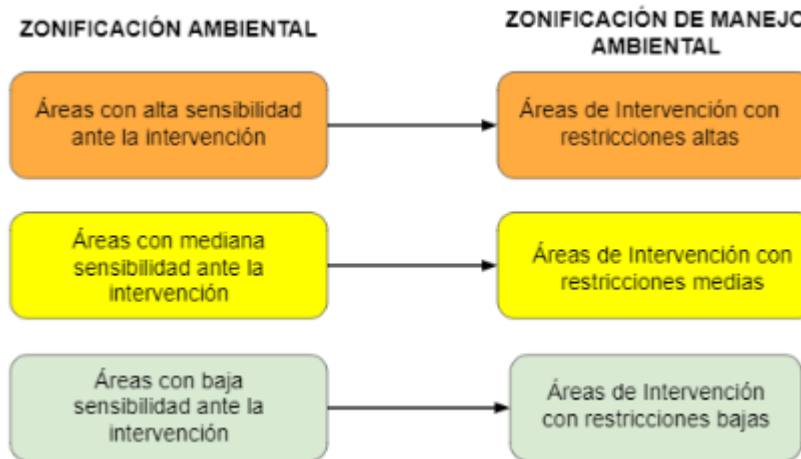


Figura 59. Migración de atributos desde la zonificación ambiental hacia Áreas de Intervención con restricciones en la zonificación de manejo

Fuente: INGETEC, 2020

- Áreas de Intervención

Las áreas de intervención corresponden a las establecidas en la zonificación ambiental como Áreas con potencialidad ante la intervención Figura 60. Para estas áreas no se establece ninguna restricción de manejo diferente a la implementación de adecuadas prácticas ambientales de ingeniería.



Figura 60. Migración de atributos desde la zonificación ambiental hacia categoría de intervención en la zonificación de manejo

Fuente: INGETEC, 2020

Paso 2. Obtención del mapa de zonificación de manejo para el proyecto

Una vez obtenidos los mapas intermedios, se realiza una superposición de los mismos, mediante el uso del programa ArcGis, para tener como resultado final el mapa de zonificación de manejo para el proyecto. Para esta superposición se utiliza el mismo criterio utilizado en la zonificación ambiental, en el que prima la condición más crítica sobre las demás al momento de realizar la superposición, en donde la condición de Exclusión prima sobre cualquiera de las otras dos condiciones, la condición de intervención con restricciones altas tiene un segundo nivel de primacía, la cual va disminuyendo a medida que se desciende en las categorías de manejo establecidas; es decir que la condición de exclusión en un punto específico del territorio en cualquiera de los mapas fuente se mantiene como de exclusión sobre las demás condiciones que presente es punto del territorio en los otros mapas. De no existir en ese punto del territorio la condición de exclusión, pasa a primar la siguiente condición de restricción de manejo, que es la de intervención con restricción alta o, en un tercer nivel, de no existir ninguna de las dos anteriores, la condición de restricción media, la de restricción baja o finalmente la de intervención.

Paso 3. Identificación de principales restricciones para intervención por el proyecto

Como paso final de esta metodología se identifican desde cada medio las restricciones ambientales identificadas para el territorio y las acciones específicas más relevantes a realizar para la inserción del proyecto en el mismo.

2.3.8. Planes y Programas

2.3.8.1. Plan de Manejo Ambiental

El Plan de Manejo Ambiental (PMA) es el conjunto detallado de las medidas y actividades, que producto de una evaluación ambiental, están orientadas a prevenir, mitigar, corregir y compensar los impactos ambientales que se causen por el desarrollo del proyecto.

En esencia, este Plan de Manejo Ambiental considera como primera opción las medidas para prevenir y evitar la ocurrencia de los impactos, como segunda opción medidas para mitigarlos y/o minimizarlos, posteriormente medidas para corregir o restaurar y por último medidas compensatorias. Los planes de manejo aquí expuestos se enfocan fundamentalmente en controlar de una manera integral las causas del impacto para hacer más efectiva su implementación.

