



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

# **MODELO DE RESTAURACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS POR MINERÍA EN EL BAGRE – ANTIOQUIA**

**HUBER ALEXANDER VANEGAS VILLA**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Minas, Escuela de Geociencias y Medio Ambiente  
Medellín, Colombia  
2014



# **MODELO DE RESTAURACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS POR MINERÍA EN EL BAGRE – ANTIOQUIA**

**HUBER ALEXANDER VANEGAS VILLA**

Tesis o trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Magister en Medio ambiente y desarrollo**

Directora:

Carmen Elena Zapata Sánchez

Codirectora:

Elvira María Aguilar Amaya.  
Msc. En Bosques y conservación Ambiental

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Minas, Escuela de Geociencias y Medio Ambiente  
Medellín, Colombia

2014



*A mi hermosa esposa y familia, por su paciencia  
y vital acompañamiento en todas mis empresas.*



## Agradecimientos

De forma institucional agradezco y reconozco los aportes por parte de: la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Mineros S.A, SAG S.A., Junta de Acción Comunal de la vereda Sabalito, *In Sithu*- Restauración de humedales y ASBIUDEA, por la información, apoyo, logística y gestión en pro del desarrollo del presente trabajo.

De forma personal a la profesora Carmen Zapata, Carlos Mario Castaño, Carlos Cardona, Alejandro Aguilar, Esteban Fuentes, Duberney Botero, Wilmer Uribe, Robinson Marín, Ricardo Guzmán, Darney Ceballos y Jhonatan Cano, por su valiosa colaboración en una o varias de las fases del presente trabajo.

A mis asesores y colaboradores Elvira María Aguilar, Eduardo Gómez, Daniel Jaramillo y Bibiana Caballero, por su colaboración incondicional, sus valiosos aportes y enriquecimiento en las incansables jornadas de discusión y debate.

De forma especial a mi amigo, profesor, asesor y compañero de aprendizajes en restauración de humedales tropicales, Nelson Enrique Gil, por los múltiples aportes, su paciencia e incansable motivación para la construcción de un excelente trabajo en esta joven disciplina de la Restauración Ecológica.

Y en general, reconozco y agradezco a todas aquellas personas que sin querer pueda omitir, pero que contribuyeron al desarrollo del presente trabajo, para todos gracias sinceras.





## Resumen

Actualmente la minería aurífera aluvial, explota la mayor parte del área de humedales asociados al río Nechí en el municipio del Bagre, Antioquia - Colombia. En los humedales operados por las grandes empresas mineras, sus programas de “recuperación de tierras” en el Bajo Cauca antioqueño, incluyen medidas como reforestación, parcelas productivas, recuperación de humedales, conformación de diques de protección, manejo de sedimentos, etc. Sin embargo, se han identificado algunos efectos en el tiempo como incomunicación parcial entre ciénagas, ausencia de pulsos de inundación en sectores específicos y disminución de vegetación típica a humedales (i.e. cativales), entre otras; razón por la que se propone el presente modelo conceptual de restauración ecológica (RE) a escala regional con aplicación en humedales tropicales. El presente modelo utilizó elementos de los modelos Bradshaw, NRC y Adaptable, y se construyó a partir de la evaluación del potencial de restauración y las 38 variables que componen su calificación. Entre los principales resultados se destacan: (i) que los factores determinantes y constitutivos del modelo, son la geomorfología (Ge), la hidráulica (Hi), la fauna silvestre (FS), los peces (Pe) y el tipo de comunidades humanas (TCH). (ii) Evaluar el potencial de restauración de un ecosistema es una forma concreta y efectiva de conocer la viabilidad de un eventual proceso de restauración y de calificar dicha viabilidad en términos de porcentaje o probabilidades, considerando los aportes, afectaciones o disponibilidad de cada uno de los factores. (iii) Al aplicar de forma teórica el modelo conceptual de restauración ecológica ( $[RE = f(Ge, Hi, Pe, FS, TCH) + MA]$ ; siendo MA las medidas adicionales) en los sitios evaluados, se obtuvo una reducción en el tiempo de recuperación de los sitios intervenidos y un aumento de su potencial de restauración.

**Palabras clave:** humedales tropicales, minería aurífera aluvial, potencial de restauración, modelo conceptual de restauración, río Nechí, El Bagre.

## Abstract

Currently, alluvial gold mining exploits most wetland area associated to Nechí River in the municipality of El Bagre, Antioquia - Colombia. In wetlands operated by large mining companies, programs of "land reclamation" in Bajo Cauca - Antioquia include measures such as reforestation, productive plots, wetland restoration, creation of protective dikes, sediment management, etc. However, some effects have been identified in time as partial isolation between marshes, flood pulses absence of specific sectors and decrease typical wetlands vegetation (i.e. cativales), among others.

That is the reason why it is proposed this conceptual model of ecological restoration (ER) in regional scale in tropical wetlands application. This model used elements from Bradshaw models, NRC and Adaptable, and was constructed from the evaluation of potential restoration and the 38 variables which compound its classification. The main results are: (i) that the determinants and constitutive factors of this model are the geomorphology (Ge), hydro (Hi), wildlife (FS), fish (Pe) and the type of human communities (TCH). (ii) Assessing the potential ecosystem restoration is a practical and effective way to determine the viability of an eventual restoration process; also, to qualify that viability in terms of percentage or odds and considering the contributions, damages or availability of each of the factors. (iii) In applying a theoretical conceptual model of ecological restoration  $([RE = f(Ge, Hi, Pe, FS, TCH) + MA]$ ; being MA Additional Measures) in sites evaluated, it is obtained a reduction in the recovery time of surgery sites and increased potential for restoration.

**Keywords:** Tropical wetlands, alluvial gold mining, restoration potential, conceptual model restoration, River Nechí, El Bagre.

# Contenido

	Pág.
<b>1. Capítulo. Justificación .....</b>	<b>5</b>
1.1 Problema.....	6
1.2 Objetivos .....	7
1.2.1 Objetivo General.....	7
1.2.2 Objetivos Específicos.....	7
1.3 Hipótesis .....	8
<b>2. Capítulo. Marco de referencia .....</b>	<b>9</b>
2.1 Alcance .....	9
2.2 Marco legal.....	9
2.2.1 Aspectos generales de los humedales de zonas bajas tropicales.....	12
2.2.1.1 Geomorfología.....	17
2.2.1.2 Hidrología e hidráulica.....	20
2.2.1.3 Flora.....	24
2.2.1.4 Los peces en los humedales .....	27
2.2.1.5 Suelos .....	31
2.2.2 Características de la minería aluvial aurífera y efectos en los humedales.....	33
2.2.3 Aspectos de restauración ecológica enfocada a humedales alterados por minería aurífera aluvial.....	35
2.2.4 Modelos para la restauración de ecosistemas degradados.....	38
2.3 Dinámica social .....	41
<b>3. Capítulo. Metodología.....</b>	<b>43</b>
3.1 Área de estudio .....	43
3.2 Caracterización del ecosistema de referencia .....	46
3.2.1 Vegetación en las unidades geomorfológicas .....	47
3.2.1.1 Dique.....	49
3.2.1.2 Basín.....	51
3.2.1.3 Piedemonte .....	55
• Distribución general de la vegetación en las unidades geomorfológicas.....	57
3.2.2 Suelos y medios de crecimiento .....	59
3.2.3 Comunidades sociales.....	63
3.2.3.1 Percepción de los recursos naturales por la comunidad.....	65
3.2.3.2 No-institucionalidad .....	66
3.3 Caracterización del ecosistema intervenido por minería aurífera aluvial.....	67
3.3.1 Vegetación en el ecosistema intervenido por minería. ....	68
3.3.2 Suelos y medios de crecimiento. ....	69
3.3.3 Comunidades sociales.....	71

3.4	Evaluación potencial de restauración por medio de factores que determinan la funcionalidad del ecosistema a restaurar.....	74
3.4.1	Variables evaluadas para el potencial de restauración.....	77
3.4.2	Análisis multivariado.....	84
3.5	Elaboración del modelo conceptual de restauración .....	85
<b>4.</b>	<b>Capítulo. Resultados y discusión .....</b>	<b>89</b>
4.1	Potencial de restauración para los ecosistemas evaluados .....	89
4.2	Factores y variables que determinan la funcionalidad de los ecosistemas a restaurar.....	91
4.2.1	Componentes principales para la oferta ambiental .....	91
4.2.2	Componentes principales para el Potencial Biótico .....	94
4.2.3	Componentes principales para el potencial sociodinámico.....	98
4.2.4	Elección de las variables del modelo conceptual.....	102
4.3	Modelo conceptual de restauración .....	113
4.4	Pasos para la implementación del modelo conceptual de restauración.....	120
<b>5.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>123</b>
<b>6.</b>	<b>Recomendaciones .....</b>	<b>128</b>

## Lista de figuras

	Pág.
Figura 2-1: Diagrama conceptual de tres extremos de fuentes y destinos del agua en los humedales (Brinson, 2004). .....	22
Figura 2-2: Niveles de afectación de los ecosistemas para la determinación de su manejo (Tomado de Brown and Lugo, 1994). .....	39
Figura 3-1: Localización general del área de estudio y del ecosistema de referencia. Nótese en el polígono rojo el área que circunscribe la zona baja de Sabalito, en la cual comienzan las explotaciones desde el sur y cuya mayor extensión, está ocupada por el ecosistema de referencia. ....	45
Figura 3-2: Perfil longitudinal promedio de las fajas de muestreo. Se destacan las posiciones topográficas dique, basín, ciénaga y piedemonte. Adaptado de SAG (2009). .....	48
Figura 3-3: Cobertura vegetal típica de los diques en la planicie de inundación general del área de estudio y del ecosistema de referencia. ....	49
Figura 3-4: Rastrojos y cobertura vegetal típica del basín (“tapafriales”) en la planicie de inundación. ....	52
Figura 3-5: Número de especies e individuos con diámetros mayores a 10 cm para cada unidad geomorfológica en la planicie aluvial. ....	57
Figura 3-6: Esquema horizontal y vertical de una faja de muestreo a lo ancho de la planicie aluvial del río Nechí, vereda Sabalito. Tomado de SAG (2010). ....	58
Figura 3-7: Suelos sobre dique. a) Posición geomorfológica para dique. b) Suelo a 15 cm de profundidad. ....	60
Figura 3-8: Suelos en el basín. a) Posición geomorfológica para basín. b) Suelo a 15 cm de profundidad. ....	61
Figura 3-9: Suelos en el piedemonte. a) Posición geomorfológica de piedemonte. b) Suelo a 15 cm de profundidad. ....	62
Figura 3-10: Rangos de contenido de humedad por unidad geomorfológica para las cajuelas observadas. ....	62
Figura 3-11: Localización del ecosistema intervenido por minería aurífera aluvial. ....	68
Figura 3-12: Paisaje dominante en los ecosistemas recientemente intervenidos por minería aurífera aluvial, y en los cuales comienza el proceso de recuperación por parte de la empresa Mineros S.A. a) Nótese en la línea central de la foto, tres plántulas de acacia recién sembradas. b) Aspecto general de los sustratos. ....	69
Figura 3-13: Secuencia en la recuperación de terrenos realizada por la empresa Mineros S.A. a) Intervención en el año cero. b) Dos años después de la intervención. c) Cinco años después de la intervención. d) Primeras actividades de recuperación con las	

comunidades. e) Desarrollo piscícola en humedales creados. f) Familia asentada en parcela agroforestal. Fuente: Cardona y Castañeda (2008).....	73
Figura 3-14: Áreas recuperadas por Mineros S.A. y en las cuales se distribuyen siete parcelas agroforestales ocupadas por campesinos de la región (aparceros). Fuente: Mineros S.A. ....	75
Figura 3-15: Modelo o trayectoria teórica de la restauración de ecosistemas degradados. ....	86
Figura 4-1: Análisis de componentes principales para los factores, limitantes y tensionantes de la oferta ambiental en los sitios evaluados. Nótese los dos escenarios: en el recuadro verde los sitios conectados con el río y en (ii) en el recuadro rojo los humedales desconectados.....	93
Figura 4-2: Análisis de componentes principales para los factores, limitantes y tensionantes del Potencial Biótico en los sitios evaluados. Se destacan también los dos escenarios: sitios conectados con el río (recuadro verde) y sitios desconectados (recuadro rojo). ....	96
Figura 4-3: Análisis de componentes principales para los factores, limitantes y tensionantes del Potencial Sociodinámico en los sitios evaluados. Los escenarios se diferencian por los sitios intervenidos (recuadro rojo) o no (recuadro verde), por la minería aluvial. ....	100
Figura 4-4: Análisis de componentes principales conjunto para factores, limitantes y tensionantes de los tres componentes del Potencial de Restauración en los sitios evaluados. ....	109
Figura 4-5: Análisis de componentes principales conjunto para factores, limitantes y tensionantes de los tres componentes del Potencial de Restauración en los sitios evaluados. ....	110
Figura 4-6: Consolidación de factores determinantes que catalizan el proceso de recuperación de áreas degradadas, y que a su vez orientan el modelo de restauración ecológica.....	113
Figura 4-7: Cambios en la trayectoria de recuperación por la aplicación de nuevas medidas de manejo. La línea punteada representa la trayectoria típica de recuperación (sin intervención o diferentes a las sugeridas en el presente modelo).....	117
Figura 4-8: Cambio en el Potencial de Restauración para un ecosistema evaluado en los años 0 y 5, con y sin la aplicación del modelo de restauración ecológica para ecosistemas degradados por minería aurífera aluvial en la planicie del río Nechí. ....	118

## Lista de tablas

	Pág.
Tabla 2-1: Normatividad ambiental en Colombia aplicable a los humedales (Basado en Gil <i>et al.</i> , 2007).....	10
Tabla 2-2: Clasificación simplificada de los humedales colombianos .....	13
Tabla 2-3: Enfoques de implementación de la restauración ecológica según grado de afectación.....	36
Tabla 3-1: Edades y ubicación de los sitios (ecosistemas) donde se evaluó el Potencial de Restauración. ....	44
Tabla 3-2: Polígono de localización del ecosistema de referencia. ....	46
Tabla 3-3: Especies arbóreas identificadas en la posición topográfica dique, en el ecosistema de referencia (SAG, 2009). ....	51
Tabla 3-4: Especies arbóreas identificadas en la posición topográfica basín, en el ecosistema de referencia (SAG, 2009). ....	54
Tabla 3-5: Especies arbóreas identificadas en la posición topográfica piedemonte, en el ecosistema de referencia (SAG, 2009). ....	56
Tabla 3-6: Comparación de algunas propiedades del suelo en los sustratos resultantes de la explotación minera y en lo suelos de dique del ecosistema de referencia. ....	70
Tabla 3-7: Calificación utilizada para determinar el grado de aporte de las variables que componen OA, PB, PSD, FL y FT, al PR en los ecosistemas evaluados (de referencia e intervenidos).....	77
Tabla 3-8: Procedimiento para la calificación de las variables basado en los elementos de cada factor. Caso del Ciclo hidrológico que pertenece a la Oferta Ambiental. ....	81
Tabla 3-9: Calificación del grado de aporte (en porcentaje) de los factores, por componente y para cada sitio evaluado. ....	82
Tabla 4-1: Calificación inicial del potencial de restauración en los ecosistemas evaluados. ....	89
Tabla 4-2: Valores propios, porcentajes de variación y ordenación en los dos ejes del ACP, aplicado a las variables de la Oferta Ambiental en los sitios evaluados en la planicie aluvial del río Nechí. ....	92
Tabla 4-3: Valores propios, porcentajes de variación y ordenación en los dos ejes del ACP, aplicado a las variables del Potencial Biótico en los sitios evaluados en la planicie aluvial del río Nechí. ....	95
Tabla 4-4: Valores propios, porcentajes de variación y ordenación en los dos ejes del ACP, aplicado a las variables del Potencial Sociodinámico en los sitios evaluados en la planicie aluvial del río Nechí. ....	99

Tabla 4-5: Factores, limitantes y tensionantes significativos según el análisis de componentes principales - Primer Filtro. ....	102
Tabla 4-6: Factores y limitantes significativos y seleccionados para la construcción del modelo conceptual de restauración ecológica en el complejo de humedales de la cuenca baja del río Nechí – Segundo Filtro. ....	107
Tabla 4-7: Valores propios, porcentajes de variación y ordenación en dos ejes del ACP, aplicado conjuntamente a las variables más significativas y seleccionadas en los sitios evaluados en la planicie aluvial del río Nechí. ....	108
Tabla 4-8: Calificación inicial y final del Potencial de Restauración en los ecosistemas evaluados. ....	112



# Introducción

Las empresas que efectúan la minería aluvial aurífera en Colombia, están obligadas a prevenir, mitigar, corregir, compensar y manejar los efectos ambientales generados en su actividad productiva.

Según lo establece el Plan Nacional de Restauración (MAVDT, 2010a), una de las principales causas de transformación y degradación de los ecosistemas naturales de Colombia ha sido, entre otras, la minería a cielo abierto, y de ésta, la minería aurífera aluvial ha sido considerada como una de las causas frecuentes de afectación ambiental en las cuencas hidrográficas de nuestro país.

Corantioquia (2012) reporta que la minería aurífera explota cerca de 6115 hectáreas en la llanura de inundación de los ríos Cauca y Nechí en el Bajo Cauca antioqueño, de ellas, se estima que 2592<sup>1</sup> hectáreas han sido explotadas hasta diciembre 31 de 2013 por Mineros S.A., principalmente a través de la minería aurífera aluvial. Uno de los subproductos de ésta explotación aurífera aluvial son los materiales resultantes que quedan en forma de “cargueros” y “rellenos hidráulicos”, constituidos básicamente por material de tipo granular como gravas y arenas (Estudios y Asesorías Ambientales, 2005). Al terminar la intervención, son convertidos en zonas de abandono o de “recuperación” a las cuales se les implementan los procesos de compensación ambiental, que incluyen programas establecidos dentro de los Planes de Manejo Ambiental (Barrera *et al.*, 2008) que, para el caso de Mineros S.A (empresa pionera en procesos de “recuperación de tierras” en el Bajo Cauca antioqueño), incluye medidas como reforestación, implementación de parcelas productivas, recuperación de humedales,

---

<sup>1</sup> Basado en el Plan de Manejo Ambiental de Mineros S.A. y en comunicación personal de Carlos Cardona, Jefe de Tierras de Mineros S.A.

conformación de diques de protección, manejo de sedimentos mediante dragado hidráulico, fomento piscícola, entre otras (Estudios y Asesorías Ambientales, 2005). No obstante, se han identificado en algunas zonas y a lo largo de la historia, efectos como incomunicación parcial entre ciénagas, ausencia de pulsos de inundación en sectores específicos, disminución paulatina de vegetación asociada a humedales, cambios en dietas alimenticias de las comunidades y modificación en los sistemas de transporte (Vanegas y Gil, 2012; Miranda, 2009), lo que hace necesario evaluaciones periódicas de las medidas de manejo implementadas tradicionalmente en la región, tales como los “programas de recuperación de tierras de áreas degradadas por minería” en el Bajo Cauca, tanto por empresas mineras como por la Corporación Autónoma Regional, en aras de consolidar un proceso de restauración de escala regional y nacional con aplicación en humedales tropicales.

Una vez identificadas posibles soluciones con viabilidad ambiental, técnica y económica a ésta problemática, se propone a través del presente trabajo, un modelo conceptual de restauración de áreas degradadas por minería en el Bagre – Antioquia, en primer lugar como ejercicio teórico basado en la normatividad colombiana y en experiencias concretas, y en segundo lugar, como una contribución al proceso de restauración ecológica en áreas afectadas por minería aluvial, considerando el impacto que genera en la región y el país la actividad.

Los dos primeros capítulos del presente trabajo comprenden el desarrollo del modelo, detallando las fases de su construcción, en ellos se describen objetivos, definiciones, aspectos legales, técnicos y sociales de los humedales de zonas bajas tropicales, así como algunas generalidades de la minería aurífera aluvial y un récord de los avances en restauración ecológica, tanto para éstos ecosistemas, como para otras zonas en el país y el mundo. El capítulo tres describe detalladamente el área de estudio que corresponde principalmente a la llanura de inundación del río Nechí, y en cuyo territorio tiene aplicación el modelo de restauración que se propone. El capítulo cuatro aborda la parte metodológica correspondiente a la caracterización del ecosistema de referencia y aquellos que han sido objeto de explotación en diferentes épocas, detallando el potencial de restauración como principal insumo para la construcción del modelo conceptual, destacándose la calificación de las variables a utilizar en la construcción del modelo, su análisis multivariado y la selección por filtros de los factores determinantes.

---

Finalmente, el capítulo quinto presenta y analiza los resultados en cuanto a la calificación del potencial de restauración para los ecosistemas evaluados, factores determinantes del modelo, construcción del modelo conceptual de restauración y lineamientos para su implementación en áreas degradadas por minería aurífera aluvial en la zona del Bajo Cauca antioqueño. En los capítulos seis y siete se presentan consecuentemente las conclusiones y recomendaciones del trabajo, fundamentadas en los resultados.



# 1. Capítulo. Justificación

La diversidad de ambientes en Colombia ofrece una gran cantidad de productos mineros, entre los que se incluyen carbón, oro, platino, níquel, esmeraldas y caliza, al igual que otros a menor escala: principalmente sal, roca fosfórica, arcillas, arenas silíceas, minerales de cobre y manganeso, magnesita, barita, yeso y varios tipos de rocas ornamentales. Para todos ellos, existen principalmente dos modalidades de extracción: una formal y de gran escala, y la segunda a escalas menores, tradicional y artesanal, con una reconocida carencia de tecnología adecuada y en muchos casos, informal y de subsistencia, haciéndola insegura, poco rentable, no competitiva y sin sostenibilidad ambiental (Defensoría del Pueblo, 2010).

La actividad minera particular que se realiza en el Bajo Cauca antioqueño y sobre la cual se hace énfasis en el presente trabajo, está categorizada según lo establece en el Código Minero<sup>2</sup> como *formal* (conformada por unidades de explotación de tamaño variable, explotadas por empresas legalmente constituidas), *legal* (la cual es amparada por un título minero y otorga el derecho a explorar y explotar el suelo y el subsuelo mineros de propiedad nacional), de *gran minería* (mayor de 1.500.000 metros cúbicos por año), *a cielo abierto* y sobre los aluviones auríferos del Río Nechí, en los municipios de El Bagre, Zaragoza, Caucasia y Nechí, es decir la realizada principalmente por Mineros S.A., cuya explotación la hace con dragas de succión para la remoción del descapote y restauración de tierras y dragas de cucharas para la explotación propiamente del aluvión (Estudios y Asesorías Ambientales, 2005).

Entre las consecuencias del proceso de explotación por más de cuatro décadas, se han identificado se han identificado problemas asociados a la incomunicación parcial entre

---

<sup>2</sup> Código de Minas: compilado en la Ley 685 de 2001 y la Ley 1382 de 2010, y modificado posteriormente por el Decreto 2715 de 2010.

cuerpos de agua de tipo lenticos, ausencia de pulsos de inundación en sectores específicos, disminución paulatina de vegetación asociada a humedales, cambios en dietas alimenticias de las comunidades humanas y modificación en los sistemas de transporte (SAG, 2010; Escobar, 2009), lo que sugiere evaluaciones periódicas de las medidas implementadas tradicionalmente en la región, las cuales están principalmente asociadas a los planes de manejo ambiental vigentes de las empresas legales, de donde se resaltan la reforestación y revegetalización de cargueros, implementación de parcelas productivas, recuperación de humedales artificiales, recuperación de espejos de agua, conformación de diques de protección, manejo de sedimentos mediante dragado hidráulico, repoblamiento de fauna, fomento piscícola, establecimiento de huertos multifuncionales a familias, entre otras, en aras de consolidar un proceso de restauración con énfasis en humedales tropicales.

Lo anterior fundamenta la propuesta de un nuevo modelo de restauración y recuperación de tierras con mayor versatilidad, ajustado a su vez a las condiciones biofísicas y operativas asociadas a la explotación aurífera en la cuenca baja del río Nechí, con miras a dar solución o mejorar las condiciones de sostenibilidad de las áreas explotadas (Nicolau *et al.*, 2009).

## 1.1 Problema

La explotación legal de minería aurífera en Colombia, obliga a las empresas en su plan de manejo ambiental a prevenir, mitigar, corregir, compensar y manejar los efectos ambientales generados en su actividad productiva de minería aluvial a gran escala (MAVDT, 2010b<sup>3</sup>). Las principales acciones realizadas en una mina a cielo abierto y con manejo técnico adecuado, están dirigidas principalmente al almacenamiento del suelo descapotado para su posterior utilización, a la reconfiguración del terreno, construcción de canales colectores, aplicación de enmiendas orgánicas y a la plantación de especies nativas sobre las áreas afectadas. No obstante, las acciones en restauración deben ser

---

<sup>3</sup> Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT-. 2010. Decreto 2820 del 5 de agosto de 2010, “Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre Licencias Ambientales”.

eficientes en la relación esfuerzo aplicado – beneficios obtenidos, lo cual está siendo cada vez más difícil, principalmente por los vacíos de conocimiento (Barrera, 2009).

Así las cosas, es necesario reorientar y complementar las acciones convencionales tales como el almacenamiento del suelo descapotado, reconfiguración del terreno, construcción de canales, aplicación de enmiendas orgánicas y la plantación de especies nativas sobre áreas afectadas entre otras, que mejoren los resultados en la relación esfuerzo aplicado – beneficios obtenidos, emulando algunos aspectos de las condiciones originales de los ecosistemas, de forma que se facilite la continuidad de las funciones ecológicas y sociales, típicas de humedales tropicales.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

Diseñar un modelo conceptual para la restauración de zonas bajo minería aluvial en el Bajo Cauca antioqueño (municipio de El Bagre), con énfasis en la recuperación de atributos estructurales y funcionales en los ecosistemas.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Revisar información secundaria y metodologías asociadas a restauración ecológica y rehabilitación de áreas degradadas por procesos de extracción minera.
- Definir los factores y/o variables que permitan restaurar las principales funciones ecosistémicas en áreas bajo minería aluvial en la cuenca baja del río Nechí.
- Diseñar un modelo conceptual de restauración de áreas bajo extracción minera aluvial para la cuenca baja del río Nechí.

### 1.3 Hipótesis

La actividad minera formal y legal realizada en el Bajo Cauca antioqueño y específicamente en el área de estudio, se realiza sobre los aluviones auríferos de la planicie aluvial del Río Nechí, principalmente en bajos inundables de los municipios de El Bagre, Zaragoza, Caucasia y Nechí (Estudios y Asesorías Ambientales, 2005). En los bajos inundables operados por la Empresa Mineros S.A., la entidad cumple lo estipulado por la normativa referente a actividades de “reconformación” y “recuperación”. Esperando mejorar y contribuir al proceso de restauración, la pregunta de investigación es la siguiente: ¿De qué depende, y cuáles pueden ser los componentes y factores de un modelo conceptual de restauración ecológica para humedales intervenidos?.

Obtener un potencial de restauración positivo y que facilite la rehabilitación del ecosistema, depende del factor “potencial sociodinámico” (representado principalmente por la intervención de Mineros S.A. y la cultura de las comunidades), más que de los factores “oferta ambiental” y “potencial biótico” de éstos ecosistemas, aun considerando que ambos sean positivos. Por consiguiente se plantea la hipótesis de trabajo de cara a dar respuesta al anterior cuestionamiento y ofrecer una posible solución a la problemática de las áreas alteradas por la minería aluvial en la cuenca baja del río Nechí en el Bajo Cauca antioqueño.

*La obtención de un Potencial de Restauración (PR) que facilite la restauración de los bajos inundables o humedales degradados, depende del Potencial Sociodinámico (PSD), representado fundamentalmente por la acción de la cultura de las comunidades y de Mineros S.A., más que por la Oferta ambiental (OA) y el Potencial Biótico (PB) de éstos ecosistemas, aun considerando que estos dos sean positivos.*

$$\text{Ecuación 1. } PR = \frac{\left[\left(\frac{OA}{n}\right) - \left(\frac{FL+FT}{2n}\right)\right] + \left[\left(\frac{PB}{n}\right) - \left(\frac{FL+FT}{2n}\right)\right] + \left[\left(\frac{PSD}{n}\right) - \left(\frac{FL+FT}{2n}\right)\right]}{3}, \text{ donde:}$$

PR= Potencial de restauración, OA= Oferta ambiental, PB= Potencial biótico, PSD= Potencial sociodinámico, n: Número de variables del componente, FL: Factores limitantes, FT: Factores tensionantes, (FL+FT)/2n: Promedio de la ponderación de la suma de los FL y FT.



## **2. Capítulo. Marco de referencia**

### **2.1 Alcance**

El presente trabajo pretende definir un modelo conceptual de restauración (Barber, 1994; Noon *et al.*, 1999; RECOVER, 2001) para áreas explotadas por minería aurífera aluvial en bajos inundables o humedales ubicados en la llanura de inundación del río Nechí, en la región del Bajo Cauca antioqueño, cuyas actividades de explotación han alterado, deteriorado y/o degradado ecosistemas típicos de complejos de humedales, y sobre los cuales se han realizado actividades obligatorias de “recuperación” de la productividad en beneficio de las comunidades humanas circundantes.

El área de estudio comprende la margen derecha del río Nechí, principalmente en jurisdicción del municipio de El Bagre, en predios trabajados ó en proyecto de explotación aurífera aluvial.

### **2.2 Marco legal**

En el país se cuenta con una extensa normatividad ambiental orientada a la conservación de los recursos naturales (Gil *et al.*, 2007). Para el caso específico de humedales, ciénagas, lagos, lagunas y demás cuerpos de agua, se mencionan a continuación las principales normas adoptadas según la legislación nacional e internacional (Tabla 2-1).

**Tabla 2-1:** Normatividad ambiental en Colombia aplicable a los humedales (Basado en Gil *et al.*, 2007).

<b>De carácter internacional</b>	<b>Objeto de la norma</b>
Convención RAMSAR (2008)	Proporciona el marco para la cooperación en la conservación de los hábitats de humedales.
Convenio Sobre Diversidad Biológica (ONU, 1992)	Protección de ecosistemas y las especies que residen en ellos.
<b>De carácter nacional</b>	<b>Objeto de la norma</b>
Código Nacional de Recursos Naturales (Decreto 2811 de 1974)	Protección al medio ambiente y a los recursos naturales renovables.
Decreto 1541 de 1978	Establecer normas relacionadas con el recurso agua (dominio, ocupación, restricciones, limitaciones, condiciones de obras hidráulicas, conservación y cargas pecuniarias de aguas, cauces y riberas).
Decreto 1594 de 1984	Reglamentar los usos del agua y residuos líquidos.
Constitución Política de Colombia (1991)	Incluyó la protección de los recursos naturales, reglamentó y creó organismos de control, para afrontar el reto de la conservación y apropiación ambiental.
Ley 99 de 1993	Crea el Ministerio del Medio Ambiente, reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente, crea un cuerpo especializado de policía ambiental y otorga algunas facultades a las fuerzas armadas. Se crea igualmente el Sistema Nacional Ambiental SINA, como el conjunto de orientaciones, normas, actividades, recursos, programas e instituciones que permiten la puesta en marcha de los principios generales ambientales contenidos en la ley.
Ley 165 de 1994	Ratificó Convenio Internacional sobre Diversidad Biológica firmado por Colombia.
Política Nacional Ambiental (1994-	Identificar, proteger y recuperar los humedales

---

1998) en programa “Mejor Agua”	presentes en el país y en el ordenamiento y planes de manejo ambiental para cuencas hidrográficas. Programa de protección de ecosistemas estratégicos.
Política Nacional de Biodiversidad (1995)	Orienta a largo plazo las estrategias nacionales sobre biodiversidad, define responsables y responsabilidades.
Política Nacional de Bosques. Documento Conpes No. 2834 (1996)	Define los aspectos relacionados con el desarrollo forestal productivo, transformación y comercialización, bajo parámetros ambientales.
Ley 357 de 1997	Ratifica la Convención de Ramsar referida a los Humedales de importancia internacional, específicamente como Hábitat de Aves Acuáticas.
Política para la Gestión Ambiental de la Fauna Silvestre (1997)	Define un marco de gestión para establecer, planear, canalizar y evaluar los esfuerzos hacia el uso y conservación de la fauna Silvestre.
Ley de Ordenamiento Territorial (Ley 388 de 1997)	Establecer mecanismos que permitan al municipio promover el ordenamiento de su territorio, el uso equitativo y racional del suelo, la preservación y defensa del patrimonio ecológico y cultural, principalmente.
Plan Nacional de Restauración (2010)	Creación de un instrumento de Política Nacional para la restauración y conservación de ecosistemas y sus servicios.
Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico en Colombia (2010)	Garantizar la sostenibilidad del recurso, entendiendo que su gestión se deriva del ciclo hidrológico que vincula una cadena de interrelaciones entre diferentes componentes naturales y antrópicos
Manual para la asignación de compensaciones por pérdida de biodiversidad (2012)	Establecer un marco normativo, dada la obligatoriedad de realizar compensaciones por afectación del medio ambiente y su biodiversidad.

---

Para el propósito del presente trabajo, se tienen en cuenta los lineamientos establecidos por el Plan Nacional de Restauración, como la herramienta que mejor concibe las particularidades de los humedales y las condiciones idóneas para la puesta en marcha de procesos de restauración, rehabilitación o recuperación. Es preciso aclarar que el objeto de este plan se basa en las actividades a implementar, más no en la reglamentación del uso del suelo, una vez finalicen las intervenciones y se dé inicio a las actividades propuestas para la restauración.

Lo anterior se convierte en un condicionante para cualquier modelo de restauración, teniendo en cuenta que no existe en Colombia una política clara que garantice la conservación de las áreas que fueron intervenidas y posteriormente restauradas, lo que amerita la activación de programas de restauración amparados por políticas públicas que perpetúen los esfuerzos en restauración de los ecosistemas intervenidos.

