

**MODELO MATEMÁTICO PARA EVALUAR EL IMPACTO DE LOS PASIVOS  
AMBIENTALES EN LA MINA LA BODEGA EN CALIFORNIA, SANTANDER**

**ANDERSON DAMIÁN JIMÉNEZ ALFARO**

**NATALIA LEÓN SIERRA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**BUCARAMANGA**

**2014**

**MODELO MATEMÁTICO PARA EVALUAR EL IMPACTO DE LOS PASIVOS  
AMBIENTALES EN LA MINA LA BODEGA EN CALIFORNIA, SANTANDER**

**ANDERSON DAMIÁN JIMÉNEZ ALFARO**

**NATALIA LEÓN SIERRA**

**Trabajo de Grado para optar al Título de Ingeniero Químico**

**Director:**

**HUMBERTO ESCALANTE HERNÁNDEZ**

**PhD en Ingeniería Química**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**BUCARAMANGA**

**2014**

*Dedicado,*

*A DIOS primeramente por brindarme todas las herramientas para  
el desarrollo de mi vida y por guiar cada uno de  
mis pasos en todo momento.*

*A mis padres y a mi hermano que sin el apoyo incondicional  
que me brindaron en toda mi vida no sería posible  
el llegar a cumplir este sueño y por todos los valores  
que me inculcaron que me permiten ser mejor cada día.*

*A Diana que con mucha paciencia y amor me ha alentado  
a seguir adelante, siempre acompañándome  
en este camino de aprendizaje y  
construyendo junto a mí.*

*A todos aquellos que colaboraron para que esto fuese posible,  
a mis amigos en especial a José por su apoyo incondicional.*

*“Ama lo que sueña y sueña lo que amas”*

*Anderson Damián Jiménez Alfaro*

*Dedicado,*

*A Dios Todopoderoso, por guiarme en todo momento a través de su Santo Espíritu, ser mi fortaleza en los momentos de dificultad y llenarme de gozo por el deber cumplido. En Él espero y confío. Ahora y siempre estaré eternamente agradecida por sus bendiciones y amor.*

*A mis Padres German y Myriam por su apoyo incondicional, su motivación incansable, sus correcciones oportunas y amor sin medida. Gracias por enseñarme lo valioso de la vida y a ser cada día mejor caminando de la mano de Dios con esfuerzo y valentía.*

*A mis hermanas Adriana y Fabiola, por ser mi soporte en cada instante de mi vida y llenarme de su confianza y amor. Gracias por los momentos de alegría y de aprendizaje en la dificultad, por su entrega y unidad buscando siempre lo mejor para mi vida.*

*A mis cuñados Sergio y Fernando, por sus palabras de ánimo en todo momento, por su compañía aun en la distancia. Gracias por hacer parte de mi vida y transmitirme sus conocimientos, sueños y anhelos.*

*A mis sobrinos María Alejandra y Juan Pablo, por ser mis cómplices en cada paso y compartir junto a mí alegrías y tristezas, abrazos y regaños. Gracias por su amor.*

*A mis amigos y compañeros que estuvieron conmigo en este largo camino, cerca o lejos brindándome su apoyo, motivación, colaboración y cariño. Gracias por permitirme entrar en sus vidas y compartir momentos inolvidables.*

*Natalia León Sierra*

## **AGRADECIMIENTOS**

A la empresa AUX Colombia S.A.S Grupo EBX por su gran colaboración y acogida en todo el desarrollo de este trabajo, permitiendo lograr nuestros objetivos. En especial al Geólogo William Pérez por su gran apoyo, motivación y orientación.

Al Doctor Humberto Escalante Hernández por su dedicación, paciencia y apoyo en cada etapa de este estudio, guiándonos a través de sus grandes conocimientos y calidez humana.

A la Ingeniera María Mercedes Duarte por su constante motivación, ayuda y amistad.

A la Universidad Industrial de Santander, nuestra alma máter por ser el lugar de cumplimiento de este gran sueño.

A la Escuela de Ingeniería Química, su Director, profesores, personal administrativo y técnico que participaron en nuestro proceso de aprendizaje, guiándonos por el camino de la ética y excelencia profesional.

A nuestros Padres, familiares, amigos y a todas las personas que nos colaboraron en el desarrollo de este trabajo de grado; por ser nuestro impulso y brindarnos su apoyo incondicional en nuestra experiencia universitaria.

## CONTENIDO

	pag.
INTRODUCCIÓN.....	19
1. MARCO TEÓRICO.....	21
1.1 MINERÍA AURÍFERA EN CALIFORNIA.....	21
1.2 PASIVO AMBIENTAL MINERO (PAM).....	22
1.3 MODELOS DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DE PAM.....	23
2. METODOLOGÍA.....	26
2.1 ETAPA I: RECONOCIMIENTO DE LA MINA.....	27
2.2 ETAPA II: ESTRUCTURACIÓN DEL MODELO.....	27
2.3 ETAPA III: CUANTIFICACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL OCASIONADO POR EL PAM EN LA MINA.....	30
3. RESULTADOS Y ANALISIS.....	31
3.1 DIAGNÓSTICO DE LA MINA LA BODEGA.....	31
3.2 VALORACIÓN DE CUESTIONARIOS.....	32
3.3 MODELO FINAL.....	36
3.4 CUANTIFICACIÓN DEL IMPACTO DEL PAM EN LA MINA LA BODEGA.....	38
4. CONCLUSIONES.....	44
5. RECOMENDACIONES.....	45
BIBLIOGRAFÍA.....	46
ANEXOS.....	52

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama del proceso de explotación y beneficio de la mina La Bodega. .....	22
Figura 2. Etapas desarrolladas en el estudio.....	26
Figura 3. Estructura final IAG.....	37
Figura 4. Ficha de registro PAM en Perú.....	56
Figura 5. Ficha de Inventario minas paralizadas ASGMI. ....	59
Figura 6. Primer Cuestionario Delphi. ....	64
Figura 7. Segundo Cuestionario Delphi. ....	69
Figura 8. Ejemplo del Anexo del Segundo Cuestionario.....	73
Figura 9. Anexo A del Segundo cuestionario.....	73

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Valoración de impacto según IPG.....	25
Tabla 2. Resumen de índices e indicadores propuestos .....	29
Tabla 3. Características de la mina La Bodega y su planta de beneficio .....	32
Tabla 4. Valoración del primer cuestionario.....	33
Tabla 5. Coeficiente de Kendall Primer Cuestionario.....	34
Tabla 6. Valoración Segundo Cuestionario.....	35
Tabla 7. Coeficiente de Kendall Segundo Cuestionario .....	36
Tabla 8. Grado de impacto de los PAM .....	41
Tabla 9. IAG previo al tratamiento de drenaje acido .....	42
Tabla 10. Categoría de Impacto según IAG.....	42
Tabla 11. Variables modificadas por el tratamiento del drenaje ácido .....	43
Tabla 12. IAG posterior al tratamiento de drenaje acido .....	43
Tabla 13. Relación acciones y factores en explotaciones mineras. ....	61
Tabla 14. Participantes en la metodología Delphi.....	63
Tabla 15. Ponderación primer cuestionario .....	74
Tabla 16. Ponderación de Componentes primer cuestionario .....	76
Tabla 17. Ponderación segundo cuestionario .....	77
Tabla 18. Ponderación anexo A del segundo cuestionario. ....	78
Tabla 19. Categoría de impacto Índice de Fournier .....	81
Tabla 20. Categoría de impacto de Factores de Seguridad.....	82
Tabla 21. Categoría de impacto de Hundimientos .....	83
Tabla 22. Categoría de impacto Total de Estructura del Terreno .....	83
Tabla 23. Parámetros de evaluación y pesos para el índice de sistema estructural. .....	84
Tabla 24. Categoría de impacto Sistema Estructural.....	84
Tabla 25. Categoría de impacto de la Calidad del sistema estructural .....	85
Tabla 26. Categoría de impacto Total de Edificaciones .....	85
Tabla 27. Parámetros de evaluación de otra infraestructura .....	86

Tabla 28. Categoría de impacto otra infraestructura.....	86
Tabla 29. Categoría de impacto Total de Infraestructura.....	86
Tabla 30. Parámetros de Evaluación de Arenas y Lodos .....	87
Tabla 31. Categoría de impacto Arenas y Lodos.....	87
Tabla 32. Parámetros de evaluación de Residuos.....	88
Tabla 33. Categoría de impacto Tipo Residuo.....	88
Tabla 34. Categoría de impacto Total de contaminantes del suelo .....	89
Tabla 35. Parámetros evaluación derrame de lixiviados.....	89
Tabla 36. Categoría de impacto de derrame de lixiviados .....	90
Tabla 37. Categoría de impacto de concentración de Mercurio.....	90
Tabla 38. Categoría de impacto de concentración de iones Cianuro.....	90
Tabla 39. Categoría de impacto de concentración de Aluminio .....	91
Tabla 40. Categoría de impacto de concentración de Cobre .....	91
Tabla 41. Categoría de impacto de concentración iones Sulfuro.....	91
Tabla 42. Categoría de impacto Total de Presencia de Metales .....	92
Tabla 43. Categoría de impacto del pH .....	92
Tabla 44. Categoría de impacto Total del Drenaje Acido.....	92
Tabla 45. Parámetros de evaluación agua superficial .....	93
Tabla 46. Categoría de impacto de agua superficial.....	93
Tabla 47. Especies de peces .....	94
Tabla 48. Categoría de impacto del índice de Shannon para peces.....	95
Tabla 49. Categoría de impacto del índice de Shannon cubierta vegetal. ....	95
Tabla 50. Valoración subjetiva del paisaje.....	96
Tabla 51. Valores P y d.....	97
Tabla 52. Categoría de impacto del valor relativo paisaje .....	97
Tabla 53. Parámetros vulnerabilidad social .....	98
Tabla 54. Categoría de impacto del índice de vulnerabilidad social .....	99
Tabla 55. Categoría de impacto final del IPAMGEO.....	99
Tabla 56. Categoría de impacto final IPAMHIDRO .....	99
Tabla 57. Categoría de impacto final IPAMBIO .....	100

Tabla 58. Precipitación Mensual Promedio 2000-2011.....	101
Tabla 59. Índice de agua superficial .....	101
Tabla 60. Valoración del Paisaje.....	102
Tabla 61. Índice de vulnerabilidad social .....	102
Tabla 62. Índice de Shannon para Cubierta Vegetal. ....	103

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Plano general del Sector La Bodega y sus bocaminas.....	31
Ilustración 2. Planta de tratamiento de drenaje y planta de beneficio. ....	53
Ilustración 3. Paisaje posterior y frontal de la mina.....	54
Ilustración 4. Principales especies de la zona (puya, elaphoglossum, calamagrostis y Quercus humboldtii).....	55

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. CONFIGURACIÓN DE UN PASIVO AMBIENTAL.....	52
ANEXO B. REGISTRO FOTOGRÁFICO .....	53
ANEXO C. FORMATOS DE FICHAS DE CAMPO .....	56
ANEXO D. PANEL DE EXPERTOS.....	63
ANEXO E. CUESTIONARIOS METODOLOGÍA DELPHI.....	64
ANEXO F. RESPUESTAS DE LOS CUESTIONARIOS DELPHI.....	74
ANEXO G. ÍNDICES E INDICADORES.....	81
ANEXO H. CUANTIFICACIÓN DE ÍNDICES E INDICADORES.....	101

## RESUMEN

**TITULO:** MODELO MATEMÁTICO PARA EVALUAR EL IMPACTO DE LOS PASIVOS AMBIENTALES EN LA MINA LA BODEGA EN CALIFORNIA, SANTANDER \*

**AUTOR:** Anderson Damián Jiménez Alfaro y Natalia León Sierra \*\*

**PALABRAS CLAVES:** Pasivo ambiental minero, minería aurífera, modelo matemático, metodología Delphi, mina abandonada, impacto ambiental, índice global de impacto, minería artesanal.

### CONTENIDO:

El municipio de California en Santander se destaca por sus depósitos metalíferos de oro, extraídos principalmente por explotación aurífera subterránea de tipo artesanal. Las actividades del proceso de explotación y beneficio del oro generan grandes cantidades de residuos impactando el ambiente, los cuales al no ser tratados y con el cese de la actividad minera se convierten en pasivos ambientales mineros (PAM) siendo un riesgo para el ambiente y población de la zona. Con base en esto surge la necesidad de desarrollar una herramienta que permita la identificación y cuantificación de los PAM para evaluar su impacto ambiental en una mina en estado de abandono. Se escogió como mina de estudio La Bodega la cual pertenece a los títulos mineros de la empresa AUX Colombia. El objetivo de este trabajo fue construir una herramienta —modelo matemático— para evaluar el impacto de los PAM presentes en la zona de estudio. Se empleó la metodología Delphi (consulta a expertos) para ponderar y priorizar los componentes y factores que se ven afectados por los PAM. El modelo incluye el desarrollo de indicadores que permiten la transformación de la información cualitativa y cuantitativa de los PAM en una misma escala de valor para su posterior evaluación. El modelo obtenido es un índice de impacto ambiental global (IAG), con 5 componentes principales (geosférico, hidrosférico, paisajístico, biótico y socioeconómico) desagregados en subcategorías y factores. Los PAM con mayor grado de impacto ambiental en la mina La Bodega son el deterioro de la infraestructura en la planta de beneficio y la alta erosión. El IAG para la mina La Bodega se clasifica como bajo realizando la evaluación antes y después de la planta de tratamiento de drenaje presente en la bocamina principal.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química.  
Director: PhD. Humberto Escalante Hernández.

## ABSTRACT

**TITLE:** MATHEMATICAL MODEL TO EVALUATE THE IMPACT OF ENVIRONMENTAL LIABILITIES IN THE MINE LA BODEGA IN CALIFORNIA, SANTANDER \*

**AUTHOR:** Anderson Damián Jiménez Alfaro and Natalia León Sierra \*\*

**KEY WORDS:** Environmental liabilities mining, gold mining, mathematical model, Delphi methodology, abandoned mine, environmental impact, Global impact index, artisanal mining.

### CONTENT:

California, city of Santander is known for its deposits of gold metallic, extracted mainly by underground artisanal gold mining. The process activities of mining and processing of gold generate large amounts of waste impacting the environment, of which not being treated and with the cease of mining activities become in environmental liabilities mining (ELM), being a risk to the environment and people in the area. Based on this, emerge the need to develop a tool to the identification and quantification of ELM to evaluate their environmental impacts in an abandoned mine. It was chosen as mine of study La Bodega which belong to company mining titles of AUX Colombia. The aim of this work was to build a tool —mathematical model— to evaluate the impact of ELM in the study area. Delphi methodology was employed (consulting experts) to weigh and prioritize the components and factors that are affected by the ELM. The model included the development of indicators for the transformation of qualitative and quantitative information of the PAM in the same scale of value for subsequent evaluation. The resulting model is an index of global environmental impact (GEI), with 5 main components (geosferic, hydrospheric, scenic, biotic and socio-economic) disaggregated into subcategories and factors. The ELM with higher degree of environmental impact in mine La Bodega are the deterioration of infrastructure in the processing plant and high erosion. The GEI for La Bodega mine is classified as low doing the evaluation before and after the sewage treatment plant present in the main pithead.

---

\* Thesis

\*\* Physicochemical Engineering Department. Chemical Engineering.

Director: PhD. Humberto Escalante Hernández.

## INTRODUCCIÓN

Colombia cuenta con una geología que facilita la producción y el desarrollo de la minería y dispone actualmente de una variada oferta de productos mineros (SIMCO, 2009). En Santander hay una gran abundancia de recursos siendo la minería subterránea aurífera la de mayor presencia en la zona. Este tipo de minería es el empleado en el municipio de California el cual posee un enorme potencial minero, representado en sus depósitos de metalíferos, como son el oro, la plata y los metales asociados (Alcaldía de California, 2012). A pesar de las grandes reservas y variedad de minerales, las explotaciones mineras en Colombia presentan varias limitaciones principalmente en condiciones ambientales y un bajo control de las mismas.

La presencia de pasivos ambientales mineros (PAM) se fundamenta en la falta de reglamentación y control de autoridades ambientales para su prevención y en el desarrollo no responsable de la explotación minera, la cual al cesar las actividades (abandono o inactividad prolongada) por motivos económicos, socio-políticos o culturales junto con el paso del tiempo provoca la generación de los pasivos, causando riesgos a la población y un deterioro eco sistémico; además en determinados casos impiden la utilización del suelo para otras actividades productivas, lo que trae consigo pérdidas económicas en las zonas de influencia de las minas abandonadas (Ministerio de Minas y Energías, 2008).

La generación de los PAM se da en explotaciones que no siguen las pautas de un cierre de minas (Ley 685 de 2001) y en concordancia con el Decreto 2820 de 2010; en el cual el titular de la actividad minera debe rehabilitar las áreas que utilizó; empleando un plan de manejo ambiental que le permita conocer los posibles impactos generados con el proyecto y acciones de mitigación a lo largo del programa de explotación. Sin embargo, en las minas abandonadas no se realiza un cierre de mina esto indica que, toda actividad a ser implementada a lo

largo del ciclo de vida con el fin de cumplir los criterios ambientales y alcanzar los objetivos sociales deseados después de la etapa de minado, no son desarrolladas convirtiéndose en un riesgo para la comunidad necesitando una identificación, cuantificación y posterior mitigación. Son muchos los esfuerzos realizados en la búsqueda de criterios y fundamentos para el análisis de esta situación que con el tiempo empeora.

Este estudio buscó plantear una alternativa de evaluación del impacto generado por los pasivos ambientales mineros en la mina La Bodega de explotación aurífera, en estado de abandono en el municipio de California, Santander; la cual pertenece a los títulos mineros de la empresa AUX Colombia S.A.S. La evaluación se realizó a través de la formulación de un índice de impacto ambiental global con la metodología Delphi, teniendo en cuenta factores geológicos, hídricos, bióticos, sociales y paisajísticos.

El estudio se desarrolló con la aprobación y colaboración de la empresa AUX Colombia S.A.S grupo EBX.