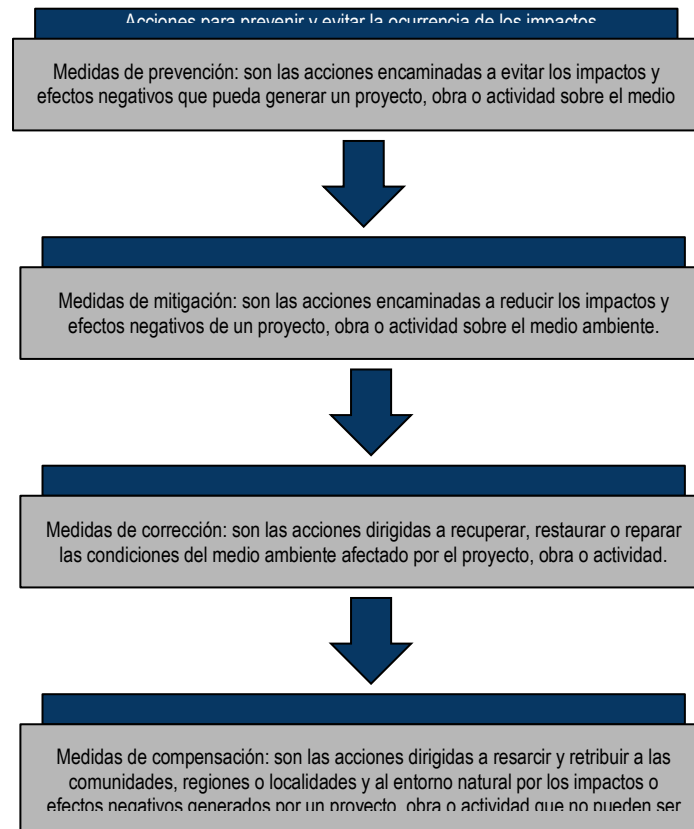


Figura 61. Estructura para el planteamiento de los planes de manejo
Fuente: Elaboración propia

Así mismo, este Plan de Manejo Ambiental (PMA) toma como cita los términos para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental de proyectos de explotación minera definidos por la Autoridad Nacional de Licencia Ambientales (ANLA), adoptados mediante Resolución 2206 del 27 de diciembre de 2016, y a la Metodología para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales del año 2018 (adoptada mediante la Resolución 1402 de julio 25 de 2018), así como a lo estipulado en el Decreto 1076 de 2015.

En respuesta a los requerimientos de la Metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales (ANLA, 2018), el Plan de Manejo Ambiental contiene:

- Programas de manejo ambiental
- Plan de seguimiento y monitoreo
- Plan de gestión del riesgo
- Plan de cierre
- Plan de compensación por pérdida de biodiversidad

2.3.8.1.1. Programas de Manejo Ambiental

Se formuló el Plan de Manejo Ambiental – PMA estructurado en programas y subprogramas con el objeto de dar línea al control integral de los impactos ambientales, los resultados de los talleres realizados con las comunidades, entre ellos los realizados entre el 10 y 12 de diciembre de 2020

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

Los programas de manejo han sido formulados de manera que un programa específico puede atender un componente o grupo de componentes de un determinado medio o igualmente un mismo programa puede aplicar para prevenir, mitigar, corregir o compensar uno o varios impactos que afectan varios medios. Cada programa tiene definidos los objetivos, tipo de medida, relación de las obras propuestas a implementar, cronograma estimado, costo estimado, indicadores de cumplimiento de los objetivos y las metas propuestas.