### **2.2.1 Aspectos generales de los humedales de zonas bajas tropicales**

Antes de abordar el concepto de humedal, es necesario aclarar que existen más de 50 definiciones y adaptaciones del término (Dugan, 1992; citado por Naranjo *et al.*, 1999), lo que indudablemente es un aporte para acceder a la comprensión de este tipo de ecosistemas naturales, específicamente en el Neotrópico.

Barbier *et al.*, (1997) conciben de forma clara y resumida que los humedales, sin lugar a dudas, ocupan el espacio que hay entre los medios húmedos y los secos y poseen características de ambos, razón por la que no pueden ser clasificados como acuáticos ni terrestres. Asimismo, afirman que un rasgo primordial de un humedal es la presencia de agua durante períodos lo bastante prolongados como para alterar los suelos, sus microorganismos y las comunidades de flora y fauna hasta el punto que dichos elementos no se comportan como en los hábitats acuáticos o terrestres.

De acuerdo con estos mismos autores, los humedales han proveído recursos imprescindibles para civilizaciones y pueblos alrededor del planeta. Tal es el caso de los humedales localizados a orillas de los grandes ríos del mundo (Tigris, Éufrates, Níger,

Nilo, Indo y Mekong), los cuales han aportado a sus comunidades circundantes peces, agua de riego y consumo, tierras de pastoreo, transporte entre otros recursos.

Si bien existen múltiples clasificaciones de los humedales a nivel internacional, el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt en Colombia (IAvH, 1998), propuso una síntesis a finales de la década pasada en aras de aclarar y establecer de manera general una clasificación inicial de los humedales en Colombia, la cual se describe en la Tabla 2-2.

**Tabla 2-2:** Clasificación simplificada de los humedales colombianos

<b>Clasificación simplificada de Humedales</b>	
Sistema	Clase / subclase
Marino	Aguas marinas someras
	Lecho marino
	Arrecifes de coral
	Playas rocosas
	Playas de arena y grava
Estuarino	Aguas estuarinas
	Planos lodosos intermareales
	Pantanos salados
	Manglares
Fluvial	Ríos / arroyos permanentes
	Deltas interiores
	Ríos / arroyos intermitentes
	Planicies inundables
Lacustre	Lagos dulces permanentes
	Lagos dulces estacionales
	Lagos y pantanos salinos permanentes / estacionales
Palustre	Pantanos y ciénagas dulces permanentes
	Turberas abiertas
	Humedales alpinos y de tundra
	Pantanos arbustivos

	Bosque pantanoso dulce
	Turbera boscosa
	Ojos de agua, oasis
	Ciénaga estacional dulce
Geotérmicos	Humedales geotérmicos
Acuicultura	Estanques de peces, crustáceos y moluscos
Agropecuario	Estanques y charcas de granjas
	Tierra irrigada, arrozales
	Tierra arable estacionalmente inundada
Urbano e industrial	Salinas
	Reservorios
	Fosas de grava
	Sistemas de aguas servidas
	Hidroeléctricas

Adaptado de IAvH (1998).

En Suramérica, existen grandes humedales caracterizados por estar inmersos en una planicie o llanura de inundación (Floodplains), los que, según Neiff (1990), se encuentran en su mayor parte (80%) en clima cálido. Las fuentes principales son aguas de escorrentía provenientes de la cordillera de los Andes, en su mayoría de ríos de color blanco (ricos en sedimentos), negros (ricos en sustancias orgánicas), claros (baja concentración de sedimentos y material orgánico) o eventualmente por aguas lluvias. Ante esta condición, las planicies inundables pueden ser caracterizados por la cantidad de sustancias disueltas o suspendidas introducidas por la inundación; por ejemplo, un lugar inundado por aguas ricas en nutrientes de ríos blancos, presentará una dinámica química diferente de aquellos que son inundados por ríos negros, claros o por aguas lluvias únicamente.

Desde el punto de vista topográfico, los humedales se asocian con áreas planas o de bajas pendientes. Geomorfológicamente, en las llanuras de inundación aluviales son una forma de terreno deprimido compuesto de material depositado no consolidado (basín), derivado de sedimentos transportados por el río principal. Hidrológicamente, se define como un terreno sujeto a inundaciones periódicas (pulsos) por un río padre o principal. Desde el recurso flora, son áreas con una biodiversidad relativamente baja, aunque de

gran productividad y oferta de recursos biológicos. Ictiológicamente concentran una proporción significativa de la biodiversidad, representada en una fauna relativamente restringida y especializada a estos espacios ecosistémicos, configurándose como hábitats clave para el soporte de la fauna reofílica, como los peces de los ríos y como lugares de paso de la avifauna migratoria. Socialmente, dado que sustentan una gran cantidad de prácticas y recursos importantes para la sociedad, tales como la pesca, la caza y la extracción de productos maderables y no maderables, se convierten en sistemas que incorporan y mantienen a las comunidades adyacentes (Naranjo *et al.*, 1999).

De acuerdo con la Convención de Ramsar de 1971, ratificada en Colombia por la Ley 357 de 1997, definen los humedales como: "aquellas extensiones de marismas, pantanos, turberas o aguas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluyendo las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda los seis metros".

La definición de humedal propuesta por Ramsar aglomera una serie de conceptos y constituye un término incluido en el ámbito paisajístico, esperando asociarlo con las comunidades humanas y de esta forma propiciar su manejo y conservación. Sin embargo, este objetivo no se ha cumplido hasta el momento, en el país su incorporación en la mente del colectivo es baja, dejando una serie de vacíos, que se manifiestan en el deterioro de estos ecosistemas anfibios tanto en Colombia como en el mundo.

Ahora bien, el tener una definición acertada de un humedal o cualquier otro ecosistema natural, no garantiza que sean valorados adecuadamente por la sociedad; pero el incorporar este último componente como un factor de cambio y evolución de este tipo de ecosistema, es acertado, bajo el contexto de la restauración ecológica.

Una buena definición desde el punto de vista ecológico para un humedal, de acuerdo con Junk *et al.* (1989), son áreas inundadas de manera periódica por el desbordamiento lateral de ríos o lagos y/o por la precipitación o acuíferos, resultando un ambiente físico y químico que genera una respuesta adaptativa de la biota de tipo morfológico, anatómico, fisiológico, fenológico y/o etológico, de tal forma que surge una estructura muy particular de comunidades presentes en estos sitios.

A la anterior definición le falta el componente humano, siempre y cuando éste se entienda como un factor de cambio y evolución desde su origen, y más aún, si es concebido como una pieza de vital importancia cuando se piensa en términos de su aporte al mantenimiento, aprovechamiento, restauración y conservación de los humedales.

Desde la restauración ecológica, un humedal es un territorio geográfico donde la condición de saturación del suelo durante un determinado intervalo de tiempo, genera las condiciones necesarias para mantener un ensamble de especies biológicas con ciertas características y comportamiento muy específicos, asociadas a unas poblaciones humanas cuyas valencias sociales, económicas y culturales son moduladas por las condiciones del entorno natural, y donde la permanencia de este ecosistema en el paisaje, como una estructura funcional, se encuentra en función de la interdependencia entre estos dos componentes (hombre – humedal).

Contextualizando esta “definición” en la zona de estudio, los humedales o bajos inundables de la planicie aluvial del río Nechí se encuentran fuertemente influenciados por la actividad minera en la región, situación que está generando una degradación (e incluso involución) del ecosistema natural desde el punto de vista estructural y funcional.

De acuerdo a lo anterior, un humedal es un ecosistema que tiene su propia impronta, acompañado de una “personalidad” particular, impresa por la coevolución entre las características de sus poblaciones humanas y el entorno natural respecto a su condición de humedad. Es esta dinámica, la que permite que este tipo de estructura natural evolucione en el sentido de permanecer funcional en el paisaje.

Los humedales de zonas bajas tropicales presentan una serie de características que los hacen únicos, especialmente en lo referente a las condiciones hidrológicas, clima, comunidades biológicas que colonizan esta clase de hábitats y comunidades humanas que de una u otra forma, han permanecido como habitantes de este ecosistema. A continuación se realiza una descripción de este ecosistema desde el punto de vista estructural y funcional.



### **2.2.1.1 Geomorfología**

Los procesos geológicos y geomorfológicos son factores de gran incidencia en la génesis y formación de un humedal continental en zonas bajas tropicales. IDEA (2001) sostiene que la geomorfología típica y generalizada en humedales continentales del trópico, obedece principalmente a áreas moldeadas por la dinámica de un río y por la erosión superficial sobre las formaciones geológicas que son altamente susceptibles, generando un paisaje caracterizado por un sistema complejo de colinas bajas de tope redondeado que llegan a la planicie de inundación en formas irregulares y donde se encuentran gran parte de los cuerpos de agua, creando diversas formas que a su vez delimitan la zona de humedales.

La compleja mecánica del río es el principal agente formador de la estructura biofísica de un humedal localizado en zonas bajas tropicales, en especial de la forma como se disipa su energía cinética en una planicie aluvial.

La presencia de un humedal como un espacio físico en el paisaje, es producto de un flujo líquido y sólido que viaja de la parte alta de una cuenca impulsado por una alta energía cinética, la cual se transforma gradualmente en energía potencial en la zona baja, originando así una zona de depositación y sedimentación en la que una serie de capas de sedimentos, es acompañada paralelamente por un almacenamiento de grandes masas de agua sobre la superficie y el subsuelo de las planicies de inundación. En esta zona los sedimentos son transportados en forma de suspensión en la masa líquida, y en solución en forma de iones y sales constituyendo una fase homogénea con el agua.

El resultado de la distribución diferencial de los sedimentos de acuerdo a su granulometría en la planicie de inundación, origina una serie de geoformas, las que en su conjunto imprimen una característica morfológica especial al humedal. Dentro de una macrounidad fluvial, es posible tener varias unidades fluviales, a saber: una llanura de inundación plana y adyacente al cauce caracterizada por estar anegada de forma periódica, y una unidad de terrazas aluviales (depósitos de tope plano formados por la misma corriente) abandonadas, situadas a un nivel más alto que el nivel activo de dicha corriente (IDEA, 2001).

Según Neiff y Malvárez (2004), en Suramérica existen dos “grandes familias” de humedales de agua dulce: los pantanales o humedales anegados por lluvias locales, y las llanuras de inundación fluvial, éstas últimas configuradas por rasgos netamente fluviales, tanto antiguos como modernos, en donde la geomorfología ha tenido una fuerte incidencia en las particularidades de la llanura, y cuyo rasgo característico son los grandes gradientes morfológicos y bióticos distribuidos a lo ancho de la planicie, desde el canal principal hacia la zona lateral o piedemonte.

Las llanuras de inundación se caracterizan principalmente por ser superficies de forma plano - cóncava, inundadas estacional o permanentemente como consecuencia del aumento de caudal de la corriente. En ellas se diferencian de forma clara las zonas bajas, las ciénagas y los complejos cenagosos. Su geomorfología comprende diferentes unidades que en términos generales se pueden describir de la siguiente forma (IDEA, 2001):

- Orillares<sup>4</sup>: zonas bajas formadas por la migración del río, especialmente en sectores meandriiformes, en el lado donde hay depositación de arenas; en el proceso se forman canales y sus respectivos diques, de poca altura, que van siendo abandonados a medida que el río se desplaza lateralmente.
- Dique<sup>5</sup>: franja angosta de terreno en la ribera del río, con mayor altura que la zona más alejada, producida por la sedimentación continua en los períodos de mayor creciente del río.
- Basín<sup>6</sup>: corresponde a las áreas de inundación. En ellos el encharcamiento del suelo proviene en gran medida de desbordes fluviales de cauces cuyos caudales se originan en otras regiones. En consecuencia, el cambio energético del sistema se origina fundamentalmente de procesos ocurridos en sectores alejados, por lo cual, el cambio de estado del sistema puede tener uno o varios meses de desfase respecto del área de origen del estímulo meteorológico.

---

<sup>4</sup> IDEA. 2001. Informe Final del Prediagnóstico físico y sociocultural participativo del estado ambiental de los humedales del Magdalena Medio antioqueño, jurisdicción de Corantioquia.

<sup>5</sup> Neiff *et al.*, 2004. Glosario de humedales de Iberoamérica.

<sup>6</sup> Adaptado de: Neiff, 1997. El régimen de pulsos en ríos y grandes humedales de Sudamérica.

- Ciénaga<sup>7</sup>: zona de depresión, con forma del terreno cóncava o plano-cóncava, recubierta por una capa de agua poco profunda que permanece durante todo el año y está parcialmente invadida por una vegetación hidrófila.

Según Arias (1985), las ciénagas se pueden dividir en cuatro tipos:

- Simple y primaria, que se conecta directamente al río;
  - Conjunto o racimo de ciénagas, una ciénaga primaria y una o más ciénagas secundarias conectadas directa o indirectamente a ésta;
  - Ciénaga primaria, conectada indirectamente al río;
  - Ciénaga aislada, sin conexión con el río y alimentada sólo de manera esporádica por desbordes del mismo.
- Caño<sup>8</sup>: vía de escurrimiento fósil, topográficamente bien delineado, cuyo antiguo lecho mineral está totalmente ocupado por pastizales hidrófilos o por vegetación flotante. Aparecen como largos y angostos de recorrido recto o sinuoso. Conducen agua corriente principalmente en los períodos de inundación. Pueden ser efluentes o afluentes de uno o más lagos, e interconectar cursos de agua dentro de la planicie de inundación del río.
  - Madre vieja: corresponden a ciénagas asociadas a los antiguos cauces abandonados por el río, generalmente son alimentadas por aguas subterráneas y posibles desbordamientos del río.

En términos generales, la geomorfología es un componente esencial para el conocimiento de los humedales, teniendo en cuenta que determina, entre otras, el tiempo de residencia del agua, la entrada de sedimentos, la conectividad hidráulica entre los diferentes cuerpos de agua, influye en el tipo de suelo de acuerdo a la distribución granulométrica de los sedimentos y en la distribución de la vegetación.

Al respecto, Collins *et al.* (1982) y Titus (1990), citados por GREUNAL (2010), argumentan que la geomorfología y el relieve a lo largo y ancho de la llanura de inundación, influyen las especies vegetales de los humedales, la tornan susceptible a

---

<sup>7</sup> Ochoa, G. y J. Oballos. 2006. Diccionario de Suelos.

<sup>8</sup> Neiff *et al.* 2004. Glosario de humedales de Iberoamérica.

pequeñas variaciones en el sustrato a escalas desde algunos centímetros hasta varios metros.

De forma complementaria, Hughes (2002) sostiene que las llanuras de inundación de los ríos son ecosistemas únicos por su dinamismo y complejidad, los que obedecen no solo a su geomorfología, sino porque en ellas se procesan grandes flujos de energía y materiales desde las partes altas de la cuenca y a lo largo de toda ella.

Autores como Elozegi y Sabater (2009) sostienen que las características geológicas y el clima, son los factores determinantes capaces de explicar las diferencias entre ríos de distintas latitudes y biomas. El tipo de vegetación y su densidad, la meteorización y desarrollo de los suelos, la pendiente de la cuenca, el régimen de caudales, las diferencias en la química de las aguas y en las comunidades biológicas, así como el funcionamiento general del ecosistema son parámetros descriptivos de la cuenca que dependen de las características litológicas y del clima.

La anterior calificación toma un papel importante en la génesis y funcionamiento de los humedales, toda vez que el tipo de material geológico ubicado en las partes alta y media de una cuenca, combinado con factores como el clima y la hidrología entre otros, constituyen en gran medida las particularidades en formas y composición de los materiales, caudales y dinámicas de los humedales en la parte baja de la cuenca.

### **2.2.1.2 Hidrología e hidráulica**

La hidrología se puede considerar el factor de formación de mayor importancia para los humedales, porque a partir de la distribución espacial y temporal del agua, representada en la precipitación, la evapotranspiración y especialmente la escorrentía superficial, se inicia una serie de reacciones en cadena en la llanura aluvial, que conducen a la generación de diferentes geoformas y a la manifestación de diversas formas de vida.

Como principio genético, los humedales presentan su origen en dos aspectos regidos hidrogeológicamente: la depresión en donde se asienta la zona húmeda (geología) y el agua y sedimentos que rellena las cubetas (hidrología y geología). Según Duran *et al.*,

(2009), estos sistemas se instalan en zonas topográficamente deprimidas y cerradas, formadas por procesos geológicos, geomorfológicos, tectónicos, hidrogeológicos, litológicos, sedimentológicos, entre otros, en donde se almacena o retiene agua. Dichos autores sostienen que éstos factores a su vez, tienen influencia directa en las características naturales del humedal tales como: geometría perimetral, profundidad, geometría del fondo y vertientes, naturaleza del emplazamiento, tipo de alimentación hídrica y naturaleza química del agua.

Partiendo de lo anterior, es probable que los humedales situados en la llanura aluvial del Río Nechí, sean el producto de que una gran depresión la cual se fue llenando con una carga sólida gruesa que transportaron las corrientes provenientes de la Serranía San Lucas, y sedimentos finos (arenas finas y muy finas, limos y arcillas) aportados por el Río Nechí, los que se distribuyeron diferencialmente según su tamaño y de acuerdo a la geomorfología.

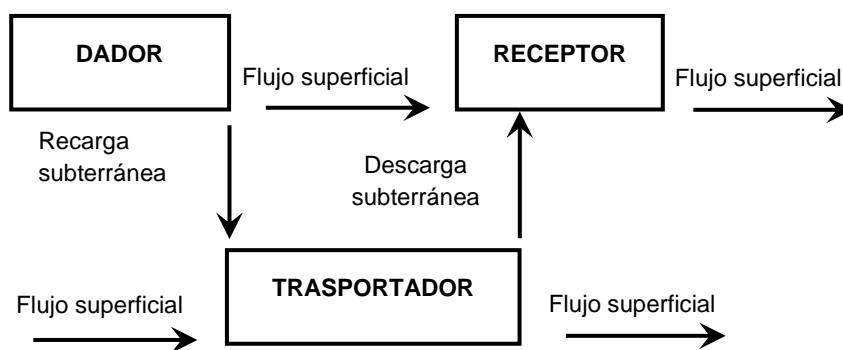
Aplicando el anterior principio hidrosedimentológico, una posible ruta para la restauración geomorfológica de los humedales aprovechados por la minería aluvial en el Bajo Cauca antioqueño, parte del factor clave de formación hidrogeológica en el que una serie de cargueros (cubetas, depresión), moldeados geomorfológicamente antes, son rellenados paulatinamente a través de los episodios recurrentes de inundación, donde los sedimentos que traen las aguas del Río Nechí y los afluentes provenientes de la Serranía de San Lucas quedan atrapados en las fosas ubicadas entre los cargueros. El resultado final sería la formación de un depósito de sedimentos, que cubrirían las gravas que conforman los cargueros, proceso que emularía los depósitos en la llanura de inundación, evento que en la actualidad tendría una tasa de renovación (turnover) mayor por el aumento de la carga sólida de origen antrópico.

De acuerdo con Neiff (2001), los humedales dependen de la hidrología y la geología en su proceso de formación, es así que las planicies de inundación son mosaicos de ecosistemas altamente dinámicos, de bordes lábiles, donde la estabilidad y la diversidad están condicionadas por la hidrología y los flujos de materiales. Los humedales fluviales, cuanto más conectados estén a los pulsos del curso del río, más se comportan como sistemas de transformación y de transferencia de elementos orgánicos y minerales en suspensión.

Las relaciones hidrológicas juegan un rol clave en los procesos de ecosistemas pantanosos, y en la determinación de su estructura y crecimiento. Cada humedal tiene un hidroperíodo característico, o patrón estacional de niveles de agua, que define la elevación o descenso del nivel freático y superficial (Gómez, 2008a).

Según Brinson (2004), las funciones principales de los humedales se pueden agrupar en tres categorías: hidrológica, biogeoquímica y biótica (animal y vegetal). Para el caso específico de la hidrológica, existen varias formas de considerarla, una de ellas es mediante las fuentes y destinos del agua en el ecosistema de humedales y el grado en el que estos destinos varían entre los distintos tipos de humedales. Este autor considera que las fuentes y destinos del agua en un humedal tienen tres combinaciones posibles: dador, receptor y transportador (Figura 2-1).

**Figura 2-1:** Diagrama conceptual de tres extremos de fuentes y destinos del agua en los humedales (Brinson, 2004).



Los humedales dadores o fuentes sólo reciben agua proveniente de las precipitaciones y la donan río abajo de forma superficial o subterránea. En esta categoría se incluyen, principalmente, las planicies húmedas de los interfluvios y los humedales depresionales ubicados en las partes altas de las cuencas. Los humedales receptores “reciben” el agua principalmente por descarga del subsuelo y la ceden por flujo superficial. Por su parte, los humedales transportadores se caracterizan, básicamente, por dar y recibir sus aguas de forma superficial, lo que les otorga la capacidad de mover sedimentos debido a la elevada energía cinética del agua; en esta categoría se incluyen, de manera especial, los humedales asociados a los ríos y sus llanuras aluviales (Brinson, 2004).

La gran heterogeneidad espacial de los ríos se corresponde con su elevado dinamismo temporal. Las variaciones de caudal determinan que las comunidades de organismos que habitan en época de aguas altas no sean las mismas que se encuentran en situaciones de aguas bajas. La llegada de materiales disueltos y particulados varía con el tiempo, comportamiento hidrológico y los cambios en el medio terrestre circundante, al igual que ocurre con la disponibilidad de luz. Para Elosegí y Sabater (2009), la composición de la biota varía espacial y temporalmente, respondiendo a la disponibilidad de materiales (materia orgánica y nutrientes disueltos) y de energía (luz, velocidad del agua).

En las llanuras de inundación fluvial, la variación hidrológica forma una gran diversidad de estructuras de hábitat físico que podrían ser más heterogéneas en la planicie de inundación que a lo largo del canal principal (Marchese and Ezcurra de Drago, 1992; Arscott *et al.*, 2000), creando así la base de una diversidad de flora y fauna. Esto se visualiza en mayor medida en los bosques inundables, donde variaciones en la topografía interna de la planicie aluvial, inducen cambios en el ensamblaje de especies (Gil, 2004).

Para Hughes (2002), las entradas hidrológicas hacia las llanuras de inundación son muy importantes considerando:

- i) su influencia en la disposición de las formas de la tierra para las comunidades vegetales.
- ii) las conexiones entre los regímenes de inundación con la regeneración y el tiempo de renovación de la vegetación en la llanura de inundación.

Lo anterior hace del río un sistema complejo y dinámico. La complejidad referida a su estructura hidrográfica, organizada jerárquicamente de forma que los afluentes confluyen sucesivamente para formar cauces de mayor amplitud. La estructura del ecosistema fluvial (el cauce, la zona de ribera, la llanura de inundación, la zona hiporreica) cambia en tamaño y complejidad como respuesta a la hidrología, que determina el trabajo cinético del agua, la distribución de los sustratos y materiales transportados, y desde la óptica espacial, esta heterogeneidad marca grandes diferencias entre los tramos de cabecera y los tramos medios y bajos, con una pendiente decreciente, mayor anchura, profundidad y caudal (Elosegí y Sabater, 2009).

La conectividad entre el canal principal y los ecosistemas de la llanura de inundación se ha convertido en un debate crucial sobre biodiversidad (Ward *et al.*, 1999; Wantzen and Junk, 2000; Amorós and Bornette, 2002). Los sistemas de inundaciones pulsantes poseen patrones de conectividad espacio-temporal, razón por la cual la diversidad de patrones hidrológicos es esencial para el mantenimiento del hábitat y diversidad de especies en el sistema río-llanura de inundación.

Considerando todos los factores anteriormente mencionados y sus interacciones, lograr la restauración, rehabilitación o recuperación de un humedal requiere, inicialmente, del restablecimiento del régimen hidrológico, lo cual depende de actividades tales como; eliminar obras de infraestructura que impidan el flujo de agua al humedal, o tubos y canales que drenan el agua de este. No obstante, la regulación hídrica del humedal se relaciona también con actividades de control a la movilidad de sedimentos, residuos sólidos, flujos contaminantes, así como con la reconfiguración geomorfológica del sitio (GREUNAL, 2010).

### **2.2.1.3 Flora**

Desde el punto de vista del recurso flora, los humedales se caracterizan por albergar un alto número de especies, formaciones y comunidades vegetales con una alta especificidad, que matizan la apariencia del humedal durante todas las épocas del año y lo diferencian claramente en relación a la cobertura vegetal circundante (Romero *et al.*, 2004). Estos autores sostienen que dicha riqueza florística puede verse amenazada al desarrollarse en medios que constituyen ecosistemas extremadamente frágiles, sometidos a cambios drásticos de drenaje, vertimientos y uso del suelo, entre otros.

En relación con los ecosistemas fluviales de zonas de ribera y llanuras de inundación, la vegetación se encuentra en una interfase entre los ecosistemas terrestres vecinos, el agua freática y el cauce fluvial. Dicha vegetación intercepta el paso de sedimentos y nutrientes disueltos durante las inundaciones, lo que le confiere gran parte de la exuberancia que exhiben estos ecosistemas, además de conformar corredores biológicos y una zona de reserva para la flora y la fauna de los ecosistemas terrestres vecinos (Elosegi y Sabater, 2009).



Uno de los principales factores de cambio en la estructura biótica, y en especial del componente flora, son las inundaciones y sus gradientes (Hughes, 2002), aunque gran parte de las especies herbáceas, arbustivas y arbóreas han generado adaptaciones fisiológicas y morfológicas que les facilitan hacer la fotosíntesis en condiciones de inmersión prolongada (Joly y Crawford, 1982; Fernandes, Correa y Furch, 1992; Neiff, 1978; Neiff y Reboratti, 1989; Tundisi, 1994; citados por Neiff y Malvárez, 2004). Algunos de estos autores reportan que varias especies arbóreas permanecen en suelos cubiertos por agua durante nueve meses, sin presentar alteraciones importantes en su crecimiento y fenología, como por ejemplo en bosques inundables del Amazonas, los cuales no se ven afectados por las inundaciones.

Una situación diferente sucede en la fase seca de los pulsos de inundación, dado que ella constituye un factor restrictivo que limita la distribución y abundancia de animales y plantas. La vegetación, en los períodos críticos de inundación, acelera su crecimiento y se adapta a estas condiciones, mientras que para los períodos de sequía, las estrategias de sobrevivencia (adaptación) son mínimas y son seriamente afectadas o tienden a desaparecer conforme se prolongan los períodos secos.

En síntesis, todos los organismos de las planicies inundables están seriamente condicionados por las sequías y, en menor grado, por las inundaciones extremas (Neiff y Malvárez, 2004).

La interrelación existente entre la vegetación y las formas del relieve en una llanura aluvial es muy dinámica, con cambios fuertes en períodos de décadas o menores, conforme al caudal y la carga de sólidos que son transportados por el río (Casco *et al.*, 2005). Ellos sostienen que la vegetación fluvial, o la que esta inmediatamente asociada a los cuerpos de agua principales en llanuras aluviales, tienen un papel importante en la fijación de depósitos fluviales, como núcleos de acreción en las barras o la obstrucción de canales de afluentes en la planicie de inundación. Además, dicha interrelación proporciona un conocimiento de la dinámica del paisaje como indicador del régimen hidrológico en sitios puntuales y de los movimientos horizontales del agua, los cuales constituyen el factor principal que modela la erosión, transporte, acreción, la distribución y abundancia de los organismos.

De manera consecuente, algunos autores (IDEA, 2001; Brinson, 2004; Gil, 2004; Casco *et al.*, 2005) argumentan que el establecimiento de vegetación permanente o de tipo forestal a orillas de los cuerpos de agua, en llanuras aluviales principalmente, depende de factores hidrológicos y geomorfológicos, los primeros representados por la variabilidad hidrométrica y la disponibilidad de humedad en el suelo, y los segundos, por el grado de consolidación de suelo o sustrato para las plantas y la importancia de los procesos de erosión y sedimentación a lo largo de la planicie inundable. En resumen, se puede concluir, a partir de estos antecedentes, que la vegetación adaptada a las planicies de inundación juega un papel importante en la retención de los sedimentos que son transportados por los cuerpos de agua (Casco *et al.*, 2005), sedimentos que a su vez, constituyen la mayor fuente de nutrientes y direccionan, en gran medida, la dinámica de la flora en los humedales.

Los sedimentos y recursos alimenticios para la flora provenientes de los cauces principales cambian con el tipo de río, el tramo, la época del año y a lo largo de los años. La biota, y en especial la vegetación, responden y se adaptan a esos cambios, proliferando las especies cuyos recursos son más abundantes en un momento determinado. No obstante, las poblaciones no cambian a la misma velocidad que sus recursos, dadas las limitaciones derivadas del ciclo de vida de algunos organismos, por lo que a menudo la comunidad refleja más el pasado reciente que las condiciones presentes en el río (Elosegi y Sabater, 2009).

Algunos factores de gran incidencia en la vegetación de planicies aluviales que van en detrimento de la calidad del hábitat fluvial y del funcionamiento del ecosistema (procesamiento de materia orgánica, incorporación de nutrientes, poblaciones de peces, entre otros), son la tala, destrucción, modificación de la vegetación de rivera y cambios en el uso del suelo (Elosegi y Sabater, 2009). Los relictos boscosos o coberturas vegetales con diferentes estratos, y que están asociadas a ciénagas y humedales, presentan alteraciones en sus estructuras, considerando actividades que van desde el aprovechamiento forestal selectivo que se concentra en los mejores ejemplares de especies con alto valor comercial, hasta la alteración radical o cambio extremo en las coberturas vegetales derivadas de cambios en el uso del suelo (Neiff, 1997).

En general, existe un gran contraste entre el tiempo que requiere la vegetación para adaptarse a las condiciones particulares de una planicie aluvial y sus humedales asociados, y el tiempo necesario para que se produzca una alteración con repercusiones en la vegetación y en el sustrato donde se asienta, lo que trae consigo el inicio de la sucesión natural, aunque con condiciones diferentes a las posteriores a la alteración y por ende, a otros tipos de vegetación.

#### **2.2.1.4 Los peces en los humedales**

Los humedales proveen hábitat, alimento y protección a una gran variedad de especies de animales como peces, aves, mamíferos, reptiles e invertebrados, incluyendo especies de peces, camarones, cangrejos y moluscos en peligro o de importancia comercial.

Estas depresiones funcionan además como “filtros” al remover exceso de sedimentos, nutrientes y contaminantes que provienen de la cuenca asociada (extensión de tierra que drena dentro de un cuerpo de agua en particular como un río, lago o humedal). De esta manera, estos ecosistemas anfibios proporcionan agua más limpia a sus habitantes, así como a las plantas y animales de ambientes adyacentes.

Una función de gran importancia a nivel de la comunidad íctica, es el papel que estos ecosistemas juegan como criaderos para especies de peces de importancia comercial. De hecho, en diferentes regiones del mundo se ha establecido una relación positiva entre el área de humedal y la producción pesquera.

Tres funciones principales pueden proveer los humedales a las diferentes poblaciones de peces: hábitat, producción de alimento y filtración de aguas. Entre más tiempo o más frecuentemente se dé el evento de inundación, es más el tiempo que los peces pueden permanecer en dicho ecosistema y beneficiarse de sus servicios (Gil *et al.*, 2007).

Un aspecto muy importante de las planicies inundables, para muchas especies de peces dulceacuícolas, radica en ofrecer condiciones favorables a parámetros asociados a la ontogenia, reproducción y/o alimentación (Welcomme, 1985; Methven *et al.*, 2001; Taylor

and Warren, 2001). Saint (1994) reveló la importancia de las planicies de inundación para las comunidades de peces en aguas blancas y aguas negras en la cuenca amazónica.

Los humedales como hábitat, proveen a los peces un lugar para vivir, protegerse de depredadores, reproducirse (desove) y criar su descendencia.

Los peces pueden utilizar estos hábitats como un hogar permanente o temporal dependiendo de sus necesidades y sus adaptaciones al ambiente variable que caracteriza estos ecosistemas. Por ejemplo, algunas especies pasan toda su vida en estos ambientes. Otras especies, sólo utilizan los humedales durante etapas juveniles cuando migran a estos ecosistemas para buscar alimento y obtener protección de depredadores.

Las estructuras encontradas en los humedales como raíces, hojas, ramas caídas y restos de madera, proporcionan lugares perfectos para esconderse de depredadores, tanto para especies residentes como temporales. Las plantas pueden confundir visualmente a los depredadores y camuflar los peces pequeños, además de obstruir la entrada de grandes depredadores.

Uno de los papeles más importantes atribuidos a los humedales está relacionado con su función como zonas de desove y crianza para los peces. Estas áreas ofrecen a los huevos, larvas y peces jóvenes un ambiente de aguas calmadas y poco profundas, abundante alimento y protección contra depredadores. Muchas especies de peces utilizan la vegetación densa, las ramas, las hojas y el material vegetal muerto para esconder y adherir sus huevos, brindándoles protección. Una vez que los huevos eclosionan, el mismo humedal continuará proporcionando a los juveniles de alimento y refugio contra depredadores.

La disponibilidad de alimento es altamente variable dependiendo de la variación de las estaciones hidrológicas para los diferentes años. La mayoría de las especies acumulan reservas durante los periodos de aguas altas y en algunos casos realizan migraciones de pequeña o gran escala entre el cauce principal y las planicies de inundación, para encontrar una mayor disponibilidad de alimento y mejores condiciones de hábitat, referido a una menor competencia y a un mayor espacio para las crías (Junk, 1984).

Ciertas variaciones en la estructura de las comunidades de peces son causadas por las diversas interacciones biológicas, como la cobertura de macrófitas, la complejidad del hábitat, las redes tróficas y las relaciones de competencia y depredación (Kupschus and Tremain, 2001; Heredia, 2002; Petry *et al.*, 2003).