## **1. MARCO TEÓRICO**

### **1.1 MINERÍA AURÍFERA EN CALIFORNIA**

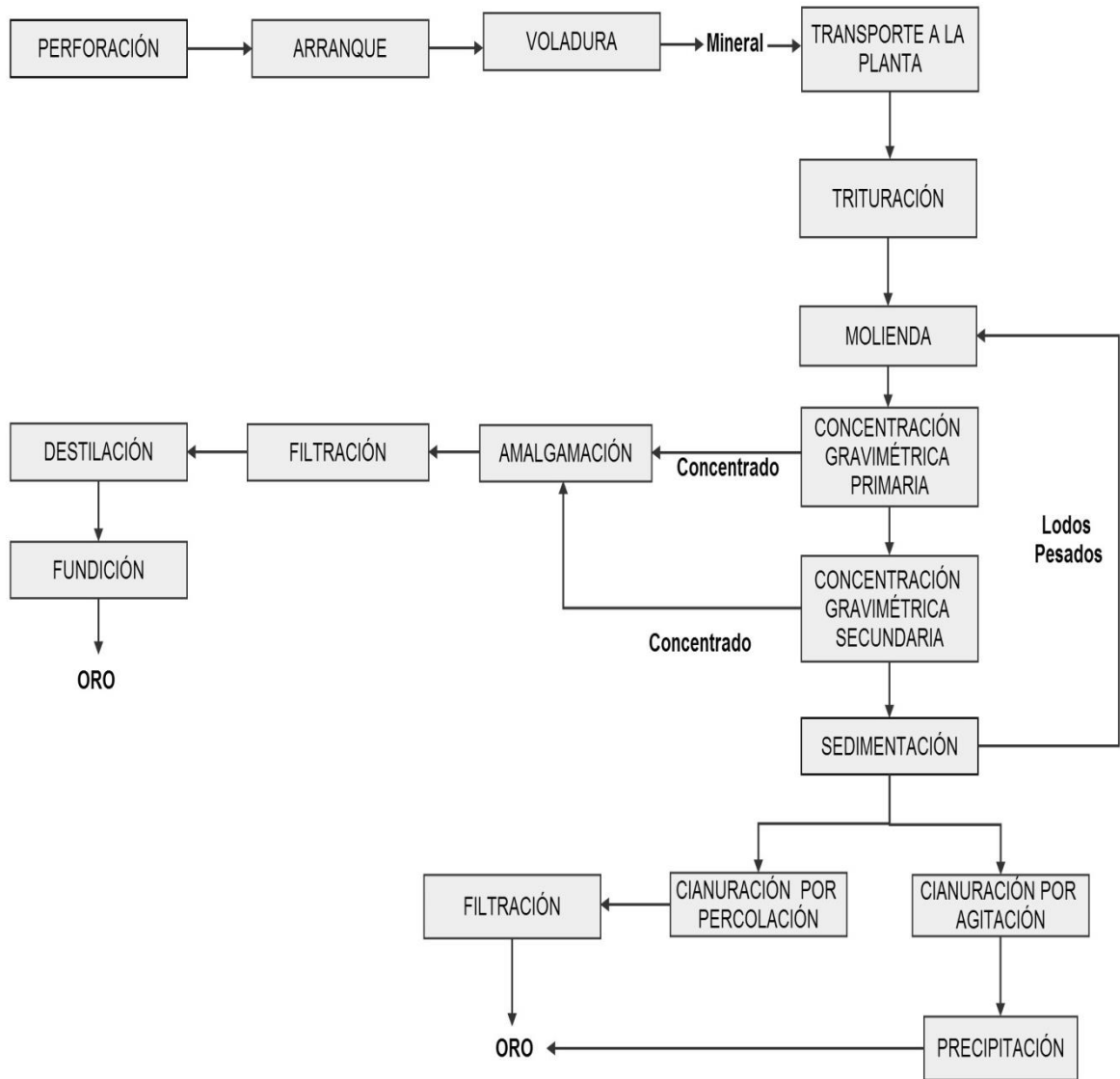
El proceso de explotación y refinación de oro es un pilar de la economía en California (Ministerio de Minas y Energías, 2010). El principal tipo de minería en el municipio es de tipo artesanal con pequeñas plantas de beneficio en cercanías a los cuerpos hídricos.

La minería artesanal maneja bajos procesos tecnológicos lo que conlleva a una baja recuperación de oro y alta contaminación ambiental. El material extraído de la bocamina es sometido a un tratamiento mecánico de reducción de tamaño a través de trituración y molienda, el cual es llevado a un proceso de amalgamación donde los residuos o colas obtenidas son tratados mediante cianuración por percolación o agitación, para finalmente ser precipitadas con viruta de zinc. El uso combinado de la amalgamación y cianuración conlleva a un mayor impacto ambiental y alta generación de residuos peligrosos (Traslaviña, 2005).

La mina la Bodega fue de las más representativas de la zona por su gran extensión de terreno y una planta de beneficio de gran área y producción. La explotación de la mina fue de tipo artesanal y el mineral extraído era transportado a la planta de beneficio a través de skips o monorrieles para su tratamiento.

La planta de beneficio empleaba un proceso mecánico para la reducción de tamaño del mineral y un proceso hidrometalúrgico de amalgamación y cianuración (percolación y agitación) para la obtención del oro (Gélvez, 2005). El Diagrama del proceso de explotación y beneficio de la mina La Bodega se muestra en la Figura 1.

**Figura 1. Diagrama del proceso de explotación y beneficio de la mina La Bodega.**



## 1.2 PASIVO AMBIENTAL MINERO (PAM)

Cuando un área minera es abandonada sin remediar los daños ambientales y cuando estos daños son un riesgo para la población, entonces surge la obligación de realizar una remediación o de compensar a los afectados. En países como Chile, Perú y Bolivia esta obligación se conoce como Pasivos Ambientales

Mineros (PAM) mientras que en otros países como Canadá, los EEUU este tipo de obligaciones se tratan como sitios huérfanos o como deudas ambientales. En Colombia no se tiene una definición oficial de PAM, pero existen unos criterios que permiten definir la configuración de un pasivo ambiental (Ministerio de Ambiente, 2009), (Ver anexo A).

La definición más general de PAM es dada por la Comisión Económica para América Latina (CEPAL):

*“La denominación pasivo ambiental minero hace referencia a los impactos ambientales generados por las operaciones mineras abandonadas con o sin dueño u operador identificables y en donde no se hayan realizado un cierre de minas reglamentado y certificado por la autoridad correspondiente”*

La referencia es extensiva a aquellos impactos que pueden causar los residuos (sólidos, líquidos y gaseosos) generados en el proceso minero y depositados en almacenamiento sin manejo ambiental apropiado (Yupari, 2009).

### **1.3 MODELOS DE EVALUACION DE IMPACTO AMBIENTAL DE PAM**

Entre Los diversos modelos para la identificación y valoración del impacto ambiental los de mayor aplicación a nivel mundial para los pasivos ambientales mineros son las listas de revisión y las matrices causa- efecto (Ministerio de Minas y Energía, 2002); en algunos países como Estados Unidos, Canadá, Chile y Perú se emplean los sistemas de información geográfica (SIG) empleando análisis de riesgo permitiendo una apreciación espacial de las amenazas de los PAM (Garmendia, 2005). En Colombia se han realizado estudios enfocados a requerimientos para la valoración de PAM (Arango, 2011), términos económicos para una remediación y recientemente un estudio diagnóstico en minas abandonadas (Ministerio de Minas y Energías, 2013). Sin embargo no se han realizado estudios ni valoraciones de impacto de los PAM específicas al tipo de

minería, siendo este un campo de estudio de gran importancia para el desarrollo de investigaciones.

En España y Portugal se desarrollaron modelos matemáticos (índices globales de impacto) de acuerdo al tipo de minería (subterránea o cielo abierto) y mineral extraído a través de ponderación de factores influyentes con la metodología Delphi (Arranz, 2008).

El modelo propuesto por el Instituto Geológico y Minero de Portugal tiene como objeto de estudio la minería metálica subterránea abandonada. A través de observaciones in situ y análisis de laboratorio (caracterizaciones de rocas, aguas, aluviones y residuos) se realizaron cartografías y una posterior evaluación de factores intrínsecos y externos (seguridad, dimensiones, influencia de residuos, contaminación de suelos y aguas, impacto al paisaje, afectación a la población entre otros) de la mina con una escala numérica (1 - 3) según su grado de importancia. Se obtuvo la siguiente fórmula de cálculo a través de consenso entre expertos.

$$AP = \frac{5 \textit{Seg} + 6 \textit{Esc} + 8 \textit{Imp} + 5 \textit{Hum}}{24} \quad (1)$$

Donde, AP significa el valor total que permite la evaluación final de todos los elementos (minas) inventariados. Seg es un factor relativo a la seguridad (entre 1 y 3); Esc es un factor relativo a las escombreras; Imp es un factor que hace referencia al impacto químico, y Hum es el factor de presencia o incidencia sobre los seres humanos y su actividad (Arranz, 2008). Cada factor se calcula a través de una fórmula obtenida por consenso. Los valores finales de AP permitieron una jerarquización de las minas evaluadas (85) según su grado de peligrosidad.

En España el caso de estudio fue minería a cielo abierto de carbón en estado de abandono (IGME, 2007). Se realizaron fotos aéreas, reconocimiento directo y fichas de inventario como base para una primera valoración de impacto ambiental.

Posteriormente se realizó la identificación de impactos por matrices causa-efecto y se tuvieron en cuenta las siguientes fases para la evaluación del impacto ambiental global de cada mina:

- Identificación de componentes: impacto sobre el Agua (*IpAg*), Procesos Geológicos (*IpGeo*), Suelo (*IpSue*), Vegetación (*IpVeg*), Fauna (*IpFau*), Usos del Suelo (*IpUso*), Paisaje (*IpPai*) y sobre el Patrimonio Cultural (*IpCul*). Los cuales se desagregan en otros componentes
- Evaluación de cada componente por expertos temáticos
- Determinación de importancia relativa de cada componente a través de la metodología Delphi. Y obtención del impacto ambiental global como la suma ponderada de los componentes.

Se obtuvo la siguiente formula como índice de impacto ambiental global:

$$IPG = 0,3 * IpAg + 0,1 * IpGeo + 0,05 * IpSue + 0,02 * IpVeg + 0,05 * IpFau + 0,05 * IpUsos + 0,2 * IpPai + 0,05 * IpCul \quad (2)$$

Cada componente es desagregado en factores de nivel inferior y sus respectivas fórmulas de cálculo. El valor final de IPG permite clasificar el impacto según la Tabla 1.

**Tabla 1. Valoración de impacto según IPG**

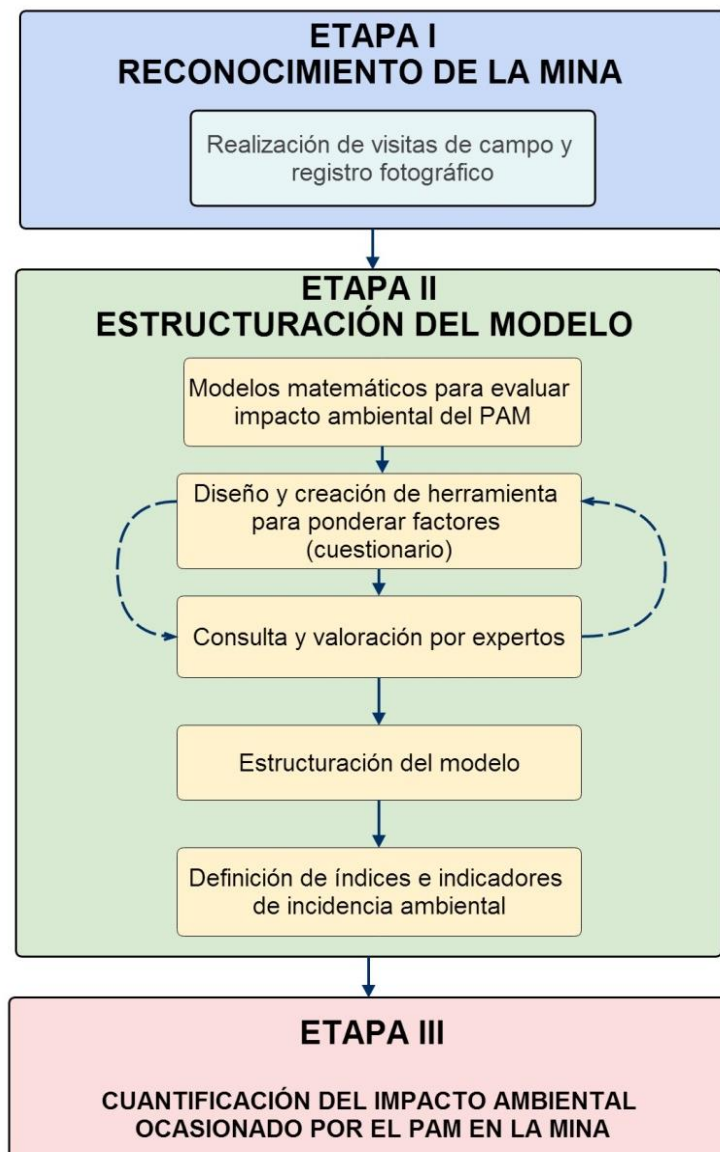
VALOR IPG	TIPO DE IMPACTO
≤ 1	Compatible
> 1 a 2	Moderado
> 2 a 3	Severo
> 3	Crítico

Fuente: [IGME, 2007]

## 2. METODOLOGÍA

La estructuración de un modelo matemático para la evaluación del impacto de los PAM engloba las etapas desde el reconocimiento de la mina hasta la cuantificación del impacto del PAM, este procedimiento se describe en la Figura 2.

Figura 2. Etapas desarrolladas en el estudio.



## **2.1 ETAPA I: RECONOCIMIENTO DE LA MINA**

Se realizaron 2 visitas a la mina La Bodega en el municipio de California, Santander supervisadas por la empresa AUX Colombia. La primera visita se realizó en Octubre de 2013 y permitió una apreciación del estado de conservación de la mina y su planta de beneficio mostrando posibles lugares de afectación ambiental. La visita posterior se efectuó en Abril de 2014 con el fin de recolectar la información adicional referente al paisaje y presencia de fauna para la aplicación del modelo, además del registro fotográfico del sector.

## **2.2 ETAPA II: ESTRUCTURACIÓN DEL MODELO**

Teniendo en cuenta la revisión bibliográfica se decidió estructurar un modelo matemático de índice de impacto ambiental global (IAG) a través de la ponderación de factores con la metodología Delphi.

De acuerdo a las fases de la metodología Delphi (Garmendia, 2005) se diseñaron los cuestionarios para ponderar los factores que se afectan por el PAM (Anexo E). Los factores seleccionados fueron aquellos evaluados en las fichas de campo (Anexo C) y los impactos generados en una explotación minera (Conesa Fdeza. 1997); todos los factores están englobados en los componentes geosférico, hidrosférico, atmosférico, biótico, paisajístico y socioeconómico cubriendo todas las áreas de afectación. Se plantearon preguntas abiertas, de jerarquización y grado de importancia para evaluar cada componente y factor seleccionado (Garmendia, 2005). Los cuestionarios se valoraron en 2 rondas por los expertos permitiendo la retroalimentación de los datos y modificaciones a los mismos; en cada ronda se realizó una exclusión de componentes a partir de la mediana (primer cuestionario) y la media (segundo cuestionario) obteniendo los factores finales. Con las respuestas obtenidas en cada ronda se calcularon los estadísticos Chi-cuadrado y coeficiente de concordancia de Kendall con p-valor inferior a 0,05

para confirmar su significancia estadística y correlación entre los expertos respectivamente, empleando el software IBM SPSS STATISTICS.

Con las respuestas del segundo cuestionario se realizó la ponderación final de componentes y factores obteniendo el modelo final (índice de impacto ambiental global) con 5 componentes globales (geosférico, hidrosférico, biótico, paisajístico y socioeconómico) y 10 categorías principales desagregadas en niveles inferiores. Se obtuvo la siguiente ecuación de IAG

$$IAG = 0,13 IPAMGEO + 0,30 IPAMHIDRO + 0,23 IPAMBIO + 0,15 IPAMPAISAJ + 0,19 IPAMSE \quad (3)$$

Dónde:

IPAMGEO: impacto en el componente Geosférico

IPAMHIDRO: impacto en el componente Hidrosférico

IPAMBIO: impacto en el componente biótico

IPAMPAISAJ: impacto en el componente paisajístico

IPAMSE: impacto en el componente socioeconómico

La cuantificación de los pasivos se realizó a través de índices e indicadores que transformaron el valor cualitativo o cuantitativo de cada factor evaluado en una misma escala de valoración. Según los criterios establecidos en (Garmendia, 2005), recomendaciones de profesionales de cada área de estudio e indicadores base (Conesa Fdeza, 1997) se planteó una herramienta para la cuantificación de los PAM presentes en la mina y su planta de beneficio determinando su grado de impacto. Los indicadores obtenidos están en escala de 0 a 5 según su grado de impacto. En la Tabla 2 se muestra un resumen de los indicadores propuestos, las especificaciones de selección están en el Anexo G.