En Tabla 84 se presenta el contenido que se desarrolla para cada una de los programas de manejo propuestos. El planteamiento de los programas será con base en la jerarquía del manejo de potenciales impactos identificados teniendo en cuenta como acciones a desarrollar lo siguiente: 1). Prevenir 2). Mitigar y/o minimizar, 3). Compensar,

Tabla 84. Contenido de las fichas de manejo

Programa	NOMBRE DE PROGRAMA (ABIÓTICO /BIÓTICO / SOCIOECONÓMICO)				Código	
Etapa	ETAPA DE APLICACIÓN DEL PROGRAMA				CÓDIGO EL PROGRAMA	
Impactos por controlar			Jerarquía			
Está relacionado con el impacto provocado por las diferentes etapas del proyecto.			Significancia del impacto			
Objetivo General						
Indica de manera específica y precisa la finalidad que se pretende desarrollar con la estrategia de manejo ambiental.						
Tipo de Medida		Prevención	Mitigación	Corrección	Compensación	
Indicar si la medida propuesta está enfocada a corregir, prevenir, mitigar o compensar el impacto						
Meta (s)	Indicador (es)	Tipo Indicador		Valor de referencia	Medio de Verificación	Periodicidad de Verificación
		Eficacia	Efectividad			

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

Presenta la meta a alcanzar, indicando la finalidad que se pretende desarrollar con la estrategia de manejo ambiental.	Corresponde al establecimiento de los indicadores que mostrarán la eficacia, eficiencia y efectividad. Permiten hacer seguimiento a las metas propuestas para cada objetivo			Indicar el valor de referencia para establecer el cumplimiento de la medida	Indicar el método de inspección o verificación que se emplea para hacerle seguimiento a la implementación de la medida	indicar el tiempo o periodo de verificación de la medida
Descripción (Actividades)						
Corresponde a la descripción de las medidas a desarrollar para el adecuado manejo de los impactos						
Lugar de aplicación				Responsable		
Espacio donde se desarrolla la medida				Se establece el responsable de la ejecución de la ficha de manejo ambiental		
Cronograma						
Establece la fase en la que se ejecutará la medida						
Presupuesto						
Establece el costo total de la medida de manejo propuesta						

Fuente: Elaboración propia

2.3.8.1.2. Programas de Seguimiento y Monitoreo

El plan de seguimiento y monitoreo se diseña atendiendo lo contemplado en los términos de referencia para la elaboración del estudio de impacto ambiental – EIA en proyectos de minería y en la metodología general para la elaboración y presentación de Estudios Ambientales. Consecuentemente, está dividido en seguimiento y monitoreo a los planes y programas y seguimiento y monitoreo a la calidad del medio. Las fichas presentadas están orientadas a evaluar la eficacia de las medidas de manejo previstas para la atención de los impactos abióticos, bióticos y socioeconómicos del proyecto ... ver Capítulo 8. Evaluación Ambiental ... y a contar con las herramientas básicas para determinar de manera oportuna los ajustes que requieran los manejos previstos, acorde con los resultados obtenidos.

En cada ficha se presenta un programa de monitoreo y seguimiento - PMS que busca a evaluar la eficacia del manejo de uno o más impactos de acuerdo con las metas establecidas en el PMA. Los planes contienen: (i) acciones a desarrollar para obtener la información y/o los datos que permitan calcular los indicadores propuestos del PMA; (ii) criterios utilizados para el planteamiento de cada indicador, tanto de cumplimiento como de efectividad ambiental; (iii) frecuencia de medición; (iv) justificación de la representatividad del indicador planteado.

