

AFECTACIÓN AMBIENTAL DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA QUEBRADA  
CASCABEL GENERADA POR LA EXPLOTACIÓN MINERA ARTESANAL DEL  
MUNICIPIO DE MARMATO DEPARTAMENTO DE CALDAS

SANDRA PATRICIA GOMEZ HERNANDEZ  
SANDRA MILENA ROJAS CANO

UNIVERSIDAD DE MANIZALES  
MAESTRIA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE  
MANIZALES CALDAS

2014

AFECTACIÓN AMBIENTAL DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA QUEBRADA  
CASCABEL GENERADA POR LA EXPLOTACIÓN MINERA ARTESANAL DEL  
MUNICIPIO DE MARMATO DEPARTAMENTO DE CALDAS

SANDRA PATRICIA GOMEZ HERNANDEZ  
SANDRA MILENA ROJAS CANO

Director

LUIS ALBERTO VARGAS

Mag. Desarrollo sostenible y Medio Ambiente

Trabajo de grado para optar al título de Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

UNIVERSIDAD DE MANIZALES  
MAESTRIA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE  
MANIZALES CALDAS

2014

Nota de aceptación

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

---

Manizales, 24 Junio de 2014

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecemos principalmente a Dios por permitirnos terminar con éxito esta etapa de nuestras vidas, a nuestros padres y esposos por brindarnos su apoyo incondicional, a los docentes que ayudaron a comprender los temas necesarios y al señor José Albeiro Gómez Chica funcionario de Corporación Autónoma Regional de Caldas, CORPOCALDAS por su incondicional respaldo frente a todos los obstáculos presentados en el desarrollo de la presente investigación.

## **RESUMEN**

La presente investigación tuvo como finalidad, determinar el grado de afectación ambiental de la calidad de agua de la quebrada cascabel, en relación al impacto ocasionado por las descargas de las actividades desarrolladas en el proceso productivo de las plantas de beneficio de oro o molinos artesanales; a partir de la relación causa - efecto de las áreas de influencia directa de la fuente hídrica.

En la elaboración del estudio se utilizaron métodos cuantitativos que permitieron realizar la identificación, análisis y evaluación de impactos ambientales, de igual manera se identificaron cuáles son las acciones de mayores impactos sobre el componente hídrico.

La investigación arrojó como resultado la importancia neta de cada uno de los impactos generados por las actividades mineras en función de la calidad ambiental de la quebrada cascabel, considerando dos escenarios; el primero representado por la situación real del área de estudio, donde no se consideran medidas de manejo ambiental y el segundo, un escenario donde se consideraran las medidas de manejo ambiental mínimas. Esta valoración evidenció una reducción mínima de los efectos ocasionados por la actividad minera de las plantas artesanales de beneficio de oro evidenciando la gravedad de la contaminación ocasionada a esta quebrada y la necesidad de considerar nuevas alternativas de manejo con tecnologías más avanzadas.

## **SUMMARY**

This research aims to determine the degree of environmental impact on quality of stream water in relation to rattle caused by the discharge of the activities in the production process of the gold processing plants or mills impact ; from the cause - effect relationship of the areas of influence of the broken bell .

In developing the survey quantitative methods that allowed for the identification analysis and evaluation of environmental impacts, just as were identified which shares greater impacts on water component are used.

The investigation resulted in the net throw importance of each of the impacts caused by mining activities in terms of the environmental quality of the broken bell, considering two scenarios; the first represented by the actual situation of the study area, which are not considered environmental management measures and the second, a scenario where minimal environmental management measures were considered. This review evidenced minimal reduction of the effects caused by mining activities of artisanal gold processing plants showing the severity of pollution to this creek and the need to consider new alternatives with more advanced technologies

## **PALABRAS CLAVES**

Impacto ambiental, calidad del agua, evaluación de impacto ambiental, contaminación al recurso hídrico, minería.

## **KEYWORD**

Environmental impact, water quality, environmental impact assessment, mining, pollution to water resource.

## CONTENIDO

INTRODUCCION.....	20
DISEÑO TEORICO .....	22
TITULO DEL PROYECTO DE INVESTIGACION .....	22
PROBLEMA DE INVESTIGACION.....	22
Pregunta de investigación.....	23
DESCRIPCION DEL AREA PROBLEMÁTICA .....	24
ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	28
Documentos específicos del municipio de Marmato .....	28
Estudios de impacto ambiental relacionados con minería.....	29
Otros estudios relacionados con el tema .....	29
JUSTIFICACION.....	30
OBJETIVOS.....	33
GENERAL .....	33
ESPECÍFICOS .....	33
MARCO LEGAL APLICABLE A LA ACTIVIDAD MINERA .....	34
FUNDAMENTOS TEORICOS .....	41
Minería aurífera.....	41
Etapas y actividades de la minería aurífera .....	45
IMPACTOS AMBIENTALES GENERADOS AL RECURSO HIDRICO POR LA EXPLOTACION DE ORO .....	51
INDICES DE CALIDAD DEL AGUA ICA Y DE CONTAMINACION ICO .....	54

Índice de calidad del agua ICA .....	54
Índices de contaminación ICO .....	60
MÉTODOS DE EVALUACION DE IMPACTO AMBIENTAL .....	65
Manual de evaluación ambiental de estudios ambientales MAVDT .....	65
Metodologías utilizadas en EIA en Colombia.....	66
Lista de revisión o chequeo .....	69
Paneles de expertos .....	70
Cartografía ambiental.....	71
Identificación de relaciones causa-efecto entre acciones del proyecto y factores del medio. Valoración cualitativa del impacto.....	73
CÁLCULO DE LA IMPORTANCIA AMBIENTAL EN FUNCIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL.....	79
PROPUESTA PARA EL CÁLCULO DE LA IMPORTANCIA AMBIENTAL DE LOS IMPACTOS EN EL ESCENARIO CON PROYECTO INCLUYENDO LAS MEDIDAS DE MANEJO AMBIENTAL. ....	80
Eficacia de la medida de manejo.....	83
SÍNTESIS DE LA PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL CÁLCULO DE LA IMPORTANCIA DE LA RECUPERABILIDAD .....	86
Determinación de la importancia neta.....	87
CALIDAD DEL AGUA.....	88
DISEÑO METODOLOGICO .....	93
UNIDAD DE ANÁLISIS Y DE TRABAJO .....	93
TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	93

Etapas de la investigación .....	94
TECNICAS E INSTRUMENTOS .....	98
ANALISIS DE LA INFORMACION .....	99
CARACTERIZACION DE LA QUEBRADA CASCABEL .....	99
Ubicación.....	99
Condiciones climáticas del área de estudio.....	99
Características hidráulicas de la cuenca de la microcuenca Cascabel.....	103
Geología .....	104
Cobertura y uso del suelo de la quebrada Cascabel .....	106
Fauna .....	108
Recurso hídrico.....	109
Aspectos socio- económicos .....	110
ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA QUEBRADA CASCABEL .....	115
INDICES DE CALIDAD DE AGUA ICA Y DE CONTAMINACION ICO.....	121
Indicé de calidad de agua ICA para la quebrada Cascabel.....	121
Índices de calidad de contaminación ICO para la quebrada Cascabel.....	122
IDENTIFICACION Y UBICACIÓN DE LOS MOLINOS EN EL AREA DE INFLUENCIA DIRECTA SOBRE LA QUEBRADA CASCABEL .....	128
DESCRIPCION DEL PROCESO DE EXTRACCION Y TRANSFORMACION DEL ORO EN EL MUNICIPIO DE MARMATO.....	133
Explotación.....	134
Beneficio del mineral .....	136
IDENTIFICACION DE IMPACTOS AMBIENTALES .....	142

Atributos que miden directamente la pérdida o mejoramiento de calidad ambiental del factor afectado. ....	170
Argumentación de cada uno de los atributos aplicados .....	172
CONCLUSIONES.....	211
REFERENCIAS .....	215
ANEXOS .....	221

## LISTA DE GRAFICOS

Gráfico No. 1. Panorámica Municipio de Marmato .....	24
Gráfico No. 2. Microcuenca Cascabel.....	26
Gráfico No. 3. Función del subíndice para DBO5 .....	56
Gráfico No. 4. Función del subíndice para Oxígeno D. ....	56
Gráfico No. 5. Función del subíndice para pH.....	56
Gráfico No. 6. Función del subíndice para turbiedad.....	56
Gráfico No. 7. Función del subíndice para fosforo total .....	57
Gráfico No. 8. Función del subíndice para Nitrógeno Total .....	57
Gráfico No. 9. Función del subíndice para temperatura.....	58
Gráfico No. 10. Función del subíndice para coliformes fecales.....	58
Gráfico No. 11. Función del subíndice para sólidos totales .....	58
Gráfico No. 12. Afluentes y Efluentes de la Quebrada Cascabel.....	101
Gráfico No. 13. Microcuenca Aguas Claras Según CORPOCALDAS .....	101
Gráfico No. 14. Estaciones de Monitoreo .....	104
Gráfico No. 15. Área de Influencia Directa de la Quebrada Cascabel con Amenaza alta de Movimientos de Masa. ....	105
Gráfico No. 16. Localización de la Actividad Minera del Municipio de Marmato con Relación al Suelo de la Quebrada Cascabel .....	106
Gráfico No. 17. Usos del Suelo Localizados en el AID de la Q. Cascabel.....	107
Gráfico No. 18. Áreas de Protección para Establecidas para la Quebrada Cascabel .....	110
Gráfico No. 19. Ubicación de Estaciones y Tributarios Utilizados del Estudio de SANEAR....	116

Gráfico No. 20. Entrevistas .....	129
Gráfico No. 21. Aplicación lista de chequeo.....	129
Gráfico No. 22. Ubicación Geográfica de las Plantas de Beneficio Visitadas.....	133
Gráfico No. 23. Enfoque Sistémico de Molinos de Marmato .....	134
Gráfico No. 24. Sistema de Explotación Subterráneo y Minería de Filón .....	135
Gráfico No. 25. Transporte del Mineral por Vagones y Cable Aéreo.....	136
Gráfico No. 26. Trituradora.....	136
Gráfico No. 27. Molino .....	137
Gráfico No. 28. Bolas.....	137
Gráfico No. 29. Mallas .....	137
Gráfico No. 30. Mesa Concentradora o Mesa Wilfley.....	138
Gráfico No. 31. Cilindro Remoedor .....	139
Gráfico No. 32. Cianuración .....	140
Gráfico No. 33. Sustancias Químicas Utilizadas.....	140
Gráfico No. 34. Preparación de Soluciones.....	141
Gráfico No. 35. Tina de Agitación y Aplicación de Viruta de Zinc.....	141
Gráfico No. 36. Alteración del Color en el Agua.....	151
Gráfico No. 37. Disposición Inadecuada de Residuos Sólidos .....	154
Gráfico No. 38. Procesos Erosivos en el Municipio de Marmato .....	156
Gráfico No. 39. Vertimientos de Aguas Cianuradas .....	161
Gráfico No. 40. Síntesis de Impactos Mediante la Metodología Cualitativa y el Modelo Metodológico Propuesto por Renson, 2010 .....	169

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Legislación Minera Aplicable .....	34
Tabla 2: Legislación Ambiental Aplicable .....	36
Tabla 3: Zonas de Reserva.....	37
Tabla 4: Participación Ciudadana y Minería .....	38
Tabla 5: Regiones de Minería de Oro de Filón .....	41
Tabla 6: Peso Relativo de los Parámetros .....	59
Tabla 7: Clasificación de la Calidad del Agua Según el Valor ICA-CETESB .....	60
Tabla 8: Rangos de la Clasificación de la Contaminación del Agua Mediante los Valores de los Índices ICO.....	65
Tabla 9: Matriz de Identificación de Efectos.....	69
Tabla 10: Matriz de Impactos.....	72
Tabla 11: Atributos de los Impactos.....	75
Tabla 12: Valor de Ponderación Criterios Cualitativos de la Metodología Conesa.....	79
Tabla 13: Valor de la Importancia en Función de la Calidad.....	80
Tabla 14: Clasificación de Valoración del Tiempo, para la Recuperación del Impacto .....	83
Tabla 15: Clasificación Para la Eficiencia de la Medida de Manejo.....	84
Tabla 16: Sistema de Clasificación .....	85
Tabla 17: Calculo de la Importancia de la Recuperabilidad.....	86
Tabla 18. Calculo de la Importancia Neta .....	88
Tabla 19. Condiciones Climáticas de la Quebrada Cascabel .....	100
Tabla 20: Caudales Aforados en Estaciones de Monitoreo.....	103

Tabla 21: Usos del Suelo de la Quebrada Cascabel. ....	108
Tabla 22: Estaciones y Tributario Utilizados del Estudio de SANEAR .....	115
Tabla 23: Tramo Definido para la Caracterización de usos Actuales de la Quebrada Cascabel. ....	116
Tabla 24: Valores Típicos para Aguas Superficiales Establecidos por la UNESCO. Parte 1 .....	117
Tabla 25: Valores Típicos para Aguas Superficiales Establecidos por la UNESCO. Parte 2.....	118
Tabla 26: Valores Típicos para Aguas Superficiales Establecidos por la UNESCO. Parte 3.....	118
Tabla 27: Valores Típicos para Aguas Superficiales Establecidos por la UNESCO Parte 4.....	118
Tabla 28: Resultados de cada uno de los parámetros determinantes de la calidad del agua de la Quebrada Cascabel según el estudio de SANEAR y CORPOCALDAS. ....	119
Tabla 29: Resultados de cada uno de los parámetros determinantes de la calidad del agua de la Quebrada Cascabel según el estudio de SANEAR y CORPOCALDAS. Parte 2.....	120
Tabla 30: Resultados de cada uno de los parámetros determinantes de la calidad del agua de la Quebrada Cascabel según el estudio de SANEAR y CORPOCALDAS. Parte 3 .....	120
Tabla 31: Resultados de cada uno de los parámetros determinantes de la calidad del agua de la quebrada Cascabel según el estudio de SANEAR y CORPOCALDAS. Parte 4.....	121
Tabla 32: Resultados de cada uno de los parámetros determinantes de la calidad del agua de la Quebrada Cascabel según el estudio de SANEAR y CORPOCALDAS. Parte 5 .....	121
Tabla 33: Índice de Calidad de Agua ICA para la Quebrada Cascabel.....	122
Tabla 34: Índices de Contaminación ICO .....	123
Tabla 35: Objetivos de Calidad del Agua Definidos para las Quebradas Zaparrilla y Aguas Claras.....	125
Tabla 36: Relación del Uso Actual con los Definidos como Objetivos de Calidad para la Quebrada Cascabel .....	125

Tabla 37: Comparación de los Parámetros Evaluados con Objetivos de Calidad de la Quebrada Cascabel.....	126
Tabla 38: Evaluación de Parámetros Físicoquímicos Vs Valores Típicos Admisibles para Corrientes Superficiales.....	127
Tabla 39: Identificación y Ubicación de los Molinos Visitados .....	130
Tabla 40: Situación Legal de Cada uno de los Molinos Visitados.....	131
Tabla 41: Descripción de Aspectos Ambientales Impactados por la Minería.....	143
Tabla 42: Identificación de Impactos Ocasionados en cada una de las Etapas del Proceso Productivo de la Extracción y Beneficio del Oro. ....	144
Tabla 43: Marco legal de los Aspectos Ambientales Identificados en el Área de Estudio. ....	145
Tabla 44: Matriz Identificación de Impactos Ambientales al Recurso Hídrico Parte A .....	148
Tabla 45: Matriz Identificación de Impactos Ambientales a Fuentes Hídricas Superficiales Parte B .....	149
Tabla 46: Valores de Ponderación Criterios Cualitativos Metodología Conesa. ....	167
Tabla 47: Atributos que Miden Directamente la Pérdida o Mejoramiento de la Calidad Ambiental para la Quebrada Cascabel .....	170
Tabla 48: Atributos Seleccionados para el Cálculo de la Importancia Ambiental en Función de la Calidad Ambiental con o sin Medidas de Manejo Ambiental.....	171
Tabla 49: Evaluación de Parámetros Físicoquímicos Vs Valores Típicos Admisibles para Corrientes Superficiales.....	173
Tabla 50: Sistema de Clasificación Propuesto para Medir la Extensión de un Impacto .....	174
Tabla 51: Sistema de Clasificación Propuesto por Renson para la Valoración de la Sinergia....	175
Tabla 52: Clasificación Propuesta por Renson para la Clasificación de la Acumulación.....	176

Tabla 53: Sistema de Clasificación Propuesto por Renson para la Valoración de la Periodicidad.	177
Tabla 54: Sistema de Clasificación Propuesto por Renson para la Valoración de la Reversibilidad.	178
Tabla 55: Sistema de Clasificación Propuesto para la Importancia Ambiental sin Medida de Manejo Ambiental	179
Tabla 56: Valoración de los Atributos Cualitativos para Determina la Importancia Ambiental de los Impactos en Función a la Calidad Ambiental de la Quebrada Cascabel sin la Aplicación de Medidas de Manejo Ambiental.	180
Tabla 57: Medidas de Manejo Ambiental Mínimas en las Plantas Artesanales de Beneficio de Oro Parte 1	182
Tabla 58: Medidas de Manejo Ambiental Mínimas en las Plantas Artesanales de Beneficio de Oro Parte 2.	183
Tabla 59: Medidas de Manejo Ambiental Mínimas en las Plantas Artesanales de Beneficio de Oro Parte 3.	184
Tabla 60: Medidas de Manejo Ambiental Mínimas en las Plantas Artesanales de Beneficio de Oro Parte 4.	185
Tabla 61: Medidas de Manejo Ambiental Mínimas en las Plantas Artesanales de Beneficio de Oro Parte 5.	186
Tabla 62: Calificación Propuesta por Renson, 2010 para la Eficiencia de la Medida de Manejo Ambiental.	188
Tabla 63: Clasificación Propuesta para la Valoración del Tiempo de Recuperación.	190
Tabla 64: Clasificación Propuesta por Renson para la Importancia de la Recuperabilidad.	191

Tabla 65: Resultados de la Valoración de Impactos Ambientales con y sin Medidas de Manejo Ambiental. Parte 1 .....	193
Tabla 66: Resultados de la Valoración de Impactos Ambientales con y sin Medidas de Manejo Ambiental. Parte 2 .....	196
Tabla 67: Resultados de la Valoración de Impactos Ambientales con y sin Medidas de Manejo Ambiental. Parte 3 .....	198
Tabla 68: Resultados de la Valoración de Impactos Ambientales con y sin Medidas de Manejo Ambiental. Parte 4 .....	200
Tabla 69: Resultados de la Valoración de Impactos Ambientales con y sin Medidas de Manejo Ambiental. Parte 5 .....	207

## **LISTA DE ANEXOS**

**ANEXO 1.** LISTAS DE CHEQUEO DILIGENCIADAS PARA LAS PLANTAS DE BENEFICIO DE ORO VISITADAS .....221

**ANEXO 2.** PLANO. UBICACIÓN DE LAS PLANTAS DE BENEFICIO DE ORO VISITADAS.....221

## INTRODUCCION

La práctica minera siempre ha representado un renglón importante en la económica local y regional de Colombia, El hombre ha sido minero desde los albores de la humanidad, sin embargo en los últimos años, los gobiernos de turno han dirigido su mirada en el sector minero, proyectándolo como uno de los mayores promotores para el crecimiento de la economía colombiana impulsada por la inversión extranjera. Este enfoque enciende una alarma inminente con relación a la riqueza ambiental que representa El País, según el más reciente estudio nacional del agua en el año 2010 revelado por el IDEAM, la oferta hídrica del país es seis veces superior a la oferta mundial y tres veces mayor que Latinoamérica, sin embargo la disponibilidad del recurso para los colombianos es escasa, pues cerca del 80% de la población y las actividades económicas del país están localizadas en cuencas con déficit natural de agua.

Sin lugar a dudas, hoy en día la minería es la actividad de origen antrópico que mayor impacto está causando a los recursos naturales, por esta razón la presente investigación pretende determinar la afectación ambiental de la calidad de agua de la quebrada cascabel del municipio de Marmato producto de las actividades mineras artesanales realizadas en su área de influencia directa.

El presente estudio identifica, analiza y valora los impactos ambientales provocados por las actividades mineras en las plantas de beneficio de oro o molinos artesanales que realizan descargas a la quebrada cascabel, esta valoración de impactos permite obtener jerárquicamente la importancia neta de cada uno de los impactos identificados, para de esta

manera facilitar a las autoridades competentes y responsables de las plantas de beneficio de oro; el desarrollo de programas, proyectos y actividades de acuerdo al grado de importancia de recuperabilidad en función de la calidad ambiental de la quebrada Cascabel.

## **DISEÑO TEORICO**

### **TITULO DEL PROYECTO DE INVESTIGACION**

Afectación ambiental de la calidad del agua de la quebrada Cascabel generada por la explotación minera artesanal del municipio de Marmato departamento de Caldas.

### **PROBLEMA DE INVESTIGACION**

En los últimos años, el país se ha dado cuenta de todos los intereses reales que existen detrás del negocio de la minería que relaciona a un grupo numeroso de actores sociales con innumerables impactos negativos en términos sociales, ambientales, culturales, políticos y económicos; la deficiente legislación frente al tema ha hecho que estos problemas se agudicen cada vez más, provocando una de las consecuencias más grandes que tiene el país, frente a la disminución de la calidad en el recurso hídrico.

El Plan Nacional de desarrollo 2010 – 2014, plantea como uno de los pilares estratégicos para el crecimiento de la economía del país la locomotora minera, colocándola en un renglón importante, sin embargo a la luz del desarrollo sostenible, el país no está preparado para asumir el acelerado crecimiento de este sector. Actualmente diferentes multinacionales han planteado al gobierno nacional proyectos de minería a gran escala dentro del municipio de Marmato.

La minería para el municipio de Marmato, está representada por una minería artesanal a pequeña escala. Predominando pequeñas empresas administradas directamente por los

titulares de los derechos mineros, arrendamientos de las minas y dentro de la misma mina a terceros. Según los resultados del estudio denominado caracterización, evaluación y modelación de la calidad del agua quebrada cascabel y aguas claras del municipio de Marmato, realizado por la fundación SANEAR y CORPOCALDAS; las descargas de los subproductos de la extracción y el beneficio del oro contaminan el agua de la quebrada cascabel con la descarga de sustancias toxicas, lodos cianurados, sólidos inertes, aguas residuales entre otros, deteriorando la calidad del agua y usos potenciales de la quebrada.

Esta situación ha generado escenarios de conflictos socio ambiental; entre los mayores impactos al recurso hídrico, encontramos la cianuración que se ha presentado debido a los procesos que se realizan en los molinos donde se lleva a cabo los procesos de clasificación, trituración, concentración y cianuración de materiales extraídos de socavones, estos procesos químicos dejan residuos sólidos y líquidos que en su mayoría van a ser dispuestos a las fuentes hídricas cercanas.

Otro de los problemas identificados según el Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT) del municipio, consiste en el fuerte grado de contaminación en el río cauca. Esto se debe que a lo largo del río, desembocan corrientes hídricas tales como la quebrada Cascabel en las que se realizan descargas de algunos desechos tóxicos producto de la minería y aguas residuales domésticas sin ningún tipo de tratamiento, ocasionando que sus aguas no sean aptas para el consumo humano.

### **Pregunta de investigación**

Cuál es la afectación a la calidad del agua en la quebrada Cascabel, generada por la explotación minera artesanal del municipio de Marmato en términos ambientales.

## DESCRIPCION DEL AREA PROBLEMÁTICA

Gráfico No. 1. **Panorámica Municipio de Marmato**



Fuente: Google earth, 2014

Marmato es el centro aurífero más importante de Caldas conocido como el pesebre de oro de Colombia, forma parte del distrito minero del mismo nombre, que comprende además los municipios de Supía, Riosucio, La Merced y Filadelfia, los cuales poseen un menor aporte productivo. El distrito minero de Marmato es uno de los 43 distritos existentes en Colombia y aporta cerca del 7% de la producción de metales preciosos, de la cual un 75% ha sido producido por una empresa (Mineros Nacionales, clasificada como mediana minería) y el 25% restante proviene de los pequeños mineros (UPME, 2007).

La minería representa el sector económico generador de mayor empleo de Marmato, de igual manera es el mayor causante del deterioro de los recursos naturales y el promotor de conflictos sociales en el municipio. La informalidad y la expansión acelerada sin considerar la

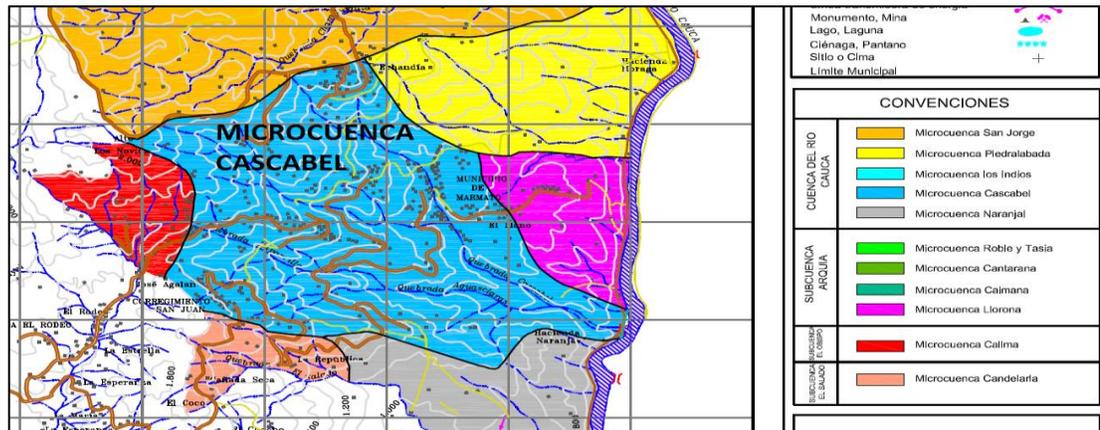
planificación del territorio de la actividad minera han proporcionado en el sector impactos severos al recurso hídrico.

Actualmente la corporación autónoma regional CORPOCALDAS, adelanta el censo y legalización definitiva de los molinos existentes de Marmato, sin embargo algunos de estos se encuentran ubicados en suelos no aptos para esta actividad, lo que hacen que continúen con carácter ilegal pese a contar con los respectivos permisos por INGEOMINAS Y CORPOCALDAS.

El municipio de Marmato se localiza al noroccidente del departamento de Caldas, en el flanco oriental de la cordillera occidental y en la vertiente occidental del río Cauca, topográficamente se encuentra en el occidente del relieve conocido como el macizo de los mellizos. Sus coordenadas son 5° grados 29 minutos de latitud norte y 75° grados 36 minutos de longitud oeste. Está ubicado a una altura de 1.310 metros sobre el nivel del mar. (Alcaldía Municipal de Marmato, 2010) Es el municipio más pequeño del departamento de Caldas y tiene una extensión de 41 kilómetros cuadrados; 17.9 has de terreno urbano y 4.063 has de terreno rural. Reconocido por su potencial aurífero, Marmato es un municipio que hace parte de la subregión del Alto Occidente del Departamento de Caldas.

El municipio cuenta con distintas microcuencas en las cuales según Esquema de Ordenamiento Territorial, se encuentra la microcuenca Cascabel la cual tiene fácil acceso por la vía principal y por los distintos sectores que ella cruza como: Bellavista, Ladrillera, Jiménez.

Gráfico No. 2. Microcuenca Cascabel.



Fuente: EOT Marmato, 2010, modificado por el autor

La misma microcuenca Cascabel, es denominada por la autoridad ambiental CORPOCALDAS con el nombre de aguas claras, la razón que sustenta esta modificación, fue expuesta por el funcionario de la Corporación José Albeiro Gómez Chica citada en este documento de manera textual:

*“CORPOCALDAS al realizar la división de las microcuencas del territorio, uno de los criterios fue la divisoria de agua, dentro de las cueles se incluían varios drenajes, el nombre de la microcuenca se asignó tomando el nombre de la fuente receptora de los drenajes tributarios incluidos en el marco de Microcuenca. Para el caso en Particular, la fuente receptora de las aguas de los drenajes en esta microcuenca es La Quebrada Aguas Claras y la quebrada Cascabel es uno de sus tributarios”.*

Lamentablemente, la descripción y referenciación el sistema socio - ambiental de la quebrada en estudio se definirá de aquí en adelante con el nombre de quebrada Cascabel, ubicada dentro de la microcuenca Cascabel, la razón principal surge que no se logró encontrar un documento o resolución que sustente el concepto de CORPOCALDAS, determinando que esta microcuenca tiene por nombre Aguas claras, a diferencia de esto, si existen documentos

de planificación tales como el EOT del municipio de Marmato que denominan la microcuenca con el nombre de Cascabel; Sin embargo se considerara como referente principal la cartografía elaborada por CORPOCALDAS, debido que es más actualizada que la suministrada por la Secretaria de Planeación del Municipio de Marmato.

La microcuenca Cascabel es una de las más utilizadas en el municipio de Marmato para los diferentes sectores del municipio, la contaminación que se encuentra en ella es tanto industrial como doméstica, por las distintas actividades que en ella se realizan, dentro de esta microcuenca se encuentra la quebrada Cascabel como una de sus principales tributarios, está quebrada representa el área de estudio de la presente investigación. La fuente hídrica es receptora de vertimientos industriales (actividad minera) y los del casco urbano del municipio de Marmato (Viejo Marmato), cuenta con una intensa riqueza cultural ya que de ella se desprenden distintas leyendas; con el paso del tiempo esta quebrada ha presentado la reducción significativa de especies arbóreas, la tala y la contaminación que se ha presentado en la quebrada generada por vertimientos de los molinos que benefician oro son la mayor causa de del deterioro de la calidad del agua de esta fuente hídrica.

De acuerdo a antecedentes investigativos del área de estudio, la quebrada presenta graves conflictos de uso del suelo principalmente causados por la extracción de minerales en minas, desechos de estériles de los molinos, vertimientos directos de aguas residuales domésticas y el descargue de sustancias químicas las cuales ocasionan inestabilidad al terreno.

## **ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS**

En Colombia la minería ha tenido un auge muy marcado en los últimos años, trayendo consigo situaciones ambientales, sociales, políticas, culturales y económicas, en el ámbito ambiental, uno de los mayores impactos negativos ha sido sobre el recurso hídrico, afectando directamente la calidad de vida de muchas poblaciones.

Los antecedentes investigativos que se relacionan a continuación, son documentos que contienen información relacionada con la minería.

### **Documentos específicos del municipio de Marmato**

Los documentos que se relacionan a continuación, son estudios y /o documentos específicos del municipio de Marmato, en los cuales el tema minero cobra singular importancia.

- Tesis de grado denominada “Tratamiento biológico como alternativa para disminuir el impacto ambiental ocasionado por el drenaje ácido, generado por la actividad minera en el municipio de Marmato Caldas” Universidad de Manizales, 2012.
- (Diagnostico microcuenca Cascable, 2011)
- Agenda ambiental del municipio de Marmato, 2012.
- Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos – PGIRS, Municipio de Marmato Caldas, 2005.
- Esquema de Ordenamiento Territorial, 2010
- Territorialidad y conflicto, 2012
- Plan de acción inmediato PAI para el municipio de Marmato, 2010
- Caracterización, Evaluación y Modelación de la Calidad de Agua Quebradas Cascabel y Aguas Claras – Municipio de Marmato”, 2011.

- GONZALEZ V., MAURICIO, Y OTROS 2002. Proyecto de Mejoramiento de las condiciones de la Minería aurífera en el Municipio de Marmato Caldas, a través de obras de estabilización de taludes y reforestación de Microcuencas, Minercol-CorpoCaldas, Convenio 051/2000. Manizales.
- Plan de Gestión Integrada del Recurso Hídrico para la Microcuenca de la Quebrada Aguas Claras- Municipio de Marmato – Caldas, CORPOCALDAS
- ANGEL M, JENNY; ALVEAR N, DIANA; Análisis del impacto ecosistemico en la zona de influencia de la microcuenca de la quebrada Cascabel por afectación al recurso hídrico generado en el proceso de explotación aurífera en Marmato, Caldas, Colombia. Noviembre 2013.

#### **Estudios de impacto ambiental relacionados con minería**

- Impactos de la minería en el medio natural, España
- Estudio de impacto ambiental, mina El Pedregal, Melgar Tolima 2.008
- Estudio de impacto ambiental mina Altamira, San José de Cúcuta, año 2.009
- Estudio sobre el impacto ambiental y sanitario de las minas de oro.

#### **Otros estudios relacionados con el tema**

- Propuesta ambiental para la evaluación del impacto ambiental en Colombia. 2010.

## JUSTIFICACION

El tema objeto de la investigación nace del interés reciente que se le ha dado a la explotación minera en el país además de ser considerado un renglón de la economía relativamente nuevo al cual se le está dando una importancia alta. El Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014 en relación a las locomotoras para el crecimiento y la generación de empleo, catalogan la locomotora Minera y energética como los sectores o actividades económicas que van a definir el rumbo que tome la economía Colombiana en los próximos años, esto ha conllevado que diferentes inquietudes surjan en la comunidad educativa, buscando determinar si es posible el desarrollo sostenible en la minería. Autores como Juan Manuel Botero Peña plantea las limitaciones del concepto de desarrollo sostenible “para tratar las realidades de países en vía de desarrollo y la incapacidad de ofrecer una metodología que permita evaluar las actividades económicas concretas de la minería en un área determinada, la investigación denominada ¿es posible el desarrollo sustentable en la minería? Plantea un concepto alternativo de desarrollo para esta actividad que consiste en el desarrollo compensado, este modelo va dirigido a reparar de forma racional los impactos que una actividad minera ocasiona sobre el medio ambiente sin menguar la capacidad del hombre de satisfacer sus necesidades. Es un modelo dirigido a privilegiar la capacidad colectiva de asegurar las necesidades materiales y espirituales de la sociedad, creando las condiciones necesarias para desarrollar un sistema de valores amparado por instituciones protectoras del medio ambiente. El proceso de explotación de los minerales requiere, para lograr una compensación en el proceso productivo, de un margen de ganancias que permita dedicar parte de ellas a realizar actividades productivas alternativas que compensarían los daños

ocasionados a la naturaleza, pero jamás restablecerían las condiciones naturales existentes en el momento de iniciarse la explotación del recurso”. (Montero, Juan Manuel; 2003)

Al hacer referencia a este modelo el tema del reciclaje tomaría un valor de mayor importancia y promovería medidas de mitigación y conservación que los propietarios considerarían rentables. Adicional a esto se estableció el interés de trabajar en el tema dado que uno de los impactos más significativos se relaciona con la disminución en la calidad y disponibilidad de agua en la zona de los proyectos mineros, ya que se afectan las aguas superficiales y subterráneas, lo que pone en riesgo la calidad del agua para el consumo humano y para mantener especies acuáticas y vida silvestre. La contaminación de los recursos hídricos se produce por drenaje ácido de las minas y lixiviados contaminantes, sólidos en suspensión, erosión de suelos y desechos mineros en aguas superficiales (ELAW, 2010).

La actividad minera demanda y genera grandes volúmenes de agua para los procesos y operaciones de obtención del material, los cuales contribuyen especialmente a la contaminación de los cuerpos de aguas superficiales y subterráneos. Los impactos ocasionados por esta actividad, ocasionan la afectación en disponibilidad y cantidad del recurso hídrico, alteración de la morfodinámica fluvial, calidad del agua, fuerte producción de sedimentos, grandes concentraciones de cargas orgánicas, drenajes de ácidos, aceites, grasas combustibles, lubricantes, contaminación por metales y afectación a los ecosistemas acuáticos, (La identificación de los impactos ocasionados a la microcuenca Cascabel, será una herramienta útil para promover la conservación y recuperación de áreas de importancia estratégica para la conservación del recurso hídrico del municipio. Esta investigación servirá como instrumento para futuras investigaciones de pago por servicios ambientales y

evaluaciones económicas de impactos que permitan reconocer a propietarios e instituciones públicas, un adecuado uso del suelo que propenda en la recuperabilidad del medio ambiente condicionando de esta manera la disponibilidad de los servicios ambientales que ofrece el recurso hídrico.

La utilidad de esta investigación será alta, puesto que desde el punto de vista teórico será el insumo necesario para la toma de decisiones por parte de instituciones públicas como CORPOCALDAS, Planeación Municipal, propietarios de molinos artesanales entre otros, frente a la problemática ambiental del municipio de Marmato relacionada con el impacto ocasionado al recurso hídrico por la actividad minera de molinos artesanales, así mismo se obtendrá jerárquicamente la importancia de cada uno de los impactos ambientales que la actividad minera de molinos artesanales ocasionen a la quebrada Cascabel del municipio de Marmato, en función de la calidad ambiental y la importancia de recuperabilidad; esta información facilitara la toma de decisiones a las instituciones bajo jurisdicción del municipio que determinen programas y proyectos en orden de importancia frente a la recuperabilidad ambiental del municipio.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

Determinar la afectación ambiental en la calidad del agua de la quebrada Cascabel, por la explotación minera artesanal del municipio de Marmato departamento de Caldas.

### **ESPECÍFICOS**

- Identificar los impactos ambientales al recurso hídrico que genera la explotación minera artesanal sobre la quebrada Cascabel, en el municipio de Marmato mediante la identificación de impactos ambientales.
- Analizar el nivel de impacto generado por la actividad minera artesanal en el área de influencia de la quebrada Cascabel.
- Evaluar el impacto en la calidad del agua de la quebrada Cascabel a fin de obtener jerárquicamente la importancia de cada uno de los impactos identificados de acuerdo al grado de importancia de recuperabilidad en función de la calidad ambiental de la quebrada Cascabel.

## MARCO LEGAL APLICABLE A LA ACTIVIDAD MINERA

A continuación se realiza un recuento de la legislación minera y ambiental vigente, aplicable a este sector, definiendo leyes, Decretos y resoluciones.

Tabla 1: **Legislación Minera Aplicable**

CLASE DE NORMA	NUMERO	FECHA DE EXPEDICION	MATERIA DE APLICACION
<b>Ley</b>	685	15 de agosto de 2001	Actual Código de Minas
<b>Ley</b>	1382	09 de febrero de 2010	Reforma algunos artículos de la ley 685 de 2001, declarada inexecutable a partir de 2 años por la sentencia C-366 de 11 de mayo de 2011, por no haber sido consultadas las comunidades indígenas y afro descendientes, vigentes hasta el 10/05/2013, aplica solo para los contratos de concesión nacidos bajo su vigencia.
<b>Decreto</b>	2715	28 de julio de 2010	Minería tradicional, legalización minera con mini dragas, autorizaciones temporales, prorroga de los contratos de concesión minera.
<b>Ley</b>	1450	16 de junio de 2011	Plan Nacional de Desarrollo, introduce algunas modificaciones sobre multas, reservas mineras, prohibiciones a la minería por razones ambientales, Plan Nacional de Ordenamiento Minero, adiciona causales de caducidad y suspensión por

			razones de seguridad minera, control a la explotación ilícita.
<b>Decreto</b>	1970	21 de septiembre de 2012	Trámite y requisitos para las solicitudes, visitas de viabilización, informes técnicos, programas de trabajos y obras y planes de manejo ambiental.
<b>Decreto</b>	2235	30 de octubre de 2012	Dstrucción de maquinaria pesada y sus partes en actividades de exploración y explotación de minerales sin las autorizaciones y exigencias previstas en la ley
<b>Resolución</b>	205	26 de marzo de 2013	Se establece el procedimiento para a declaración y delimitación de áreas de reservas especial de que trata el artículo 31 de la ley 685 de 2001.
<b>Decreto</b>	933	9 de mayo de 2013	Define la minería tradicional, tramite para la formalización de mineros tradicionales, causales de rechazo.
<b>Ley</b>	1658	15 de julio de 2013	Disposiciones para la comercialización y los usos de mercurio, incentivos para la reducción, eliminación, incentivos para la formalización, subcontrato de formalización minera, devolución de áreas para la formalización minera, beneficio para la formalización, establecimiento de sello minero ambiental colombiano.