En la región del Bajo Cauca antioqueño, Corantioquia y Neotropicos (2000), realizaron una caracterización de las ciénagas. Entre los principales aportes de éste trabajo se puede citar lo siguiente:

- Hay un creciente dominio de la especie foránea llamada lora (*Trichogaster pectoralis*), resistente a condiciones limnológicas críticas (altas temperaturas y bajas concentraciones de oxígeno), así como de la mojarra amarilla (*Petenia kraussi*), de gran adaptación a estos ambientes lénticos.
- Las especies de mayor frecuencia (21% del total registrado) son seis: bocachico (*Prochilodus reticulatus*), mojarra amarilla (*Petenia kraussi*), moncholo (*Hoplias malabaricus*), sardinas (*Astyanas magdalanae*), blanquillo (*Sorubim lima*) y bagre rayado (*Pseudoplatystoma fasciatum*).
- Entre las especies usadas como alimento se destacan el barbudo negro (*Pimelodus grosskopfii*), comelón (*Leporinus muyscorum*), dorada (*Brycon moorei*), viejito (*Curimata magdalanae*); utilizadas como carnada agujeta (*Ctenolucius hujeta*) y chango (*Cyrtocharax magdalanae*), sin uso alguno matacaimán (*Centrochir crocodilii*), anguilla (*Synbranchus marmoratus*) y chui (*Hoplosternum thoracatum*).
- La comunidad íctica que habita humedales de zonas bajas tropicales, se encuentra sometida a pulsos de inundación, provenientes de la influencia del ciclo hidrológico (Gómez, 2008b). Corantioquia y Neotropicos (2000) citan para la época de estiaje (febrero) una baja presencia de especies e individuos en las ciénagas, correspondiente con el estadio de subienda del ciclo anual en la dinámica de los peces, los cuales están realizando sus migraciones y utilizando los ríos. No obstante, en las ciénagas persisten algunas especies no migratorias

(v. gr., mojarra amarilla, chango, sardina, mazorca, lora), foráneas evadidas de cultivos de peces (v. gr., tilapia y cachama) y juveniles aún inmaduros sexualmente de especies migratorias (v. gr., bocachico).

- Se registra la presencia de especies que indican la existencia de una conexión ciénaga-río, como anguilla (*Synbranchus marmoratus*), matacaimán (*Centrochir crocodilli*), mayupa (*Apteronotus rostratus*) y raya (*Potamotrygon magdalenae*).
- Los pescadores y lugareños reportan una entrada de especies e individuos durante las crecientes. Ello es factible y de gran facilidad para los peces debido a la rectificación de caños y/o la construcción de canales directos río-ciénaga, pero así como se facilita la entrada de agua y sedimento para aterrizar igualmente, una vez desciende el nivel del río, la salida de agua y peces es muy rápida.
- Varias ciénagas no registran información debido al no acceso a los reducidos espejos de agua y la ausencia de pobladores en estos sitios.
- En la época de subienda, cuando la mayoría de los peces y pescadores se encuentran en los ríos Cauca y Nechí, en las capturas predominan el bocachico, blanquillo y bagre.
- Como alternativa ante la disminución de la diversidad como de la abundancia de las especies, en algunas de las ciénagas visitadas se registra la cría de especies foráneas de peces como la tilapia y cachama, o de especies nativas como el bocachico en jaulas y encierros facilitados por la topografía y forma de las ciénagas.
- La salida de jaulas y encierros de especies como la tilapia, las convierte en una especie invasiva, desalojando de especies nativas, por lo cual se requiere un manejo técnico con mucho control.

Tal como lo cita la Contraloría General de Antioquia (1997), los cambios provocados por la sedimentación y turbiedad en los hábitats de la fauna íctica, están provocando la reducción del recurso pesca. Igualmente señala cómo en algunas de las ciénagas los

valores de oxígeno disuelto están por debajo de 2,4 mg/L, lo que significa que es mínima su capacidad de albergar peces.

No obstante, en condiciones críticas persisten especies demersales y detritívoras especialistas (Machado, 1990), por lo cual la reducción del recurso debe responder en mayor proporción a un limitado aporte del material alóctono por parte de las zonas circundantes de la cuenca, que en el caso del Bajo Cauca están deforestadas debido a la actividad ganadera y minera.

En el Bajo Cauca, se presume la contaminación de peces como bagre tigre, blanquillo, doncella y arenca, pero no se precisan fuentes ni datos de las concentraciones halladas. Según la Contraloría General de Antioquia (1997), el registro de mercurio en aguas del río Nechí, en concentraciones de 0.059 mg/L, es cerca de treinta veces mayor que el límite normativo (0.002 mg/L) para aguas con destino al consumo humano y aumenta la probabilidad de que se presente bioacumulación en los peces.

A nivel regional, el INPA citado por Contraloría General de Antioquia (1997), reporta un descenso de biomasa íctica entre 1975 y 1994, de 18.000 a 600 toneladas, el cual atribuye a cuatro causas: la explotación minera (sedimentación), la deforestación (tala en cabeceras y márgenes de cauces), la contaminación exógena a la región (3/4 de los desechos del país) y la mala explotación por parte de los pescadores (pobreza, artes de pesca y métodos no selectivos, no cumplimiento de vedas).

### **2.2.1.5 Suelos**

Los materiales de origen mineral que se encuentran típicamente en una llanura aluvial, podrían ser clasificados, en términos edafológicos, algunos como suelos y otros como sustratos. Los primeros como resultado de la pedogénesis<sup>9</sup>, en la cual intervienen los factores y procesos de formación de suelos, y los segundos, como producto de la

---

<sup>9</sup> Pedogénesis: conjunto de los fenómenos y de los procesos que explican la formación de suelos a partir del material parental y de la presencia de materia orgánica, así como su desarrollo incluida la diferenciación de los horizontes (Ochoa y Oballos, 2006).

acumulación constante de algunos materiales, que combinados con condiciones específicas de la llanura aluvial, dan origen a capas que sirven de soporte a la vegetación y ecosistemas en general, y que no son compatibles con la definición de solum<sup>10</sup>.

Uno de los procesos principales de los suelos desarrollados en posiciones deprimidas o planas del paisaje (entiéndase llanuras aluviales), es el hidromorfismo, que designa un conjunto de procesos que tienen como origen la saturación con agua del perfil del suelo o una fracción, durante períodos prolongados que provocan déficit de oxígeno (Imbellone *et al.*, 2010). Según Zapata (2006), el proceso de hidromorfismo es un estado permanente o temporal de saturación de agua en el suelo que lleva asociada la existencia de condiciones reductoras. La intensidad del proceso depende de variables como la posición topográfica, características de los materiales del suelo, oscilaciones del nivel freático y pulsos hidrosedimentológicos, entre otras.

Según Gil (2010), en la evaluación de las variables con mayor incidencia, el factor topográfico posee una gran relevancia en la creación de gradientes y diferenciación en el tipo de suelos. Para bosques inundables del medio Caquetá y la isla de Mocagua (río Amazonas, Colombia), se encontró que factores suelos, geomorfología y características del agua determinaron la composición y estructura de los bosques inundables y del humedal (Urrego, 1997; Prieto *et al.*, 1995).

Para el caso de las llanuras inundables de la Amazonía Colombiana, la textura del suelo, la mezcla de aguas con propiedades químicas diferentes a lo largo del curso del río, y las concentraciones de oxígeno pueden ocasionar condiciones muy específicas en las características físicas y químicas de la solución acuosa del suelo, factor que en última instancia deriva, por ejemplo, en la diferenciación de la hidroquímica de várzeas e igapós (Gil, 2004).

Lo comentado anteriormente sugiere que variaciones en cualquiera de las propiedades de los suelos y sustratos en llanuras aluviales, dan a diferentes tipos de materiales de

---

<sup>10</sup> Solum: parte superior del perfil donde los procesos de meteorización y formación del suelo actúan o han actuado más activamente. Comprende los horizontes A y B, pero no el sustrato o material originario del suelo (horizonte C). En el solum se concentra casi la totalidad de la actividad biológica de las raíces de las plantas así como de las lombrices, insectos, hongos, bacterias, etc. Tomado de: De Petre *et al.*, 2012.



origen mineral, algunos de ellos con el tiempo y condiciones suficientes para calificarse como suelos en diferentes sistemas de clasificación. Al respecto, López y Freitas (1990) citados por Gil (2004), encontraron en áreas inundadas de la Amazonía Peruana Fluvisoles e Histosoles, en sitios saturados Gleysoles y en lugares bien drenados Oxisoles y Latosoles, todos ellos con marcados procesos de hidromorfismo reciente o antiguo, altos niveles freáticos y en general, influenciados por inundaciones.

### **2.2.2 Características de la minería aluvial aurífera y efectos en los humedales**

De acuerdo con el Plan Nacional de Restauración (MAVDT, 2010a) una de las principales causas de transformación y degradación de los ecosistemas naturales de Colombia ha sido, entre otras, la minería a cielo abierto, en particular la minería aurífera aluvial es considerada por la Gobernación de Caldas<sup>11</sup>, como una de las causas mas frecuentes de afectación ambiental en las cuencas hidrográficas de nuestro país.

La minería a cielo abierto es un factor generador de disturbios, además afecta la totalidad de los compartimentos en los ecosistemas como son: vegetación, fauna, suelo y condiciones microclimáticas (Barrera, 2009). Para el caso del suelo en áreas dedicadas a la minería, en especial minería ilegal artesanal, se acelera la pérdida de la cobertura vegetal y los procesos erosivos, dado que el agua y el viento lavan con facilidad el área que se ha macerado y pulverizado para facilitar la captura de oro con el cianuro (Gobernación de Antioquia y EIA, 2009).

Según Picket and White (1985) y Glenn *et al.* (1992), citados por Barrera y Ríos (2002), el régimen de disturbios causados por la minería aluvial es por causas antrópicas, de gran magnitud (>10 ha), de grave intensidad y con un tiempo de ocurrencia abrupta.

Para el caso de la llanura aluvial inundable en la cuenca baja del río Nechí, el proceso de explotación con dragas data desde 1883 (Singewald, 1950; Hall, 1970; citados por

---

<sup>11</sup> Convenio Gobernación de Caldas – Universidad de Caldas – CORPOCALDAS. 2008. Prácticas ambientalmente amigables y prácticas ambientalmente nocivas en la minería aluvial de oro.

Estudios y Asesorías Ambientales, 2005). Asimismo, otra de las técnicas de explotación aurífera fuertemente utilizada en la cuenca es la minería hidráulica, con grandes chorros de agua a presión, que se emplean sin control, generando grandes problemas de erosión en las partes más altas de las terrazas.

Algunos de los resultados tangibles y de mayor relevancia a lo largo de décadas de explotación en la región, y cuyas actividades han influido directa o indirectamente sobre la dinámica de los humedales, son:

- La incomunicación entre ciénagas y cuerpos de agua lóticos
- Ausencia de pulsos hidrosedimentológicos
- Desconfiguración de la geomorfología
- Desaparición del componente suelo
- Desaparición de la vegetación asociada a humedales
- Desaparición de los hábitats disponibles para la fauna (en especial, para la avifauna)
- Disminución (e inclusive desaparición) de los eventos migratorios de peces y aves asociados a las planicies de inundación
- Cambios en las dietas alimenticias de las comunidades
- Cambios en los sistemas de transporte

De forma complementaria, una de las causas de los altos grados de contaminación en los ecosistemas aluviales se debe a que los sitios de procesamiento del mineral, están construidos en la mayoría de los casos, cerca a ríos y quebradas, allí se establecen los campamentos y casetas para guardar explosivos, equipos, herramientas e insumos. Por esta razón frecuentemente se presentan accidentes y derrames de materiales peligrosos, ejerciendo una contaminación química en el ecosistema, situación asociada comunmente con explotaciones ilegales o artesanales (UPME, 2007).

### 2.2.3 Aspectos de restauración ecológica enfocada a humedales alterados por minería aurífera aluvial

La Restauración Ecológica (RE) tiene como finalidad contribuir en la recuperación y gestión de la integridad ecológica de los ecosistemas perturbados, alterados e incluso degradados (Andrés, 2009). La RE procura la recuperación de la estructura, funcionalidad y la autosuficiencia semejante a la que exhibían originalmente los ecosistemas degradados (Bradshaw, 1987; Ewel, 1987; Jordan *et al.*, 1987; Meffé & Carroll, 1994: citados por Márquez, 2004).

Según Álvarez (2008), el proceso de integrar en el entorno los terrenos afectados por actividades extractivas se conoce como restauración, y se considera una de las herramientas disponibles más útiles para reducir el impacto negativo ocasionado por la minería, o incluso, para mejorar las condiciones previas a los disturbios.

La RE es el restablecimiento artificial, total o parcial de la estructura y función de ecosistemas deteriorados naturalmente o por causas antrópicas. Consiste en la inducción de transformaciones ambientales que apoyan y se orientan hacia la tendencia de la sucesión, por tanto implica el manejo de factores físicos, bióticos y sociales (CORPOCHIVOR, 2001).

Un trabajo de restauración ecológica no requiere una especialización en cada una de las disciplinas que estudian los factores abióticos (geografía, geología, edafología, hidrología) o en los factores bióticos (botánica, zoología, ecología), sino un trabajo multidisciplinario, buscando abordar con un enfoque global un problema que se considera multidimensional, sin centrarse en un solo aspecto del mismo. En la mayoría de los casos es indispensable consultar a expertos en otras disciplinas, cuya participación consiste en mostrar las estrategias prácticas para apoyar las diversas acciones de manejo de los sitios donde se recupera la cubierta forestal. La participación de especialistas de otras áreas puede ser de gran importancia, sobre todo cuando existen factores externos a la naturaleza del sistema que lo hayan afectado, como son contaminación, introducción de especies o minería, entre otros (Márquez, 2007).

La capacidad de restaurar exitosamente un ecosistema depende del conocimiento del estado del ecosistema antes y después del disturbio, el grado de alteración de la hidrología, la geomorfología y los suelos, las causas por las cuales se generó el daño, la estructura, composición y funcionamiento del ecosistema preexistente, la información acerca de las condiciones ambientales regionales, la interrelación de factores de carácter ecológico, cultural e histórico: es decir la relación histórica y actual entre el sistema natural y el sistema socioeconómico; la disponibilidad de la biota nativa necesaria para la restauración, los patrones de regeneración o estados sucesionales de las especies, los tensionantes que detienen la sucesión y el papel de la fauna en los procesos de regeneración. Dependerá también de los costos, fuentes de financiamiento y voluntad política de las instituciones interesadas en la restauración pero, ante todo, de la colaboración y participación de las comunidades locales en los proyectos (GREUNAL, 2010).

De acuerdo con GREUNAL (2010), Gil y Ceballos (2011), Brown and Lugo (1994), Neiff (1997), podría existir una relación entre el grado de afectación de un ecosistema, la temporalidad requerida para su restauración natural, el estado del ecosistema y la posibilidad de implementar medidas para su restauración (potencial de restauración). Dicha relación se puede considerar como el enfoque para abordar un proceso de restauración (incluyendo la recuperación, rehabilitación y restauración ecológica como tal) que se debe implementar, una vez evaluado el estado del ecosistema (Tabla 2-3).

**Tabla 2-3:** Enfoques de implementación de la restauración ecológica según grado de afectación.

Grado de afectación*	Modelo*	Temporalidad (años)**	Ecosistema*	Potencial de Restauración -PR- (%)***
Degradado	Recuperación	<100 (actual)	Tierras marginales	0 – 33 (bajo)
Deteriorado	Rehabilitación	100-500 (reciente)	Sucesión detenida	34 – 66 (medio)
Alterado	Restauración	>500 (geológica)	Bosques maduros	67 – 100 (alto)

Adaptado de Brown and Lugo (1994)\*, Neiff (1997)\*\*, Gil y Ceballos (2011)\*\*\*

Barrera *et al.* (2009) establecen que la RE de una mina a cielo abierto se puede hacer con objetivos diferentes: (i) llevar el área disturbada a condiciones semejantes a las de antes del disturbio y de forma sostenible, (ii) generar sistemas sostenibles, no necesariamente similares a los pre-disturbios y con fines básicamente económicos y (iii), restablecer las áreas para fines diferentes a la conservación, generalmente subsidiados a través del tiempo. Cualquiera que sea el objetivo, es imprescindible establecer las barreras o tensionantes<sup>12</sup> y limitantes<sup>13</sup> que actúan en cada ecosistema.

Estos autores señalan que las áreas intervenidas por minería han podido ser afectadas o no previamente por otros disturbios<sup>14</sup>, sin embargo, la minería a cielo abierto, independiente del estado del sistema previo a la explotación, afecta completamente todos los compartimentos del ecosistema y las condiciones microclimáticas.

Nicolau *et al.* (2009) basados en ensayos de Martin *et al.* (1998), sostienen que el restablecimiento del terreno es la base del éxito de cualquier proceso de restauración, dado que condiciona el desarrollo de suelos y vegetación, así como también determina la sedimentación y escorrentía hacia cauces naturales, restituyendo principalmente el impacto hidrológico causado por la minería.

La Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia – Corantioquia-, destaca la ausencia de prácticas mínimas de recuperación de zonas alteradas por minería en algunos sectores del Bajo Cauca antioqueño, por parte de mineros tradicionales y algunas empresas mineras, encontrando como resultado de la actividad minera panoramas de “topografía caótica”, con cavidades óptimas para la reproducción de vectores y transmisores de enfermedades (Escobar, 2009).

---

<sup>12</sup> Factores tensionantes: definidos por Barrera *et al.* (2008) como estímulos externos que afectan negativamente el desarrollo de los sistemas y pueden ser generadores o no de disturbio.

<sup>13</sup> Factores limitantes: elementos de la naturaleza que cuando están ausentes, en poca o en abundante cantidad en un lugar pueden llegar a impedir el desarrollo normal de las especies, comunidades o ecosistemas (Krebs, 2001).

<sup>14</sup> Disturbio: descrito por Pickett and White (1985) como un evento relativamente discreto en el tiempo que afecta la estructura y función de los ecosistemas, cambiando la disponibilidad de recursos.

#### 2.2.4 Modelos para la restauración de ecosistemas degradados

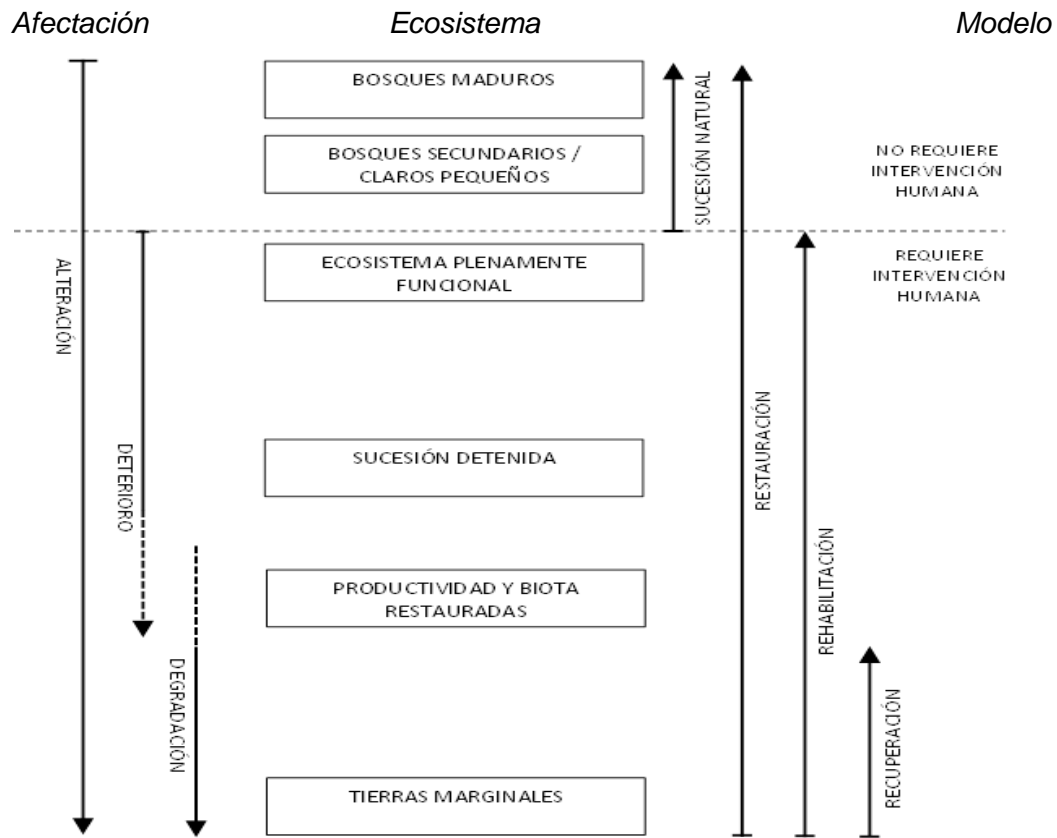
Según Barrera (2009), debido a que la minería es un mal necesario en el proceso de desarrollo de la calidad de vida de las poblaciones humanas, se debe pensar en los tipos de actuaciones que son necesarios para hacer una minería amigable con la naturaleza y que no genere consecuencias graves para las generaciones futuras.

En general se puede mencionar que durante los trabajos de restauración, normalmente se siguen cinco pasos para las actividades encaminadas a la recuperación: (i) terminar con la causa de la afectación, (ii) mitigar los efectos producidos por la misma, (iii) llevar el sistema a condiciones semejantes a las que se presentaban en algún estadio sucesional previo, (iv) reincorporar elementos bióticos o abióticos originales al sistema y, (v) monitorear y modificar de forma iterativa los trabajos de restauración, dirigiendo el proceso sucesional de manera congruente con el objetivo de ésta (Márquez, 2007). Sin embargo, es claro que cada ecosistema con una determinada afectación o disturbio particular, es una combinación única y, por tanto, requiere de un tratamiento específico adaptado a las condiciones, tensionantes, limitantes y condicionantes presentes en cada caso, todo ello dependiendo del tipo de afectación, las particularidades y tipo de ecosistema, el potencial de restauración y las posibilidades de manejo o recursos disponibles para su tratamiento (ver Figura 2-2 ).

De acuerdo con la Figura 2.2, según el grado de alteración en un ecosistema causado por uno o varios disturbios, el proceso de restauración podrá alcanzar (i) la recuperación de algunas condiciones para la utilización del área intervenida como medida inicial, (ii) la rehabilitación de algunas propiedades de funcionalidad y estructura del ecosistema por medio de la rehabilitación, o en el mejor de los casos (iii) la restauración del ecosistema donde transcurra de manera natural la sucesión del mismo sin ayudas adicionales posteriores.

En la planeación del proceso de restauración de un humedal, se realiza el análisis del sitio en cuanto a aspectos ecológicos y sociales, se define un modelo de respuesta y se contemplan opciones de restauración junto con la definición de metas y objetivos (GREUNAL, 2010).

**Figura 2-2:** Niveles de afectación de los ecosistemas para la determinación de su manejo (Tomado de Brown and Lugo, 1994).



La gran mayoría de los procesos de rehabilitación de áreas degradadas por minería en países tradicionalmente mineros (Nueva Zelanda, Sur África, Bolivia, Perú, España, Puerto Rico), se enfocan principalmente en operaciones morfológicas y de revegetalización (Barrera *et al.*, 2008; Carrick y Krüger, 2006; Izquierdo *et al.*, 2005; Ruiz y Mitchell, 2005; Contreras *et al.*, 2005). No obstante, existen otras líneas de rehabilitación orientadas a las funciones paisajísticas, de ocio, educativas, artísticas y científicas, pero muy pocas o ninguna, al restablecimiento “integral” de funciones ecológicas (Álvarez, 2008).

Aunque no se quiera llegar al estado de máxima madurez de un ecosistema a restaurar, si es fundamental escoger uno menos alterado como referencia, en donde puedan encontrarse los rasgos funcionales y estructurales que se quieran reconstruir, así como

también es importante caracterizar los estados que le precedieron en el tiempo (CONIF, 2004).

GREUNAL (2010) sugiere que aunque no existen recetas para restaurar un ecosistema, por la particularidad intrínseca de cada sitio, sí existen recomendaciones generales basadas en las teorías y conceptos de la Ecología de la Restauración y en las experiencias acumuladas en los intentos de restaurar diferentes ecosistemas en el mundo.

Según Gallego (2008), un modelo ecológico conceptual es el diagrama de un conjunto de relaciones entre ciertos factores que se supone impactan o conllevan ciertas consecuencias. Este autor asegura que un buen modelo conceptual, muestra cómo creemos que situaciones específicas (tensionantes) afectan el estatus de otras situaciones (atributos) que finalmente estamos interesados en influenciar. Estos modelos simples no cuantitativos son un medio eficaz para la consecución de un consenso sobre un grupo de hipótesis causales que expliquen los efectos que tienen los principales factores de tensión de origen antrópico sobre los sistemas naturales.

Los modelos conceptuales expresan ideas sobre componentes y procesos considerados importantes en un sistema, documentando asunciones sobre cómo los componentes y procesos están relacionados e identificando lagunas en el conocimiento (Gallego, 2008).

Los modelos comúnmente utilizados en la Restauración Ecológica a nivel mundial son:

- Modelo de Bradshaw (1984): basado en un ecosistema de referencia.
- Modelo de Hobbs and Norton (1996): para zonas de pastoreo y basado en la dinámica de la vegetación en la escala temporal.
- Modelo de la National Research Council (NRC, 1992): basado en el límite de la restauración dependiendo de la relación entre el grado de perturbación del sitio con el grado de perturbación del paisaje circundante.
- Modelo Adaptable (Christensen *et al.*, 1996): que parte de las condiciones del área intervenida y busca alcanzar los objetivos con adaptaciones permanentes.



Todos estos modelos sugieren alternativas que involucran el ecosistema circundante y el área alterada, con el fin de realizar actividades tendientes a la restauración en condiciones particulares desde diferentes enfoques.

## 2.3 Dinámica social

Segun la Convención de Ramsar - Iran (1971), “*Las Partes Contratantes están convencidas de que los humedales constituyen un recurso de gran valor económico, cultural, científico y recreativo, cuya pérdida sería irreparable,...*” (Ramsar, 2008). Esta concepción ha venido tomando importancia a nivel nacional, toda vez que son mayores los esfuerzos por restaurar y conservar los complejos de humedales en el país, y si bien es cierto que hasta la fecha estos esfuerzos son incipientes, también es cierto que el manejo de los humedales se está incluyendo en políticas y planes en todos los niveles de la institucionalidad.

Los humedales como fuente importante de agua, han sido bien concebidos por las comunidades que los cohabitan. Es por ésto que los valores de los humedales, y especialmente los culturales, han estado ligados a la supervivencia humana. Asimismo, el Grupo de Trabajo sobre Cultura Ramsar argumenta que la falta de concienciación, las debilidades en la identificación, valoración y preservación de los valores culturales de los humedales, han causado la pérdida o disminución de varias culturas tradicionales, lo que representa también una amenaza de pérdida de humedales (Ramsar, 2008).

Según Naranjo *et al.* (1999), las funciones ecológicas y ambientales de los humedales representan numerosos beneficios para la sociedad, ya que son sistemas naturales de soporte vital, base de sistemas productivos y socioculturales, de economías extractivas por el uso de diversas especies, de pesca artesanal, caza y recolección, pastoreo y agricultura en épocas de estiaje. Algunos humedales sustentan procesos comerciales como la industria del palmito y la explotación forestal en cativales y guandales, proveen servicios de recreación, investigación científica y educación. Por estas razones las comunidades que ancestralmente se han asentado en estos ecosistemas, se han adaptado a las fluctuaciones propias de los humedales y han optimizado el aprovechamiento de sus recursos según la época. Dicha adaptación ha sido bien

ilustrada por autores como Fals (1979) y Londoño (2008), los cuales nombran a los pobladores rivereños o asociados a llanuras inundables, como de “cultura anfibia”, la cual expresa un complejo de conductas, creencias y prácticas relacionadas con el manejo del ambiente natural, la tecnología y normas de producción agropecuaria con unos rasgos muy característicos.

Los humedales son el medio geográfico que soporta el andamiaje teórico de la “cultura anfibia” y son el sustento y hábitat de las “comunidades anfibias”, que se adaptaron a este medio, aprendieron a convivir con esa dinámica y encontraron en ello su modo de vida, transformándolos, y en algunos casos, degradándolos (Londoño, 2008).

Para el caso de la llanura aluvial del río Nechí y la región del Bajo Cauca antioqueño, la relación entre el patrón de asentamiento en los humedales, su modo de aprovechamiento y las culturas a lo largo de la historia, ha estado fuertemente influenciada por la expansión de la actividad minera. De la mano de la búsqueda del oro se produjeron los primeros asentamientos españoles en territorio antioqueño, a saber: Santa Fé de Antioquia, Buriticá, Zaragoza, Guamocó y posteriormente, Remedios, Cáceres, Rionegro y Marmato, todos ellos centros cercanos a la explotación minera (BIRD Antioquia, 2009).

La población indígena y negra que desde la época de la colonia entró a la región del Bajo Cauca, y específicamente a la llanura aluvial del río Nechí, lo hizo principalmente en calidad de esclavos. Posteriormente se incrementaron con el auge de la explotación aurífera, provenientes básicamente del Chocó y del Cauca. Con ellos, trajeron sus hábitos alimenticios, el baile, la música, el conocimiento y la práctica para explotar los recursos. Unos con el conocimiento para la explotación agrícola, especialmente el arroz, otros hábiles para la pesca, el comercio y la tala de bosques. De la confluencia de culturas surge un poblador que ha adquirido el conocimiento para la explotación del oro, la tala de bosques, la actividad agropecuaria, la pesca, la caza y el comercio, y cuya habilidad le permite ser itinerante en los oficios, según las necesidades y oportunidades (Estudios y Asesorías Ambientales, 2005).

Actualmente, los habitantes o comunidades anfibias de la región se asientan principalmente en caseríos aledaños al río Nechí o en el pie de monte de la Serranía de San Lucas, y basan sus actividades de subsistencia en la minería, la pesca, la caza, la explotación maderera y la agricultura en menor proporción.

## **3. Capítulo. Metodología**

### **3.1 Área de estudio**

El área de estudio se localiza al nordeste del departamento de Antioquia, región del Bajo Cauca antioqueño, en jurisdicción de los municipios de El Bagre y Zaragoza principalmente, en la llanura aluvial del río Nechí, en un rango altitudinal entre los 38 y 55 msnm aproximadamente, región que coincide con las áreas en las que opera principalmente la empresa Mineros S.A.

Algunas de las variables y factores evaluados para determinar el potencial de restauración se localizan en jurisdicción del municipio de Zaragoza, y se extienden a lo largo de la margen derecha del río en diferentes veredas del municipio de El Bagre, a continuación se detalla el área sobre la cual tendrán aplicación las medidas y estimaciones del modelo conceptual de restauración propuesto.

Al interior del área de estudio, se encuentra el ecosistema de referencia, margen derecha de la planicie de inundación del río Nechí (cuena baja), específicamente en el sistema hídrico de la subcuena baja de la quebrada Sabalito, incluyendo además ciénagas y caños que van desde la vereda Río Viejo al sur, hasta los límites con la vereda El Guachí y Boca del Guamo en el extremo norte del municipio de El Bagre (Antioquia) (Figura 3-1). En esta zona, con un área aproximada de 27 km<sup>2</sup>, han comenzado las actividades de explotación aurífera aluvial a partir del año 2005, avanzando de sur a norte en algunas áreas paralelas al cauce principal del río Nechí, en las cuales tendrán aplicación las medidas y consideraciones propuestas en el presente trabajo.

La zona de vida predominante en la región es el bosque húmedo tropical (bh-T), con una temperatura media superior a 24°C y un rango anual de precipitación entre 2.000 y 4.000 mm (Holdridge, 1982).

El área de estudio contempla la comunidad de la vereda Sabalito, cuyos habitantes desarrollan su actividad al interior del sistema hídrico de la cuenca baja de la quebrada Sabalito, en la que intervienen, además, la ciénaga del mismo nombre, los arroyos y caños anexos. Por lo anterior, se hace referencia a todos los pobladores de la vereda Sabalito y a los de algunos sectores de veredas vecinas, como Monte dentro de la vereda Río Viejo, y a algunas familias que habitan áreas cercanas a las veredas El Guachí y Boca del Guamo que, dadas las relaciones sociales y culturales establecidas históricamente, son consideradas por ellos mismos como pertenecientes a la comunidad de Sabalito (SAG, 2010).