**Tabla 2. Resumen de índices e indicadores propuestos**

COMPONENTE	CATEGORÍA	ÍNDICE	VARIABLES	ECUACIÓN	TABLA ANEXO G
GEOSFÉRICO	ESTRUCTURA TERRENO	EROSION (ER)	Pi = precipitación media mensual	$R = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P}$ <b>(4)</b>	19 - 22
			P= precipitación media anual		
		HUNDIMIENTO (HUN)	Factor de Seguridad	VALORACION DIRECTA	
	DESlizAMIENTO (DES)	Tipo de Roca	VALORACION DIRECTA		
	INFRAESTRUCTURA	SISTEMA ESTRUCTURAL (SET)	TSE = Tipo sistema estructural	$ISE = 0,5 TSE + 0,2 TM + 0,2 CUB + 0,1 TE$ <b>(5)</b>	23 - 29
			TM = Tipo material		
			CUB = Cubierta		
			TE = Tipo de edificación		
	CALIDAD DE SISTEMA ESTRUCTURAL (CSE)	Estado de Conservación [% fisuras]	VALORACION DIRECTA		
	MATERIAL ABANDONADO (MA)	EC = Estado de conservación	$IOIF = 0,7 EC + 0,3 TM$ <b>(6)</b>		
TM = Tipo de material					
CONTAMINANTES DE SUELO	ARENAS Y LODOS (AL)	CM = Concentración de Mercurio	$IAL = 0,7 CM + 0,3 MD$ <b>(7)</b>	30 - 34	
		MD = Material del depósito			
	RESIDUOS (RES)	RT = Residuos Tóxicos RI = Residuos Inflamables RI = Residuos Inertes	$TR = 0,5(RT) + 0,3 (RI) + 0,2 (RI_n)$ <b>(8)</b>		
HIDROSFÉRICO	PRIMERA CATEGORÍA	DERRAME DE LIXIVIADOS (DL)	CC = Concentración de iones Cianuro	$IDL = 0,5 CC + 0,3 D + 0,2 CMD$ <b>(9)</b>	35 - 36
			D = Distancia al cuerpo hídrico más cercano		
			CMD = Calidad del Material de depósito		
	AGUA SUPERFICIAL (AS)	CN = Concentración de Nitritos	$IAS = 0,30 CN + 0,35 M + 0,20 pH + 0,15 OD$ <b>(10)</b>	45 - 46	
		OD = Oxígeno Disuelto			
pH					
DRENAJE ACIDO DE MINA (DA)	PRESENCIA DE METALES	Concentración de	VALORACION DIRECTA	37 - 44	
		Concentración de iones Cianuro			
		Concentración de Aluminio			
		Concentración de Cobre			
		Concentración iones Sulfuro			
		pH	pH		

BIÓTICO	PRESENCIA DE PECES (PP)	S = número de especies	$H = - \sum_{i=1}^S P_i \ln (P_i) \quad (11)$	47 - 49
	CUBIERTA VEGETAL (CV)	$P_i = \frac{n_i}{N}$ ni = número de individuos especie i N = número de todos los individuos de todas las especies.		
PAISAJÍSTICO	PRESENCIA DE FLORA	Va = Valoración subjetiva del paisaje	$V_R = K * V_A \quad (12)$	50 - 52
		P = Tamaño de la población próxima		
		d = radio en km a las poblaciones próximas		
		Ac = accesibilidad a los puntos de observación		
		S = cuenca visual		
SOCIO ECONÓMICO	VULNERABILIDAD SOCIAL	Acceso servicios públicos	$I.V.S = \sum \frac{(d-m)}{(M-m)} * VP \quad (14)$	53 - 54
		Número de viviendas aprox		
		Calidad de vivienda		
		Número de personas aprox.		
		Distancia		

### 2.3 ETAPA III: CUANTIFICACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL OCASIONADO POR EL PAM EN LA MINA

Se calculó cada índice e indicador propuesto, se clasificó según su grado de impacto y empleando la ecuación 3 se obtuvo el valor de IAG de los PAM en la mina La Bodega antes y después del tratamiento del drenaje ácido.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

#### 3.1 DIAGNÓSTICO DE LA MINA LA BODEGA

La mina La Bodega y su planta de beneficio están localizadas en la Vereda La Baja del Municipio de California, Santander; en las coordenadas E: 1°130.210 y N: 1°308.126 (Gélvez, 2005) entre las quebradas Angosturas y Páez. En el sector La Bodega se encuentran los túneles Principal, La toma, Medio, El Carmen y Malvinas. En la Ilustración 1 se observa la toma frontal de las bocaminas pertenecientes a la mina La Bodega, las principales características de la mina y su planta de beneficio se listan en la Tabla 3.

Ilustración 1. Plano general del Sector La Bodega y sus bocaminas.



**Tabla 3. Características de la mina La Bodega y su planta de beneficio**

MINA		PLANTA DE BENEFICIO	
Tipo de minería	Aurífera Subterránea	Área	209 m <sup>2</sup> aprox.
Litología	Rocas ígneo metamórficas	Distancia al túnel principal	300 m aprox.
Geomorfología	Laderas empinadas. Pendiente > 50%	Capacidad	10.000 ton mena/año aprox. Proceso intermitente
Fallas Geológicas	Falla Quebrada la Baja y Falla Rio Cucutilla	Proceso hidrometalúrgico	Amalgamación y Cianuración
Planta de Tratamiento	Drenaje ácido	Estado	Inactiva/Abandonada
Estado	Inactiva/Abandonada		

En las visitas realizadas, a través de recorridos en el sector se evidenciaron los PAM presentes en la zona, siendo estos principalmente presencia de drenaje ácido en la bocamina principal, deterioro estructural en la planta de beneficio y presencia de residuos en la mina y la planta. En la segunda visita se evidenció la calidad del paisaje y el reconocimiento de flora y fauna en el sector.

### 3.2 VALORACIÓN DE CUESTIONARIOS

En el primer cuestionario se tuvo la participación de los 10 expertos (Anexo D). La Tabla 4 presenta los porcentajes obtenidos de la primera valoración con los cuales se calculó el coeficiente de Kendall para medir el grado de concordancia entre los expertos, y el estadístico Chi-cuadrado para la significancia estadística empleando un p-valor de 0,05. El cálculo del coeficiente se realizó empleando el software IBM SPSS Statistics. La Tabla 5 muestra los resultados.

Tabla 4. Valoración del primer cuestionario.

COMPONENTE	CATEGORIA	FACTOR	[ % ]
<b>GEOSFÉRICO</b> 13%	<b>Geología</b>	Geomorfología	0,58
		Litología	0,60
		Fallas Geológicas	0,63
		Pendiente	0,69
		Hundimiento	0,72
		Presencia de Diaclasas	0,55
		Deslizamientos	0,75
		Taludes	0,60
	<b>Civil</b>	Material de infraestructura	0,60
		Sistema estructural	0,49
		Calidad de sistema estructural	0,69
		Pendiente de Cimentación	0,40
		Elementos de Infraestructura	0,49
		Infraestructura Vial	0,55
	<b>Suelo</b>	Uso del Suelo	0,69
		Erosión	0,75
		Remoción Vegetal	0,75
		Sismicidad	0,60
Presencia de arenas y lodos		0,66	
Residuos		0,78	
<b>ATMOSFÉRICO</b> 13%	<b>Aire</b>	Inundación	0,75
		Presencia Material particulado	3,48
<b>Clima</b>	Malos Olores	3,91	
	Precipitaciones	3,48	
<b>HIDROSFÉRICO</b> 27%	<b>Primera Categoría</b>	Temperatura	2,46
		Presencia agua superficial	2,35
		Presencia de estructura	2,01
		Presencia de sedimentos	2,18
		Derrame de Hidrocarburos o Lixiviados	2,52
		Presencia de Escombros	2,01
		Información sobre Precipitación	2,18
		Información sobre Bioclima	1,93
		Presencia de agua Subterránea	2,43
	Drenaje o vertimiento	2,52	
	<b>Drenaje o Vertimiento</b>	Presencia de Metales	2,43
pH		2,35	
Temperatura		1,76	
<b>BIÓTICO</b> 16%		Degradación de Cubierta Vegetal	5,57
		Ecosistema acuático	5,17
		Ecosistema Terrestre	4,97
<b>PAISAJÍSTICO</b> 11%		Presencia de Flora	5,82
		Presencia de Fauna	5,61
<b>SOCIECONOMICO</b> 20%		Calidad de Vida	5,24
		Vulnerabilidad	5,06
		Afectación grupos étnicos	4,52
		Economía Local	4,70

Se observa una mayor importancia en la afectación en el componente hídrico, lo cual tiene gran significado considerando que la mina se encuentra ubicada en medio de cuerpos hídricos representativos del sector.

**Tabla 5. Coeficiente de Kendall Primer Cuestionario**

COMPONENTE	CATEGORÍA	Grados de Libertad	p-valor calculado	Chi-Cuadrado Crítico	Chi-Cuadrado Calculado	W Kendall
Geosférico	Geología	7	0,095	14,067	12,172	0,174
	Civil	5	0,035	11,070	11,957	0,239
	Suelo	6	0,291	12,592	7,336	0,122
Hidrosférico	Primera Categoría	8	0,002	15,507	24,055	0,301
	Drenaje Acido	2	0,003	5,991	11,474	0,574
Atmosférico	Aire	1	0,317	3,841	1,000	0,100
	Clima	1	0,014	3,841	6,000	0,600
Biótico	-	2	0,097	5,991	4,667	0,233
Paisajístico	-	1	0,317	3,841	1,000	0,100
Socioeconómico	-	3	0,068	7,815	7,138	0,238
<b>Todos los Componentes</b>		5	0,001	11,070	20,000	0,400

Para el análisis del coeficiente de Kendall se necesita significado estadístico de la valoración, siendo aquellos valores con p-valor inferior al propuesto y con el estadístico Chi-cuadrado superior al crítico (Álvarez, 1995); con base en esto las categorías que tienen significado estadístico y concordancia entre expertos son el drenaje acido, clima y todos los componentes presentando un  $W > 0,4$  lo cual supone que alrededor del 45% de los expertos tienen concordancia con la afectación valorada en cada categoría. Se consideran valores de concordancia alta con  $W > 0,60$  (González, 2011) por lo tanto no cumple con lo propuesto siendo necesario el desarrollo de una segunda ronda. El bajo significado estadístico de algunas categorías se debe al tamaño de la muestra según (Álvarez, 1995) lo cual requiere aumentar el número de valoraciones.

Las respuestas del cuestionario (Anexo F) fueron sometidas a criterio de exclusión por el valor de la mediana y empleados en la realización del segundo cuestionario (Anexo E), valorado por 7 expertos. Con las respuestas obtenidas se realizó la

ponderación final y el cálculo del coeficiente de Kendall, los resultados se muestran en las Tablas 6 y 7.

**Tabla 6. Valoración Segundo Cuestionario**

COMPONENTE	CATEGORIA	FACTOR	[ % ]
<b>GEOSFÉRICO</b> 12%	Geología	Fallas Geológicas	0,38
		Pendiente	0,62
		Hundimiento	1,08
		Deslizamientos	1,19
		Taludes	0,85
		Erosión	1,54
	Civil	Material o elementos de Infraestructura abandonados	0,65
		Presencia de Sistema estructural	0,73
		Calidad del sistema estructural	0,92
		Infraestructura Vial	0,38
	Suelo	Uso del Suelo	0,73
		Remoción Vegetal	0,96
Presencia de Arenas, Lodos y Sedimentos		1,12	
Residuos		0,77	
Inundación		0,46	
<b>HIDROSFÉRICO</b> 28%	Primera Categoría	Presencia de Agua superficial	2,96
		Derrame de Hidrocarburos o lixiviados	3,45
		Presencia de Agua Subterránea	3,95
		Presencia de Metales	6,16
	Drenaje o Vertimiento	pH	5,43
		Temperatura	2,47
		Caudal	3,21
<b>BIÓTICO</b> 21 %		Degradación de Cubierta Vegetal	10,98
		Ecosistema Acuático (presencia de peces)	9,98
<b>SOCIOECONOMICO</b> 18%		Calidad de Vida	8,62
		Vulnerabilidad	9,48

La valoración confirmó la mayor afectación en el componente hidrosférico y el aumento de importancia en la afectación del componente biótico, lo cual va acorde con la posible afectación del entorno boscoso de la mina y los cuerpos hídricos que la rodean.

**Tabla 7. Coeficiente de Kendall Segundo Cuestionario**

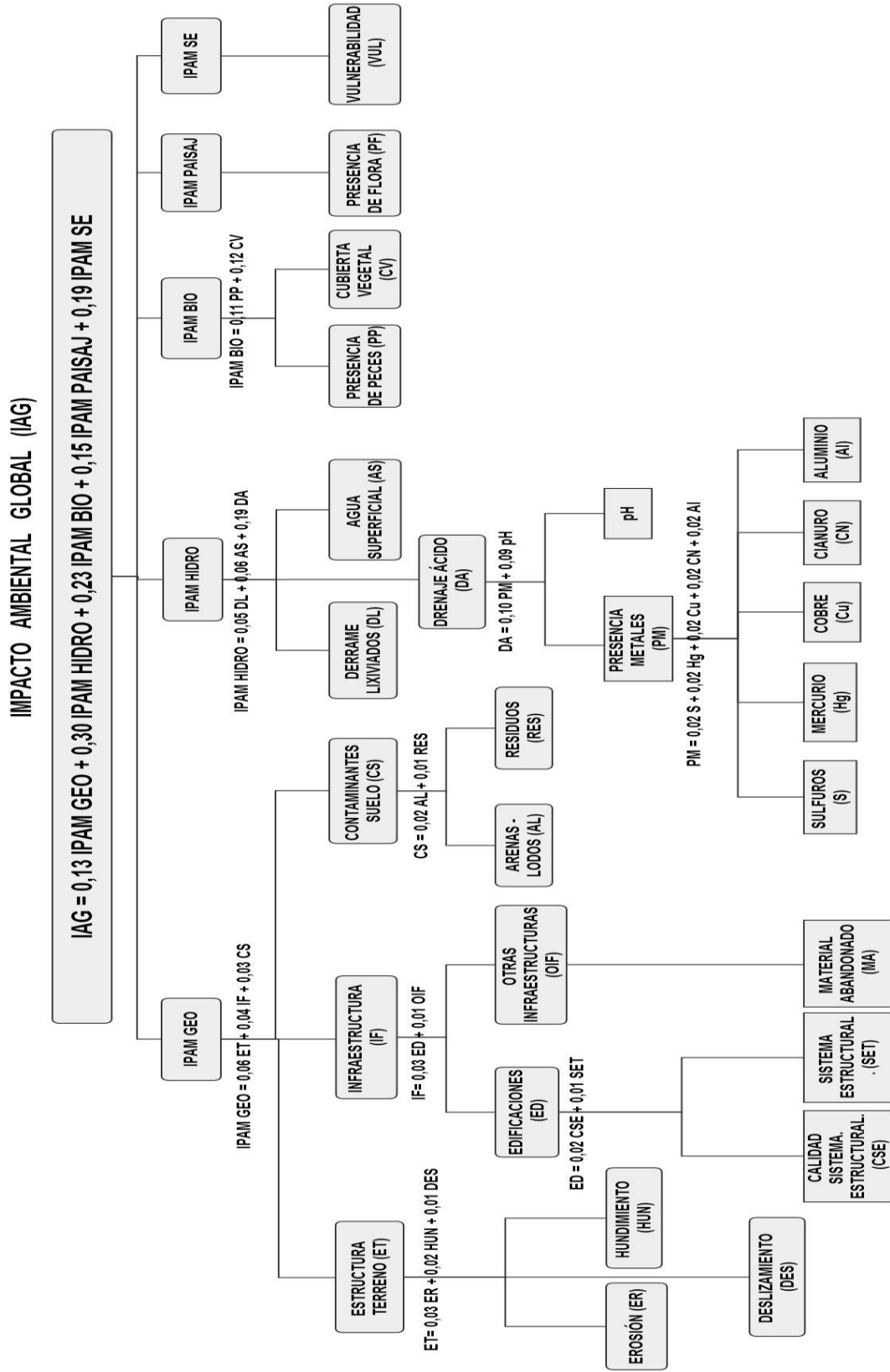
COMPONENTE	CATEGORÍA	Grados de Libertad	p-valor calculado	Chi-Cuadrado Critico	Chi-Cuadrado Calculado	W Kendall
Geosférico	Geología	5	0,000	11,070	23,816	0,680
	Civil	3	0,034	7,815	8,657	0,412
	Suelo	4	0,050	9,488	9,486	0,339
Hidrosférico	Primera Categoría	2	0,565	5,991	1,143	0,082
	Drenaje Acido	3	0,004	7,815	13,114	0,624
Biótico	-	1	0,705	3,841	0,143	0,020
Socioeconómico	-	1	0,705	3,841	0,143	0,020
Todos los Componentes		5	0,034	11,070	12,095	0,346

En el segundo cuestionario se observa una alta concordancia en las categorías de geología y drenaje ácido con  $W > 0,6$ . Además alrededor del 62% de los expertos encuestados están de acuerdo en el grado de afectación de cada categoría valorada lo cual cumple con el criterio propuesto; sin embargo se aprecia la disminución de significado estadístico en la primera categoría del hidrosférico, biótico y socioeconómico, lo cual pudo ser dado por la reducción en los factores a evaluar generando discrepancias entre los expertos al momento de la valoración. Si se deseara un grado de concordancia superior es necesaria la realización de más rondas de valoración.

### 3.3 MODELO FINAL

De acuerdo a asesorías y recomendaciones de los expertos se realizaron las siguientes modificaciones: la inclusión del factor de residuos por su posible afectación al componente geosférico, la exclusión del componente atmosférico considerando su afectación implícita en el factor de erosión, selección de metales del drenaje según el Decreto 1594 de 1984 y el cambio de terminología buscando una mejor comprensión de cada categoría. La Figura 3 muestra la estructura del modelo final.

Figura 3. Estructura final IAG.



### 3.4 CUANTIFICACIÓN DEL IMPACTO DEL PAM EN LA MINA LA BODEGA

Para el cálculo de los indicadores se tuvieron en cuenta los estudios suministrados por la empresa AUX Colombia S.A.S (geotécnico, caracterizaciones fisicoquímicas de cuerpos hídricos y vertimientos, biodiversidad y planes de manejo ambiental), información obtenida en las visitas de campo y asesorías de profesionales en cada área; las ecuaciones empleadas para cuantificar los distintos indicadores se encuentran en la Tabla 2 y las categorías de impacto en el Anexo G. Se tomó como referencia para el cálculo del indicador de paisaje, cubierta vegetal y presencia de peces 200 m (Junta de Andalucía, 2012).

**Erosión:** empleando la ecuación 4 (Tabla 2), el valor de precipitación anual promedio (1177,8 mm) y las precipitaciones promedio mensuales (Tabla 58 Anexo H) se calculó el índice de Fournier modificado con un valor de 124, 17 el cual representa un alto grado de impacto.

**Deslizamiento:** se realizaron estudios geotécnicos basados en la normas de geotécnica de la CDMB con los cuales se determinó el factor de seguridad con un valor de 1,69 por modelamiento pseudoestático (JC Laboratorios y Geotécnia), lo cual permite evidenciar que el área de estudio tiene una baja amenaza al deslizamiento y una estabilidad del suelo. Esto se ve representado en un grado de impacto bajo-medio.