Fuente: Alianza, WJ S.A

Tabla 2: **Legislación Ambiental Aplicable**

<b>GENERAL – LICENCIAS AMBIENTALES</b>	
<b>Decreto Ley 2811 del 28 de diciembre de 1974</b>	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiental.
<b>Ley 99 del 22 de diciembre de 1993</b>	Por la cual se crea el Ministerio de 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.
<b>Ley 1333 del 21 de julio de 2009</b>	Régimen Sancionatorio Ambiental
<b>Decreto 2820 del 5 de agosto de 2010</b>	Por el cual se reglamenta el título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales.
<b>Decreto 3573 del 27 de septiembre de 2011</b>	Por el cual se crea la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales-ANLA- y se dictan otras disposiciones.
<b>Decreto 953 del 17 de mayo de 2013</b>	Reglamenta el artículo 111 de la ley 99 de 1993, modificado por el artículo 210 de la Ley 1450 de 2011 con el fin de promover la conservación y recuperación de las áreas de importancia estratégica para la conservación de recursos hídricos que surten de agua a los acueductos municipales, distritales y regionales, mediante la adquisición y mantenimiento de dichas arenas y la financiación de los esquemas de pago por servicios ambientales.

Fuente: Alianza, WJ S.A

Tabla 3: **Zonas de Reserva**

<b>ZONAS DE RESERVA</b>	
Ley 2 del 16 de diciembre de 1959	<p>Se declaran 7 zonas de reservas, que abarcan 51.376.621 hectáreas para el desarrollo de la economía forestal, la conservación de las aguas, los suelos y la fauna silvestre.</p> <p>Ellas son:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Zona de Reserva Forestal del Pacifico, con un área de 8.010.504 hectáreas.</li> <li>2. Zona de Reserva Forestal Central, con un área de 1.543.707 hectáreas.</li> <li>3. Zona de Reserva Forestal del Rio Magdalena, con un área de 2.155.591 hectáreas.</li> <li>4. Zona de Reserva Forestal de la Sierra Nevada de Santa Marta, con un área de 539.215 hectáreas.</li> <li>5. Zona de Reserva Forestal de la Sierra de los Motilones, con un área de 552.691 hectáreas.</li> <li>6. Zona de Reserva Forestal del Cocuy, con un área de 730.389 hectáreas.</li> <li>7. Zona de Reserva Forestal de la Amazonia. Con un área de 37.844.524 hectáreas.</li> </ol>
Decreto 2372 del 30 de julio de 2010	Por el cual se reglamenta el Decreto Ley 2811 de 1974, la Ley 99 de 1993, la Ley 165 de 1994 y Decreto Ley 216 de 2003, en relación con el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, las categorías de manejo que lo conforman y se dictan otras disposiciones.
Resolución 918 del 20 de mayo de 2011	Por la cual se establecen los requisitos y el procedimiento para la sustracción de áreas en las reservas forestales nacionales y regionales, para el desarrollo de actividades considerando de utilidad pública o interés social y se adoptan otras determinaciones.
Resolución 705 del 28 de junio de 2013	Se establecen unas Reservas de Recursos Naturales de manera temporal.
Resolución 761 del 12 de julio de 2013	Se adopta una cartografía oficial integrada de las reservas naturales establecidas en la Resolución 705 de 2013 denominada “Reservas de Recursos Naturales Temporales”.

Fuente: Alianza, WJ S.A

Tabla 4: **Participación Ciudadana y Minería**

CLASE DE NORMA	FECHA DE EXPEDICION	MATERIA
<b>Ley 685</b>	15/08/2001	<p><b>Objetivos.</b> El presente Código tiene como objetivos de interés público fomentar la exploración técnica y la explotación de los recursos mineros de propiedad estatal y privada; estimular estas actividades en orden a satisfacer los requerimientos de la demanda interna y externa de los mismos y a que su aprovechamiento se realice en forma armónica con los principios y normas de explotación racional de los recursos naturales no renovables y del ambiente, dentro de un concepto integral de desarrollo sostenible y del fortalecimiento económico y social del país.</p>
<b>Ley 685</b>	15/08/2001	<p><b>Utilidad pública.</b> En desarrollo del artículo 58 de la Constitución Política, declárese de utilidad pública e interés social la industria minera en todas sus ramas y fases. Por tanto, podrán decretarse a su favor, a solicitud de parte interesada y por los procedimientos establecidos en este Código, las expropiaciones de la propiedad de los bienes inmuebles y demás derechos constituidos sobre los mismos, que sean necesarios para su ejercicio y eficiente desarrollo.</p> <p>La expropiación consagrada en este artículo, en ningún caso procederá sobre los bienes adquiridos, para su exploración o explotación o para el ejercicio de sus correspondientes servidumbres.</p>
<b>Ley 685</b>	15/08/2001	<p><b>Prohibición legal.</b> Con excepción de las facultades de las autoridades nacionales y regionales que se señalan en los artículos 34 y 35 anteriores, ninguna autoridad</p>

		regional, seccional o local podrá establecer zonas del territorio que queden permanente o transitoriamente excluidas de la minera.
<b>Sentencia C - 891</b>	22 de octubre de 2002	<p>Derecho de Participación Ciudadana, Derecho a la información, Mecanismos de Participación Ciudadana, Derecho de Consulta y Minería.</p> <p>De conformidad con el citado texto legal, la decisión de establecer zonas excluidas de la minería compete exclusivamente a las autoridades ambiental y minera (artículos 34 y 35, en concordancia con el artículo 122 de la ley 685 de 2011) labor que se enmarca en el ámbito de sus funciones constitucionales y legales. Al respecto, ya la Corte se pronunció en la Sentencia C – 418/02 sobre la constitucionalidad del artículo 122, según el cual es la autoridad minera la encargada de señalar y delimitar, dentro de los territorios indígenas, las zonas mineras indígenas, en la inteligencia de que se deberá respetar la participación de las comunidades en dicha labor de identificación de las respectivas zonas.</p>
<b>Decreto 934</b>	09/05/2013	Reglamenta el Artículo 37 de la Ley 685 de 2001 sobre la prohibición de excluir permanente o transitoriamente de la minería zonas del territorio a través de acuerdos municipales u ordenanzas departamentales.
<b>Constitución política</b>	20 de julio de 1991	<p>“Todo ciudadano tiene derecho a participar en la conformación, ejercicio y control del poder político. Para hacer efectivo este derecho puede:</p> <p>(...) 2. Tomar parte en elecciones, plebiscitos, referendos, consultas populares y otras formas de participación democrática (...)”.</p>

<p><b>Ley Estatutaria 134</b></p>	<p>31 de mayo de 1994</p>	<p>Consulta Popular como mecanismo de participación ciudadana. Definición: opinión que una determinada autoridad solicita a la ciudadanía sobre un aspecto específico de interés nacional, regional o local, que la obliga a traducirla en acciones concretas.</p>
<p><b>Ley Estatutaria 134</b></p>	<p>31 de mayo de 1994</p>	<p>Cabildo Abierto como mecanismo de participación ciudadana. Definición: la congregación del pueblo soberano para discutir libremente, acerca de los asuntos que le interesen o afecten. Se constituye además, en la garantía constitucional de las reuniones políticas de carácter deliberante.</p>
<p><b>Ley Estatutaria 134</b></p>	<p>31 de mayo de 1994</p>	<p>Veeduría Ciudadana como de participación ciudadana. Definición: mecanismo democrático de representación de los ciudadanos o de las organizaciones comunitarias, que permite vigilar la gestión pública de autoridades y entidades estatales o privadas, o de organizaciones no gubernamentales, en aquellos ámbitos, aspectos y niveles en los que total o parcialmente se empleen los recursos públicos.</p>
<p><b>Ley Estatutaria 134</b></p>	<p>31 de mayo de 1994</p>	<p>Reglamenta las Veedurías Ciudadanas como mecanismos democráticos de participación, sus objetivos, principios, funciones, instrumentos de acción, conformación, procedimientos, entre otros aspectos.</p>

Fuente: Alianza, WJ S.A

## FUNDAMENTOS TEORICOS

### Minería aurífera

#### Potencial geológico en Colombia

Según el INGEOMINAS, en Colombia existen diversas clases de yacimientos de oro, de las más comunes y conocidos son los filones tipo cuarzo adularia y sulfato ácido.

Tabla 5: Regiones de Minería de Oro de Filón

REGIONES	DISTRITOS
<b>Zona Oriental de Antioquia</b>	Zaragoza, Segovia, Remedios y Puerto Berrio.
<b>Zona Central de Antioquia</b>	Murindó, Titiribí y Acandí (Chocó).
<b>Zona Cordillera Occidental</b>	Batolito de Mandé, Páramo de Frontino, Plateado, Torrá, Tamaná, Cumbitaray Piedrancha.
<b>Zona Ibagué – Sonsón</b>	Ibagué, Sonsón, El Hatillo, Florencia, Cajamarca, Salento y El Salitre
<b>Zona Cauca Romeral</b>	Buga, El Retiro, Almaguer, Marmato y Caramanta
<b>Zona del Sur de Bolívar(Serranía de (San Lucas y Montecristo)</b>	Rio Vieja, San Martin de Loba, Barranco de Loba, Montecristo, Santa Rosa del Sur y Morales
<b>Zona Páramo de Santander</b>	Vetas y California

Fuente: Instituto de Investigación e Información Geocientífica Minero Ambiental y Nuclear. Ministerio de Minas. Recursos Minerales de Colombia. Tomo I. Bogotá 1987

## **Diagnóstico y plan de acción de la minería en el departamento de Caldas por parte de CORPOCALDAS**

La demanda de minerales en el Departamento de Caldas, evidenciada por la titulación minera y los consecuentes procesos de exploración y explotación, se ve reflejada en la información aportada en el Plan de Desarrollo Minero de Caldas; en el cual para el año 2012 se reportan 306 títulos mineros vigentes, 573 solicitudes de Contrato de Concesión y 254 solicitudes de legalización de minería de hecho.

En cuanto a la cobertura por municipios, se tiene que 24 de los 27 municipios caldenses cuentan con algún tipo de titulación minera, mientras que Marulanda, Risaralda y San José no registran titulación alguna que respalden explotaciones mineras activas registradas. En lo que hace referencia a las solicitudes de titulación minera, únicamente Risaralda no registra ante la Unidad de Delegación Minera de Caldas solicitud alguna, concentrándose estas principalmente en Marmato (20%), Supía (7%) y Riosucio (7%). (Corporacion Autonoma Regional de Caldas, 2013- 2015)

En lo que tiene que ver con los procesos de legalización minera establecidos en las leyes 685 de 2001 y 1382 de 2010 (Código de Minas), se evidencia que durante la última década una preferencia por las explotaciones de oro de filón, oro aluvial y materiales de construcción (arrastre principalmente); concentradas fundamentalmente en los municipios de Marmato, Manizales, Villamaría, Chinchiná, Aguadas, Anserma, Aranzazu, Belalcázar, Filadelfia, La Dorada, La Merced, Neira y Norcasia. (Corporacion Autonoma Regional de Caldas, 2013- 2015)

Dicha demanda de minerales evidencia sectores de la geografía caldense con características particulares en cuanto a las condiciones económicas sociales y ambientales, asociadas a las actividades mineras desarrolladas en cuanto a la exploración, explotación y beneficio. (Corporación Autónoma Regional de Caldas, 2013- 2015)

Según la corporación autónoma CORPOCALDAS, dentro de los municipios de caldas con explotaciones mineras activas se encuentra el Marmato; sus actividades principales desarrolladas con trascendencia en el componente ambiental es la explotación y beneficio de oro y plata de filón. (Corporación Autónoma Regional de Caldas, 2013)

### **Administración y gestión del recurso minero CORPOCALDAS**

La corporación ha identificado una serie de problemáticas ambientales en el departamento asociadas a la actividad minera, las cuales según el diagnóstico ambiental de caldas plan de acción 2013 – 2015 se resume en los siguientes aspectos:

- Contaminación de los diferentes componentes del medio ambiente (aire, suelo, agua)
- Presión sobre los recursos naturales y el medio ambiente (bosques, agua, biodiversidad, cauces, fajas forestales protectoras y paisaje).
- Conflictos entre actores con intereses divergentes asociados al uso del suelo (mineros, propietarios de predios, sociedad civil organizada, grupos étnicos reconocidos, academia).
- Baja responsabilidad ambiental de los titulares mineros y mineros ilegales
- Coordinación interinstitucional insuficiente en el control de la minería legal e ilegal.

Actualmente la autoridad ambiental desarrolla actividades de evaluación y seguimiento a las Licencias Ambientales, planes de manejo Ambiental, Solicitudes de Legalización de Minería de Hecho y Planes de Restauración asociados a las actividades mineras de exploración, montaje, construcción, explotación, beneficio, transformación de minerales, cierre y abandono de las actividades mineras; destacándose la existencia de 198 expedientes activos con actos administrativos vigentes de otorgamiento de licencia ambiental, aprobación o imposición de planes de manejo ambiental o adopción de medidas de cierre y restauración. Diagnóstico ambiental de caldas plan de acción 2013 – 2015<sup>1</sup>.

Igualmente, en lo que tiene que ver con la minería ilegal y las afectaciones a los recursos naturales asociadas, desde el año 2009 se ha venido consolidó un grupo de trabajo con la participación de CORPOCALDAS, Secretaría de Gobierno Departamental, Unidad de Delegación Minera de Caldas, Policía Nacional: SIJIN Caldas (Grupo de Investigación de Delitos Contra el Medio Ambiente y los Recursos Naturales), Policía Ambiental (Grupo de Protección Ambiental), Cuerpo técnico de Investigación – CTI de la Fiscalía y Ejército Nacional (Batallón Ayacucho); con el propósito de atender de manera conjunta todos aquellos reportes, quejas o solicitudes que involucren explotaciones mineras ilícitas y daños a los recursos naturales y el medio ambiente. (Corporacion Autonoma Regional de Caldas, 2013)

## **Etapas y actividades de la minería aurífera**

### **Prospección y exploración**

Las actividades de exploración permiten planear adecuadamente la explotación, con el fin de obtener una mayor eficacia productiva y evitar el alto desperdicio del mineral por falta de conocimiento de las características del yacimiento. (Ministerio del Medio Ambiente Dirección General Ambiental Sectorial, 2002).

La prospección geológica tiene como objetivo la localización de anomalías debidas, a depósitos minerales, con el fin de definir tales indicios, evaluar los recursos y reservas que albergan los yacimientos En esta etapa se usan métodos geológicos, geoquímicos, aéreos (teledetección). (Ministerio del Medio Ambiente, Dirección general ambiental sectorial, 2002).

En la etapa de exploración se realizan muestreos superficiales (apiques, trincheras), en la minería de aluvión mediante cateos, se localizan los sitios para remover el material, el resultado de esta etapa es la ubicación de áreas favorables en las que se centra una investigación más detallada, o en muchos de los casos comenzar a extraer el material con la ayuda de herramientas o equipos pesados. (Ministerio del Medio Ambiente, Dirección general ambiental sectorial, 2002)

## **Explotación**

En lo concerniente a la explotación, la diversidad de los ambientes geológicos donde se encuentran las reservas auríferas del País, hacen que existan distintos sistemas de aprovechamiento del mineral y que los tipos de minería varían de acuerdo a factores tales como profundidad, forma e inclinación de los depósitos, distribución de leyes del mineral, características geomecánicas de las rocas encajantes y del propio mineral, condiciones físicas y culturales de la zona, magnitud de la operación y maquinaria utilizada. (Ministerio del Medio Ambiente, Dirección general ambiental sectorial, 2002)

## **Planeamiento y montaje**

Es el conjunto de actividades que van desde la organización, diseño, establecimiento, de infraestructura y equipos para adelantar la explotación del mineral. (Ministerio del Medio Ambiente, Dirección general ambiental sectorial, 2002)

## **Sistemas de explotación**

Existen dos sistemas básicos de explotación: a cielo abierto y minería subterránea, cuyas características enunciamos a continuación:

### **Explotación Aluvial**

El sistema utilizado es a cielo abierto donde se utilizan como métodos de extracción desde los más mecanizados con retroexcavadoras, bulldózer, motobombas, monitores, dragas de cangilones y dragas de corte succión, impulso hidráulico, a métodos artesanales, como herramientas manuales, tales como picas, barretones y palas. Los métodos de arranque del

mineral utilizados para este tipo de minería son generalmente artesanales. La perforación se realiza en forma manual con herramientas menores (picas, palas, Barretones) o mecanizada utilizando taladros mecánicos o neumáticos o excavadora hidráulica. (Ministerio del Medio Ambiente, Dirección general ambiental sectorial, 2002)

En la extracción artesanal, el cargue se realiza, en forma manual en costales, carretillas, bujía, catangas tolvas y en algunos casos volquetas, operaciones auxiliares, tales como el control de taludes, en la gran mayoría de los casos no se realiza el tratamiento dado a los estériles, en la generalidad de las zonas es el de depositación comorelleno en las antiguas explotaciones, aledaños a las áreas de explotación en pilas o cerca a las corrientes de agua.

### **Explotación de filón**

Clasificada como minería subterránea. Se realiza mediante la apertura de zanjas, siguiendo el rumbo de los afloramientos de agua o mediante túneles, cámaras y pilares, a tajo abierto.

Los métodos de arranque del mineral utilizados son generalmente artesanales, en donde la perforación se realiza de forma manual, empleando herramientas menores o mecanizada utilizando taladros mecánicos, neumáticos y/o excavadora hidráulica. Las voladuras de las aperturas de los sitios de explotación, se realizan utilizando explosivos indugel, pluspull y anfo o superanfo como carga de columna o de fondo. (Ministerio del Medio Ambiente, Dirección general ambiental sectorial, 2002)

En la extracción artesanal el cargue se realiza manualmente en costales, bujía, catangas y tolvas, El transporte en la mediana minería, se realiza utilizando elevadores o malacates, trenes eléctricos, vagonetas, cable aéreo o breque que funciona por gravedad. (Ministerio del Medio Ambiente, Dirección general ambiental sectorial, 2002). Las operaciones auxiliares contempladas en la explotación subterránea, están asociadas al sostenimiento de los túneles y socavones, realizándose en forma natural o entibada con madera tipo puerta alemana tipo viga y/o columnas.

### **Beneficio y transformación del mineral**

El beneficio del mineral consta de las siguientes operaciones unitarias:

#### Clasificación de tamaño

La separación de granos en fracciones por tamaño se realiza de forma visual y manual por la pequeña minería utilizando zarandas, mallas o angeos o mediante romel, cribas, hidroclarificador o ciclones en la mediana minería.

#### Trituración

En esta operación se reduce el tamaño del material para adecuarlo a la molienda, se utilizan trituradoras de mandíbula y de quijada o manualmente con porra o almádana.

### Molienda

Pretende que el mineral, alcance un grado de liberación para ser recuperado gravimétricamente o por amalgamación. El proceso se realiza en molinos californianos o de pistones, de bolas, antioqueños, de barras o de arrastre. En los filones auríferos la amalgamación es simultánea a la molienda las pequeñas gotas de mercurio son arrastradas por los efluentes. Entre otros equipos se encuentran barriles, tambores, botellas, placas amalgamadores, mesa y prensa de amalgama. (Ministerio del Medio Ambiente, Dirección general ambiental sectorial, 2002)

### Lixiviación con cianuro

se realiza especialmente en la minería de filón, el sistema más empleado es por percolación en tanques, en donde las colas de amalgamación se mezclan con cal, hasta alcanzar un pH alcalino, para su depositación en tintas de cianuración, en el fondo de la tina se encuentra un medio filtrante que permite que la solución fluya por gravedad hacia cajas de precipitación con viruta de zinc, el precipitado de cianuración se pasa a un recipiente de acero donde se calcina a fuego lento para su fundición. . (Ministerio del Medio Ambiente, Dirección general ambiental sectorial, 2002)

### Fundición y purificación

El precipitado de cianuración se somete a altas temperaturas (1300 a 1500 °C), en hornos eléctricos o de ACPM, durante dos a tres horas, obteniendo un botón de oro y otros metales, que se someten a un tratamiento de ácido nítrico y sulfúrico que cementa el oro, para

ser separado por fundición nuevamente. . (Ministerio del Medio Ambiente, Dirección general ambiental sectorial, 2002)

Otro procedimiento para recuperar el oro contenido en la amalgama es mediante la utilización de ácido nítrico HNO<sub>3</sub> (reactivo capaz de disolver el oro y el platino), el cual descompone el mercurio produciendo una precipitación del oro. El ácido nítrico es un líquido viscoso, incoloro e inoloro, es un agente oxidante potente, adoptando una coloración amarilla por el NO<sub>2</sub> que se produce en la reacción, su punto de fusión es de -43 °C, el de ebullición es de 83 °C, su densidad es de 1,5 g/ml y es soluble en agua en cualquier proporción y cantidad. Este ácido es tóxico, muy corrosivo, mancha la piel de amarillo, puede ocasionar graves quemaduras, destruye las mucosas y es un componente de la lluvia ácida. (Ministerio de Minas y Energía, subdirección de Planeación Minera , 2007)

### Transporte y comercialización

El mineral y /o producto elaborado se comercializa, proceso en el que intervienen intermediarios, compradores o mercado negro, el precio depende de la oferta y la demanda de los mercados nacionales o internacionales o del nivel de la elaboración del producto final. (Ministerio del Medio Ambiente, Dirección general ambiental sectorial, 2002)

### Cierre de mina

Una finalizada la etapa productiva o de agotamiento de la reservas de la mina, se procede a su clausura o cierre, incluye el desmantelamiento y retiro de instalaciones, maquinaria, equipos. Se realizan además los últimos trabajos de recuperación y de rehabilitación morfológica de las áreas que han sido utilizadas durante la explotación de

acuerdo al plan minero ambiental y al uso previsto post-minería, todo esto debe tener un estricto control y seguimiento. (Ministerio del Medio Ambiente, Dirección general ambiental sectorial, 2002)

## **IMPACTOS AMBIENTALES GENERADOS AL RECURSO HIDRICO POR LA EXPLOTACION DE ORO**

El primer problema es la contaminación física y química durante la operación de la mina. La generación de drenajes ácidos, en cambio es un problema a largo plazo. Además de los desechos se pueden liberar a las aguas superficiales y subterráneas, reactivos químicos, como el cianuro de sodio, las masas de roca explotadas, las zonas deforestadas, los caminos abiertos, contribuyen a la generación de sedimentos y aumentan los sólidos totales en los cuerpos de aguas de superficie. (González, 2001)

### *Drenajes Ácidos*

Se definen como los drenajes que se generan por la oxidación de los sulfuros contenidos en los minerales, a través de la exposición al aire y al agua, efecto que se produce naturalmente (Drenaje Acido de las Rocas: DAR), pero que se agrava y magnifica por el grado de molienda y remoción de cantidades enormes de rocas. (González, 2001)

Las soluciones ácidas pueden alcanzar las aguas superficiales o subterráneas de acuerdo a la hidrología del lugar. El potencial para la generación de ácido y la liberación de otros constituyentes (metales pesados) aumenta por la exposición de las rocas a la atmósfera (ambiente oxidante). El nivel de acidez también es influenciado por la presencia o ausencia de

bacterias. *Thiobacillusferrooxidans* puede oxidar los metales que contienen sulfuros, conduciendo a una aceleración en la generación de ácido. (González, 2001)

### Desagote en las minas

Para permitir la extracción del mineral las minas superficiales o subterráneas requieren del bombeo de agua para desagotarlas, sin embargo al final de las operaciones el bombeo se interrumpe y las galerías y/o tajos se llenan de agua, produciendo una liberación no controlada de las aguas de la mina que pueden ser ácidas y contener metales, así como sólidos suspendidos y disueltos. (González, 2001)

### Contaminación por metales pesados y lixiviación

Los metales pesados presentes naturalmente en las rocas, al entrar en contacto con el agua, son arrastrados río abajo. Este proceso se incrementa debido a la trituración y excavación que deja mayores superficies expuestas. Si bien esta lixiviación de metales puede ocurrir a pH neutro, se acelera cuando el pH baja, es decir con los drenajes ácidos de la minería. (Moran, 2002)

### Contaminación química por los tóxicos empleados en la minería

Ocurre por el uso y emisión de sustancias tóxicas empleadas en las distintas etapas de la minería. En el caso de la lixiviación con cianuro, este compuesto representa una de las principales amenazas. (Moran, 2002)

El cianuro se emplea en la industria minera para extraer los metales de la roca. El uso del cianuro fue lo que ha permitido extraer oro y plata presentes en baja ley en las rocas de una manera redituable. En el caso de la minería de oro, una solución de cianuro se vierte sobre la roca molida. El cianuro se une al oro presente aún en bajas concentraciones y forma un compuesto soluble en agua del que luego se extrae el oro. (Moran, 2002)

Existen dos tipos de métodos de lixiviación con cianuro en minería: en pilas y en tanques. Según un informe citado por el Mineral Policy Center, de EEUU, en 1998, aproximadamente el 70% del oro recuperado empleando cianuro provenía del proceso en tanques y el 30% del proceso en pilas (MPC 2000). En general, los impactos ambientales principales de ambos procesos son bastante similares, especialmente cuando se considera el largo plazo (Moran, 2002)

#### Aumentos de la sedimentación

La perturbación de las rocas en la minería puede provocar la erosión de la tierra expuesta y transportar una gran cantidad de sedimentación a arroyos, ríos y lagos. La sedimentación excesiva puede obstruir riberas, la vegetación de ellas y el hábitat de la fauna y organismos acuáticos. (Chile, 2007)

## **INDICES DE CALIDAD DEL AGUA ICA Y DE CONTAMINACION ICO**

### **Índice de calidad del agua ICA**

El ICA-CETESB (2002) es una adaptación del ICA-NSF para ríos de condiciones tropicales, que fue realizada por la Compañía de Tecnología de Saneamiento Ambiental de Brasil – CETESB (2002), la cual propuso una modificación al ICA multiplicativo de la NSF, ajustado a las condiciones específicas de los ríos del Estado de Sao Paulo. Dicha modificación consistió en el cambio de los parámetros Nitratos y Fosfatos por Nitrógeno Total y Fósforo Total respectivamente, manteniendo las mismas funciones de los subíndices y las ponderaciones específicas de cada parámetro establecido en el ICA-NSF.

Adicionalmente el CETESB modificó la clasificación de la calidad del agua de los ríos de acuerdo con el valor del índice obtenido, considerando la destinación del recurso para el abastecimiento humano.

Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos empleados en el cálculo del ICA - CETESB son: pH, Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$  en mg/l), Oxígeno Disuelto, expresado como % de saturación (OD en % Sat), Fósforo Total ( $PO_4$  en mg/l), Nitrógeno Total (NTK en mg/l), Turbiedad (en UNT) Temperatura (T), expresada como la desviación de la T desde el equilibrio ( $\Delta T$ ), Sólidos Totales (mg/l ST), Coliformes Totales (UFC/100 ml). (Corporación Autónoma Regional de Caldas CORPOCALDAS, Fundación SANEAR, 2011)

## Cálculo del ICA-CETESB

Para determinar el valor del índice existen dos técnicas básicas; las denominadas aditivas y las multiplicativas. Cuando algunos de los subíndices toman valores extremos, se recomienda la aplicación del Índice Multiplicativo, el cual es más sensible a valores extremos. De esta forma cuando un subíndice se aproxima a cero, el valor final del índice se aproxima a cero, Ott (1981) Para determinar el valor del ICA-CETESB se utilizó la ecuación de cálculo del ICA Multiplicativo, el cual se calcula multiplicando los subíndices ( $I$ ) de cada parámetro, colocando los pesos ( $W$ ) como exponentes en cada uno de ellos, dando origen a la siguiente fórmula:

$$ICA = \prod_{i=1}^n I_i^{W_i} = (I_1^{W_1})(I_2^{W_2})\dots(I_n^{W_n})$$

Donde,  $i$  corresponde a los parámetros de calidad elegidos (OD, DBO5, ST...), ( $I$ ) corresponde a los subíndices de cada parámetro y  $W$  corresponde al peso asignado a cada variable o parámetro según su importancia.

- Cálculo de los subíndices ( $I$ ) de cada parámetro

La importancia de las 9 variables o parámetros empleados en el cálculo del ICA-CETESB se expresa de manera gráfica, asignando una curva específica a cada uno, mediante la cual a partir de los valores del parámetro, se puede obtener el valor del subíndice correspondiente, logrando de esta forma una curva en donde en el eje de las abscisas se ubican varios niveles de la variable en particular y en el eje de las coordenadas los niveles de calidad del agua o valor del subíndice, el cual se encuentra entre 0 y 100.

Gráfico No. 3. Función del subíndice para DBO5

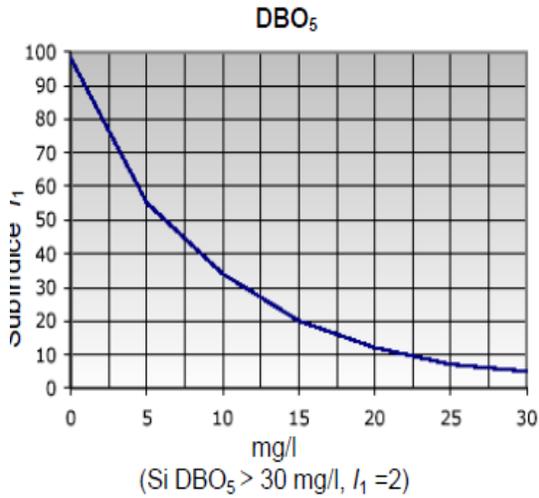
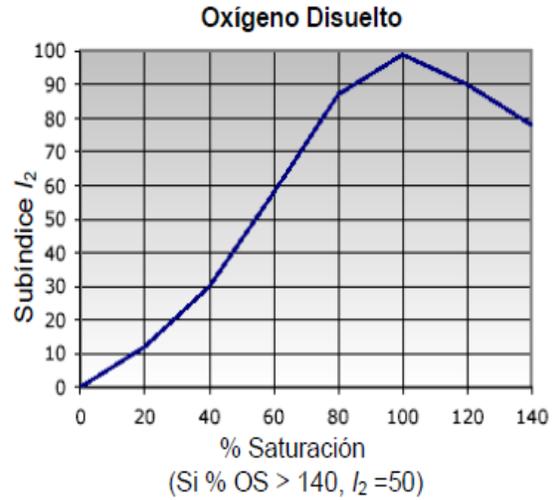


Gráfico No. 4. Función del subíndice para Oxígeno D.



Fuente: (CORPOCALDAS, FUNDACION SANEAR, 2.011)

Gráfico No. 5. Función del subíndice para pH

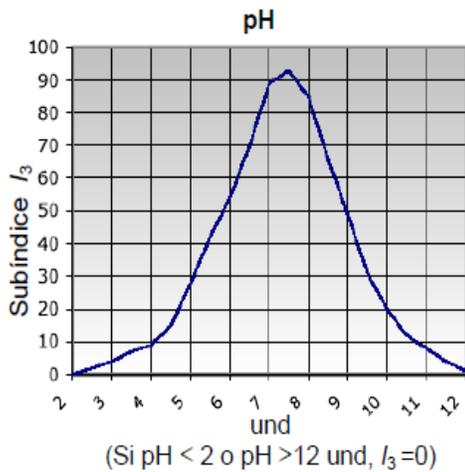
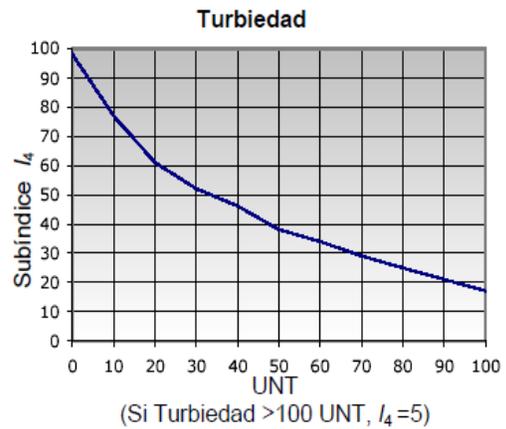


Gráfico No. 6. Función del subíndice para turbiedad



Fuente: (CORPOCALDAS, FUNDACION SANEAR, 2.011)

Gráfico No. 7. Función del subíndice para fosforo total

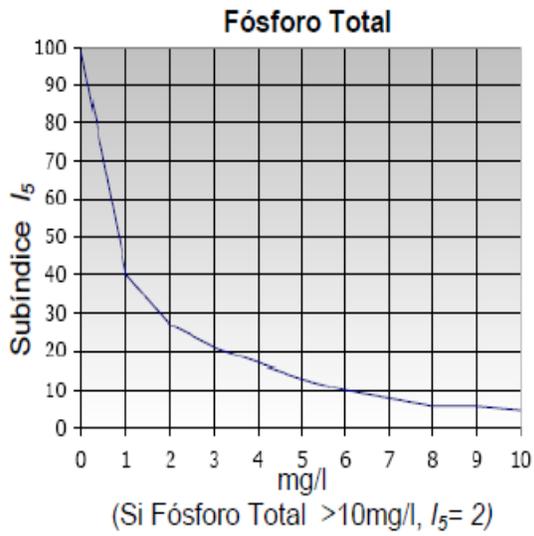
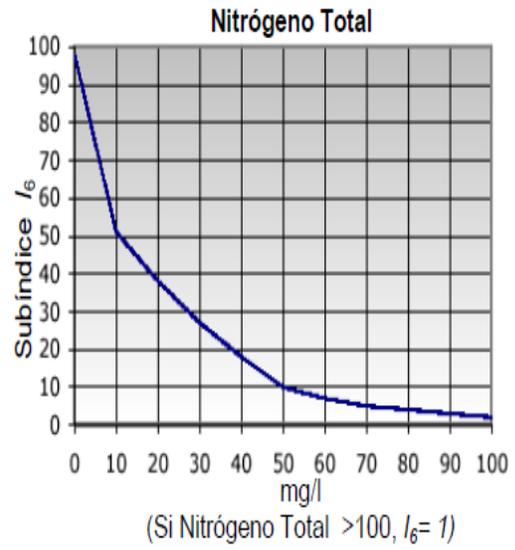


Gráfico No. 8. Función del subíndice para Nitrógeno Total



Fuente: (CORPOCALDAS, FUNDACION SANEAR, 2.011)

Gráfico No. 9. Función del subíndice para temperatura

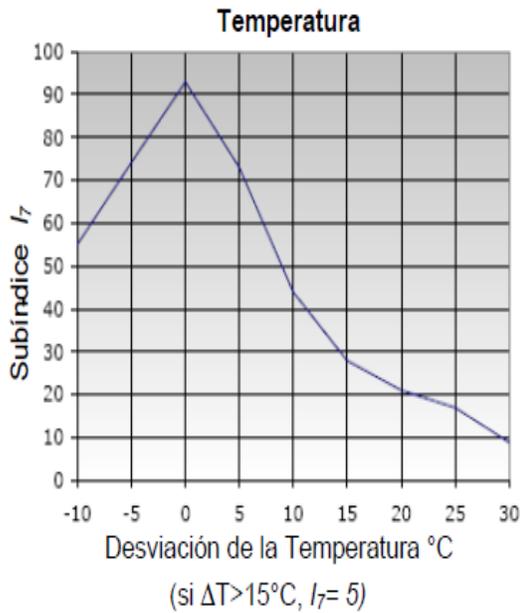


Gráfico No. 10. Función del subíndice para coliformes fecales

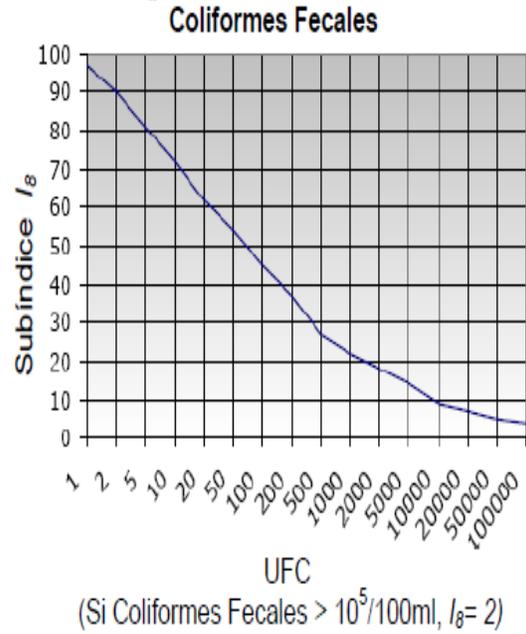
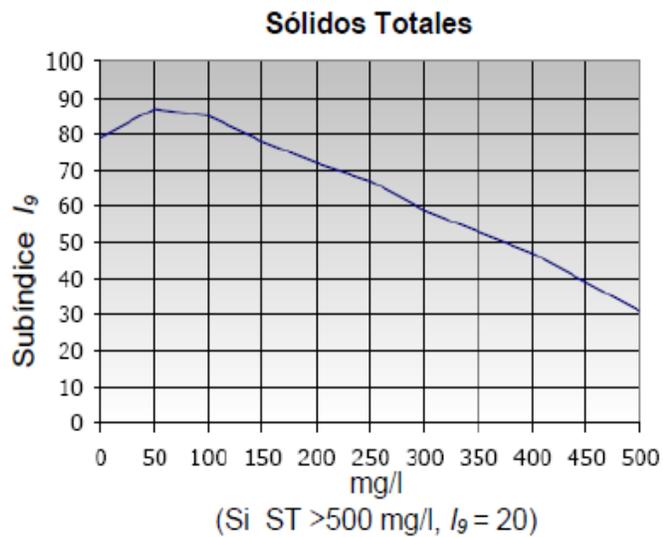


Gráfico No. 11. Función del subíndice para sólidos totales



Fuente: (CORPOCALDAS, FUNDACION SANEAR, 2.011)

### Ponderación de la importancia de cada parámetro

Finalmente se determina el peso relativo ( $W_i$ ) o ponderación según la importancia de cada variable o parámetro en la calidad del agua. Estos pesos se aplicaron a los subíndices correspondientes a cada parámetro, para generar el valor del ICA- CETESB. Las ponderaciones aplicadas a cada uno de los parámetros se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 6: **Peso Relativo de los Parámetros**

<b>PARAMETRO</b>	<b>PESO RELATIVO (W)</b>
<b>Oxígeno Disuelto</b>	17%
<b>Coliformes Fecales</b>	15%
<b>pH</b>	12%
<b>DBO5</b>	10%
<b>Fósforo Total</b>	10%
<b>Nitrógeno Total</b>	10%
<b>Temperatura</b>	10%
<b>Sólidos Totales</b>	8%
<b>Turbiedad</b>	8%

Fuente: CETESB, 2002

- Clasificación de la calidad del agua según el valor del ICA – CETESB

El CETESB plantea una clasificación de la calidad del agua de los ríos de acuerdo con el valor del índice obtenido, considerando la destinación del recurso para el abastecimiento humano. Dicha clasificación se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 7: Clasificación de la Calidad del Agua Según el Valor ICA-CETESB

INDICE DE CALIDAD	CLASIFICACION
<b>79-100</b>	Excelente calidad
<b>51-79</b>	Buena calidad
<b>36-51</b>	Regular calidad
<b>19-36</b>	Mala calidad
<b>0-19</b>	Pésima calidad

Fuente: CETESB (2002)

### Índices de contaminación ICO

Los ICO's son criterios de evaluación del nivel de contaminación del agua desarrollados en Colombia por Ramírez, A. y Viña, G. (1998), a partir de un "Análisis de los Componentes Principales" (ACP) aplicado a una destacada cantidad de información fisicoquímica resultante de diferentes estudios limnológicos relacionados con la industria del petróleo. En este estudio se definieron cuatro índices de contaminación mediante los cuales es posible concluir sobre aspectos como mineralización, materia orgánica, sólidos suspendidos y nivel trófico. Estos índices definen el grado de contaminación de un cuerpo de agua mediante un número, que se encuentra entre 0 (muy bajo nivel de contaminación) y 1 (muy alto nivel de contaminación).

Para la formulación de los ICO's, Ramírez, A. y Viña, G. (1997) eligieron algunas variables que consideraron relevantes por su papel ecológico o porque en sí mismas conjugar simultáneamente el papel de las distintas variables; sobre ellas se observaron las correlaciones que exhibieron en los diferentes estudios previamente referidos. Dichas variables fueron: Conductividad, Sólidos Suspendidos, porcentaje de saturación de Oxígeno, DBO5, Fósforo Total, Coliformes Totales y pH (Universidad del Valle – CVC, 2004).

Según Fernández, Ramírez y Solano (2003) los ICO's presentan una ventaja respecto a los ICA ya que desagregan los tipos de contaminación y evitan que unas variables o problemas ambientales de contaminación queden enmascarados en torno a otras variables, lo que permite una mejor visualización de estos problemas en un sistema hídrico.

A manera de ejemplo se puede mencionar el caso de un río o vertimiento con alta temperatura, altas concentraciones de sólidos inorgánicos y turbiedad, el cual representa una condición ambiental diferente a otro río con alta concentración orgánica que se expresa en una gran DBO5 y un elevado nivel de Coliformes; no obstante uno y otro pueden conducir a un mismo ICA.