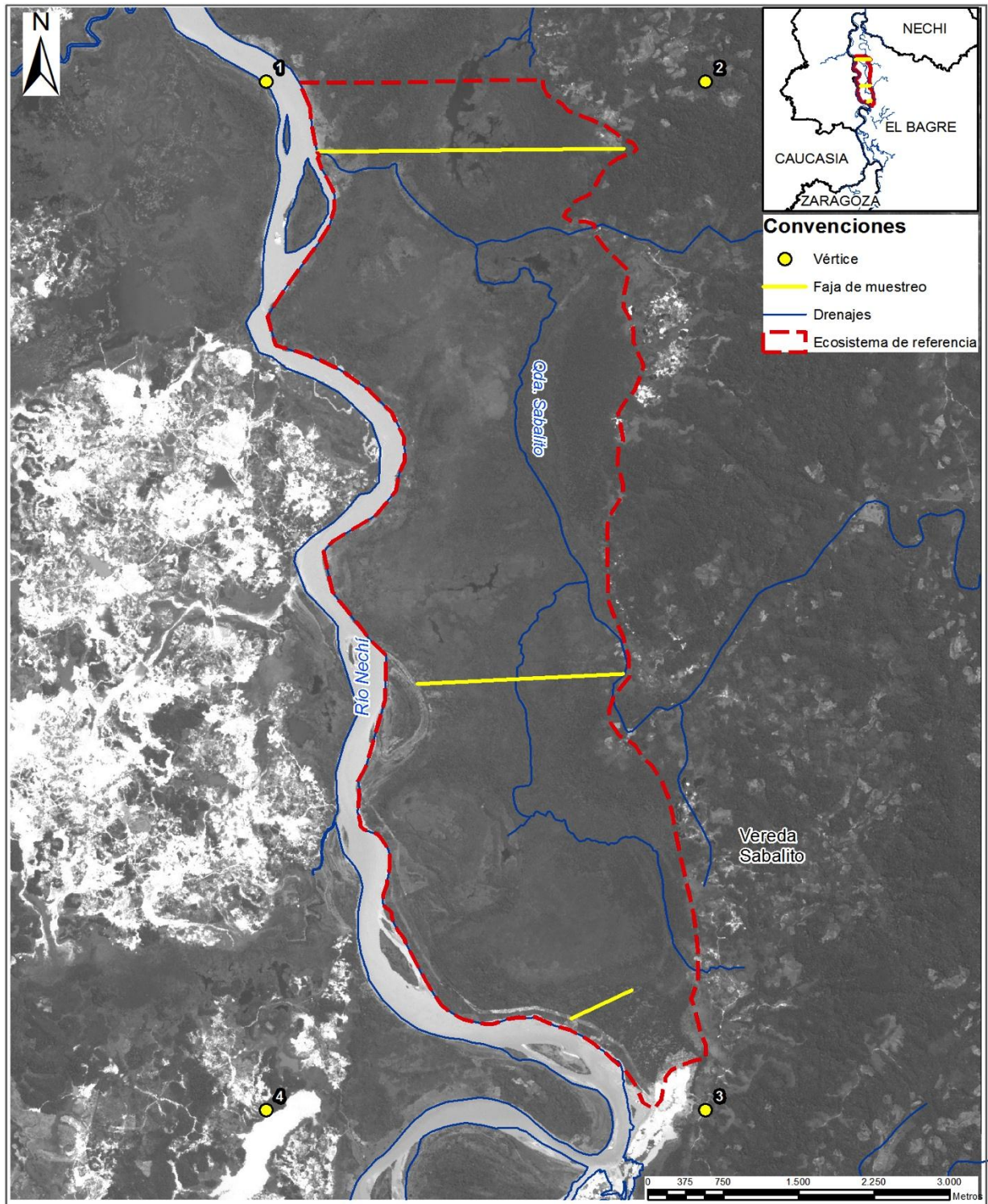
Para realizar las evaluaciones del potencial de restauración en ecosistemas adicionales al de referencia, se analizaron puntualmente diferentes sitios denominados “cargueros”, todos ellos en la misma planicie de inundación, margen derecha, en zonas explotadas por la empresa minera y con diferentes “edades” de abandono a la fecha de la evaluación, situación que permitió ajustar la tendencia del potencial de restauración en la región, y particularmente en el ecosistema de referencia. A continuación se relacionan las edades y ubicaciones de los sitios, ecosistemas o cargueros (según el caso) donde se evaluó el PR (Tabla 3-1).

**Tabla 3-1:** Edades y ubicación de los sitios (ecosistemas) donde se evaluó el Potencial de Restauración.

Cobertura	Edad carguero (años)*	Localización	
		Coordenada N	Coordenada W
Bosque	45	914.650	1.329.479
Bosque	35	916.417	1.332.271
Bosque	25	916.999	1.331.858
Rastrojo alto	15	920.953	1.351.312
Plantación	5	921.005	1.353.967
Sin cobertura	0	920.806	1.354.568

\* Se refiere a los años que tenía el sitio o carguero cuando se realizó la evaluación, luego de la intervención minera.

**Figura 3-1:** Localización general del área de estudio y del ecosistema de referencia. Nótese en el polígono rojo el área que circunscribe la zona baja de Sabalito, en la cual comienzan las explotaciones desde el sur y cuya mayor extensión, está ocupada por el ecosistema de referencia.



Como ecosistema de referencia se seleccionó un área sin intervención minera, localizada igualmente en la margen derecha de la planicie de inundación del río Nechí (cuenca baja), específicamente en el sistema hídrico de la subcuenca baja de la quebrada Sabalito incluyendo, además, ciénagas y caños que van desde la vereda Río Viejo, al sur, hasta los límites con la vereda El Guachí y Boca del Guamo en el extremo norte del municipio de El Bagre (Antioquia), cuyos límites se circunscriben básicamente al siguiente polígono (ver Figura 3-1 y Tabla 3-2):

**Tabla 3-2:** Polígono de localización del ecosistema de referencia.

Vértices	Coordenadas	
	X	Y
1	919.016	1.368.547
2	923.382	1.368.547
3	923.382	1.358.002
4	919.016	1.358.002

\* Estos vértices se observan en la Figura 3-1 en los puntos amarillos.

## 3.2 Caracterización del ecosistema de referencia

La caracterización del ecosistema de referencia se realizó a partir de tres transectos lineales de muestreo que incluyeran las tres posiciones o niveles de la planicie de inundación, a saber: dique a la orilla del río, basines, cienaga hasta el piedemonte de la Serranía de San Lucas en el costado oriental del área de estudio. En la Figura 3-1 se presenta la ubicación general del área de estudio y los transectos de muestreo en los distintos niveles de la planicie. Los tres muestreos longitudinales fueron intermitentes al interior de cada faja, teniendo en cuenta que los cuerpos de agua como cauces, caños, quebradas y ciénagas con profundidades mayores a un metro, impiden el crecimiento de vegetación de alto porte o lignificada (líneas amarillas de fajas de muestreo).

La zona de vida predominante en la región es el bosque húmedo tropical (bh-T), con una temperatura media superior a 24°C y un rango anual de precipitación entre 2.000 y 4.000 mm.

El área de estudio contempla principalmente la comunidad de la vereda Sabalito, cuyos habitantes del territorio se desenvuelven en el sistema hídrico de la cuenca baja de la quebrada Sabalito, en la que intervienen además, la ciénaga del mismo nombre, los arroyos y caños anexos. Por lo anterior, se hace referencia a todos los pobladores de la vereda Sabalito y a los de algunos sectores de veredas vecinas, como Monteadentro de la vereda Río Viejo y a algunas familias que habitan áreas cercanas de las veredas El Guachí y Boca del Guamo, que dadas las relaciones sociales y culturales establecidas históricamente, son consideradas por ellos mismos como pertenecientes a la comunidad de Sabalito (SAG, 2010).

Con los transectos lineales o fajas de muestreo seleccionadas, se aseguró la presencia de coberturas vegetales en diferentes estados sucesionales, incluyendo cultivos, pastos arbolados, rastrojos bajos y altos, bosques con diferentes grados de intervención y vegetación acuática. Asimismo, las fajas interceptaron suelos con diferentes regímenes de humedad como los permanentemente inundados en los basines bajos, hasta los no inundados ubicados en la base del piedemonte.

Dado que factores como la geología, la geomorfología y la hidráulica no han sido alterados por minería en el ecosistema de referencia, la caracterización se centró en los factores relacionados con la flora, el suelo y las comunidades que habitan la parte baja de la vereda Sabalito.

### 3.2.1 Vegetación en las unidades geomorfológicas

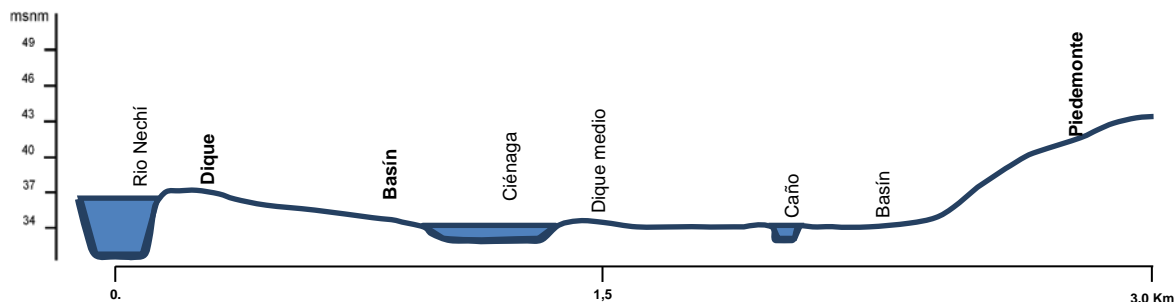
El área de estudio por encontrarse en una planicie aluvial, se encuentra fuertemente influenciada por el fenómeno de los pulsos hidrosedimentológicos, elemento determinante que define el tiempo de permanencia del agua en la llanura aluvial y a su vez, determina no solo la permanencia de algunas especies sino el patrón de distribución de la vegetación (Casco *et al.*, 2005).

En el recurso flora específicamente, los ecosistemas fluviales no presentan una distribución homogénea para las unidades geomorfológicas, la presencia y frecuencia de una especie es un indicador de la receptividad del hábitat (Neiff *et al.*, 2005). En los ecosistemas objeto de estudio, algunas de las especies encontradas se distribuyeron en un amplio rango de condiciones de hábitats, indicando una alta capacidad de adaptación de dichas especies (SAG, 2009).

Los muestreos se basaron inicialmente en la revisión de la cartografía disponible, la identificación de coberturas vegetales usando aerofotografías y verificando en el terreno las categorías identificadas. Posteriormente se definieron las fajas de muestreo ubicadas en forma perpendicular al cauce del río Nechí, en aras de cruzar y caracterizar los ecosistemas que se distribuyen a lo ancho de la planicie aluvial, en dirección a la Serranía de San Lucas (SAG, 2009).

La composición florística de las coberturas vegetales en las diferentes posiciones topográficas (Figura 3-2) y fajas muestreadas, permitió identificar las siguientes categorías de cobertura vegetal: bosque altamente intervenido, rastrojos altos, pasto arbolado denso y pasto arbolado ralo, entre ellas esta inmersa la vegetación acuática y típica de humedales. En las categorías mencionadas se centró el inventario, haciendo énfasis en los árboles y arbustos con diámetros superiores a 2,5 cm.

**Figura 3-2:** Perfil longitudinal promedio de las fajas de muestreo. Se destacan las posiciones topográficas dique, basín, ciénaga y piedemonte. Adaptado de SAG (2009).



A continuación se presentan la composición florística en cada posición geomorfológica, tomando como referencia la caracterización hecha por SAG (2009) para tipificar la vegetación en el dique, basín y piedemonte de las fajas muestreadas.



### 3.2.1.1 Dique

Los diques principales ubicados en las orillas del río Nechí y algunos diques medios en los alrededores de ciénagas y caños, se caracterizan por presentar principalmente coberturas pioneras, de rápido crecimiento (Figura 3-3). En las fajas que fueron muestreadas en el estudio de referencia, la cobertura de pastizales ocupa el 73,3% del área, seguido por los bosques y rastrojos con el 13,3% cada uno.

Para el estrato de regeneración en esta posición topográfica más cercana al río Nechí y las quebradas afluentes, primó la cobertura de pasto arbolado denso. Esta posición exhibe una gran dinámica desde el punto de vista del uso del suelo, debido principalmente a que las inundaciones periódicas de poca duración permiten durante varios meses el establecimiento de cultivos, pastoreo de vacunos y el avance de relictos con estadíos sucesionales iniciales como los rastrojos bajos. El guarumo blanco (*Cecropia cf. tesmanii*) es la especie pionera y arbórea de más amplia distribución a lo largo del dique, seguida por la gramínea gramalote (*Cortadeira sp.*) y la rastrera bijao bocachico (*Thalia geniculata*).

**Figura 3-3:** Cobertura vegetal típica de los diques en la planicie de inundación general del área de estudio y del ecosistema de referencia.



Los escasos relictos boscosos que aún permanecen en los diques del área de estudio, se caracterizan por presentar especies arbóreas y arbustivas de poco valor comercial, crecimiento moderado pero de gran importancia ecológica según el índice de valor de importancia –IVI- del estudio de referencia (SAG, 2009). Es el caso del hobo (*Spondias mombin*), el malagano (*Luehea seemannii*) y el cativo (*Prioria copaifera*), especies que según el IVI son las de mayor peso, debido principalmente a la cantidad de árboles reportados (abundancia) en los transectos de las fajas de muestreo, su alta dominancia relativa y su constante presencia a lo largo de los diques que aún conservan cobertura boscosa.

En la caracterización de referencia se sustenta que la cobertura de rastrojos altos en los diques presentó una menor abundancia y riqueza comparada con la que exhiben los ubicados en el basín. Predominan el hobo (*Spondias mombin*) y el guarumo blanco (*Cecropia cf. tesmanii*), especies con particularidades ecológicas comunes que demuestran la capacidad de adaptación y su importante función ecológica observada, a saber: (i) tolerantes a grandes intensidades lumínicas, lo que implica que poseen una alta saturación fotosintética aprovechando al máximo la luz disponible, (ii) toleran condiciones de suelo saturado (inundados) y de drenajes excesivos (diques arenosos) y (iii), su fruto constituye un importante recurso alimenticio para muchas especies que cumplen la función de dispersar sus semillas.

Para el caso de los pastizales que se hayan en este nivel, las especies más representativas con crecimiento arbóreo fueron respectivamente el estopo (*Vasivaea podocarpa*), el guarumo blanco (*Cecropia cf. tesmanii*) y el cativo (*Prioria copaifera*), básicamente por la mayor cantidad de individuos que tipifican en gran parte el perfil vertical de estas coberturas (SAG, 2009).

En general, se identificaron 104 especies vegetales en todos los estratos para la posición de dique, en la Tabla 3-3, se presentan las 19 especies características del estrato arbóreo a ese nivel.

En síntesis, se concluye en el estudio citado que la composición florística de los diques está estrechamente ligada a los pulsos de inundación, con especies arbóreas de amplia

adaptabilidad a las condiciones de los diques y a los usos tradicionales del suelo en esta posición topográfica.

**Tabla 3-3:** Especies arbóreas identificadas en la posición topográfica dique, en el ecosistema de referencia (SAG, 2009).

#	Nombre científico	Nombre común	Familia	Habito
1	<i>Andira inermis</i> (W. Wright) Kunth ex DC.	Bolombolo	FABACEAE	Arbóreo
2	<i>Bursera simaruba</i> - (L.) Sarg.	Indio en cueros	BURSERACEAE	Arbóreo
3	<i>Cecropia cf. Tesmanii</i>	Guarumo blanco*	CECROPIACEAE	Arbóreo
4	<i>Cecropia peltata</i> L.	Guarumo colorado	CECROPIACEAE	Arbóreo
5	<i>Cochlospermum vitifolium</i> (willd.) Spreng	Papayote	COCHLOSPERMACEAE	Arbóreo
6	<i>Ficus insipida</i> Willd.	Higuerón	MORACEAE	Arbóreo
7	<i>Ficus maxima</i> Mill.	Higuerón macho	MORACEAE	Arbóreo
8	<i>Ficus</i> sp.	Suan	MORACEAE	Arbóreo
9	<i>Genipa americana</i> L.	Jagua	RUBIACEAE	Arbóreo
10	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Guácimo	STERCULIACEAE	Arbóreo
11	<i>Inga</i> sp.	Guamo dulce	MIMOSACEAE	Arbóreo
12	<i>Luehea seemannii</i> Triana & Planch.	Malagano*	TILIACEAE	Arbóreo
13	<i>Machaerium capote</i> Triana ex Dugand	Siete cueros	FABACEAE	Arbóreo
14	<i>Margaritaria nobilis</i> L. f.	Azulito	EUPHORBIACEAE	Arbóreo
15	<i>Prioria copaifera</i> Griseb.	Cativo*	CAESALPINIACEAE	Arbóreo
16	<i>Spondias mombin</i> L.	Hobo*	ANACARDIACEAE	Arbóreo
17	<i>Tetrathylacium johansenii</i> Standley	Guatinajo	FLACOURTIACEAE	Arbóreo
18	<i>Vasivaea podocarpa</i> Kuhlm.	Estopo*	TILIACEAE	Arbóreo
19	<i>Zygia latifolia</i> (L.) Fawc. & Rendle	Guamo macho	MIMOSACEAE	Arbóreo

\* Especies con mayor índice de importancia ecológica distribuidas en los diques del ecosistema de referencia.

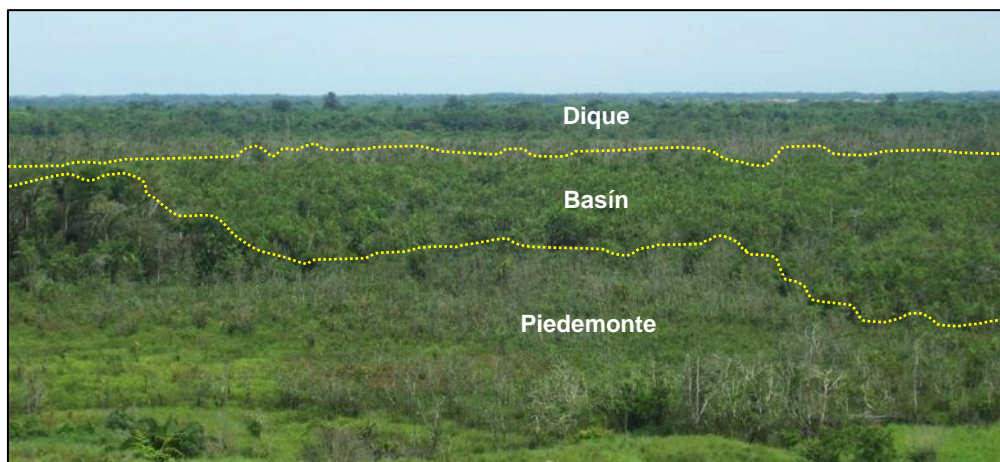
### 3.2.1.2 Basín

Es la unidad geomorfológica con mayor diversidad de especies en los estratos inferiores (regeneración), presentando además la mayor proporción en área boscosa entre las diferentes posiciones topográficas, elementos que están fuertemente influenciados por el uso actual del suelo en estas zonas bajas, considerando que no son aptas para ganadería y ni para el establecimiento de cultivos por su permanente inundación. En las fajas de muestreo, se encontró un 58,3% de pastizales, 29,1% de bosques y 12,5% de rastrojos.

Las especies arbóreas más representativas en las coberturas boscosas del basín, fueron el estopo (*Vasivaea podocarpa*), el cativo (*Prioria copaifera*) y el siete cueros (*Machaerium capote*) por presentar mayores frecuencias y dominancias relativas según el IVI (SAG, 2009). Estas especies tipifican los bajos inundables no sólo en la zona de Sabalito, sino en la cuenca baja del río Nechí (SAG, 2005).

Los remanentes de vegetación arbustiva o de rastrojos observados en el basín, presentaron según el número de especies y los índices de diversidad alfa que referencia el estudio, una mayor riqueza de especies y abundancia de individuos, comparados con los ubicados en diques. En estos sitios inundados, se percibe una mayor representatividad de ecosistemas de planicie de inundación, con el predominio de una de las especies más frecuentes como es la palma tapafrio (*Euterpe precatória*), especie que alcanza a configurar formaciones llamadas “tapafriales”, tolerante a las condiciones de inundación, incluso por varios años (Figura 3-4). En esta unidad se identificó también el mayor número de especies pertenecientes a estados sucesionales de bosque secundario, entre ellas el malagano (*Luehea seemanii*) y el camarón (*Matisia cordata*).

**Figura 3-4:** Rastrojos y cobertura vegetal típica del basín (“tapafriales”) en la planicie de inundación.



Los pastizales arbolados densos y ralos por su parte, son coberturas frecuentemente intervenidas para el desarrollo de actividades agropecuarias. Tienen una distribución a lo largo y ancho de la planicie aluvial y ellos sobresalen las especies cuchillona (*Lasiacis procerrima*), canotillo (*Hymenachne amplexicaulis*), caminadura (*Sorghum halepense*) y

gramalote (*Cortadeira sp.*), siendo predominantes las especies de tipo rastrero o herbáceo (regeneración). De otro lado, las especies con crecimiento arbóreo más representativas fueron el estopo (*Vasivaea podocarpa*), el cativo (*Prioria copaifera*), el sietecueros (*Machaerium capote*) y el guarumo blanco (*Cecropia cf. tesmanii*) por su abundancia, frecuencia o dominancia relativa principalmente. Cerca del 55% de las especies identificadas en los pastizales se catalogan como pioneras y están presentes en todas las unidades geomorfológicas, situación que resalta la adaptabilidad de estas especies a las diferentes condiciones presentadas en la planicie aluvial.

El muestreo florístico en esta unidad geomorfológica (basín) permitió identificar que algunas especies son piezas fundamentales en estos ecosistemas, dado que como producto de las condiciones inundadas, las especies allí presentes tienden a desarrollar estructuras morfológicas que reflejan el grado de complejidad fisiológica de la zona, situación que se relaciona directamente con una respuesta de tipo adaptativa por parte de la biota.

Para toda la posición topográfica o unidad geomorfológica se identificaron 108 especies vegetales entre la regeneración y el estrato arbóreo. En la Tabla 3-4, se presentan las 19 del estrato arbóreo más características a ese nivel.

La composición vegetal en el basín del área de estudio (ecosistema de referencia), se encuentra marcadamente dominada por especies arbóreas y arbustivas altamente tolerantes a inundaciones prolongadas, situación que ha permitido también su conservación, si se tiene en cuenta las implicaciones y dificultades para usar los suelos en esta unidad geomorfológica. Lo anterior, considerando que las franjas muestreadas en el estudio en los tramos de basin, han permanecido inundados por varios años según versiones del equipo de trabajo (incluyendo habitantes de la región) que realizó el estudio.

**Tabla 3-4:** Especies arbóreas identificadas en la posición topográfica basín, en el ecosistema de referencia (SAG, 2009).

#	Nombre científico	Nombre común	Familia	Habito
1	<i>Andira inermis</i> (W. Wright) Kunth ex DC.	Bolombolo	FABACEAE	A
2	<i>Annona glabra</i> L.	Anón cieneguero	ANNONACEAE	A
3	<i>Attalea butyracea</i> (Mutis ex L.f.) Wess.Boer	Mil pesos	ARECACEAE	PAM
4	<i>Bellucia pentamera</i> Naudin	Guayabo de danta	MELASTOMATACEAE	A
5	<i>Cecropia cf. tesmanii</i>	Guarumo blanco*	CECROPIACEAE	A
6	<i>Coccoloba</i> sp.	Mangle	POLYGONACEAE	A
7	<i>Eschweilera pittieri</i> R. Knuth	Coco	LECYTHIDACEAE	A
8	<i>Euterpe precatoria</i> Mart.	Tapa frío*	ARECACEAE	PAC
9	<i>Ficus insipida</i> Willd.	Higuerón*	MORACEAE	A
10	<i>Ficus maxima</i> Mill.	Higuerón macho	MORACEAE	A
11	<i>Guarea guidonia</i> (L.) Sleumer		MELIACEAE	A
12	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Guácimo	STERCULIACEAE	A
13	<i>Licania</i> sp.	Guáimaro	CHRYSOBALANACEAE	A
14	<i>Luehea seemannii</i> Triana & Planch.	Malagano	TILIACEAE	A
15	<i>Mabea occidentalis</i> Benth.		EUPHORBIACEAE	T
16	<i>Machaerium capote</i> Triana ex Dugand	Siete cueros*	FABACEAE	A
17	<i>Malouetia guatemalensis</i> (Müll. Arg.) Standl.		APOCYNACEAE	A
18	<i>Margaritaria nobilis</i> L. f.	Azulito	EUPHORBIACEAE	A
19	<i>Matisia cordata</i> Bonpl.	Camajón*	BOMBACACEAE	A
20	<i>Miconia</i> sp.		MELASTOMATACEAE	A
21	<i>Prioria copaifera</i> Griseb.	Cativo*	CAESALPINIACEAE	A
22	<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) S.F. Blake	Perillo, cambombo	CAESALPINIACEAE	A
23	<i>Spondias mombin</i> L.	Hobo*	ANACARDIACEAE	A
24	<i>Tetragastris panamensis</i> (Engl.) Kuntze		BURSERACEAE	A
25	<i>Triplaris americana</i> L.	Vara santa	POLYGONACEAE	A
26	<i>Vasivaea podocarpa</i> Kuhlms.	Estopo*	TILIACEAE	A
27	<i>Vismia baccifera</i> (L.) Triana & Planch.	Achiotillo	CLUSIACEAE	A
28	<i>Vismia macrophylla</i> Kunth		CLUSIACEAE	A

\* Especies con mayor índice de importancia ecológica distribuidas en los diques del ecosistema de referencia.

Dónde = A: Árbol, PAM: Palma arbórea monoestipitada, PAC: Palma arbórea cespitosa, T: Arbusto.

### 3.2.1.3 Piedemonte

Unidad geomorfológica con la menor riqueza de especies en las áreas muestreadas, tanto para la regeneración como para los estratos arbóreos y arbustivos. En las fajas inventariadas en el piedemonte, sus coberturas ocuparon un 60% los pastizales y un 40% los bosques; en esta unidad no se presentaron rastrojos. Pese a ser la posición con menor área inventariada (con seis de 62 parcelas de muestreo), fue evidente el cambio en la composición florística, una vez cambiaron las condiciones de humedad en el suelo, es decir, en las parcelas ubicadas en suelos no inundables.

Las especies de regeneración y del sotobosque a diferencia de las demás posiciones, fueron en su mayoría provenientes de árboles y arbustos típicos de bosques húmedos tropicales, destacándose entre ellas el carrito (*Aspidosperma myristicifolium*), guayabo de danta (*Bellucia pentamera*), sande (*Brosimum utile*) y aceituno (*Chrysophyllum sp.*). Adicionalmente, el número de individuos de éstas especies en el sotobosque fue mayor en esta posición topográfica que en el basín y el dique, según el estudio de la referencia (SAG, 2009).

Entre las especies arbóreas más representativas para la posición topográfica según su importancia ecológica, se identificaron la palma mil pesos (*Attalea butyracea*) y el achiotillo (*Vismia microphylla*), principalmente por su frecuencia relativa o presencia en la gran mayoría de parcelas establecidas.

En los pastizales arbolados del piedemonte se encuentran con facilidad especies catalogadas como “sin valor comercial” o de “maderas blandas”. Tal es el caso del pedro tomín (*Cespedesia spathulata*) y el guayabo de danta (*Bellucia pentamera*), especies que poseen más del 50% del peso ecológico total (IVI) de los árboles de la cobertura.

Para el caso de especies típicas de bosque, se observaron algunas exclusivamente en el piedemonte: *Aniba sp.*, *Eschweilera pittieri* (coco), *Guatteria sp.*, *Talisia sp.* (guacharaco) y *Tapirira guianensis* (fremo), todas ellas en sitios sin evidencia de inundación y en áreas con poca a mediana intervención.

En general, la unidad geomorfológica de piedemonte presentó 54 especies vegetales entre regeneración y estrato arbóreo. En la Tabla 3-5 se presentan las 16 especies arbóreas más características de la unidad.

**Tabla 3-5:** Especies arbóreas identificadas en la posición topográfica piedemonte, en el ecosistema de referencia (SAG, 2009).

#	Nombre científico	Nombre común	Familia	Habito
1	<i>Aegiphila sp.</i>		VERBENACEAE	A
2	<i>Amaioua corymbosa Kunth</i>	Vara prieta	RUBIACEAE	A
3	<i>Aniba sp.</i>		LAURACEAE	A
4	<i>Aspidosperma myristicifolium (Markgr.) Woodson</i>	Carreto	APOCYNACEAE	A
5	<i>Attalea butyracea (Mutis ex L.f.) Wess.Boer</i>	Mil pesos*	ARECACEAE	PAM
6	<i>Bellucia pentamera Naudin</i>	Guayabo de danta*	MELASTOMATACEAE	A
7	<i>Byrsonima spicata (Cav.) DC.</i>	Noro	MALPIGHIACEAE	A
8	<i>Cespedesia spathulata (Ruiz &amp; Pav.) Planch.</i>	Pedro tomín*	OCHNACEAE	A
9	<i>Eschweilera pittieri R. Knuth</i>	Coco	LECYTHIDACEAE	A
10	<i>Guatteria sp.</i>		ANNONACEAE	A
11	<i>Luehea seemannii Triana &amp; Planch.</i>	Malagano	TILIACEAE	A
12	<i>Miconia cf. poeppigii Triana</i>	Lengua de venado	MELASTOMATACEAE	A
13	<i>Pseudolmedia laevigata Trécul</i>		MORACEAE	A
14	<i>Talisia sp.</i>	Guacharaco	SAPINDACEAE	A
15	<i>Tapirira guianensis Aubl.</i>	Fremo*	ANACARDIACEAE	A
16	<i>Vismia macrophylla Kunth</i>	*	CLUSIACEAE	A

\* Especies con mayor índice de importancia ecológica distribuidas en los diques del ecosistema de referencia.

Dónde = A: Árbol, PAM: Palma arbórea monoestipitada.

El estudio de caracterización concluye que la composición florística del piedemonte contrasta radicalmente con la observada en el dique y el basín, considerando que ninguna de las especies de mayor peso ecológico, fue observada en las demás unidades geomorfológicas inventariadas en las tres fajas de muestreo, indicando también poca

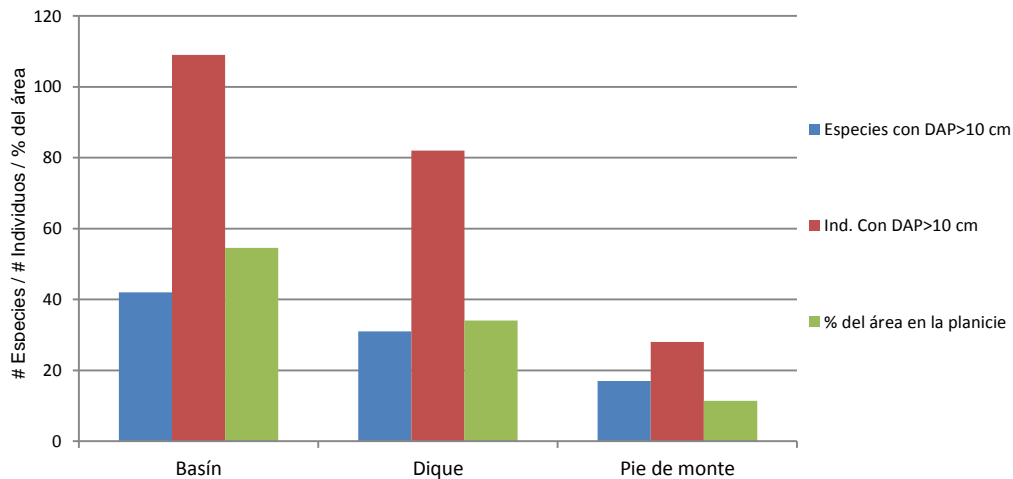


influencia de la dinámica de inundaciones del río Nechí sobre esta unidad geomorfológica.

- **Distribución general de la vegetación en las unidades geomorfológicas**

La Figura 3-5 presenta un resumen de la ocupación y diversidad del recurso flora en las unidades geomorfológicas para el área del ecosistema de referencia.

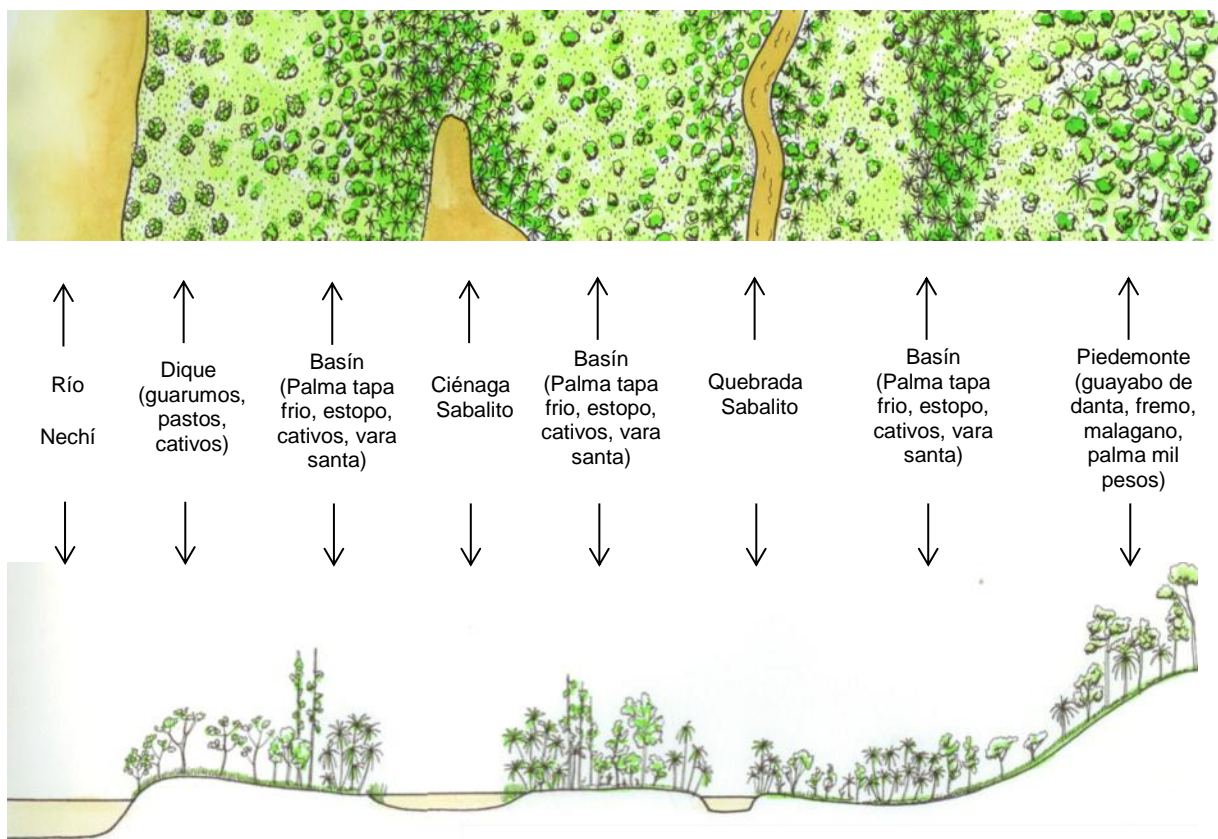
**Figura 3-5:** Número de especies e individuos con diámetros mayores a 10 cm para cada unidad geomorfológica en la planicie aluvial.