**Hundimiento:** el tipo de rocas de la mina son de ígneo-metamórficas, siendo de gran estabilidad representando un impacto no significativo. Además no se evidencio ningún hundimiento superficial en la zona de estudio.

**Sistema estructural:** con las diferentes visitas realizadas a la planta de beneficio se determinó que la estructura era de tipo pórtico construida en mampostería, la cubierta no contaba con vigas de soporte dada la antigüedad de la edificación;

empleando la ecuación 5, se obtuvo un puntaje de 30 representando un impacto bajo.

**Calidad del sistema:** la antigüedad de la edificación permitió observar en su infraestructura fisuras del 30 - 40% aproximadamente. Lo que representa un impacto medio

**Otra infraestructura:** en la planta se encontraron piscinas de cianuración, las cuales presentaron fisuras del 40% del total de la estructura. Empleando la ecuación 6 se obtuvo una valoración de impacto alto.

**Arenas y Lodos:** durante los recorridos en las visitas no se encontraron arenas o lodos provenientes de alguna de las fases del proceso; solo se encontraron las arenas neutralizadas por la empresa que no son objeto de estudio.

**Residuos:** se encontraron residuos como escombros de construcción, tubos, envases y recipientes con combustibles; principalmente residuos inflamables e inertes. Empleando la ecuación 8 se obtuvo un valor de 11 el cual representa un impacto bajo.

**Derrame de Lixiviados:** no se halló derrames durante los recorridos, sin embargo se observó presencia de lixiviados en tanques los cuales no presentan filtración ni afectación a los cuerpos hídricos.

**Drenaje Acido:** con base a la caracterización realizada por (PSL Pro análisis Ltda., 2013) y el estudio de vertimientos (Tecosan S.A.S, 2012) se evaluó la presencia de metales y pH antes y después de la planta de tratamiento del drenaje ácido del túnel principal, el cual agrupa los drenajes de todos los túneles del sector.

**Agua superficial:** teniendo en cuenta el estudio (SIAMA Ltda, 2013) y la ecuación 10 se obtuvo el índice de agua superficial (Anexo H) el cual no representa un impacto significativo.

**Presencia de Flora:** para este indicador fue necesario apreciar el paisaje en los diferentes puntos cardinales (sección B3 Anexo B), a distintas distancias que oscilaban entre 0 a 200m. En la valoración subjetiva se ponderó según el nivel de vegetación y la accesibilidad de acuerdo a la dificultad a los puntos de observación (Anexo H) empleando las ecuaciones 12 y 13 con valores de  $P = 1$ ,  $d = 1$  y  $S = 1$  en cada caso se obtuvo el valor relativo del paisaje con el promedio del valor para cada punto cardinal, esto debido al gran contraste que presenta el paisaje en los distintos puntos de observación, la zona norte y oeste se encuentran con alta vegetación y, los puntos sur y este con una muy escasa vegetación

**Presencia de peces:** En las visitas se realizaron caminatas en dos direcciones a favor y en contra de la corriente de las quebradas Angosturas y Páez, y no se evidenció presencia de peces.

**Vulnerabilidad social:** Con información recopilada en campo de distancias de las viviendas-mina y población- mina (bocamina principal), calidad de la vivienda, número de viviendas y número de personas aproximada por vivienda (Anexo H) y empleando la ecuación 14 se calculó el índice de vulnerabilidad social de 0,068 el cual no representa un impacto significativo.

**Cubierta Vegetal:** Con la colaboración de las personas del sector y profesionales del área se realizó el reconocimiento de las especies encontradas en el lugar y una cuantificación del número de individuos de cada especie (sección B4 Anexo B). En el Anexo H se presenta el listado de especies reconocidas en la zona de estudio y el cálculo del índice de Shannon empleando la ecuación 11.

En la Tabla 18 se muestran los valores, grado de impacto y clasificación de cada indicador, categoría y componente antes del tratamiento del drenaje ácido.

**Tabla 8. Grado de impacto de los PAM**

INDICADOR	TIPO INDICADOR/ INDICE	VALOR INDICADOR	GRADO IMPACTO	CLASIFICACIÓN
<b>COMPONENTE GEOSFÉRICO (IPAM GEO)</b>				
<b>ESTRUCTURA DEL TERRENO (ET)</b>		0,4	4	Alto
Erosion (ER)	Indice de Fournier	0,13	3	Medio
Deslizamiento (DES)	Factor de Seguridad	124,17	4	Alto
Hundimientos (HUN)	Hundimientos	1,69	1	Bajo
		0	0	No hay hundimientos
<b>INFRAESTRUCTURA (IF)</b>		0,04	4	Alto
<b>EDIFICACIONES (ED)</b>		0,09	3	Medio
Sistema Estructural (SET)	Sistema Estructural	30	3	Medio
Calidad del sistema Estructural (CSE)	Calidad del sistema estructural	35	3	Medio
<b>OTRA INFRAESTRUCTURA (OIF)</b>		35	4	Alto
Material abandonado (MA)	Material abandonado	35	4	Alto
<b>CONTAMINANTES DE SUELO (CS)</b>		0,04	2	Bajo
Arenas y Lodos (AL)	Indice Arenas y Lodos	0	0	No hay arenas/lodos
Residuos (RES)	Tipo de Residuo	11	2	Bajo
<b>COMPONENTE HIDROSFÉRICO (IPAM HIDRO)</b>		0,08	3	Medio
Derrame de Lixiviados (DL)	Indice Derrame Lixiviados (autores)	0	0	No hay derrame
<b>DRENAJE ACIDO (DA)</b>		0,46	3	Medio
<b>PRESENCIA DE METALES (PM)</b>		0,2	1	Muy Bajo
Presencia de Metales Mercurio (Hg)	Concentración Mercurio	<0,0009	0	No genera impacto significativo
Presencia de Metales iones cianuros (CN)	Concentración iones Cianuro	<0,01	0	No genera impacto significativo
Presencia de Metales Aluminio (Al)	Concentración Aluminio	12,8	5	Muy alto
Presencia de Metales Cobre (Cu)	Concentración Cobre	23,7	5	Muy alto
Presencia de Metales iones sulfuros (S)	Concentración iones Sulfuro	<0,1	0	No genera impacto significativo
<b>pH</b>	<b>pH</b>	4,4	4	Alta
<b>Agua Superficial (AS)</b>	<b>Agua Superficial</b>	9	0	No genera impacto significativo
<b>COMPONENTE BIÓTICO (IPAM BIO)</b>		0,67	3	Medio
Presencia de peces (PP)	Diversidad de Shannon	0	5	Muy alto
Cubierta Vegetal (CV)	Diversidad de Shannon	2,51	1	Muy Bajo
<b>COMPONENTE PAISAJÍSTICO (IPAM PAISAJ)</b>		55,17	2	Bajo
Presencia de Flora (PF)	Valor relativo del paisaje	55,17	2	Bajo
<b>COMPONENTE SOCIOECONÓMICO (IPAM SE)</b>		0,068	0	No tiene Impacto
Vulnerabilidad Social (VUL)	Vulnerabilidad Social	0,068	0	No tiene Impacto

La tabla 9 presenta el grado de impacto en cada componente y el IAG obtenido previo al tratamiento del drenaje ácido. La Tabla 10 presenta la categoría de impacto del índice ambiental global (IAG). La valoración de cada componente se encuentra en el Anexo G (Tablas 55-57).

**Tabla 9. IAG previo al tratamiento de drenaje ácido**

<b>IAG</b>	<b>2,41</b>
IPAMGEO	4
IPAMHIDRO	3
IPAMBIO	3
IPAMPAISAJ	2
IPAMSE	0

**Tabla 10. Categoría de Impacto según IAG**

<b>Grado de Impacto</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Valor IAG</b>
0	No hay impacto	0
1	Muy Bajo	$0 < \text{IAG} \leq 1$
2	Bajo	$1 < \text{IAG} \leq 2$
3	Medio	$2 < \text{IAG} \leq 3$
4	Alto	$3 < \text{IAG} \leq 4$
5	Muy Alto	$4 < \text{IAG} \leq 5$

Se obtuvo un impacto medio por los PAM de la mina La Bodega, previo al tratamiento del drenaje con un alto impacto sobre el componente geosférico principalmente por la alta afectación de la erosión y la infraestructura.

Se obtuvo el IAG posterior al tratamiento del drenaje ácido con el fin de analizar el efecto de la planta en la mitigación de este PAM. Las características del drenaje posterior al tratamiento se presentan en la Tabla 11 y los resultados del IAG en la Tabla 12.

**Tabla 11. Variables modificadas por el tratamiento del drenaje ácido**

<b>PARAMETRO</b>	<b>VALOR ESTUDIO</b>	<b>GRADO DE IMPACTO</b>
Concentración Cobre [mg/L]	10,2	5
pH	6,85	1
Concentración Aluminio [mg/L]	0,25	1

**Tabla 12. IAG posterior al tratamiento de drenaje ácido**

<b>IAG</b>	<b>1,96</b>
IPAMGEO	4
IPAMHIDRO	2
IPAMBIO	3
IPAMPAISAJ	1
IPAMSE	0

Se evidencia una disminución en los parámetros de evaluación del drenaje lo cual se ve reflejado en la disminución del impacto siendo ahora de grado bajo. Con lo anterior se demuestra la alta influencia del componente hídrico en el modelo y la efectividad de la planta de tratamiento en la reducción de la afectación del PAM del drenaje ácido.

#### 4. CONCLUSIONES

Se realizó un diagnóstico de los pasivos ambientales mineros presentes en la mina La Bodega y su planta de beneficio, siendo los de mayor grado de impacto *el deterioro de la infraestructura y la alta erosión*. Se requiere atención prioritaria a las áreas administrativas y productivas de la planta de beneficio (oficinas, laboratorios y piscinas de cianuración) y la erosión evidenciada en dirección este al túnel principal de la mina La Bodega.

El modelo matemático estructurado en este trabajo radica su valor en el planteamiento de indicadores para cuantificar los pasivos ambientales mineros, lo cual permitió evaluar las principales afectaciones de los componentes hidrológicos, geológicos, bióticos, socioeconómicos y paisajísticos que inciden en la mina La Bodega. Este modelo sencillo puede ser utilizado para evaluar el impacto de los pasivos ambientales de minas y plantas de tipo aurífero en Colombia.

En el proceso de desarrollo del presente estudio se evidenció que para la estructuración del modelo es importante la valoración de las herramientas de ponderación por parte de profesionales especializados en el área, lo cual representa una apreciación más real de los componentes y factores afectados por los pasivos ambientales mineros.

El índice de impacto ambiental global (IAG) para la mina La Bodega se clasifica como bajo, debido a la acción correctiva de la planta de tratamiento de drenaje ácido implementada por la empresa, la cual disminuye significativamente la afectación por parte de este pasivo ambiental minero.

## **5. RECOMENDACIONES**

De acuerdo a la estructura del modelo desarrollado en este trabajo, se propone a futuras investigaciones evaluar los impactos de los pasivos ambientales mineros con otros modelos.

Se plantea robustecer el modelo, a través de la realización de estudios cuantitativos que permitan una valoración más real de los pasivos ambientales mineros por parte de los indicadores.

## BIBLIOGRAFÍA

ALCALDIA DE CALIFORNIA. *Estudio de Ordenamiento Territorial*. [En línea]. 2012. [Citado 11-Abr-2014]. Disponible en: [http://www.california-santander.gov.co/apc-aa-files/64383037613831343764623933326633/EOT\\_CALIFORNIA.pdf](http://www.california-santander.gov.co/apc-aa-files/64383037613831343764623933326633/EOT_CALIFORNIA.pdf)

ALCALDIA DE CALIFORNIA. *Indicadores*. [En línea]. 2014. [Citado 8-Abr-2014]. Disponible en: <http://www.california-santander.gov.co/indicadores.shtml>

ÁLVAREZ, Rafael. *Estadística multivariante y no paramétrica con SPSS: aplicación a las ciencias de la salud*. Madrid: Diaz de Santos S.A. 1995.

ARANGO, Marcela. *Requerimientos para el diseño de una metodología que permita estimar el valor de pasivos ambientales mineros*. Tesis Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo. Medellín. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Programa Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo. Grupo GEMMA. 2011.

ARRANZ, Julio César. *Planes de actuación sobre territorios con abundantes pasivos ambientales mineros*. [En línea]. 2008. [Citado 7-Mar-2014]. Disponible en: [http://www.cprm.gov.br/publique/media/planes\\_mine\\_abandonada.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/planes_mine_abandonada.pdf).

ASGMI, Asociación de Servicios de Geología y Minería Iberoamericano. *Manual para el inventario de minas abandonadas o paralizadas*. [En línea]. 2010. [Citado 20-Oct-2013]. Disponible en: [http://www.asgmi.org/wp-content/uploads/2013/02/Manual\\_Inventario\\_PAM\\_Completo.pdf](http://www.asgmi.org/wp-content/uploads/2013/02/Manual_Inventario_PAM_Completo.pdf)

BERNAL, Marta. *Obtenido de Minería de oro en Colombia: auge y problemática*. [En línea]. 2010. [Citado 30-Oct-2013]. Disponible en Revista Logística: <http://www.revistadelogistica.com/Mineria-de-oro-en-Colombia-auge-y-problematika.asp>

CDMB. Corporación Autónoma Regional para la defensa de la meseta de Bucaramanga. *Manual de normas técnicas para el control de la erosión, y para la realización de estudios geológicos, geoténicos e hidrológicos en el área de jurisdicción de la CDMB*. [En línea]. 2009. [Citado 30-Nov-2013]. Disponible en: <http://www.cdmb.gov.co/gdi/resoluciones/fb8a36aaff7b073e1391.pdf>

CONESA FDEZ, Vicente. (1997). Anejo 2, Relación de acciones y factores para proyectos diversos. En V. C. Fdez, *Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental* (págs. 167-169). Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.

CONESA FDEZa, Vicente. (1997). Anejo 3. Estudio de factores medioambientales. En V. C. Vitora, *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*. Madrid. Ediciones Mundi Prensa. 1997.(págs. 185-251).

CTAS-AUX. *Caracterización de los componentes de biodiversidad en áreas de influencia directa e indirecta del tunel de exploración 2*. California. 2012. Informe Privado.

DELGADO, Joaquín. *Impacto ambiental de la actividad minera en el sector meridional de la cuenca del Guadiana*. En: Water Air and Soil Pollution. 2009. No 199(1-4), 323-341.

GARMENDIA, Alfonso. *Evaluación del Impacto Ambiental*. Primera Edición. Madrid (España): Pearson. 2005.

GÉLVEZ, Eliseo. *Propuesta del Plan de Manejo Ambiental*. 2005. Informe Privado.

GONZÁLEZ, Marialida. *Rediseño del perfil del indicador de gestión universitaria basado en el clima organizacional*. 2011. En: Boletín Médico de Postgrado. Vol XXVII No 3, 53-63. Disponible en: [http://bibvirtual.ucla.edu.ve/db/psm\\_ucla/edocs/bm/BM2703-04/BM27030402.pdf](http://bibvirtual.ucla.edu.ve/db/psm_ucla/edocs/bm/BM2703-04/BM27030402.pdf)

HERRERA, Iván Leonardo. (2012). *Análisis de la susceptibilidad a la subsidencia en el estado de San Luis Potosí (México) como herramienta de la gestión ambiental*. Tesis Magíster en Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Facultad de Ciencias Químicas, Ingeniería y Medicina. Programa Multidisciplinario de posgrado en Ciencias Ambientales. 2012.

IGME. Instituto Geológico y Minero de España. *Acuerdo específico de colaboración entre el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) y el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) para la restauración ambiental de la región del Bierzo*. Informe. Madrid, España. 2007.

IGME. Instituto Geológico y Minero de España. *Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería*. [En Línea]. 2004. [Citado 20-Oct-2013]. Disponible en: [http://www.igme.es/internet/sidPDF%5C065000%5C106%5C65106\\_0001.pdf](http://www.igme.es/internet/sidPDF%5C065000%5C106%5C65106_0001.pdf)

IPDC. Instituto Peruano de Catastro. *Consultoría para elaborar la guía para la generación de inventario y registro de pasivos ambientales*. [En línea]. 2012. [Citado 24-Oct-2013]. Disponible en: <http://consultorias.minam.gob.pe:8080/bitstream/123456789/260/1/CD0000169.pdf>

JC LABORATORIOS Y GEOTÉCNIA. *Análisis de estabilidad del deslizamiento localizado en el sector denominado La Bodega (tuneles Principal, Medio, El Carmen y Malvinas), de la vereda Angosturas municipio de California (Santander)*. 2012. Informe Privado.