Los índices de contaminación que se utilizaron en este estudio fueron el Índice de Contaminación por Mineralización (ICOMI), el Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos (ICOSUS) y el Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO). Para el cálculo de este último índice (ICOMO) se empleó el parámetro Coliformes Totales en unidades formadoras de colonias – UFC y no en número más probable – NMP, ya que la medición realizada en el río Chinchiná mediante UFC brinda una mayor exactitud en la cuantificación de este parámetro, por ser una medición determinística y no probabilística.

El único índice que no se empleó fue el Índice de Contaminación Trófico (ICOTRO) debido a que actualmente este indicador ha recibido algunas críticas en cuanto su confiabilidad dado que sólo se basa en las concentraciones del Fósforo Total.

## **Parámetros fisicoquímicos utilizados en el cálculo de los ICO**

Los parámetros fisicoquímicos que se tuvieron en cuenta en el cálculo del ICOMI, el ICOMO y el ICOSUS del río Chinchiná fueron los propuestos por Ramírez, A; Viña, G. (1998).

ICOMI: Se expresa en función de la conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) como reflejo de los sólidos disueltos, la dureza ( $\text{mg}/\text{l}$ ) la cual reúne los cationes calcio y magnesio y la alcalinidad ( $\text{mg}/\text{l}$ ) en función de los aniones carbonato y bicarbonato.

ICOMO: Representa variables de contaminación como nitrógeno amoniacal, nitritos, fósforo, oxígeno, DBO5, DQO y Coliformes Fecales y Totales. El Índice se definió en función de la DBO5, Coliformes Totales y porcentaje de saturación de Oxígeno. Las dos primeras variables reflejan fuentes diversas de contaminación orgánica, y la tercera expresa la respuesta ambiental del cuerpo de agua a este tipo de polución. (Corporación Autónoma Regional de Caldas CORPOCALDAS, Fundación SANEAR, 2011)

ICOSUS: se expresa en función de los sólidos suspendidos ( $\text{mg}/\text{l}$ ).

## **Cálculo de los subíndices (I) de cada parámetro de los ICO**

- **ICOMI**

Para calcular el valor del ICOMI es necesario determinar el valor de los subíndices de cada parámetro (I) que conforman el índice, para lo cual se utilizaron las funciones reportadas en la literatura que describen el nivel de contaminación respectivo según las concentraciones

de dichos parámetros. A continuación se presentan la ecuación con la cual se calcula el ICOMI y las funciones correspondientes a los diferentes subíndices:

$$\text{ICOMI} = 1/3 (\text{I Conductividad} + \text{Dureza} + \text{I Alcalinidad})$$

$$\text{I Conductividad} = 10 - 3,26 + 1,34 \log (\text{conductividad})$$

Si conductividad > 270  $\mu\text{S/cm}$ , entonces I Conductividad = 1

$$\text{I Dureza} = 10 - 9,09 + 4,4 \log (\text{Dureza})$$

Si dureza > 110 mg/l, entonces I Dureza = 1

Si dureza < 30 mg/l, entonces I Dureza = 0

$$\text{I Alcalinidad} = -0,25 + 0,005 \text{ Alcalinidad}$$

Si la alcalinidad > 250 mg/l, entonces I Alcalinidad = 1

Si la alcalinidad < 50 mg/l, entonces I Alcalinidad = 0

- **ICOMO**

Para calcular el valor del ICOMO se emplea la siguiente expresión

$$\text{ICOMO} = 1/3 (\text{IDBO5} + \text{I Colif. Total} + \text{I Oxígeno})$$

Donde:

$$\text{I DBO5} = -0,05 + 0,70 \log (\text{DBO5})$$

Si DBO5 > 30 mg/l, entonces I DBO5 = 1

Si DBO5 < 2 mg/l, entonces I DBO5 = 0

$$\text{I Colif. Total} = -1,44 + 0,56 \log (\text{Colif Total})$$

Si Coliformes Totales > 20000 NMP/100 ml, entonces I Colif Total = 1

Si Coliformes Totales < 500 NMP/100 ml, entonces I Colif Total = 0

Para el cálculo de este índice se empleó el parámetro Coliformes Totales en unidades formadoras de colonias – UFC y no en número más probable – NMP, ya que la primera técnica de medición brinda una mayor exactitud en la cuantificación de este parámetro

$$\mathbf{I\ Oxígeno = 1 - 0,01\ Oxígeno\ (\%)}$$

$$\mathbf{Si\ Oxígeno\ (\%) \ mayor\ al\ 100\%,\ I\ Oxígeno\ \% = 0}$$

En sistemas loticos, porcentajes de saturación mayores a 100 son ventajosos e indican una buena capacidad de oxigenación. En sistemas lenticos pueden reflejar problemas de eutroficación. Para estos últimos puede usarse:

$$\mathbf{I\ Oxígeno = 0,01 * Oxígeno\ (\%) - 1}$$

- **ICOSUS**

En cuanto al cálculo del ICOSUS no hay necesidad de determinar ningún subíndice, y sólo se aplica la ecuación matemática respectiva teniendo en cuenta ciertos valores de concentraciones límite de este parámetro.

$$\mathbf{ICOSUS = -0,02 + 0,003\ Sólidos\ Suspendidos}$$

Si sólidos suspendidos mayores a 340 mg/l, entonces ICOSUS = 1

Si sólidos suspendidos menores a 10 mg/l, entonces ICOSUS = 0

## **Clasificación de la calidad del agua según el valor de los ICO**

Ramírez y Viña (1997) propusieron unos rangos para realizar la clasificación de la contaminación del agua, mediante los valores de los Índices de Contaminación ICO. Dicha clasificación se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 8: Rangos de la Clasificación de la Contaminación del Agua Mediante los Valores de los Índices ICO

<b>VALOR DEL ICO</b>	<b>CLASIFICACION DE LA CONTAMINACION</b>
<b>0 – 0,2</b>	Muy baja
<b>0,2 – 0,4</b>	Baja
<b>0,4 – 0,6</b>	Media
<b>0,6 – 0,8</b>	Alta
<b>0,8 – 1,0</b>	Muy Alta

Fuente: CETESB,2002

## **METODOS DE EVALUACION DE IMPACTO AMBIENTAL**

### **Manual de evaluación ambiental de estudios ambientales MAVDT**

Según el manual de evaluación de estudios ambientales elaborado por el Ministerio de Ambiente en el año 2002, se establece y define criterios técnicos y procedimentales para la evaluación de estudios ambientales presentados a las diferentes autoridades ambientales como parte del proceso de licenciamiento ambiental, frente a las características del evaluador se señala que éste debe tener objetividad y criterio, y sus juicios de valor no deben estar asociados con suceso particular alguno del proyecto. (Ministerio del Medio Ambiente, 2002)

En cuanto a las diferentes etapas de la evaluación de impactos, se define una lista de chequeo a través de la cual se intenta determinar si el proceso se ha llevado cabo de manera

adecuada, entre las preguntas diseñadas para esta etapa se encuentran las siguientes: identificación, predicción y evaluación de impactos.

Frente a la necesidad que existe de estandarizar un método específico, el manual de evaluación precisa que las metodologías utilizadas deben cumplir con las siguientes características:

- Deben ser interdisciplinarias, sistemáticas, reproducibles y con un fuerte grado de organización y uniformidad.
- Deben considerar los sistemas más amplios posibles. Aunque cada parte debe ser estudiada por un especialista en la materia, las interpretaciones entre las distintas partes debe ser lo más estrecha posible.
- Las metodologías deben ser flexibles, aplicables en cualquier fase del proceso de planificación y desarrollo y han de revisarse constantemente, en función de los resultados obtenidos y de la experiencia adquirida. Deben ser adecuadas para poder efectuar un análisis integrado, global, sistemático e interdisciplinario del medio ambiente y de sus componentes ( Martínez, Renson; 2010).

### **Metodologías utilizadas en EIA en Colombia.**

La metodología de mayor uso en Colombia, es la cualitativa de Conesa con adaptaciones (1997) que la mayoría de las veces es sometida a ajustes o modificaciones para adaptarla a las necesidades particulares de cada proyecto, evidenciando que la mayoría de los equipos evaluadores no comparten a cabalidad la ecuación original definida para el cálculo de la importancia del impacto. Por su parte, las modificaciones realizadas en la mayoría de los casos no están sustentadas en un análisis conceptual y estadístico previo, que permita validar las modificaciones planteadas.

## **Pasos metodológicos para identificar y evaluar impactos ambientales**

- Análisis del proyecto y sus alternativas

Se desarrolla una visión genérica del proyecto, relacionando las características, peculiaridades y datos básicos que resulten de interés para el estudio, se dan a conocer las razones por las cuales se realizarán las obras que van a ser objeto de estudio, luego se definen las diferentes etapas de las que se compone el proyecto, obra o actividad, como así también las áreas afectadas y las alternativas consideradas para la selección del proyecto final, ubicación, proceso productivo, escala, costos, calendario de ejecución, creación de puestos de trabajo en las diferentes fases y grado de aceptación pública. Como parte importante en la gestión, se incluye la información detallada de la localización del proyecto, de áreas urbanas cercanas, vías y sistemas de comunicación del entorno potencialmente afectable. (Dellavedova, 2011)

Los parámetros que se evalúan son recursos tales como consumo de agua, fertilizantes, materias primas, etc. y su relación con la zona, actividades, productos intermedios, finales y subproductos, tipo y cantidad de emisiones y residuos, entre otros. (Dellavedova, 2011)

### **Definición del entorno del proyecto, descripción y estudio del mismo**

Se delimita el ámbito geográfico para el estudio y se establece el área de influencia para cada factor estudiado. Se desarrolla una primera aproximación al estudio de acciones y efectos. Se estudia la situación pre-operacional para poder prever las alteraciones que pueden ocasionar al entorno, los que se comparan con el estado final de la situación prevista que dará

una idea de magnitud alcanzada por el impacto. Se hace un estudio del medio físico inerte (aire, agua, tierra), biótico (flora y fauna) y perceptual (paisaje) y del medio socioeconómico del entorno afectado. (Dellavedova, 2011)

### **Previsiones de los efectos que el proyecto generará sobre el medio**

Una vez conocido el proyecto, el entorno que lo rodea y la capacidad receptiva de éste sobre aquel, se hace un estudio preliminar de impactos, en el que se analiza una primera visión del proyecto-entorno.

En esta primera aproximación al estudio de acciones y efectos se puede apreciar la forma en que éstos inciden sobre el medio y cuáles son las consecuencias que acarrearán estas acciones para la consecución del proyecto en relación a parámetros ambientales. Se analizan las acciones que por la ejecución del proyecto van a actuar sobre el medio y los factores del medio que pueden verse afectados por aquellas. Para eso se elabora un primer informe en donde la relación acciones-factores brindará una visión inicial de los efectos que pueden resultar más sintomáticos debido a su importancia para el entorno del proyecto. Estos factores y acciones son dispuestos en filas y columnas respectivamente y formarán el esqueleto de la primera matriz: Matriz de Identificación de Efectos. (Dellavedova, 2011)

Tabla 9: **Matriz de Identificación de Efectos**

FACTORES DEL MEDIO	ACCIONES DE LA ACTIVIDAD PROYECTADA								
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>			A <sub>i</sub>			A <sub>n</sub>
F <sub>1</sub>				*		*			
F <sub>2</sub>			*						*
					*		*		
	*	*							
F <sub>j</sub>				*		*		*	*
	*								
		*			*				
F <sub>m</sub>			*				*	*	*

**Fuente:** Dellavedova, M. G. (2010). Guía Metodológica para la elaboración de una evaluación de impacto ambiental. Obtenido de Universidad Nacional de la Plata. Identificación de las acciones que pueden causar impacto.

Las matrices permiten identificar, prevenir y comunicar los efectos del proyecto y posteriormente obtener una valoración de los mismos. De las acciones susceptibles de producir impactos, se identifican las acciones que correspondan a cada una de las fases del proyecto: Fase de Planificación, Fase de Construcción, Fase de Operación y Fase de Abandono. (Dellavedova, 2011)

Existen diversos medios para identificar acciones, tales como la consulta a paneles de expertos, las listas de chequeo y revisión cartográfica.

### **Lista de revisión o chequeo**

Este método se basa en el uso de listas exhaustivas de componentes ambientales, o de efectos o impactos ambientales, o de indicadores de impactos probablemente afectados o frecuentemente generados por las acciones de cierto tipo de proyectos de desarrollo, que se

revisan con la intención de detectar o comprobar la existencia de dichas acciones o impactos. Su finalidad es orientar y estimular al analista a pensar de una manera amplia sobre las posibles consecuencias de ciertas acciones alternativas. .

El uso de listas de verificación para identificar y hasta un punto limitado caracterizar los impactos ambientales es muy común en los procesos de EIA. Una lista de verificación exige al evaluador considerar un grupo de actividades normalizadas o un conjunto de efectos relacionados con cada acción propuesta, brindando de esta manera uniformidad al proceso de evaluación. Las listas de verificación pueden usarse para determinar si es necesario realizar una EIA detallada para un proyecto en particular o si puede dictaminarse que no existe impacto significativo, suelen ser de tipo cualitativo por lo que no permite valorar la importancia relativa de los distintos impactos ambientales.

### **Paneles de expertos**

El panel de expertos puede definirse como un grupo de especialistas independientes y reputados en al menos uno de los campos concernidos por el programa que se va a evaluar, al que se reúne para que emita un juicio colectivo y consensuado sobre dicho programa.

Según se les solicite, el juicio emitido puede hacer referencia a la puesta en práctica o a los efectos del conjunto o de una parte del programa. Este grupo de trabajo, que se constituye especialmente para la evaluación de acuerdo con una serie de procedimientos estándar, sigue un método de trabajo concreto para celebrar sus reuniones y elaborar su juicio.

## **Cartografía ambiental**

La cartografía ambiental, permite conocer la realidad y posición espacial de cada uno de los componentes del paisaje, pero además los impactos que sufre el territorio, los que a su vez pueden ser de orden antrópico y/o de orden natural. Consiste en el desarrollo de una serie de mapas temáticos (suelo, hidrología, vegetación, áreas urbanas, etc.) en un soporte transparente (filminas o acetatos) de modo tal que pueden superponerse entre sí y con relación a un mapa o plano del proyecto a fin de identificar, predecir, valorar y representar información sobre impactos ambientales generados por acciones espacialmente definidas.

Esta posibilidad de relacionar espacialmente los componentes y acciones del proyecto con las distintas características del medio biofísico o sociocultural permite identificar los impactos ambientales, mapearlos y estimar su área o extensión y su importancia relativa. Estos mapas permiten además mapear las áreas sensibles (i.e., áreas naturales protegidas, áreas inundables, áreas densamente pobladas) y relacionarlas con el proyecto, especialmente si éste tiene una gran extensión o longitud (i.e., una autopista o un oleoducto).

El procedimiento se inicia con la división del área de estudio en unidades geográficas específicas, para cada unidad se colecta información sobre factores ambientales y sobre intereses humanos, generando un mapa para cada componente ambiental.

Esto puede incluir el mapeo de áreas críticas (i.e., zonas pantanosas, laderas escarpadas, llanos aluviales, roca viva a flor de tierra, hábitat de fauna salvaje, comunidades vegetativas y recursos culturales), en la misma escala que el plano de localización del proyecto. Los distintos mapas pueden superponerse entre sí y con el mapa del proyecto a fin

de identificar la existencia de áreas de conflictos entre el proyecto y las características sensibles del área de estudio.

De esta manera se elabora la segunda matriz: **Matriz de Impactos**.

Tabla 10: **Matriz de Impactos**

			ACCIONES IMPACTANTES					
			FASE DE CONSTRUCCIÓN					
			1	2	3	i...	...n	n+1
<i>Factores ambientales impactados</i>			ACCIÓN 1	ACCIÓN 2	ACCIÓN 3	ACCIÓN i...	ACCIÓN ...n	TOTAL FASE
SUBSISTEMA CONSIDERADO	COMPONENTE 1	Factor 1						
		Factor 2						
		Factor p						
		Total impacto componente 1						
	COMPONENTE m	Factor 1						
		Factor 2						
		Factor j				Elemento tipo ij		
		Factor q						
		Total impacto componente m						
	TOTAL IMPACTO DEL SUBSISTEMA							

Fuente: Dellavedova, M. G. (2010). Guía Metodológica para la elaboración de una evaluación de impacto ambiental. Obtenido de Universidad Nacional de la Plata. Identificación de las acciones que pueden causar impacto.

El entorno está constituido por elementos y procesos interrelacionados pertenecientes a los siguientes sistemas (medio físico, social, económico y cultural) y subsistemas (medio inerte, biótico, perceptual, rural y urbano). A cada uno de estos subsistemas pertenecen una serie de componentes ambientales susceptibles de recibir impactos, entendidos como los elementos, cualidades y procesos del entorno que pueden ser afectados por el proyecto.

Como consecuencia se identifican los factores ambientales con la finalidad de detectar aquellos aspectos del medioambiente cuyos cambios motivados por las distintas acciones del

proyecto en sus sucesivas fases, supongan modificaciones positivas o negativas de la calidad ambiental del mismo.

Para su definición se aplican los siguientes criterios:

- Ser representativos del entorno afectado y por lo tanto, del impacto producido sobre el medioambiente.
- Ser relevantes de información significativa sobre magnitud e importancia del impacto.
- Ser excluyentes de fácil identificación (información estadística, cartográfica, trabajos de campo, etc.)
- De fácil cuantificación.

**Identificación de relaciones causa-efecto entre acciones del proyecto y factores del medio. Valoración cualitativa del impacto.**

La evaluación de impactos ambientales identifica las consecuencias ambientales de los proyectos. Esta evaluación debe realizarse en el marco de procedimientos adecuados que, en forma concurrente, permitan identificar las acciones y el medio a ser impactado, establecer las posibles alteraciones y valorar las mismas. Esta última etapa está encaminada a llegar a expresar los impactos en forma cuantitativa y, cuando ello no es posible, cualitativamente. (Provincia de Cordoba, 2000)

La manifestación del efecto de las actividades humanas sobre el ambiente debe ser caracterizada, a través de la importancia del impacto. (Provincia de Cordoba, 2000).

A continuación se presenta la adaptación que se realizó a la metodología cualitativa propuesta por Conesa (1997) tomada de la propuesta metodológica para la evaluación de impacto en Colombia del trabajo de grado del estudiante Renson Jesús Martínez Prada para optar al título de magister en medio ambiente y desarrollo de la universidad nacional de Colombia; a partir de esta información se determinó el valor ambiental de cada uno de los impactos identificados en el presente trabajo de grado.<sup>1</sup>

$$I = \pm (3IN + 2EX + MO + PE + SI + AC + EF + PR + RB)$$

En la ecuación anterior, el signo corresponde al carácter del impacto, IN representa la intensidad, EX la extensión, MO el momento, PE la persistencia, RV la reversibilidad, SI, la sinergia, AC la acumulación, EF el efecto, PR la periodicidad y RB la recuperabilidad.<sup>1</sup>

La calificación de la importancia del impacto se calcula con los valores asignados a los atributos, estos resultados obtenidos varían entre 13 y 100.<sup>1</sup>

De acuerdo a la calificación el impacto se cataloga como Irrelevante ( $0 \leq I < 25$ ), Moderado ( $25 \leq I < 50$ ), Severo ( $50 \leq I < 75$ ) o Crítico ( $75 \leq I$ ).<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Propuesta metodológica para la evaluación de impacto ambiental en Colombia, Universidad nacional de Colombia, 2010.

Tabla 11: Atributos de los Impactos

NATURALEZA		INTENSIDAD (I)	
Impacto beneficioso	+	Baja	1
		Media	2
Impacto Perjudicial	-	Alta	4
		Muy Alta	8
		Total	12
EXTENSIÓN (EX)		MOMENTO (MO)	
Puntual	1	Largo Plazo	1
Parcial	2	Medio Plazo	2
Extenso	4	Inmediato	4
Total	8	Crítico	(+4)
Crítica	(+4)		
PERSISTENCIA (PE)		REVERSIBILIDAD (RV)	
Fugaz	1	Corto Plazo	1
Temporal	2	Medio Plazo	2
Permanente	4	Irreversible	4
SINERGIA (SI)		ACUMULACIÓN (AC)	
Sin Sinergismo	1	Simple	1
Sinérgico	2	Acumulativo	4
Muy Sinérgico	4		
EFECTO (EF)		PERIODICIDAD (PR)	
Indirecto	1	Irregular o discontinuo	1
Directo	4	Periódico	2
		Continuo	4
RECUPERABILIDAD (RB)		Si $I \geq 0,25$ ;    impacto irrelevante Si $I \geq 25 < 50$ ;    impacto Moderado Si $I \geq 50 < 75$ ;    impacto Severo Si $I \geq 75$ ;    impacto Crítico	
De manera inmediata	1		
A medio plazo	2		
Mitigable	4		
Irrecuperable	8		

Fuente: Conesa, 1997

Según Conesa Fernández Vitora, los atributos utilizados para el cálculo de la importancia del impacto corresponden con las siguientes definiciones.

**Signo.** Hace alusión al carácter beneficioso (+) o perjudicial (-) de las acciones que van a interactuar con los distintos factores ambientales.

**Intensidad (I).** Grado de incidencia de la acción sobre el factor, en el ámbito específico que actúa.

El baremo de valoración estará comprendido entre 1 y 12; el valor 12 expresará una destrucción total del factor en el área en la que se produce el efecto y el 1 una afección mínima. Los valores comprendidos entre esos dos términos reflejarán situaciones intermedias.

**Extensión (EX).** Área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del proyecto, expresado en relación al porcentaje del área de influencia, en que se manifiesta el impacto.

Si la acción produce un efecto muy localizado, se considerará que el impacto tiene un carácter puntual (1); si, por el contrario, el impacto no admite una ubicación precisa dentro del entorno del proyecto, teniendo una influencia generalizada, el impacto será total (8), considerándose situaciones intermedias, según su gradación, como impacto parcial (2) y extenso (4).

En el caso de que el impacto sea puntual, pero se produzca en un lugar crítico, se le atribuirá un valor de 4 unidades por encima del que le correspondería en función del porcentaje de extensión en que se manifiesta.

**Momento (MO).** Tiempo que transcurre entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto sobre el factor considerado. Cuando el tiempo transcurrido es inmediato o menor a 1 año el MO se considera a corto plazo, asignándole un valor de (4); si el periodo de manifestación del impacto se encuentra entre 1 a 5 años, se considera el MO a medio plazo, asignándole un valor de (2), y si el impacto tarda en manifestarse más de 5 años, se considera el MO a largo plazo y se le asigna un valor de (1).

**Persistencia (PE).** Tiempo supuesto de permanencia del efecto desde su aparición y, a partir del cual el factor ambiental afectado retornaría a las condiciones iniciales previas a la acción por medios naturales, o mediante la introducción de medidas correctoras. <sup>1</sup>

Si la permanencia del impacto tiene lugar durante menos de 1 año, se considera que la acción produce un impacto fugaz, asignándole un valor de (1); si dura entre 1 y 10 años, temporal (2), y si el impacto tiene una duración superior a 10 años, se considera el impacto permanente asignándole un valor de (4).<sup>1</sup>

**Reversibilidad (RV).** Posibilidad de retorno en el tiempo del factor ambiental por medios naturales a las condiciones que tenía antes de la ocurrencia de la acción. Si es a corto plazo, menor de un año, se le asigna un valor de (1), si es a medio plazo, de 1 a 5 años, se le asigna un valor de (2) y si el impacto es irreversible se le asigna un valor de (4).<sup>1</sup>

**Recuperabilidad (RB).** Posibilidad de reconstrucción, total o parcial, del factor afectado como consecuencia del proyecto, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la actuación, por medio de la intervención humana (introducción de medidas correctoras). Si el impacto es totalmente recuperable, se le asigna un valor de (1) o (2) según lo sea de manera inmediata o a medio plazo; si lo es parcialmente, el impacto es mitigable y se le asigna un valor de (4); cuando el impacto es irrecuperable se le asigna un valor de (8); en el caso de ser irrecuperables, pero existe la posibilidad de introducir medidas compensatorias, el valor será de (4).<sup>1</sup>

**Sinergia (SI).** Este atributo contempla el reforzamiento de dos o más impactos simples. Cuando una acción, actuando sobre un factor, no es sinérgica con otras acciones que actúan sobre el mismo factor, se le asigna un valor de (1); si presenta un sinergismo moderado se le asigna un valor de (2) y si es altamente sinérgico (4).<sup>1</sup>

**Acumulación (AC).** Este atributo mide el incremento de la manifestación de un impacto cuando persiste reiteradamente la acción que lo genera; cuando una acción no produce impactos acumulativos se valora como (1); si el impacto es acumulativo el valor se incrementa a (4).<sup>1</sup>

**Efecto (EF).** Se refiere a la relación causa efecto o forma la manifestación del efecto sobre un factor como consecuencia de una acción. Si el efecto es indirecto, su manifestación no es consecuencia directa de la acción, sino que tiene lugar a partir de un impacto directo, actuando éste como una acción de segundo orden. Este término toma el valor de (1) en el caso de que el impacto sea indirecto y el valor de (4) cuando sea directo.<sup>1</sup>

**Periodicidad (PR).** Este atributo se refiere a la regularidad de manifestación del impacto, bien sea de manera cíclica o recurrente (impacto periódico), de forma impredecible en el tiempo (impacto irregular), o constante (impacto continuo). A los impactos continuos se les asigna un valor de (4), a los periódicos (2) y a los de aparición irregular (1).<sup>1</sup>

Tabla 12: Valor de Ponderación Criterios Cualitativos de la Metodología Conesa

VARIABLES		RANGO DE CALIFICACIÓN	% PONDERACIÓN
IN	INTENSIDAD	1-12	23,1% - 36,0%
EX	EXTENSIÓN	1-12	15,4% - 24,0%
MO	MOMENTO	1-8	7,7% - 10%
PE	PERSISTENCIA	1-4	7,7% - 10%
RV	REVERSIBILIDAD	1-4	7,7% - 10%
RB	RECUPERABILIDAD	1-8	7,7% - 10%
SI	SINERGIA	1-4	7,7% - 10%
AC	ACUMULACIÓN	1-4	7,7% - 10%
EF	EFECTO	1-4	7,7% - 10%
PR	PERIODICIDAD	1-4	7,7% - 10%
<b>TOTAL</b>			<b>100,0%</b>

Fuente: (Martinez, 2010)

### CÁLCULO DE LA IMPORTANCIA AMBIENTAL EN FUNCIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL

<sup>1</sup>Una vez se obtiene el cálculo de la importancia con la ecuación anterior, ésta debe ser normalizada para obtener valores entre 0 y 100, que permitan determinar el nivel de importancia de cada impacto en una escala más adecuada, utilizando la siguiente ecuación:

$$I_{(CA)N} = \pm(I_{CA} - \text{Mínimo}) / (\text{Máximo} - \text{Mínimo}) * 100 \quad (24)$$

Donde; Mínimo= 13 y Máximo = 100

Finalmente, de acuerdo al valor obtenido en cálculo de la importancia en función de la calidad ambiental, se propone el sistema de clasificación, explicado en la siguiente tabla.

Tabla 13: Valor de la Importancia en Función de la Calidad

VALORACION DEL IMPACTO		RANGO DE LA I(CA)N	SIGNIFICADO EIA
	<b>CRITICO</b>	MAYOR A 75	Genera daños muy severos en el factor y requiere de la aplicación inmediata de medidas de manejo intensivas para su recuperación.
	<b>SEVERO</b>	50 Y 75	Genera daños evidentes en el factor y requiere de la aplicación inmediata de medidas de manejo para su recuperación.
	<b>MODERADO</b>	25 Y 50	Genera daños menores en el factor y requiere de la aplicación de medidas de manejo sencillas para su recuperación.
	<b>IRRELEVANTE</b>	MENOR A 25	No genera daños irreversibles en el factor y no requiere de la aplicación de medidas de manejo para su recuperación

Fuente: Autor

**PROPUESTA PARA EL CÁLCULO DE LA IMPORTANCIA AMBIENTAL DE LOS IMPACTOS EN EL ESCENARIO CON PROYECTO INCLUYENDO LAS MEDIDAS DE MANEJO AMBIENTAL.**

<sup>1</sup>Para calificar la importancia ambiental del impacto en función de la calidad ambiental en un escenario en el cual se aplican las medidas de manejo ambiental, primero se debe calcular la importancia de las medidas de manejo ambiental.

La importancia de las medidas de manejo ambiental puede ser calculada a través del atributo Recuperabilidad, el cual a su vez, puede ser calificado en función de dos variables: el tiempo de recuperación y la eficacia de la medida de manejo.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Antes de definir conceptualmente cada una de las variables que están correlacionadas con la Recuperabilidad es necesario definir los tipos de medida de manejo ambiental que se utilizan en la práctica de la EIA. En Colombia, como parte integral del Plan de Manejo Ambiental, se distinguen los siguientes tipos de medidas:

**Medidas de prevención:** Son las acciones encaminadas a evitar los impactos y efectos negativos que pueda generar un proyecto, obra o actividad sobre el medio Ambiente.

La aplicación de medidas de prevención o medidas protectoras se deben realizar en un escenario en el cual no ha ocurrido una interacción entre la acción y el factor ambiental, en este sentido, las medidas de prevención estarán relacionadas con un rediseño o un cambio de las actividades que generan el impacto. En un orden de prioridades para la EIA, resulta fundamental que el equipo que elabora el EsIA, agote todas las posibilidades que puedan existir para garantizar la aplicación de medidas preventivas, especialmente, a los impactos cuya importancia haya sido determinada como crítica o severa. La prevención de los impactos no sólo evita que éstos se presenten sino que disminuye los costos ambientales que se pueden generar a futuro cuando sea necesario aplicar medidas correctoras<sup>1</sup>.

**Medidas de mitigación:** Son las acciones dirigidas a minimizar los impactos negativos de un proyecto, obra o actividad sobre el ambiente. Este tipo de medidas representan un segundo orden de prioridad para los casos en los cuales el impacto no admita medidas de prevención.<sup>1</sup>

**Medidas de corrección:** Son las acciones dirigidas a recuperar, restaurar o reparar las condiciones del factor afectado por el proyecto.

**Medidas de compensación:** Son las acciones dirigidas a resarcir y retribuir a las comunidades, las regiones, localidades y al entorno natural por los impactos o efectos negativos generados por un proyecto, obra o actividad, que no puedan ser evitados, corregidos, mitigados o sustituidos (MAVDT, 2010).

**Tiempo de recuperación:** En la fase anterior, se incorporaba la variable duración del impacto para determinar el tiempo que el factor tardaría en recuperarse bajo condiciones naturales, incorporando la variable tiempo de recuperación, con el fin de determinar el tiempo que tardará en recuperarse el factor ambiental, a partir del momento en que se aplican las medidas de manejo. (MAVDT, 2010).

Tabla 14: Clasificación de Valoración del Tiempo, para la Recuperación del Impacto

<b>CLASIFICACION PROPUESTA PARA LA VALORACION DEL TIEMPO DE RECUPERACION DEL IMPACTO</b>		
<b>CATEGORIA CUALITATIVA</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>VALOR CUANTITATIVO</b>
Largo plazo	Una vez se inicia la aplicación de la medida de manejo, el tiempo de recuperación es de muy largo plazo, superior a 10 años.	1
Recuperable a Mediano Plazo	Una vez se inicia la aplicación de la medida de manejo, el tiempo de recuperación del factor es menor a diez años.	3
Recuperabilidad a Corto plazo	Una vez se inicia la aplicación de la medida de manejo, el tiempo de recuperación del factor es menor a un año.	5
Inmediato	Una vez se aplica la medida de manejo, el factor ambiental retorna a las condiciones iniciales de forma inmediata.	7

Fuente: Martínez, 2010

### **Eficacia de la medida de manejo**

La eficacia de la medida de manejo permite establecer la capacidad que tiene la medida implementada para lograr disminuir el nivel de afectación que se causará o que se ha causado sobre el factor ambiental por la incidencia de la acción.<sup>1</sup>

Para la calificación, se propone el sistema de clasificación.

Tabla 15: Clasificación Para la Eficiencia de la Medida de Manejo

<b>CLASIFICACION PROPUESTA PARA LA EFICIENCIA DE LA MEDIDA DE MANEJO</b>		
<b>CATEGORIA CUALITATIVA</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>VALOR CUANTITATIVO</b>
Nula	Cuando la eficacia de la medida es nula, no se evidencia recuperación del factor ambiental afectado. Se aplica para las medidas de compensación.	0
Baja	Cuando la eficacia de la medida de manejo sea menor a 30%	1
Media	Cuando la eficacia de la medida de manejo se encuentre en el rango de 30% a 60%	5
Alta	Cuando el porcentaje de eficacia de la medida de manejo se encuentre en el rango de 61% a 80%	10
Muy alta	Cuando el porcentaje de eficacia de la medida de manejo sea mayor a 80%.	15

Fuente: Martínez, 2010

Una vez se realiza la calificación de los atributos el tiempo de recuperación y la eficacia de la medida de manejo, se procede a determinar la importancia en función de la

calidad ambiental para la etapa con medidas de manejo ambiental o importancia de la recuperabilidad a través de la siguiente ecuación.<sup>1</sup>

$$I_{RB} = \pm (TR + E)$$

Dónde:

IRB: Representa la importancia de la recuperabilidad ambiental del factor en función de la calidad ambiental.

E: Representa la eficacia de la medida de manejo aplicada.

TR: Representa el tiempo de recuperación del impacto

Una vez se obtiene el cálculo de la importancia, ésta debe ser normalizada para obtener valores entre 0 y 1, que permitan determinar el nivel de importancia de cada impacto en una escala más adecuada.<sup>1</sup>

$$I_{(RB)N} = \pm (|I_{RB}| - \text{Mínimo}) / (\text{Máximo} - \text{Mínimo})$$

Finalmente, de acuerdo al valor obtenido en cálculo de la importancia de la recuperabilidad, se propone el sistema de clasificación.

Tabla 16: Sistema de Clasificación

RANGO DE IMPORTANCIA DE LA RECUPERABILIDAD (IRB)	VALORACION IRB	SIGNIFICADO PARA LA EIA
≤ 0,35	Baja	La importancia de la recuperabilidad del factor en relación al mejoramiento de la calidad ambiental es baja.
>0,35<0,60	Media	La importancia de la recuperabilidad del factor en relación al mejoramiento de la calidad ambiental es media.
≥0,60<0,80	Alta	La importancia de la recuperabilidad del factor en relación al mejoramiento de la calidad ambiental es alta.
≥0,80	Muy alta	La importancia de la recuperabilidad del factor en relación al mejoramiento de la calidad ambiental es muy alta.

Fuente: Martínez, 2010

## SÍNTESIS DE LA PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL CÁLCULO DE LA IMPORTANCIA DE LA RECUPERABILIDAD

El cálculo de la importancia de la recuperabilidad ambiental y la calificación cualitativa de los atributos, incluyendo la ponderación que éstos tienen en la ecuación, se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 17: Calculo de la Importancia de la Recuperabilidad

VARIABLES	RANGO PONDERACIÓN (%)	CALIFICACIÓN	VALOR
TIEMPO DE RECUPERACION	68% - 100	Largo plazo	1
		Recuperable a Mediano Plazo	3
		Recuperable a Corto plazo	5
		Inmediato	7
EFICACIA DE LA MEDIDA DE MANEJO	0% - 32%	Nula	0
		Baja	1
		Media	5
		Alta	10
		Muy Alta	15
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>	<b>máximo</b>	<b>1</b>
		<b>Mínimo</b>	<b>22</b>

Fuente: Martínez, 2010

El modelo para la calificación de la importancia de la recuperabilidad, ha sido diseñado bajo las siguientes condiciones y/o consideraciones:

La importancia de la recuperabilidad es baja para eficacias medias y tiempos de recuperación de largo y mediano plazo o para eficacias bajas, sin importar el tiempo de recuperación.<sup>1</sup>

La importancia de la recuperabilidad es media para eficacias medias y tiempos de recuperación inmediata y a corto plazo o para eficacias altas y tiempos de recuperación de largo y mediano plazo. <sup>1</sup>

La importancia de la recuperabilidad es alta para eficacias altas y tiempos de recuperación inmediata y a corto plazo o para eficacias muy altas y tiempos de recuperación de largo plazo. <sup>1</sup>

La importancia de la recuperabilidad es muy alta para eficacias muy altas y tiempos de recuperación inmediata, a corto plazo y mediano plazo. <sup>1</sup>

### **Determinación de la importancia neta**

Teniendo en cuenta que la importancia de la recuperabilidad, mide el nivel de recuperación de la calidad ambiental del factor, se propone la calificación de la importancia neta como una diferencia entre la importancia sin medidas de manejo ambiental y la importancia del impacto con medidas de manejo ambiental. Para el cálculo se propone la ecuación. <sup>1</sup>

$$I_{NETA} = I_{(CA)N} - (I_{CA(N)} * I_{RB(N)})$$

INETA: Representa la importancia neta después de aplicar las medidas de manejo ambiental. <sup>1</sup>

I(RB)N: Representa la importancia normalizada de la recuperabilidad ambiental del factor en función de la calidad ambiental. <sup>1</sup>

I(CA)N: Importancia normalizada del impacto en función de la calidad ambiental sin medidas de manejo. <sup>1</sup>

Finalmente, de acuerdo al valor obtenido en el cálculo de la importancia neta, se propone el sistema de clasificación de la siguiente tabla:

Tabla 18. **Calculo de la Importancia Neta**

<b>RANGO DE LA I (NETA)</b>	<b>VALORACION IRB</b>	<b>SIGNIFICADO PARA LA EIA</b>
≤ 25	Irrelevante	El impacto residual después de aplicadas las medidas de manejo ambiental presenta una intensidad muy baja sobre el factor y no se constituye en un riesgo significativo para la pérdida de calidad ambiental.
>25<50	Moderado	El impacto residual después de aplicadas las medidas de manejo ambiental presenta una intensidad media sobre el factor que obliga a considerar nuevas medidas de manejo ambiental para el manejo de los impactos
≥50<75	Severo	El impacto residual después de aplicadas las medidas de manejo ambiental presenta una intensidad alta sobre el factor que obliga a considerar nuevas alternativas para la ejecución de las acciones previstas.
≥75	Crítico	El impacto residual después de aplicadas las medidas de manejo ambiental presenta una intensidad muy alta sobre el factor que obliga a considerar nuevas alternativas para la ejecución de las acciones previstas o rechazo final del proyecto.

Fuente: Martínez, 2010

## **CALIDAD DEL AGUA**

La calidad del agua hace referencia al estado del recurso hídrico, este concepto es usado en un escenario comparativo donde se define un patrón o nivel de referencia y depende del punto de vista que se tengan en cuenta para realizar la calificación o evaluación, así como de los indicadores que se utilicen. (Martínez, Renson; 2010)

Johnson (1997), define la calidad ambiental como el conjunto de propiedades y características del medio ambiente que afectan a los seres humanos y otros organismos. Es la medida de la condición de un entorno en relación con los requisitos de una o más especies y/o cualquier necesidad humana. El mantenimiento del nivel de calidad ambiental en los sistemas naturales y el mejoramiento en los sistemas humanos se relacionan con los objetivos de la EIA, por este motivo la identificación y valoración de impactos se ajustan a los principios del desarrollo sostenible adoptados en la Conferencia de las Naciones Unidas, Estocolmo, 1972 y Río de Janeiro, 1992.

Según DGAAM del Perú, la calidad del agua, los impactos en la calidad del agua generalmente pueden ser divididos en las siguientes categorías:

- Propiedades térmicas;
- Factores estéticos, incluyendo color, sabor y olor;
- Sólidos y residuos;
- Factores químicos inorgánicos;
- Factores químicos orgánicos; y
- Factores microbiológicos.