Tabla 85. Contenido ficha de seguimiento y monitoreo

Item	Descripción
1. OBJETIVO	Establece de manera específica y precisa el resultado que se pretende con la estrategia de seguimiento y monitoreo.
2. PLAN DE MANEJO ASOCIADO	Se indica el código y planes de manejo asociados
3. ACCIONES A DESARROLLAR	Medidas específicas que se adoptarán para efectuar el seguimiento y monitoreo a los planes de manejo propuestos.
4. INDICADORES DE SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN	Metas: Son las propuestas en el plan de manejo
	Descripción del indicador: Parámetro a medir a través del seguimiento y monitoreo
	Indicador: Indicadores correspondientes a la meta
	Criterio: Son los utilizados para el planteamiento de cada indicador (por qué se definieron esas variables como indicador)
	Justificación: Se establece el para qué del indicador y su representatividad (con base en la información utilizada para su cálculo)
	Valor de referencia: Establece los rangos de eficacia
	Frecuencia de medición: Indica el tiempo de ejecución de las verificaciones y/o monitoreo planteados
Acciones e información: Acciones para obtener la información y/o los datos que permitan calcular los indicadores propuestos en el PMA	
5. ACCIONES EN CASO DE BAJA EFICACIA	Escenario de implementación de acciones en caso de encontrar una baja eficacia del programa de manejo reflejada en los indicadores
6. LOCALIZACIÓN DEL SITIO DE SEGUIMIENTO O MONITOREO	Sitio, área o trayecto donde se aplicarán las medidas de seguimiento y monitoreo
7. CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN	Indica el momento de aplicación del programa de seguimiento y monitoreo
8. RESPONSABLE DE EJECUCIÓN	Establece las personas (naturales o jurídicas), encargadas de ejecutar, controlar, evaluar y/o de hacer el seguimiento y monitoreo planteado y mecanismos de coordinación entre los actores involucrados en el cálculo del indicador.
9. CUANTIFICACIÓN Y COSTOS	Establece el costo total

Fuente: Elaboración propia

2.3.8.1.3. Plan de Gestión del Riesgo

El Plan de Gestión del Riesgo establece el diseño de gestión del riesgo para la Modificación de Licencia Ambiental de la Mina La Esmeralda Título Minero 6823, el cumplimiento de la normatividad Nacional asociada a la gestión del riesgo, el cumplimiento de términos de referencia expedidos por las autoridades ambientales, y las políticas y procesos propios de la organización en pro de la gestión del riesgo en el desarrollo de las actividades mineras.

Esta normatividad se soporta en el análisis y valoración de los riesgos derivados de amenazas de origen natural, antrópico, y técnico - operacional que puedan afectar el proyecto y de los riesgos que puedan generarse a causa de la ejecución de las actividades del mismo. Se realiza para cada una de las fases de operación y cierre del proyecto. El análisis y valoración de riesgos es la base para el diseño e implementación de medidas de reducción del riesgo y la formulación del plan de contingencia para dar respuesta a los riesgos que se materialicen en el proyecto.

El contenido del documento se estructura bajo los lineamientos del Decreto 2157 dando alcance a lo exigido en la nueva metodología del Ministerio de Ambiente.

La gestión del riesgo se enmarca en tres procesos. El primero es un proceso de conocimiento del riesgo, en el cual se identifican: i) hechos, acciones y/o actividades generadoras de riesgo, que pueden conducir a la ocurrencia de efectos no previstos dentro del normal funcionamiento y desarrollo del proyecto. La reducción del riesgo contempla medidas dirigidas a la reducción de la exposición a las amenazas y a la disminución de la vulnerabilidad de las personas, el ambiente y la infraestructura. Finalmente, con los resultados del análisis específico de riesgos (proceso de conocimiento) y las medidas implementadas de reducción del riesgo, se estructuran las acciones en el plan de emergencia y contingencia del proceso de manejo del desastre.

La metodología desarrollada para el análisis de riesgos se presenta a continuación:

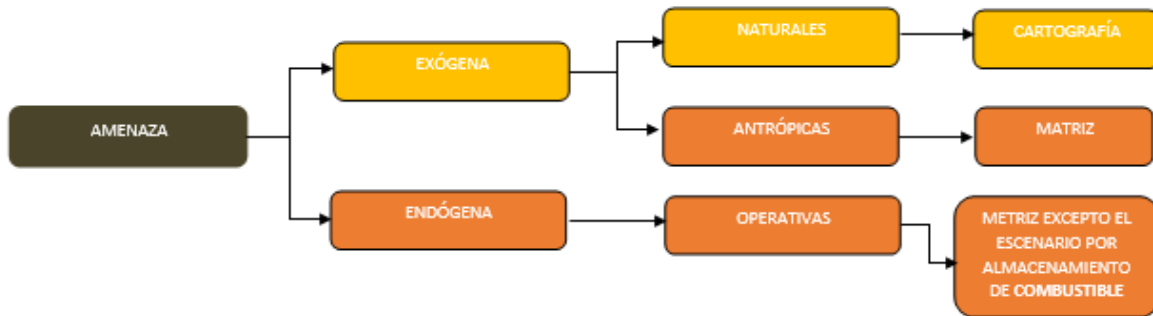


Figura 62. Metodología análisis y evaluación de amenazas, vulnerabilidad, exposición y riesgo
Fuente: Elaboración propia