JUNTA DE ANDALUCÍA. *Estudio Paisajístico del proyecto de actuación del área logística de interés autonómico de Majarabique*. [En línea]. 2012. [Citado 22-Feb-2014]. Disponible en: [http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal\\_web/ot\\_urbanismo/ordenacion\\_territorio/Actuaciones\\_ambito\\_autonomico/Area\\_logistica\\_majarabique/Estudio\\_Paisajistico.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/ot_urbanismo/ordenacion_territorio/Actuaciones_ambito_autonomico/Area_logistica_majarabique/Estudio_Paisajistico.pdf)

MALDONADO, Juan. *Diagnóstico y Proyecciones de la Gestión Minero Ambiental para las regiones auríferas de Colombia*. [En línea]. 2002. [Citado 10-Abr-2014]. Disponible en: <http://www.cortolima.gov.co/SIGAM/cartillas/Gestion%20minero%20ambiental.pdf>

MINISTERIO DE AMBIENTE. *Política Ambiental para la gestión integral de residuos o desechos peligrosos*. [En línea]. 2005. [Citado 21-Mar-2014]. Disponible en: [http://www.minambiente.gov.co/documentos/Politica\\_Residuos%20peligrosos.pdf](http://www.minambiente.gov.co/documentos/Politica_Residuos%20peligrosos.pdf)

MINISTERIO DE AMBIENTE. *Definición de Herramientas de Gestión de pasivos ambientales*. [En línea]. 2009. [Citado 22-Mar-2014]. Disponible en: [http://www.minambiente.gov.co/documentos/3902\\_200809\\_herramientas\\_gest\\_pas\\_ambientales.pdf](http://www.minambiente.gov.co/documentos/3902_200809_herramientas_gest_pas_ambientales.pdf)

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS PERÚ. *Guía Ambiental para el manejo de relaves mineros*. [En línea]. 2010. [Citado 21-Mar-2014]. Disponible en: <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/guias/relaveminero.PDF>

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. *Guía Minero Ambiental*. [En línea]. 2002. [Citado 10-Mar-2014]. Disponible en: <http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/UserFiles/File/Minas/Asuntos%20MINEROS/explotacion.pdf>

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. *Relación de Contratos Agosto de 2013*. [En línea]. 2013. [Citado 20-Mar-2014]. Disponible en: [http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/UserFiles/File/Contratacion/CONTRATACION2013/Agosto%202013\(1\).pdf](http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/UserFiles/File/Contratacion/CONTRATACION2013/Agosto%202013(1).pdf)

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIAS. Instituto de Investigación e Información Geocientífica Minero Ambiental y Nuclear. *Inventario Minero Nacional. Subdirección de Recursos del Subsuelo*. Bogotá. 2001

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIAS. *Fichas de Gestión de Pasivos Ambientales*. [En línea]. 2008. [Citado 2-Oct-2013]. Disponible en: [www.minambiente.gov.co%2Fdocumentos%2F3904\\_140809\\_fichas\\_gest\\_pas\\_ambientales.xls&ei=jq9jU8z5MKeqsATKoYGICA&usg=AFQjCNHwqG2XVuDnkYKGOUElPx2aACoEQ&sig2=EbXrJyuZ7y1GApfRJC8dw](http://www.minambiente.gov.co%2Fdocumentos%2F3904_140809_fichas_gest_pas_ambientales.xls&ei=jq9jU8z5MKeqsATKoYGICA&usg=AFQjCNHwqG2XVuDnkYKGOUElPx2aACoEQ&sig2=EbXrJyuZ7y1GApfRJC8dw)

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIAS. *Departamento de Santander. Subsector Minas*. [En línea]. 2010. [Citado 3-Oct-2013]. Disponible en: <http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/UserFiles/File/OLGA%20BAQUERO/CCG%20Minas%20SANTANDER%2031Enero2010.pdf>

MIRANDA, Diego. *Acumulación de Metales Pesados en suelo y plantas de cuatro cultivos hortícolas, regados con agua del río Bogotá*. En: *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 2008. Vol 2. Artículo 5. pp 180-191.

PSL PRO ANALISIS LTDA. *Informe de Resultados. Caracterización Drenaje de Mina*. Informe Privado. 2013.

SIAMA Ltda. *Caracterización Físicoquímica y Microbiológica de las aguas superficiales en la fuente hídrica: Quebrada la Baja*. California, Santander. Informe Privado. 2013.

SIMCO. *Cartilla de Minería*. [En línea]. 2009. [Citado 23-Oct-2013]. Disponible en: [simco: http://www.simco.gov.co/Portals/0/archivos/Cartilla\\_Mineria.pdf](http://www.simco.gov.co/Portals/0/archivos/Cartilla_Mineria.pdf)

TECOSAN S.A.S. *Evaluación Ambiental de los vertimientos correspondientes a los sistemas de tratamiento de drenajes de mina de La Bodega, Ventanas y el Gigante*. Informe Privado. 2013.

TRASLAVIÑA, J.J Yanez. *Mejora de los procesos de beneficio y extracción de minerales auroargentíferos del asentamiento minero se San Pedro Frio, Colombia*. En: *Revista de Metalurgia*. 2005. pag. 116-125.

UPME.Unidad de Planeación Minero Energética. Estadísticas Municipales Anuales. [En línea]. 2012. [Citado 12-Ene-2014]. Disponible en: [http://www.upme.gov.co/generadorconsultas/Consulta\\_Series.aspx?idModulo=4&tipoSerie=116&grupo=496&FechaInicial=01/01/2001&FechaFinal=31/03/2013](http://www.upme.gov.co/generadorconsultas/Consulta_Series.aspx?idModulo=4&tipoSerie=116&grupo=496&FechaInicial=01/01/2001&FechaFinal=31/03/2013)

ZULAICA, Laura. *Vulnerabilidad Socio-Ambiental y dimensiones de la sustentabilidad en un sector del periurbano marplatense*. En: Estudios Socioterritoriales. Revista de Geografía. 2009-2010 N° 8. pag. 197-219.

## ANEXO A. CONFIGURACIÓN DE UN PASIVO AMBIENTAL

Según (Ministerio de Ambiente, 2009)

- Los efectos ambientales que no han sido manejados, prevenidos, compensados o mitigados durante la ejecución de la actividad, a pesar de haber existido normatividad, estándares y requisitos en la licencia ambiental, permisos, autorizaciones o concesiones otorgados.
- Los efectos ambientales que implican riesgo para la salud humana o para los ecosistemas como consecuencia de la contaminación derivada del enterramiento, del abandono, del almacenamiento inapropiado subterráneo o en superficie o de los derrames de residuos peligrosos, sustancias químicas e hidrocarburos o elementos radiactivos.
- Los efectos ambientales de actividades en ejecución que carecían de instrumentos de control ambiental, bien porque la ley existente en ese momento no los exigía o bien porque existiendo los instrumentos las autoridades competentes no realizaban el control y seguimiento adecuados.
- Los efectos ambientales generados por el cierre definitivo de una actividad por una razón distinta a la orden de una autoridad ambiental, como sería el caso de una liquidación de una sociedad titular de dicha actividad. Este criterio aplicaría cuando se produce esa situación y no han sido resueltos los efectos ambientales generados. [Minambiente, 2008]
- Cuando se habla de pasivos ambientales se hace referencia al impacto negativo que se produce sobre el ambiente no al daño ambiental, tampoco se puede confundir con un impacto, ya que cualquier tipo de actividad genera impacto.

## ANEXO B. REGISTRO FOTOGRÁFICO

### B1. DESCRIPCION DE LA MINA Y PLANTA DE BENEFICIO

Ilustración 2. Planta de tratamiento de drenaje y planta de beneficio.



## **B2. PAISAJE**

**Ilustración 3. Paisaje posterior y frontal de la mina.**



### **B3. VEGETACIÓN**


**Ilustración 4. Principales especies de la zona (puya, elaphoglossum, calamagrostis y Quercus humboldtii)**



## ANEXO C. FORMATOS DE FICHAS DE CAMPO

### C1. REGISTRO DEL PASIVO AMBIENTAL (IPDC, 2012)

Figura 4. Ficha de registro PAM en Perú

 <b>PERÚ</b>		Ministerio del Ambiente	Viceministerio de Gestión Ambiental	Dirección General de Calidad Ambiental
<b>FICHA N° 1: FICHA DE REGISTRO DE PASIVO AMBIENTAL – FICHA DE CAMPO (FICHA DE USO INTERNO)</b>				
<b>I. Identificación</b>				
1. Código		2. N° Ficha		
3. Nombre Oficial del Sitio o Proyecto				
4. Nombre Popular del Sitio o Proyecto				
5. Responsable del pasivo ambiental				
6. Empresa/ Propietario Actual				
7. Descripción Ambiental				
8. Descripción del Pasivo Ambiental				
9. Fecha aproximada de generación del pasivo ambiental				
10. Acciones realizadas en el pasado para remediar el pasivo ambiental	Si	No		
11. Si es sí, indicar las medidas de desarrollo:				
12. Conflicto Social	Si	No		
13. Si es sí, indicar las situaciones que ocurren:				
<b>II. Ubicación</b>				
14. Región		15. Provincia		16. Distrito
17. Localidad / Paraje		18. Coordenada UTM Este		19. Coordenada UTM Norte
20. Altitud		21. Zona		22. Datum
23. Cuenca		24. Ubigeo		
25. Accesibilidad:				
26. Población Cercana y tamaño:		27. Distancia a la población cercana:		
28. Coordenadas de los Vértices del Pasivo Ambiental				
28.1 UTM E				
28.2 UTM N				

III. Sector del Pasivo Ambiental							
Agricultura	Turismo	Defensa	Energía	Hidrocarb.	Minería	Pesquería	Industria
Transporte	Comunicac.	Salud	Vivienda y Construcción	Saneamiento	Gobiernos Regionales	Gobiernos Locales	
Otro:							
IV. Descripción detallada del pasivo ambiental							
V. Dimensiones							
29. Largo		30. Ancho		31. Alto / Profund		32. Perímetro	
33. Área		34. Volumen					
VI. Actividades que se realizan dentro del área de influencia							
35. Actividades Económicas							
Industrial	Comercial	Agropecuaria	Otro:				
36. Actividades Recreativas							
Natación	Caza	Campo deportivo	Otro:				
VII. Situación del entorno							
Entorno		Distancia (m)		Descripción			
37. Viviendas							
38. Infraestructura Vial							
39. Infraestructura Urbana							
40. Áreas Agrícolas o Ganaderas							
41. Explotación Forestal							
42. Bosque y/o Vegetación Natural							
43. Especies y Ecosistemas en Protección							
44. Dirección del viento							
45. Otros							

VII. Situación del Agua				
46. Cuerpo de agua cercano	Si	No	47. Tipo de cuerpo de agua	
48. Nombre			49. Volumen o caudal aproximado	
50. Distancia aproximada (m)				
IX. Muestreo				
51. Agua	No	Si (ver hoja de muestreo)	Referencia	
52. Otros	No	Si (ver hoja de muestreo)	Referencia	
53. Fecha de Registro:			55. Firma:	
54. Inspector:				
56. Teléfono			57. Email	
58. Dirección:				
59. Incidencias:				
60. Croquis				

## C2. FICHA INVENTARIO DE MINAS ABANDONADAS/PARALIZADAS ASGMI (ASGMI, 2010)

Figura 5. Ficha de Inventario minas paralizadas ASGMI.

FICHA INVENTARIO DE MINAS ABANDONADAS/PARALIZADAS		
Código Id. <input style="width: 50px;" type="text"/>	Ficha número <input style="width: 50px;" type="text"/>	
<b>1. Identificación de la Mina</b>		
Nombre de la Mina A/P: <input style="width: 90%;" type="text"/>		
Empresa/Propietario: <input style="width: 90%;" type="text"/>		
Ubicación Longitud: <input style="width: 50px;" type="text"/> Latitud: <input style="width: 50px;" type="text"/> Altitud (msnm) <input style="width: 50px;" type="text"/> Datum <input style="width: 50px;" type="text"/>		
Región: <input style="width: 50px;" type="text"/> Prov.: <input style="width: 50px;" type="text"/> Comuna/Municipio <input style="width: 50px;" type="text"/> Paraje: <input style="width: 50px;" type="text"/>		
Mapa Topográfico Nº: <input style="width: 50px;" type="text"/> Nombre: <input style="width: 50px;" type="text"/> Escala: <input style="width: 50px;" type="text"/>		
Accesibilidad: <input type="checkbox"/> Con vehículo <input type="checkbox"/> A pie /a caballo <input type="checkbox"/> Inaccesible <input type="checkbox"/> Croquis		
<b>2. Tipo de Minería</b> Metálica: <input type="checkbox"/> No Metálica: <input type="checkbox"/>		
Sustancia/s: <input style="width: 80%;" type="text"/>		
<b>3. Estado y Tipo de Mina</b>		
Estado: <input type="checkbox"/> Abandonada desde el año: <input style="width: 50px;" type="text"/>		
<input type="checkbox"/> Paralizada desde el año: <input style="width: 50px;" type="text"/> Hasta el año: <input style="width: 50px;" type="text"/>		
Tipo: <input type="checkbox"/> Subterránea <input type="checkbox"/> Cielo abierto		
Labores accesibles: <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No		
Inundada: <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> Color del agua: <input style="width: 50px;" type="text"/> pH: <input style="width: 50px;" type="text"/>		
Efuentes: <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> Color del agua: <input style="width: 50px;" type="text"/> pH: <input style="width: 50px;" type="text"/>		
Tamaño del hueco (m) Ancho: <input style="width: 50px;" type="text"/> Largo: <input style="width: 50px;" type="text"/> Prof.: <input style="width: 50px;" type="text"/> Volumen estimado (m³): <input style="width: 50px;" type="text"/>		
Observaciones: <input style="width: 90%;" type="text"/>		
<b>4. Estado y Tipo de Planta</b>		
Trituración/molleada: <input type="checkbox"/> Cribado: <input type="checkbox"/> Lavadero: <input type="checkbox"/> Flotación: <input type="checkbox"/> Lixiviación: <input type="checkbox"/> Precipitación: <input type="checkbox"/> SXEW: <input type="checkbox"/>		
Refinación: <input type="checkbox"/> Tostación: <input type="checkbox"/> Cianuración: <input type="checkbox"/> Amalgam.: <input type="checkbox"/> Fusión/convers.: <input type="checkbox"/> Otras: <input style="width: 50px;" type="text"/>		
Observaciones: <input style="width: 90%;" type="text"/>		
<b>5. Depósitos de Residuos</b>		
Desmonte/botadero: <input type="checkbox"/> Relaves: <input type="checkbox"/> Residuos de lixiviación: <input type="checkbox"/> Residuos de evap./precip.: <input type="checkbox"/>		
Residuos industriales: <input type="checkbox"/> Escorias: <input type="checkbox"/> Otros acopios: <input style="width: 50px;" type="text"/>		
Tamaño del depósito (m) Ancho: <input style="width: 50px;" type="text"/> Largo: <input style="width: 50px;" type="text"/> Altura: <input style="width: 50px;" type="text"/> Volumen est. (m³): <input style="width: 50px;" type="text"/> Color: <input style="width: 50px;" type="text"/>		
Observaciones: <input style="width: 90%;" type="text"/>		
<b>6. Sustancias peligrosas utilizadas</b>		
Mercurio: <input type="checkbox"/> Cianuro: <input type="checkbox"/> Ácido sulfúrico: <input type="checkbox"/> Otros: <input style="width: 50px;" type="text"/>		
Observaciones: <input style="width: 90%;" type="text"/>		
<b>7. Situación del entorno</b>		
	<b>Distancia (m)</b>	<b>Descripción</b>
<input type="checkbox"/> Viviendas	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 90%;" type="text"/>
<input type="checkbox"/> Infraestructura vial	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 90%;" type="text"/>
<input type="checkbox"/> Infraestructura urbana	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 90%;" type="text"/>
<input type="checkbox"/> Áreas agrícolas y/o panaderas	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 90%;" type="text"/>
<input type="checkbox"/> Explotación forestal	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 90%;" type="text"/>
<input type="checkbox"/> Bosque y/o vegetación natural	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 90%;" type="text"/>
<input type="checkbox"/> Especies y ecosistemas valiosos	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 90%;" type="text"/>
<input type="checkbox"/> Otros	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 90%;" type="text"/>
<b>Entorno geológico</b>		<b>Descripción</b>
Rocas del sustrato: Sedimentarias <input type="checkbox"/> Volcánicas <input type="checkbox"/> Volcano-sedimentarias <input type="checkbox"/> Intrusivas <input type="checkbox"/> Metamórficas <input type="checkbox"/>		
Morfología: Cono de yeso <input type="checkbox"/> Valle <input type="checkbox"/> Ladera <input type="checkbox"/> Terraza <input type="checkbox"/> Rampa <input type="checkbox"/> Altiplanicie <input type="checkbox"/> Litoral <input type="checkbox"/>		
Observaciones: <input style="width: 90%;" type="text"/>		



**C3. RELACION DE ACCIONES Y FACTORES EN EXPLOTACIONES MINERAS**  
(CONESA FDEZ, 1997)

**Tabla 13. Relación acciones y factores en explotaciones mineras.**

<b>ACCIONES IMPACTANTES</b>	<b>FACTORES IMPACTADOS</b>
Modificación hábitat	Medio Natural:
Alteración cubierta vegeta	Atmosfera: calidad del aire, microclima, evotranspiracion, vientos dominantes, contaminación sonora.
Alteración cubierta terrestre	Tierra y Suelo: recursos minerales, geomorfología, topografía, formaciones geológicas, erosión, suelo, inundaciones, compactación, estabilidad.
Alteración hidrología y drenaje	Agua: balance hídrico, recarga, calidad, aguas subterráneas, aguas superficiales.
Emplazamientos industriales y edificios.	Flora: cubierta vegetal, diversidad, especies interesantes o en peligro, endémicas, estabilidad, comunidades vegetales.
Explosiones	Fauna: diversidad, biomasa, especies endémicas, especies interesantes o en peligro, estabilidad, cadenas tróficas, otras especies.
Voladuras y perforaciones	Medio Perceptual: desarmonías, vistas panorámicas, calidad del paisaje, valores históricos y vestigios arqueológicos.
Producción de ruido y vibraciones	
Emisión de gases y polvo	
Modificación vías férreas	
Otras vías de acceso	
Barreras y vallados	
Señalización	
Trafico	
Excavaciones superficiales	
Excavaciones subterráneas	

<b>ACCIONES IMPACTANTES</b>
Extracción de lignitos
Extracción otros minerales
Proceso de mineral
Canalización aguas de mina
Vertidos líquidos y sólidos en suspensión
Escombreras y cortas
Transportes materiales
Incendios y accidentes
Características yacimiento
Tipo minería
Evolución producción y consumo
Inversión anual explotación

<b>FACTORES IMPACTADOS</b>
Medio Socioeconómico
Usos del Territorio: espacios naturales, uso agrícola y ganadero, uso industrial y extractivo, uso residencial permanente, uso residencial de temporada, uso forestal, uso comercial, canteras, excursionismo y recreación, caza, suelo urbanizable, suelo no urbanizable, conservación y protección del medio
Culturales: valores didácticos, restos arqueológicos, valores históricos artísticos.
Infraestructura: red y servicios de transportes y comunicaciones, energía eléctrica, otros servicios e infraestructuras, variaciones en el tráfico.
Humanos: calidad de vida, salud, seguridad y bienestar.
Economía y Población: estructura de la población activa, empleo, densidad de población, costo de producción, beneficios económicos, dependencia energética, generación de energía, economía local, provincial y nacional, consumo, renta per cápita.

Fuente: [Conesa Fdez]

## ANEXO D. PANEL DE EXPERTOS

Tabla 14. Participantes en la metodología Delphi.