### **Propiedades Térmicas**

El régimen térmico de los ríos y lagos puede ser cambiado como resultado de la descarga de aguas calientes a ríos y lagos. Pocas actividades de beneficio y minería, si es que hubiera, generarán la descarga de aguas calientes y no afectarán probablemente las propiedades térmicas de las aguas receptoras. Sin embargo, se debe tener en cuenta este impacto potencial a la calidad del agua, y en esos casos, cuando se considere que las descargas

de aguas calientes constituirán un problema se debe requerir de estudios especiales. Las propiedades térmicas pueden ser impactadas si el agua se utiliza para enfriar unidades de procesamiento o si las actividades de desagüado del tajo incluyen los recursos de aguas termales subterráneas. (Dirección General de Asuntos ambientales mineros del Perú, 2006)

### **Propiedades Estéticas**

<sup>2</sup>Las actividades de minería también pueden ocasionar cambios en las propiedades estéticas (por ejemplo, color, sabor y olor) del agua. Ejemplos típicos son:

- Drenaje ácido de mina que ocasiona precipitación de hierro dando un color rojo o amarillo a la corriente hídrica;
- Descarga de constituyentes (particularmente compuestos orgánicos) hacia aguas receptoras a través de operaciones mineras normales, accidentes y derrames, generando cambios en el olor, color y sabor.
- Incremento de la erosión de los suelos durante las actividades de construcción que originan el incremento de la turbidez (cambio del color).

### **Sólidos y Residuos**

Los sólidos y residuos incluyen cualquier sustancia flotante o suspendida, también sedimentos, que impactan la calidad estética del cuerpo de agua receptor y, en el caso del incremento de cargas sedimentarias, que pueden ser potencialmente impactadas en organismos acuáticos. Las actividades de construcción y las operaciones mineras generales pueden ser una fuente de sedimentos, viruta, restos y otros residuos sólidos descargados a un cuerpo de agua. De todos ellos, el incremento de cargas sedimentarias causadas por la alteración de la superficie de la tierra durante la construcción y las operaciones mineras probablemente sea el

de mayor preocupación. La principal preocupación probablemente no sea cuantificar estos contaminantes sino identificar todas las fuentes potenciales de contaminantes e implementar mejores prácticas de manejo para controlar o eliminar la descarga de contaminantes a los cuerpos de agua receptores.<sup>2</sup>

### **Factores Químicos Inorgánicos**

Las actividades mineras y de beneficio pueden ser una fuente de descargas químicas inorgánicas a las aguas superficiales y subterráneas. La fuente de descarga más seria y visible será el drenaje ácido de roca, grave problema que ocasiona la disminución de pH en los cuerpos de aguas superficiales impactados, que puede eliminar la vida acuática. La generación de ácido también puede generar la lixiviación de metales pesados de la roca con la que toma contacto. Si se transportan a una fuente de agua para beber, estos metales pesados representan una seria amenaza para la salud humana.<sup>2</sup>

### **Factores Químicos Orgánicos**

Las actividades mineras y de beneficio también pueden contribuir con la descarga de constituyentes orgánicas en las aguas superficiales. Estos pueden incluir compuestos orgánicos de combustibles derramados, operaciones de proceso y pozas de contención. Adicionalmente, la materia orgánica de las áreas disturbadas y áreas de disposición de desechos pueden ingresar a las aguas superficiales. Las descargas de las operaciones del proceso deben ser cuantificadas. A pesar que puede ser difícil cuantificar la descarga de constituyentes orgánicos de combustibles derramados a las aguas receptoras, tierras

disturbadas y áreas de disposición de desechos, se debería incluir un estudio cualitativo de estas fuentes en el EIA.<sup>2</sup>

### **Factores Microbiológicos**

Esta característica de la calidad de agua tiene relación con los micro-organismos patógenos que pueden causar enfermedades, dar sabor y olor al agua e interferir con los procesos de tratamiento de agua. Las fuentes de contaminación microbiológica incluyen los desechos animales y humanos y las soluciones de lixiviación de los botaderos y áreas disturbadas. La cuantificación de fuentes microbiológicas puede ser difícil pero debe ser discutida de manera cualitativa en el EIA.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Guía para la evaluación de impactos ambientales, Dirección general de asuntos ambientales mineros del Perú, Lima, 2006.

## **DISEÑO METODOLOGICO**

### **UNIDAD DE ANÁLISIS Y DE TRABAJO**

La investigación tiene como área de influencia directa de la quebrada Cascabel ubicada en el municipio de Marmato, departamento de Caldas, donde la población en estudio corresponderá al número de plantas de beneficio de oro o molinos artesanales ubicados en la vertiente de esta quebrada.

### **TIPO DE INVESTIGACIÓN**

El tipo de investigación se desarrolló bajo un análisis cuantitativo, que implico un proceso de recolección y análisis de datos, se pretende en un primer momento empírico-analítico describir y analizar el estado de la minería (exploración y/o explotación), y el impacto que se genera en la calidad del recurso hídrico influenciado por la explotación minera de los molinos artesanales en la quebrada cascabel del municipio de Marmato.

La investigación es tipoexplorativo y descriptivo analítico con carácter retrospectivo y transversal, primero pretende evaluar la relación causal de la actividad minera de la zona de estudio y sus efectos, segundo la investigación es posterior a todos los efectos que está causando la minería y los datos se presentan en un momento específico.

## **Etapas de la investigación**

- **Etapa No. 1. Aproximación conceptual y recolección de información de tipo secundario.**

En esta etapa, se realizó una investigación teórica del tema, como estudios realizados en el municipio de Marmato, relacionados con la dimensión ambiental en el área minera, estudios de la quebrada Cascabel; documentos relacionados con el tipo de minería aurífera, tipo filón, revisión de las diferentes metodologías de identificación, valoración y ponderación de impactos ambientales, que a su vez fue útil para diseñar el marco teórico.

En esta primera etapa, se contó con el apoyo de un experto de la Corporación Autónoma Regional de Caldas, CORPOCALDAS, en el tema del recurso hídrico en el municipio de Marmato, el ingeniero José Albeiro Gómez Chica y la Administradora Ambiental Carolina Gómez García de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, CVC, en el tema de análisis físico químicos de la calidad del agua.

- **Etapa No. 2. Construcción de los instrumentos para la recolección de la información.**

Esta etapa fue muy importante para el desarrollo y el cumplimiento de los objetivos del proyecto de investigación, porque a partir de la explicitación de ellos, se obtuvo la línea base, información y datos requeridos para la identificación, valoración y ponderación de los impactos ambientales generados al recurso hídrico, en términos de alteración de la calidad, por la actividad minera en el área de estudio.

Para la identificación de los impactos ambientales al recurso hídrico, en términos de calidad, se elaboró un primer instrumento denominado lista de chequeo, la cual fue elaborada teniendo en cuenta, cada una de las etapas que comprende el proceso de extracción y transformación del mineral, mirándolo desde el enfoque sistémico.

De acuerdo a la información entregada por el ingeniero José Albeiro Gómez Chica, funcionario de la Corporación Autónoma Regional de Caldas, CORPOCALDAS, en el área que drena hacia la quebrada Cascabel, existen cuarenta (40) molinos, de los cuales se visitaron veinte (20), es decir que se obtuvieron datos del 50%, de los molinos, existentes en el área de estudio.

Un segundo instrumento aplicado, fue la entrevista informal, dirigida a algunas de las personas que estaban trabajando en los molinos, con el fin de identificar el proceso que ellos realizan en la explotación y transformación del mineral, frente al manejo y la importancia ambiental que tiene para ellos el cuidado del recurso hídrico.

- **Etapa No. 3. Análisis de la información**

La información recolectada en las visitas de campo, mediante las listas de chequeo, entrevistas informales, observación, información de carácter secundario y el apoyo de los expertos en el tema, se analizó y se organizó de acuerdo al proceso productivo de la extracción y transformación del mineral, a través del enfoque sistémico, el cual permitió identificar las entradas y salidas del mismo, permitiendo la obtención de datos ambientales importantes para el alcance de los objetivos de la presente investigación.

- **Etapa No. 4. Elaboración del estudio**

En esta etapa se realizó la identificación, análisis y evaluación de los impactos ambientales, relacionados con la alteración de la calidad del recurso hídrico de la quebrada Cascabel.

Mediante la visita de campo, en la cual se aplicó la lista de chequeo, las entrevistas individuales, la observación, ubicación geográfica de los molinos, la información de tipo secundario y el apoyo de los expertos, se levantó la línea base; la cual partió de la identificación de las etapas del proceso productivo, tanto en la explotación del mineral, como en la transformación del mismo; mediante el enfoque sistémico, que permitió identificar las entradas y salidas de esta actividad.

En relación a la calidad del agua, la presente investigación, se apuntaló en alto grado, en los resultados físicos, químicos y biológicos, del estudio realizado por CORPOCALDAS y la Fundación SANEAR en el año 2011, denominado “Caracterización, evaluación y modelación del agua, quebradas Cascabel y Aguas Claras municipio Marmato”.

Una vez analizada la información, se realizó la caracterización de los aspectos ambientales, que intervinieron en la posterior identificación y evaluación de los impactos ambientales, los cuales se articularon con las diferentes etapas del proceso productivo de la extracción minera, identificando en cada una de ellas, su relación con y haciendo posteriormente un comparativo con la normatividad ambiental para cada aspecto.

Posteriormente, se priorizó el aspecto relacionado con las descargas a fuentes superficiales (teniendo en cuenta que el objetivo de la investigación está orientado a la calidad del recurso hídrico), enfatizando la identificación de los impactos en este aspecto, orientados hacia la dimensión abiótica, en el campo de la calidad hídrica, realizada esta fase, se realizó el análisis de las razones por las cuales, estos impactos ambientales generados, estaban relacionados con cada una de las etapas del proceso productivo, es decir, porqué la ocurrencia.

Los impactos identificados, pasaron a una posterior evaluación, a través de la metodología denominada “Clasificación y valorización de los impactos” mediante la importancia del impacto, desarrollada y expuesta por Conesa Fernández Vítora en 1997, esta técnica de medición mide la importancia del impacto “en función, tanto del grado de incidencia o intensidad de la alteración producida, como de la caracterización del efecto, que responde a su vez a una serie de atributos de tipo cualitativo tales como extensión, tipo de efecto plazo de manifestación, persistencia, reversibilidad, recuperabilidad, sinergia, acumulación y periodicidad”.

Una vez dado el valor correspondiente a cada atributo, se aplicó la siguiente ecuación:

$$I = \pm (3IN + 2EX + MO + PE + SI + AC + EF + PR + RB)$$

Obtenido el valor de la importancia de los impactos, se utilizó la metodología para la evaluación de impacto ambiental para Colombia, propuesta por Martínez Prada Renson Jesús, mediante la cual se calcula la importancia ambiental en función de la calidad ambiental, normalizada para valores entre 0 y 100, es decir un valor máximo y un valor mínimo, el cual para esta investigación, se tomó el mínimo con un valor de 13 y el máximo 100 (metodología Conesa Fernández Vítora), aplicando la siguiente fórmula.

$$I_{(CA)N} = \pm(|I_{CA}| - \text{Mínimo}) / (\text{Máximo} - \text{Mínimo}) * 100$$

Luego, a través de un escenario de medidas de manejo ambiental, se calculó la importancia normalizada de la recuperabilidad ambiental del factor, en función de la calidad ambiental, a través de la siguiente ecuación..

$$I_{RB} = \pm (TR + E)$$

Una vez se obtuvo el cálculo de la importancia, ésta se normalizó para obtener valores entre 0 y 1, que permitieron determinar el nivel de importancia de cada impacto en una escala más adecuada.

$$I_{(RB)N} = \pm(|I_{RB}| - \text{Mínimo}) / (\text{Máximo} - \text{Mínimo})$$

Finalmente, de acuerdo al valor obtenido en cálculo de la importancia de la recuperabilidad, se procedió a evaluarlo, mediante un sistema de clasificación y por último se determina la importancia neta, mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$I_{NETA} = I_{(CA)N} - (I_{CA(N)} * I_{RB(N)})$$

## **TECNICAS E INSTRUMENTOS**

En esta investigación, se utilizaron técnicas cualitativas y cuantitativas, los instrumentos utilizados fueron la lista de chequeo, cartografía existente, opinión de expertos y entrevistas informales a los propietarios de los molinos artesanales visitados.

## **ANALISIS DE LA INFORMACION**

### **CARACTERIZACION DE LA QUEBRADA CASCABEL**

#### **Ubicación**

La quebrada Cascabel, se extiende desde las coordenadas 1097228N y 830777E, a una altura de 1368 msnm, hasta su desembocadura a la quebrada Aguas Claras, a una altura de 689 msnm, haciendo un recorrido de 3.244 m de longitud.

La microcuenca tiene una longitud axial de 2.679 m, un ancho promedio de 605 m y un área aproximada de 1.250 Has, va desde los 1.000 msnm hasta los 2.200 m, característica que la hace rica en climas y otros factores ambientales. (Diagnostico microcuenca Cascabel Marmato, 2011). La microcuenca Cascabel tiene un caudal promedio de 12l/s, está conformada por 19 cauces de primer orden, 4 de segundo y 1 de tercer orden.

#### **Condiciones climáticas del área de estudio.**

La precipitación en la quebrada Cascabel es de tipo bimodal, característica de la zona cafetera colombiana. El primer período se sucede entre los meses de marzo y mediados de mayo; en el segundo período las precipitaciones se inician en el mes de septiembre, culminando en el mes de noviembre.

El balance hídrico de esta zona, muestra dos excesos hídricos que se suceden entre mediados de marzo y finales de mayo, y mediados de agosto y finales de noviembre. Además se presentan dos déficits marcados, uno en el mes de julio y otro en los meses de enero y febrero. Los meses más calurosos en la zona corresponden a los meses de enero – febrero y julio – agosto y los más fríos a mayo – junio y octubre – noviembre.

Tabla 19. Condiciones Climáticas de la Quebrada Cascabel

FACTOR CLIMÁTICO	UNIDAD DE MEDIDA	CONDICIÓN CLIMÁTICA PARA LA ZONA
<b>Temperatura</b>	°C	25
<b>Humedad relativa</b>	%	70.45
<b>Brillo solar día</b>	horas luz/día	5.7
<b>Brillo solar año</b>	horas luz/año	2081.04
<b>ETP día</b>	mm/día	4.4
<b>ETP mes</b>	mm/mes	132.7
<b>Precipitación municipio de Marmato</b>	mm/año	1863.5

Fuente: Plan de Gestión Integrada del Recurso Hídrico para la Microcuenca de la Quebrada Aguas Claras- Municipio de Marmato – Caldas, 2011

Según el Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio, los afluentes directos de la quebrada cascabel son la cañada el Volante y la Victoria, como afluentes indirectos se encuentra la quebrada La Plata, estas fuentes desembocan en la quebrada Marmato, donde se une con la quebrada Cascabel para luego confluir al río Cauca tal como se evidencia en la siguiente ilustración.



De la vereda Echadia descola un drenaje que es afluente directo de la quebrada Cascabel, esta quebrada atraviesa el centro poblado de Marmato viejo y el sector el Llano; tramo donde recibe el mayor número de descargas de aguas cianuradas y residuales domésticas; la quebrada Cascabel continua su curso para luego unirse con la quebrada Aguas Claras y desembocar en el río Cauca.

La quebrada Aguas Claras pese que un gran tramo de ella se encuentra ubicada cerca de plantas de beneficio de oro, se evidencia a simple vista que presenta menos procesos erosivos, conserva vegetación protectora y refleja características aceptables en la calidad y cantidad del agua comparada con la quebrada Cascabel. Sin embargo esta quebrada es una de las más afectadas por la disposición directa de residuos sólidos y líquidos domésticos por parte de los habitantes del corregimiento San Juan. Otra de las grandes amenazas a la que está expuesta la quebrada Aguas Claras, es la cercanía de la zona donde se encuentran ubicados el mayor número de molinos, situación que facilita la migración de nuevas plantas de beneficio hacia esa zona.

El uso actual de la quebrada Cascabel es en su mayoría para la purificación de oro en los molinos y en el barequeo.

*“Los efectos del cianuro sin cal y sulfuros que se vierten a las fuentes de agua son graves y se convierten en veneno para cualquier especie”* (Diagnostico microcuencia Cascabel, 2011)

## Características hidráulicas de la cuenca de la microcuenca Cascabel

- Hidrografía

El cauce de la quebrada Aguas Claras se caracteriza por poseer un valle en forma de “V” con ladera de pendientes muy pronunciadas y muy estrecho en el fondo, lo que da lugar a la formación de quebradas de gran pendiente y escasa longitud, en donde se pueden presentar un gran caudal máximo instantáneo de poca duración y un volumen que genere arrastre de material sólido. .

- Aforos

Tabla 20: Caudales Aforados en Estaciones de Monitoreo

ESTACIONES	DIST (m)	AFORO 1 (m <sup>3</sup> /s)	AFORO 2 (m <sup>3</sup> /s)	AFORO 3 (m <sup>3</sup> /s)	AFORO 4 (m <sup>3</sup> /s)
<b>Blanco en la quebrada Cascabel</b>	0	0.011	0.010	0.011	0.011
<b>Antes de la desembocadura de la Pantanos</b>	1479	0.108	0.110	0.095	0.106
<b>Antes de la desembocadura Q. Aguas Claras</b>	2608	0.188	0.193	0.217	0.198
<b>Antes de la desembocadura al río Cauca</b>	3244	0.409	0.491	0.532	0.477

Fuente: Caracterización, evaluación y modelación de la calidad del agua de las quebradas Cascabel y Aguas Claras, en el municipio de Marmato Caldas, 2011, CORPOCALDAS fundación SANEAR.

En la siguiente imagen, se muestran las estaciones donde CORPOCALDAS y LA FUNDACION SANEAR realizaron los muestreos y monitoreos a la cuenca de la quebrada Aguas Claras.

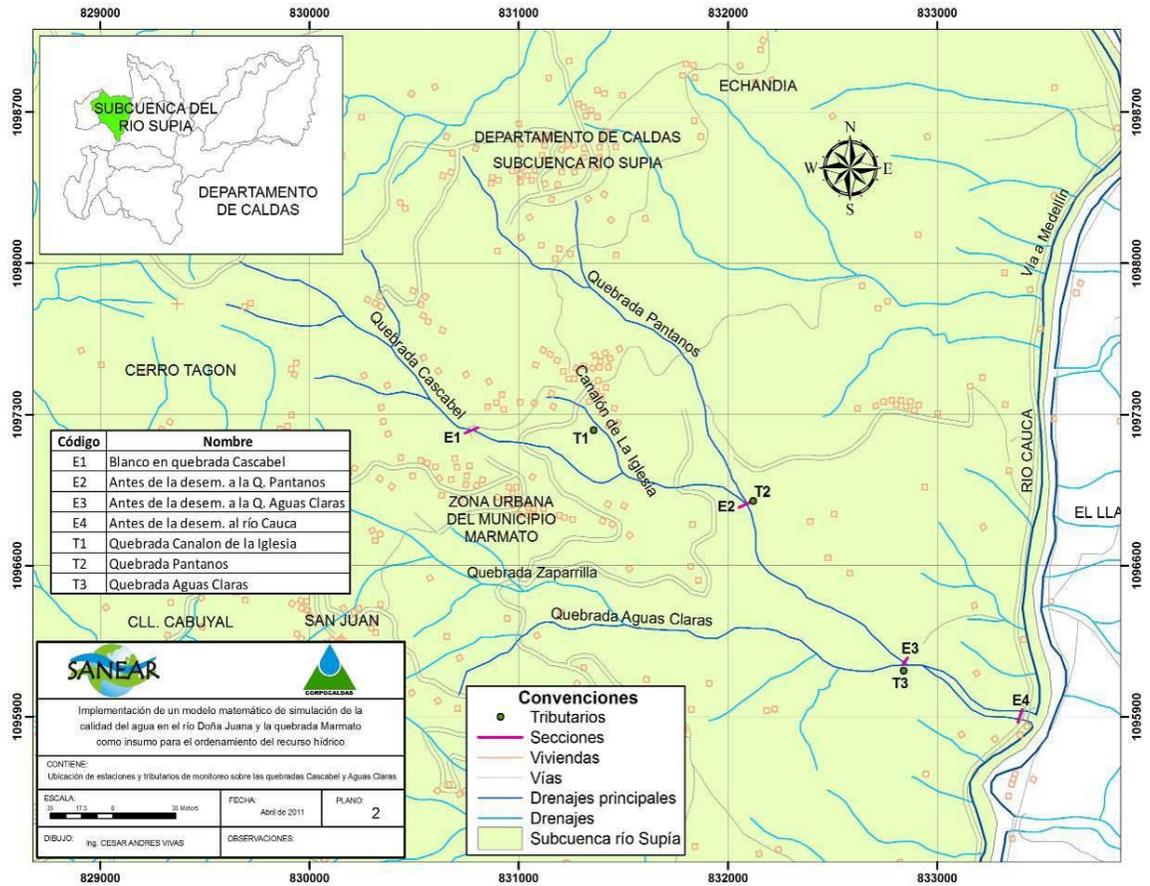


Gráfico No. 14. Estaciones de Monitoreo

Fuente: Fuente: Caracterización, evaluación y modelación de la calidad del agua de las quebradas Cascabel y Aguas Claras, en el municipio de Marmato Caldas, 2011, CORPOCALDAS fundación SANEAR.

## Geología

El municipio de Marmato es constituido principalmente por rocas ígneas, ricas en minerales, las características del área donde se ubica la quebrada Cascabel presenta piedras sueltas, suelos arenosos y arcillosos, suelo pedregoso e inestable por la filtración del agua, deforestación y la actividad minera. Esta zona es clasificada con amenaza alta de movimientos de masa gracias a la combinación de las siguientes características: Pendientes mayores del 50%, procesos erosivos activos e inactivos y las formaciones superficiales: depósitos

antrópicos, depósitos aluviales, saprolito de rocas porfiríticas. Rocas porfiríticas y esquistos cuarzo sericíticos afectadas por las fallas Chaburquí y el Volante.

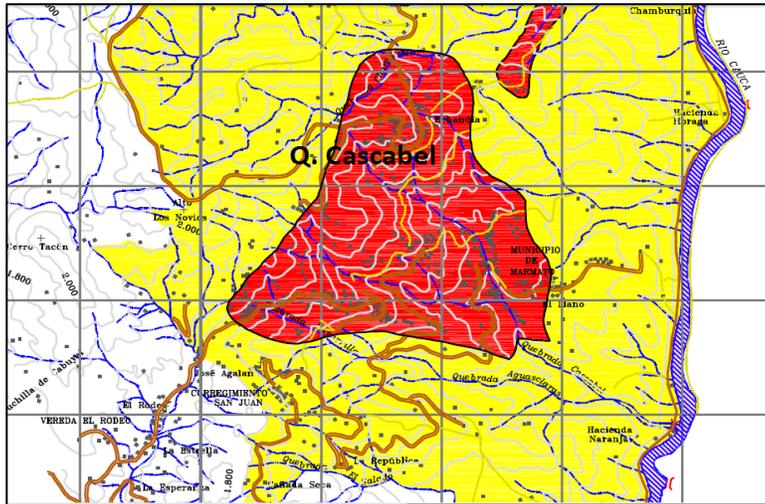


Gráfico No. 15. Área de Influencia Directa de la Quebrada Cascabel con Amenaza alta de Movimientos de Masa.  
Fuente: EOT Marmato, 2010, modificado por el autor.

- Procesos Morfodinámicos.

Se evidencia en el área de estudio surcos y cárcavas por distintos factores, uno de ellos es el manejo inadecuado de las aguas de escorrentía las cuales producen pérdida en el sostenimiento de la tierra. Otro factor importante son las actividades mineras tales como: Excavaciones realizadas en las minas, provocando hundimientos, descarga de estériles sin ninguna medida de manejo, uso de químicos que producen inestabilidad e infertilidad del suelo. Según el esquema de ordenamiento territorial, dentro de la clasificación geológica estructural del municipio, la quebrada Cascabel es travesada por una falla geológica denominada el volante.

## Cobertura y uso del suelo de la quebrada Cascabel

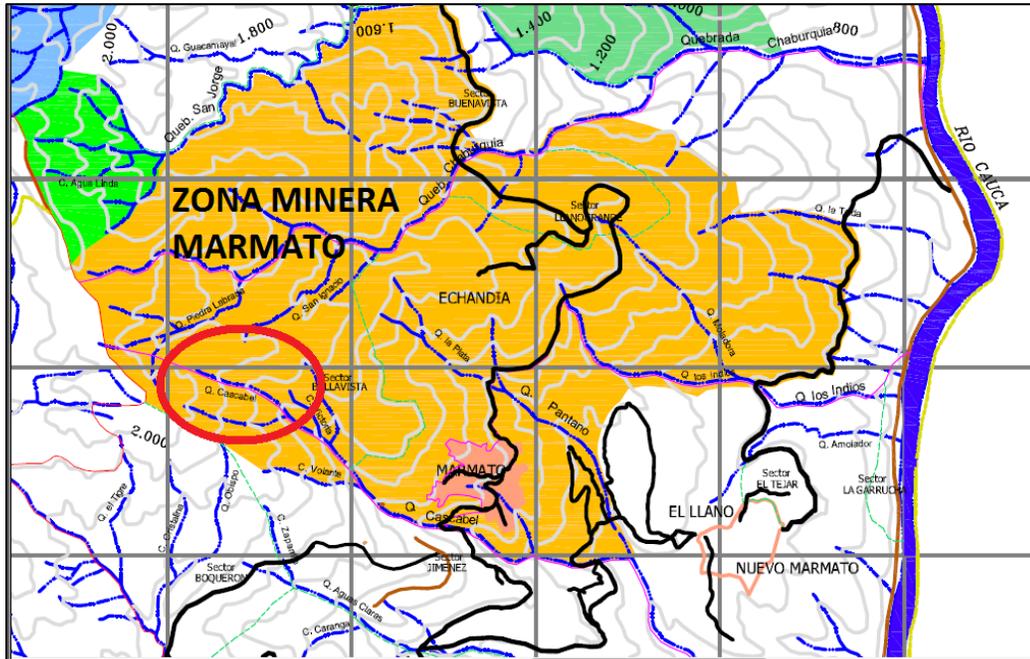


Gráfico No. 16. Localización de la Actividad Minera del Municipio de Marmato con Relación al Suelo de la Quebrada Cascabel  
Fuente: EOT Marmato, 2010, modificado por el autor.

Los suelos de la quebrada Cascabel son bajos en fertilidad y susceptibles a erosión, se hallan zonas de alta pedregosidad y pendientes demasiado pronunciadas las cuales deben ser sometidas a programas de mejoramiento ambiental como reforestación. El uso del suelo en esta zona es principalmente para la extracción del mineral (en las minas), desecho de estériles de los molinos y el descargue de sustancias químicas la cuales ocasionan inestabilidad al terreno como se mencionó anteriormente.

La actividad agrícola en los últimos años ha presentado una decadencia muy grave ya que los agricultores han encontrado otras actividades económicas más accesibles junto con la dificultad de laboreo en zonas de pendiente fuerte que presenta la zona, esto ha ocasionado

que las zonas agrícolas se vean limitadas a pequeñas y escasos predios en la parte alta, convirtiéndose en terrenos inutilizados en rastrojos medios y altos.

En la siguiente ilustración, muestra la cobertura vegetal y usos del suelo del área de influencia directa de la Quebrada Cascabel.

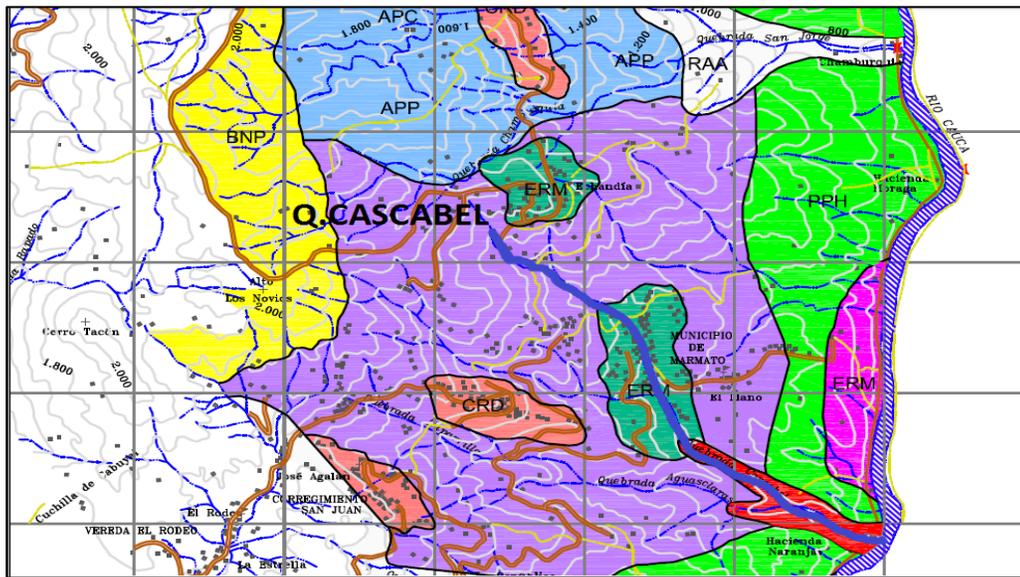


Gráfico No. 17. Usos del Suelo Localizados en el AID de la Q. Cascabel.  
Fuente: EOT Marmato, 2010, modificado por el autor.

Tabla 21: Usos del Suelo de la Quebrada Cascabel.

Convenciones Usos del Suelo		Relación Q. Cascabel
<b>CONVENCIONES</b>		De acuerdo a la ilustración anterior, el uso del suelo del área de influencia directa de la quebrada cascabel, está representado de la siguiente manera: suelo desnudo producto de las actividades mineras, sin presencia de bosques naturales primarios y la presencia significativa de matorrales de rastrojo bajo.
CONSTRUCCIONES	<b>CRD</b> Construcciones Dispersas	
	<b>CUR</b> Urbano Residencial	
AGRICOLA	<b>APC</b> Cultivo de Café	
	<b>APP</b> Cultivo de Platano	
	<b>APF</b> Cultivos de Frutales	
PASTOS	<b>PPH</b> Potreros	
BOSQUES NATURALES	<b>BNP</b> Bosques Primarios	
	<b>RAA</b> Matorral, Rastrojo Alto	
	<b>RAB</b> Matorral, Rastrojo Bajo	
TIERRAS ERIALES	<b>ERM</b> Suelo Desnudo, Minas	
	<b>ERF</b> Suelo Expuesto en Fragmentos	
	<b>ERM</b> Roca Expuesta Masiva	

Fuente: EOT Marmato, 2010

### Fauna

Existe una marcada escasez de la fauna silvestre en el área de influencia de la quebrada Cascabel debido principalmente a la degradación de los hábitats y a las actividades humanas en el área. La deforestación ha sido permanente y las quemas han afectado directa o indirectamente a la fauna, tanto terrestre como acuática, siendo esta última la más afectada con el proceso de extracción del mineral. La fauna silvestre terrestre ha sido desplazada por la destrucción del hábitat, la ictiofauna es afectada por el incremento de los sedimentos en las corrientes de agua o el vertimiento de desechos tóxicos que alteran las condiciones físicas químicas. La gran mayoría de los peces detectados en Marmato son consumidos por los habitantes de las orillas de los ríos.

Los anfibios y reptiles también se han visto afectados con la degradación del medio natural, aunque es posible encontrar una gama significativa de especies.

Las aves son el grupo de fauna más estudiado y más numeroso, sin embargo no son tan abundantes como podría esperarse en el municipio, dadas las condiciones biogeográficas de Marmato. Ésta debería ser una región muy rica en aves, sin embargo solo se reportan 48 especies de 23 familias, esto es proporcional a la degradación ambiental del ecosistema. Los efectos de del cianuro, el zinc, la cal, aceites de pino y otros elementos que se vierten a las fuentes de agua son muy graves, pues las convierten en veneno para cualquier especie que las ingiera directa o indirectamente. En el documento denominado Estado del conocimiento de las aves en el departamento de Caldas: Prioridades de Conservación y vacíos de información se reporta la ausencia de listados y estudios de fauna en el municipio de Marmato.

### **Recurso hídrico**

Los programas de desarrollo del municipio relacionados con la gestión ambiental, actualmente están enfocados en restaurar y conservar los suelos de protección de las microcuencas abastecedoras de agua potable, como es el caso de la quebrada Cascabel. Algunos de los proyectos conocidos relacionados con el tema consiste el Proyecto de Mejoramiento de las condiciones de la Minería aurífera en el Municipio de Marmato Caldas, a través de obras de estabilización de taludes y reforestación de Microcuencas, convenio entre No. Convenio 051/2000 entre Minercol y CORPOCALDAS. A continuación se ilustran las áreas de protección establecidas para la quebrada Cascabel de acuerdo al EOT del municipio.

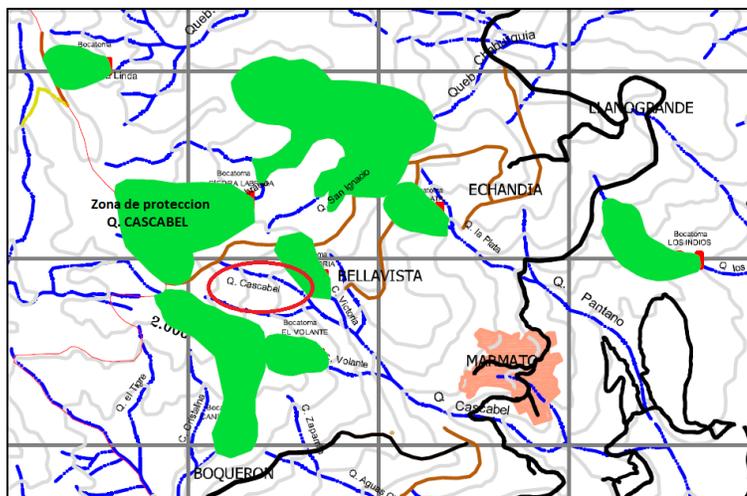


Gráfico No. 18. Áreas de Protección para Establecidas para la Quebrada Cascabel  
Fuente: EOT Marmato, 2010, modificado por el autor.

### Aspectos socio- económicos

La microcuenca Cascabel ha sufrido cambio considerable en los últimos años ya que la población estimada ha crecido significativamente motivada por las expectativas económicas de las actividades mineras.

#### Población

En cuanto a la diversidad étnica, se cuenta en la microcuenca una demarcada descendencia de afrodescendientes e indígena; influenciada en ambos casos por la actividad minera de la región. (Gómez, Albeiro; Cardona, Oscar; Ramirez, Elmer; 2011). En la zona urbana se contabilizan 1.250 habitantes según estadísticas del DANE.

## **Cultura**

La actividad minera arraigada desde hace más de 4 siglos, ha representado de manera significativa las incorrectas acciones de la población frente al uso y respeto por los recursos naturales.

## **Calidad de vida y bienestar**

Según el EOT 2010 y el DANE; el 80% de las viviendas de la zona urbana tradicional son de bahareque, el promedio de personas por hogar son 4, en la cabecera municipal 3,9 y en la zona rural 4; hasta la fecha, no se registra ni se evidencia déficit habitacional.

## **Convivencia**

Existe el comité de control social de los servicios públicos para la zona urbana de Marmato, zona ubicada dentro del área de influencia de la quebrada Cascabel. No se identifican programas de educación ambiental ni temas similares, dirigidos a la población en general.

## **Vías y Espacio público**

En el área urbana son escasos los suelos para espacio público. Las vías de tránsito son muy estrechas, la población urbana dentro del área de influencia del proyecto se concentra en 2 sectores: El Nuevo Marmato conocido como el Llano, sector tradicional del municipio de Marmato y la vereda Echandia.

## **Componente Infraestructura de servicios**

Los servicios públicos tienen problemas de calidad y de cobertura en relación con el servicio de acueducto y alcantarillado, según el EOT la cobertura es inferior al 60% en la zona urbana y en la zona rural es casi inexistente. No se realizan prácticas para el aprovechamiento de aguas lluvias a pesar de ser una región con problemas de abastecimiento de agua. No existe tratamiento de aguas residuales colectivo, sólo en algunos casos individuales en la zona rural.

- **Componente Institucional**

La autoridad ambiental que hace presencia en el área de estudio es CORPOCALDAS, su jurisdicción abarca los temas de ordenamiento de cuencas, regulación de vertimientos y control al uso del recurso hídrico con algunos instrumentos económicos como tasa retributiva y tasa por uso del agua. Entre los principales actores están la Administración Municipal, la Gobernación de Caldas, la Delegación Minera de Caldas, EMPOCALDAS y Cooperativas de Mineros.

- **Educación**

Según el diagnóstico realizado por el municipio de Marmato en el año 2.002, Las personas que habitan en el área de influencia de la microcuenca Cascabel, cuentan con 2 establecimientos escolares localizados en la parte alta y media que imparten educación primaria, para la educación secundaria los estudiantes tienen que desplazarse al sector El Arbolito en la Institución Educativa Marmato la cual tiene una educación con énfasis en

minería y joyería, los habitantes ubicados en la parte baja de la microcuenca, se desplazan al sector El Llano a La Institución Educativa El Llano.

La educación superior es impartida por el SENA en la escuela de minas ubicada en el sector El Llano, la cual también certifica los conocimientos varios por medio de cursos o certificados. Según la funcionaria funcionaria Gloria Estella Moreno, Secretaria de desarrollo económico ambiental y de servicios públicos del Municipio de Marmato, los jóvenes constantemente abandonan las clases para dedicarse a trabajar en las molinos.

- **Salud**

La población aledaña a la quebrada Cascabel solo cuenta con el centro de salud ubicado en la cabecera municipal, el cual tiene una capacidad máxima de 6 camas, no se cuenta con ningún puesto de salud en el área del proyecto.

Según los funcionarios del Hospital, Las enfermedades más reciente que se presentan en esta zona a personas de todas las edades son:

- Neumonía no especificada.
- Otitis media no especificada.
- Diarrea y gastroenteritis de presunto origen infeccioso.
- Infección viral no especificadas
- Anemia por deficiencia de hierro secundario a pérdida de sangre (crónica).

- **Servicios Públicos**

#### Acueducto

El servicio de acueducto, en el área de influencia de la Quebrada Cascabel, está dividido en 2 clases, una es el servicio que ofrece la compañía EMPOCALDAS y la otra forma de conducción de agua es mediante la toma de fuentes de agua ubicadas en los sectores más altos de la quebrada Cascabel. No se encontró evidencia de ninguna concesione de agua legalmente registradas por la autoridad ambiental CORPOCALDAS.

#### Alcantarillado

Es un factor preocupante, si se tiene en cuenta que las aguas residuales domésticas, son vertidas directamente a la fuente hídrica, generando contaminación y afectación a los sectores más bajos, alterando la calidad del agua, situación reflejada en posibles enfermedades intestinales. La comunidad en su gran mayoría le hace tratamiento al agua antes de consumirlo este en un gran porcentaje es hervida, dejando en bajas cifras el filtrado y el tratamiento con cloro.

#### Residuos sólidos ordinarios

En la microcuenca la recolección de residuos sólidos en la parte alta y en algunas veredas es inexistente dando como resultados botaderos de basuras los cuales están ubicados en distintos puntos, esto ha generado erosión, infertilidad y malos olores.

En las zonas aledañas a la cabecera municipal, la frecuencia de recolección es dos días a la semana, internamente el transporte utilizado es a lomo de mula y posteriormente, los residuos son llevados en volqueta hasta el relleno sanitario de la ciudad de Manizales.

### Energía

La red eléctrica en el área de influencia directa de la quebrada Cascabel, es suministrada por la CHEC Compañía Hidro-Eléctrica de Caldas, la cual presenta una subestación en el sector Jiménez.

## **ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA QUEBRADA CASCABEL**

Con el propósito de obtener la información necesaria, que permitiera caracterizar y evaluar la calidad del agua del área de estudio de la presente investigación, se utilizaron los resultados obtenidos en las estaciones E2, E3, los tributarios T2 y los tramos III del estudio Caracterización, Evaluación y Modelación de la Calidad del Agua. Quebradas Cascabel y Aguas Claras del Municipio de Marmato elaborado por CORPOCALDAS y la fundación SANEAR, en el año 2011. A continuación se describen la información utilizada:

Tabla 22: Estaciones y Tributario Utilizados del Estudio de SANEAR

ESTACIONES		COORDENADAS		ALTURA MSNM	DISTANCIA (Km)
		ESTE	NORTE		
Q. Cascabel antes de la desembocadura a la Q. Pantanos	E-2	8E+05	1096886	972	1.48
Q. Cascabel antes de la desembocadura a la Q. Aguas Claras	E-3	8E+05	1096151	813	2.61
TRIBUTARIO					DISTANCIA (Km)
Quebrada Pantanos	T-2	8E+05	1096900		1.50

Fuente: (CORPOCALDAS, FUNDACION SANEAR, 2.011)

Tabla 23: Tramo Definido para la Caracterización de usos Actuales de la Quebrada Cascabel.