2.3.8.1.4. Plan de Cierre

Se realiza la actualización del plan de cierre minero, teniendo en cuenta las áreas de aprovechamiento de caliza y conforme el plan de cierre minero de La Esmeralda, teniendo en cuenta que la cantera La Esmeralda, está compuesta por tres títulos mineros, uno de ellos es el 8-6823. Aunque se tienen dos títulos mineros de extracción de caliza y un título minero de extracción de arenas puzolánicas, la cantera es una sola y no se pueden independizar desde el punto de vista del aprovechamiento.

El Plan de Cierre establece las estrategias y procedimientos técnicos, ambientales y sociales que CEMEX deberá contemplar para el cierre de los elementos y procesos que se ejecutarán en el territorio durante el desarrollo del proyecto, se presenta como uno de los elementos a modificar en el instrumento ambiental del proyecto e incluye todos los componentes hasta el final de las actividades operativas de extracción de material aprovechable, reconfiguración morfológica, y restauración de áreas.

Cabe resaltar que la infraestructura requerida para el proyecto de explotación se encuentra instalada y es la misma que se utiliza para el contrato 8-4205 (incluye zonas de disposición de material estéril), título que cuenta con Plan de manejo ambiental aprobado y vigente por ANLA mediante resolución 855 de 2017, por lo que el plan de cierre se concentra en el

cierre progresivo de la zona de explotación del título 6823 y se acoge al plan de cierre final establecido en la resolución 855 de 2017 del título 8-4205.

2.3.8.1.5. Plan de Compensación por pérdida de biodiversidad

Para la elaboración del plan de compensación se tomó como base la Resolución 256 del 22 de febrero de 2018 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible que adopta la actualización del Manual de Compensaciones del Componente Biótico. Se planteó la propuesta siguiendo las directrices dadas por el Manual de Compensaciones del Componente Biótico en el marco del proceso de licenciamiento ambiental; el cual se implementará máximo seis meses después de realizarse el impacto o afectación por el proyecto o en los tiempos y formas indicados por la autoridad ambiental regional, de acuerdo con los requerimientos legales, asegurando que los impactos ambientales generados sean compensados (cumpliendo con la jerarquía de mitigación descrita en el manual, la cual establece la prevención, mitigación y por último, la compensación). En el caso de la compensación de especies en veda se desarrolló la compensación en base a la circular interna No. 00016 expedida por la Agencia Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) el 31 de diciembre de 2019.

La compensación propuesta se enmarca en los impactos que según la jerarquía de la mitigación, no pudieron ser mitigados, corregidos o prevenidos; dicha jerarquía es basada en la secuencia en la que se diseñan las medidas para mejorar los impactos negativos ocasionados por un proyecto. Una vez caracterizado el medio biótico del área de influencia, evaluados y valorados los impactos ambientales y reconocidos aquellos impactos que pudiesen ocurrir en el área (evaluación de impactos acumulativos y sinérgicos), se propusieron medidas orientadas a prevenir, mitigar, corregir y compensar los impactos ocasionados durante la ejecución de las actividades propuestas.

Partiendo de la información presentada en el Capítulo 3. Descripción del Proyecto, Capítulo 5.2. Medio Biótico, Capítulo 7. Demanda, Uso, Aprovechamiento y/o Afectación de Recursos Naturales y Capítulo 8. Evaluación Ambiental de la presente modificación de licencia ambiental, se identificaron los impactos provocados por la intervención del proyecto por aprovechamiento forestal en las superficies naturales o antrópicas que cuentan con individuos arbóreos y arbustivos, que son hábitats de especies de flora y fauna, no se pueden evitar, mitigar o corregir y que de acuerdo a la jerarquía de impactos deben ser compensados (impactos residuales).