La figura anterior da cuenta de la dominancia e importancia en términos florísticos que representa la unidad de basín en el tramo de la planicie estudiado, además de la particularidad de dicha vegetación, considerando que la mayoría de las especies que ocupan estos ecosistemas solo están presentes en condiciones inundables, colonizando algunas a lo sumo a la unidad de dique, pero que definitivamente distan en composición con la unidad de piedemonte.

En aras de espacializar<sup>15</sup> un poco la distribución de las principales especies a lo ancho de la planicie, se presenta en la Figura 3-6, el esquema de la ocupación de la vegetación respecto a las tres unidades geomorfológicas principales que fueron objeto de estudio. La figura se basó en las fajas de muestreo realizadas (perfil horizontal y vertical de la vegetación), e intenta caracterizar las principales especies en cada una de las unidades o posiciones a lo ancho de la planicie.

**Figura 3-6:** Esquema horizontal y vertical de una faja de muestreo a lo ancho de la planicie aluvial del río Nechí, vereda Sabalito. Tomado de SAG (2010).



<sup>15</sup> Espacializar: tecnicismo utilizado en los Sistemas de Información Geográfica para cartografiar o ver en un mapa la información contenida en tablas y datos de campo.

### 3.2.2 Suelos y medios de crecimiento

Los suelos y materiales parentales (medios de crecimiento de la vegetación) se caracterizaron a lo largo de las fajas de muestreo de vegetación, con la finalidad de encontrar posibles relaciones entre la vegetación existente y el material en el que se encontraba, tomando como referencia la caracterización hecha por SAG (2010).

El muestreo incluyó una verificación de las condiciones edáficas, a partir de cajuelas (con dimensiones de 30 x 30 x 30 cm) que evidenciaran las principales propiedades físicas, organolépticas y biológicas del suelo, así como una descripción del uso del suelo, su contenido de humedad, niveles freáticos, profundidad efectiva y clase textural, en los primeros 30 cm de profundidad. Se presentan los principales resultados para textura y contenido de humedad del suelo, por ser las propiedades de mayor relación con la dinámica de la planicie de inundación (pulsos hidrosedimentológicos).

Los suelos asociados a los diques se caracterizan por tener texturas finas, de las 28 cajuelas, el 75% presentaron clases texturales entre arcillosas (Ar) y limo arcillosas (LAr), y el 25% restante se clasificaron como texturas francas (FA - FAr). Según Junk *et al.* (1989) y Neiff (1990), esta composición granulométrica se encuentra asociada a una alta carga de sedimentos finos depositados durante los pulsos hidrosedimentológicos (Figura 3-7).

Asimismo, los contenidos de humedad para los suelos, agrupados por rangos y tomados del estudio de referencia (húmedo, muy húmedo y saturado), fueron determinados para cada cajuela a lo largo de las fajas de muestreo, encontrándose que para ésta unidad geomorfológica (dique) predominó el rango “húmedo” en los suelos, y en menor proporción los suelos “saturados”.

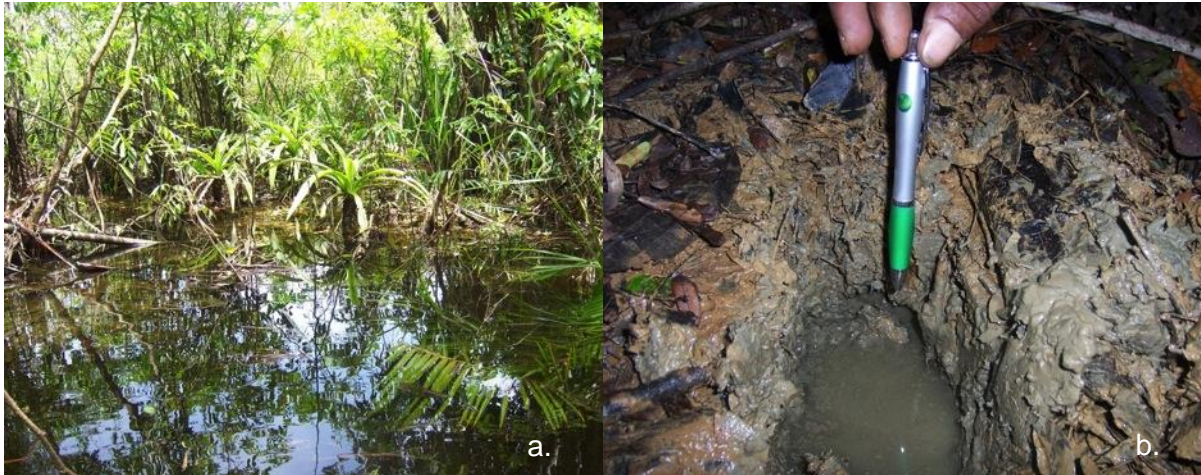
**Figura 3-7:** Suelos sobre dique. a) Posición geomorfológica para dique. b) Suelo a 15 cm de profundidad.



En basines, los materiales mostraron un predominio de texturas pesadas, esto es, para un 93% de las cajuelas se encontraron texturas arcillosas (Ar); el 7% restante corresponde a materiales franco arcillosos (FAR), textura que igualmente se encuentra supeditada por las propiedades derivadas de los coloides de tipo mineral. En esta unidad es mucho más marcada la acumulación de sedimentos finos provenientes de los pulsos hidrosedimentológicos del río Nechí, teniendo en cuenta que por su posición en la llanura de inundación, el tiempo de residencia del agua y los sedimentos *per se*, es mayor la acumulación de arcillas que en las demás unidades según la caracterización hecha por SAG (2009).

Respecto al contenido de humedad en los suelos del basín, es marcada la superioridad que tienen los suelos saturados, dado que cerca del 86% de las cajuelas evaluadas presentaron “agua libre” o láminas de agua por encima de la superficie del suelo o sustrato (Figura 3-8). Lo anterior es una condición propia en la cual se desarrollan los ecosistemas de humedales en una planicie de inundación, situación que modela y determina las condiciones para las adaptaciones tanto de la flora y la fauna, como de las comunidades humanas que conviven en estas zonas. Vale la pena aclarar que la mayor parte del área de la planicie de inundación, está ocupada y regida por este tipo de suelos o sustratos.

**Figura 3-8:** Suelos en el basín. a) Posición geomorfológica para basín. b) Suelo a 15 cm de profundidad.



Por su parte, los suelos de la unidad geomorfológica piedemonte fueron igualmente contrastantes, tanto en texturas como en contenido de humedad respecto al dique y el basín. La clase textural predominante fue la franca - arenosa (FA) para el 66% de las cajuelas, seguido por la areno - limosa para el 33% de las restantes. Dicha clases texturales implican buena capacidad de infiltración y permeabilidad en los suelos, situación común en suelos de ladera y que no se presenta en las demás unidades geomorfológicas.

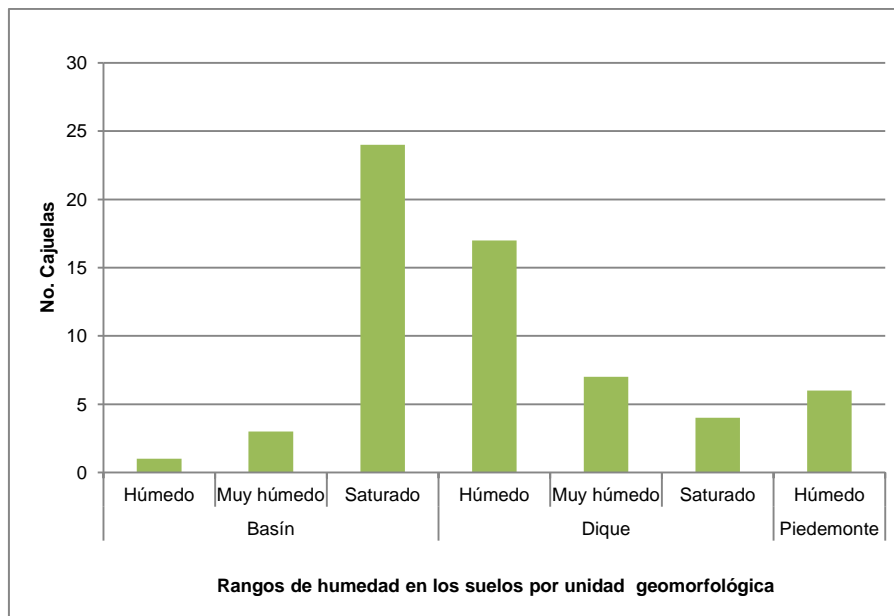
En términos del contenido de humedad, la totalidad de las cajuelas estuvieron en el rango “húmedo”, condición esperada para suelos de bosques tropicales de tierra firme (Figura 3-9). Esta condición de los suelos está estrechamente relacionada con los cambios en la composición florística observada en la unidad, si se considera que los ecosistemas fueron plenamente diferentes y complementarios a los del dique y basín.

**Figura 3-9:** Suelos en el piedemonte. a) Posición geomorfológica de piedemonte. b) Suelo a 15 cm de profundidad.



A continuación se presenta un resumen de los rangos de contenidos de humedad observados en los suelos de las tres unidades geomorfológicas (Figura 3-10), todos ellos a partir de las cajuelas realizadas a lo largo de las fajas de muestreo.

**Figura 3-10:** Rangos de contenido de humedad por unidad geomorfológica para las cajuelas observadas.



Se observa en la figura anterior una tendencia entre la unidad geomorfológica y el rango de humedad de los suelos o sustratos predominantes de forma ascendente, partiendo desde los suelos “húmedos” para el piedemonte, hasta los suelos permanentemente “saturados” para el basín. Dicha relación también es coherente con los contenidos de material fino en las unidades, considerando que el basín contiene la mayor cantidad de suelos con texturas pesadas, finas o arcillosas, hasta llegar a los suelos del piedemonte, donde las texturas son completamente francas, livianas y con los mayores contenidos de arenas.

Según los resultados de la caracterización, los suelos y medios de crecimiento de la biota tienen un gradiente a lo ancho de la planicie, la cual se relaciona directamente con los contenidos de humedad en las tres unidades geomorfológicas y, dependiendo del nivel freático observado, soportan un tipo de vegetación específico (Neiff y Malvárez, 2004).

### **3.2.3 Comunidades sociales**

Los resultados de la caracterización social realizada por SAG (2010 y 2006) en el sector del ecosistema de referencia, se basó en la aplicación de entrevistas a los habitantes de la vereda Sabalito del municipio de El Bagre, en la revisión de información secundaria elaborada por la empresa Mineros S.A y CORANTIOQUIA, en el POT (Plan Básico de Ordenamiento Territorial) del Municipio de El Bagre (Municipio de El Bagre, 2001). El objeto central del trabajo de campo y de la revisión de información social, era el diagnóstico inicial del uso, aprovechamiento y gestión de los recursos naturales en la vereda.

La comunidad de Sabalito comprende el territorio que ocupa la cuenca baja de la quebrada Sabalito, ciénagas, arroyos y caños del sector. En el citado estudio se hace referencia a los pobladores de la vereda y algunos sectores de veredas vecinas, como Monteadentro de la vereda Río Viejo y dos familias más de las veredas El Guachí y Boca del Guamo, tradicionalmente consideradas como pertenecientes a la comunidad de Sabalito.

Según SAG (2010), los pobladores de Sabalito podrían catalogarse como “comunidades dependientes de los recursos naturales”, esto es, dependientes en gran medida de la oferta de recursos naturales para sus actividades productivas, sean ellas de extracción de oro, madera, pesca, caza o de agricultura de subsistencia. Estas comunidades se caracterizan por tener horizontes de planificación y producción a corto plazo, situación que dificulta el desarrollo del emprendimiento, y el acompañamiento de procesos por parte de la institucionalidad a largo plazo.

Las actividades extractivas son habitualmente de tipo artesanal y de subsistencia, aunque cuando se logra una vinculación con el mercado, se incrementan significativamente, con la consecuente afectación severa a los ecosistemas de humedales.

En el ecosistema de referencia (Sabalito) y las poblaciones cercanas, las actividades tradicionales y predominantes son minería, pesca, extracción de madera, caza y agricultura, todas ellas influenciadas (según la época) por los pulsos hidrosedimentológicos.

El recurso natural más aprovechado varía entonces con la época, al igual que su demanda y precio en el mercado local o regional<sup>16</sup>. Es el caso de la actividad minera hasta la década de los ochentas, la cual fue remplazada por la extracción maderera de cativo (*Prioria copaifera*, especie forestal que abundaba en las zonas bajas y de una alta demanda en la ciudad de Barranquilla) hasta finales de la década de los noventas, cuando entre otras razones, por su escasés, disminuyeron considerablemente las áreas boscosas por la sobreexplotación. Según SAG (2010) y como producto de la caracterización, no se descartan los cultivos ilícitos como otra de las actividades que generó considerables ingresos durante algunos años.

---

<sup>16</sup> Comunicación personal Orlando Fuentes, presidente Junta de Acción Comunal vereda Sabalito.



### 3.2.3.1 Percepción de los recursos naturales por la comunidad

La comunidad de Sabalito se manifestó orgullosa de tener agua en altas cantidades, más expresaron su descontento y preocupación, debido a que en las áreas bajas de caños y ciénagas, la calidad del recurso ha disminuido significativamente por factores como: altos niveles de deforestación en la parte alta de la vereda y la pérdida de calidad de las aguas de las ciénagas y caños por las actividades mineras. Para el caso del bosque, los principales problemas son la tasa de deforestación en la parte alta de la vereda y la pérdida de grandes áreas de cativales en las zonas inundables, ésta última a causa del incremento del nivel del río (SAG, 2010).

Según las encuestas mencionadas con antelación, el recurso suelo es el recurso más afectado por las actividades mineras según la comunidad, ya que un terreno intervenido con dragas se convierte en un área prácticamente “muerta”, “estéril”, “sin fuerza”, para ser aprovechada en actividades agropecuarias. Estas áreas llamadas localmente “cargueros”, son poco apreciadas por los nativos para las actividades agrícolas, generalmente son aprovechadas para el establecimiento de viviendas, dado que pasan a ser áreas “no inundables”. P.ej en el sector Puerto Los Mangos (al oriente de la vereda), cinco familias viven en un carguero antiguo. Uno de los habitantes de este sector manifestó: *“La tierra del carguero como que no tiene fuerza para la agricultura, uno siembra y se quedan las cosas chiquitas. Pero, para los bajos uno siembra y si crece, se desarrollan más rápido”*. En otro comentario relacionado se expresó: *“Carguero de mina no sirve para nada, Aquí pueden haber cargueros de 30 años y están igual, a eso lo único que le nace es caco, helecho, plantas estériles, como de desierto, de tierra seca, esas tierras no quedan sirviendo para nada”*. Esos comentarios ratifican el poco valor productivo que dan los habitantes a los cargueros y la importancia que tienen para ellos las tierras bajas inundables (SAG, 2010).

En el mismo estudio se cita que si bien la empresa Mineros S.A. ha buscado alternativas para compensar a los pobladores por las intervenciones sobre el recurso suelo, es claro que dichos esfuerzos aún no satisfacen completamente a estas comunidades. Por tanto es necesario continuar la búsqueda de alternativas más viables, dado que las tierras que son explotadas no pueden volver a ser utilizadas: *“uno si ve que ellos (Mineros S.A.) al*

*menos tratan de recuperar algo, pero nunca van a lograrlo porque el daño es muy grande*"; comentario de un habitante de la comunidad de Sabalito.

### **3.2.3.2 No-institucionalidad**

Se entiende como la no presencia física, política de las instituciones públicas y privadas del Estado colombiano. Se considera uno de los principales limitantes para el desarrollo de la comunidad de Sabalito. Según SAG (2010), el Estado colombiano no atiende las mínimas necesidades básicas de la comunidad como son: una vivienda digna, saneamiento básico, agua potable, servicio de energía, propiedad de la tierra, servicios de salud y educación adecuados, entre otras necesidades básicas notoriamente insatisfechas.

Desde la Alcaldía del municipio de El Bagre, prácticamente no hay presencia en la vereda Sabalito, sus habitantes no tienen contacto directo con esta institución. Durante la época del estudio de referencia, el único programa estatal con cierto reconocimiento en la vereda era el de Familias en Acción, el cual brindaba un apoyo económico a las familias con hijos en edad escolar. Otro programa estatal reconocido es el de Familias Guardabosques, con influencia en áreas conflictivas y de alta presencia de cultivos ilícitos, el cual beneficia otras veredas de los municipios de El Bagre y Nechí. Este programa no beneficia a los habitantes de Sabalito, puesto que, según ellos, nunca fueron informados de ese tipo de proyectos.

De igual forma, los habitantes de la vereda reclaman una presencia más efectiva en la región por parte de CORANTIOQUIA, bien sea por medio de proyectos ambientales o por medio de acciones de control sobre la explotación indiscriminada e ilegal de los recursos naturales.

Mineros S.A. es sin duda la institución externa que más apoya a esta comunidad, no solo facilitando el transporte en los casos de urgencias médicas sin ningún costo, sino también con el auspicio (financiamiento) de lanchas "Jhonson" con motor fuera de borda que son administradas y utilizadas por los habitantes de la vereda, este programa cubre a los habitantes de las veredas de Guachí, El Pital, Boca del Guamo, Rio Viejo, entre otras. Por esta y más razones, Mineros S.A es la referencia para los habitantes de

Sabalito, gran parte de los jóvenes anhelan trabajar en ella por todas las garantías económicas que brinda, pese a no ser viable contratar a todas personas de la región.

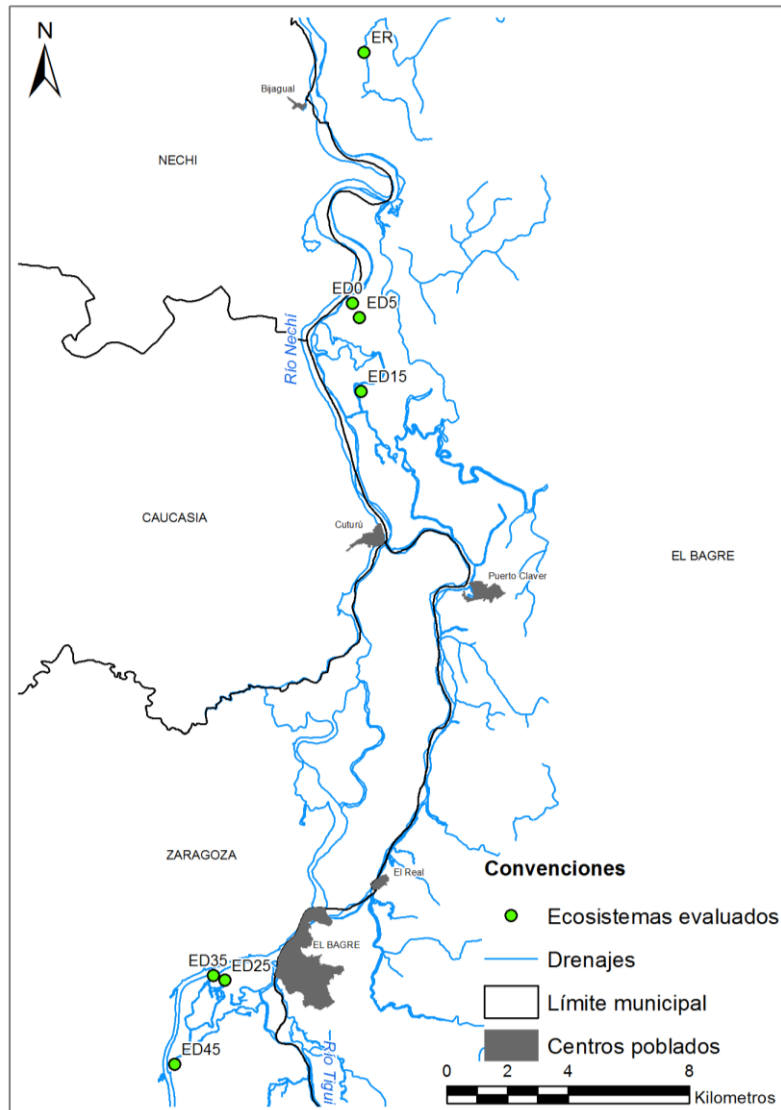
### **3.3 Caracterización del ecosistema intervenido por minería aurífera aluvial.**

La caracterización del ecosistema intervenido se realizó estableciendo parcelas tipo RAP (Rapid Asistent Plot) modificadas semipermanentes, en el carguero resultante de un aprovechamiento reciente (año 0), y en cuyo sitio también se caracterizó el sustrato<sup>17</sup> predominante. Los principales materiales que conforman los cargueros y que soportan la biota en general, son cúmulos de gravas, gravillas, arenas y lodos, que, aunque no poseen propiedades de suelo, acumulan material orgánico que beneficia el desarrollo de la vegetación, debido principalmente a la combinación de factores ambientales (humedad y temperaturas altas) y a la eficiente descomposición de materiales orgánicos (SAG, 2005).

En términos de correspondencia con la unidad geomorfológica, estos cargueros se ubican en las orillas del río Nechí, ocupando las áreas de los diques (Figura 3-11).

---

<sup>17</sup> Para este sitio se considera el sustrato, dado que el material resultante no puede clasificarse propiamente como suelo, teniendo en cuenta que no ha obrado sobre el ningún proceso pedogenético.

**Figura 3-11:** Localización del ecosistema intervenido por minería aurífera aluvial.

### 3.3.1 Vegetación en el ecosistema intervenido por minería.

Dada la reciente intervención en estas áreas, los cargueros resultantes al momento de la evaluación solo tenían un mes de “abandono”, considerando el abandono como la etapa en la cual finaliza todo tipo de actividad extractiva y se da comienzo a las actividades de recuperación. Los paisajes y la biota existentes, están dominados por las incipientes colonizaciones tanto de la flora como de la fauna sobre los sustratos arenosos y adyacentes al río Nechí (Figura 3-12).

**Figura 3-12:** Paisaje dominante en los ecosistemas recientemente intervenidos por minería aurífera aluvial, y en los cuales comienza el proceso de recuperación por parte de la empresa Mineros S.A. a) Nótese en la línea central de la foto, tres plántulas de acacia recién sembradas. b) Aspecto general de los sustratos.



En los cargueros recientemente intervenidos se presentan solamente siete (7) especies vegetales, todas en categoría de regeneración, seis de ellas rastreras colonizadoras (pioneras) y una arbórea plantada (acacia) (SAG, 2005). Los resultados del índice de valor de importancia (IVI), mostraron a la especie plantada acacia (*Acacia mangium*) con 47,3% de IVI, lulito (*Melothria* sp.) con 23%, pasto menudo (*Paspalum cf. clavuliferum*) con 8,9% y gramalote (*Paspalum fasciculatum*) con 8,6% del IVI, como las principales especies en este ecosistema. La cobertura del carguero se categoriza como “desprovista de vegetación” y en proceso de colonización, razón por la cual no se observó presencia de fauna.

### 3.3.2 Suelos y medios de crecimiento.

Los materiales encontrados en estos cargueros se distinguen por no ser suelos desde el punto de vista edafológico, en especial, si se analizan propiedades como la densidad aparente, la estructura, entre otras propiedades químicas y biológicas, mismas que fueron evaluadas en el estudio de referencia y las cuales quedan ausentes en los nuevos sustratos.

La Tabla 3-6 muestra un resumen comparativo del cambio en algunas propiedades físico químicas del suelo en condiciones naturales e intervenidas, contrastando los suelos de dique del ecosistema de referencia con los resultantes del ecosistema intervenido con minería (SAG, 2005). Se observa en la tabla el cambio radical en la mayoría de las propiedades, destacándose la disminución considerable de la fracción fina del suelo (coloides minerales y orgánicos) y quedando la fracción gruesa o inactiva. De igual forma, la disminución de las bases intercambiables (Ca, Mg, K) y el fósforo, propios de las arcillas en los suelos y responsables principales de la fertilidad natural del suelo o sustrato (según sea el caso).

**Tabla 3-6:** Comparación de algunas propiedades del suelo en los sustratos resultantes de la explotación minera y en los suelos de dique del ecosistema de referencia.

Propiedad	Unidad	Ecosistema	
		Dique de referencia	Dique intervenido
Textura	A%	58	98
	L%	34	0
	Ar%	8	2
Clase Textural		FA	A
pH	-	6	5,9
M.O.	%	0,76	0,08
Al		0	0
Ca		3,3	0,4
Mg	cmol/kgS	0,8	0,2
K		0,43	0,02
CICE		4,5	0,6
P	mg/kg	21	5

Dónde: A%= contenido de Arena en porcentaje, L%= contenido de Limo en porcentaje, Ar%= contenido de Arcilla en porcentaje, FA= clase textural franco – arenosa, A= clase textural arenosa, pH= potencial de hidrógeno en la solución del suelo, M.O.= contenido de materia orgánica en el suelo en porcentaje, Al, Ca, Mg, K, CICE= contenido de aluminio, calcio, magnesio, potasio y capacidad de intercambio catiónica efectiva en el suelo respectivamente, expresados en centimoles por kilogramo de suelo, P= contenido de fósforo en el suelo, expresado en miligramos por kilogramo de suelo.

Respecto al contenido de humedad y capacidad de infiltración reportadas en el estudio referido, existe una gran diferencia entre la retención del agua que poseen las texturas pesadas predominantes en el basín, versus las texturas livianas o arenosas predominantes en el piedemonte y parte del dique, teniendo en cuenta que los sustratos de los cargueros analizados no tienen la misma capacidad de retener el líquido, dado que el 98% de las partículas del sustrato son inactivas químicamente y de un gran tamaño (>

0,05 mm de diámetro<sup>18</sup>), es decir, los sustratos analizados carecen en gran medida de coloides (arcillas y coloides orgánicos).

En síntesis, se concluye con base al estudio de referencia, que el sustrato resultante luego de la intervención minera, dista radicalmente de los suelos originales, considerando que se pasa de tener suelos con texturas francas e incluso arcillosas, a tener materiales donde predominan las arenas y gravas (ver Figura 3-12), fracción que si bien no imposibilita los procesos de restauración, ofrece condiciones muy diferentes a la biota que ha evolucionado en estas húmedales condiciones. Sin embargo, el contacto de los cargueros con el río Nechí y, la propensión a los pulsos hidrosedimentológicos, trae consigo los constantes períodos de “aguas altas y bajas”, con los consecuentes aportes de partículas finas a los sustratos, enriqueciendo rápidamente de coloides y texturas pesadas estos cargueros.

### 3.3.3 Comunidades sociales.

Para el caso de los cargueros resultantes de las explotaciones auríferas aluviales, teniendo en cuenta que las áreas intervenidas son básicamente franjas aledañas al cauce del río Nechí o “paleocanales”<sup>19</sup>, posterior a los trabajos de explotación quedan tres elementos fundamentales en los cuales se implementan las actividades de recuperación ambiental. Tales elementos son: cargueros, rellenos hidráulicos (que se ubican entre cargueros o en bajos inundables originados por los depósitos de la Draga de Succión) y los cuerpos de agua resultantes (que se consolidan como húmedales artificiales). Particularmente para la empresa Mineros S.A., en estos elementos se aplica el programa de recuperación de húmedales artificiales, el cual inicia con la sensibilización de las comunidades que se encuentran asentadas en los alrededores de los cuerpos de agua (Mineros, 2010).

---

<sup>18</sup> El separado Arena (A) se encuentra en un rango de diámetro de partículas de 0,05 a 2 mm según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos – USDA por sus siglas en inglés-. Jaramillo, 2014.

<sup>19</sup> Los paleocanales se refieren a antiguos canales principales del río Nechí o sus afluentes principales, donde se concentran las reservas de oro que son objeto de extracción de las empresas mineras.

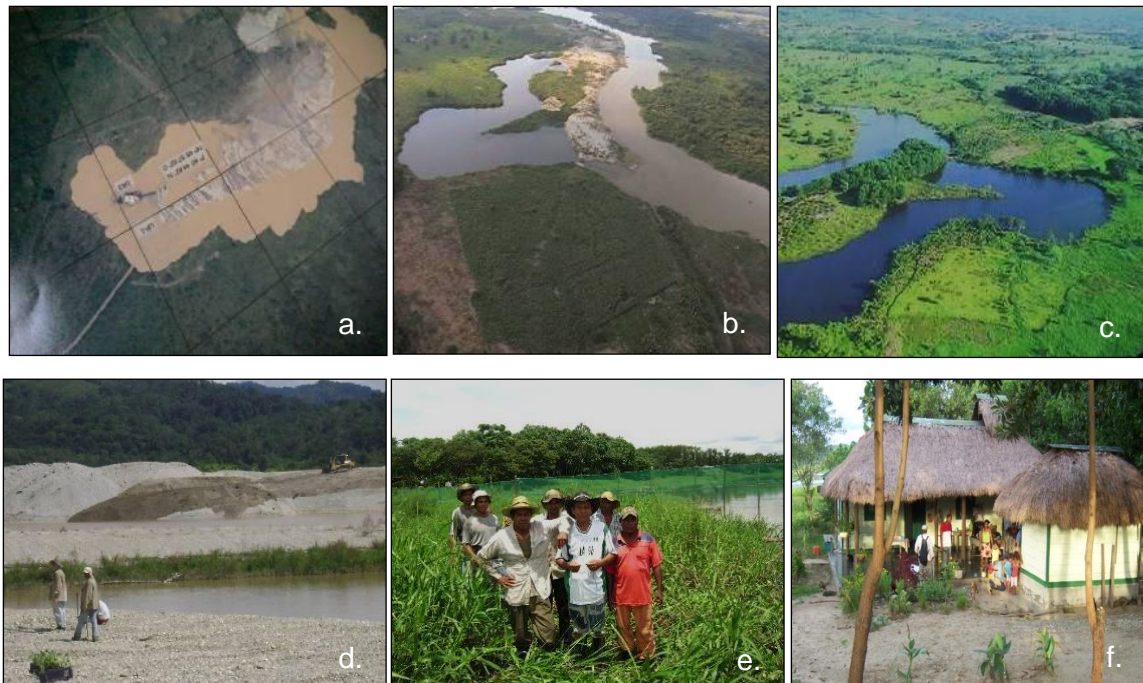
El manejo ambiental de las áreas explotadas es prioridad de la empresa, reconociendo que la continuidad de la explotación está supeditada al manejo adecuado de los recursos naturales, a la posibilidad de reutilizar las áreas explotadas de acuerdo con su vocación agrícola, pecuaria y piscícola, así como de la continuada aceptación de la misma por los habitantes de la región (Estudios y Asesorías Ambientales, 2005). Por consiguiente, otros de los programas que se implementan en estas áreas están relacionados con: (i) aplicación de técnicas agroecológicas, que incluyen cultivos de cobertura, abonos verdes, abonos orgánicos líquidos y alimentación animal alternativa entre otros, (ii) formación en manejo de componentes productivos, (iii) fomento y desarrollo piscícola en los humedales artificiales, (iv) apicultura en parcelas agroforestales, (v) programas de conservación de los recursos naturales como agua y fauna, (vi) plantaciones forestales de diversas especies, (vii) recuperación y conservación de espejos de agua, (viii) establecimiento de rondas de protección con especies nativas, tanto en humedales artificiales como en los naturales, (ix) repoblamiento de fauna con especies características de la región y con la participación activa de la comunidad, (x) monitoreo y seguimientos ambientales en los humedales, especialmente de características biológicas y físico-químicas, entre otros (Figura 3-13).

Un aspecto importante antes, durante y después de la explotación industrial que lleva a cabo Mineros S.A. en el área intervenida, es la generación de empleo para las comunidades adyacentes, la contribución al fisco nacional y municipal, y a la actividad económica regional. La presencia de la empresa tiene alto impacto socioeconómico para las comunidades en el área de influencia. Estas comunidades a través de la empresa, encuentran mayores posibilidades de educación, salud, servicios públicos y otros beneficios que son fácilmente identificables.

En el caso puntual de los habitantes de las áreas explotadas, Mineros S.A. llega a acuerdos de comodato con los campesinos de la región para las tierras de su propiedad, tanto las explotadas como las no intervenidas.



**Figura 3-13:** Secuencia en la recuperación de terrenos realizada por la empresa Mineros S.A. a) Intervención en el año cero. b) Dos años después de la intervención. c) Cinco años después de la intervención. d) Primeras actividades de recuperación con las comunidades. e) Desarrollo piscícola en humedales creados. f) Familia asentada en parcela agroforestal. Fuente: Cardona y Castañeda (2008).



En terrenos que van a ser intervenidos, MINEROS S.A compra las mejoras y generalmente contrata la rocería y limpieza del área a dragar con el mismo comodatario. A medida que avanza el proceso de extracción minera, los campesinos inician la explotación de los cargueros y se asientan allí, prefiriendo a los comodatarios originales, aunque en ocasiones hay cesiones a terceros (ver Figura 3-13).

En terrenos particulares, se negocian las mejoras, pero el campesino conserva su propiedad, ocupando nuevamente sus terrenos conforme avanza la explotación. En ambos casos la empresa hace parte de la recuperación de la zona dragada. Los comodatarios también pueden convertirse en propietarios mediante el proceso de legalización impulsados por la empresa (Mineros, 2010). En la Figura 3-13 se presentan algunos casos de parcelas agroforestales ubicadas en terrenos sometidos a minería aurífera aluvial, específicamente en la vereda La 505 del municipio de El Bagre.