TRAMO	DESCRIPCIÓN	OBJETIVO DE CALIDAD RESOLUCIÓN 239 (2007)	USO ACTUAL
III (Km 1 + 480 m hasta Km 2 + 609 m)	Desde la estación E-2 hasta la estación E-3, quebrada Cascabel antes de la descarga de la quebrada Aguas Claras.	Tramo 2. Uso estético	Transporte de aguas residuales plantas de beneficio de oro y aguas residuales domésticas

Fuente: CORPOCALDAS, FUNDACION SANEAR, 2011

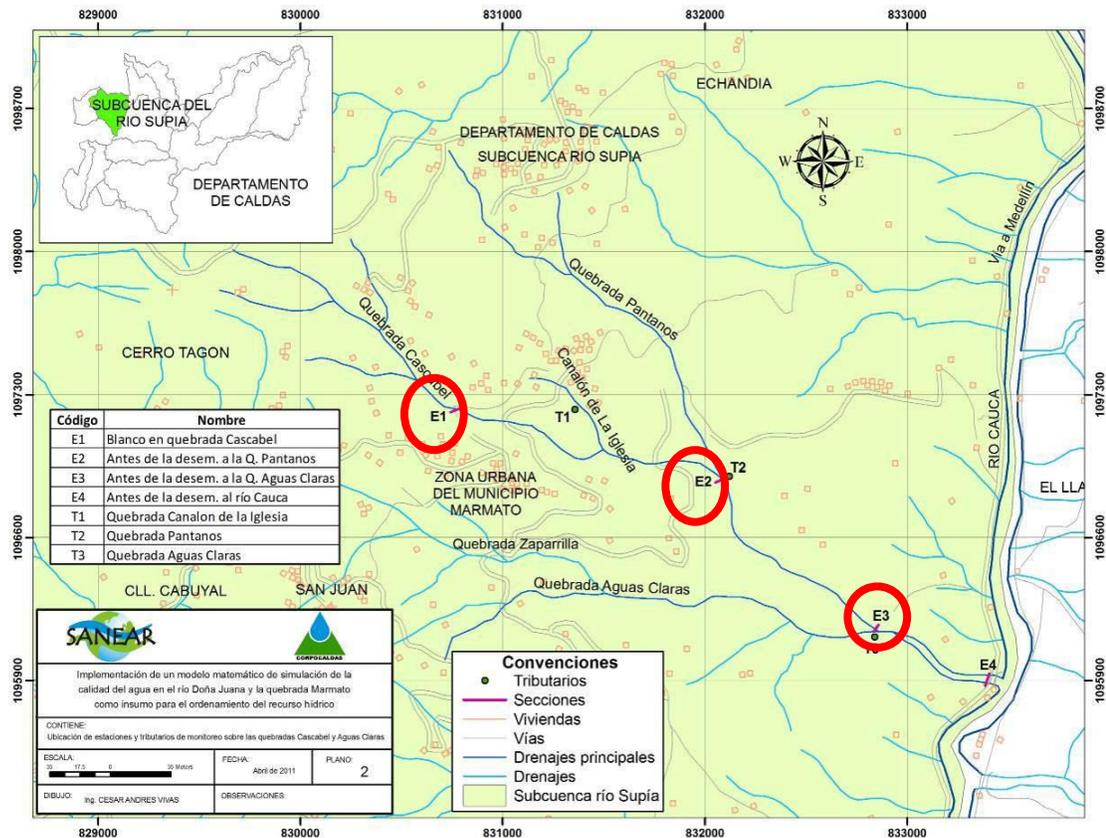


Gráfico No. 19. Ubicación de Estaciones y Tributarios Utilizados del Estudio de SANEAR

Fuente: (CORPOCALDAS, FUNDACION SANEAR, 2011)

Tercer Tramo: este tramo está comprendido entre la estación E-2 (K 1+480 m) y la estación E-3 (K 2+609 m) antes de la descarga de la quebrada Aguas Claras. En este tramo se presentan las descargas de aguas residuales domésticas y las descargas de las aguas residuales de las plantas de beneficio de oro, a través de la quebrada Pantanos. En este sector, la calidad del agua no podría tener algún uso posible y al compararlo con el Objetivo de Calidad del agua establecido en la Resolución 239 de 2007, se observa que no cumple con los parámetros de Oxígeno Disuelto, SST y Turbiedad, debido principalmente a los residuos sólidos vertidos por la actividad de beneficio de oro.

De acuerdo a esta información, los resultados obtenidos para cada uno de los parámetros fisicoquímicos y biológicos capaces de medir la Calidad del agua de la quebrada Cascabel, se describen a continuación.

Los resultados específicos para el área de estudio de esta investigación y se comparan con valores típicos para aguas superficiales establecidos por la UNESCO, Resolución 2115 de 2007 y la Resolución 239 de 2007 de CORPOCALDAS sobre los objetivos de calidad de la fuente.

Tabla 24: Valores Típicos para Aguas Superficiales Establecidos por la UNESCO.  
Parte 1

ESTACIONES		COORDENADAS		pH (UNID)	TEMP. AGUA (°C)	CONDUC. (µs/cm)	O.D(mg/L)	DQO(Total)(mg/L)	DBO5(Total)(mg/L)
		ESTE	NORTE						
Q. Cascabel antes de la desembocadura a la Q. Pantanos	E-2	8E+05	1096886	6-8	0- 30	10 - 1000	Mayor a 5	Menor a 20	Menor a 2
Q. Cascabel antes de la desembocadura a la Q. Aguas Claras	E-3	8E+05	1096151						
TRIBUTARIO		ESTE	NORTE						
Quebrada Pantanos	T-2	8E+05	1096900						

Fuente: (CORPOCALDAS, FUNDACION SANEAR, 2.011)

Tabla 25: Valores Típicos para Aguas Superficiales Establecidos por la UNESCO.  
Parte 2

ESTACIONES		COORDENADAS		Coliformes totales (UFC/100 ml)	E. Coli (UFC/100 ml)	Nitritos NO <sub>2</sub> (ug/L )	Nitratos NO <sub>3</sub> (mg/L)	N.Total(m g/L)	Nitrogeno Amoniacal (mg/L)
		ESTE	NORTE						
Q. Cascabel antes de la desembocadura a la Q. Pantanos	E-2	8E+05	1096886	0	0 para consumo humano	Menor a 1	Menor a 0,1	Rango entre 0,18 y 3	Menor a 0,1
Q. Cascabel antes de la desembocadura a la Q. Aguas Claras	E-3	8E+05	1096151						
<b>TRIBUTARIO</b>		<b>ESTE</b>	<b>NORTE</b>						
Quebrada Pantanos	T-2	8E+05	1096900						

Fuente: (CORPOCALDAS, FUNDACION SANEAR, 2.011)

Tabla 26: Valores Típicos para Aguas Superficiales Establecidos por la UNESCO.  
Parte 3

ESTACIONES		COORDENADAS		Fosforo Total (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Color (Upt-Co)	Cloruros (mg/L)	Turbidez( NTU)	Grasas (mg/L)
		ESTE	NORTE						
Q. Cascabel antes de la desembocadura a la Q. Pantanos	E-2	8E+05	1096886	Rango entre 0,005 y 0,020	Rango entre 2 y 80	Menor a 20	Menor a 10	Menores a 1000	1,5
Q. Cascabel antes de la desembocadura a la Q. Aguas Claras	E-3	8E+05	1096151						
<b>TRIBUTARIO</b>		<b>ESTE</b>	<b>NORTE</b>						
Quebrada Pantanos	T-2	8E+05	1096900						

Fuente: (CORPOCALDAS, FUNDACION SANEAR, 2.011)

Tabla 27: Valores Típicos para Aguas Superficiales Establecidos por la UNESCO  
Parte 4

ESTACIONES		COORDENADAS		Mercurio (ug/L)	Cianuro (mg/L)	SST (mg/L)	Alcalinidad (mg/L)	Dureza (mg/L)
		ESTE	NORTE					
Q. Cascabel antes de la desembocadura a la Q. Pantanos	E-2	8E+05	1096886	Menor a 0,5	Maximo 0,07	Menor o igual a 500	Rango entre 100 y 250	Rango entre 0 y 150
Q. Cascabel antes de la desembocadura a la Q. Aguas Claras	E-3	8E+05	1096151					
<b>TRIBUTARIO</b>		<b>ESTE</b>	<b>NORTE</b>					
Quebrada Pantanos	T-2	8E+05	1096900					

Fuente: (CORPOCALDAS, FUNDACION SANEAR, 2.011)

Los parámetros coliformes totales, sólidos suspendidos totales y color, se compararon teniendo en cuenta, los objetivos de calidad de la fuente, establecidos en la Resolución No. 239 de mayo 24 de 2007, emitida por la Corporación Autónoma Regional de Caldas, CORPOCALDAS. El parámetro Grasas, se valoró teniendo en cuenta legislación internacional, debido a que no fue posible encontrar los valores típicos para corrientes superficiales en la legislación colombiana, la bibliografía utilizada fue la siguiente: CanadianWater Quality Guidelines. RecreationalWaterQuality and Aesthetics (April 1992).

A continuación se describen los resultados específicos, de los parámetros fisicoquímicos evaluados en el estudio Caracterización, Evaluación y Modelación de la Calidad del Agua de las Quebradas Cascabel y Aguas Claras del Municipio de Marmato, elaborado por CORPOCALDAS y la fundación SANEAR, en el año 2011, para el área de influencia de la presente investigación.

Tabla 28: Resultados de cada uno de los parámetros determinantes de la calidad del agua de la Quebrada Cascabel según el estudio de SANEAR y CORPOCALDAS. Parte 1.

ESTACIONES		COORDENADAS		CAUDAL PROMEDIO (M3/S)	Ph (UNID)	TEMP. AGUA (°C)	CONDUC.(μ s/cm)	O.D(mg/L)
		ESTE	NORTE					
Q. Cascabel antes de la Desembocadura a la Q. Pantanos	E-2	8E+05	1096886	0.105	6,51	25,6	1170	0,0
Q. Cascabel antes de la Desembocadura a la Q. Aguas Claras	E-3	8E+05	1096151	0.217	7,15	25,7	1970	0,0
TRIBUTARIO		ESTE	NORTE					
Quebrada Pantanos	T-2	8E+05	1096900	0,11	6,51	25,0	2420	0,00

Fuente: (CORPOCALDAS, FUNDACION SANEAR, 2.011)

Tabla 29: Resultados de cada uno de los parámetros determinantes de la calidad del agua de la Quebrada Cascabel según el estudio de SANEAR y CORPOCALDAS. Parte 2

ESTACIONES		COORDENADAS		DQO(Total) (mg/L)	DQO(Filtrada)(mg/L)	DBO5(Total) (mg/L)	DBO5 (Filtrada) (mg/L)	Coliformes totales (UFC/100 ml)	E. Coli (UFC/100 ml)
		ESTE	NORTE						
Q. Cascabel antes de la desembocadura a la Q. Pantanos	E-2	8E+05	1096886	1860.0	80,00	8,00	4,00	1,41,E+02	0,00,E+00
Q. Cascabel antes de la desembocadura a la Q. Aguas Claras	E-3	8E+05	1096151	620,00	75,00	9,00	3,00	1,79,E+03	1,00,E+00
TRIBUTARIO		ESTE	NORTE						
Quebrada Pantanos	T-2	8E+05	1096900	618	75,00	8	4	2,99,E+02	0,00,E+00

Fuente: (CORPOCALDAS, FUNDACION SANEAR, 2.011)

Tabla 30: Resultados de cada uno de los parámetros determinantes de la calidad del agua de la Quebrada Cascabel según el estudio de SANEAR y CORPOCALDAS. Parte 3

ESTACIONES		COORDENADAS		Nitritos NO2(ug/L)	Nitratos NO3 (mg/L)	N.Total(mg/ L)	NitrogenoA moniacal (mg/L)	Fosforo Total (mg/L)	Fosforo Soluble (mg/L)
		ESTE	NORTE						
Q. Cascabel antes de la desembocadura a la Q. Pantanos	E-2	8E+05	1096886	0,237	3,3	11,76	1,96	7,22	1,53
Q. Cascabel antes de la desembocadura a la Q. Aguas Claras	E-3	8E+05	1096151	0,33	11,20	14,00	4,20	7,35	2,18
TRIBUTARIO		ESTE	NORTE						
Quebrada Pantanos	T-2	8E+05	1096900	0.575	11.80	8.46	3.6	10.82	1.16

Fuente: (CORPOCALDAS, FUNDACION SANEAR, 2.011)

Tabla 31: Resultados de cada uno de los parámetros determinantes de la calidad del agua de la quebrada Cascabel según el estudio de SANEAR y CORPOCALDAS. Parte 4

ESTACIONES		COORDENADAS		Mercurio (ug/L)	Cianuro (mg/L)	SST (mg/L)	ST (mg/L)	Alcalinidad (mg/L)	Dureza (mg/L)
		ESTE	NORTE						
Q. Cascabel antes de la desembocadura a la Q. Pantanos	E-2	8E+05	1096886	3,96	2,89	10546	14057	250,0	900
Q. Cascabel antes de la desembocadura a la Q. Aguas Claras	E-3	8E+05	1096151	2,54	3,26	13954	17773	165	700
TRIBUTARIO		ESTE	NORTE						
Quebrada Pantanos	T-2	8E+05	1096900	3,26	1,88	34.660	35006	190	1700

Fuente: (CORPOCALDAS, FUNDACION SANEAR, 2.011)

Tabla 32: Resultados de cada uno de los parámetros determinantes de la calidad del agua de la Quebrada Cascabel según el estudio de SANEAR y CORPOCALDAS. Parte 5

ESTACIONES		COORDENADAS		Sulfatos (mg/L)	Color (Upt-Co)	Cloruros (mg/L)	Turbidez(N TU)	Grasas (mg/L)
		ESTE	NORTE					
Q. Cascabel antes de la desembocadura a la Q. Pantanos	E-2	8E+05	1096886	435	8685	78,34	1375	34,5
Q. Cascabel antes de la desembocadura a la Q. Aguas Claras	E-3	8E+05	1096151	704	12195	51,84	2375	9,0
TRIBUTARIO		ESTE	NORTE					
Quebrada Pantanos	T-2	8E+05	1096900	742,5	14680	64,5	2250	42

Fuente: (CORPOCALDAS, FUNDACION SANEAR, 2.011)

## INDICES DE CALIDAD DE AGUA ICA Y DE CONTAMINACION ICO

### Indicé de calidad de agua ICA para la quebrada Cascabel.

A continuación se muestra el índice de calidad ICA del área de influencia de la presente investigación.

Tabla 33: Índice de Calidad de Agua ICA para la Quebrada Cascabel.

ESTACIONES	VALOR ICA	CLASIFICACION ICA
Q. Cascabel antes de la Descarga de la Q. Pantanos (E2)	24,7	Mala
Q. Cascabel antes de la Descarga de la Q. Aguas Claras (E3)	24,4	Mala

Fuente: CORPOCALDAS, FUNDACION SANEAR, 2011

Con relación a estos resultados, el valor de clasificación ICA, para la quebrada cascabel es **MALA**.

### **Índices de calidad de contaminación ICO para la quebrada Cascabel.**

En la siguiente tabla, se aprecian los valores obtenidos de los índices de contaminación ICO obtenidos del estudio de SANEAR.

ICOMI: Índice de contaminación por mineralización

ICOMO: Índice de contaminación por materia orgánica

ICOSUS: Índice de contaminación por sólidos suspendidos.

Tabla 34: **Índices de Contaminación ICO**

ESTACIONES	ICOMI		ICOMO		ICOSUS	
	VALOR	CLASIFICACION	VALOR	CLASIFICACION	VALOR	CLASIFICACION
Q. Cascabel antes de la Descarga de la Q. Pantanos (E2)	1,00	Muy alta contaminación	0,53	Mediana contaminación	1	Muy alta contaminación
Q. Cascabel antes de la Descarga de la Q. Aguas Claras (E3)	0,86	Muy alta contaminación	0,67	Alta contaminación	1	Muy alta contaminación

Fuente: CORPOCALDAS, FUNDACION SANEAR, 2011

De acuerdo a los resultados obtenidos en los índices de contaminación ICO, se puede concluir que el índice de Contaminación por Mineralización (ICOMI) presenta valores de altas concentraciones, ocasionados por las descargas de las plantas de beneficio de ocasionando el incremento del pH gracias a la adición de caly otras sales aplicadas por los mineros para disminuir el efecto toxico del cianuro antes de ser descarga a la quebrada Cascabel, esta práctica no solo incrementa el pH sino también la Conductividad, la Alcalinidad y la Dureza en el agua.

El Índice por Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO), muestra que el comportamiento de esta corriente pasa de una clasificación de media Contaminación a Alta Contaminación, asociado a la descarga de aguas residuales domésticas sin tratar a lo largo de la corriente.

El Índice por Contaminación por Sólidos Suspendidos en la corriente evaluada conformada para la quebrada Cascabel, muestra que la concentración de los Sólidos Suspendidos es muy alta, Este efecto es producido por la actividad minera en la zona, donde constantemente se hacen vertimientos de lodos en las plantas de beneficio de oro.

### **COMPARACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA QUEBRADAS CASCABEL CON LOS OBJETIVOS DE CALIDAD DE CORPOCALDAS SEGÚN LA RESOLUCIÓN NO. 239 DEL 24 DE MAYO**

En el año 2011 la Corporación Autónoma Regional de Caldas CORPOCALDAS Y la fundación SANEAR, realizaron el estudio llamado “Caracterización, evaluación y modelación de la calidad del agua de las quebradas Cascabel y aguas claras municipio Marmato Caldas”, en este orden de ideas y como se muestra en la ilustración anterior, para realizar esta actividad, la quebrada Cascabel fue dividida en cuatro tramos, desde su nacimiento hasta su desembocadura para la toma de las muestras, además se tuvo en cuenta la resolución No. 239 del 24 de mayo de 2007, Por medio de la cual se establecen los criterios y los objetivos de calidad del recurso hídrico para varios municipios del departamento de Caldas. La siguiente tabla establece los objetivos de calidad para cada una de los sistemas hídricos presentes en el municipio de Marmato, según la ubicación del área de influencia de la presente investigación, se tomara como referencia el tramo II.

Tabla 35: Objetivos de Calidad del Agua Definidos para las Quebradas Zaparrilla y Aguas Claras.

TRAMO	UBICACION	USOS DEL RECURSO HIDRICO		OBJETIVO DE CALIDAD	
		USOS ACTUALES	USOS POTENCIALES	CORTO PLAZO (5 años)	LARGO PLAZO (20 años)
1 (k0 + 0m hasta k1 + 109 m)	Desde el nacimiento de la quebrada Zaparrilla hasta la estación Marmato E1	Uso agrícola no restringido	Uso para la preservación de flora y fauna, uso agrícola restringido y no restringido y uso pecuario	UAR	UAR
2 (k1 + 109 m hasta k3 + 877 m)	Desde la estación Marmato E1 hasta la estación Marmato E2 a 50 metros de la desembocadura al río Cauca	Uso agrícola no restringido y uso pecuario	Uso para la preservación de flora y fauna, uso agrícola restringido y no restringido y uso pecuario	UE	UE

Fuente: CORPOCALDAS, Resolución No. 239 de 2007. UAR: Uso Agrícola Restringido, UE: Uso Estético.

Tabla 36: Relación del Uso Actual con los Definidos como Objetivos de Calidad para la Quebrada Cascabel

TRAMO	DESCRIPCIÓN	OBJETIVO DE CALIDAD RESOLUCIÓN 239 (2007)	USO ACTUAL
III (Km 1 + 480 m hasta Km 2 + 609 m)	Desde la estación E-2 hasta la estación E-3, quebrada Cascabel antes de la descarga de la quebrada Aguas Claras	Tramo 2. Uso estético	Transporte de aguas residuales plantas de beneficio de oro y aguas residuales domésticas

Fuente: (CORPOCALDAS, FUNDACION SANEAR, 2.011)

Con relación a la tabla anterior, se puede determinar la existencia de conflictos de uso de suelo en esta zona, según los objetivos de calidad, está quebrada tiene como consideración uso estético, sin embargo actualmente presenta un uso para la descarga y transporte de aguas residuales de plantas de beneficio de oro y aguas residuales domésticas.

En la siguiente tabla se realiza una comparación de los parámetros para el tramo III con los objetivos de calidad de la corporación autónoma regional CORPOCALDAS, donde se relacionaron los parámetros identificados en la presente resolución que sus resultados se encuentran por encima de los niveles típicos para aguas superficiales.

**Tabla 37: Comparación de los Parámetros Evaluados con Objetivos de Calidad de la Quebrada Cascabel.**

III (Km 1+480 m hasta Km 2+609 m)	Desde estación E-2 hasta la estación E-3, quebrada Cascabel antes de la descarga de la quebrada Aguas Claras.	pH (unidades)	7.15	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0
		OD (mg/l)	0	> 2	> 2
		DBO5 (mg/l)	9	< 30	< 30
		SST (mg/l)	13954	< 90	< 90
		Turbiedad (UNT)	2375	< 40	< 40
		Material flotante y espumas	Ausente	Ausente	Ausente
		Sustancias que produzcan olor	Ausente	Ausente	Ausente
		Material flotante y espumas	Ausente	Ausente	Ausente
		Sustancias que produzcan olor	Ausente	Ausente	Ausente

Fuente: CORPOCALDAS, FUNDACION SANEAR, 2011

Dado que en la tabla anterior no se relaciona la totalidad de los parámetros evaluados para el área de estudio, a continuación se compara cada uno de los parámetros que determinan la calidad del agua de la quebrada Cascabel con los valores típicos para corrientes superficiales propuestos con anterioridad en el presente documento.

Tabla 38: Evaluación de Parámetros Fisicoquímicos Vs Valores Típicos Admisibles para Corrientes Superficiales

PARAMETROS FISICOQUIMICOS Y MICROBIOLÓGICOS				VALORES TÍPICOS	REGLAMENTACION
PARAMETRO	VALOR ACTUAL E2	VALOR ACTUAL E3	TRIBUTARIO QUEBRADA PANTANOS		
pH (Unidades)	6,51	7,15	6,51	6-8	UNESCO
Temperatura del agua (°C)	25,6	25,7	25,0	0-30	UNESCO
Conductividad (µs/cm)	1170	1970	2420	10-1000	UNESCO
Oxígeno disuelto (mg/L)	0	0	0	>5	UNESCO
DQO (Total)(mg/L)	1860,0	620,00	618	<20	UNESCO
DBO5 (Total)(mg/L)	8,00	9,00	8,00	<2	UNESCO
Coliformes totales (UFC/100 ml)	1,41,E+02	1,79,E+03	2,99,E+02	0	Objetivos de calidad de la fuente. Res. 239 de 2007. CORPOCALDAS, agua para uso doméstico con desinfección
E. Coli (UFC/100 ml)	0,00,E+00	1,00,E+00	0,00,E+00	0	Resolución 2115 de 2007 - Agua para consumo humano
Nitritos NO2(ug/L)	0,237	0,33	0,575	<1	UNESCO
Nitratos NO3 (mg/L)	3,3	11,20	11,80	<0,1	UNESCO
Nitrogeno Total (mg/L)	11,76	14,00	8,46	0,18 - 3	UNESCO
Nitrogeno Amoniacal (mg/L)	1,96	4,20	3,6	<0,1	UNESCO
Fosforo Total (mg/L)	7,22	7,35	10,82	0,005 - 0,020	UNESCO
Mercurio (ug/L)	3,96	2,54	3,26	<0,5	UNESCO
Cianuro(mg/L)	2,89	3,26	1,88	Máximo 0,07	UNESCO
SST (mg/L)	10546	13954	34660	Menor o igual a 500	Objetivos de calidad de la fuente. Res. 239 de 2007. CORPOCALDAS, agua para uso doméstico con desinfección
Alcalinidad(mg/L)	250,0	165,0	190,0	100-250	UNESCO
Dureza(mg/L)	900	700	1700	0-150	UNESCO
Sulfatos (mg/L)	435	704	742,5	2 - 80	UNESCO
Color (Upt-Co)	8685	12195	14680	<20	Objetivos de calidad de la fuente. Res. 239 de 2007. CORPOCALDAS, agua para uso doméstico con desinfección
Cloruros (mg/L)	78,34	51,84	64,5	<10	UNESCO
Turbidez(NTU)	1375	2375	2250	<1000	UNESCO
Grasas (mg/L)	34,5	9,0	42	1,5	UNESCO

Fuente: Autor

De acuerdo a la tabla anterior los parámetros: Conductividad, oxígeno disuelto, DQO, DBO<sub>5</sub>, coliformes totales, nitratos, nitrógeno total, nitrógeno amoniacal, fosforo total, mercurio, cianuro, sólidos suspendidos totales, dureza, color, cloruros, turbidez y grasas, en las estaciones No. 2, No. 3 y el vertimiento de la quebrada pantanos. Los valores para la E-Colien la estación E3 evidencian que este parámetro se encuentra por encima de los límites establecidos para aguas superficiales.

### **IDENTIFICACION Y UBICACIÓN DE LOS MOLINOS EN EL AREA DE INFLUENCIA DIRECTA SOBRE LA QUEBRADA CASCABEL**

Con la finalidad de identificar el grado de afectación ambiental que las actividades realizadas por las plantas de beneficio de oro artesanal ocasionan a la quebrada cascabel, se realizó la visita a 20 molinos ubicados sobre la vertiente de esta quebrada, donde se aplicó como instrumento metodológico una lista de chequeo. Ver anexo 1 Listas de chequeo diligenciada.

A partir de esta información y mediante la observación y conversación con cada una de las personas que atendió la visita en los molinos, se logró recolectar los insumos necesarios para describir cada uno de las etapas del proceso productivo de estas plantas de beneficio. De igual manera esta información permitió la identificación de los aspectos ambientales impactos por cada etapa de las actividades realizadas en estos molinos.



Gráfico No. 20. **Entrevistas**  
Fuente: Autor



Gráfico No. 21. Aplicación lista de chequeo  
Fuente: Autor

En la siguiente tabla, se precisa la información geográfica, de cada uno de los molinos visitados con su respectivo nombre y propietario. La información condensada de los aspectos evaluados en cada una de las visitas se evidencia en el anexo 1 Listas de chequeo diligenciadas.

Tabla 39: Identificación y Ubicación de los Molinos Visitados

<b>NOMBRE DEL MOLINO</b>	<b>NOMBRE DEL PROPIETARIO</b>	<b>VEREDA O SECTOR</b>	<b>COORDENADAS X</b>	<b>COORDENADAS Y</b>
Arbolito - San Antonio	Jose Farid Amar Osorio	Arbolito y La Playa	830979	1098086
Picapedra	Luís Fernando Garcia García y otro	El Llano	830882	1096569
El Manzano	María Gladys González	El Volante	830927	1099746
Patacón	Fabio Nel Rangel Arcila	BellaVista	830300	1096592
El Guayabo	Manuel Noe Sanchez Marulanda	El Volante	830985	1097333
Giraldo	Luis José Gutierrez	El Volante	831024	1097365
Loaiza	Luís Ernesto Sanchez Canaval	Echandia	831512	1098664
El Doscientos	Raúl Gutierrez	Casco Urbano	831754	1095008
Villonza	Uberney García Tabares	Echandia	831313	1097711
El Mango	Fernando Canaval Sánchez	Echandia	830893	1098242
La Plata	José Ruben Tapasco Díaz	Echandia	830870	1098239
El Papayo	Raúl Ancizar Guevara Arango	Sector Cien Pesos	831198	1097892
El Madroño	Carlos Alberto García Taborda	Sector El Atrio	831355	1097337
La Esperanza	José Guillermo Ortiz Olarte	Antigua Plaza Marmato	831095	1097388
La Milagrosa y El Guayabo	José Edilson Henao Bernal	Jimenez Alto	830997	1097347
La Cidreira	Obed Rolando Melan Morales y Otro	Antigua Plaza Marmato	831143	1097333
Tulipan	Omar Said Amar Osorio	El Arbolito	831279	1097524
Cascabel II	Freddy Humberto Gutierrez Hanao	Cascabel	831310	1097175
La Hermita	Jhon Jairo Montes Henao	El Llano	831741	1096941
El Naranja - El Turpial	Maria Esnery Rojas Castro	Echandia	830926	1098282

Fuente: Autor

Así mismo se logró identificar estado de legalidad de cada uno de estas plantas de beneficio, esta información es un insumo fundamental, dado que se facilita la identificación, planificación y seguimiento de medidas de control, prevención, mitigación y compensación que la corporación autónoma CORPOCALDAS y las entidades públicas involucradas en el tema puedan hacer para mejorar la calidad del agua de la quebrada cascabel.

Tabla 40: Situación Legal de Cada uno de los Molinos Visitados.

USUARIO	PREDIO	VEREDA	SITUACION LEGAL
JOSE FARID AMAR OSORIO	MOLINOS ARBOLITO SAN ANTONIO	ARBOLITO Y LA PLAYA	CON TRAMITE CONCESION DE AGUAS Y PERMISO DE VERTIMIENTOS
LUIS FERNANDO GARCIA GARCIA Y OTRO	MOLINO PICAPIEDRA	EL LLANO	RESOLUCION DE CONCESION DE AGUAS VENCIDA EL MES DE ABRIL DE 2014
FABIO NEL RANGEL ARCILA	MOLINO PATACON	BELLA VISTA	RESOLUCION DE CONCESION DE AGUAS VENCIDA EL MES DE ABRIL DE 2009
RAFAEL LEONIDAS VELASQUEZ GARCIA Y OTRO	MOLINO PICAPIEDRA	EL LLANO	CON TRAMITE CONCESION DE AGUAS Y PERMISO DE VERTIMIENTOS
MANUEL NOEL SANCHEZ MARULANDA	MOLINO EL GUAYABO	ECHANDIA	CON TRAMITE CONCESION DE AGUAS Y PERMISO DE VERTIMIENTOS
LUIS ERNESTO SANCHEZ CANAVAL	MOLINO LOAIZA	ECHANDIA	CON TRAMITE CONCESION DE AGUAS Y PERMISO DE VERTIMIENTOS
RAUL GUTIERREZ	MOLINO EL DOSCIENTOS	CASCO URBANO	CON TRAMITE CONCESION DE AGUAS Y PERMISO DE VERTIMIENTOS
MARIA GLADYS GONZALEZ	MOLINO EL MANZANO	BELLAVISTA	CON TRAMITE CONCESION DE AGUAS Y PERMISO DE VERTIMIENTOS
UBERNEY GARCIA TABARES	MOLINO VILLONZA	ECHANDIA	CON TRAMITE CONCESION DE AGUAS Y PERMISO DE VERTIMIENTOS
FERNANDO CANAVAL SANCHEZ	MOLINO EL MANGO	ECHANDIA	CON TRAMITE CONCESION DE AGUAS Y PERMISO DE VERTIMIENTOS
JOSE RUBEN TAPASCO DIAZ	MOLINO LA PLATA	ECHANDIA	CON TRAMITE CONCESION DE AGUAS Y PERMISO DE VERTIMIENTOS
RAUL ANCIZAR GUEVARA ARANGO	MOLINO EL PAPAYO	SECTOR CIEN PESOS	CON TRAMITE CONCESION DE AGUAS Y PERMISO DE VERTIMIENTOS
CARLOS ALBERTO GARCIA TABORDA	MOLINO EL MADROÑO	SECTOR EL ATRIO	CON TRAMITE CONCESION DE AGUAS Y PERMISO DE VERTIMIENTOS
JOSE GUILLERMO ORTIZ OLARTE	MOLINO LA ESPERANZA	ANTIGUA PLAZA MARMATO	CON TRAMITE CONCESION DE AGUAS Y PERMISO DE VERTIMIENTOS
JOSE EDILSON HENAO BERNAL	MOLINO LA MILAGROSA Y EL GUAYABO	JIMENEZ ALTO	CON TRAMITE CONCESION DE AGUAS Y PERMISO DE VERTIMIENTOS
OBED ROLANDO MELAN MORALES Y OTRO	MOLINO LA CIDRERA	ANTIGUA PLAZA	CON TRAMITE CONCESION DE AGUAS Y PERMISO DE VERTIMIENTOS
OMAR SAID AMAR OSORIO	MOLINO TULIPAN	BARRIO EL ARBOLITO	CON TRAMITE CONCESION DE AGUAS Y PERMISO DE VERTIMIENTOS
FREDY HUMBERTO GUTIERREZ HENAO	MOLINO CASCABEL II	CASCABEL	CON TRAMITE CONCESION DE AGUAS Y PERMISO DE VERTIMIENTOS
JHON JAIRO MONTES HENAO	MOLINO LA HERMITA	EL LLANO	CON TRAMITE CONCESION DE AGUAS Y PERMISO DE VERTIMIENTOS
MARIA ESNERY ROJAS CASTRO	MOLINO EL NARANJO- EL TURPIAL	ECHANDIA	CON TRAMITE CONCESION DE AGUAS Y PERMISO DE VERTIMIENTOS
LUIS JOSE GUTIERREZ	MOLINO GIRALDO	EL VOLANTE	CON TRAMITE CONCESION DE AGUAS Y PERMISO DE VERTIMIENTOS

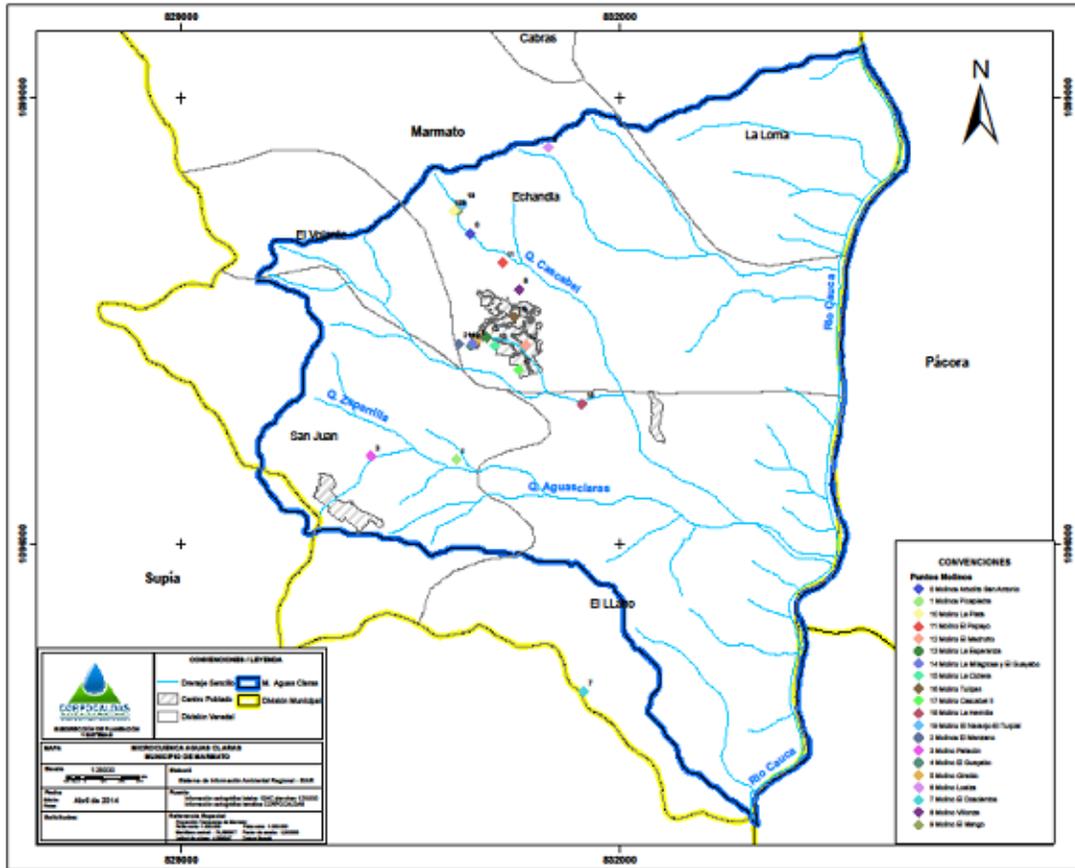
Fuente: CORPOCALDAS, 2014

El permiso de vertimientos y la Concesión de aguas superficiales de uso público, que deben tener los molinos para su operación, son tramitados por la Corporación Autónoma Regional de Caldas, CORPOCALDAS, estos dos derechos ambientales, son formalizados en un mismo expediente y otorgados mediante una sola resolución.

En su gran mayoría, estos derechos ambientales, se encuentran en la etapa de trámite; debido que no han presentado todos los requisitos anteriores a su otorgamiento, encontrándose que su mayor dificultad, de acuerdo al Decreto 3930, ha sido la caracterización físico-química del vertimiento.

A continuación realiza la ubicación geográfica de las plantas de beneficio visitadas, es importante aclarar que algunas de las plantas no se encuentran en la vertiente de la quebrada cascabel, la razón con por la que fueron visitadas, consistió en comparar las actividades en estos lugares a fin de tener mayores herramientas para la identificación y evaluación de impactos ocasionados a la quebradas Cascabel. El presente plano se encuentra en el anexo 2 para mayor detalle de la información.

Gráfico No. 22. Ubicación Geográfica de las Plantas de Beneficio Visitadas.



Fuente: CORPOCALDAS, 2014

## DESCRIPCION DEL PROCESO DE EXTRACCION Y TRANSFORMACION DEL ORO EN EL MUNICIPIO DE MARMATO

De acuerdo a la información obtenida y las observaciones en los molinos, a continuación se describe el proceso de extracción y transformación del oro en el municipio de Marmato, su enfoque sistémico se aprecia en el Grafico N° 23.

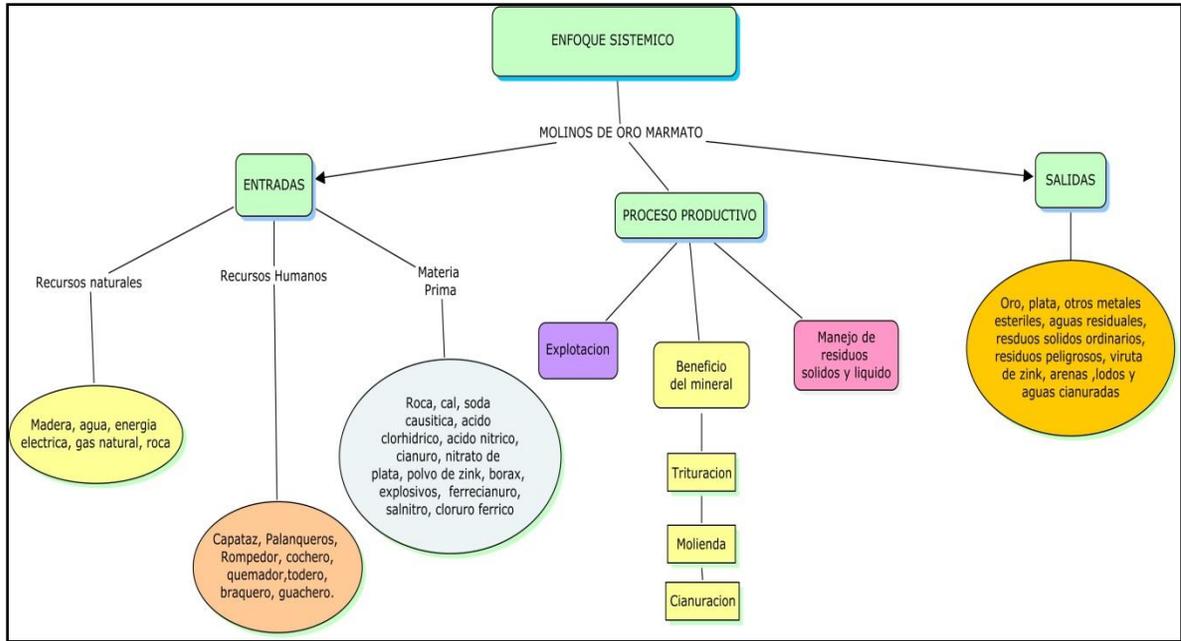


Gráfico No. 23. Enfoque Sistémico de Molinos de Marmato

Fuente: Autor

### Explotación

El sistema de explotación del mineral, en el municipio de Marmato es subterráneo, por ser minería de filón, operación realizada de forma manual, empleando taladros, martillos y barras; las voladuras, para las aperturas de los sitios de explotación se realizan utilizando explosivos.