EXPERTO	NOMBRE	PROFESIÓN
1	Jaile Liliana Pinzón	Trabajadora Social
2	Narcés Jiménez Herrera	Ingeniero Metalúrgico
3	Dionisio Laverde Cataño	Ingeniero Metalúrgico
4	Jhon Fredy Palacios	Ingeniero Metalúrgico
5	Julio Andrés Pedraza	Ingeniero Químico
6	Jenny Osma Afanador	Ingeniera Química
7	María M. Duarte Mantilla	Ingeniera Química
8	William Pérez Vega	Geólogo
9	Leidy Gévez Landazábal	Bióloga
10	Carlos Guerrero Rodríguez	Ingeniero Agrónomo

## ANEXO E. CUESTIONARIOS METODOLOGÍA DELPHI

### E1. PRIMER CUESTIONARIO

Figura 6. Primer Cuestionario Delphi.



La definición del Pasivo Ambiental Minero (PAM) es dada por la CEPAL, (2008):

La denominación “pasivo ambiental minero” hace referencia a los impactos ambientales generados por las operaciones mineras abandonadas con o sin dueño u operador identificables y en donde no se hayan realizado un cierre de minas reglamentado y certificado por la autoridad correspondiente. La referencia es extensiva a aquellos impactos que pueden causar los residuos (sólidos, líquidos y gaseosos) generados en el curso de las diferentes fases del proceso minero, y que han sido depositados en presas de escombreras u otra forma de almacenamiento, sin un manejo ambientalmente apropiado (YUPARI, 2009)

El presente estudio tiene por objeto estructurar un modelo matemático, que englobe los componentes hidrosférico, geosférico, socioeconómico, atmosférico, biótico y paisajístico; para cuantificar el PAM en mina de explotación subterránea de material aurífero y su planta de beneficio en el municipio de California-Santander en estado de abandono.

Teniendo en cuenta que formó parte del equipo de trabajo del proyecto “Estudio diagnóstico sobre las áreas afectadas por actividades mineras en estado de abandono en algunos municipios de los departamentos del Chocó, Santander y Valle del Cauca”, solicito su colaboración en el diligenciamiento de la presente encuesta:

Nombre: _____
Profesión: _____

1.- ¿Según su criterio qué componentes y factores tienen alta influencia en la generación de un PAM?

--

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
DESARROLLO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA  
CUANTIFICACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES MINEROS  
CUESTIONARIO 1



2.- Los siguientes componentes influyen en la evaluación de un PAM; se requiere que usted los ordene asignando calificativo de 1º, 2º, 3º, etc. (siendo 1º el de mayor influencia).

Componente	Nivel
Geosférico	
Atmosférico	
Hidrosférico	
Biótico	
Paisajístico	
Socioeconómico	

3.- Seleccione el nivel de importancia de cada uno de los siguientes factores ambientales en la evaluación de un PAM:

COMPONENTE GEOSFERICO				
FACTOR	Escala de importancia			
	Inexistente	Poco significativa	Moderadamente significativa	Muy significativa
<b>GEOLOGIA</b>				
Geomorfología	0	1	2	3
Litología	0	1	2	3
Fallas Geológicas	0	1	2	3
Pendiente	0	1	2	3
Hundimiento	0	1	2	3
Presencia de diaclasas	0	1	2	3
Deslizamientos	0	1	2	3
Taludes	0	1	2	3
<b>CIVIL</b>				
Material de Infraestructura	0	1	2	3
Sistema estructural	0	1	2	3
Calidad del sistema estructural	0	1	2	3
Pendiente de cimentación	0	1	2	3
Elementos de infraestructura	0	1	2	3

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
DESARROLLO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA  
CUANTIFICACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES MINEROS  
CUESTIONARIO 1



Infraestructura Vial	0	1	2	3
<b>SUELO</b>				
Uso del Suelo	0	1	2	3
Erosión	0	1	2	3
Remoción Vegetal	0	1	2	3
Sismicidad	0	1	2	3
Presencia de Arenas y Lodos	0	1	2	3
Residuos	0	1	2	3
Inundación	0	1	2	3

<b>COMPONENTE ATMOSFERICO</b>				
<b>FACTOR</b>	<b>Escala de importancia</b>			
	Inexistente	Poco significativa	Moderadamente significativa	Muy significativa
<b>AIRE</b>				
Presencia material particulado	0	1	2	3
Malos olores	0	1	2	3
<b>CLIMA</b>				
Precipitaciones	0	1	2	3
Temperatura	0	1	2	3

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
DESARROLLO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA  
CUANTIFICACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES MINEROS  
CUESTIONARIO 1



COMPONENTE BIOTICO Y PAISAJISTICO				
FACTOR	Escala de importancia			
	Inexistente	Poco significativa	Moderadamente significativa	Muy significativa
Presencia de flora	0	1	2	3
Presencia de fauna	0	1	2	3
Degradación de cubierta vegetal	0	1	2	3
Ecosistema acuático	0	1	2	3
Ecosistema Terrestre	0	1	2	3

COMPONENTE HIDROSFERICO				
FACTOR	Escala de importancia			
	Inexistente	Poco significativa	Moderadamente significativa	Muy significativa
Presencia de agua superficial	0	1	2	3
Presencia de estructura	0	1	2	3
Presencia de sedimentos	0	1	2	3
Derrame de Hidrocarburos o lixiviados	0	1	2	3
Presencia de escombros	0	1	2	3
Información sobre precipitación	0	1	2	3
Información sobre Bioclima	0	1	2	3
Presencia de agua subterránea	0	1	2	3
Drenaje o Vertimiento	0	1	2	3

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
DESARROLLO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA  
CUANTIFICACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES MINEROS  
CUESTIONARIO 1



DRENAJE O VERTIMIENTO				
FACTOR	Escala de importancia			
	Inexistente	Poco significativa	Moderadamente significativa	Muy significativa
Presencia de Metales	0	1	2	3
pH	0	1	2	3
Temperatura	0	1	2	3

COMPONENTE SOCIOECONOMICO				
FACTOR	Escala de importancia			
	Inexistente	Poco significativa	Moderadamente significativa	Muy significativa
<b>SOCIAL</b>				
Calidad de Vida	0	1	2	3
Vulnerabilidad	0	1	2	3
Afectación grupos étnicos	0	1	2	3
Economía Local	0	1	2	3

4.- ¿Tiene algún comentario o sugerencia para tener en cuenta en el diseño del modelo matemático para la evaluación de PAM?

¡Muchas gracias por su amabilidad y por el tiempo dedicado a contestar esta encuesta!

## E2. SEGUNDO CUESTIONARIO

Figura 7. Segundo Cuestionario Delphi.

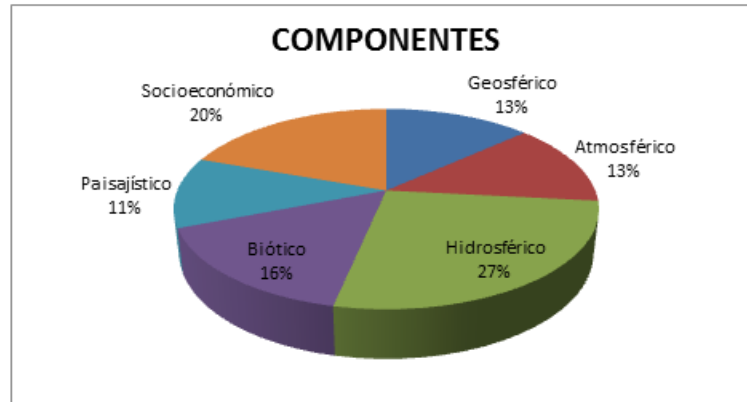


ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
DESARROLLO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA  
CUANTIFICACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES MINEROS  
CUESTIONARIO 2



Para el desarrollo de un modelo matemático que permita calificar el impacto de un PAM, se ha empleado el Método Delphi como fundamento para la ponderación de factores; el cual involucra un panel de expertos en el área de estudio y diversos cuestionarios de evaluación para cada etapa buscando la mejor correlación de datos.

Como experto, usted colaboro diligenciando un primer cuestionario de este estudio, el cual dio como resultado la ponderación porcentual de componentes que se ven afectados por un PAM así:



COMPONENTE	CATEGORIA	FACTOR	[ % ]
GEOSFÉRICO ( 13% )	Geología	Geomorfología	0,58
		Litología	0,60
		Fallas Geológicas	0,63
		Pendiente	0,69
		Hundimiento	0,72
		Presencia de Diaclasas	0,55
		Deslizamientos	0,75
		Taludes	0,60
	Civil	Material de infraestructura	0,60
		Sistema estructural	0,49
		Calidad de sistema estructural	0,69
		Pendiente de Cimentación	0,40
		Elementos de Infraestructura	0,49
	Suelo	Infraestructura Vial	0,55
		Uso del Suelo	0,69
		Erosión	0,75
		Remoción Vegetal	0,75
		Sismicidad	0,60
		Presencia de arenas y lodos	0,66
		Residuos	0,78
		Inundación	0,75

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
DESARROLLO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA  
CUANTIFICACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES MINEROS  
CUESTIONARIO 2



<b>ATMOSFÉRICO</b> ( 13% )	<i>Aire</i>	Presencia Material particulado	3,48
		Malos Olores	3,91
	<i>Clima</i>	Precipitaciones	3,48
		Temperatura	2,46
<b>HIDROSFÉRICO</b> ( 27% )		Presencia agua superficial	2,35
		Presencia de estructura	2,01
		Presencia de sedimentos	2,18
		Derrame de Hidrocarburos o Lixiviados	2,52
		Presencia de Escombros	2,01
		Información sobre Precipitación	2,18
		Información sobre Bioclima	1,93
		Presencia de agua Subterránea	2,43
		Drenaje o vertimiento	2,52
		<i>Drenaje o Vertimiento</i>	Presencia de Metales
	pH		2,35
		Temperatura	1,76
<b>BIÓTICO</b> ( 16% )		Degradación de Cubierta Vegetal	5,57
		Ecosistema acuático	5,17
		Ecosistema Terrestre	4,97
<b>PAISAJÍSTICO</b> ( 11% )		Presencia de Flora	5,82
		Presencia de Fauna	5,61
<b>SOCIECONOMICO</b> ( 20% )		Calidad de Vida	5,24
		Vulnerabilidad	5,06
		Afectación grupos étnicos	4,52
		Economía Local	4,70

Teniendo en cuenta los resultados anteriores y continuando con el desarrollo del método Delphi para nuestro caso de estudio: "Desarrollo de un modelo matemático para cuantificación de pasivos ambientales mineros en una mina de explotación aurífera subterránea y su planta de beneficio en estado de abandono en el municipio de California-Santander en cercanías a la quebrada La Baja", se le solicita a usted como experto diligenciar el siguiente cuestionario.

Nombre: \_\_\_\_\_

Profesión: \_\_\_\_\_

Empresa/Proyecto: \_\_\_\_\_

Años de Experiencia: \_\_\_\_\_

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
DESARROLLO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA  
CUANTIFICACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES MINEROS  
CUESTIONARIO 2



1. Realice una comparación por pares de los componentes; diligencie el anexo A asignando 1 al componente de mayor peso en la comparación y 0 al de menor peso (mirar hoja de cálculo EJEMPLO para cualquier duda).
2. Califique los factores de cada componente (para reestructurarlos), asignando un peso a cada nivel dando 1 al de menor influencia.

COMPONENTE	CATEGORIA	FACTOR	NIVEL
GEOSFÉRICO	<i>Geología</i>	Fallas Geológicas	
		Pendiente	
		Hundimiento	
		Deslizamientos	
		Taludes	
		Erosión	
	<i>Civil</i>	Material o elementos de Infraestructura abandonados	
		Presencia de Sistema estructural	
		Calidad del sistema estructural	
		Infraestructura Vial	
	<i>Suelo</i>	Uso del Suelo	
		Remoción Vegetal	
		Presencia de Arenas, Lodos y Sedimentos	
		Residuos	
Inundación			

COMPONENTE	CATEGORIA	FACTOR	NIVEL
HIDROSFÉRICO		Presencia de Agua superficial	
		Derrame de Hidrocarburos o lixiviados	
		Presencia de Agua Subterránea	
	<i>Drenaje o Vertimiento</i>	Presencia de Metales	
		pH	
		Temperatura	
		Caudal	

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
DESARROLLO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA  
CUANTIFICACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES MINEROS  
CUESTIONARIO 2



COMPONENTE	FACTOR	NIVEL
BIÓTICO	Degradación de Cubierta Vegetal	
	Ecosistema Acuático (presencia de peces)	

COMPONENTE	FACTOR	NIVEL
SOCIOECONOMICO	Calidad de Vida	
	Vulnerabilidad	

¿Tiene algún comentario o sugerencia para tener en cuenta en el diseño del modelo matemático para la evaluación de PAM?

¡Muchas gracias por su amabilidad y por el tiempo dedicado a contestar esta encuesta!

□

### E3. EJEMPLO DEL ANEXO A DEL SEGUNDO CUESTIONARIO

Figura 8. Ejemplo del Anexo del Segundo Cuestionario.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	<b>Forma III: Pares sin jerarquizar</b>							
2	Experto 1							
3		<b>FACTORES</b>	<b>I y II</b>	<b>I y III</b>	<b>I y IV</b>	<b>II y III</b>	<b>II y IV</b>	<b>III y IV</b>
4	I	Medio inerte	0	1	1			
5	II	Medio biótico	1			1	1	
6	III	Perceptual		0		0		1
7	IV	Socioeconómico			0		0	0
8								

### E4. PREGUNTA DEL ANEXO A DEL SEGUNDO CUESTIONARIO

Figura 9. Anexo A del Segundo cuestionario

ANEXO A		DESARROLLO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA CUANTIFICACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES MINEROS													
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA		CUESTIONARIO 2													
PREGUNTA 1: Realice una comparación por pares de los componentes; diligencie el anexo A asignando 1 al componente de mayor peso en la comparación y 0 al de menor peso (mirar hoja de cálculo EJEMPLO para cualquier duda).															
COMPONENTES	I y II	I y III	I y IV	I y V	I y VI	II y III	II y IV	II y V	II y VI	III y IV	III y V	III y VI	IV y V	IV y VI	V y VI
I Geosférico															
II Atmosférico															
III Hidrosférico															
IV Biótico															
V Paisajístico															
VI Socioeconómico															

## ANEXO F. RESPUESTAS DE LOS CUESTIONARIOS DELPHI

### F1. VALORACIÓN DEL PRIMER CUESTIONARIO

Tabla 15. Ponderación primer cuestionario

COMPONENTES	Experto 1	Experto 2	Experto 3	Experto 4	Experto 5	Experto 6	Experto 7	Experto 8	Experto 9	Experto 10	SUMA	PONDERACIÓN	Porcentaje	MEDIANA
<b>I GEOSTÉRICO</b>											<b>28</b>	<b>0,13</b>	<b>13,33</b>	Geológico Civil
<i>Geología</i>														
Geomorfología	2	2	2	2	1	2	2	2	3	2	20	0,043	0,58	Suelo
Litología	2	3	2	2	2	2	2	3	1	2	21	0,045	0,60	Aire
Fallas Geológicas	2	3	1	2	3	2	2	2	2	3	22	0,048	0,63	Clima
Pendiente	2	3	1	3	3	3	3	2	1	3	24	0,052	0,69	Hidroférico primera categoría
Hundimiento	2	2	2	3	3	3	3	2	2	3	25	0,054	0,72	Drenaje
Presencia de Diaclasas	2	1	1	2	2	2	3	2	2	2	19	0,041	0,55	Biótico
Deslizamientos	3	2	3	3	3	2	3	2	2	3	26	0,056	0,75	Paisajístico
Taludes	3	0	2	3	3	2	3	1	2	2	21	0,045	0,60	socioeconómico
<i>Civil</i>														
Material de infraestructura	2	2	2	2	3	3	3	0	2	2	21	0,045	0,60	
Sistema estructural	2	0	2	2	3	3	2	0	1	2	17	0,037	0,45	
Calidad de sistema estructural	2	3	3	3	3	3	3	0	1	3	24	0,052	0,63	
Pendiente de Cimentación	2	2	2	0	2	1	2	0	0	3	14	0,030	0,40	
Elementos de Infraestructura	2	1	2	2	2	2	3	0	1	2	17	0,037	0,45	
Infraestructura Vial	3	1	2	2	1	1	3	0	3	3	19	0,041	0,55	
<i>Suelo</i>														
Uso del Suelo	3	1	2	2	2	2	3	3	3	3	24	0,052	0,63	
Erosión	3	2	1	2	3	3	3	3	3	3	26	0,056	0,75	
Remoción Vegetal	3	2	1	2	3	3	3	3	3	3	26	0,056	0,75	
Sismicidad	3	3	1	2	3	2	1	1	3	2	21	0,045	0,60	
Presencia de arenas y lodos	3	2	1	2	2	3	3	1	3	3	23	0,050	0,66	
Residuos	3	2	2	3	2	3	3	3	3	3	27	0,058	0,78	
Inundación	3	1	2	3	3	2	3	3	3	3	26	0,056	0,75	
<b>SUMA</b>	<b>52</b>	<b>38</b>	<b>37</b>	<b>47</b>	<b>52</b>	<b>49</b>	<b>56</b>	<b>33</b>	<b>44</b>	<b>55</b>	<b>463</b>	<b>1</b>	<b>13,33</b>	



**Tabla 16. Ponderación de Componentes primer cuestionario**

COMPONENTES	Experto 1	Experto 2	Experto 3	Experto 4	Experto 5	Experto 6	Experto 7	Experto 8	Experto 9	Experto 10	SUMA	PONDERACIÓN	Porcentaje
I Geosférico	3	4	2	1	2	4	5	1	2	4	28	0,13	13,33
II Atmosférico	2	5	4	3	4	1	1	2	1	5	28	0,13	13,33
III Hidrosférico	5	6	6	5	6	6	6	6	4	6	56	0,27	26,67
IV Biótico	4	2	3	4	5	3	2	5	3	2	33	0,16	15,71
V Paisajístico	1	1	1	2	1	2	4	4	5	3	24	0,11	11,43
VI Socioeconómico	6	3	5	6	3	5	3	3	6	1	41	0,20	19,52
SUMA	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	210	1	100,00



Tabla 18. Ponderación anexo A del segundo cuestionario.