Parte de la comunidad del área de influencia directa permanece como aparceros en los cargueros resultantes, sitios en los cuales cohabitan y subsisten de manera autónoma, auspiciados inicialmente por la empresa minera (Figura 3-14).

### **3.4 Evaluación potencial de restauración por medio de factores que determinan la funcionalidad del ecosistema a restaurar.**

La metodología para abordar la hipótesis del presente trabajo, contempla calcular el Potencial de Restauración (PR) tanto para el ecosistema de referencia, como para el ecosistema degradado por minería aurífera aluvial (Rosselli, 2008).

Una vez alterado, deteriorado o degradado un ecosistema, hablar acerca de su recuperación, rehabilitación o restauración, es un proceso que puede implicar desde decenas, hasta cientos o miles de años y recursos, aunque no es algo imposible (Figura 3-14). Una forma concreta de evaluar si existe o no viabilidad para un eventual proceso de restauración y que además se cuantifique en términos de porcentaje o probabilidades, es a través del cálculo del Potencial de Restauración (PR) propuesto por Gil y Ceballos (2011), el cual se basa en calificar los factores de la oferta ambiental, del potencial biótico y del potencial sociodinámico de un ecosistema, considerando su respectivo aporte o disponibilidad en términos de porcentaje para un eventual proceso de restauración ecológica. Dicha calificación tiene en cuenta los factores o variables que son a su vez limitantes, tensionantes o condicionantes de la restauración, es decir, aquellas que impiden un proceso normal de restauración ecológica.

Como se mencionó, el Potencial de Restauración (PR) se basa en el cálculo de tres componentes: la Oferta Ambiental (OA), el Potencial Biótico (PB) y el Potencial Sociodinámico (PSD), situación que se puede visualizar en la Ecuación 2.

$$\text{Ecuación 2. } PR = \frac{\left(\frac{OA}{n}\right) + \left(\frac{PB}{n}\right) + \left(\frac{PSD}{n}\right)}{3}, \text{ donde:}$$

PR= Potencial de restauración, OA= Oferta ambiental, PB= Potencial biótico, PSD= Potencial sociodinámico, n: Número de variables del componente.

**Figura 3-14:** Áreas recuperadas por Mineros S.A. y en las cuales se distribuyen siete parcelas agroforestales ocupadas por campesinos de la región (aparceros). Fuente: Mineros S.A.



El primer término de la 2 ( $OA/n + PB/n$ ) hace referencia al estado natural del ecosistema, incluyendo los recursos físicos para mantener la dinámica necesaria y vital del sistema en la OA (oferta ambiental), y el PB (potencial biótico) que estima la reserva de propágulos necesarios para mantener o restablecer las diferentes comunidades biológicas existentes en el entorno; en síntesis, la disponibilidad de las condiciones biofísicas del ecosistema para iniciar un proceso de RE.

El segundo término ( $PSD/n$ ), se refiere al capital humano disponible para iniciar y sostener una labor de restauración, toda vez que este componente dictamina el futuro de cualquier ecosistema, bien para garantizar la conservación y restauración, o bien porque su accionar invalida cualquier iniciativa de protección del ecosistema a evaluar. Cuando exista una tendencia positiva de este componente en pos de ejecutar acciones propicias para el mantenimiento y restauración del ecosistema, el signo que prevalecerá será positivo; mientras que si los diferentes actores sociales vinculados al ecosistema

presentan una tendencia desfavorable por la restauración, el signo resultante del PR en la Ecuación 2 será negativo.

Al incluirle a la 2 los factores limitantes (FL) y tensionantes (FT) que afectan directamente cada uno de los componentes, la ecuación (y el PR mismo) se mantiene o tiende a restringirse, según sea la naturaleza de dichos factores, dando como resultado la Ecuación 3. La connotación de esta ecuación radica en tener presente que la OA, el PB y el PSD, se ven disminuidos en su capacidad por acción de los limitantes y tensionantes, produciendo como resultado final, que el PR reduzca su valor.

$$\text{Ecuación 3. } PR = \frac{\left[\left(\frac{OA}{n}\right) - \left(\frac{FL+FT}{2n}\right)\right] + \left[\left(\frac{PB}{n}\right) - \left(\frac{FL+FT}{2n}\right)\right] + \left[\left(\frac{PSD}{n}\right) - \left(\frac{FL+FT}{2n}\right)\right]}{3}, \text{ donde:}$$

PR= Potencial de restauración, OA= Oferta ambiental, PB= Potencial biótico, PSD= Potencial sociodinámico, n: Número de variables del componente, FL: Factores limitantes, FT: Factores tensionantes, (FL+FT)/2n: Promedio de la ponderación de la suma de los FL y FT.

Los valores de los componentes de ambas ecuaciones son derivados de una calificación de carácter cualitativo entre 0 y 100%, asignada por el equipo investigador, con base en los resultados de la caracterización biofísica y social en el ecosistema de referencia, y en otro a restaurar. Según Gil y Ceballos (2011), este valor en términos de porcentaje, equivale a una probabilidad entre 0 y 1 de efectuarse correctamente el proceso de restauración, la cual configura una herramienta vital para el restaurador, evaluando la viabilidad y las condiciones, permitiendo trazar objetivos factibles, tanto en la dimensión espacial (considerado las características actuales del ecosistema a restaurar), como en la temporal (cuando se tenga en cuenta las probabilidades en el tiempo).

Para la obtención del Potencial de Restauración (PR), tanto del ecosistema de referencia como del ecosistema intervenido por minería aurífera aluvial, se aplicaron las Ecuaciones 2 y 3, previa construcción de una matriz basada en la caracterización biótica, física y social de los ecosistemas. Esta matriz incluyó la evaluación de los factores que intervienen en cada uno de los componentes, calificando a su vez el aporte (en % entre 0 y 100) de cada variable o factor para el desarrollo de un eventual proceso de restauración (Tabla 3-7).

**Tabla 3-7:** Calificación utilizada para determinar el grado de aporte de las variables que componen OA, PB, PSD, FL y FT, al PR en los ecosistemas evaluados (de referencia e intervenidos).

<b>Grado de aporte</b>	<b>Porcentaje</b>
Muy Bajo	0-20
Bajo	21-40
Medio	41-60
Alto	61-80
Muy Alto	81-100

A partir de la evaluación del PR, se estima la probabilidad de iniciar acciones de recuperación, rehabilitación o restauración ecológica de los humedales objeto de evaluación, según su grado de intervención.

### 3.4.1 Variables evaluadas para el potencial de restauración

La matriz de evaluación para la oferta ambiental (OA) está conformada por siete (7) variables: Ciclo Hidrológico (CH), que indica la disponibilidad del ciclo hidrológico para un evento de restauración ecológica; geomorfología (GE), basada en las unidades geomorfológicas funcionales en la planicie de inundación luego de la intervención minera; hidráulica (HI), que se relaciona con el tiempo de residencia, velocidad del agua y suministro de sedimentos; suelos (SU), que incluye las principales propiedades del suelo o sustrato relacionadas con el humedal; clima (CL), indicando principalmente las variaciones y disponibilidad de la temperatura, humedad y precipitación; geología (GL), a partir de las posibles variaciones del material parental en los ecosistemas comparados; y fisicoquímica del agua (FQ), que indica las variables físicas y químicas del agua que ofrecen las condiciones necesarias para el desarrollo y colonización por parte de las comunidades hidrobiológicas y de la biota. Estas variables o factores, incluyendo los elementos en los cuales se basó su calificación y el valor asignado para cada ecosistema evaluado (de referencia e intervenidos), se detallan en el Anexo 1 (Calificación del potencial de restauración).

Por su parte, las seis (6) variables que conforman la matriz de evaluación para el potencial biótico (PB) fueron: peces (Pe), que indica la capacidad biológica que tienen las comunidades de peces frente a un proceso de restauración; fauna silvestre (FS), basado en la presencia y recurrencia de los cuatro grupos faunísticos principales en los ecosistemas; flora (FI), que indica principalmente la presencia de vegetación en diferentes estados sucesionales, tanto en el área evaluada como en su entorno, así como la disponibilidad de propágulos para un proceso de restauración ecológica; zooplancton (Zo), indica la presencia de organismos animales que forman parte del plancton; fitoplancton (Fi), presencia y disponibilidad de organismos vegetales que forman parte del plancton; y las macrófitas (Ma), que se refiere a la capacidad biológica que tienen las plantas acuáticas para iniciar un proceso de restauración.

Para el componente del potencial sociodinámico (PSD), las 11 variables evaluadas fueron: política y gobernabilidad (EI), que incluye los cuatro elementos propuestos por Neira (1999) para el entorno institucional; tipos de comunidades humanas (TCH), que indica la presencia o no de negritudes, indígenas o campesinos en el ecosistema a evaluar; grado de organización (GO), basado en el nivel de organización de las comunidades que habitan ambos ecosistemas; actividades antrópicas (AN), cuya calificación se basa en las principales actividades antrópicas que pueden desarrollar las comunidades en cada ecosistema; estrategia adaptativa (EA), o cultura asociada al manejo de los humedales o ecosistemas, sus prácticas y adaptabilidad a las inundaciones; nivel educativo (NE), que incluye el grado de escolaridad de las comunidades que habitan los ecosistemas como una respuesta a su manejo; normatividad ambiental (NA), indicando la existencia o no de políticas que aportan a la restauración ecológica regional y nacional; tenencia de la tierra (TT), que brinda información acerca de la propiedad de los ecosistemas evaluados; uso del suelo (US), tomando como referencia los principales usos definidos por FAO (2009); demografía e infraestructura (DI), que indica el aporte a un eventual proceso de restauración de los habitantes de la región, su distribución y densidad habitacional; y las empresas mineras (EM), tomado como la presencia de empresas mineras legalmente constituidas, y cuya aplicación del PMA beneficia la restauración del ecosistema evaluado.

Los factores o variables categorizados como limitantes (FL), son aquellos que se hallan en cantidad, concentración, frecuencia o accesibilidad inferiores o superiores (al máximo

de tolerancia) a las requeridas para el desarrollo del ecosistema (MAVDT, 2010a). Si bien los limitantes se califican de forma similar a los demás factores, es preciso aclarar que su naturaleza es negativa, y por tanto mientras más sea su magnitud en la calificación, mayor afectación o disminución de los potenciales (componentes) biótico, físico o social, según sea el caso. Las variables limitantes evaluadas fueron: escasez de nutrientes (EN), que afecta la OA, referida básicamente a la ausencia de nutrientes provenientes de tres fuentes evaluadas en cada ecosistema, su calificación afecta la oferta ambiental; eutrofización de ecosistemas (EU), que indica el acelerado enriquecimiento de nutrientes, tanto de aguas como de los sustratos donde se asientan los humedales, su calificación afecta la oferta ambiental; escasez de propágulos (DPR), dada por la pérdida del banco de semillas *in situ* de vegetación típica, así como por la disminución de las poblaciones de fauna dispersora, su calificación afecta el potencial biótico, y disminución en la cultura anfibia (DCA), debido no sólo a la disminución de la cultura en la región, sino también a los cambios en los usos del suelo y sus consecuentes prácticas culturales en las comunidades, su calificación afecta el potencial sociodinámico.

Finalmente los factores tensionantes (FT), definidos por GREUNAL (2010) como aquellos que impiden, limitan o desvían la sucesión natural en áreas alteradas por disturbios naturales y antrópicos. Al igual que los limitantes, su naturaleza es negativa, por cuanto su calificación puede disminuir la calificación de los potenciales biótico, físico y social. Los factores tensionantes para la oferta ambiental fueron: los contaminantes tóxicos (CTO), basados en los niveles de referencia en aguas para la región y el país (CORANTIOQUIA y NEOTROPICOS, 2000; DNP-FAO, 2003; Estudios y Asesorías Ambientales, 2005; Marrugo *et al.*, 2007; Marrugo *et al.*, 2008; Olivero *et al.*, 1995; Olivero *et al.*, 2004), e indican la toxicidad para la biota dada su bioacumulación y biomagnificación; desconexión hidráulica (DH), referido al proceso de alteración o inclusión de barreras a la dinámica natural del río, de la entrada o salida de agua, sólidos y propágulos a la planicie aluvial; ausencia de sustrato mineral y orgánico (ASM), considerado tensionante, teniendo como base el ecosistema de referencia y sus condiciones edáficas; tiempo de residencia del agua (TRA), factor restrictivo para el establecimiento de propágulos, nutrientes y sedimentos en la planicie de inundación, bien sea cuando el tiempo de residencia del agua está por encima o por debajo del promedio; sobrecarga de sedimentos (SS), que indica la cantidad por encima del promedio de carga sólida que transporta el río y cuyas razones principales son la degradación en su área de

captación y el considerable incremento de la minería en la región. Los factores tensionantes para el potencial biótico fueron: especies exóticas invasoras (EX), que indica la presencia de especies de la biota introducidas, las cuales desplazan por su proceso reproductivo a las especies nativas; bioacumulación y bioamplificación (BB), referida principalmente a la toxicidad por mercurio (Hg) en la cadena trófica de ecosistemas de humedales, dado que no se reportan estudios de contaminantes que puedan tener bioacumulación y bioamplificación; sobreexplotación de la biota (SB), basado especialmente en la ictiofauna y en el recurso forestal, considerando que la primera hace parte de la dieta alimenticia y constituye una fuente de ingreso para los habitantes de la región, y la segunda, satisface materiales para viviendas e igualmente es una importante fuente de ingresos; sistema pulsátil (SP), vuelto tensionante para con los procesos biológicos de la vegetación, la fauna y en especial para la ictiofauna, una vez se altera el sistema o conformación geomorfológica de la planicie, con obras como albardones, diques, jarillones, cargueros y barreras que alteran los niveles naturales del agua. Para el caso del potencial sociodinámico, solo se identificó un tensionante: desconocimiento de los humedales (DHu), que indica la subvaloración y falta de percepción de los humedales tropicales de forma generalizada, trayendo consigo la falta de elementos para su uso y manejo, redundando en el deterioro de los recursos asociados a los humedales y la pérdida irreparable de sus componentes funcionales.

En total se definieron 38 factores entre las variables de la oferta ambiental, el potencial biótico, el sociodinámico y los limitantes y tensionantes. A continuación se presenta a manera de ejemplo, el procedimiento realizado para la calificación de la primera variable o factor de la Oferta Ambiental: el ciclo hidrológico (CH), el cual se basó internamente en cuatro elementos para su calificación, a saber: (i) el pulso de inundación, (ii) la existencia de fuentes de agua, (iii) la precipitación y (iv) el comportamiento de las lluvias en los ecosistemas a evaluar (Tabla 3-8). Vale la pena aclarar que los elementos tienen igual participación en la calificación de cada una de las variables, por tanto, si es un elemento, su aporte será a lo sumo del 100%, si son dos, serán máximo del 50% y así sucesivamente. Este procedimiento se realizó para las 38 variables que conforman los componentes del potencial de restauración.



**Tabla 3-8:** Procedimiento para la calificación de las variables basado en los elementos de cada factor. Caso del Ciclo hidrológico que pertenece a la Oferta Ambiental.

<b>Componente:</b> Oferta Ambiental (OA)		
<b>Variable o factor:</b> Ciclo Hidrológico (CH)		
<b>Definición</b>	Disponibilidad del ciclo hidrológico para un evento de restauración ecológica en los ecosistemas a evaluar.	
<b>Elementos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Pulso de inundación:</i> alternancia de los períodos de inundación y sequía definidos por Neiff <i>et al.</i> (2004). Aporte a la calificación= 25%.</li> <li>• <i>Fuente de agua:</i> disponibilidad del recurso en los ecosistemas evaluados, bien sea por cuerpos de agua superficiales (lénticos o lóticos) o subsuperficiales. Aporte a la calificación= 25%.</li> <li>• <i>Precipitación:</i> disponibilidad del agua para un evento de restauración, vía precipitación. Aporte a la calificación= 25%.</li> <li>• <i>Comportamiento bimodal:</i> existencia o no de la distribución típica de los períodos “lluviosos” en los ecosistemas evaluados; dos al año. Aporte a la calificación= 25%.</li> </ul>	
<b>Ecosistema</b>	De referencia (ER)	Degradado y evaluado en el año 0 (ED0)
<b>Calificación (%)</b>	25+25+25+25 = 100	25+25+25+25 = 100
<b>Interpretación</b>	Dado que los cuatro elementos se dan en ambos ecosistemas (referencia y degradados), así como su aporte es positivo y equitativo independiente del tipo y grado de intervención, se concluye que el CH siempre estará disponible para cualquier evento de restauración ecológica en los sitios evaluados. Dicho de otra forma, este factor a la escala del estudio no es presenta diferencias significativas y por ende no sería crucial durante la toma de decisiones.	

Una vez calificados los factores por un equipo interdisciplinario, se construyó una matriz para los análisis posteriores en los cuales se basa la ecuación del potencial de restauración en cada uno de los ecosistemas evaluados. En la Tabla 3-9 se presenta la matriz que consolida las calificaciones individuales por variable y en la que se basaron los cálculos para hallar el potencial de restauración a cada sitio.

Valoración del grado de aporte (en porcentaje) de cada variable componente de la oferta ambiental (**OA**) por cada sitio analizado, para las comunidades de peces, bosques, macrófitas y disponibilidad de agua en la Ciénaga del Tigre, municipio de Yondó, Antioquia-Colombia.

**Tabla 3-9:** Calificación del grado de aporte (en porcentaje) de los factores, por componente y para cada sitio evaluado.

SITIOS	OFERTA AMBIENTAL – OA							POTENCIAL BIÓTICO – PB					
	CH	GE	HI	SU	CL	GL	FQ	Pe	FS	FI	Zo	Fi	Ma
ER	100,0	83,3	60,0	100,0	100,0	100,0	50,0	75,0	83,3	100,0	100,0	100,0	100,0
ED45	100,0	16,7	20,0	0,0	100,0	100,0	100,0	50,0	16,7	75,0	50,0	50,0	50,0
ED35	100,0	16,7	20,0	0,0	100,0	100,0	100,0	50,0	16,7	75,0	50,0	50,0	50,0
ED25	100,0	16,7	20,0	0,0	100,0	100,0	100,0	50,0	16,7	75,0	50,0	50,0	50,0
ED15	100,0	50,0	40,0	0,0	100,0	100,0	50,0	50,0	50,0	75,0	50,0	50,0	50,0
ED5	100,0	66,7	60,0	25,0	100,0	100,0	50,0	75,0	66,7	100,0	100,0	100,0	100,0
ED0	100,0	66,7	60,0	25,0	100,0	100,0	25,0	75,0	66,7	100,0	50,0	50,0	50,0

SITIOS	POTENCIAL SOCIODINÁMICO – PSD										
	EI	TCH	GO	AN	EA	NE	NA	TT	US	DI	EM
ER	25,0	100,0	50,0	83,3	100,0	33,3	50,0	100,0	80,0	50,0	100,0
ED45	25,0	66,7	100,0	66,7	100,0	33,3	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
ED35	25,0	66,7	100,0	66,7	100,0	33,3	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
ED25	25,0	66,7	100,0	66,7	100,0	33,3	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
ED15	25,0	66,7	100,0	66,7	100,0	33,3	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
ED5	25,0	66,7	100,0	66,7	100,0	33,3	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
ED0	25,0	66,7	100,0	0,0	100,0	33,3	100,0	100,0	80,0	100,0	100,0

SITIOS	FACTORES LIMITANTES – FL				FACTORES TENSIONANTES – FT									
	FL (OA)		FL (PB)	FL (PS)	FT (OA)					FT (PB)				FT (PS)
	EN	EU	DPR	DCA	CTO	DH	ASM	TRA	SS	EX	BB	SB	SP	DHu
ER	0,0	30,0	33,3	40,0	100,0	0,0	0,0	0,0	30,0	100,0	25,0	100,0	0,0	64,0
ED45	100,0	0,0	66,7	70,0	100,0	100,0	100,0	100,0	0,0	100,0	0,0	30,0	50,0	64,0
ED35	100,0	0,0	66,7	70,0	100,0	100,0	100,0	100,0	0,0	100,0	0,0	30,0	50,0	64,0
ED25	100,0	0,0	66,7	70,0	100,0	100,0	100,0	100,0	0,0	100,0	0,0	30,0	50,0	64,0
ED15	100,0	0,0	66,7	70,0	100,0	100,0	100,0	100,0	0,0	100,0	0,0	30,0	50,0	64,0
ED5	66,7	30,0	66,7	80,0	100,0	0,0	100,0	50,0	60,0	100,0	25,0	70,0	0,0	64,0
ED0	33,3	30,0	66,7	80,0	100,0	0,0	100,0	50,0	60,0	100,0	25,0	70,0	0,0	64,0

Dónde: ER= ecosistema de referencia, ED45= ecosistema intervenido hace 45 años, ED35= ecosistema intervenido hace 35 años, ED25= ecosistema intervenido hace 25 años, ED15= ecosistema intervenido hace 15 años, ED5= ecosistema intervenido hace 5 años, ED0= ecosistema recién intervenido, CH= ciclo hidrológico, GE= geomorfología, HI= hidráulica, SU= suelos, CL= clima, GL= geología, FQ= fisicoquímica del agua, Pe= peces, FS= fauna silvestre, FI= flora, Zo= zooplancton, Fi= fitoplancton, Ma= macrófitas, EI= política y gobernabilidad, TCH= tipos de comunidades humanas, GO= grado de organización, AN= actividades antrópicas, EA= estrategia adaptativa, NE= nivel educativo, NA= normatividad ambiental, TT= tenencia de a tierra, US= uso del suelo, DI= demografía e infraestructura, EM= empresas mineras, EN= escasez de nutrientes, EU= eutroficación, DPR= escasez o disminución de propágulos, DCA= disminución de la cultura anfibia, CTO= contaminantes tóxicos, DH= desconexión hidráulica, ASM= ausencia de sustrato mineral y orgánico, TRA= tiempo de residencia del agua, SS= sobrecarga de sedimentos, EX= especies exóticas invasoras, BB=

bioacumulación y bioamplificación, SB= sobreexplotación de la biota, SP= sistema pulsátil y DHu= desconocimiento de los humedales.

Una vez calificados los componentes con sus respectivos factores, limitantes y tensionantes, se procedió a reemplazar los valores en la Ecuación 3 para hallar los potenciales de restauración en cada uno de los sitios. Es preciso aclarar que en esta ecuación el denominador “2n” hace referencia a la existencia de igual número de limitantes, tensionantes y factores evaluados en cada componente. Sin embargo, considerando que para el presente caso el número de limitantes, tensionantes y factores son diferentes para cada componente, se descompone en la Ecuación 4 para mayor claridad, el denominador de los limitantes y tensionantes conforme a su respectivo número de factores evaluados. A continuación se despliega la ecuación y se evalúa paralelamente el caso del potencial de restauración para el ecosistema de referencia, utilizando las calificaciones respectivas. La calificación del potencial de restauración se realizó igualmente para los ecosistemas intervenidos utilizando la misma ecuación.

$$\text{Ecuación 4. } PR = \frac{\left[ \left( \frac{OA}{n} \right) - \frac{\left( \frac{FL}{L_{OA}} + \frac{FT}{T_{OA}} \right)}{2} \right] + \left[ \left( \frac{PB}{n} \right) - \frac{\left( \frac{FL}{L_{PB}} + \frac{FT}{T_{PB}} \right)}{2} \right] + \left[ \left( \frac{PSD}{n} \right) - \frac{\left( \frac{FL}{L_{PSD}} + \frac{FT}{T_{PSD}} \right)}{2} \right]}{3}$$

$$PR = \frac{\left[ \left( \frac{593,3}{7} \right) - \frac{\left( \frac{30}{2} + \frac{130}{5} \right)}{2} \right] + \left[ \left( \frac{558,3}{6} \right) - \frac{\left( \frac{33,3}{1} + \frac{225}{4} \right)}{2} \right] + \left[ \left( \frac{771,7}{11} \right) - \frac{\left( \frac{40}{1} + \frac{64}{1} \right)}{2} \right]}{3}$$

$$PR = \frac{[64,26] + [48,26] + [18,15]}{3} = 43,56 \%, \text{ donde:}$$

PR= Potencial de restauración, OA= Oferta ambiental, PB= Potencial biótico, PSD= Potencial sociodinámico, n= Número de variables del componente, FL= Factores limitantes, FT= Factores tensionantes, L<sub>OA</sub>, L<sub>PB</sub>, L<sub>PSD</sub>= número de limitantes de la OA, PB y PSD respectivamente, T<sub>OA</sub>, T<sub>PB</sub>, T<sub>PSD</sub>= número de tensionantes de la OA, PB y PSD respectivamente.

Según Gil *et al.* (2011), el valor resultante de PR (43,56 %) indica que el ecosistema evaluado tiene una probabilidad “media” de éxito, en el caso de establecer un plan de restauración ecológica.

### 3.4.2 Análisis multivariado

Una vez obtenida la matriz de calificación de cada uno de los factores, limitantes y tensionantes para cada sitio (Tabla 3-9), se procedió a hacer un análisis estadístico multivariado de componentes principales (ACP) para todas las variables, utilizando los paquetes estadísticos MVSP (Multivariate Statistical Package) versión 3.00b y Statgraphics Centurion versión 15.2.14, en aras de hacer una simplificación estructural de los datos y en especial de los factores, representando de la manera más simple posible los componentes y sus variables de mayor relevancia para la posterior construcción del modelo.

Inicialmente se analizaron las variables agrupadas por componentes (OA, PB y PSD), por ejemplo, para el caso de las variables físicas, las 14 variables (7 factores, 2 limitantes y 5 tensionantes) del componente Oferta Ambiental. En todos ellos y como primera medida, se evaluaron los factores sin limitantes y tensionantes, en aras de ver cuáles eran los factores de mayor relevancia *per se* en un proceso de restauración. Adicionalmente, se evaluaron los factores con limitantes y tensionantes, para ver el efecto de los mismos sobre los factores originales, o si se mantenía la tendencia en los factores más significativos.

Teniendo en cuenta los factores arrojados por el análisis y con el cual se explica la mayoría del fenómeno o tendencia en la Oferta Ambiental de los ecosistemas evaluados, aunados a la supervisión, filtro y coherencia en los resultados que complementa el panel de expertos, se seleccionaron los factores de mayor importancia significativa, mayor variabilidad y aporte en un eventual proceso de restauración ecológica, haciendo una “simplificación estructural o reducción de datos”<sup>20</sup>, teniendo siempre como premisa, no sacrificar información que pudiese ser importante en el momento de realizar los filtros.

---

<sup>20</sup> Simplificación estructural o reducción de datos: representaciones lo más simples posibles de algunos fenómenos sin sacrificio de información valiosa, eliminando datos y variables de acuerdo con ciertos postulados matemáticos, generalmente brindados por la geometría vectorial.

En el caso de encontrarse la misma tendencia en la priorización de las variables y basados en el significado de los limitantes y tensionantes para cada componente, se eliminan estos últimos en la simplificación, dado que en las áreas donde se aplicará el modelo de restauración deberán estar controlados todo tipo de afectaciones al potencial de restauración (esto es, eliminar los limitantes y tensionantes), por tanto, el modelo conceptual estará concentrado en los factores o variables cruciales.

Como resultado de lo anterior, se seleccionaron los factores que no fuesen combinación lineal de otros o que no estuvieran correlacionados, representativos, que dieran información de los demás factores del componente y que direccionaran las principales intervenciones en cuanto a actividades de restauración ecológica de los ecosistemas o sitios evaluados, no solo con fundamento estadístico, sino con el aval y a criterio del panel de expertos.

### **3.5 Elaboración del modelo conceptual de restauración**

La restauración de humedales tropicales supone una alta incertidumbre en sus trayectorias futuras, por tanto es necesario establecer un procedimiento adaptativo, dinámico de manejo y control, que permita virar en cualquier momento de forma efectiva hacia el ecosistema deseado (Gallego, 2008).

Este autor afirma que los modelos conceptuales expresan ideas sobre componentes y procesos considerados importantes en un sistema, documentando asunciones sobre cómo los componentes y procesos están relacionados e identificando lagunas en el conocimiento.

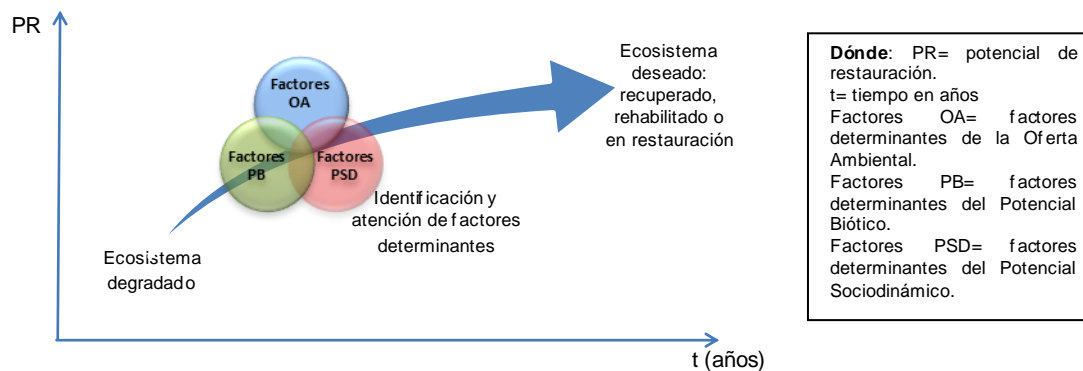
De cara a elaborar el modelo conceptual para establecer las relaciones entre los resultados de las actividades extractivas y su repercusión en las características funcionales y estructurales de ecosistemas degradados, facilitando identificar la trama de relaciones entre el aprovechamiento de los recursos naturales y las señales que emanan de los ecosistemas alterados. Esta aproximación será útil también para establecer qué

bienes y servicios del ecosistema pueden ser utilizados y en qué medida, así como para determinar la vía de su recuperación, rehabilitación o restauración (Gallego, 2008).

A partir de esto, con la simplificación de los factores, limitantes y tensionantes de los tres componentes del PR arrojado por el análisis multivariado, se combinan los factores y se determina hacia dónde deben estar encaminadas las acciones de restauración, configurando una solución adaptada, efectiva y en la cual deben basarse todas las acciones de restauración de cara a la recuperación en la productividad de las tierras, a la rehabilitación de terrenos ecológicamente funcionales o incluso, a zonas encaminadas a la restauración ecológica que presten bienes y servicios de forma similar a los humedales originales en la planicie de inundación.

El modelo conceptual será por tanto el resultado de la elección y atención de los factores cruciales, sobre un ecosistema degradado por minería aurífera aluvial, y cuya trayectoria en el tiempo, pretende llevar las áreas intervenidas a áreas productivas, a áreas funcionales ecológicamente o a humedales típicos de llanuras de inundación en el mejor de los casos, es decir, a la recuperación, rehabilitación o restauración propiamente dicha respectivamente, así (Figura 3-15):

**Figura 3-15:** Modelo o trayectoria teórica de la restauración de ecosistemas degradados.



En síntesis, los factores obtenidos a partir de la simplificación del potencial de restauración, entrarán a constituir el Modelo Conceptual de Restauración (Barber, 1994; Noon *et al.*, 1999; RECOVER, 2001), en el cual se compaginarán elementos

---

provenientes de la conjunción de los modelos de Bradshaw (1984), National Research Council –NRC- (1992) y el Adaptable (Christensen *et al.*, 1996).

De otro lado, la espacialidad y operatividad del modelo será exclusivamente para el área objeto de análisis, es decir, para la llanura de inundación del río Nechí en su cuenca baja, en el complejo de humedales y a nivel de humedales, por cuanto cualquier variación en sus factores y áreas de aplicación, darán lugar a nuevas adaptaciones del modelo y evaluaciones en las nuevas condiciones.





## 4. Capítulo. Resultados y discusión

### 4.1 Potencial de restauración para los ecosistemas evaluados

Para la obtención del Potencial de Restauración (PR) en los ecosistemas evaluados (De referencia y seis con diferentes edades de intervención), se utilizaron los datos de la matriz de calificación (Tabla 3-9) en la Ecuación 4 para cada sitio. Los resultados por ecosistema se presentan en la Tabla 4-1.

**Tabla 4-1:** Calificación inicial del potencial de restauración en los ecosistemas evaluados.

<b>Sitio o ecosistema evaluado</b>	<b>Potencial de restauración (%)</b>
Ecosistema de referencia (ER)	43,56
Ecosistema intervenido hace 45 años (ED45)	1,41
Ecosistema intervenido hace 35 años (ED35)	1,41
Ecosistema intervenido hace 25 años (ED25)	1,41
Ecosistema intervenido hace 15 años (ED15)	3,42
Ecosistema intervenido hace 5 años (ED5)	19,38
Ecosistema recién intervenido (ED0)	10,00
<b>Promedio planicie de inundación</b>	<b>11,51</b>

Según la Tabla 4-1, la mayor probabilidad la ostenta el ecosistema de referencia con un 43,56%, equivalente a una probabilidad de éxito “media” en el caso de iniciar un proceso de restauración. Dicha situación obedece principalmente a que los ecosistemas (o parte de ellos) se encuentran aún en sucesión detenida o con remanentes de ecosistemas

originales, razón por la que la oferta ambiental y su potencial biótico, permiten todavía la acción del potencial sociodinámico para rehabilitar ecológicamente estos humedales y tornarlos funcionales, es decir, con la presencia de pulsos hidrosedimentológicos, fauna y flora adaptadas aún a esas condiciones y unos usos del suelo que con la implementación de prácticas puedan ser sostenibles.