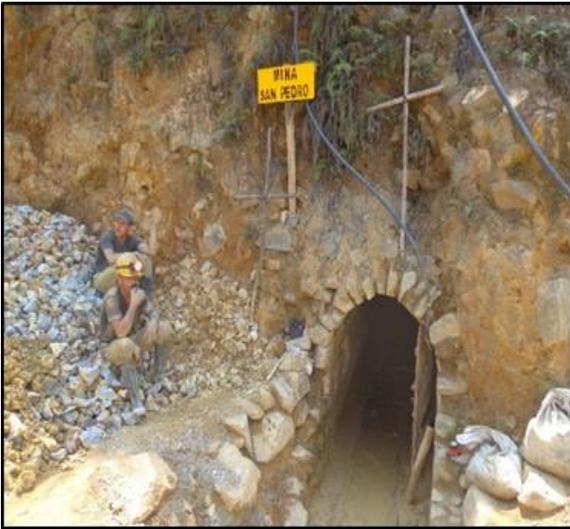


Gráfico No. 24. Sistema de Explotación Subterráneo y Minería de Filón  
Fuente: Autor

El material dentro de las minas, es transportado en vagones o carretas hasta la boca mina, empujados por hombres, luego para ser llevado a los molinos, se transporta en cable aéreo, el cual funciona por gravedad, volquetas o a lomo de mula.



Gráfico No. 25. Transporte del Mineral por Vagones y Cable Aéreo

Fuente: Autor

### **Beneficio del mineral**

Una vez el mineral es transportado mediante cable aéreo al molino, se inicia el proceso de beneficio del mineral, iniciando con la trituración de la roca.

- **Trituración**

La roca es depositada en una tolva, éstas llegan con un diámetro que oscila entre 3 y 4 pulgadas de diámetro, pasa luego a una trituradora, la cual es generalmente tipo quijada, cuya función principal es reducir el diámetro de la rocas, hasta 1 o ½ pulgada.



Gráfico No. 26. **Trituradora**

Fuente: Autor

- Molienda

Una vez la roca es triturada, este material pasa al proceso de molienda, el molino utilizado es generalmente el llamado “molino de bolas”, proceso realizado con el fin de triturar a tamaños micra, es decir, obtener material más fino, posteriormente, a través de mallas, se clasifica el material más arenoso, el cual es llevado a una poseta, para luego volver a pasarlo al molino, mediante recirculación, con el fin de obtener material finamente.

Las bolas, que realizan el proceso de molido, tienen un diámetro entre 3 y 4 pulgadas.



Gráfico No. 27. **Molino**



Gráfico No. 28. **Bolas**



Gráfico No. 29. **Mallas**

Fuente: Autor

Inmediatamente la arenilla finamente triturada, pasa a la mesa concentradora o mesa wilfley, cuya función es la clasificación del material pesado (es decir, el oro) del material liviano, el material pesado lo dispone hacia arriba y el liviano a la cola de la mesa.



Gráfico No. 30. **Mesa Concentradora o Mesa Wilfley**  
Fuente: Autor

Una vez se obtienen las arenas livianas, estas son dispuestas en unos cilindros cerrados, llamados remoladores, los cuales utilizan bolas de tamaño de 1 ½ y 2 pulgadas de diametro, proceso realizado con el fin de molerlas mas finamente y volverlas a pasar a la maquina concentradora.



Gráfico No. 31. **Cilindro Remolador**

Fuente: Autor

- **Cianuración**

El mineral que no es posible extraerlo mediante métodos físicos, se extrae a través de un proceso químico denominado cianuración, tomando como punto de partida un lavado de arenas, debido que estas contienen gran cantidad de sales y oxidos, llevandolas a una tina de agitación, en la cual se aplica agua limpia, dejandola por un periodo de tiempo entre 2 y 3 horas, con el fin que decanten; al mismo tiempo se agregan las siguientes sustancias: Soda caustica, cuya función es la recopilación de sales y cal para determinar el pH; acido clorhidrico, acido nitrico, usados para disociar sales, una vez estas sean eliminadas y se neutralice el pH del agua, se realiza la cianuración.



Gráfico No. 32. Cianuración  
Fuente: Autor



Gráfico No. 33. Sustancias Químicas Utilizadas  
Fuente: Autor



Gráfico No. 34. **Preparación de Soluciones**

Fuente: Autor

La cianuración, hace que el metal (oro) pase de estado sólido a líquido, el cual es transportado a la tina de agitación, en la cual se agrega viruta de zinc o zinc en polvo, cuya función es atrapar el oro y volverlo pantanoso y pasarlo al proceso de fundición.



Gráfico No. 35. **Tina de Agitación y Aplicación de Viruta de Zinc**

Fuente: Autor

A estas cenizas se les aplica Borax, carbonato y Sal Nitro, para que recojan los componentes de oro y plata.

## **IDENTIFICACION DE IMPACTOS AMBIENTALES**

A continuación se relacionan los diferentes aspectos ambientales más impactados por los procesos mineros en el municipio de Marmato. Articulando esta información a cada una de las etapas de extracción y beneficio del mineral y la experiencia vivida en cada una de las visitas a los molinos ubicados en la vertiente de la quebrada Cascabel, se identificaron los impactos ambientales más representativos en cada uno de los aspectos ambientales, sin embargo y teniendo en cuenta que la presente investigación está enfocada en el impacto ocasionado a la calidad del agua del recurso hídrico; la matriz de priorización y evaluación, está orientada exclusivamente a la información relacionados con las descargas a fuertes superficiales.

Tabla 41: Descripción de Aspectos Ambientales Impactados por la Minería.

No.	ASPECTOS AMBIENTALES	EXPRESIONES
1.	Emisiones al aire	Suspension de particulas en el aire en el momento de la explotacion ( fujas de polvo y voladuras con dinamita ) y fundicion.
2.	Ruido	Producido por la maquinaria: molinos de bolas, taladros, martillos y barra. Uso de explosivos
3.	Descargas a fuentes superficiales	Residuos liquidos de productos químicos; vertimiento directo de aguas residuales, drenajes acidos.
4.	Generación de residuos sólidos de tipo urbano (RSH)	Residuos de materias primas y materiales (envases y embalajes, ) residuos sanitarios y residuos ordinarios producto de las actividades de empleados ( residuos de comida, empaques)
5.	Generación de residuos peligrosos (RSP)	Trapos y elementos de protección personal impregnados con productos químicos , envases vacíos con restos de químicos. Uso de productos químicos con características toxicas, posibles derrames de productos peligrosos, posibles incendios, explosiones e intoxicaciones.
6.	Consumo de recursos naturales	Agua y materias primas, madera
7	Consumo de recursos naturales no renovables	Gas natural y minerales
8	Alteraciones en el suelo	Escavaciones, deposito de materias primas sobre el suelo, erosion.

Fuente: Autor

En la tabla anterior, se describen cada uno de los aspectos ambientales que a consideración del autor, son los más impactados por las actividades mineras en el área de estudio; del mismo modo, en la tabla 42, los aspectos ambientales son relacionados con cada una de las etapas del proceso productivo en la extracción y beneficio de los molinos visitados, con el fin de identificar los impactos más significativos asociados con las actividades mineras.

**Tabla 42: Identificación de Impactos Ocasionados en cada una de las Etapas del Proceso Productivo de la Extracción y Beneficio del Oro.**

No.	PROCESO PRODUCTOS SERVICIOS	ASPECTOS AMBIENTALES SIGNIFICATIVOS	IMPACTOS ASOCIADOS	
1	Explotación	Consumo de recursos naturales no renovables	Disminución de la disponibilidad de minerales en el municipio	
		Ruido	Afectación a la salud humana ( sordera, stress y efectos extraauditivos)	
		Consumo de recursos naturales	Perdida de cobertura vegetal y diversidad biológica	
			Emigración de especies faunística	
		Emisiones al aire	Alteración de la calidad del aire causado por emisiones fugitivas y voladuras	
		Alteración al suelo	Erosión del suelo	
		Descargas a fuentes superficiales	Drenajes ácidos a fuentes hídricas.	
Generación de residuos ordinarios	Sedimentación por rocas y tierra a fuentes hídricas			
	Contaminación paisajística			
	Contaminación al suelo			
2.	Beneficio del Mineral	Trituración	Ruido	Afectación a la salud humana ( sordera, stress y efectos extraauditivos)
			Consumo de recursos naturales	Emisiones de gases efecto invernadero
		Molienda	Ruido	Afectación a la salud humana ( sordera, stress y efectos extraauditivos)
			Consumo de recursos naturales	Disminución de la disponibilidad del recurso hídrico para otros usos.
				Emisiones de gases efecto invernadero
		Generación de peligrosos	Contaminación al suelo y aguas subterráneas	
		Cianuración y purificación	Descargas a fuentes superficiales	Alteración de la calidad del recurso hídrico
				Contaminación de fuentes de agua ocasionado por vertimientos generados en el proceso productivo
			Ruido	Afectación a la salud humana ( sordera, stress y efectos extraauditivos)
			Consumo de recursos naturales	Emisiones de gases efecto invernadero
		Consumo de recursos naturales no renovables	Disminución de la disponibilidad del recurso hídrico para otros usos.	
		Generación de residuos peligrosos	Contaminación al suelo y al agua mediante la disposición inadecuada de residuos sólidos peligrosos generados en el proceso productivo.	
		Gestión integral de residuos	Contaminación paisajística	
			Contaminación al suelo y al agua mediante la disposición de residuos sólidos peligrosos generados en el proceso productivo. ( embases , esteriles)	
		Saneamiento Básico	Contaminación producto de vertimientos directos de aguas residuales.	

Fuente: Autor

Tabla 43: Marco legal de los Aspectos Ambientales Identificados en el Área de Estudio.

ASPECTO	MARCO LEGAL APLICABLE
<b>Generación de residuos sólidos peligrosos (RESPEL)</b>	Decreto 4741/2005. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.
	Resolución 1362/2007. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. Por la cual se establece 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.
<b>Generación de residuos sólidos especiales (Escombros)</b>	Resolución No. 0541 de 1994. Ministerio del medio ambiente. Por medio de la cual se regula el cargue, descargue, transporte, almacenamiento y disposición final de escombros, materiales, concretos y agregados sueltos de construcción, de demolición y capa orgánica, suelo y subsuelo de excavación.
<b>Residuos Sólidos Ordinarios</b>	Decreto 1713 de 2002, define el manejo, almacenamiento, presentación, recolección, transporte, transferencia, tratamiento, disposición sanitaria y recuperación de basuras
<b>Generación de Ruido</b>	Resolución 8321 de 1983 Ministerio de Salud Por la cual se dictan normas sobre Protección y conservación de la Audición de la Salud y el bienestar de las personas, por causa de la producción y emisión de ruidos
	Resolución 627 de abril 26 de 2006 Ministerio del Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial Por medio de la cual se establecen las normas nacionales de ruido y ruido ambiental
	Resolución 1792 de 1990 Ministerio de Trabajo y Seguridad Social y Salud Por la cual se adoptan valores límites permisibles para la exposición ocupacional al ruido.
<b>Calidad del aire (Emisión de partículas suspendidas)</b>	Decreto 02 de 1982: Reglamentación del calidad del aire, en relación a emisiones atmosféricas
	Decreto 948 de 1995. Minsiterio del medio ambiente. Reglamento de protección y control de la calidad del aire
	Resolución No. 610 de 2010. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. Por la cual se establece la norma de calidad del aire o nivel de inmisión en condiciones de referencia
	Resolución 601 de abril 26 de 2006 Ministerio del Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial Norma de la calidad de aire.
	Resolución 909 de 2008. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas.
<b>Aguas superficiales y vertimientos</b>	Decreto 1594 de 1984. Usos del agua y residuos líquidos
	Decreto 1541 de 1978. Ministerio de Agricultura. Reglamentación de las aguas no marítimas
	Decreto 3930 de 2010. Ministerio de Ambiente Vivienda y desarrollo territorial. Usos del agua y residuos líquidos
<b>Uso y aprovechamiento del recurso bosque</b>	Decreto 1791 de 1996. Minsiterio del Medio Ambiente. Por medio de la cual se establece el régimen de aprovechamiento forestal
<b>Areas Protectoras</b>	Decreto 1449 de 1977. Ministerio de Agricultura. Reglamentación de zonas forestales protectoras
<b>Ordenamiento territorial</b>	Ley 388 de 1997. Ministerio del Medio Ambiente. Ordenamiento territorial
<b>Uso y aprovechamiento del recurso suelo</b>	Artículo 179 del Decreto 2811 de 1974, en relación al aprovechamiento adecuado del recurso suelo

Fuente: Autor

La tabla anterior contiene el marco legal aplicable a cada uno de los aspectos ambientales más impactados por las actividades mineras en el área de estudio. A partir de esta información, se tiene una visión más amplia sobre la situación ambiental del área de influencia directa de la presente investigación. Esta información permite a continuación delimitar la identificación y valoración de impactos ambientales exclusivamente a cada uno de los impactos que alteren la calidad del agua de la quebrada Cascabel.

Los impactos en la calidad del agua generalmente son los más significativos asociados con las actividades de beneficio y minería, adicionalmente, la degradación de la calidad del agua puede influir y ocasionar impactos secundarios. Según la guía elaborada por el ministerio de minas y energía del Perú, para realizar estudios de impacto ambiental, los impactos en la calidad del agua generalmente pueden ser divididos en las siguientes categorías (Dirección General de Asuntos ambientales mineros del Perú, 2006):

- Propiedades térmicas
- Factores estéticos
- Sólidos y residuos
- Factores químicos inorgánicos
- Factores químicos orgánicos
- Factores microbiológicos.

A continuación se realiza la identificación de impactos ambientales a la quebrada cascabel utilizando una matriz de interacción simple. Después de revisar cada una de las etapas de los procesos productivos en las plantas artesanales de beneficio; se empleó la clasificación de la dirección general de asuntos mineros del Perú para dividir los impactos identificados en cada una de estas etapas.

A continuación se describe la clasificación de impactos según los antecedentes investigativos consultados para la quebrada cascabel.

- Propiedades térmicas: Temperatura y conductividad
- Factores estéticos: Color, olor, sabor, turbidez
- Sólidos y residuos: Contaminación provocada por las descargas de virutas de zinc, contaminación provocada por las descargas de residuos sólidos ordinarios, incremento de los niveles de sólidos suspendidos totales provocado por las descargas de arenas y lodos sobrantes.
- Factores químicos inorgánicos: Contaminación ocasionada por la descarga de drenajes ácidos, contaminación por la descarga de aguas cianuradas, contaminación por descarga de metales pesados.
- Factores químicos orgánicos: Alteración los procesos biológicos del agua, donde se tendrán en cuenta los resultados de los siguientes parámetros: oxígeno disuelto, DBO<sub>5</sub>, DQO, nitritos, nitratos, nitrógeno total, nitrógeno amoniacal y fosforo.
- Factores microbiológicos: Contaminación del agua ocasionada por microorganismos patógenos; este impacto será medido según los resultado obtenidos de los parámetros: coliformes totales y E- coli

Tabla 44: Matriz Identificación de Impactos Ambientales al Recurso Hídrico Parte A

MATRIZ IDENTIFICACION DE IMPACTOS AMBIENTALES AL RECURSO HIDRICO										
DIMENSION	COMPONENTE	ASPECTOS AMBIENTALES	FACTOR	IMPACTO	EXPLOTACION DEL MINERAL	TRITURACION	MOLIENDA	CIANURACION Y PURIFICACION	SANEAMIENTO BASICO Y MANEJO DE RESIDUOS SOLIDOS	
DIMENSION ABIOTICA	CALIDAD HIDRICA	DESCARGAS A FUENTES HIDRICAS	Propiedades térmicas	Alteración de la temperatura del agua				X		
				Alteración de la conductividad del agua				X		
			Propiedades estéticas	Alteración del color del agua				X	X	
				Alteración en el olor del agua				X	X	
				Alteración de la turbiedad del agua	X			X	X	
				Alteraciones en el sabor del agua				X	X	
			Solidos y residuos	Contaminación provocada por las descargas de virutas de zinc					X	
				Contaminación provocada por las descargas de residuos sólidos						X
				Incremento de los niveles de solidos suspendidos totales provocado por las descargas de arenas, sobrantes de material excavado y lodos sobrantes					X	

Fuente: Autor

Tabla 45: Matriz Identificación de Impactos Ambientales a Fuentes Hídricas Superficiales Parte B

MATRIZ IDENTIFICACION DE IMPACTOS AMBIENTALES AL RECURSO HIDRICO									
DIMENSION	COMPONENTE	ASPECTOS AMBIENTALES	FACTOR	IMPACTO	EXPLOTACION DEL MINERAL	TRITURACION	MOLIENDA	CIANURACION Y PURIFICACION	SANEAMIENTO BASICO
DIMENSION ABIOTICA	CALIDAD HIDRICA	DESCARGAS A FUENTES HIDRICAS	Factores quimicos inorgánicos	Contaminación ocasionada por la descarga de drenajes ácidos de mina o de roca	X	X			
				Contaminación por la descarga de Metales pesados				X	
				Contaminación por la descarga de Aguas residuales domesticas					X
			Factores quimicos orgánicos	Alteración de los procesos biologicos del agua	X	X	X	X	X
			Factores Microbiologicos	Contaminacion del agua ocasionada por microorganismos patogenos					X

Fuente: Autor

A continuación se sustenta cada uno de los impactos identificados y al mismo tiempo se describen cada uno de los parámetros físicos químicos y microbiológicos, los cuales se asocia a cada impacto a fin de utilizarse como herramienta para la evaluación y ponderación de los impactos ambientales identificados en el área de estudio.

## SUSTENTACION TECNICA DE CADA UNO DE LOS IMPACTOS IDENTIFICADOS

### PROPIEDADES TÉRMICAS

- **Alteración de la temperatura del agua**

Después de analizar los valores de temperatura, los resultados de laboratorio demuestran que los valores se encuentran entre los límites admisibles, las causas principales de los cambios de temperatura en la corriente hídrica en estudio son: deforestación, vertimientos, fluctuación del clima, variaciones altitudinales.

- **Alteración de la conductividad del agua**

Según la UNESCO los intervalos de la conductividad eléctrica de las aguas superficiales, varían entre 10  $\mu\text{S/cm}$  y 1000  $\mu\text{S/cm}$ ; los resultados de este parámetro excede los límites admisibles principalmente por las descargas de las plantas de beneficio de oro, en donde el proceso de producción de oro tiene una fase de aumento de pH por medio de la adición de cal.

*“En el proceso de extracción de Oro y Plata se trituran el material pétreo, proveniente de las minas, produciéndose residuos finos, los cuales son cianurados para extraer el metal precioso. Los residuos de este proceso van a parar a los drenajes naturales, pero antes de ser vertidos es adicionada grandes cantidades de sales y cal para neutralizar el cianuro, aumentando el pH de 4,3 a 8,6 unidades. Este procedimiento incrementa la Conductividad en el agua”.*

Según los resultados obtenidos, esta propiedad del agua se encuentra alterada negativamente.

## **PROPIEDADES ESTÉTICAS**

- **Alteración del color del agua**

Con relación a las unidades de color en la escala platino cobalto; el color aparente observado sobrepasa los límites admisibles; al comparar este rango con las unidades de color para uso doméstico establecidas por CORPOCALDAS (menor a 20 UND Pt/Co) se considera como severa la afectación de esta propiedad en el agua. Los sedimentos suspendidos ocasionados por los residuos del proceso de extracción y beneficio del mineral, altera el color del agua. (Romero, 2002). Según los resultados obtenidos, esta propiedad del agua se encuentra alterada negativamente.



**Gráfico No. 36. Alteración del Color en el Agua**

Fuente: Autor

- **Alteración del Olor del agua**

La fuente hídrica presenta un detectable olor a azufre. La alteración de esta propiedad se relaciona con los rangos elevados por encima de los límites admisibles, del nitrógeno amoniacal. Las causas que ocasiona alteración en el olor de la quebrada Cascabel son las descargas de vertimientos directos de aguas residuales domésticas e industriales. Según los resultados obtenidos, esta propiedad del agua se encuentra alterada negativamente.

- **Alteración de la turbiedad del agua**

Los límites de turbiedad recomendados por la UNESCO (1996), expresa que para corrientes hídricas en condiciones naturales deben existir niveles menores a 1000 NTS (Unidades Nefelométricas de Turbiedad). De acuerdo a los puntos de muestreo analizados realizados para la quebrada cascabel, este parámetro supera los 2000 NTS. En general se determinó mediante el estudio de SANEAR, que las concentraciones de turbiedad están influenciadas por las descargas de residuos finos y colas en los procesos de beneficio del oro. Según los resultados obtenidos, esta propiedad del agua se encuentra alterada negativamente.

- **Alteración del Sabor del agua**

Parámetros como el nitrógeno amoniacal y concentraciones de cloruros, producen un sabor salado en el agua el cual es rechazado por el consumidor (Romero, 2002), según los resultados obtenidos, esta propiedad del agua se encuentra alterada negativamente.

## **SÓLIDOS Y RESIDUOS**

- **Contaminación provocada por las descargas de virutas de zinc**

La viruta de zinc utilizada en la precipitación del mineral, ocasiona liberación de metales, generando aguas ácidas, disminuyendo la probabilidad de supervivencia de vida acuática en la quebrada cascabel. Este impacto es consecuencia directa de los valores por encima de los límites admisibles de la dureza del agua, de igual manera incide en el pH del agua.

- **Contaminación provocada por las descargas de residuos sólidos**

En el área de retiro o suelo de protección de la quebrada cascabel, se observa la disposición inadecuada de residuos sólidos ordinarios vertidos directamente de las plantas artesanales de beneficio de oro, estos residuos son depositados sin ningún tipo de manejo sobre las laderas que hacen parte de la quebrada cascabel.

Adicional a esto, se identificó la presencia de recipientes que almacenaron sustancias químicas tóxicas utilizadas en el proceso de extracción de oro tales. Estos recipientes fueron hallados alrededor de los molinos sobre las laderas mayores a 60%.



Gráfico No. 37. **Disposición Inadecuada de Residuos Sólidos**

Fuente: Autor

**Incremento de los niveles de sólidos suspendidos totales provocado por las descargas de arenas, sobrantes de material excavado y lodos sobrantes.**

Este impacto trae consigo impactos asociados tales como las elevadas concentraciones de material particulado en las corrientes superficiales ocasionando efectos tóxicos, agudos y crónicos en peces. Los sedimentos contaminados también ocasionan niveles bajos de pH del agua y el suelo provocando pérdida del hábitat y la vegetación. Dentro de los resultados obtenidos en el estudio realizado por SANEAR Y CORPOCALDAS, podemos relacionar este impacto con los valores obtenidos en el parámetro sólidos suspendidos totales, como se puede evidenciar los resultados están por encima de los valores admisibles dando como resultado alteraciones para el desarrollo de reacciones biológicas y química.

Otro impacto asociado frente a esto, es la emisión de partículas de ácido y destrucción de la vegetación nativa; ocasionando potencializar el aumento del grado de erosión que conlleva a la remoción consecutiva del suelo de las zonas afectadas. Adicional a esto las particularidades del terreno se caracterizan por pendientes superiores a 60%, pendientes pronunciadas y rocosas que bajo estas condiciones facilita acelerar los procesos erosivos.

El municipio de Marmato, presenta zonas productoras de agua, socavadas y erosionadas debido a los procesos de beneficio del mineral aurífero aportando concentraciones altas al cauce de sólidos en suspensión. Debido a la pendiente del terreno y la ubicación de los molinos, además de las aguas de escorrentía, se presenta la descarga de material estéril al cauce de la fuente hídrica estudiada, observándose alta presencia de sedimentación, que sumado a otras causas, hace imposible el libre correr del fluido y en muchos casos su profundización, calificándose en un impacto severo.

*“Debido a la gran extensión de tierras perturbadas por operaciones mineras y las grandes cantidades de materiales excavados expuestos en los lugares de operación, la erosión puede ser un problema mayor. En consecuencia, el control de la erosión debe considerarse desde el inicio de operaciones mediante el cumplimiento de medidas de rehabilitación. La erosión puede causar grandes cantidades de sedimentos (cargados con contaminantes químicos) en los cuerpos de agua cercanos especialmente en épocas de lluvias” (Unión europea- 2009)*



Gráfico No. 38. **Procesos Erosivos en el Municipio de Marmato**

Fuente: Autor

Las arenas y lodos sobrantes del beneficio del mineral extraído del proceso de cianuración, es descargados por las laderas que hacen parte de la zona de retiro de la quebrada cascabel; este manejo inadecuado altera los niveles percibibles de sólidos suspendidos (residuos no filtrable) en la corriente superficial de los lechos y afluentes. El Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos en la corriente evaluada según el estudio

de SANEAR, muestra que la concentración de los Sólidos Suspendidos es muy alta, clasificando toda la corriente con una Muy Alta Contaminación

Estos sólidos cargados de contaminantes químicos, principalmente de metales pesados, son depositados sobre pendientes superiores a 60%, facilitando su desplazamiento a la quebrada cascabel. No existe aislamiento, ni control de las aguas lluvias por ende estas arrastran parte de estas arenas y lodos para transportarlos hacia las corrientes con su estela de contaminación de metales pesados y cianuro principalmente.

Los lodos cianurados ocasionan muy bajos contenidos de OD en el agua provocando condiciones anaerobias en la corriente hídrica Cascabel.

Los sólidos suspendidos totales de la quebrada cascabel, oscilan entre los 2000 y 2500 mg/l, como consecuencia de las descargas de residuos finos o colas en el proceso de beneficio del oro. Comparando este resultado con los objetivos de calidad para la fuente establecidos por CORPOCALDAS mediante la resolución No 239 del 24 de mayo del 2007, este valor está por encima de los límites permisibles para consumo humano en general se determinó mediante el estudio de SANEAR, que las concentraciones de Sólidos suspendidos totales, están influenciadas por las descargas de residuos finos y colas en los procesos de beneficio del oro.

## **Factores químicos inorgánicos**

### **Contaminación ocasionada por la descarga de drenajes ácidos de mina o de roca**

El drenaje de roca ácida (DRA) es un proceso natural a través del cual el ácido sulfúrico se produce cuando los sulfatos de las rocas son expuestos al aire libre o al agua. El drenaje de la minería ácida (DAM) es esencialmente el mismo proceso, solo que magnificado; cuando las grandes cantidades de roca que contienen minerales sulfatados, son excavadas en tajo abierto o en vetas en minas subterráneas, estos materiales reaccionan con el aire o con el agua para crear ácido sulfúrico. (Ministerio del Medio Ambiente, Dirección general ambiental sectorial, 2002)

El ácido lixiviara la roca mientras que la roca fuente este expuesta al aire y al agua. Este proceso continuara hasta que los sulfatos sean extraídos completamente; este es un proceso que puede durar cientos, o quizás miles de años. El ácido es transportado desde la mina por el agua, las lluvias o por corrientes superficiales, y posteriormente depositado en los estanques de agua, arroyos, ríos, lagos y mantos acuíferos cercanos. (Ministerio del Medio Ambiente, Dirección general ambiental sectorial, 2002) El drenaje acido de mina degrada severamente la calidad del agua y puede aniquilar la vida acuática, así como volver el agua prácticamente inservible, considerándose de este modo, un impacto severo. .

De acuerdo a los resultados de laboratorio, este impacto se relaciona directamente con los valores obtenidos en los parámetros pH, conductividad, y sulfatos. Analizando cada

uno de estos resultados, solo se observa una alteración significativa en la conductividad del agua.

### **Contaminación por la descarga de Metales pesados**

En el municipio de Marmato, este tipo de descargas se generan como un subproducto generado en las plantas de beneficio y por el lavado de estériles; sumado a esto la pendiente del terreno, acelera los procesos de escorrentía, permitiendo la llegada de metales pesados al agua.

Las concentraciones de Cianuros según los análisis de laboratorio, están por encima de los valores que le causaría daño al ser humano, según los criterios de la OMS con un valor mínimo recomendado de 0,07 mg/l, y de acuerdo a varios estudios los rangos de concentración de Cianuro están por encima del límite para la supervivencia de los peces en el agua.

Según datos de un estudio recientes elaborados por INGEOMINAS en cooperación con dos Universidades de Brasil y la agencia de cooperación Alemana (DAAD) (Prieto, F Lima da Costa, M, y Drude de Lacerda, L.1997); el cianuro (0,13-3,8 mg/l) están en Marmato por encima de las normas internacionales de Cianuro entre 0,05 mg/l y 0,1 mg/l.

Las sustancias toxicas provenientes de molinos, son lixiviadas de manera directa; no existen membranas impermeabilizantes instaladas que minimicen la infiltración en el suelo. Estas sustancias contienen altas concentraciones de cianuro.

De acuerdo a lo anterior, con las concentraciones de cianuro, encontradas en la quebrada Cascabel, es imposible el desarrollo de la vida acuática en este ecosistema, razón por la cual este impacto se califica severo.

Una de las tecnologías aplicadas en el beneficio mineral en Marmato consiste en molienda en molinos de bolas, cianuración por agitación y recuperación de valores por el sistema MerrillCrowe. El proceso de cianuración por agitación se realiza en un tiempo de residencia promedio entre 30 y 48 horas, así: después de una etapa de lavado y acondicionamiento con cal (pH 10,5 a 11 unidades) toma lugar la agitación mecánica; posteriormente la pulpa se deja decantar y la solución rica se transfiere a un tanque de filtración en lecho de arena. Allí se clarifica y pasa al proceso posterior MerrillCrowe.

Otro de los metales pesados identificado en los análisis de laboratorio, es el mercurio.

El mercurio puede existir en el ambiente natural en el agua superficial en muy bajas concentraciones como resultado de la ruptura de minerales de rocas y suelos a través de la exposición al viento y agua. (CORPOCALDAS, SANEAR, 2011)

Sin embargo las concentraciones se han ido incrementando como consecuencia de aportes contaminantes generados por diversas actividades humanas, entre las que pueden citarse la industria minera del oro, los vertimientos de estas sustancias toxicas contaminan gravemente la quebrada cascabel y por ende el agua del rio cauca. Según los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio, lo valores de cianuro y mercurio están por encima de los límites admisibles para corrientes superficiales, por esta razón podríamos considerar este impacto como severo.



Gráfico No. 39. **Vertimientos de Aguas Cianuradas**

Fuente: Autor

### **Contaminación por la descarga de Aguas residuales domesticas**

Las plantas artesanales de beneficio de oro visitadas, no cuentan con alcantarillado para el manejo de aguas residuales domésticas, estos vertimientos son descargados directamente a las laderas de la quebrada cascabel, los parámetros tenidos en cuenta a la hora de evaluar este impactos son: coliformestotales y E- Coli. De acuerdo a los resultados de los análisis de laboratorio, la presencia de coliformes totales es alta; la cantidad bacterias E- coli, solo se evidencio en la estación E3, la razón principal de este resultado, consiste la estación se encuentra ubicada después de la mayoría de plantas de beneficio de oro que descargan sus aguas residuales domesticas a la quebrada cascabel.

## **Factores químicos orgánicos**

### **Alteración de los procesos biológicos del agua**

Para determinar la incidencia de este impacto en la calidad del agua de la quebrada cascabel, se consideró los resultados de los siguientes parámetros: oxígeno disuelto, DBO<sub>5</sub>, DQO, nitritos, nitratos, nitrógeno total, nitrógeno amoniacal y fosforo.

### **Alteración del Nitrógeno del agua**

El Nitrógeno es un elemento necesario para el crecimiento de los organismos vivos, pero es necesario en pequeña cantidad, en la actividad minera, se ve alterado el ciclo, por el amoniaco generado en la descomposición del cianuro cuando llega al cuerpo hídrico.

Según la UNESCO (1996), concentraciones de Nitrógeno Amoniacal menores de 0,1 mg/l NH<sub>3</sub>-N indican corrientes superficiales poco contaminadas y los valores típicos de este parámetro en ríos son menores a 0,2 mg/l NH<sub>3</sub>-N, aunque en ocasiones se pueden presentar valores entre 2 y 3 mg/l NH<sub>3</sub>-N. Causan sofocamiento a los peces, dan color y sabor al agua. .

Naturalmente es producido por la descomposición bacteriana de proteínas y otras sustancias nitrogenadas en el agua. También pueden provenir de la escorrentía de aguas con fertilizantes, producto del lavado de suelos cultivados y excrementos de la ganadería, el vertimiento de aguas residuales con contenidos de productos de limpieza a base de amoniaco

De acuerdo a lo anterior y a los resultados obtenidos en el laboratorio, el valor actual, supera el valor típico según la UNESCO, indicando la contaminación del agua de la quebrada Cascabel por presencia de materia orgánica, generando un impacto ambiental severo.

### **Alteración del oxígeno disuelto en el agua**

El Oxígeno Disuelto (OD) es la cantidad de Oxígeno libre disponible en el agua. El contenido de OD en aguas naturales varía con la temperatura, la salinidad, la turbulencia, la actividad fotosintética de algas y plantas y la presión atmosférica. Este parámetro es uno de los constituyentes más importantes de los sistemas de aguas naturales, ya que los peces y otras especies animales acuáticas requieren de él para su subsistencia. Según la UNESCO (1996) concentraciones menores a 5 mg/l afectan la diversidad biológica de los cuerpos de agua y valores menores a 2 mg/l causan la muerte de la mayoría de los peces. De acuerdo a los datos obtenidos de este parámetro en el laboratorio, existe un impacto severo, debido que en la gran mayoría del trayecto de la quebrada, el Oxígeno Disuelto es 0.

“Las principales causas para el incremento de estos parámetros son las descargas de aguas residuales sin tratamiento que se hace a lo largo de la corriente y los vertimientos de las plantas de beneficio de oro, las cuales descargan las aguas residuales del proceso de extracción de oro, utilizando como insumo grandes cantidades de Cianuro y la aplicación de Cal y otros compuestos para la neutralización de las aguas vertidas”

## **Alteración de Nitritos y Nitratos del agua**

Los Nitritos y Nitratos son la principal forma de Nitrógeno encontrada en las aguas superficiales.

Según la UNESCO (1996), concentraciones de Nitratos menores de 0,1 mg/l  $\text{NO}_3\text{-N}$  indican aguas poco contaminadas, valores cercanos a 1 mg/l  $\text{NO}_3\text{-N}$  indican aguas con una contaminación significativa, concentraciones mayores a 5 mg/l  $\text{NO}_3\text{-N}$  indican contaminación por actividades humanas y por escorrentía de fertilizantes y en casos de contaminación extrema las concentraciones de Nitratos pueden alcanzar los 200 mg/l  $\text{NO}_3\text{-N}$ .

Dentro de las causas principales, frente a la contaminación ocasionada por nitritos y nitratos encontramos las sustancias utilizadas en el beneficio del mineral. Teniendo en cuenta lo anterior y los resultados de laboratorio, se evidencia que existe calidad microbiológica regular en la fuente hídrica, donde los nitratos reflejan valores por encima de los límites admisibles para corrientes superficiales.

## **Alteración de la demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno**

La demanda bioquímica Oxígeno ( $\text{DBO}_5$ ), es un indicador de contaminación, es una medida de la cantidad de Oxígeno consumido en el proceso biológico de degradación de la materia orgánica en el agua; un valor elevado de este parámetro indica contaminación de tipo orgánico.

Según la UNESCO (1996), concentraciones de  $\text{DBO}_5$  menores de 2 mg/l indican

Aguas poco contaminadas, mientras que valores de DBO<sub>5</sub> mayores de 10 mg/l indican aguas impactadas por descargas de aguas residuales, particularmente cerca del punto de vertimiento.

De acuerdo a los resultados obtenidos, mediante la caracterización, se infiere que el agua de la quebrada Cascabel, presenta contaminación de tipo orgánico, por aguas residuales domésticas e industriales, disminuyendo de este modo el oxígeno disuelto en el agua. Este parámetro supera los valores admisibles para corrientes superficiales.

De igual manera los resultados obtenidos en la demanda química de oxígeno, supera los valores admisibles para corrientes superficiales; la razón principal está asociada a las descargas de aguas residuales domésticas e industriales sin tratar, con un alto contenido de materia orgánica, que conlleva a la disminución de la concentración de Oxígeno Disuelto.

## **Factores microbiológicos**

### **Contaminación del agua ocasionada por microorganismos patógenos**

En el recorrido de la quebrada Cascabel, se encuentran vertimientos de aguas residuales domésticas, esta situación se ve reflejada en los resultados obtenidos de coliformes totales y E- coli, catalogándose como un impacto ambiental de tipo severo.

Sumado a lo anterior, en el municipio de Marmato, no existe planta de tratamiento para aguas residuales domésticas y según el Esquema de Ordenamiento Territorial del

municipio, el sector denominado Viejo Marmato, aporta sus vertimientos a la quebrada Cascabel.

Los molinos visitados no cuentan con sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas individuales, que garanticen el manejo de vertimientos del personal en su tiempo laboral.

## EVALUACION Y PONDERACION DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES

Después de identificar los impactos ambientales, se realizó una valoración de los mismos, inspirada en la metodología Conesa, 1997. En esta etapa se lleva a cabo una valoración cualitativa de cada una de las acciones que han sido causa de impacto y a su vez de los factores que han sido impactados. Esta metodología está compuesta por criterios o atributos tales como carácter, magnitud, extensión, momento, persistencia, reversibilidad, recuperabilidad, sinergia, acumulación y periodicidad, cada uno de ellos con un valor ponderado que procede a evaluar de manera cuantitativa con relación a la importancia de los impactos identificados, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 46: **Valores de Ponderación Criterios Cualitativos Metodología Conesa.**

VARIABLES		RANGO DE CALIFICACIÓN	% PONDERACIÓN
IN	INTENSIDAD	1-12	23,1% - 36,0%
EX	EXTENSIÓN	1-12	15,4% - 24,0%
MO	MOMENTO	1-8	7,7% - 10%
PE	PERSISTENCIA	1-4	7,7% - 10%
RV	REVERSIBILIDAD	1-4	7,7% - 10%
RB	RECUPERABILIDAD	1-8	7,7% - 10%
SI	SINERGIA	1-4	7,7% - 10%
AC	ACUMULACIÓN	1-4	7,7% - 10%
EF	EFEECTO	1-4	7,7% - 10%
PR	PERIODICIDAD	1-4	7,7% - 10%
<b>TOTAL</b>			<b>100,0%</b>

Fuente: Conesa, (1997)

Con el interés de obtener resultados de valoración más exactos de acuerdo que permitan estimar la situación real del área de estudio, se utilizó la investigación realizada por Renson Jesús Martínez Praga de la universidad nacional de Colombia en el año 2010, quien realiza una propuesta metodológica para la evaluación de impacto ambiental en Colombia, donde modifica los atributos de la metodología de Conesa, sesgando los resultados valorativos específicamente a los atributos que determine la importancia del impacto en función de la calidad ambiental para un proyecto.