Inicialmente se determinó el área que se verá impactada o afectada por la implementación y desarrollo del proyecto, cuyos atributos ecosistémicos se determinan en la caracterización del medio biótico, físico y socioeconómico para el estudio, que se presenta en el capítulo 5. Caracterización del Área de Influencia de la modificación de licencia ambiental; esto con el fin de identificar las acciones, modos, mecanismos o formas que garanticen la no pérdida neta de biodiversidad.

Para el área de intervención se establecieron los ecosistemas afectados y el área intervenida en cada uno. Con base en la línea base del estudio se identificaron las características ecosistémicas generales del área y el estado de conectividad y fragmentación.

La determinación del cuánto compensar se realizó como un cálculo aritmético donde se aplica lo conceptuado dentro del manual de compensación del componente biótico y lo estipulado en la circular interna No. 00016 expedida por la Agencia Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) el 31 de diciembre de 2019 para hábitat de especies no vasculares, utilizando el área que se va a compensar multiplicada por el factor de compensación identificado para cada ecosistema. En el caso de las coberturas naturales la compensación del manual de componente biótico se utilizó como factor el máximo establecido que es 1:10 ya que el proyecto se encuentra localizado en la zona de vida de Bosque Seco Tropical. Para las coberturas transformadas se estableció como uno, ya que según el Manual de Compensaciones del Componente Biótico: "En los casos de ecosistemas transformados, si como parte del análisis y la aplicación de la jerarquía de la mitigación, se identifican impactos bióticos que tengan que ser compensados, la autoridad ambiental competente establecerá una compensación 1:1 cuantificada en hectáreas".

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

Una vez estimada la superficie a compensar en el área de estudio y teniendo en cuenta las características de estas se procedió a realizar la selección de las áreas potenciales a compensar. Para el análisis se tuvo en cuenta las siguientes premisas:

- Localizarse en la subzona hidrográfica de afectación; en caso de no encontrarse se deberá buscar en las subzonas hidrográficas circundantes y por último en la zona hidrográfica.
- Si las áreas a compensar son menores, según el tipo de de ecosistema equivalente al área original impactada, se deberán incluir áreas o franjas de conectividad con potencial para la restauración en cualquiera de sus tres enfoques (restauración ecológica, rehabilitación y recuperación) y de uso sostenible como acción complementaria
- Áreas preferiblemente identificadas en el Plan Nacional de Restauración
- Propender por seleccionar áreas adyacentes a otras en las cuales se hayan realizado otras acciones de compensación que puedan estar identificadas en Registro Único de Ecosistemas y Áreas Ambientales (REAA)

Para la búsqueda de áreas ecológicamente equivalentes se utilizaron herramientas informáticas y ejercicios de priorización realizados por las autoridades ambientales y los institutos de investigación adscritos o vinculados al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Para la selección de áreas se tuvo en cuenta un enfoque de núcleos agregados producto de las diferentes obligaciones de compensación tanto de este estudio de impacto ambiental, como del estudio correspondiente al título minero 6823; es decir que este planteamiento contempló la búsqueda de áreas en las cuales se pudieran implementar las acciones de compensación para la:

- Compensación por pérdida de biodiversidad de los títulos mineros 745 y 6823
- Afectación de coberturas transformadas de los títulos mineros 745 y 6823
- Afectación de flora epífita en veda de los títulos mineros 745 y 6823

Lo anterior, buscando no desagregar las áreas de compensación en varios polígonos que de manera independiente no generen un impacto positivo significativo sobre la conservación y mejora de las condiciones actuales de los relictos de vegetación. Las áreas seleccionadas para implementar la compensación fueron descritas en los componentes flora, fauna, conectividad y suelos.

Las determinación de las acciones principales de compensación se refiere a las actividades de: preservación, restauración en sus diferentes enfoques (restauración, rehabilitación y recuperación) y el uso sostenible o su combinación, destacando que esta última acción, corresponde a una medida complementaria a la preservación y a la restauración. Partiendo de las características de las áreas que se intervendrán por la ejecución del proyecto y los ecosistemas donde se implementará el plan de compensación se determinan las acciones que conformarán el plan de compensación, así como las actividades que deben establecerse para cumplir sus objetivos.