Posteriormente se encuentran los ecosistemas intervenidos, todos con potenciales de restauración inferiores al 20%, con grado de afectación calificado como “degradación” (Brown and Lugo, 1994) y a los que solo les aplica la “recuperación” en un eventual proceso de restauración ecológica (Gil *et al.*, 2011). Se destacan los ecosistemas más recientemente intervenidos (ED0=10% y ED5=19%), en cuyos casos se han venido realizando medidas de manejo diferenciales respecto a los de mayor edad (ED45, ED35 y ED25), tales como el perfilado de las unidades geomorfológicas que permitan la dinámica de pulsos de inundación y la inclusión de especies de la biota típicas de humedales. Sin embargo, la calificación del potencial para los sitios intervenidos, se encuentra altamente influenciada por los actuales limitantes y tensionantes, como es el caso de la desconexión hidráulica (DH), la escasez de nutrientes (EN) y los contaminantes tóxicos (CTO), entre otros, los cuales disminuyen considerablemente los potenciales biótico y la oferta ambiental de las áreas que comienzan a recuperarse. Sintetizando, bajo las condiciones actuales el potencial de restauración es muy bajo en los ecosistemas degradados.

Al analizar el promedio de los potenciales de restauración para todos los sitios asumiendo prácticamente toda el área de estudio o la margen derecha de la planicie de inundación, las condiciones de deterioro del complejo de humedales se ve reflejado en el potencial encontrado, el cual alcanza sólo un valor del 11,51%, lo que califica la planicie como “tierras marginales” y degradadas, en cuyo caso solo se puede aspirar a realizar trabajos de recuperación a corto y mediano plazo (Brown and Lugo, 1994).

En gran medida, el potencial de restauración *per se* refleja también la condición de los ecosistemas evaluados, combinando múltiple información del estado y su aptitud para realizar restauración en ellos, condensándola en una cifra o porcentaje, que para el caso de los ecosistemas evaluados, refleja coherentemente las observaciones realizadas y las actuales dificultades para iniciar un proceso de restauración ecológica en estos sitios.

Otro de los resultados importantes asociados a los porcentajes hallados en la tabla anterior, es el sustento para descartar la posibilidad de realizar programas de rehabilitación o restauración ecológica en los ecosistemas intervenidos, dados los plazos, recursos y uso del suelo disponibles para dichas áreas, lo que fundamenta y enfoca según Gil y Ceballos (2011) y Brown and Lugo (1994), la oportunidad para concentrar los programas de manejo de las empresas y las autoridades ambientales, en actividades que apunten a la “recuperación productiva” de los terrenos aprovechados.

## **4.2 Factores y variables que determinan la funcionalidad de los ecosistemas a restaurar**

En la elección de los factores que determinan la funcionalidad de los ecosistemas a restaurar, se analizaron inicialmente los componentes de forma independiente, de cara a conocer sus determinantes y a simplificar cada uno de ellos. A continuación se presentan los resultados del análisis multivariado (componentes principales -ACP-) para la oferta ambiental, el potencial biótico y el potencial sociodinámico respectivamente.

### **4.2.1 Componentes principales para la oferta ambiental**

El orden de los sitios analizados en la planicie de inundación y el comportamiento de los factores, se puede explicar según el ACP en un 95,23% con solo dos ejes, alcanzando el eje principal ( o número 1) un 80,17%, definiendo con mayor claridad la variación de los sitios y variables (Tabla 4-2).

De acuerdo al Análisis de Componentes Principales (ACP), los resultados obtenidos incluyendo todas las variables fueron básicamente iguales a cuando se excluyeron los limitantes y tensionantes. Inicialmente se evidenciaron dos escenarios para los sitios: los humedales que presentan conexión directa con el río Nechí y aquellos desconectados (Figura 4-1).

**Tabla 4-2:** Valores propios, porcentajes de variación y ordenación en los dos ejes del ACP, aplicado a las variables de la Oferta Ambiental en los sitios evaluados en la planicie aluvial del río Nechí.

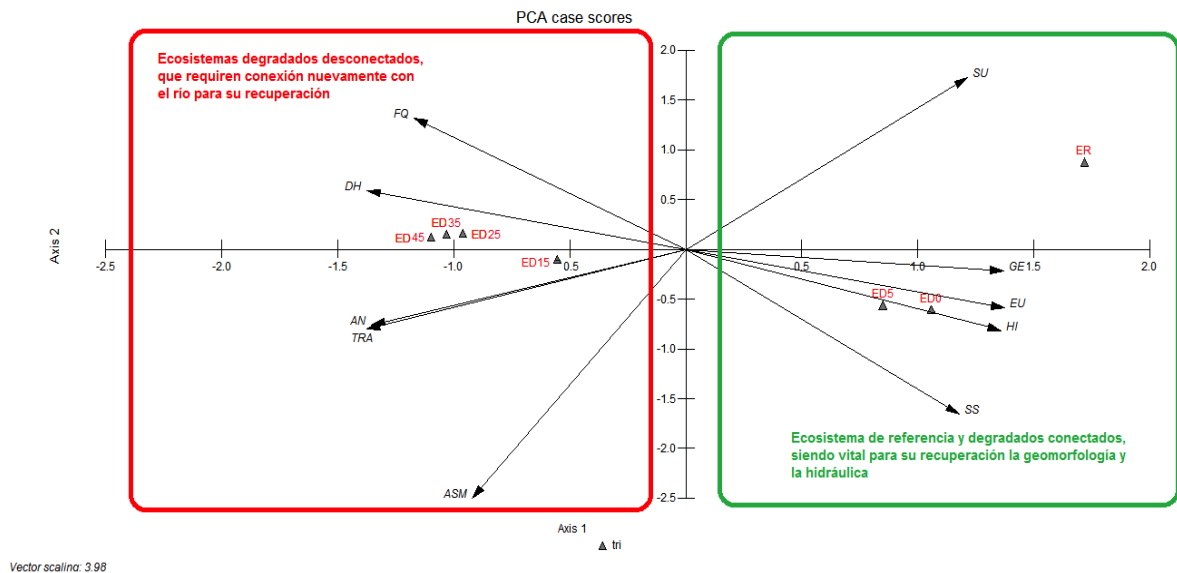
Ítem	Eje 1	Eje 2
Valores propios	8,02	1,50
Porcentaje	80,17	15,06
Porcentaje acumulado	80,17	95,23
Variable		
Tiempo de residencia del agua –TRA-*	-0,34	-0,20
Desconexión hidráulica –DH- *	-0,34	0,15
Escases de nutrientes –EN-*	-0,34	-0,19
Fisicoquímica del agua –FQ-	-0,29	0,33
Ausencia de sustrato mineral y orgánico –ASM-	-0,23	-0,62
Ciclo hidrológico –CH-	0,00	0,00
Clima –CL-	0,00	0,00
Geología –GL-	0,00	0,00
Contaminantes tóxicos –CTO-	0,00	0,00
Sobrecarga de sedimentos –SS-	0,29	-0,41
Suelos –SU-	0,30	0,43
Hidráulica –HI-*	0,34	-0,20
Geomorfología –GE-*	0,34	-0,05
Eutroficación –EU-*	0,34	-0,15

\* Factores, limitantes y tensionantes con mayor aporte o afectación en un proceso de restauración, según los valores del ACP en el Eje 1.

La diferenciación y agrupación de los sitios en dos escenarios según el Eje 1, obedece principalmente a la conectividad que tengan los ecosistemas con el río Nechí. El primer escenario en el recuadro verde (Figura 4-1) corresponde a los “ecosistemas conectados”, se ubica en los valores positivos del primer eje, relacionado con la influencia de los pulsos hidrosedimentológicos sobre los humedales y ecosistemas, modelando factores como la hidráulica (HI), la geomorfología (GE), los suelos (SU) y la fisicoquímica del agua (FQ), así como de un factor limitante: eutroficación (EU) y un tensionante: sobrecarga de sedimentos (SS). Este escenario es típico de sitios como el ecosistema de referencia y aquellos recientemente intervenidos (ED0 y ED5), los cuales permiten las inundaciones periódicas y los respectivos ingresos de sedimentos y nutrientes a suelos y sustratos. No obstante, existe al interior del escenario una marcada distancia entre el ecosistema de referencia (ER) y los intervenidos (ED0 y ED5), sugiriendo que si bien prima la conectividad en todos, las condiciones físicas del ecosistema de referencia son óptimas en una eventual comparación. Estos factores en conjunto permiten visualizar las

condiciones actuales del ecosistema de referencia y demás que aún permanezcan conectados hidráulicamente al río Nechí, permitiendo no solo los flujos e intercambios de materiales por el agua, sino también de los propágulos que se transportan por este medio y llegan a las ciénagas y humedales.

**Figura 4-1:** Análisis de componentes principales para los factores, limitantes y tensionantes de la oferta ambiental en los sitios evaluados. Nótese los dos escenarios: en el recuadro verde los sitios conectados con el río y en (ii) en el recuadro rojo los humedales desconectados.



Del otro lado del eje en el recuadro rojo de la figura anterior, se encuentran los sitios intervenidos (ED15, ED25, ED35 y ED45) y cuya conectividad se vio interrumpida principalmente por la explotación aurífera aluvial en décadas anteriores. Al analizar específicamente los cuatro sitios, podría decirse que el ecosistema degradado 15 años atrás, contó con algunas prácticas de recuperación que pudieron acelerar el proceso de recuperación, aunque en todos ellos prevalezca los mismos materiales en el sustrato y se tengan los mismos limitantes y tensionantes.

La desconexión con el río trae implícito para estos ecosistemas el distanciamiento en composición, tipo de sustratos y básicamente da origen a otras condiciones en la “oferta ambiental”, si llegase a compararse con los conectados. Asimismo, en estos ecosistemas desconectados o del escenario dos, resultan como variables altamente significativas para

un evento de restauración la físicoquímica del agua (FQ), limitantes como la escases de nutrientes (EN) y tensionantes como el tiempo de residencia del agua (TRA), las actividades antrópicas (AN) y por su puesto la desconexión hidráulica (DH). Tanto los factores como los limitantes y tensionantes del escenario dos, confluyen en humedales de tipo artificial y sus condiciones son disímiles a los desarrollados naturalmente.

Asimismo, surgen también por su homogeneidad y escala en todos los ecosistemas evaluados, factores no significativos como son el clima (CL), el ciclo hidrológico (CH), la geología (GL) y los contaminantes tóxicos (CTO), considerados en un evento de restauración ecológica, como factores que no representan aportes o afectaciones significativas y diferenciales para las actividades propias de la restauración.

#### **4.2.2 Componentes principales para el Potencial Biótico**

La ordenación por sitios y el comportamiento de las variables es bastante confiable y puede explicarse en un 92,98% con dos ejes considerando en el ACP. Nuevamente el eje principal (1) define contundentemente la variación y ubicación de sitios y variables, con un 82,02% (Tabla 4-3).

De la tabla se deriva que prácticamente todas las variables bióticas tienen un aporte o afectación considerable a la recuperación, rehabilitación o restauración de los sitios, exceptuando las especies exóticas invasoras (EX), las cuales se consideran un tensionante alóctono, generalizado en la zona y desde hace algunas décadas, razón por la cual incide homogéneamente sobre todos los ecosistemas evaluados y por tanto carece de variabilidad o aporte selectivo a la restauración.

Para el caso del Potencial Biótico, se presentan igualmente los mismos escenarios de la Oferta Ambiental, es decir, los ecosistemas se sectorizan por los conectados y no conectados con el río Nechí (Figura 4-2).

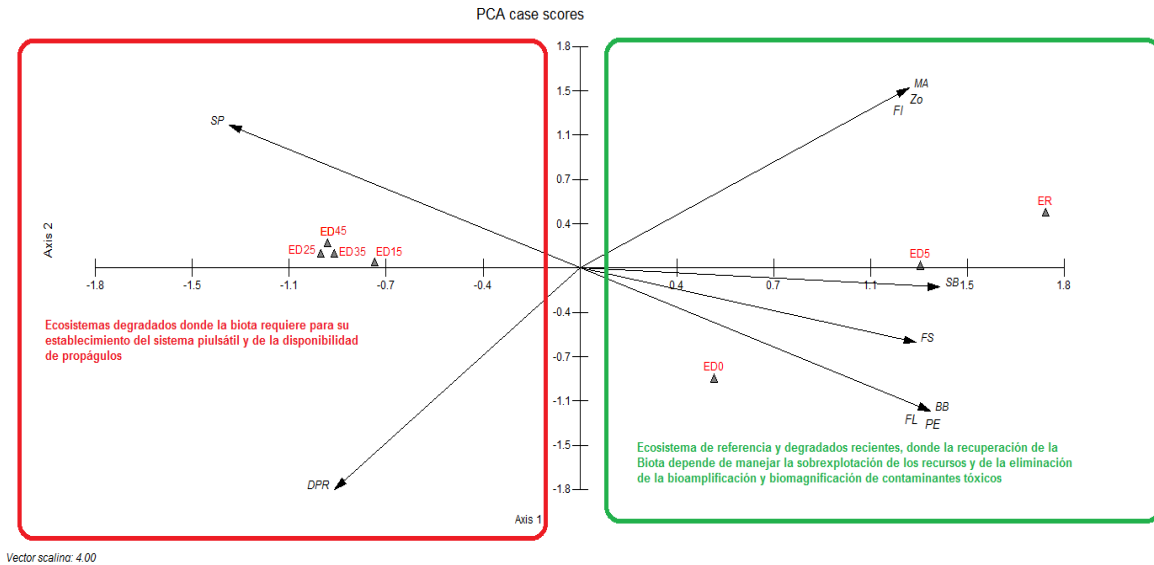
**Tabla 4-3:** Valores propios, porcentajes de variación y ordenación en los dos ejes del ACP, aplicado a las variables del Potencial Biótico en los sitios evaluados en la planicie aluvial del río Nechí.

Ítem	Eje 1	Eje 2
Valores propios	8,20	1,10
Porcentaje	82,02	10,96
Porcentaje acumulado	82,02	92,98
Variable		
Sistema pulsátil –SP-*	-0,33	0,30
Escasez o disminución de propágulos – DPR-	-0,23	-0,46
Especies exóticas invasoras –EX-	0,00	0,00
Zooplancton –Zo-	0,31	0,37
Fitoplancton –FI-	0,31	0,37
Macrófitas –MA-	0,31	0,37
Fauna silvestre –FS-*	0,32	-0,15
Peces –PE-*	0,33	-0,30
Flora –FL-*	0,33	-0,30
Bioacumulación y bioamplificación –BB-*	0,33	-0,30
Sobreexplotación de la biota –SB-*	0,34	-0,04

\* Factores, limitantes y tensionantes con mayor aporte o afectación en un proceso de restauración, según los valores del ACP en el Eje 1.

Como se muestra en la gráfica, se agrupan en la zona positiva del Eje 1 los sitios con conexión, y para este caso, con una marcada diferencia en cuanto al estado de las condiciones bióticas de cada uno, situándose el ecosistema de referencia en las mejores condiciones (extremo derecho) del humedal o ecosistema, seguido por el ecosistema degradado cinco años antes y finalmente el más reciente mente degradado. Pese a que ambos quedaron sujetos a los pulsos de inundación, la diferencia entre los dos últimos se debe al desarrollo de la flora y la colonización de la fauna (incluyendo peces), que presenta el ED5, lo cual genera condiciones más favorables para la biota que en el sitio recién intervenido.

**Figura 4-2:** Análisis de componentes principales para los factores, limitantes y tensionantes del Potencial Biótico en los sitios evaluados. Se destacan también los dos escenarios: sitios conectados con el río (recuadro verde) y sitios desconectados (recuadro rojo).



Los variables de mayor incidencia y que determinan la dinámica de estos ecosistemas, fueron los factores: flora (FL), fauna silvestre (FA), peces (PE) y los limnológicos como el zooplancton (Zo), el fitoplancton (Fi) y las macrófitas acuáticas (MA), y dos tensionantes: la sobreexplotación de la biota (SB) y la bioacumulación y biomagnificación (BB). Sintetizando, los factores biológicos poseen una resiliencia considerable en estos ecosistemas, lo que permite concluir según la Figura 4-2 que el proceso de recuperación de estos sitios depende en gran medida de manejar la sobreexplotación de los recursos naturales y de la eliminación de la bioamplificación y biomagnificación de contaminantes tóxicos. No obstante, este último tensionante se considera también como alóctono, teniendo en cuenta que el río es el principal vector de transporte de los contaminantes (básicamente mercurio según Estudios y Asesorías, 2005 y Burguer and Gochfeld, 2011) desde las partes altas de la cuenca y por tanto, todos los sitios conectados estarían sujetos a recibir aportes periódicos de aguas y materiales contaminados, esto es, se convierte en un tensionante no controlable en el área a recuperar por ser externo, teniendo en cuenta además que en los sitios evaluados no se hacen aportes del contaminante por parte de las empresas Mineras.



Lo anterior permite concluir también que a la escala del estudio, los ecosistemas conectados tiene mayor factibilidad de restauración en su componente biótico, no obstante es imperante manejar sus principales afectaciones, para lo cual básicamente es necesario controlar la sobreexplotación de la biota como principal tensionante, especialmente la tala de flora y la caza de fauna nativa en los ecosistemas evaluados para reorientar el proceso de recuperación, rehabilitación y restauración ecológica propiamente dicha.

En el otro extremo del Eje 1 se encuentran agrupados los ecosistemas intervenidos (ED15, ED25, ED35 y ED45) o desconectados, en los cuales es claro que la desconexión o dicho de otra forma, la ausencia de los pulsos hidrosedimentológicos crea condiciones significativamente diferentes en el tipo de biota o humedales que se generan. Un ejemplo de ello lo representan las especies de flora con mayor Índice de Valor de Importancia – IVI- en ecosistemas desconectados, entre las que se citan según la caracterización de la vegetación de los ecosistemas (numerales 4.1.1 y 4.2.1, basados en SAG, 2009 y 2005), el campano (*Albizia saman*), el higuierón (*Ficus sp.*) y el cedro (*Cedrela odorata*), especies de bosque en suelos de tierra firme y las cuales no soportan normalmente períodos de inundación o condiciones de suelos saturados; mientras que para humedales conectados al río, la disponibilidad de propágulos y las condiciones biofísicas, hacen que las especies de mayor IVI sean el cativo (*Prioria copaifera*), guamo macho (*Inga sp.*) y estopo (*Vasivaea podocarpa*), adaptadas a largos períodos de inundación, desarrollados en suelos con texturas pesadas y con tasas de crecimiento mucho más lentas.

Por su parte, los factores más significativos relacionados con estos sitios son la disminución de flora y fauna típica de humedales, el limitante de la disponibilidad de propágulos (DPR) y en especial, como se ha mencionado el sistema pulsátil (SP) como principal tensionante. Si bien es cierto que la DPR no sólo depende de la conectividad con el río, también es cierto que la mayor cantidad de nutrientes, semillas y material reproductivo típico de humedales en la planicie de inundación, están estrechamente ligados al transporte y movimientos del río principal (Mendiondo *et al.*, 2000).

En síntesis, para el caso de los ecosistemas desconectados, aumenta considerablemente el potencial de restauración cuando se conectan al río Nechí, al permitirse nuevamente el ingreso de propágulos y reanudarse el sistema pulsátil del río.

De otro lado, el tensionante denominado “especies exóticas invasoras” (EX), referido a la presencia o inclusión de especies introducidas (árboles, peces y algunas macrófitas), fue concebido para la evaluación como un factor alóctono, básicamente porque las empresas en sus medidas de recuperación no insertan especies foráneas, más el río principal y algunas especies de fauna, movilizan entre ecosistemas especímenes o propágulos de algunas “invasoras” (especialmente de ictiofauna), lo que desborda cualquier delimitación de área a restaurar y lo vuelve un tensionante sobre el cual, un modelo de restauración no tiene injerencia. En otras palabras, la presencia de “EX” afecta homogéneamente todos los sitios o ecosistemas, razón por la que se considera “no significativa” en la definición del modelo de restauración para los humedales del área de estudio.

#### **4.2.3 Componentes principales para el potencial sociodinámico**

A partir de los valores obtenidos en el análisis de componentes principales para los sitios y variables del potencial sociodinámico, se concluye también que la ordenación fue bastante confiable al explicar en un 99,15% con dos ejes la variabilidad y el aporte de los mismos a un eventual proceso de restauración (Tabla 4-4).

Se observa en la tabla que de las 13 variables sociales evaluadas, seis de ellas se consideran no aportantes o “no significativas” para la definición de determinantes en el modelo de restauración para la zona de estudio, incluyendo factores, limitantes y tensionantes. Entre ellas política y gobernabilidad (EI), estrategia adaptativa (EA) de las comunidades, el nivel educativo (NE), la tenencia de la tierra (TT), empresas mineras (EM) y el desconocimiento de los humedales (DHu) por parte de las comunidades, variables éstas que aunque presentes en distintas formas, influyen prácticamente igual en todos los sitios evaluados, razón por la que el ACP prescinde de ellas en la selección.

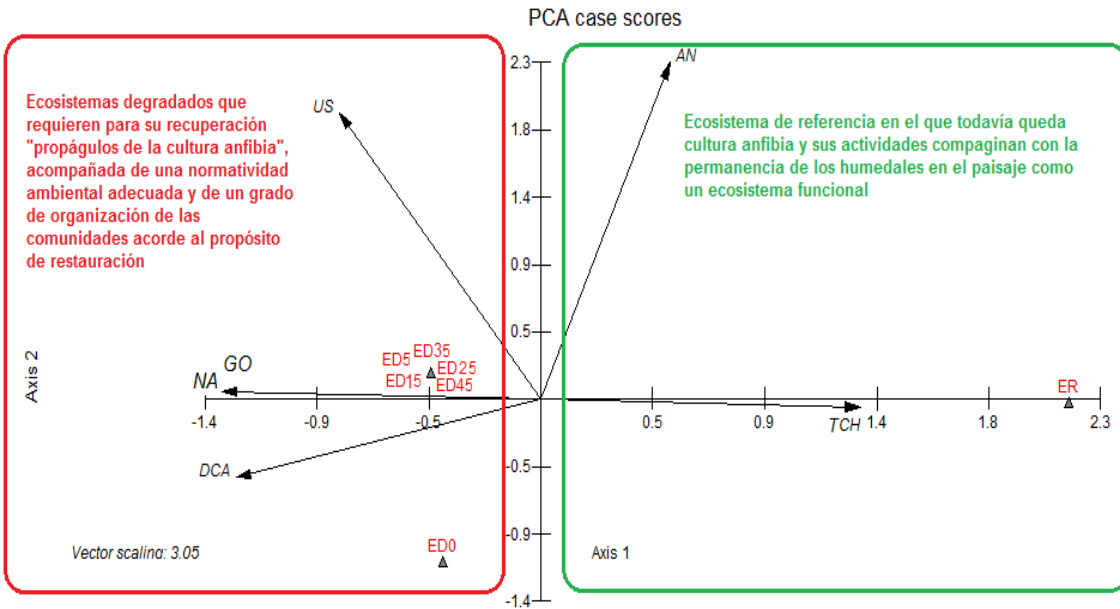
**Tabla 4-4:** Valores propios, porcentajes de variación y ordenación en los dos ejes del ACP, aplicado a las variables del Potencial Sociodinámico en los sitios evaluados en la planicie aluvial del río Nechí.

Ítem	Eje 1	Eje 2
Valores propios	5,46	1,48
Porcentaje	77,98	21,17
Porcentaje acumulado	77,98	99,15
Variable		
Grado de organización –GO-*	-0,43	0,02
Normatividad ambiental –NA-*	-0,43	0,02
Demografía e infraestructura –DI-*	-0,43	0,02
Disminución de la cultura anfibia –DCA-	-0,41	-0,17
Uso del suelo –US-	-0,27	0,64
Política y gobernabilidad –EI-	0,00	0,00
Estrategia adaptativa –EA-	0,00	0,00
Nivel educativo –NE-	0,00	0,00
Tenencia de la tierra –TT-	0,00	0,00
Empresas mineras –EM-	0,00	0,00
Desconocimiento de los humedales –DHu-	0,00	0,00
Actividades antrópicas –AN-	0,17	0,75
Tipo de comunidades humanas –TCH-*	0,43	-0,02

\* Factores, limitantes y tensionantes con mayor aporte o afectación en un proceso de restauración, según los valores del ACP en el Eje 1.

Si bien el Potencial Sociodinámico presenta igualmente dos escenarios según el ACP, a diferencia del Potencial Biótico y la Oferta Ambiental, los ecosistemas analizados están notoriamente divididos entre aquellos intervenidos por la minería aluvial y el de referencia o sin intervención minera (Figura 4-3).

**Figura 4-3:** Análisis de componentes principales para los factores, limitantes y tensionantes del Potencial Sociodinámico en los sitios evaluados. Los escenarios se diferencian por los sitios intervenidos (recuadro rojo) o no (recuadro verde), por la minería aluvial.



En el primer escenario se encuentra el ecosistema de referencia (ER) y los factores (i) Tipo de Comunidades Humanas (TCH) y Actividades Antrópicas (AN), situación que indica que el ER presenta un mayor potencial de restauración, dado que sus habitantes poseen elementos de comunidades anfibias adaptadas a ésta dinámica, las cuales compaginan con actividades de aprovechamiento que permiten que la planicie de inundación y sus humedales, permanezcan como un sistema funcional, siempre y cuando exista un control y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.

Si se contempla que las actividades antrópicas diferentes a la minería, tales como la agricultura, caza, pesca, el aprovechamiento forestal y la ganadería en el ecosistema de referencia son presumiblemente<sup>21</sup> controladas, se puede deducir que los humedales sin intervención minera según el ACP dependen exclusivamente del tipo de comunidades

<sup>21</sup> Atendiendo los lineamientos y protección de los recursos naturales por parte de la Autoridad Ambiental y la institucionalidad en la región del Bajo Cauca antioqueño.

humanas que los habitan para un exitoso evento de restauración, es decir, dependen prácticamente de la cultura anfibia de sus habitantes, cuyas dinámicas compaginan con la oferta y demanda de dichos humedales.

El segundo escenario ubicado en lado negativo del Eje 1, concentra los ecosistemas degradados por las actividades mineras, lo que indica que independientemente de la edad de intervención de los sitios, las condiciones de habitabilidad y dinámica social, tienen la misma tendencia, y es que si bien comienzan los programas de recuperación integral de tierras sobre los terrenos intervenidos, los cambios en las prácticas culturales sobre los humedales se ven seriamente influenciados por las nuevas opciones y oportunidades que generan las condiciones remanentes de la explotación, las cuales incluyen otras actividades extractivas, productivas y posiblemente la vinculación a gremios como la misma minería.

De otro lado, en el escenario intervenido potenciar la restauración de los ecosistemas degradados desde el componente social, está directamente relacionado con factores como favorecer un buen grado de organización (GO) por parte de las comunidades que habitan la zona, complementado con una normatividad ambiental (NA) apropiada y funcional para estos procesos de restauración, un uso del suelo (US) acorde con la capacidad de carga de los humedales y ante todo, tratar de impulsar la presencia de personas o familias con cultura anfibia, dado que se ha identificado según el análisis como uno de los principales limitantes (DCA). Es decir, si no existen “propágulos culturales”<sup>22</sup>, iniciar un proceso de restauración carece de sentido, por lo que se vuelve imprescindible que estas comunidades perduren en el complejo de humedales de la región.

---

<sup>22</sup> Propágulos culturales: referidos aquí como los habitantes que ancestralmente han vivido asociados a los humedales (culturas anfibias) de tierras bajas, y cuyas prácticas pueden viabilizar más fácilmente el éxito en programas de restauración en dichos humedales.

#### 4.2.4 Elección de las variables del modelo conceptual

Basados en los resultados de los componentes principales y luego de analizadas conjuntamente las 38 variables de los tres componentes (OA, PB y PS), se descartaron aquellas que por su homogeneidad en todos los sitios, la escala de la variable, la falta de significancia o aporte al potencial de restauración, tuvieran valores sobre los ejes principales iguales a cero (0), es decir, el ciclo hidrológico, el clima, la geología y los contaminantes tóxicos para la Oferta Ambiental, las especies exóticas invasoras para el Potencial Biótico, y la política y gobernabilidad, la estrategia adaptativa, el nivel educativo, la tenencia de la tierra, las empresas mineras y el desconocimiento de los humedales para el Potencial Sociodinámico, quedando en total luego del primer filtro 27 variables entre factores, limitantes y tensionantes (Tabla 4-5).

**Tabla 4-5:** Factores, limitantes y tensionantes significativos según el análisis de componentes principales - Primer Filtro.

Factores significativos			Tensionantes y limitantes significativos		
Oferta Ambiental	Potencial Biótico	Potencial Sociodinámico	Oferta Ambiental	Potencial Biótico	Potencial Sociodinámico
GE	PE	TCH	SS	SB	DCA
SU	FL	AN	EU	BB	
Hi	FS	GO	DH	DPR	
FQ	Ma	NA	TRA	SP	
	Fi	DI	EN		
	Zo	US	ASM		

Dónde; GE= geomorfología, Hi= hidráulica, SU= suelos, FQ= fisicoquímica del agua, Pe= peces, FS= fauna silvestre, FL= flora, Zo= zooplancton, Fi= fitoplancton, Ma= macrófitas, TCH= tipos de comunidades humanas, GO= grado de organización, AN= actividades antrópicas, NA= normatividad ambiental, US= uso del suelo, DI= demografía e infraestructura, EN= escasez de nutrientes, EU= eutroficación, DPR= escasez o disminución de propágulos, DCA= disminución de la cultura anfibia, DH= desconexión hidráulica, ASM= ausencia de sustrato mineral y orgánico, TRA= tiempo de residencia del agua, SS= sobrecarga de sedimentos, BB= bioacumulación y bioamplificación, SB= sobreexplotación de la biota, SP= sistema pulsátil.

Posteriormente, el análisis de correlación entre las variables más significativas, el valor de la variable según en el ACP, así como el filtro y la importancia establecida con el

criterio del panel de expertos<sup>23</sup>, dieron lugar a la aplicación de un segundo filtro y se seleccionaron las variables con mayor aporte en un proceso de restauración para cada uno de los componentes.

Para el caso de la Oferta Ambiental, de los cuatro factores seleccionados (GE, SU, Hi y FQ) se tuvo en cuenta los de mayor significancia en el Eje 1 (Tabla 4-2), es decir, la geomorfología (GE) y la hidráulica (Hi), dado que son los factores con mayor peso y por tanto, tienen mayor relación con la recuperación del ecosistema.

En estos dos factores, los análisis muestran que en el momento de reconfigurar la planicie de inundación en sus unidades geomorfológicas, simultáneamente con la reconexión al río Nechí por medio de arreglos hidráulicos, los resultados muestran que el tiempo de residencia del agua se restablecerá y a partir de allí, los sustratos y/o el suelo mineral empezará a formarse nuevamente por la carga de sedimentos aportados por el río y sus afluentes. De igual forma, ambos factores favorecerán el ingreso de los nutrientes a los ecosistemas. Esta situación concuerda con la descrita por Nicolau *et al.* (2009), los cuales sostienen que la restauración del terreno (en este caso la geomorfología), es el fundamento para garantizar una buena restauración, puesto que ello determina el desarrollo del suelo, la vegetación, la sedimentación y la hidráulica en condiciones naturales en áreas degradadas por minería.

Los problemas vigentes representados en limitantes y tensionantes para el componente físico después del primer filtro (SS, EU, DH, TRA, EN y ASM), fueron igualmente seleccionados con los mismos criterios que los factores, resultando como los que más afectan el proceso de restauración, el tiempo de residencia del agua, las desconexión hidráulica y la eutroficación (Tabla 4-2), todos ellos modelados y dependientes de la desconexión con el río. Si se considera que la desconexión hidráulica (DH) para los ecosistemas recientemente intervenidos y que en adelante las áreas explotadas no quedarán aisladas del río principal, se puede descartar entonces este tensionante en la construcción del modelo, puesto que será una variable controlada y por tanto en lo

---

<sup>23</sup> Equipo interdisciplinario con experiencia en evaluaciones ambientales en el sector minero, compuesto por profesionales de la agronomía, biología, antropología y las ciencias forestales.

venidero, uniforme para la restauración de los ecosistemas. Por su parte, la eutrofización o eutrofización se contempló en su evaluación como un limitante alóctono, es decir, que no es exclusiva del área analizada puesto que los nutrientes provienen del río Nechí y que afecta los ecosistemas conectados de manera homogénea, independientemente de ser intervenido o no. Por esta razón, se puede prescindir del limitante para la selección del modelo, toda vez que las acciones implementadas para mitigarlo o controlarlo, no garantizan la disminución en el exceso de enriquecimiento de nutrientes (eutrofización) en el humedal a restaurar.

Lo anterior implica entonces que el tiempo de residencia del agua (TRA) en los humedales naturales y artificiales, es el tensionante que afecta principalmente la dinámica y el proceso de restauración de los ecosistemas según el ACP, dada la relación directa (correlación) con las demás variables físicas más significativas, y que su tratamiento o medidas de manejo a implementar, repercutirán en las demás afectaciones sobre la Oferta Ambiental de los humedales evaluados. No obstante lo anterior, no se descartan los perjuicios relacionados con la eutrofización, la contaminación tóxica y sobre carga de sedimentos (en particular en el ecosistema de referencia) entre otros, por inducir la colmatación más rápida de los cuerpos de agua y canales de conexión, situación que amerita también acciones complementarias en el momento de establecer el modelo de restauración.

En el Potencial Biótico, el segundo proceso de filtrado dio como resultado los factores peces (PE) y fauna silvestre (FS), al ser aquellos que representan según el ACP y a criterio del panel de expertos, las demás variables bióticas.