La razón fundamental por la cual se tomó esta decisión, esta argumentada en que los resultados de esta investigación evidenciaron lo siguiente:

- El cálculo de la importancia del impacto en función de la calidad ambiental (I(CA)N) identifica igual número de impactos en la categoría irrelevante frente a la metodología cualitativa de Conesa. Esto demuestra que las escalas presentan niveles de ponderación similares para los casos en los cuales las variables cualitativas son calificadas con los valores mínimos. (Martinez, 2010)
- El cálculo de la importancia del impacto en función de la calidad ambiental (I(CA)N) identifica un menor número de impactos en la categoría moderado frente a la metodología cualitativa de conesa. Sin embargo, los impactos que dejan de ser moderados pasan a la categoría severo, debido principalmente, a que presentan calificaciones altas de la variable irreversibilidad, la cual representa un nivel de importancia significativo en la propuesta metodológica. (Martinez, 2010)
- El cálculo de la importancia del impacto en función de la calidad ambiental (I(CA)N) a diferencia de la metodología cualitativa de conesa, evidencia impactos en la categoría crítico. (Martinez, 2010)

Esto resulta fundamental en la práctica de la EIA, debido a que se detectan impactos que se caracterizan por ser irreversibles a largo o mediano plazo y presentar intensidades altas o muy altas, que al ser subestimados en su nivel de importancia pueden ocasionar una pérdida significativa de la calidad ambiental del factor afectado. (Martinez, 2010)

- El cálculo de la importancia neta a través del uso de la importancia de la recuperabilidad, permite obtener una medida más objetiva en la determinación de la importancia del impacto cuando se aplican las medidas de manejo ambiental. Esto resulta fundamental en la práctica de la EIA, debido a que la importancia neta se constituye en una herramienta mediante la cual se puede justificar con mayor solidez la toma de decisiones sobre la viabilidad de ejecutar el proyecto o una determinada actividad. (Martinez, 2010)

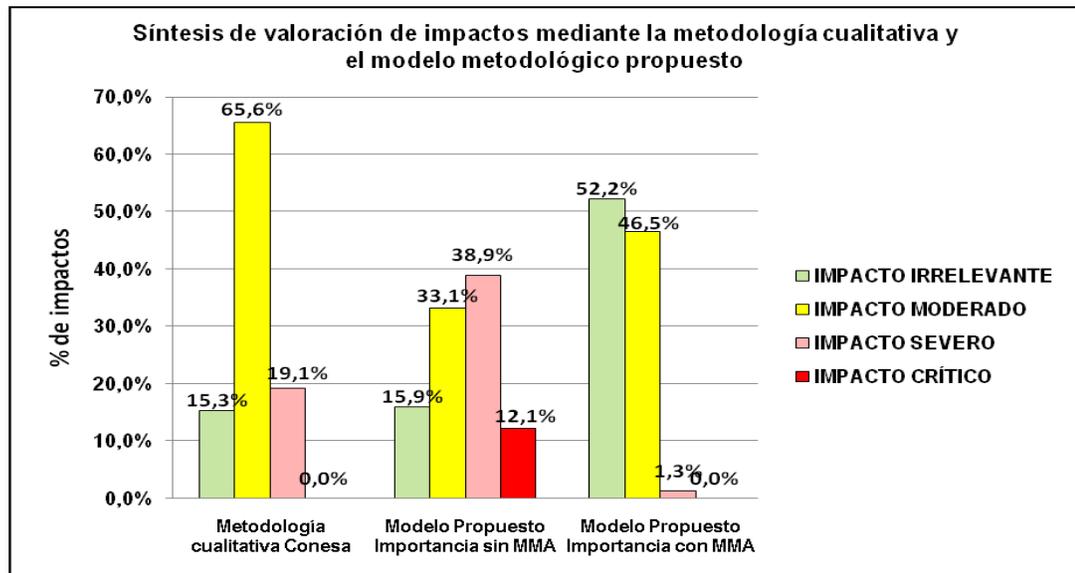


Gráfico No. 40. Síntesis de Impactos Mediante la Metodología Cualitativa y el Modelo Metodológico Propuesto por Renson, 2010  
Fuente: (Renson, 2010)

### **Atributos que miden directamente la pérdida o mejoramiento de calidad ambiental del factor afectado.**

Según Renson, 2010; los atributos para determinar de forma directa el cambio en el nivel de calidad ambiental del factor; que para este caso, hace referencia a la quebrada cascabel; se muestran a continuación.

Tabla 47: Atributos que Miden Directamente la Pérdida o Mejoramiento de la Calidad Ambiental para la Quebrada Cascabel

<b>ATRIBUTOS QUE MIDEN DIRECTAMENTE LA PÉRDIDA O MEJORAMIENTO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL FACTOR AFECTADO</b>	<b>ATRIBUTOS QUE NO MIDEN DIRECTAMENTE LA PÉRDIDA O MEJORAMIENTO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL FACTOR AFECTADO</b>
Intensidad o magnitud	Momento
Extensión o cobertura	Efecto
Persistencia o duración	Probabilidad de ocurrencia
Reversibilidad	
Periodicidad	
Acumulación	
Sinergia	
Recuperabilidad	

Fuente: (Renson, 2010)

Teniendo en cuenta esta clasificación, el autor propone realizar el cálculo o determinación de la importancia del impacto teniendo en cuenta 2 escenarios: proyectos sin medidas de manejo ambiental y con medidas de manejo ambiental; la siguiente tabla asocia cada uno de los atributos que miden directamente la calidad ambiental de acuerdo a cada escenario.

Tabla 48: Atributos Seleccionados para el Cálculo de la Importancia Ambiental en Función de la Calidad Ambiental con o sin Medidas de Manejo Ambiental

ATRIBUTOS SELECCIONADOS PARA EL CÁLCULO DE LA IMPORTANCIA SIN MEDIDAS DE MANEJO AMBIENTAL	ATRIBUTOS SELECCIONADOS PARA EL CÁLCULO DE LA IMPORTANCIA DE LAS MEDIDAS DE MANEJO AMBIENTAL
Carácter	Recuperabilidad
Intensidad	
Cobertura	
Reversibilidad	
Periodicidad	
Sinergia	
Acumulación	

Fuente: (Renson, 2010)

A continuación se determina la importancia ambiental en función de la calidad ambiental de cada uno de los impactos generados en las etapas de explotación y transformación de las plantas artesanales de beneficio de oro, utilizando los atributos mencionados en la tabla 48 para proyectos sin medidas de manejo ambiental. Para esta valoración se utilizó la propuesta metodológica realizada por Renson Jesús Martínez Praga y el criterio de los expertos en el tema Harold Adrian Sanchez Marin, funcionario de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC y Albeiro García funcionario de CORPOCALDAS.

## **Argumentación de cada uno de los atributos aplicados**

**Carácter:** De acuerdo al concepto de impacto, entendido como el cambio generado por una acción en la calidad ambiental del factor en el cual incide (Garmendia, 2005), el impacto puede ser favorable o desfavorable. En el caso de la presente investigación todos los impactos ocasionados por las actividades mineras de las plantas de beneficio de oro a la quebrada cascabel, son impactos desfavorables causante de la disminución de la calidad ambiental en el recurso hídrico; por esta razón todos los impactos tendrán un carácter negativo.

**Intensidad:** Para la investigación se asociara este atributo, con los resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos comparados con los valores típicos admisibles para aguas superficiales, de igual manera se tuvieron en cuenta cada una de las actividades realizadas en la extracción y beneficio del mineral, otro. Dentro de la evaluación para este atributo se estimó qué tan impactante es la acción y qué tan vulnerable es la quebrada cascabel, debido a las condiciones identificadas del área de estudio, se consideró está quebrada con una vulnerabilidad ALTA.

Tabla 49: Evaluación de Parámetros Físicoquímicos Vs Valores Típicos Admisibles para Corrientes Superficiales

PARAMETROS FISICOQUIMICOS Y MICROBIOLÓGICOS				VALORES TÍPICOS	REGLAMENTACION
PARAMETRO	VALOR ACTUAL E2	VALOR ACTUAL E3	TRIBUTARIO QUEBRADA PANTANOS		
pH (Unidades)	6,51	7,15	6,51	6-8	UNESCO
Temperatura del agua (°C)	25,6	25,7	25,0	0-30	UNESCO
Conductividad (µs/cm)	1170	1970	2420	10-1000	UNESCO
Oxígeno disuelto (mg/L)	0	0	0	>5	UNESCO
DQO (Total)(mg/L)	1860,0	620,00	618	<20	UNESCO
DBO5 (Total)(mg/L)	8,00	9,00	8,00	<2	UNESCO
Coliformes totales (UFC/100 ml)	1,41,E+02	1,79,E+03	2,99,E+02	0	Objetivos de calidad de la fuente. Res. 239 de 2007. CORPOCALDAS, agua para uso doméstico con desinfección
E. Coli (UFC/100 ml)	0,00,E+00	1,00,E+00	0,00,E+00	0	Resolución 2115 de 2007 - Agua para consumo humano
Nitritos NO <sub>2</sub> (ug/L)	0,237	0,33	0,575	<1	UNESCO
Nitratos NO <sub>3</sub> (mg/L)	3,3	11,20	11,80	<0,1	UNESCO
Nitrogeno Total (mg/L)	11,76	14,00	8,46	0,18 - 3	UNESCO
Nitrogeno Amoniacal (mg/L)	1,96	4,20	3,6	<0,1	UNESCO
Fosforo Total (mg/L)	7,22	7,35	10,82	0,005 - 0,020	UNESCO
Mercurio (ug/L)	3,96	2,54	3,26	<0,5	UNESCO
Cianuro(mg/L)	2,89	3,26	1,88	Máximo 0,07	UNESCO
SST (mg/L)	10546	13954	34660	Menor o igual a 500	Objetivos de calidad de la fuente. Res. 239 de 2007. CORPOCALDAS, agua para uso doméstico con desinfección
Alcalinidad(mg/L)	250,0	165,0	190,0	100-250	UNESCO
Dureza(mg/L)	900	700	1700	0-150	UNESCO
Sulfatos (mg/L)	435	704	742,5	2 - 80	UNESCO
Color (Upt-Co)	8685	12195	14680	<20	Objetivos de calidad de la fuente. Res. 239 de 2007. CORPOCALDAS, agua para uso doméstico con desinfección
Cloruros (mg/L)	78,34	51,84	64,5	<10	UNESCO
Turbidez(NTU)	1375	2375	2250	<1000	UNESCO
Grasas (mg/L)	34,5	9,0	42	1,5	UNESCO

Fuente: Autor

## Extensión

Este atributo hará referencia a la cobertura del impacto en función del área que cubre el impacto en el nivel territorial, de acuerdo a la división política en Colombia; (Martinez, 2010) Esto se evaluará de acuerdo a la extensión o área donde se presenta el impacto. Para ello, se utilizará la siguiente clasificación:

Tabla 50: Sistema de Clasificación Propuesto para Medir la Extensión de un Impacto

Categoría cualitativa	Descripción	Valor cuantitativo <sup>3</sup>
Puntual	El impacto se presenta en un solo punto dentro del área de influencia del proyecto.	1
Local	El área donde se presenta el impacto no supera el área de jurisdicción municipal	2
Regional	El área donde se presenta el impacto ocupa dos o más municipios y no supera el área de jurisdicción de la Región Natural	3
Nacional	El área donde se presenta el impacto ocupa varios municipios en dos o más regiones naturales y no supera la jurisdicción Nacional	4
Trasnacional	El área donde se presenta el impacto supera la jurisdicción Nacional	5

Fuente: (Martinez, 2010)

Para el caso de la presente investigación, la mayoría de impactos ocasionados al recurso hídrico producto de la actividad minera de los molinos ubicados en las vertientes de la quebrada Cascabel, tiene una cobertura nacional puesto que los vertimientos líquidos de estos molinos desembocan en el Río Cauca, uno de los principales ríos de Colombia. Otro de los valores tenidos en cuenta a la hora de evaluar, fueron la diferencia entre los valores obtenidos de los parámetros de la estación E2 Y la estación E3 y E4 del estudio de SANEAR Y CORPOCALDAS, de esta manera se obtiene con mayor exactitud la capacidad de resiliencia de las fuentes hídricas impactadas por la actividad minera.

### **Sinergia**

Para calificar la Sinergia del impacto se tendrá en cuenta el potencial de interacción con otros impactos, (Martinez, 2010); para esto se utilizara la siguiente clasificación:

Tabla 51: Sistema de Clasificación Propuesto por Renson para la Valoración de la Sinergia.

<b>Categoría cualitativa</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor cuantitativo</b>
Sin sinergismo	El modo de acción es individualizado y no interactúa con ningún otro impacto	0
Sinérgico	El modo de acción es conjunto con uno o más impactos y se aumenta el nivel de incidencia sobre el factor frente a la suma de las incidencias individualizadas.	2

Fuente: (Martinez, 2010)

Otro de los determinantes importantes a la hora de evaluar, fue la línea base de la presente investigación y cada las sustentaciones

## Acumulación

Para calificar la acumulación del impacto se tuvo en cuenta la frecuencia con la que se presenta el impacto en el tiempo y el nivel de resiliencia del factor afectado, (Martinez, 2010) La información utilizada para la evaluación de este criterio, partió de la diferencia entre los valores obtenidos de los parámetros de la estación E2 Y la estación E3 al igual que la línea base recopilada. La valoración de este atributo se realizó mediante la siguiente clasificación.

Tabla 52: Clasificación Propuesta por Renson para la Clasificación de la Acumulación

Categoría cualitativa	Descripción	Valor cuantitativo
Simple	El impacto no presenta acumulación en el tiempo así ocurra un incremento de la frecuencia con que se repite.	0
Acumulativo	El impacto presenta una tendencia acumulativa en el tiempo ante el incremento de la frecuencia con que se repite.	2

Fuente: (Martinez, 2010)

## Periodicidad

Para calificar la Periodicidad del impacto, se tuvo en cuenta la frecuencia con la que se repite las acciones que provocan el impacto en las plantas de beneficio, para esto se utilizó la descripción de las etapas del proceso productivo realizadas en los molinos y la siguiente clasificación.

Tabla 53: Sistema de Clasificación Propuesto por Renson para la Valoración de la Periodicidad.

Categoría cualitativa	Descripción	Valor cuantitativo
Irregular	La frecuencia con que se presenta el impacto es baja, y deber ser determinada en términos de su probabilidad de ocurrencia	1
Periódico	El impacto se repite con frecuencia a intervalos determinados de tiempo durante la ejecución del proyecto	3
Continuo	El impacto se hace constante y permanente durante el tiempo de ejecución del proyecto	5

Fuente: (Martinez, 2010)

### Reversibilidad

Según Martinez, 2010, para calificar la Reversibilidad del impacto se realizó una correlación entre el tiempo de permanencia o duración del impacto y el tiempo de ejecución del proyecto. La actividad minera en los molinos ubicados sobre la vertiente de la quebrada cascabel, es permanente sin tiempo de ejecución límite para el cierre de los molinos. Otra de la información utilizada para evaluar este atributo fueron las diferencia entre los valores obtenidos en el estudio de SANEAR Y CORPOCALDAS de los parámetros de la estación E2 ,E3 y E4, a fin de identificar la recuperación realizada de forma natural después de las descargas ocasionadas por los molinos ubicados en la quebrada cascabel.

Tabla 54: Sistema de Clasificación Propuesto por Renson para la Valoración de la Reversibilidad.

<b>Categoría cualitativa</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor cuantitativo</b>
Fugaz	Una vez termina la actividad el factor ambiental retorna a las condiciones iniciales de forma inmediata por medios naturales.	1
Corto Plazo	Una vez termina la actividad el factor ambiental retorna a las condiciones iniciales por medios naturales en un período de tiempo inferior a 1 año.	3
Mediano plazo	Una vez termina la actividad el factor ambiental retorna a las condiciones iniciales por medios naturales en un período de tiempo inferior a 10 años.	5
Irreversible	Una vez termina la actividad el factor ambiental no vuelve a retornar a las condiciones iniciales por medios naturales.	7

Fuente: (Martinez, 2010)

Para obtener el cálculo que determinara la importancia ambiental de cada impacto en función de la calidad ambiental sin medidas de manejo ambiental se consiguió de la siguiente manera basada en la propuesta metodológica de Martinez, 2010.

$$I_{CA} = (IN + CO + SI + AC + PR + RV)$$

-

De donde;

$I_{CA}$ , representa la importancia en función de la calidad ambiental del factor

IN, representa la Intensidad

CO, representa la Cobertura

SI, representa el Sinergismo

AC, representa la Acumulación

PR, representa la periodicidad

RV, representa la Reversibilidad

Una vez se obtiene el cálculo de la importancia con la ecuación, ésta debe ser normalizada para obtener valores entre 0 y 100, que permitan determinar el nivel de importancia de cada impacto en una escala más adecuada. (Martinez, 2010)

$$I_{(CA)N} = (I_{CA} - \text{Mínimo}) / (\text{Máximo} - \text{Mínimo}) * 100$$

Donde; *Mínimo* = 4

*Máximo* = 28

De acuerdo al valor obtenido en el cálculo de importancia en función a la calidad ambiental, los resultados se midieron bajo la siguiente clasificación.

Tabla 55: Sistema de Clasificación Propuesto para la Importancia Ambiental sin Medida de Manejo Ambiental

RANGO DE LA $I_{(CA)N}$	VALORACION DEL IMPACTO	SIGNIFICADO PARA LA EIA
$\leq 25$	Irrelevante	No genera daños irreversibles en el factor y no requiere de la aplicación de medidas de manejo para su recuperación.
$>25 < 50$	Moderado	Genera daños menores en el factor y requiere de la aplicación de medidas de manejo sencillas para su recuperación.
$50 < 75$	Severo	Genera daños evidentes en el factor y requiere de la aplicación inmediata de medidas de manejo para su recuperación.
$\geq 75$	Crítico	Genera daños muy severos en el factor y requiere de la aplicación inmediata de medidas de manejo intensivas para su recuperación.

Fuente: (Martinez, 2010)

A continuación se describe la ponderación para cada atributo utilizado en la evaluación de la importancia ambiental de cada uno de los impactos provocados por las plantas artesanales de beneficio de oro en función de la calidad ambiental sin tener en cuenta ninguna medida de manejo ambiental.

Tabla 56: Valoración de los Atributos Cualitativos para Determina la Importancia Ambiental de los Impactos en Función a la Calidad Ambiental de la Quebrada Cascabel sin la Aplicación de Medidas de Manejo Ambiental.

VARIABLES		RANGO PONDERACIÓN (%)	CALIFICACIÓN CUALITATIVA	VALOR
IN	INTENSIDAD	14% - 25%	Muy baja	1
			Baja	2
			Moderada Baja	3
			Media	4
			Moderada Alta	5
			Alta	6
			Muy alta	7
EX	EXTENSIÓN	17,9% - 25%	Puntual	1
			Local	2
			Regional	3
			Nacional	4
			Trasnacional	5
SI	SINERGIA	0% - 7,1%	Sin Sinergismo	0
			Sinérgico	2
AC	ACUMULACIÓN	0% - 7,1%	Simple	0
			Acumulativo	2
PR	PERIODICIDAD	17,9% - 25%	Irregular	1
			Periódico	3
			Continuo	5
RV	REVERSIBILIDAD	25% - 25%	Fugaz	1
			A corto plazo	3
			A medio plazo	5
			Irreversible	7
TOTAL		100%	Máximo	28
			Mínimo	4

Fuente: (Martinez, 2010)

Luego de obtener la importancia en función de la calidad ambiental de cada uno de los impactos identificados, se realizara una valoración de la importancia de la recuperabilidad ambiental deteriorada por cada uno de estos impactos en función de la calidad ambiental del agua de la quebrada Cascabel. Este valor se obtiene en un escenario donde se considera la aplicación de las medidas mínimas de manejo ambiental implementadas en los procesos productivos de las plantas de beneficio de oro. Es importante aclarar que este escenario no es el real, puesto que dentro de las visitas de campo realizadas a los molinos ubicados en las vertientes de la quebrada Cascabel, solo se evidencio como medida de manejo ambiental en algunas plantas de beneficio el aprovechamiento y recirculación del agua ya utilizada por otros molinos ubicados en las partes altas. La siguiente tabla hace relación a la revisión bibliográfica, fundamentada en estudios que determinan las medidas mínimas de manejo ambiental para plantas artesanales de beneficio de oro.

Tabla 57: Medidas de Manejo Ambiental Mínimas en las Plantas Artesanales de Beneficio de Oro Parte 1

MEDIDAS DE MANEJO AMBIENTAL MÍNIMAS EN LAS PLANTAS ARTESANALES DE BENEFICIO DE ORO						
IMPACTO	MEDIDA (S) MÍNIMA DE MANEJO EN LOS MOLINOS	TIPO DE MEDIDA DE MANEJO AMBIENTAL				BIBLIOGRAFIA
		PREVENCIÓN	MITIGACIÓN	CORRECCIÓN	COMPENSACIÓN	
PROCESO DE EXPLOTACIÓN DEL MINERAL EN MINAS DE ORO						
<b>Alteración de la turbiedad del agua</b>	Construcción de obras de contención, como trinchos permanentes, obras de protección mecánica como disipadores de energía		X			Guía minero ambiental de explotación, Ministerio de Minas y Energía y Ministerio del Medio Ambiente
<b>Contaminación ocasionada por la descarga de drenajes ácidos de mina o de roca</b>	Realizar drenajes, a través de la construcción de canales hechos en tierra o impermeabilizados, extrayendo el agua mediante bombeo y llevandola a tanques de neutralización, aplicando cal para neutralizar, medida de bajo costo y alta eficacia, aplicando esta técnica en cinco etapas de tratamiento: Homogenización, mezcla, aireación y disposición final del lodo de desecho			X		Guía minero ambiental de explotación, Ministerio de Minas y Energía y Ministerio del Medio Ambiente y libro minería limpia del ministerio de Minas
<b>Alteración de los procesos biológicos del agua</b>	Las dos medidas de manejo ambiental mencionadas con anterioridad			X		Guía minero ambiental de explotación, Ministerio de Minas y Energía y Ministerio del Medio Ambiente y libro minería limpia del ministerio de Minas

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 58: Medidas de Manejo Ambiental Mínimas en las Plantas Artesanales de Beneficio de Oro Parte 2

MEDIDAS DE MANEJO AMBIENTAL MINIMAS EN LAS PLANTAS ARTESANALES DE BENEFICIO DE ORO						
IMPACTO	MEDIDA (S) MINIMA DE MANEJO EN LOS MOLINOS	TIPO DE MEDIDA DE MANEJO AMBIENTAL				BIBLIOGRAFIA
		PREVENCION	MITIGACION	CORRECCION	COMPENSACION	
TRITURACION DEL MINERAL						
<b>Contaminación ocasionada por la escarga de drenajes ácidos de mina o de roca</b>	Realizar canales de drenaje perimetrales a la mina, realizar drenajes, a través de la construcción de canales hechos en tierra o impermeabilizados, extrayendo el agua mediante bombeo y llevandola a tanques de neutralización, aplicando cal para neutralizar, medida de bajo costo y alta eficacia, aplicando esta técnica en cinco etapas de tratamiento: Homogenización, mezcla, aireación y disposición final del lodo de desecho			X		Guía minero ambiental de explotación, Ministerio de Minas y Energía y Ministerio del Medio Ambiente
<b>Alteracion de los procesos biológicos del agua</b>	Realizar canales de drenaje perimetrales a la mina, realizar drenajes, a través de la construcción de canales hechos en tierra o impermeabilizados, extrayendo el agua mediante bombeo y llevandola a tanques de neutralización, aplicando cal para neutralizar, medida de bajo costo y alta eficacia, aplicando esta técnica en cinco etapas de tratamiento: Homogenización, mezcla, aireación y disposición final del lodo de desecho			X		Guía minero ambiental de beneficio y transformación, Ministerio de Minas y Energía y Ministerio del Medio Ambiente

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 59: Medidas de Manejo Ambiental Mínimas en las Plantas Artesanales de Beneficio de Oro Parte 3

MEDIDAS DE MANEJO AMBIENTAL MINIMAS EN LAS PLANTAS ARTESANALES DE BENEFICIO DE ORO						
IMPACTO	MEDIDA (S) MINIMA DE MANEJO EN LOS MOLINOS	TIPO DE MEDIDA DE MANEJO AMBIENTAL				BIBLIOGRAFIA
		PREVENCION	MITIGACION	CORRECCION	COMPENSACION	
MOLIENDA DEL MINERAL						
<b>Alteración de los procesos biológicos del agua</b>	Construcción de obras de contención, como trinchos permanentes, obras de protección mecánica como disipadores de energía		X			Guía minero ambiental de explotación, Ministerio de Minas y Energía y Ministerio del Medio Ambiente y libro minería limpia del ministerio de Minas

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 60: Medidas de Manejo Ambiental Mínimas en las Plantas Artesanales de Beneficio de Oro Parte 4

MEDIDAS DE MANEJO AMBIENTAL MINIMAS EN LAS PLANTAS ARTESANALES DE BENEFICIO DE ORO						
IMPACTO	MEDIDA (S) MINIMA DE MANEJO EN LOS MOLINOS	TIPO DE MEDIDA DE MANEJO AMBIENTAL				BIBLIOGRAFIA
		PREVENCION	MITIGACION	CORRECCION	COMPENSACION	
<b>CIANURACION Y PURIFICACION DEL MINERAL</b>						
Alteración de la temperatura del agua	Establecer tiempos de retención prolongados, con el fin de mermar la temperatura			X		Libro minería limpia del Ministerio de Minas
Alteración de la conductividad del agua	Establecer tiempos de retención prolongados, con el fin de mermar la temperatura			X		Libro minería limpia del Ministerio de Minas
Alteración del color del agua	Implementar tanques de decantación, lodos y estériles no deben ir a la fuente de agua, almacenarlos y disponerlos adecuadamente		X			Libro minería limpia del Ministerio de Minas
Alteración en el olor del agua	Implementar tanques de decantación y manejo de colas, mediante la separación en la mesa wifly, antes de realizar remolienda		X			Libro minería limpia del Ministerio de Minas
Alteración de la turbiedad del agua	Separación de colas y almacenamiento adecuado de las mismas		X			Libro minería limpia del Ministerio de Minas
Alteraciones en el sabor del agua	Implementar tanques de decantación, con tiempos de retención adecuados, manejando la acidez, los lodos y estériles no deben ir a la fuente de agua, almacenarlos y disponerlos adecuadamente		X			Libro minería limpia del Ministerio de Minas
Contaminación provocada por las descargas de virutas de zinc	Adicionar cal para manejar acidez en el agua			X		Libro minería limpia del Ministerio de Minas
Contaminación provocada por las descargas de residuos sólidos	Almacenamiento adecuado de residuos sólidos			X		Libro minería limpia del Ministerio de Minas
Incremento de los niveles de sólidos suspendidos totales provocado por las descargas de arenas, sobrantes de material excavado y lodos sobrantes	Implementar manejo de colas y almacenamiento adecuado de las mismas			X		Libro minería limpia del Ministerio de Minas
Contaminación por la descarga de Metales pesados	Implementar manejo de colas, mediante la separación en la mesa wifly antes de realizar remolienda, dosificar adecuadamente el cianuro, el mineral que sale de la cianuración debe ser neutralizado con peróxido de hidrógeno			X		Libro minería limpia del Ministerio de Minas
Alteración de los procesos biológicos del agua	Todas las medidas enunciadas anteriormente			X		Libro minería limpia del Ministerio de Minas

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 61: Medidas de Manejo Ambiental Mínimas en las Plantas Artesanales de Beneficio de Oro Parte 5

MEDIDAS DE MANEJO AMBIENTAL MINIMAS EN LAS PLANTAS ARTESANALES DE BENEFICIO DE ORO						
IMPACTO	MEDIDA (S) MINIMA DE MANEJO EN LOS MOLINOS	TIPO DE MEDIDA DE MANEJO AMBIENTAL				BIBLIOGRAFIA
		PREVENCION	MITIGACION	CORRECCION	COMPENSACION	
<b>SANEAMIENTO BASICO EN LOS MOLINOS</b>						
Alteración del color del agua	Alcantarillado, sistemas de tratamiento de aguas residuales			X		Guía minero ambiental de beneficio y transformación, Ministerio de Minas y Energía y Ministerio del Medio Ambiente
Alteración en el olor del agua	Alcantarillado, sistemas de tratamiento de aguas residuales			X		Guía minero ambiental de beneficio y transformación, Ministerio de Minas y Energía y Ministerio del Medio Ambiente
Alteración de la turbiedad del agua	Alcantarillado, sistemas de tratamiento de aguas residuales			X		Guía minero ambiental de beneficio y transformación, Ministerio de Minas y Energía y Ministerio del Medio Ambiente
Alteración en el sabor del agua	Alcantarillado, sistemas de tratamiento de aguas residuales			X		Guía minero ambiental de beneficio y transformación, Ministerio de Minas y Energía y Ministerio del Medio Ambiente
Contaminación provocada por las descargas de residuos sólidos	Almacenamiento adecuado de residuos sólidos			X		Guía minero ambiental de beneficio y transformación, Ministerio de Minas y Energía y Ministerio del Medio Ambiente
Contaminación por la descarga de Aguas residuales domésticas	Alcantarillado, sistemas de tratamiento de aguas residuales			X		Guía minero ambiental de beneficio y transformación, Ministerio de Minas y Energía y Ministerio del Medio Ambiente
Alteración de los procesos biológicos del agua	Alcantarillado, sistemas de tratamiento de aguas residuales			X		Guía minero ambiental de beneficio y transformación, Ministerio de Minas y Energía y Ministerio del Medio Ambiente
Contaminación del agua ocasionada por microorganismos patógenos	Alcantarillado, sistemas de tratamiento de aguas residuales			X		Guía minero ambiental de beneficio y transformación, Ministerio de Minas y Energía y Ministerio del Medio Ambiente

Fuente: Elaboración propia.

Martinez, 2010, afirma que en Colombia, como parte integral del Plan de Manejo Ambiental, se distinguen los siguientes tipos de medidas:

**Medidas de prevención:** Son las acciones encaminadas a evitar los impactos y efectos negativos que pueda generar un proyecto, obra o actividad sobre el medio ambiente (MAVDT, 2010). La prevención de los impactos no sólo evita que éstos se presenten sino que disminuye los costos ambientales que se pueden generar a futuro cuando sea necesario aplicar medidas correctoras.

**Medidas de mitigación:** Son las acciones dirigidas a minimizar los impactos negativos de un proyecto, obra o actividad sobre el ambiente (MAVDT, 2010).

Este tipo de medidas representan un segundo orden de prioridad para los casos en los cuales el impacto no admita medidas de prevención.

**Medidas de corrección:** Son las acciones dirigidas a recuperar, restaurar o reparar las condiciones del factor afectado por el proyecto (MAVDT, 2010).

**Medidas de compensación:** Son las acciones dirigidas a resarcir y retribuir a las comunidades, las regiones, localidades y al entorno natural por los impactos o efectos negativos generados por un proyecto, obra o actividad, que no puedan ser evitados, corregidos, mitigados o sustituidos (MAVDT, 2010).

Teniendo como referencia la información anterior, se determina el nivel de recuperabilidad en función de la calidad del agua de la quebrada cascabel, considerando que la aplicación de las medidas de manejo mínimas expuestas en las tablas 57,58,59,60 y 61 frente a la aparición de los impactos ambientales provocados por la actividad minera.

El nivel de recuperabilidad, según la metodología de Renson, 2010, se determina mediante los atributos de tiempo de la recuperación y eficiencia de la medida de manejo, atributos que serán explicados a continuación:

## Eficacia de la medida de manejo

Según Martínez, 2010; La eficacia de la medida de manejo permite establecer la capacidad que tiene la medida implementada para lograr disminuir el nivel de afectación que se causará o que se ha causado sobre un recurso natural; por cada impacto provocado por la actividad minera. Para determinar los valores, se tuvo en cuenta la bibliografía consultada en las tablas 57, 58, 59, 60 y 61 y el siguiente sistema de clasificación.

Tabla 62: Calificación Propuesta por Renson, 2010 para la Eficiencia de la Medida de Manejo Ambiental.

<b>CLASIFICACION PROPUESTA PARA LA EFICIENCIA DE LA MEDIDA DE MANEJO</b>		
<b>CATEGORIA CUALITATIVA</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>VALOR CUANTITATIVO</b>
Nula	Cuando la eficacia de la medida es nula, no se evidencia recuperación del factor ambiental afectado. Se aplica para las medidas de compensación.	0
Baja	Cuando la eficacia de la medida de manejo sea menor a 30%	1
Media	Cuando la eficacia de la medida de manejo se encuentre en el rango de 30% a 60%	5
Alta	Cuando el porcentaje de eficacia de la medida de manejo se encuentre en el rango de 61% a 80%	10
Muy alta	Cuando el porcentaje de eficacia de la medida de manejo sea mayor a 80%.	15

Fuente: (Renson, 2010)

Es importante resaltar que no se determinó ninguna medida de manejo ambiental con carácter de prevención, debido que todos los impactos identificados en el presente estudio, son provocados por de la actividad minera realizada de las plantas de beneficio de oro. Es decir que las medidas de manejo mínimas citadas en las tablas 57, 58, 59,60 y 61, se considerarían medidas encaminadas a minimizar, recuperar o restaurar los impactos mas no a evitarlos debido que actualmente se están afectando la calidad del agua de la quebrada cascabel.

### **Tiempo de recuperación**

Hace relación al tiempo que tardará en recuperarse el factor ambiental, a partir del momento en que se aplican las medidas de manejo. En este atributo se consideró el tipo de medida de manejo ambiental a aplicar según las tablas 57, 58, 59,60 y 61.

Al implementar medidas preventivas y de mitigación eficaces, el tiempo de recuperación del factor ambiental tenderá a ser inmediato porque el impacto se ha prevenido o manejado de manera pertinente. Por su parte, la aplicación de medidas de corrección puede conducir a períodos de tiempos más largos que se relacionan con la severidad del daño causado y la vulnerabilidad ambiental del factor y las medidas compensatorias no tienen como fin la recuperación del factor ambiental, sino indemnizar a la comunidad por los daños generados. (Martinez, 2010)

Tabla 63: Clasificación Propuesta para la Valoración del Tiempo de Recuperación.

CLASIFICACION PROPUESTA PARA LA VALORACION DEL TIEMPO DE RECUPERACION DEL IMPACTO		
CATEGORIA CUALITATIVA	DESCRIPCION	VALOR CUANTITATIVO
Largo plazo	Una vez se inicia la aplicación de la medida de manejo, el tiempo de recuperación es de muy largo plazo, superior a 10 años.	1
Recuperable a Mediano Plazo	Una vez se inicia la aplicación de la medida de manejo, el tiempo de recuperación del factor es menor a diez años.	3
Recuperabilidad a Corto plazo	Una vez se inicia la aplicación de la medida de manejo, el tiempo de recuperación del factor es menor a un año.	5
Inmediato	Una vez se aplica la medida de manejo, el factor ambiental retorna a las condiciones iniciales de forma inmediata.	7

Fuente: (Renson, 2010)

Los resultados obtenidos para determinar la importancia de la recuperabilidad ambiental, en función de la calidad del agua de la quebrada cascabel, fueron alcanzados mediante la metodología de Renson Martinez, 2010 que aplica la siguiente fórmula:

$$I_{RB} = (TR + E)$$

Dónde:

$I_{RB}$ , representa la importancia de la recuperabilidad ambiental del factor en función de la calidad ambiental.

E, representa la eficacia de la medida de manejo aplicada

TR, representa el tiempo de recuperación del impacto

Una vez se obtiene el cálculo de la importancia con la ecuación de recuperabilidad, ésta debe ser normalizada para obtener valores entre 0 y 1, que permitan determinar el nivel de importancia de cada impacto en una escala más adecuada.

$$I_{(RB)} = + (I_{(RB)} - \text{Mínimo}) / (\text{Máximo} - \text{Mínimo}) * 100$$

Donde;

*Mínimo* = 1

*Máximo* = 22

Finalmente, de acuerdo al valor obtenido en el cálculo de la importancia de la recuperabilidad, se implementa la siguiente clasificación propuesta por Renson.

Tabla 64: Clasificación Propuesta por Renson para la Importancia de la Recuperabilidad.

RANGO DE IMPORTANCIA DE LA RECUPERABILIDAD (IRB)	VALORACION IRB	SIGNIFICADO PARA LA EIA
≤ 0,35	Baja	La importancia de la recuperabilidad del factor en relación al mejoramiento de la calidad ambiental es baja.
>0,35<0,60	Media	La importancia de la recuperabilidad del factor en relación al mejoramiento de la calidad ambiental es media.
≥0,60<0,80	Alta	La importancia de la recuperabilidad del factor en relación al mejoramiento de la calidad ambiental es alta.
≥0,80	Muy alta	La importancia de la recuperabilidad del factor en relación al mejoramiento de la calidad ambiental es muy alta.

Fuente: (Renson, 2010)

Para finalizar, se determina la importancia neta que consiste en la diferencia entre la importancia sin medidas de manejo ambiental y la importancia del impacto con medidas de manejo ambiental de cada uno de los impactos ocasionados por las actividades mineras de los molinos de oro ubicados en el área de influencia de la quebrada cascabel. Para la determinación se aplicó la siguiente ecuación inspirada por (Renson, 2010)

$$I_{NETO} = (I(CA)N - (I(CA)N * IRB(N)))$$

Donde;

$I_{NETA}$ , representa la importancia neta después de aplicar las medidas de manejo ambiental

$I(RB)N$ , representa la importancia normalizada de la recuperabilidad ambiental del factor en función de la calidad ambiental.

$I(CA)N$ , Importancia normalizada del impacto en función de la calidad ambiental sin medidas de manejo.

Los resultados fueron evaluados bajo la siguiente clasificación:

RANGO DE LA I (NETA)	VALORACION IRB	SIGNIFICADO PARA LA EIA
≤ 25	Irrelevante	El impacto residual después de aplicadas las medidas de manejo ambiental presenta una intensidad muy baja sobre el factor y no se constituye en un riesgo significativo para la pérdida de calidad ambiental.
>25<50	Moderado	El impacto residual después de aplicadas las medidas de manejo ambiental presenta una intensidad media sobre el factor que obliga a considerar nuevas medidas de manejo ambiental para el manejo de los impactos
≥50<75	Severo	El impacto residual después de aplicadas las medidas de manejo ambiental presenta una intensidad alta sobre el factor que obliga a considerar nuevas alternativas para la ejecución de las acciones previstas.
≥75	Crítico	El impacto residual después de aplicadas las medidas de manejo ambiental presenta una intensidad muy alta sobre el factor que obliga a considerar nuevas alternativas para la ejecución de las acciones previstas o rechazo final del proyecto.

Fuente: (Martinez, 2010)

A continuación se relacionan la valoración de los impactos causados por las actividades mineras de las plantas artesanales de beneficio de oro teniendo en cuenta dos escenarios; sin medidas de manejo ambiental y considerando la implementación de medidas mínimas para mejorar la calidad ambiental de la quebrada Cascabel.

Tabla 65: Resultados de la Valoración de Impactos Ambientales con y sin Medidas de Manejo Ambiental. Parte 1

EXPLOTACION DEL MINERAL EN MINAS DE ORO														
IMPACTOS OCASIONADOS POR LA ACTIVIDAD MINERA ARTESANAL A LA QUEBRADA CASCABEL	Carácter	Intensidad	Extensión	Sinergia	Acumulación	Periodicidad	Reversibilidad	Tiempo de recuperación del impacto	Eficiencia de la medida de manejo	$I_{(CA)}$	$I_{(CA)N}$	$I_{RB}$	$I_{RB(N)}$	$I_{NETO(N)}$
Alteración de la turbiedad del agua	■	7	2	2	2	3	7	3	1	23	79	4	0,14	68
Contaminación ocasionada por la descarga de drenajes ácidos de mina o de roca	■	7	3	2	2	3	7	3	10	24	83	13	0,57	36
Alteración de los procesos biológicos del agua	■	7	3	2	2	3	7	3	5	24	83	8	0,33	56

Fuente: Elaboración propia

En relación a los datos obtenidos de la valoración de impactos ambientales con y sin medidas de manejo ambiental para la etapa de explotación del mineral, se deduce lo siguiente:

**Importancia normalizada en función de la calidad ambiental por los impactos ambientales ocasionados en la explotación del mineral.**

Los impactos ambientales generados en la etapa de explotación del mineral, según la metodología empleada se consideran críticos, significando ello, la generación de daños y/o afectaciones muy severos sobre la quebrada Cascabel y requiere de aplicaciones inmediatas de medidas de manejo intensivas para su recuperación.

### **Importancia normalizada de la recuperabilidad ambiental del factor en función de la calidad ambiental.**

El valor obtenido en el factor alteración turbiedad en el agua, fue 0.14, lo cual significa que la importancia de la recuperabilidad en este factor, relacionándolo al mejoramiento de la calidad ambiental, es baja, implementando la medida de manejo ambiental tendría un tiempo de recuperación de mediano plazo, con una eficacia inferior al 30%, es decir baja.

El valor obtenido en el factor contaminación ocasionada por la descarga de drenajes ácidos de mina o roca, arrojo como resultado 0.57, mostrando que la importancia de la recuperabilidad en este factor, relacionándolo al mejoramiento de la calidad ambiental, es alta, con un tiempo de recuperabilidad a mediano plazo y con eficacia del 61% al 80%, siendo alta.

El valor obtenido en el factor contaminación ocasionada por la descarga de drenajes ácidos de mina o roca, arrojo como resultado 0.33, dato manifestado en la importancia de la recuperabilidad en este factor, relacionándolo al mejoramiento de la calidad ambiental, como bajo, con un tiempo de recuperabilidad a mediano plazo y una eficiencia media, en un rango entre 30 y el 60%.

## **Importancia neta**

La importancia después de aplicar las medidas de manejo en el impacto alteración de la turbiedad del agua, en la etapa de explotación del mineral, dio un valor de 68, queriendo decir que el impacto residual después de aplicadas las medidas de manejo ambiental presentan una intensidad severa sobre el factor afectado, es decir se deben considerar nuevas alternativas de manejo ambiental.

Para el impacto ambiental contaminación ocasionada por la descarga de drenajes ácidos de mina o roca, el resultado fue 36, dato que muestra, que el impacto residual después de aplicadas las medidas de manejo ambiental presentan una intensidad moderado, traduciéndose en que la aplicación de las medidas ambientales para este efecto deja una intensidad media sobre la quebrada Cascabel, manifestándose en buscar nuevas medidas de manejo ambiental.