2.4. PROFESIONALES INVOLUCRADOS

El Estudio de Impacto Ambiental para la modificación de la licencia ambiental otorgada mediante Resolución N°1498 el 21 de noviembre de 2005, es realizado por CEMEX Colombia S.A quien conformó un equipo multidisciplinario de profesionales propios y consultores externos.

- Definición de las actividades objeto de modificación y soporte técnico : Cemex Colombia S.A con recursos propios y apoyo de consultor IRYS
- Estudio de Impacto Ambiental: INGETEC Ingeniería & Diseño
- Monitoreos de aire, ruido : AGQ Prodycon Colombia S.A.S.
- Monitoreos de calidad de agua fisicoquímica y bacteriológica agua superficial: AGQ Prodycon Colombia S.A.S.
- Monitoreos de calidad de agua fisicoquímica aguas subterráneas: AGQ Prodycon Colombia S.A.S

El equipo de trabajo de INGETEC Ingeniería & Diseño que participó en la elaboración del estudio ambiental que soporta esta solicitud de modificación está conformado por los profesionales que se relacionan en la siguiente tabla

Tabla 86. Equipo de trabajo para la elaboración del EIA - INGETEC.

Nombre	Responsabilidad / profesión	Targeta profesional
Andres Amaya V	Director del Estudio Ambiental Director de la División Ambiental de INGETEC S.A Ingeniero Civil. Msc. Ingeniería Civil	
Astrid Romary Sáenz Guerrero	Coordinadora del Estudio Ambiental Directora Departamento Gestión Ambiental de INGETEC S.A Ingeniera Ambiental. Esp. Evaluación de Impactos. Esp. Seguridad y Salud en el Trabajo. Auditor interno Sistema de Gestión Integral	25260-63236 CND
Myriam Rodriguez	Apoyo administrativo Economista	30889 matrícula d e Economista
Apoyo Cartografía y SIG		
Marcela Gemade	Especialista SIG	
Componente fisico		
Ivan Silva Quintero	Director Departamento Ingeniería Ambiental	76237-24783
Leticia Jiménez	Especialista componente Geoesférico Especialista Senior Geóloga Esp. Derecho Minero y petrolero	1995
Camilo Andrés Phillips Bernal	Ingeniero Civil PHD Ingeniería Civil - Énfasis Estructuras Jefe Departamento Presas	25202110909CND
Jeisson Javier Pinzón Hernández	Ingeniero Civil Maestría Ingeniería Civil - Énfasis Geotecnia Ingeniero Principal - Departamento Presas	25202-261982
Angelica Cubillos	Ingeniera Ambiental Coordinadora medio Abiótico	76238137716
Manuel Tirado Ávila	Especialista componente atmosférico Ingeniero Ambiental	25238-320165
Felipe Soler	Especialista componente ruido Ingeniero Ambiental	
Freddy Velazques Uribe	Especialista componente edafológico Ingeniero Agrónomo	18402 Ministerio de Agricultura
Valeria Cortés	Especialista en Gestión del Riesgo Ingeniera Ambiental	091021-0533638

DOCUMENTO No: LES6823-INF-LL-EAMB-002- CAPÍTULO 2. GENERALIDADES

Carlos Diaz Arrieta	Especialista componente hidrología y meteorología Ingeniero principal del departamento de hidrología	13202151201BLV
Componente biótico		
Ross Mérida Martin	Directora del Departamento de Ecológica Bióloga	51683158 CPB
Milton Sandoval	Biólogo. Master en cambio climático y desarrollo sostenible	79856469 CPB
Componente socioeconómico y cultural		
Yaddy Ruiz	Directora Departamento de Estudios Sociales Trabajadora social	085185211
Piedad Hernández	Coordinadora componente socioeconómico Trabajadora social	085115213-A
Ariel Paz	Especialista en valoración económica Ingeniero industrial	