EXPERTO 1	COMPONENTES	I y II	I y III	I y IV	I y V	I y VI	II y III	II y IV	II y V	II y VI	III y IV	III y V	III y VI	IV y V	IV y VI	V y VI	SUMA	PONDERACION	PORCENTAJE
I	Geosérico	1	0	0	0	1											2	0,13	13,33
II	Atmosérico	0					0	0	0	0							0	0,00	0,00
III	Hidroserico		1				1				0	0	1				3	0,20	20,00
IV	Biótico			1				1			1		0	1	1		5	0,33	33,33
V	Paisajístico				1				1			1		0		1	4	0,27	26,67
VI	Socioeconómico					0				1				0	0	0	1	0,07	6,67
																	15	1,00	100,00
EXPERTO 2																			
I	Geosérico	1	0	0	1	0											2	0,13	13,33
II	Atmosérico	0					0	0	0	0							0	0,00	0,00
III	Hidroserico		1				1				1	1	0				4	0,27	26,67
IV	Biótico			1							0		1	0			3	0,20	20,00
V	Paisajístico				0				1			0		0		0	1	0,07	6,67
VI	Socioeconómico					1				1			1	1	1		5	0,33	33,33
																	15	1,00	100,00
EXPERTO 3																			
I	Geosérico	1	0	0	0	0											1	0,07	6,67
II	Atmosérico	0					0	0	0	0							0	0,00	0,00
III	Hidroserico		1				1				1	0	1				4	0,27	26,67
IV	Biótico			1				1			0			1	1		4	0,27	26,67
V	Paisajístico				1				1			1		0		1	4	0,27	26,67
VI	Socioeconómico					1				1			0	0	0	0	2	0,13	13,33
																	15	1,00	100,00
EXPERTO 4																			
I	Geosérico	1	0	1	1	1											4	0,27	26,67
II	Atmosérico	0					0	1	1	1							3	0,20	20,00
III	Hidroserico		1				1				1	1	1				5	0,33	33,33
IV	Biótico			0				0			0		1	1			2	0,13	13,33
V	Paisajístico				0				0			0		0		1	1	0,07	6,67
VI	Socioeconómico					0			0	0			0	0	0	0	0	0,00	0,00
																	15	1,00	100,00

EXPERTO 5																								
COMPONENTES	IyII	IyIII	IyIV	IyV	IyVI	IlyIII	IlyIV	IlyV	IlyVI	IIyIV	IIyV	IIyVI	IIyV	IIyVI	IIIYVI	IIIyV	IIIyVI	IVyV	IVyVI	VyVI				
I Geostérico	0	0	0	1	0																1	0,07	6,67	
II Atmosférico	1					1	1	1	0													4	0,27	26,67
III Hidrosférico		1				0				1	1	0										3	0,20	20,00
IV Biótico			1				0			0								1	0			2	0,13	13,33
V Paisajístico				0				0										0				0	0,00	0,00
VI Socioeconómico					1				1									1	1	1		5	0,33	33,33
																						15	1,00	100,00
EXPERTO 6																								
COMPONENTES	IyII	IyIII	IyIV	IyV	IyVI	IlyIII	IlyIV	IlyV	IlyVI	IIyIV	IIyV	IIyVI	IIyV	IIyVI	IIIYVI	IIIyV	IIIyVI	IVyV	IVyVI	VyVI				
I Geostérico	1	0	0	1	0																	2	0,13	13,33
II Atmosférico	0					0	0	0	0													0	0,00	0,00
III Hidrosférico		1				1				1	1	1										5	0,33	33,33
IV Biótico			1				1			0								1	1			4	0,27	26,67
V Paisajístico				0				1										0				1	0,07	6,67
VI Socioeconómico					1				1									0	0	1		3	0,20	20,00
																						15	1,00	100,00
EXPERTO 7																								
COMPONENTES	IyII	IyIII	IyIV	IyV	IyVI	IlyIII	IlyIV	IlyV	IlyVI	IIyIV	IIyV	IIyVI	IIyV	IIyVI	IIIYVI	IIIyV	IIIyVI	IVyV	IVyVI	VyVI				
I Geostérico	1	0	0	0	0																	1	0,07	6,67
II Atmosférico	0					0	0	0	0													0	0,00	0,00
III Hidrosférico		1				1				1	1	1										5	0,33	33,33
IV Biótico			1				1			0								0	0			2	0,13	13,33
V Paisajístico				1				1										1	1			4	0,27	26,67
VI Socioeconómico					1				1									0	1	0		3	0,20	20,00
																						15	1,00	100,00

1	2	3	4	5	6	7
0,13	0,13	0,07	0,27	0,07	0,13	0,07
0,00	0,00	0,00	0,20	0,27	0,00	0,00
0,20	0,27	0,27	0,33	0,20	0,33	0,33
0,33	0,20	0,27	0,13	0,13	0,27	0,13
0,27	0,07	0,27	0,07	0,00	0,07	0,27
0,07	0,33	0,13	0,00	0,33	0,20	0,20
<b>COMPONENTE</b>	<b>MEDIA</b>	<b>[ % ]</b>	<b>VARIANZA</b>			
Geosférico	0,13	13,33	0,005			
Atmosférico	0,12	11,67	0,013			
Hidrosférico	0,30	30,00	0,004			
Biótico	0,17	16,67	0,007			
Paisajístico	0,10	10,00	0,014			
Socioeconomico	0,18	18,33	0,016			
Total	1,00	100,00				

## ANEXO G. ÍNDICES E INDICADORES

### G1. ESTRUCTURA DEL TERRENO

#### EROSION

En la zona de estudio se presenta alta erosión por acción antrópica de la minería artesanal y de tipo pluvial por las altas precipitaciones de la zona, la cual con el tipo de pendiente que posee (40-50%) se favorece el proceso erosivo (JC Laboratorios y Geotécnia). Para la evaluación de la erosión se consideró solamente el efecto de las precipitaciones empleando el Índice de Erosión Potencial de Fournier Modificado (IFM). La tabla 19 muestra la valoración del grado de impacto.

$$R = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P} \quad (4)$$

Pi = precipitación media mensual

P= precipitación media anual

Tabla 19. Categoría de impacto Índice de Fournier

Grado de Impacto	Clasificación	IFM
0	Nulo	0
1	Muy bajo	0 < IFM ≤ 60
2	Bajo	60 < IFM ≤ 90
3	Moderado	90 < IFM ≤ 120
4	Alto	120 < IFM ≤ 160
5	Muy Alto	>160

## DESLIZAMIENTO

Teniendo en cuenta el estudio de estabilidad del deslizamiento en la Bodega realizado por la empresa JC laboratorios y Geotecnista y la norma geotécnica de la CDMB (CDMB, 2009) se plantea la siguiente clasificación de acuerdo al factor de seguridad, donde el primer valor es en condiciones estáticas y el segundo en condiciones de sismicidad. La tabla 20 muestra la valoración del grado de impacto según el factor de seguridad.

**Tabla 20. Categoría de impacto de Factores de Seguridad**

Grado de Impacto	Clasificación	Factor de Seguridad (Fs)
0	Muy bajo	$>1,80$ y $> 1,4$
1	Bajo	$1,80 < Fs < 1,5$ y $1,4 < Fs < 1,2$
2	Bajo-Medio	$1,5$ y $1,2$
3	Medio	$1,5 < Fs < 1,25$ y $1,2 < Fs < 1,0$
4	Alto	$1,25$ y $1,0$
5	Muy Alto	$< 1,25$ y $< 1,0$

## HUNDIMIENTO

La evaluación hundimientos es un tema complejo debido a las diversas variables que influyen en ellos (tipo de roca, hinchamiento del suelo, cubierta, deterioro de pilares, presión de hundimiento, tipo de explotación, dimensiones del túnel entre otros) y la variedad de métodos numéricos existentes. Teniendo en cuenta (Herrera, 2012) se realiza la siguiente escala de valoración (Tabla 21).

**Tabla 21. Categoría de impacto de Hundimientos**

Grado de Impacto	Clasificación	Tipo de Rocas
0	No genera impacto significativo	Ígneo-metamórficas
1	Muy bajo	Metamórficas
2	Bajo	Ígneas
3	Medio	Sedimentarias no solubles
4	Alto	Yeso
5	Muy alto	Caliza

La valoración final de la estructura del terreno se presenta en la Tabla 22.

**Tabla 22. Categoría de impacto Total de Estructura del Terreno**

Grado de Impacto	Clasificación	Valor ET
0	No hay impacto	0
1	Muy Bajo	$0 < ET \leq 0,06$
2	Bajo	$0,06 < ET \leq 0,12$
3	Medio	$0,12 < ET \leq 0,18$
4	Alto	$0,18 < ET \leq 0,24$
5	Muy Alto	$0,24 < ET \leq 0,3$

## **G2. INFRAESTRUCTURA**

### **EDIFICACIONES**

#### **SISTEMA ESTRUCTURAL**

Se plantea el cálculo de un índice teniendo en cuenta los siguientes parámetros y ponderaciones según se decidió con la ingeniera civil asesora. Los parámetros a evaluar y la valoración de grado de impacto se muestra en las Tablas 23 y 24.

$$ISE = 0,5 TSE + 0,2 TM + 0,2 CUB + 0,1 TE$$

(5)

**Tabla 23. Parámetros de evaluación y pesos para el índice de sistema estructural.**

PARAMETRO	[ % ]	CLASIFICACION	PUNTUACIÓN
Tipo sistema estructural [TSE]	50	Pórtico	20
		Mampostería	15
		Mampostería Reforzada	10
		Otros	25
		Sin sistema estructural	30
Tipo material [TM]	20	Concreto	20
		Mampostería	30
		Mixto (concreto y mampostería)	10
		Otro	40
Cubierta [CUB]	20	Con vigas de Soporte	30
		Sin vigas de soporte	70
Tipo de edificación [TE]	10	Reciente	30
		Antigua	70

**Tabla 24. Categoría de impacto Sistema Estructural**

Grado de Impacto	Clasificación	Puntaje Final
0	No genera impacto	16
1	Muy bajo	16 – 25
2	Bajo	25 – 35
3	Medio	35 – 40
4	Alto	40 – 49
5	Muy Alto	49

## CALIDAD DE SISTEMA ESTRUCTURAL

Se recibió asesoría por un profesional en el área determinando los rangos de impacto. La valoración del grado de impacto se muestra en la Tabla 25.

**Tabla 25. Categoría de impacto de la Calidad del sistema estructural**

Grado de Impacto	Clasificación	Estado de Conservación [% fisuras]
0	No genera impacto	No presenta fisuras
1	Muy bajo	1 - 20%
2	Bajo	20-30%
3	Medio	30-40%
4	Alto	40-50%
5	Muy Alto	>50%

La valoración final de las edificaciones se presenta en la Tabla 26.

**Tabla 26. Categoría de impacto Total de Edificaciones**

Grado de Impacto	Clasificación	Valor ED
0	No hay impacto	0
1	Muy Bajo	$0 < ED \leq 0,03$
2	Bajo	$0,03 < ED \leq 0,06$
3	Medio	$0,06 < ED \leq 0,09$
4	Alto	$0,09 < ED \leq 0,12$
5	Muy Alto	$0,12 < ED \leq 0,15$

## **OTRA INFRAESTRUCTURA**

### **MATERIAL ABANDONADO**

Este indicador hace referencia a los tanques, patios de depósito y piscinas presentes en la planta de beneficio. Si hay más de un tipo de estructura se reemplaza el valor promedio de la infraestructura presente. Los porcentajes se definieron según recomendaciones de expertos en civil. Los parámetros a evaluar se muestran en la Tabla 27 y la categoría de impacto en la Tabla 28.

$$IOIF = 0,7 EC + 0,3 TM \quad (6)$$

**Tabla 27. Parámetros de evaluación de otra infraestructura**

PARAMETRO	[ % ]	CLASIFICACION	PUNTUACIÓN
Estado de conservación [EC]	70	1 – 20%	10
		20-30%	15
		30-40%	20
		40-50%	25
		>50%	30
Tipo de material [TM]	30	Concreto	30
		Otro	70

**Tabla 28. Categoría de impacto otra infraestructura**

Grado de Impacto	Clasificación	Puntaje Final
0	No genera impacto	16
1	Muy bajo	$16 < P < 25$
2	Bajo	$25 \leq P < 30$
3	Medio	$30 \leq P < 35$
4	Alto	$35 \leq P < 42$
5	Muy Alto	42

La valoración final de la infraestructura se presenta en la Tabla 29.

**Tabla 29. Categoría de impacto Total de Infraestructura**

Grado de Impacto	Clasificación	Valor IF
0	No hay impacto	0
1	Muy Bajo	$0 < IF \leq 0,01$
2	Bajo	$0,01 < IF \leq 0,02$
3	Medio	$0,02 < IF \leq 0,03$
4	Alto	$0,03 < IF \leq 0,04$
5	Muy Alto	$0,04 < IF \leq 0,05$

### **G3. CONTAMINANTES DEL SUELO**

#### **INDICADOR DE ARENAS Y LODOS**

Se tuvo en cuenta la concentración de mercurio por ser el de mayor acumulación en suelos (Miranda, 2008) y el material del depósito ya que de este depende la contaminación directa o indirecta del suelo (Ministerio de Energía y Minas Perú, 2000). Solo se evaluaron los lodos procedentes del tratamiento del mineral. Los parámetros de evaluación y la valoración del grado de impacto se muestran en las Tablas 30 y 31.

$$IAL = 0,7 CM + 0,3 MD \quad (7)$$

**Tabla 30. Parámetros de Evaluación de Arenas y Lodos**

PARAMETRO	[ % ]	CLASIFICACION	PUNTUACIÓN
Concentración de Mercurio [CM] [mg/Kg]	70	< 1	5
		1 < CM > 1,5	25
		1,5	30
		>1,5	40
Material del depósito [MD]	30	Natural	60
		Concreto	10
		Otro	30

**Tabla 31. Categoría de impacto Arenas y Lodos**

Grado de Impacto	Clasificación	Puntaje Final
0	No hay arenas/lodos	0
1	Muy bajo	6,5 ≤ PF ≤ 20
2	Bajo	20 < PF ≤ 30
3	Medio	30 < PF ≤ 40
4	Alto	40 < PF < 46
5	Muy Alto	46

## INDICADOR DE RESIDUOS

Los residuos se clasificaron de acuerdo a su toxicidad (Ministerio de Ambiente, 2005) en residuos peligrosos, residuos inflamables y residuos inertes. La ponderación se determinó según la afectación a la salud humana. Los parámetros evaluados y la categoría de impacto se presentan en las Tablas 32 y 33.

$$TR = 0,5 (RT) + 0,3 (RI) + 0,2 (RIn) \quad (8)$$

**Tabla 32. Parámetros de evaluación de Residuos**

PARAMETRO	CLASIFICACION	PUNTUACIÓN
Tipo de Residuo	Residuos Tóxicos (presencia de cianuro, mercurio, escombreras) 50 %	60
	Residuos Inflamables (presencia gasolina, aceites, etc.) 30%	30
	Residuos Inertes (Presencia escombros construcción, suelo descapote, tubos, material abandonado) 20%	10

**Tabla 33. Categoría de impacto Tipo Residuo**

Grado de Impacto	Clasificación	TR
0	No hay residuos	0
1	Muy bajo	2
2	Bajo	9 – 11
3	Medio	30 – 32
4	Alto	32 – 39
5	Muy Alto	41

La valoración final de Contaminantes del suelo se presenta en la Tabla 34.

**Tabla 34. Categoría de impacto Total de contaminantes del suelo**

Grado de Impacto	Clasificación	Valor CS
0	No hay impacto	0
1	Muy Bajo	$0 < CS \leq 0,03$
2	Bajo	$0,03 < CS \leq 0,06$
3	Medio	$0,06 < CS \leq 0,09$
4	Alto	$0,09 < CS \leq 0,12$
5	Muy Alto	$0,12 < CS \leq 0,15$

#### **G4. INDICADOR DERRAME DE LIXIVIADOS**

Considerando la posible afectación de los lixiviados al cuerpo hídrico se toman como variables a medir la distancia al cuerpo hídrico más cercano, la concentración de cianuro (Resolución 2115, 2007) y la calidad del material de depósito por posibles infiltraciones (Delgado, 2009). La ponderación se determinó según la afectación a la salud humana y fauna presente. Con lo anterior se plantea el índice de derrame de lixiviados (IDL). Los parámetros de evaluación y categoría de impacto se muestran en las Tablas 35 y 36.

$$IDL = 0,5 CC + 0,3 D + 0,2 CMD \quad (9)$$

**Tabla 35. Parámetros evaluación derrame de lixiviados.**

PARAMETRO	[ % ]	CLASIFICACION	PUNTUACIÓN
Concentración de iones Cianuro [CC] [mg/L]	50%	$\leq 0,5$	10
		$0,5 < CC \leq 1$	20
		$> 1$	70
Distancia al cuerpo hídrico más cercano [D] [m]	30%	$\leq 50$	70
		$50 < D \leq 80$	20
		$> 80$	10
Calidad del Material de depósito [CMD] [% fisuras]	20%	$\leq 30$	10
		$30 < CMD \leq 50$	20
		$> 50$	70

**Tabla 36. Categoría de impacto de derrame de lixiviados**

Grado de Impacto	Clasificación	IDL
0	No hay Derrame	0
1	Muy Bajo	$10 \leq \text{IDL} \leq 15$
2	Bajo	$15 < \text{IDL} \leq 20$
3	Medio	$20 < \text{IDL} \leq 40$
4	Alta	$40 < \text{IDL} \leq 55$
5	Muy Alta	$55 < \text{IDL} \leq 70$

## **G5. DRENAJE ACIDO DE MINA**

### **PRESENCIA DE METALES**

Tomando como referencia la normativa (Decreto 1584 de 1994) y el estudio realizado por (Tecosan S.A.S, 2013) se plantea el siguiente sistema de evaluación:

**Tabla 37. Categoría de impacto de concentración de Mercurio**

Grado de Impacto	Clasificación	Concentración Hg [mg/L]
0	No genera impacto significativo	< 0,01
1	Muy Bajo	0,01
2	Bajo	0,01 – 0,02
3	Medio	0,02 – 0,03
4	Alto	0,03 – 0,04
5	Muy Alto	>0,04

**Tabla 38. Categoría de impacto de concentración de iones Cianuro**

Grado de Impacto	Clasificación	Concentración Cianuros [mg/L]
0	No tiene impacto significativo	< 1
1	Muy Bajo	1
2	Bajo	1 – 2
3	Medio	2 – 3
4	Alto	3 – 4
5	Muy Alto	>4

**Tabla 39. Categoría de impacto de concentración de Aluminio**

<b>Grado de Impacto</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Concentración Al [mg/L]</b>
0	No tiene impacto significativo	< 3
1	Muy Bajo	3
2	Bajo	3 – 4
3	Medio	4 – 5
4	Alto	5 - 6
5	Muy Alto	>6

**Tabla 40. Categoría de impacto de concentración de Cobre**

<b>Grado de Impacto</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Concentración Cu [mg/L]</b>
0	No tiene impacto significativo	<0,3
1	Muy Bajo	0,3
2	Bajo	0,3 – 0,4
3	Medio	0,4 – 0,5
4	Alto	0,5 – 0,6
5	Muy Alto	>0,6

**Tabla 41. Categoría de impacto de concentración iones Sulfuro**

<b>Grado de Impacto</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Concentración Sulfuros [mg/L]</b>
0	No tiene impacto significativo	<2
1	Muy Bajo	2
2	Bajo	2 – 3
3	Medio	3 – 4
4	Alto	4 – 5
5	Muy Alto	>5

La valoración final de la presencia de metales se presenta en la Tabla 42.