La importancia después de aplicar las medidas de manejo en el impacto alteración de los procesos biológicos, en la etapa de explotación del mineral, dio un valor de 56, queriendo decir que el impacto residual después de aplicadas las medidas de manejo ambiental presentan una intensidad severa sobre el factor afectado, es decir que se deben considerar nuevas alternativas de manejo ambiental.

Tabla 66: Resultados de la Valoración de Impactos Ambientales con y sin Medidas de Manejo Ambiental. Parte 2

TRITURACION DEL MINERAL														
IMPACTOS OCASIONADOS POR LA ACTIVIDAD MINERA ARTESANAL A LA QUEBRADA CASCABEL	Carácter	Intensidad	Extensión	Sinergia	Acumulación	Periodicidad	Reversibilidad	Tiempo de recuperación del impacto	Eficiencia de la medida de manejo	$I_{(CA)}$	$I_{(CA)N}$	$I_{RB}$	$I_{RB(N)}$	$I_{NETO(N)}$
Contaminación ocasionada por la descarga de drenajes ácidos de mina o de roca	-	7	3	2	2	5	7	3	10	26	92	13	0,57	39
Alteración de los procesos biológicos del agua	-	7	3	2	2	5	7	3	10	26	92	13	0,57	39

Fuente: Elaboración Propia

En relación a los datos obtenidos de la valoración de impactos ambientales con y sin medidas de manejo ambiental para la etapa de trituración del mineral, se infiere lo siguiente:

**Importancia normalizada en función de la calidad ambiental por los impactos ambientales ocasionados en la trituración del mineral.**

Los impactos ambientales contaminación ocasionada por la descarga de drenajes ácidos de mina o de roca y la alteración de los procesos biológicos, generados en la etapa de trituración del mineral, según la metodología empleada, se consideran críticos, significando ello, la generación de afectaciones muy severas sobre la calidad del agua de la quebrada Cascabel y requiere de aplicaciones inmediatas de medidas de manejo intensivas para su recuperación.

### **Importancia normalizada de la recuperabilidad ambiental del factor en función de la calidad ambiental.**

El valor obtenido en los impactos contaminación ocasionada por la descarga de drenajes ácidos de mina o de roca y alteración de los procesos biológicos del agua, durante la etapa de trituración del mineral, fue 0.57, lo cual significa que la importancia de la recuperabilidad en este factor, relacionándolo al mejoramiento de la calidad ambiental, es media, implementando la medida de manejo ambiental tendría un tiempo de recuperación de mediano plazo, con una eficacia Alta, en un porcentaje que oscila entre el 61% y 80%.

### **Importancia neta**

La importancia ambiental, después de aplicar las medidas de manejo en los impactos contaminación ocasionada por la descarga de drenajes ácidos de mina o de roca y alteración de los procesos biológicos del agua, dio como resultado 39, queriendo decir que el impacto residual moderado sobre el factor afectado, es decir la quebrada Cascabel y se deben considerar nuevas medidas de manejo ambiental.

Tabla 67: Resultados de la Valoración de Impactos Ambientales con y sin Medidas de Manejo Ambiental. Parte 3

MOLIENDA DEL MINERAL														
IMPACTOS OCASIONADOS POR LA ACTIVIDAD MINERA ARTESANAL A LA QUEBRADA CASCABEL	Carácter	Intensidad	Extensión	Sinergia	Acumulación	Periodicidad	Reversibilidad	Tiempo de recuperación del impacto	Eficiencia de la medida de manejo	$I_{(CA)}$	$I_{(CA)N}$	$I_{RB}$	$I_{RB(N)}$	$I_{NETO(N)}$
Alteración de los procesos biológicos del agua	-	5	3	2	2	5	7	5	10	24	83	15	0,67	28

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a los resultados obtenidos de la tabla anterior se deduce lo siguiente:

**Importancia normalizada en función de la calidad ambiental por los impactos ambientales ocasionados en la molienda del mineral**

El impacto ambiental alteración de los procesos biológicos del agua, en la etapa de la molienda, según la metodología empleada, se considera crítico, significando ello, la generación de afectaciones muy severas sobre la calidad del agua de la quebrada Cascabel y requiere de aplicaciones inmediatas de medidas de manejo intensivas para su recuperación.

### **Importancia normalizada de la recuperabilidad ambiental del factor en función de la calidad ambiental.**

El valor obtenido en el impacto alteración de los procesos biológicos del agua, durante la etapa molienda del mineral, fue 0.67, lo cual significa que la importancia de la recuperabilidad en este factor, relacionándolo al mejoramiento de la calidad ambiental, es alta, implementando las medidas de manejo ambiental tendría un tiempo de recuperación de corto plazo, con una eficacia alta, en un porcentaje que oscila entre el 61% y 80%.

- **Importancia neta**

La importancia ambiental, después de aplicar las medidas de manejo en el impacto alteración de los procesos biológicos del agua, dio como resultado 28, traducándose en moderado, obligando a considerarse unas nuevas medidas de manejo ambiental.

Tabla 68: Resultados de la Valoración de Impactos Ambientales con y sin Medidas de Manejo Ambiental. Parte 4

CIANURACION Y PURIFICACION DEL MINERAL														
IMPACTOS OCASIONADOS POR LA ACTIVIDAD MINERA ARTESANAL A LA QUEBRADA CASCABEL	Carácter	Intensidad	Extensión	Sinergia	Acumulación	Periodicidad	Reversibilidad	Tiempo de recuperación del impacto	Eficiencia de la medida de manejo	I <sub>(CA)</sub>	I <sub>(CA)N</sub>	I <sub>RB</sub>	I <sub>RB(N)</sub>	I <sub>NETO(N)</sub>
Alteración de la temperatura del agua	-	5	3	2	2	5	7	5	10	24	83	15	0,67	28
Alteración de la conductividad del agua	-	7	3	2	2	5	7	5	5	26	92	10	0,43	52
Alteración del color del agua	-	7	3	2	2	5	7	3	5	26	92	8	0,33	61
Alteración en el olor del agua	-	7	2	2	2	5	7	5	5	25	88	10	0,43	50
Alteración de la turbiedad del agua	-	7	3	2	2	5	7	3	5	26	92	8	0,33	61
Alteraciones en el sabor del agua	-	7	3	2	2	5	7	3	5	26	92	8	0,33	61
Contaminación provocada por las descargas de virutas de zinc	-	6	3	2	2	5	7	7	10	25	88	17	0,76	21
Contaminación provocada por las descargas de residuos sólidos	-	5	2	2	2	5	7	7	10	23	79	17	0,76	19
Incremento de los niveles de sólidos suspendidos totales provocado por las descargas de arenas, sobrantes de material excavado y lodos sobrantes	-	7	3	2	2	5	7	3	10	26	92	13	0,57	39
Contaminación por la descarga de Metales pesados	-	7	4	2	2	5	7	1	10	27	96	11	0,48	50
Alteración de los procesos biológicos del agua	-	7	4	2	2	5	7	5	10	27	96	15	0,67	32

Fuente: Autor

De acuerdo a los resultados obtenidos de la tabla anterior se deduce lo siguiente:

**Importancia normalizada en función de la calidad ambiental por los impactos ambientales ocasionados en la cianuración y purificación del mineral**

Los impactos ambientales: Alteración de la temperatura del agua, alteración de la conductividad del agua, alteración del color del agua, alteración del olor del agua, alteración de la turbiedad del agua, alteración en el sabor del agua, contaminación provocada por las descargas de virutas de zinc, contaminación provocadas por las descargas de residuos sólidos, incremento de los niveles de los sólidos suspendidos totales provocados por las descargas de arenas, sobrantes de material de excavados y lodos sobrantes, contaminación por la descarga de metales pesados, alteración de los procesos biológicos del agua, según los valores obtenidos son críticos, generando daños muy severos en la calidad del agua de la quebrada Cascabel, traduciéndose en que se requiere de la aplicación inmediata de medidas de manejo ambiental intensivas para la recuperación.

**Importancia normalizada de la recuperabilidad ambiental del factor en función de la calidad ambiental.**

El impacto alteración de la temperatura del agua, dio como resultado 0.67, traduciéndose la importancia de la recuperabilidad en este factor, relacionándolo al mejoramiento de la calidad ambiental, es alta, implementando las medidas de manejo ambiental tendría un tiempo de recuperación de corto plazo, es decir menor a 1 año, con una eficacia alta, en un porcentaje que oscila entre el 61% y 80%.

El impacto alteración de la conductividad del agua, en la valoración, obtuvo un puntaje de 0.43 traduciéndose la importancia de la recuperabilidad en este factor; al ser relacionado con los valores para determinar el mejoramiento de la calidad ambiental, es clasificado como media, traduciendo que una vez implementadas las medidas de manejo ambiental tendría un tiempo de recuperación de corto plazo, es decir menor a 1 año, con una eficacia media, en un porcentaje que oscila entre el 30% y 60%.

El impacto alteración del color del agua, procuro un resultado de 0.33, significando la importancia de recuperabilidad baja en este factor, frente al mejoramiento de la calidad ambiental, es decir que una vez implementadas las medidas de manejo ambiental, el tiempo de recuperación es a mediano plazo, es decir menor a 10 años, con una eficacia media, en un porcentaje que oscila entre el 30% y 60%.

El impacto alteración del olor del agua, señalo un resultado de 0.43, reflejándose la recuperabilidad del recurso hídrico, con miras al mejoramiento del mismo, es media y implementando las medidas de manejo ambiental tendría un tiempo de recuperación de corto plazo, lo que es lo mismo, inferior a 1 año, con una eficacia media, en un porcentaje que oscila entre el 30% y 60%.

El valor obtenido del impacto alteración de la turbiedad del agua, fue 0.33, significando que la importancia de la recuperabilidad en este factor, relacionándolo al mejoramiento de la calidad ambiental, es media, implementando las medidas de manejo ambiental tendría un tiempo de recuperación de corto plazo, es decir menor a 1 año, con una eficacia media, en un porcentaje que oscila entre el 30% y 60%.

El valor obtenido del impacto sabor del agua, fue 0.33, indicando que para mejorar este factor, la importancia de la recuperabilidad es media, implementando las medidas de manejo ambiental tendría un tiempo de recuperación de corto plazo, es decir menor a 1 año, con una eficacia media, en un porcentaje que oscila entre el 30% y 60%.

El impacto contaminación provocada por la descarga de virutas de zinc, obtuvo un valor de 0.76, resultado que indica que la importancia de recuperación es alto, y una vez implementadas las medidas de manejo ambiental tendría un tiempo de recuperación inmediato, con eficacia alta, en un porcentaje que oscila entre el 61% y 80%.

El impacto contaminación provocada por la descarga de residuos sólidos, otorgó un resultado de 0.76, dígitos traducidos en la alta importancia de recuperar este factor, encaminado al mejoramiento de la calidad ambiental, a través del establecimiento de prácticas de manejo ambiental, cuyo tiempo de recuperación será inmediato, con eficacia alta, en un porcentaje que oscila entre el 61% y 80%.

Frente al impacto contaminación por el incremento de los niveles de los sólidos suspendidos totales provocados por las descargas de arenas, sobrantes de material de excavados y lodos sobrantes, se obtuvo un resultado de 0.57, expresando que la importancia de trabajar en actividades de recuperación, es a mediano plazo, es decir menor a 10 años, con eficacia alta, en un porcentaje que oscila entre el 61% y 80%.

La importancia de recuperabilidad por el impacto contaminación por la descarga de metales pesados fue 0.48, significando que en relación al mejoramiento de la calidad ambiental, es media y una vez implementadas las medidas de manejo ambiental tendría un

tiempo de recuperación de largo plazo, lo que representa que una vez, se inicia la aplicación de la medida de manejo, el tiempo de recuperación es superior a los 10 años, con eficacia alta, en un porcentaje que oscila entre el 61% y 80%.

El valor obtenido del impacto alteración de los procesos biológicos del agua fue 0.67, significando que la importancia de la recuperabilidad en este factor, relacionándolo al mejoramiento de la calidad ambiental, es alta, implementando las medidas de manejo ambiental tendría un tiempo de recuperación de corto plazo, es decir menor a 1 año, con una eficacia alta, en un porcentaje que oscila entre el 61% y 80%.

- **Importancia neta**

La importancia neta, después de aplicar las medidas de manejo, se muestran a continuación para cada uno de los impactos:

La alteración de la temperatura del agua, dio como resultado un valor de 28 en relación a la importancia neta del impacto, otorgándole una valoración moderada, traduciéndose según la metodología de (Martinez, 2010) en el siguiente resultado:

Se considera como un impacto residual, “después de aplicadas las medidas de manejo ambiental, presenta una intensidad media sobre el factor que obliga a considerar nuevas medidas de manejo ambiental para el manejo de los impactos.” (Martinez, 2010)

La alteración de la conductividad del agua, obtuvo como importancia neta un valor de 52, valoración denominada como severa según la metodología de (Martinez, 2010), explicando que el impacto residual después de aplicadas las medidas de manejo ambiental,

presenta una intensidad alta, sobre la calidad del agua de la quebrada Cascabel, lo que obliga a considerar nuevas alternativas para la ejecución de las acciones previstas.

La alteración del color del agua, obtuvo como importancia neta un valor de 61, valoración denominada severa, traduciendo que el impacto residual después de aplicadas las medidas de manejo ambiental, presenta una intensidad alta, sobre la calidad del agua de la quebrada Cascabel, lo que obliga a considerar nuevas alternativas para la ejecución de las acciones previstas.

Alteración del olor del agua, obtuvo como importancia neta un valor de 50, valoración denominada severa, traduciendo que el impacto residual después de aplicadas las medidas de manejo ambiental, presenta una intensidad alta, sobre la calidad del agua de la quebrada Cascabel, lo que obliga a considerar nuevas alternativas para la ejecución de las acciones previstas.

Alteración de la turbiedad del agua, obtuvo como resultado un valor representado en 61, valoración denominada severa, traduciendo que el impacto residual después de aplicadas las medidas de manejo ambiental, presenta una intensidad alta, sobre la calidad del agua de la quebrada Cascabel, lo que obliga a considerar nuevas alternativas para la ejecución de las acciones previstas.

Alteración en el sabor del agua, obtuvo como resultado un valor representado en 61, valoración denominada severa, traduciendo que el impacto residual después de aplicadas las medidas de manejo ambiental, presenta una intensidad alta, sobre la calidad del agua de

la quebrada Cascabel, lo que obliga a considerar nuevas alternativas para la ejecución de las acciones previstas.

Contaminación provocada por las descargas de virutas de zinc, resultado expresado en 21, cuya valoración se clasifica como irrelevante, queriendo decir que el impacto residual después de aplicadas las medidas de manejo ambiental, presenta una intensidad muy baja sobre la calidad del agua de la quebrada Cascabel y no se constituye en un riesgo significativo para la pérdida de la calidad ambiental.

Contaminación provocada por las descargas de residuos sólidos, resultado expresado en 19, cuya valoración se clasifica como irrelevante, queriendo decir que el impacto residual después de aplicadas las medidas de manejo ambiental, presenta una intensidad muy baja sobre la calidad del agua de la quebrada Cascabel y no se constituye en un riesgo significativo para la pérdida de la calidad ambiental.

Incremento de los niveles de los sólidos suspendidos totales provocados por las descargas de arenas, sobrantes de material de excavados y lodos sobrantes, obtuvo como resultado un valor representado en 39, valoración denominada moderada, concluyendo que el impacto residual después de aplicadas las medidas de manejo ambiental presenta una intensidad media sobre el factor que obliga a considerar nuevas medidas de manejo ambiental.

Contaminación por la descarga de metales pesados, alteración de los procesos biológicos del agua, resultado expresado en 50, cuya valoración se clasifica como severo, queriendo decir que el impacto residual después de aplicadas las medidas de manejo

ambiental presenta una intensidad alta sobre el factor que obliga a considerar nuevas alternativas para la ejecución de las acciones previstas.

Alteración de los procesos biológicos del agua, dio como resultado 28, resultado expresado en 32, cuya valoración se clasifica como moderado, concluyendo que el impacto residual después de aplicadas las medidas de manejo ambiental presenta una intensidad media sobre el factor que obliga a considerar nuevas medidas de manejo ambiental.

Tabla 69: Resultados de la Valoración de Impactos Ambientales con y sin Medidas de Manejo Ambiental. Parte 5

SANEAMIENTO BASICO EN LOS MOLINOS														
IMPACTOS OCASIONADOS POR LA ACTIVIDAD MINERA ARTESANAL A LA QUEBRADA CASCABEL	Carácter	Intensidad	Extensión	Sinergia	Acumulación	Periodicidad	Reversibilidad	Tiempo de recuperación del impacto	Eficiencia de la medida de manejo	$I_{(CA)}$	$I_{(CA)N}$	$I_{RB}$	$I_{RB(N)}$	$I_{NETO(N)}$
Alteración del color del agua	-	5	2	2	2	5	7	5	10	23	79	15	0,67	26
Alteración en el olor del agua	-	5	2	2	2	5	7	5	10	23	79	15	0,67	26
Alteración de la turbiedad del agua	-	5	2	2	2	5	7	5	10	23	79	15	0,67	26
Alteración en el sabor del agua	-	5	3	2	2	5	7	5	10	24	83	15	0,67	28
Contaminación provocada por las descargas de residuos sólidos	-	5	2	2	2	5	7	7	15	23	79	22	1,00	0
Contaminación por la descarga de aguas residuales domésticas	-	7	3	2	2	5	7	7	10	26	92	17	0,76	22
Alteración de los procesos biológicos del agua	-	6	3	2	2	5	7	3	10	25	88	13	0,57	38
Contaminación del agua ocasionada por microorganismos patógenos		6	3	2	2	5	7	5	10	25	88	15	0,67	29

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados obtenidos de la tabla anterior se deduce lo siguiente:

**Importancia normalizada en función de la calidad ambiental por los impactos ambientales ocasionados en el saneamiento básico de los molinos**

Los impactos ambientales: Alteración del color del agua, alteración en el olor del agua, alteración de la turbiedad del agua, alteración en el sabor del agua, contaminación provocada por la descarga de los residuos sólidos, contaminación por la descarga de aguas residuales domésticas, alteración de los procesos biológicos del agua, contaminación del agua ocasionada por microorganismos patógenos, tienen una importancia normalizada como críticos, generando daños muy severos en el factor y requiere de la aplicación inmediata de medidas de manejo intensivas para su recuperación.

**Importancia normalizada de la recuperabilidad ambiental del factor en función de la calidad ambiental.**

Los impactos Alteración del color del agua, alteración en el olor del agua, alteración de la turbiedad del agua, alteración en el sabor del agua, dieron como resultado 0,67, traduciéndose la importancia de la recuperabilidad en este factor, relacionándolo al mejoramiento de la calidad ambiental, es alta, implementando las medidas de manejo ambiental tendría un tiempo de recuperación de corto plazo, es decir menor a 1 año, con una eficacia alta, en un porcentaje que oscila entre el 61% y 80%.

El impacto ambiental contaminación provocada por la descarga de residuos sólidos, dio como resultado un valor de 1.0, traduciéndose la importancia de la recuperabilidad en este factor, relacionándolo al mejoramiento de la calidad ambiental, es muy alta, implementando las medidas de manejo ambiental tendría un tiempo de recuperación inmediato, con una eficacia muy alta, en un porcentaje mayor al 80%.

El impacto ambiental contaminación por la descarga de aguas residuales domésticas, dio como resultado un valor de 0,76, traduciéndose la importancia de la recuperabilidad en este factor, relacionándolo al mejoramiento de la calidad ambiental, es muy alta, implementando las medidas de manejo ambiental tendría un tiempo de recuperación inmediato, con una eficacia alta, en un porcentaje que oscila entre el 61% y 80%.

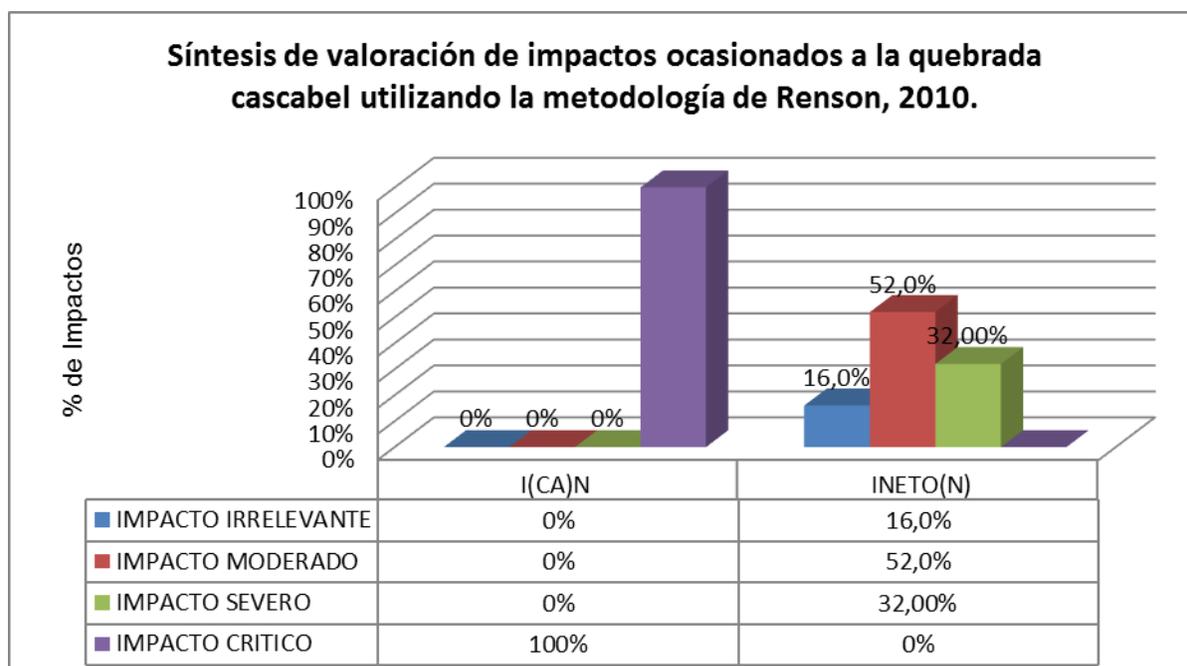
El impacto alteración de los procesos biológicos del agua, dio como resultado 0.57, traduciéndose la importancia de la recuperabilidad en este factor, relacionándolo al mejoramiento de la calidad ambiental, es media, lo que una vez inicie la aplicación de la medida de manejo, el tiempo de recuperación de la quebrada cascabel, será menor a diez años.

El impacto contaminación del agua generada por microorganismos patógenos, en la valoración, obtuvo un puntaje de 0.67 traduciéndose la importancia de la recuperabilidad en este factor, relacionándolo al mejoramiento de la calidad ambiental, es alta, implementando las medidas de manejo ambiental tendría un tiempo de recuperación de corto plazo, es decir menor a 1 año, con una eficacia alta, en un porcentaje que oscila entre el 61% y 80%.

## Importancia neta

La importancia neta, después de aplicar las medidas de manejo, para todos los impactos presentados por saneamiento básico en todos los molinos, es moderado, traduciendo, que los impactos residuales después de aplicadas las medidas de manejo ambiental, presentan una intensidad media, sobre la alteración de la calidad del agua de la quebrada Cascabel, obligando a considerar nuevas medidas de manejo ambiental para tratar los impactos.

Pese que las medidas de manejo aplicadas no son lo suficientemente efectivas para eliminar los impactos ocasionados a la quebrada Cascabel, la siguiente grafica demuestra que la implementación de medidas mínimas de manejo ambiental, provocarían la eliminación total de impactos críticos ocasionados a esta fuente hídrica.



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico No. 41. Síntesis de valoración de impactos ocasionados a la quebrada cascabel utilizando la metodología de Renson, 2010.

## CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en la valoración y ponderación de los impactos ambientales, generados sobre la calidad de agua de la quebrada Cascabel, se concluye que si en los molinos se implementarán las mínimas medidas para el manejo de los impactos, estas no serían suficientes, determinándose que en la minería artesanal se requiere tecnologías de punta que minimicen los efectos negativos sobre la calidad del recurso hídrico, sin embargo estas acciones reducirían la continuidad de impactos críticos generados a la calidad del agua del área de estudio.

Los impactos ambientales identificados y valorados en esta investigación, coinciden en la alteración de los procesos biológicos al recurso hídrico, limitando la posibilidad del aprovechamiento del mismo en el tramo analizado; esta afirmación se fundamenta al comparar los límites admisibles de la norma y los resultados obtenidos en los análisis microbiológicos y físico químicos.

Los impactos ambientales más representativos sobre la alteración de la calidad del agua de la quebrada Cascabel, se encontraron en la etapa de cianuración y purificación del mineral, marcando esta tendencia que las medidas de manejo ambiental que se implementen deben estar enfocadas a la recuperación del cianuro empleado como materia prima.

De los 26 impactos ambientales evaluados, el 100% de ellos, dio como resultado una importancia ambiental crítica considerando el verdadero escenario del área de estudio, es decir que el efecto sobre la alteración de la calidad del agua de la quebrada Cascabel, es demasiado grave.

El 32%, de los impactos ambientales evaluados, dio una calificación de importancia ambiental neta severa, es decir, el impacto residual después de aplicadas las medidas de manejo ambiental supuestas, presentan una intensidad alta, sobre la calidad del agua de la quebrada Cascabel, obligando a considerar la implementación de nuevas medidas de manejo ambiental.

El análisis de la información contemplo exclusivamente la posibilidad de implementar medidas de manejo ambiental de mitigación y corrección encaminadas a minimizar, recuperar o restaurar los impactos que actualmente afectan la calidad del agua de la quebrada cascabel.

La actividad económica principal del municipio de Marmato, está representada por la minería aurífera, razón por la cual se percibió gran dificultad a la hora de identificar la población a compensar por la afectación de la calidad del agua de la quebrada cascabel.

Después de conocer los resultados que determinan la importancia de la recuperabilidad de la calidad del agua, se puede deducir la relevante importancia de establecer medidas de manejo ambiental en la etapa de explotación del mineral.

Los impactos ambientales generados en la etapa de explotación del mineral, según la metodología empleada se consideran críticos, significando ello, la generación de daños y/o afectaciones muy severos sobre la quebrada Cascabel y requiere de aplicaciones inmediatas de medidas de manejo intensivas para su recuperación.

A pesar que las medidas de manejo sugeridas en el presente documento para mejorar la calidad ambiental del recurso hídrico, no son lo suficientemente efectivas para eliminar los impactos ocasionados a la quebrada cascabel, la implementación de los mismos sería un buen inicio para reducir los efectos que ocasionan impactos críticos a l fuente.

## RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta que existen estudios relacionados con la alteración de la calidad del agua de la Quebrada Cascabel en el municipio de Marmato, por actividad aurífera, es importante que la autoridad ambiental y el ente territorial los tomen como insumo para la ejecución de proyectos que minimicen los efectos negativos generados.

Toda obra, proyecto o actividad que se pretenda ejecutar en miras de prevención, control, minimización y/o compensación, por la alteración causada a la calidad del agua de la Quebrada Cascabel por la actividad minera en el municipio de Marmato, debe ir acompañado de un proceso de educación que garantice el cambio cultural en cada uno de los mineros que van hacer parte de la población objetivo, porque todo logro alcanzado dependerá en un gran porcentaje en la disposición de cambio en cada uno de ellos.

El ordenamiento territorial del municipio de Marmato, debe tener como línea base, la información existente en los estudios realizados sobre las alteraciones al medio ambiente, el cual por supuesto incluye el recurso hídrico, que sirva como insumo para buscar procesos de prevención, control, minimización y/o compensación, que garanticen la búsqueda del desarrollo social de la población.

El estado colombiano con todas sus instituciones, debe buscar los mecanismos de participación y el empoderamiento de los mineros frente a la responsabilidad que tienen su territorio en miras a la búsqueda del desarrollo sostenible, brindándoles el acompañamiento para la implementación de medidas ambientales que garanticen el uso racional de los recursos naturales.

El estudio realizado evidencio la necesidad de encontrar soluciones, no solo en relación a los vertimientos generados; sino a la importancia de implementar acciones que mejoren la captación del agua, a fin de mejorar el aprovechamiento y uso eficiente del recurso hídrico.

Las actividades encaminadas a las mejoras en pro del recurso hídrico de la Quebrada cascabel, debe tener vinculación de los recursos suelo y bosque, debido que la alteración de estos factores, se ve reflejada en los cambios sustanciales que ha tenido la alteración de la calidad del agua, es por esto que las medidas implementadas deben tener un amplio margen de relación entre ellas.

Se deberían implementar actividades de prevención, control, minimización y/o compensación en todas las etapas del proceso productivo, es decir, en la explotación como en la transformación del mineral.

Un instrumento de planificación fundamental para que la actividad minera del municipio de Marmato, comience a dar un giro en busca de prácticas más amigables con el medio ambiente es el Esquema de Ordenamiento Territorial enfocado al trabajo comunitario con los mineros.

Un buen comienzo para lograr un manejo responsable frente al uso del recurso hídrico mediante la aplicación de prácticas amigables con el medio ambiente en la actividad minera, es la implementación de las medidas mínimas de manejo en cada una de las etapas.

Sería interesante dar continuidad a esta investigación, con la implementación de una metodología de valoración económica, que permita determinar el valor monetario de la recuperabilidad de la calidad de agua del tramo de estudio de la quebrada Cascabel.

Sería importante que las autoridades competentes y/o las instituciones con asiento en el municipio de Marmato, empezaran a fortalecer procesos para que los propietarios de los molinos se apropien del compromiso de la responsabilidad social, el cual incluye aspectos legales, sociales, ambientales y éticos, siendo fundamental el papel que juegan los empleados, aportando así al desarrollo social del territorio.

## REFERENCIAS

- Alcaldía de Marmato. (04 de Enero de 2014). *www.marmato.gov.co*. Obtenido de [http://marmato-caldas.gov.co/Nuestros\\_planes.shtml?apc=gbPlan%20de%20Desarrollo%20Municipal-1-&x=1935075](http://marmato-caldas.gov.co/Nuestros_planes.shtml?apc=gbPlan%20de%20Desarrollo%20Municipal-1-&x=1935075)
- Alcaldía Municipal de Marmato. (2010). *Esquema de ordenamiento territorial de Marmato*. Marmato Caldas.
- Alianza mundial de derecho ambiental. (2010). *Guía para evaluar EAs de proyectos mineros*. Eugene U.S.A.
- Alvarez, J. D. (2013). *Tratamiento biológico como alternativa para disminuir el impacto ambiental ocasionado por el drenaje ácido generado por la actividad minera en el municipio de Marmato de Caldas*. Manizales.
- Angel M, Jenny; Alvear N, Diana. (2013). *Análisis del impacto ecosistémico en la zona de influencia de la microcuenca de la quebrada Cascabe por afectación al recurso hídrico generado en el proceso de explotación aurífera en Marmato, Caldas, Colombia*. Manizales : Universidad de Manizales.
- Banco Mundial. (1991). *Libro de consulta de evaluación de impacto ambiental*. Washington.
- Chile, B. d. (2007). Minería del oro: impactos sociales, ambientales y sanitarios. *Medio ambiente y calidad de vida*, 33.

Conesa, F. V. (2010). *Books.google.com*. Obtenido de [http://books.google.com.co/books?id=GW8lu9Lqa0QC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](http://books.google.com.co/books?id=GW8lu9Lqa0QC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

Consejo de minería ambiental de la Columbia Británica. (s.f.). Obtenido de [biblioteca.unmsm.edu.pe/.../MineriaDesarrolloSostenible/.../acid%20](http://biblioteca.unmsm.edu.pe/.../MineriaDesarrolloSostenible/.../acid%20)

CORPOCALDAS. (2010). *Plan de Acción Inmediato para el municipio de Marmato, PAI*. Manizales.

CORPOCALDAS. (2012). *Agenda ambiental municipio de Marmato*.

CORPOCALDAS. (2012). *Agenda Ambiental municipio de Marmato*. Manizales.

CORPOCALDAS, FUNDACION SANEAR. (2011). *Catacterización, Evaluación y Modelación de la Calidad del Agua. Quebradas Cascabel y Aguas Claras del Municipio de Marmato*. Manizales, Caldas.

CORPOCALDAS, SANEAR. (2011). *Caracterización evaluación y modelación de la calidad del agua quebradas Cascabel y Aguas Claras municipio de Marmato*. Manizales.

Corporacion Autonoma Regional de Caldas. (2013- 2015). *Diagnostico ambiental de Caldas Plan de Accion*. Manizales Caldas.

Corporacion Autonoma Regional de Caldas. (2013). *Diagnostico ambiental de Caldas Plan de Accion 2013- 2015*. Manizales Caldas.

Corporación Autonoma Regional de Caldas CORPOCALDAS, Fundación SANEAR. (2011). *Caracterización, evaluación y modelación de la calidad del agua de las quebradas Cascabel y Aguas Claras en el municipio de Marmato Caldas*. Manizales.

- Dellavedova, M. G. (2011). *Guia Metodologica para una evaluacion de impacto ambiental*. La plata : Universidad Nacional de la Plata.
- Direccion General de Asuntos ambientales mineros del Peru. (2006). *Guia para la evaluacion de impactos ambientales*. Lima.
- Facultad de ciencias exactas y naturales Universidad Nacional de la Pampa. (s.f.). <http://www.exactas.unlpam.edu.ar/>. Obtenido de <http://www.exactas.unlpam.edu.ar/academica/catedras/resProblemasAmb/Unidad6/VIA.pdf>
- Gonzales, J., Salcedo, D., & Rangel, L. (2012). *Impactos en los derechos humanos de la implementacion del tratado de libre comercio entre Colombia y Canada*. Bogota D.C.
- González, S. (2001). *Impactos Ambientales y en la salud humana de la Minería a cielo abierto para la extracción de oro utilizando lixiviación con soluciones de cianuro*.
- Gonzalez, S. (2006). Obtenido de <http://www.conflictosmineros.net/biblioteca/estudios-e-informes/sustancias-toxicas/cianuro/impacto-mineria-con-cianuro/download>.
- Guerrero Ramirez, M. (2012). *Territorialidad y conflicto*. Manizales.
- Martinez, P. R. (2010). Propuesta metodológica para la evaluación de impacto ambiental en Colombia. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Ministerio de Minas. (1987). *Recursos Minerales de Colombia, Tomo I*. Bogota D.C.
- Ministerio de Minas y Energia. (2001). *Ley 685 de 2001, por la cual se expide el Código de Minas y se dictan otras disposiciones*. Bogota D.C.
- Ministerio de Minas y Energia, subdirección de Planeación Minera . (2007). *Producción mas limpia en la minería de oro en Colombia*. Bogota D.C.

Ministerio de Minas y Energia, Universidad Nacional de Colombia. (2013). *Formalización minera*. Bogotá D.C.

Ministerio del Medio Ambiente Dirección General Ambiental Sectorial. (Febrero de 2002). *Diagnostico y Proyecciones de la Geston Minero Ambiental para las regiones auríferas en Colombia*. Recuperado el 04 de Noviembre de 2013, de <http://www.cortolima.gov.co/SIGAM/cartillas/Gestion%20minero%20ambiental.pdf>

Ministerio del Medio Ambiente. (2002). *Diagnostico y proyecciones de la gestión minero ambiental para las regiones auríferas de Colombia*. Bogota D.C.

Ministerio del Medio Ambiente. (2002). *Manual de evaluación de estudios ambientales, criterios y procedimientos, convenio Andres Bello*. Bogotá.

Ministerio del Medio Ambiente, Dirección general ambiental sectorial. (2002). *Diagnóstico y proyecciones de la gestión minero ambiental para las regiones auríferas de Colombia*. Bogotá.

Moran, R. (2002). *De- coding Cyanide, an Assessment of Gap in Cyanide Regulation at Mines*.

Odrizola, V. (Enero de 2003). [www.greenpeace.org](http://www.greenpeace.org). Obtenido de <http://www.greenpeace.org/colombia/Global/argentina/report/2006/4/no-todo-lo-que-es-oro-brilla.pdf>

Peña Pirazán, J. D. (2012). *Minería y Medio Ambiente en Colombia. Matices Verdes*.

PNDM. (2009). *Pkan nacional de desarrollo minero*. Recuperado el 20 de Marzo de 2013, de [http://www.upme.gov.co/Docs/PNDM\\_2019\\_Final.pdf](http://www.upme.gov.co/Docs/PNDM_2019_Final.pdf)

Provincia de Cordoba. (03 de Noviembre de 2000). Caso estudio de Términos de Referencia: Decreto 2131 de la Provincia de Córdoba y los Términos de Referencia

aplicados en el marco del Decreto mencionado, para los EsIA de bosques nativos.  
Cordoba.

Red Universitaria de Ambiente y Salud. (17 de Febrero de 2012). *cianuro Biología y minería del agua*. Obtenido de <http://www.reduas.fcm.unc.edu.ar/cianuro-biologia-y-mineria-del-agua/>

Renson, J. (2010). *Propuesta metodológica para la evaluación de impacto en Colombia*.  
Bogota: Universidad Nacional de Colombia.

Wordpress. (2009). *wordpress.com*. Obtenido de <http://noalamineria.wordpress.com/>

Ada, Q., & Martel, B. (n.d.). ASPECTOS FÍSICOQUÍMICOS DE LA CALIDAD DEL AGUA. Alonso, J. J. G. (2002). De sistematización, 5, 47–78.

Ambiental, I., Supremo, D., El, E. I. A., No, D. L., Ambiente, M., Naturales, R., Marco, L., et al. (1990). Guía para Elaborar Estudios de Impacto Ambiental, 757(757).

Arq, A., & Gabriela, M. (2011). EVALUACION DE IMPACTO AMBIENTAL, 2011.

Desarrollo, R., Sostenible, L., & Sostenible, D. L. (n.d.). ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL Y MEDIDAS DE REHABILITACIÓN EN, 1–14.

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE CALDAS PLAN DE ACCION 2013 - 2015  
Corporación Autónoma Regional de Caldas. (2015).

Echeverri, G., Herrera, M., A, W. R., & B, J. A. V. (2012). Agenda Ambiental Municipio de Marmato.

Humano, C., & Revisión, U. N. A. (2009). ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA EN FUENTES SUPERFICIALES UTILIZADAS EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA PARA WATER QUALITY INDEX IN SURFACE SOURCES USED IN WATER PRODUCTION FOR HUMAN CONSUMPTION . A CRITICAL REVIEW, 8(15), 79–94.

La, M. D. E., & Del, C. (2011). Quebradas cascabel y aguas claras - municipio de marmato.

Luz, C., & Maza, D. (2007). Evaluación de Impactos Ambientales, 579–607.

Manuel, J., & Peña, M. (2003). ¿ ES POSIBLE EL DESARROLLO SUSTENTABLE EN LA MINERÍA?, 89–94.

Minas, M. D. E., Ministerio, Y. E., & Medio, D. E. L. (2002). Beneficio y transformación.

Municipal, A. (2015). “ MARMATO HACIA LA PROSPERIDAD INTEGRAL .”

Organol, C., & Fisiol, O. (n.d.). TEMA: ANÁLISIS DE AGUAS, 1–47.

Perspectiva jurídica de los impactos ambientales sobre los recursos hídricos provocados por la minería en Colombia \* Juridical Perspective of Environmental Impact on Water

Peruano, G. (n.d.). Guía Ambiental para el Manejo de Drenaje Acido de Minas.

Plan de Acción Inmediato-PAI para el municipio de Marmato. (2010).

Planas, C. (2004). A s p e c t o s g e n e r a l e s , 1–208.

Posada, C. C., Pineda, C. M., Hernández, M., & D, R. C. (2010). Metodología g general e estudios a Ambientales.

S, S. H., & Romero, R. (n.d.). Guía de evaluación de impacto ambiental, 1–67.

Sustancias, C. Y. O. (n.d.). Producción más limpia en la minería del oro en Colombia.

Sustentable, D. (n.d.). Minería, Minerales y Desarrollo Sustentable en América del Sur.

Territorialidades, C. (2012). Territorialidad y conflicto, 19(33), 89–113.

## ANEXOS

ANEXO 1. *LISTAS DE CHEQUEO DILIGENCIADAS PARA LAS PLANTAS DE BENEFICIO DE ORO VISITADAS*

ANEXO 2. *PLANO. UBICACIÓN DE LAS PLANTAS DE BENEFICIO DE ORO VISITADAS*