**Tabla 42. Categoría de impacto Total de Presencia de Metales**

Grado de Impacto	Clasificación	Valor PM
0	No hay impacto	0
1	Muy Bajo	$0 < PM \leq 0,1$
2	Bajo	$0,01 < PM \leq 0,02$
3	Medio	$0,02 < PM \leq 0,03$
4	Alto	$0,03 < PM \leq 0,04$
5	Muy Alto	$0,04 < PM \leq 0,05$

**pH**

Tomando con base la normativa para la extracción de oro en el estudio de vertimientos (Decreto 1584 de 1984) realizado a la empresa AUX Colombia por Tecosan S.A.S y considerando que para el óptimo desarrollo de los ecosistemas acuáticos se requieren pH entre 6.5 – 9 se realizó la siguiente clasificación (Tabla 43.)

**Tabla 43. Categoría de impacto del pH**

Grado de Impacto	Clasificación	pH
0	No tiene Impacto	$7,5 \leq \text{pH} \leq 9$
1	Muy Bajo	$6 < \text{pH} \leq 7.4$
2	Bajo	$5.5 < \text{pH} \leq 6$
3	Medio	$5 < \text{pH} \leq 5.5$
4	Alta	$4 \leq \text{pH} \leq 5$
5	Muy Alta	$< 4$

La valoración final del drenaje ácido se presenta en la Tabla 44.

**Tabla 44. Categoría de impacto Total del Drenaje Acido**

Grado de Impacto	Clasificación	Valor DA
0	No hay impacto	0
1	Muy Bajo	$0 < DA \leq 0,19$
2	Bajo	$0,19 < DA \leq 0,38$
3	Medio	$0,38 < DA \leq 0,57$
4	Alto	$0,57 < DA \leq 0,76$
5	Muy Alto	$0,76 < DA \leq 0,95$

## **G6. INDICADOR AGUA SUPERFICIAL**

Para el índice de agua superficial se consideró los límites permisibles (Decreto 1594 de 1984) del mercurio en cuerpos de agua libres, concentración de oxígeno disuelto, concentración de nitritos y el pH ya que estos factores tienen alta influencia en la salud humana y en el desarrollo de la vida acuática (SIAMA Ltda, 2013).

$$IAS = 0,30 CN + 0,35 M + 0,20 pH + 0,15 OD \quad (10)$$

**Tabla 45. Parámetros de evaluación agua superficial**

VARIABLE	UNIDAD	CLASIFICACION	PUNTAJE
Concentración de Nitritos (CN) [30%]	mg/L	< 0,1	10
		0,1	20
		> 0,1	70
Oxígeno Disuelto (OD) [ 15%]	mg/L	<4	65
		4	25
		>4	10
pH [ 20 %]	Unidades de pH	≤ 5.5	35
		5.5 < pH ≤ 9	5
		9 < pH ≤ 12	25
		>12	35
Mercurio (M) [35 %]	µg/L	< 0,5	10
		0,5 ≤ M ≤ 0,7	25
		> 0,7	65

**Tabla 46. Categoría de impacto de agua superficial**

Grado de Impacto	Clasificación	IAS
0	No genera impacto significativo	9
1	Muy Bajo	9 < IAS ≤ 15
2	Bajo	15 < IAS ≤ 23,5
3	Medio	23,5 ≤ IAS ≤ 35
4	Alta	35 < IAS ≤ 50
5	Muy Alto	50 < IAS ≤ 60,5

**G7. INDICADOR PRESENCIA DE PECES**

Siguiendo la línea base (CTAS-AUX, 2012) se conocen las especies comunes de peces en la zona. Se propone el análisis en 200 m de la presencia y reconocimiento de las especies con una malla de 5 m<sup>2</sup>. El índice de Shannon puede tomar diversos valores siendo Hmax = Ln S y el menor valor cuando solo se tiene una especie H=0. Para nuestro caso se tuvieron en cuenta 2 especies base teniendo un máximo de 0,69. Se empleó el índice de diversidad de Shannon – Wiener con la siguiente formula. La valoración se presenta en la Tabla 47 y 48.

$$H = - \sum_{i=1}^S p_i \ln (p_i) \tag{11}$$

Dónde:

S– número de especies

$n_i$  – número de individuos de la especie  $i$

$$P_i = \frac{n_i}{N}$$

$N$  – número de todos los individuos de todas las especies

**Tabla 47. Especies de peces**

PECES
<i>Oncorhynchus mykiss</i> (trucha)
<i>Trichomycterus</i> sp. (jabonero, boboso, bagre)

**Fuente: [CTAS-AUX]**

**Tabla 48. Categoría de impacto del índice de Shannon para peces**

Grado de Impacto	Clasificación	H
0	No tiene Impacto	0,69
1	Muy Bajo	0,59 < H ≤ 0,69
2	Bajo	0,9 < H ≤ 0,59
3	Medio	0,39 < H ≤ 0,49
4	Alta	0,29 < H ≤ 0,39
5	Muy Alta	< 0,29

### **G8. INDICADOR DE CUBIERTA VEGETAL**

Se empleó el índice de Shannon para valorar la diversidad de especies vegetales en un radio de 200 m. El índice puede tomar diversos valores siendo  $H_{max} = \ln S$  y el menor valor cuando solo se tiene una especie  $H=0$ . Para nuestro caso se registraron 16 especies teniendo un máximo de 2,77. La valoración se muestra en la Tabla 49.

**Tabla 49. Categoría de impacto del índice de Shannon cubierta vegetal.**

Grado de Impacto	Clasificación	H
0	No tiene Impacto	2,77
1	Muy Bajo	2 < H ≤ 2,77
2	Bajo	1,5 < H ≤ 2
3	Medio	1 < H ≤ 1,5
4	Alta	0,5 < H ≤ 1
5	Muy Alta	≤ 0,5

### **G9. INDICADOR DE PRESENCIA DE FLORA O PAISAJISTICO**

Se empleó el indicador de Valor relativo del paisaje el cual varía entre 0 – 10 (Conesa Fdeza, 1997).

$$V_R = K * V_A \quad (12)$$

Donde Va: Valoración subjetiva del paisaje (Tabla 50)

**Tabla 50. Valoración subjetiva del paisaje**

PAISAJE	Va
Vegetación abundante (> 80%), Alto grado de atracción visual	16 – 25
Vegetación media-alta (50 – 80%), Atracción visual media-alta	8 – 16
Vegetación media (30 – 50%), Moderado grado de atracción visual	4 – 8
Vegetación baja (10 – 30%), Bajo grado de atracción visual	2 – 4
Poca Vegetación (< 10%), Escaso grado de atracción visual	1 – 2
Sin vegetación (no agradable a la vista)	0 – 1

Fuente: [Conesa Fdez]

$$K = 1,125 * \left[ \frac{P}{d} * A_c * S \right]^{1/4} \quad (13)$$

Siendo

P: radio en función del tamaño de la población próxima

d: radio en función de la distancia media en km a las poblaciones próximas

Ac: accesibilidad a los puntos de observación (mala 1, regular 2, buena 3, inmediata 4).

S: cuenca visual, para el caso de estudio se emplea una distancia de 200 m. Muy grande (> 3,5 km) 4, Grande (1,5 – 3,5 km) 3, Pequeña (1,5 – 0,5) 2, Muy pequeña (< 0,5 km) 1. Los valores estandarizados de P y d se muestran en la Tabla 51, y la valoración final del impacto se muestra en la Tabla 52.

**Tabla 51. Valores P y d**

No Habitantes	P	Distancia [km]	d
1-1000	1	0 – 1	1
1000-2000	2	1 – 2	2
2000-4000	3	2 – 4	3
4000-8000	4	4 – 6	4
8000-16000	5	6 – 8	5

Fuente: [Conesa Fdez]

**Tabla 52. Categoría de impacto del valor relativo paisaje**

Grado de Impacto	Clasificación	Vr
0	No tiene Impacto	$\geq 90$
1	Muy Bajo	$70 < Vr \leq 90$
2	Bajo	$50 < Vr \leq 70$
3	Medio	$30 < Vr \leq 50$
4	Alta	$10 < Vr \leq 30$
5	Muy Alta	$\leq 10$

## **G10. INDICADOR VULNERABILIDAD SOCIAL**

El presente trabajo asume que la vulnerabilidad social está determinada por las características intrínsecas de la población y su entorno próximo para enfrentar las dificultades o riesgos. Dichas características, comprenden un conjunto de factores (relativos a salud, accesibilidad, pobreza, educativos, habitacionales, económicos, ambientales) influyentes en el cálculo de la vulnerabilidad.

De acuerdo a la información obtenida en (Alcaldía de California, 2014) y la metodología propuesta por (Zulaica L, 2009-2010) se decide considerar los factores de población, servicios de salud, calidad de las viviendas y distancia de las viviendas al pasivo, su clasificación se muestra en la Tabla 53.

**Tabla 53. Parámetros vulnerabilidad social**

PARAMETRO	VARIABLE	CLASIFICACION	PUNTAJE
Población [35%]	Distancia [m] [20%]	≤ 100	70
		100 < D ≤ 1000	20
		> 1000	10
	Número de personas aprox. [15%]	≤ 100	10
		100 < N ≤ 500	20
		> 500	70
Vivienda [35%]	Calidad de vivienda [% fisuras] [ 12%]	≤ 30	10
		30 < % ≤ 50	20
		> 50	70
	Número de viviendas aprox. [11%]	≤ 25	20
		25 < N ≤ 125	30
		> 125	50
	Distancia [m] [12%]	≤ 100	70
		100 < D ≤ 1000	20
		> 1000	10
Salubridad [30%]	Acceso servicios públicos [% acceso]	< 50	60
		50	30
		> 50	10

Se estandariza cada indicador a través de la puntuación omega:

$$I.V.S = \sum \frac{(d - m)}{(M - m)} * VP \quad (14)$$

Siendo I.V.S el índice de vulnerabilidad, M el mayor valor del indicador, m el menor valor del indicador, d el dato a estandariza y VP es el porcentaje de cada parámetro. Obteniendo valores entre 0 – 1 (ZULAICA L. &., 2009-2010) la valoración final se muestra en la Tabla 54.

**Tabla 54. Categoría de impacto del índice de vulnerabilidad social**

Grado de Impacto	Clasificación	I.V.S
0	No tiene Impacto	$\leq 0,1$
1	Muy Bajo	$0,1 < IVS \leq 0,3$
2	Bajo	$0,3 < IVS \leq 0,5$
3	Medio	$0,5 < IVS \leq 0,7$
4	Alta	$0,7 < IVS \leq 0,9$
5	Muy Alta	$> 0,9$

## **G11. COMPONENTE GEOSFÉRICO**

La valoración final del componente geosférico se presenta en la Tabla 55.

**Tabla 55. Categoría de impacto final del IPAMGEO**

Grado de Impacto	Clasificación	Valor IPAMGEO
0	No hay impacto	0
1	Muy Bajo	$0 < IPAMGEO \leq 0,13$
2	Bajo	$0,13 < IPAMGEO \leq 0,26$
3	Medio	$0,26 < IPAMGEO \leq 0,39$
4	Alto	$0,39 < IPAMGEO \leq 0,52$
5	Muy Alto	$0,52 < IPAMGEO \leq 0,65$

## **G12. COMPONENTE HIDROSFÉRICO**

La valoración final del componente hidrosférico se presenta en la Tabla 56.

**Tabla 56. Categoría de impacto final IPAMHIDRO**

Grado de Impacto	Clasificación	Valor IPAMHIDRO
0	No hay impacto	0
1	Muy Bajo	$0 < IPAMHIDRO \leq 0,3$
2	Bajo	$0,3 < IPAMHIDRO \leq 0,6$
3	Medio	$0,6 < IPAMHIDRO \leq 0,9$
4	Alto	$0,9 < IPAMHIDRO \leq 1,2$
5	Muy Alto	$1,2 < IPAMHIDRO \leq 1,5$

### **G13. COMPONENTE BIÓTICO**

La valoración final del componente biótico se presenta en la Tabla 57.

**Tabla 57. Categoría de impacto final IPAMBIO**

<b>Grado de Impacto</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Valor IPAMBIO</b>
0	No hay impacto	0
1	Muy Bajo	$0 < \text{IPAMBIO} \leq 0,23$
2	Bajo	$0,23 < \text{IPAMBIO} \leq 0,46$
3	Medio	$0,46 < \text{IPAMBIO} \leq 0,69$
4	Alto	$0,69 < \text{IPAMBIO} \leq 0,92$
5	Muy Alto	$0,92 < \text{IPAMBIO} \leq 1,15$

## ANEXO H. CUANTIFICACIÓN DE INDICES E INDICADORES

### H1. EROSIÓN

Las precipitaciones mensuales promedio se listan en la Tabla 58.

Tabla 58. Precipitación Mensual Promedio 2000-2011

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
41.1	40.4	107.1	153.4	140.5	61.5	43.7	66.5	136.9	186.6	146.9	49.3	1027

Fuente: [JC Laboratorios]

### H2. AGUA SUPERFICIAL

El valor del índice de agua superficial calculado y sus parámetros de evaluación se presentan en la Tabla 59.

Tabla 59. Índice de agua superficial

PARAMETRO	VALOR ESTUDIO	PUNTAJE
Concentración de nitritos [mg/L]	< 0,003	10
pH	6,2	5
Oxígeno disuelto [mg/L]	7,25	10
Concentración de mercurio [µg/L]	< 0,5 *	10
<b>Valor Índice Agua Superficial</b>	<b>9</b>	

\* La concentración de mercurio está por debajo del límite de detección.

## **H2. VALOR RELATIVO DEL PAISAJE**

Los resultados del valor relativo del paisaje se presentan en la Tabla 60.

**Tabla 60. Valoración del Paisaje**

<b>Punto cardinal</b>	<b>Valoración directa</b>	<b>Accesibilidad</b>	<b>Valor K</b>
Norte	15	2	20.07
Sur	21	3	31.09
Este	2	3	2.68
Oeste	1	3	1.33

## **H3. VULNERABILIDAD SOCIAL**

El valor del índice de vulnerabilidad y sus parámetros de evaluación se presentan en la Tabla 61.

**Tabla 61. Índice de vulnerabilidad social**

<b>PARAMETRO</b>	<b>VARIABLE</b>	<b>VALOR</b>	<b>PUNTAJE</b>	<b>IVS Parcial</b>
<b>Población</b>	Distancia [m]	200	20	0,03
	Núm. Personas aprox.	28	10	0
<b>Vivienda</b>	Calidad Vivienda [% Fisuras]	≤ 30	10	0
	Núm. Viviendas aprox.	7	20	0,018
	Distancia [m]	200	20	0,02
<b>Salubridad</b>	% Acceso servicios Públicos	>50	10	0
<b>Valor Índice Vulnerabilidad Social</b>	<b>0,068</b>			

## **H4. CUBIERTA VEGETAL**

El valor del índice de Shannon se presenta en la Tabla 62.

**Tabla 62. Índice de Shannon para Cubierta Vegetal.**

Especie Vegetal	Familia	Nombre Común	Número de Individuos aprox. En 200 m	Pi = ni/N	-Pi* Ln (Pi)
<i>Quercus humboldtii</i>	Fagaceae	Roble	25	0,061	0,17
<i>Polytrichum sp.</i>	Polytrichaceae	Musgo	111	0,122	0,26
<i>Dodonaea Viscosa</i>	Sapindaceae	Hayuelo Rosado	38	0,037	0,12
<i>Vaccinium sp.</i>	Ericaceae	Vichachao	32	0,024	0,09
<i>Rubus Floribundus</i>	Rosaceae	Moro	2	0,005	0,03
<i>Chusquea sp.</i>	Poaceae	Chusque	45	0,073	0,19
<i>Puya sp</i>	Bromeliaceae	-	24	0,029	0,1
<i>Baccharis latifolia</i>	Asteraceae	Chilco	20	0,049	0,15
<i>Lycopodium thyoides</i>	Lycopodiaceae	-	72	0,098	0,23
<i>Lycopodium clavatum</i>	Lycopodiaceae	-	50	0,073	0,19
<i>Pernettya prostata</i>	Ericaceae	Reventadera	10	0,024	0,09
<i>Espeletia</i>	Asteraceae	Frailejón	10	0,024	0,09
<i>Hypericum</i>	Hypericaceae	-	6	0,015	0,06
<i>Calamagrostis effusa</i>	Poaceae	Paja	67	0,127	0,26
<i>Digitalis purpurea</i>	Escrofulariaceae	-	6	0,015	0,06
<i>Elaphoglossum sp.</i>	Dryopteridaceae	-	108	0,195	0,32
<i>Psidium sp.</i>	Myrtaceae	Guayabo	12	0,029	0,1
<b>Total</b>			<b>632</b>	<b>1</b>	<b>2,51</b>