Tal como se evidencia en la Tabla 4-4 y en la Figura 4-2, las variables que pueden ser reemplazadas por las seleccionadas, no solo por ser combinaciones lineales según el ACP, sino porque al tratar las más aportantes viene implícito su manejo, fueron respectivamente la flora (FL), las macrófitas acuáticas (Ma), el fitoplancton (Fi) y el zooplancton (Zo). Según la calificación del potencial de restauración, estos factores tienen una gran resiliencia en los ecosistemas y humedales evaluados, indicando que mientras se mantengan los flujos de propágulos y los ecosistemas circundantes provean el flujo de biota necesario, el proceso de restauración en su Potencial Biótico y específicamente en los sitios intervenidos, no se verá afectado significativamente, esto



es, dichos factores no representan un impedimento para la restauración de los ecosistemas intervenidos por minería aurífera aluvial. Este resultado es coherente con el Modelo de la National Research Council (1992), el cual esgrime que la viabilidad y celeridad de la restauración de un ecosistema intervenido, depende igualmente del grado de perturbación del paisaje circundante, toda vez el paisaje provee los recursos necesarios para dar continuidad al proceso de sucesión natural en los parches generados.

Así las cosas, los factores de mayor significancia con repercusión en la biota en general y los pobladores de esta región son los peces y en menor proporción la fauna silvestre, ambos de vital importancia para la regeneración del bosque inundable y la restauración biológica de los humedales del área de estudio.

Ubicando nuevamente los dos escenarios (Figura 4-2), los factores limnológicos se ven claramente favorecidos en los sitios intervenidos por la reconexión del río, al ingresar de nuevo propágulos y nutrientes, por tanto no requieren de manejo o medidas exclusivas para su restauración. Sin embargo, el problema persistente con las externalidades o afectaciones alóctonas como la contaminación toxica, la eutroficación y la alta carga de sedimentos que moviliza actualmente el río, los cuales como se mencionó anteriormente, no son completamente ajenas a la fauna, el recurso íctico y a la restauración ecológica *per se*, en especial a largo plazo.

Asimismo, no se considera altamente significativo en la restauración a corto plazo el bosque inundable (catival, estopal y tapa friales), puesto que para asentarse nuevamente se requiere de un sustrato (suelo mineral) y unas condiciones biofísicas especiales, las cuales demandan períodos de tiempo que obedece a las tasas de deposición de sedimentos en la planicie de inundación por el río Nechí; períodos y procesos de formación que superan ampliamente cualquier plan de restauración.

En definitiva, los peces o el recurso íctico se ven favorecidos por la reconexión con el río Nechí, dadas sus necesidades de migración e intercambio de genes, al igual que para encontrar recursos tróficos. De forma similar sucede con la fauna silvestre, específicamente las aves acuáticas migradoras y residentes, reptiles, anfibios y mamíferos, cuya sobrevivencia depende igualmente de los flujos e interacción con

recursos tróficos. Es importante destacar que entre estos grupos faunísticos se encuentran los grandes dispersores de semillas de las especies de flora del bosque inundable, por tanto es prioritario concentrar inicialmente los esfuerzos en la restauración biótica, manejando estos dos factores (peces –PE- y fauna silvestre –FS-).

Finalmente, el principal tensionante del componente biótico en la actualidad es la sobreexplotación de estos recursos (sobreexplotación de la biota –SB-), realidad que amerita proponer elementos de manejo alternativos para disminuir este tensionante, tanto por las autoridades ambientales, como por la institucionalidad, las empresas y las comunidades de la región, de forma tal que aumenten las probabilidades de restauración de los sitios intervenidos en su componente biótico.

Para el Potencial Sociodinámico, el segundo filtro dio como principal factor el tipo de comunidades humanas (TCH) presentes en la planicie de inundación del río Nechí, en especial aquellas que presentan un legado de la cultura anfibia, con prácticas de manejo sostenible del bosque, de la fauna silvestre, de los peces, que apliquen satisfactoriamente cultivos transitorios y una estrategia adaptativa acorde al sistema pulsátil del humedal.

A partir de la selección de la variable, es indudable que sin este factor, cualquier intento de restauración de estos humedales resulta infructuoso, sin embargo este debe complementarse con una buena estructura organizacional (GO) por parte de las comunidades, con una normatividad ambiental (NA) legitimada que garantice el proceso de restauración, y que el uso del suelo (US) sea pertinente para este tipo de ecosistemas.

De forma complementaria, en la planicie de inundación se identifica como el principal limitante para dar inicio y consolidar un proceso de restauración, la disminución de la cultura anfibia (DCA). Básicamente, si continúa la reducción en las prácticas culturales por parte de quienes han convivido ancestralmente en estos humedales, es decir, si no se cuenta con habitantes que presenten estrategias adaptativas coevolucionadas con las características naturales del humedal, disminuye la probabilidad de tener un proceso exitoso hacia la restauración.

Se reemplazan por tanto a partir del ACP y el panel de expertos, las variables sociales demografía e infraestructura (DI), puesto que los habitantes de la región, su distribución y densidad habitacional aportan homogéneamente a un eventual proceso de restauración; las actividades antrópicas (AN), que en síntesis cambian luego de la explotación aurífera aluvial en todos los sitios y, el uso del suelo (US), cuyas prácticas contempladas aportan inicialmente a la recuperación de la productividad en las áreas intervenidas (FAO, 2009).

En conclusión, si se parte de que deben estar controlados los limitantes y tensionantes autóctonos en las áreas a restaurar, producto de la implementación de los planes de manejo ambiental de las empresas, los programas de conservación en la región y demás medidas para detener las afectaciones en ecosistemas intervenidos donde se hará restauración ecológica, las variables a intervenir y en las cuales deberán estar basadas las acciones iniciales para programas de recuperación, rehabilitación y restauración ecológica en los humedales del área de estudio y de la planicie aluvial del río Nechí, son las que se presentan en la Tabla 4-6.

**Tabla 4-6:** Factores y limitantes significativos y seleccionados para la construcción del modelo conceptual de restauración ecológica en el complejo de humedales de la cuenca baja del río Nechí – Segundo Filtro.

Factores significativos			Tensionantes y limitantes significativos		
Oferta Ambiental	Potencial Biótico	Potencial Sociodinámico	Oferta Ambiental	Potencial Biótico	Potencial Sociodinámico
GE	PE	TCH	TRA	SB	DCA
Hi	FS	NA GO			

Obtenidas estas variables, se realizó nuevamente y ahora de manera conjunta, un análisis de componentes principales (ACP) con la finalidad de observar si existía otra tendencia en la organización de los sitios y variables, o se reafirmaban los escenarios hallados en los tres componentes.

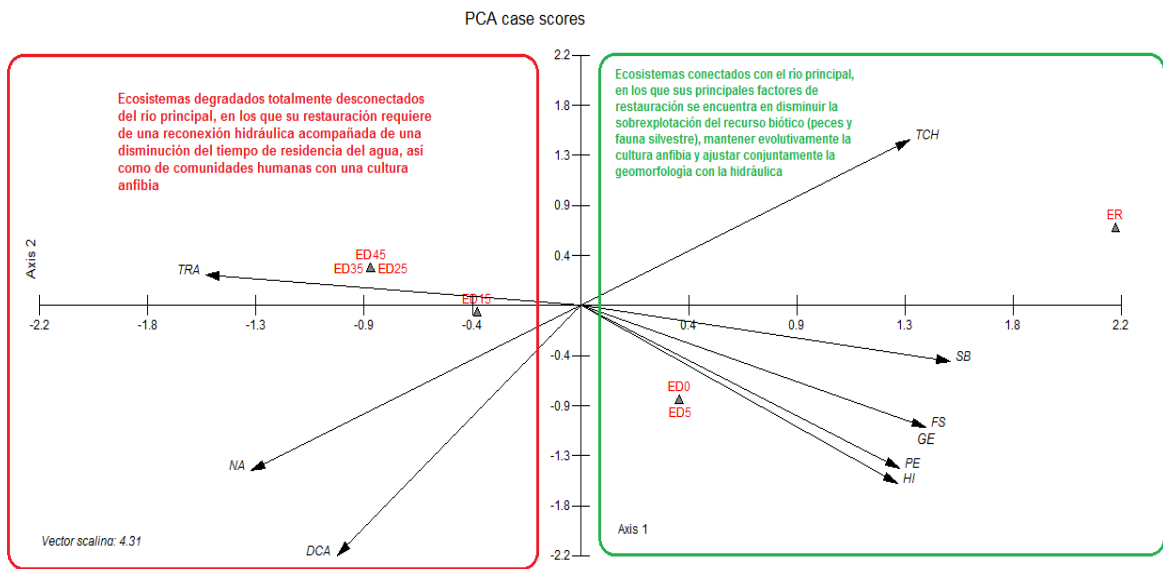
**Tabla 4-7:** Valores propios, porcentajes de variación y ordenación en dos ejes del ACP, aplicado conjuntamente a las variables más significativas y seleccionadas en los sitios evaluados en la planicie aluvial del río Nechí.

Ítem	Eje 1	Eje 2
Valores propios	7,57	2,21
Porcentaje	75,65	22,07
Porcentaje acumulado	75,65	97,72
Variable		
Tiempo de residencia del agua –		
TRA-	-0,36	0,06
Grado de organización –GO-	-0,31	-0,34
Normatividad ambiental –NA-	-0,31	-0,34
Disminución de la cultura anfibia –		
DCA-	-0,23	-0,52
Hidráulica –Hi-	0,30	-0,37
Peces –PE-	0,30	-0,33
Tipo de comunidades humanas –		
TCH-	0,31	0,34
Geomorfología –GE-	0,33	-0,25
Fauna silvestre –FS-	0,33	-0,25
Sobreexplotación de la biota –SB-	0,35	-0,12

Combinados los factores, limitantes y tensionantes de mayor significancia, se mantienen en su orden para el componente físico la geomorfología y la hidráulica, y aparece el tiempo de residencia del agua con una gran incidencia como tensionante. Para el potencial biótico, la fauna silvestre y los peces respectivamente confirman la importancia de estos factores en la restauración de la biota en los humedales, mientras que controlar la sobreexplotación de la misma, resulta siendo el tensionantes de mayor afectación para la restauración biótica (Tabla 4-7). Un caso particular lo presenta el componente social luego de la nueva combinación, y es que los factores grado de organización, normatividad ambiental y el tipo de comunidades humanas presentan una misma participación, aunque esta última se relaciona directamente con los ecosistemas con mayores probabilidades de restauración (Figura 4-4), ubicándolo como un factor más

determinante en el proceso de restauración. Adicionalmente, los factores grado de organización y normatividad ambiental a criterio del panel de expertos, tienen un área de incidencia que trasciende las áreas intervenidas e incluyen actores como autoridades ambientales, por tanto retoma un mayor peso en la restauración de los ecosistemas conectados el factor tipo de comunidades humanas. En este mismo componente social, se determinó también que el limitante desconocimiento de la cultura anfibia, continúa demostrando su relevancia para con la restauración de los sitios evaluados, ubicándose incluso en el escenario de los ecosistemas degradados y desconectados, lo que indica la prioridad de su tratamiento en las medidas de manejo.

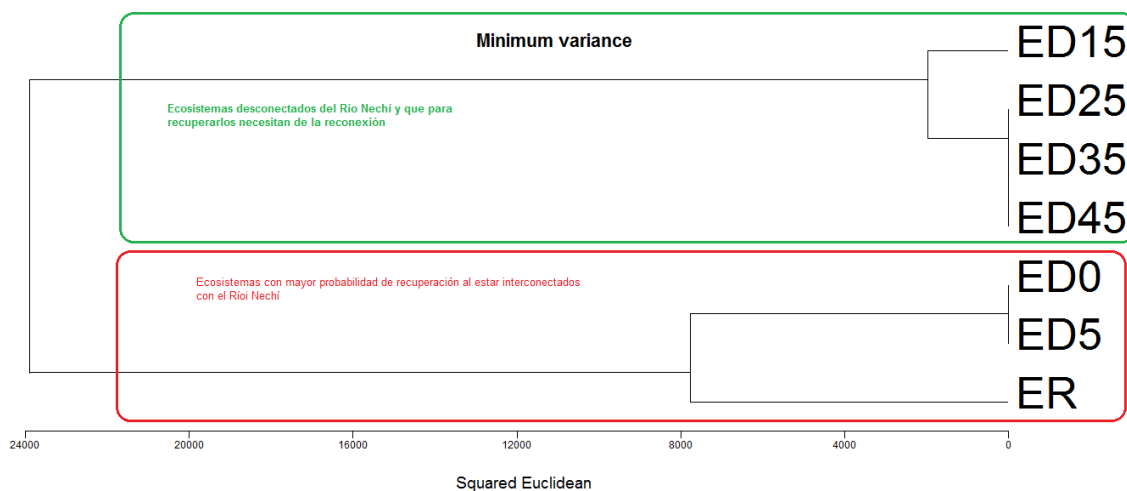
**Figura 4-4:** Análisis de componentes principales conjunto para factores, limitantes y tensionantes de los tres componentes del Potencial de Restauración en los sitios evaluados.



Para el caso de los sitios, nuevamente la tendencia exhibida por el ACP es a mantener los dos escenarios, es decir, los ecosistemas conectados y desconectados con el río Nechí, aunque distanciando marcadamente el ecosistema sin explotación minera respecto a los intervenidos, lo que indica según el modelo de Bradshaw (1984), el auténtico ecosistema de referencia que podría demarcar la trayectoria de los ecosistemas o humedales a restaurarse.

Al hacer una medición de la similitud entre los sitios a partir de su nuevo potencial de restauración, utilizando como herramienta un análisis de clúster (basado en la distancia euclidiana) en aras de hacer agrupaciones, se obtuvo nuevamente los escenarios planteados por los componentes principales, es decir, se agruparon finamente aquellos ecosistemas conectados al río, lo cuales ostentan una mayor probabilidad de recuperación, y de otro lado, aquellos desconectados y que requieren para su recuperación la reconexión con el río Nechí (Figura 4-5).

**Figura 4-5:** Análisis de componentes principales conjunto para factores, limitantes y tensionantes de los tres componentes del Potencial de Restauración en los sitios evaluados.



Lo anterior permite concluir según el nuevo ACP, que con la restitución paralela de factores como la geomorfología y la hidráulica, se puede garantizar de manera consecuente la recuperación de la biota (peces y fauna silvestre principalmente), y que aunado a un control efectivo de la sobreexplotación de la biota al interior y en los alrededores de los sitios intervenidos, con el apoyo de las comunidades anfibias que apliquen sus prácticas adaptativas a las condiciones de los humedales, se obtiene básicamente una solución adaptada, efectiva y que dictamina las acciones de recuperación, rehabilitación o restauración de las áreas explotadas, es decir, el hallazgo de los factores cruciales o determinantes del modelo conceptual de restauración ecológica para los ecosistemas degradados.

Para comprobar la significancia y efectividad de los factores determinantes del modelo, se evaluó nuevamente el Potencial de Restauración con las variables seleccionadas, en aras de comparar las condiciones iniciales de los ecosistemas y las sugeridas para el modelo conceptual. De esta manera, aplicados los filtros y reemplazando las variables en la Ecuación 4, se simplificaría el cálculo del Potencial de Restauración, así:

$$\begin{array}{c}
 \text{OA} \qquad \qquad \text{PB} \qquad \qquad \text{PSD} \\
 \text{-----} \quad \text{-----} \quad \text{-----} \\
 \text{Ecuación 5. } PR = \frac{\left[\left(\frac{GE+Hi}{2}\right) - TRA\right] + \left[\left(\frac{PE+FS}{2}\right) - SB\right] + [TCH - DCA]}{3}, \text{ dónde:}
 \end{array}$$

PR= Potencial de restauración, OA= Oferta ambiental, PB= Potencial biótico, PSD= Potencial sociodinámico, GE= Geomorfología, Hi=Hidráulica, TRA= Tiempo de residencia del agua (tensionante de la Oferta Ambiental), PE= Peces FS= Fauna silvestre, SB= Sobreexplotación de la biota (tensionante del Potencial Biótico), TCH= Tipos de comunidades humanas, DCA= Disminución de la cultura anfibia (limitante del Potencial Sociodinámico).

Sin embargo, si se establece que el nuevo potencial de restauración y como tal, el modelo conceptual aplicará para los sitios intervenidos en los cuales se debe garantizar la neutralización de los limitantes y tensionantes para iniciar el proceso de restauración, tales como el “TRA”, por la conexión hidráulica con el río que previene mayores o menores tiempos de residencia del agua, la “SB”, partiendo de que en los sitios intervenidos comienzan los programas de control hacia la sobreexplotación de los recursos flora y fauna, y “DCA”, puesto que este limitante será objeto de manejo en los programas sociales que aplican a la recuperación de tierras. Lo anterior implica entonces que los factores negativos desaparecen o tienden a cero en la ecuación, una vez comienza a implementarse el modelo de restauración, o lo que es igual, las actividades post – intervención minera, dando como resultado una modificación a la Ecuación 5 y originándose la Ecuación 6, así:

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{c}
 \nearrow 0 \qquad \qquad \nearrow 0 \qquad \qquad \nearrow 0 \\
 \left[\left(\frac{GE+Hi}{2}\right) - TRA\right] + \left[\left(\frac{PE+FS}{2}\right) - SB\right] + [TCH - DCA] \\
 \hline
 3
 \end{array} \\
 \text{Ecuación 6. } PR = \frac{\left(\frac{GE+Hi}{2}\right) + \left(\frac{PE+FS}{2}\right) + TCH}{3}, \text{ dónde:}
 \end{array}$$

PR= Potencial de restauración, GE= Geomorfología, Hi=Hidráulica, PE= Peces, FS= Fauna silvestre, TCH= Tipos de comunidades humanas.

Los valores obtenidos utilizando la Ecuación 6 para el nuevo Potencial de Restauración en cada ecosistema evaluado, al igual que los obtenidos en la evaluación original utilizando la Ecuación 4, se contrastan para evidenciar el incremento en el PR y se presentan a continuación (Tabla 4-8):

**Tabla 4-8:** Calificación inicial y final del Potencial de Restauración en los ecosistemas evaluados.

Sitio o ecosistema evaluado	Potencial de restauración	Potencial de
	inicial (%)	restauración final (%)
Ecosistema de referencia (ER)	43,56	83,61
Ecosistema recién intervenido (ED0)	10,00	66,94
Ecosistema intervenido hace 5 años (ED5)	19,38	66,94
Ecosistema intervenido hace 15 años (ED15)	3,42	53,89
Ecosistema intervenido hace 25 años (ED25)	1,41	39,44
Ecosistema intervenido hace 35 años (ED35)	1,41	39,44
Ecosistema intervenido hace 45 años (ED45)	1,41	39,44
<b>Promedio planicie de inundación</b>	<b>11,51</b>	<b>55,67</b>

Una vez se concentren las medidas de manejo en los principales limitantes y tensionantes, es indudable que el efecto de estar unido a las variables o factores elegidos, producto de los análisis estadísticos, incrementan en un 44,16% el potencial de restauración para la totalidad de sitios evaluados, es decir, para los cerca de 150 Km<sup>2</sup> que enmarca toda el área de estudio en su margen derecha de la planicie de inundación del río Nechí.

El efecto más acentuado de esta propuesta o evaluación del PR, se presenta en los dos ecosistemas degradados de 0 y 5 años, debido a que el potencial de restauración aumenta en un 56,94% para el primer caso y en un 47,56% en el segundo caso. Su significado radica principalmente en que las medidas realizadas por la empresa Mineros S.A. para éstos ecosistemas intervenidos (ED0 y ED5) y a partir de ellos en las explotaciones posteriores, incluyen medidas como dejar los cargueros con el “relleno hidráulico” más suavizado en su topografía, la reconexión hidráulica con el río y demás cuerpos de agua entre otros, las cuales están generando un aspecto positivo y catalizador en la recuperación de los humedales de la planicie aluvial que están siendo explotados por la minería aurífera aluvial.

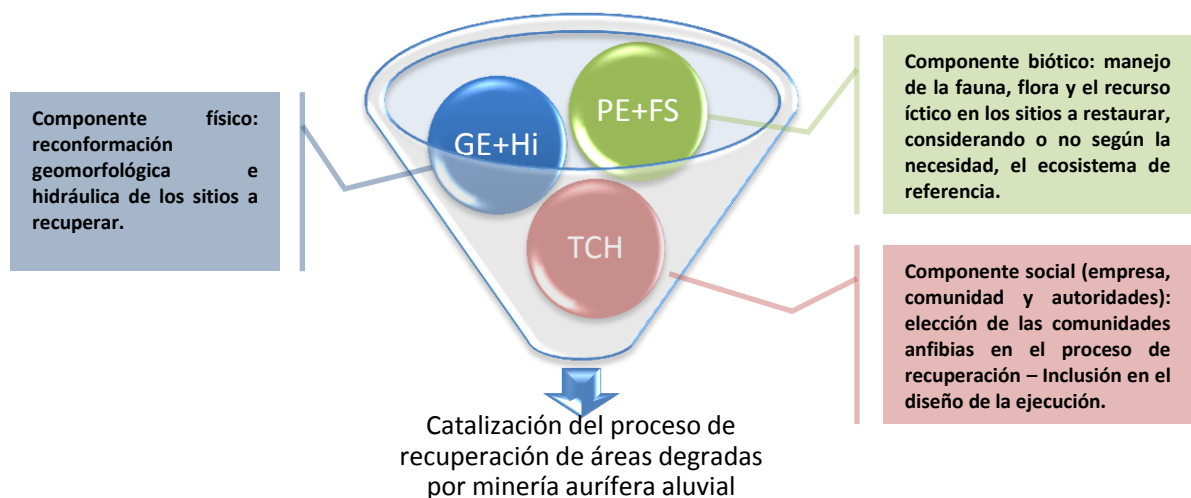


Sin embargo, estas medidas no son suficientes individualmente, ya que el proceso de restauración está modelado por la presencia activa de las comunidades humanas (Gallego, 2008), cuya característica principal es la de tener un conocimiento y estrategias adaptativas para recuperar y mantener completamente funcionales los humedales presentes en la planicie de inundación.

### 4.3 Modelo conceptual de restauración

El modelo conceptual simple, no cuantitativo y concebido a partir de las evaluaciones al Potencial de Restauración, consolida los factores determinantes y de los cuales es función el modelo de restauración ecológica para las diferentes sub-zonas del área de estudio (Figura 4-6). Esto es, seleccionados los cinco factores, se entiende que su modo de aplicación dependiendo del objeto o meta puntual en cada una de las áreas intervenidas, mínimamente los incluye y combina con otros factores conforme lo requiera la meta de restauración.

**Figura 4-6:** Consolidación de factores determinantes que catalizan el proceso de recuperación de áreas degradadas, y que a su vez orientan el modelo de restauración ecológica.



Lo anterior implica entonces que bien sea recuperación de tierras, rehabilitación de la productividad en los ecosistemas o restauración de los humedales en la planicie de inundación del río Nechí, son función de la intervención en los factores determinantes,

más algunas medidas adicionales (MA) para los casos puntuales de rehabilitación o restauración ecológica de los humedales, así:

$$\text{Ecuación 7. } RE = f(Ge, Hi, Pe, FS, TCH) + MA, \text{ donde:}$$

RE= Restauración de áreas degradadas en el área de estudio, GE= Geomorfología, Hi=Hidráulica, PE= Peces, FS= Fauna silvestre, TCH= Tipos de comunidades humanas, MA= Medidas de manejo adicionales. Si no hay medidas adicionales, el proceso dará como resultado la *recuperación* física, biótica y social de la productividad de las tierras; si se incluyen, se dará origen a la *rehabilitación* de ecosistemas, si se continúan e incrementan las medidas, se tendrá a futuro la *restauración* de humedales.

Es preciso aclarar que la presente propuesta de restauración está acotada espacialmente para el “complejo de humedales” de la margen derecha del río Nechí en su cuenca baja, y temporalmente para escalas “actuales” según Neiff (1997), es decir, para la recuperación de ecosistemas degradados de 0 a 100 años, dependiendo de la intensidad de las medidas. Adicionalmente, la propuesta considera también dos condicionantes que podrían impedir el funcionamiento del modelo, uno de ellos es el conflicto armado en la región, cuyo resurgimiento sencillamente trunca cualquier iniciativa de recuperación y trabajo con las comunidades, y el segundo, es la ausencia de normatividad e instrumentos legales vigentes que aseguren la no intervención a futuro en las áreas en proceso de restauración, dado que en Colombia aún no es clara la conservación a perpetuidad de las áreas restauradas por fuera de áreas declaradas.

Por su parte, la recuperación de tierras estará ratificada a una escala actual para los ecosistemas explotados, considerando los siguientes criterios para los factores determinantes:

- Geomorfología (GE): la reconfiguración del terreno con materiales resultantes de las explotaciones como el relleno hidráulico, emulando las unidades geomorfológicas iniciales, tales como las ciénagas, diques y orillares que pudiesen haberse visto afectados, requieren tan solo de fragmentos de años para reconformar este factor, previa caracterización y referencia de las condiciones iniciales, y utilizando la maquinaria propia las explotaciones de minería aurífera aluvial en la zona.
- Hidráulica (Hi): la reconexión de sitios explotados con el río y la planicie de inundación como tal, a través de caños meandriformes (de requerirse) y con la pendiente

suficiente para la entrada y salida de agua (recambio), permitirá la conexión entre ciénagas, el ingreso de sedimentos, de propágulos, de nutrientes y el manejo óptimo del tiempo de residencia del agua en los humedales.

- Peces (Pe): la reconexión de humedales permite el intercambio y migración de la ictiofauna. Asimismo, la disminución de la sobreexplotación del recurso en áreas en restauración, dejando cuerpos de agua descansar por temporadas a través de estrategias como pactos con las comunidades, vedas, ordenamientos pesqueros, entre otras, y complementando con repoblamientos de ciénagas y caños, estudios genéticos, de dinámica de poblaciones y de metales pesados o pesticidas en los tejidos, para controlar mejor los limitantes y tensionantes en el factor.
- Fauna silvestre (FS): desde la avifauna, considerando su importante función en la dispersión de semillas, su posibilidad como recurso de proteína para algunas comunidades y la potencialidad del apoyo a su conservación, dada la importancia a nivel internacional, toda vez que existe una gran diversidad de este grupo en los humedales del área de estudio. En términos del recurso flora y su relación con la fauna, los mantenimientos en ciénagas, caños y diques de plantas acuáticas con las comunidades, así como la facilitación de franjas arbustivas o plantaciones forestales en los alrededores de estos cuerpos de agua por parte de las empresas mineras, es completamente viable para atraer mamíferos de porte mediano y grandes, los cuales subsisten en humedales circundantes. Los bosques regenerados en cargueros antiguos y desconectados (casos ED25, ED35 y ED45 entre otros), cuya composición florística es indiscutiblemente diferente a los bosques inundables, también presentan una función importante en la creación de hábitats para la fauna silvestre. Adicionalmente, las actividades complementarias como la liberación de fauna en los ecosistemas en regeneración, el desarrollo de actividades piscícolas para mantener la oferta de proteína animal, los repoblamientos y permitir el descanso o períodos de gracia del recurso, contribuye considerablemente a recuperación de la biota en general.
- Tipo de comunidades humanas (TCH): para garantizar el inicio, monitoreo, seguimiento y adecuado establecimiento del proceso de recuperación de los

humedales degradados, se requiere de personas, familias y comunidades con características afines con la persistencia del humedal, tales como estrategias adaptativas para permanecer y sobrevivir en los humedales, ajustar su ciclo de vida al régimen pulsátil, los cultivos y agricultura relacionada con los pulsos de inundación, con tipos de vivienda adecuados, con manejo de los bosques y de la fauna silvestre. Deben tener un grado de organización tal, que les permita prácticamente administrar los recursos naturales y por tanto, será necesario un pago acordado, para que ante todo sean los ejecutores del proceso de restauración. Estas personas, familias y comunidades, deben poseer un conocimiento cultural relacionado con el manejo y sustento de humedales (cultura anfibia), lo cual debe ser complementado con una educación y sensibilización al manejo de humedales en la cuenca baja de río Nechí.

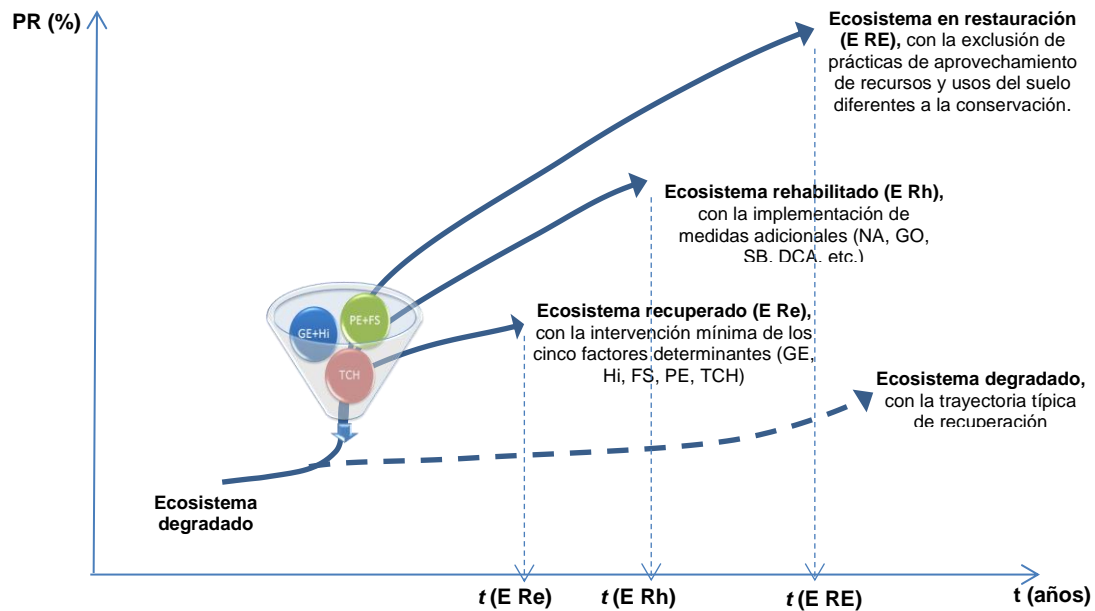
En un proceso “típico” de recuperación y rehabilitación de áreas degradadas por minería, las medidas adoptadas no son suficientes para recuperar prontamente y menos para rehabilitar o restaurar ecosistemas (Álvarez, 2008), por lo que el presente modelo consolidado en la Figura 4-6, se enfatiza en los factores que catalizan dicha recuperación para los sitios evaluados en la planicie aluvial del río Nechí, dando como resultado áreas habitadas por comunidades anfibas, con sistemas agrícolas o agroforestales productivos y con humedales artificiales con oferta biótica e íctica. No obstante, vale la pena aclarar que estas condiciones no contemplan la conservación de ecosistemas, aunque aunadas a programas y medidas de manejo enfocadas a la productividad de tierras, si garantizan la supervivencia de la biota y comunidades asociadas.

De conformidad con lo anterior y según lo esboza la Ecuación 7, implementar medidas de manejo adicionales (MA) a lo sugerido en el presente modelo, da origen a una nueva trayectoria en el proceso de recuperación de los ecosistemas, es decir, si se adicionan medidas que apunten al tratamiento de factores y limitantes seleccionados en el primer y segundo filtro del análisis de componentes principales (Tabla 18), tales como el cumplimiento estricto de la normatividad ambiental (NA), el fortalecimiento del grado de organización (GO) a las comunidades por parte de la institucionalidad y demás autoridades, la garantía de un íntegro control en la sobreexplotación de la biota (SB) por parte de la autoridades ambientales y la realización de campañas efectivas de educación contra el desconocimiento de la cultura anfibia (DCA) por parte de las empresas que realizan las explotaciones, entre otras, se dará origen así a la rehabilitación de

ecosistemas, con objetos que trascienden la productividad de las tierras, buscando generar sistemas sostenibles desde el punto de vista productivo, con una biota rehabilitada estructural y funcionalmente, y unas comunidades adaptadas completamente a las condiciones de los humedales.

Así las cosas, con la implementación del modelo actual se da celeridad a la recuperación de los sitios explotados, pero a su vez, cambiar la trayectoria para mejorar el proceso hacia la rehabilitación e incluso la restauración, dependerá entonces de la inclusión de nuevas y más medidas de manejo, que apunten a la mitigación de limitantes, tensionantes y factores catalogados como significativos en su aporte al potencial de restauración. La Figura 4-7 muestra los posibles cambios en la trayectoria de recuperación, luego de la implementación de nuevas medidas para el control de limitantes y tensionantes.

**Figura 4-7:** Cambios en la trayectoria de recuperación por la aplicación de nuevas medidas de manejo. La línea punteada representa la trayectoria típica de recuperación (sin intervención o diferentes a las sugeridas en el presente modelo).

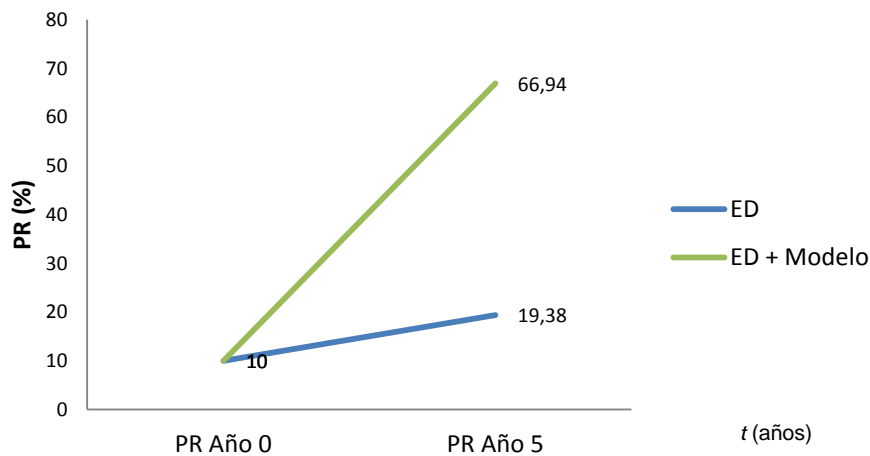


Se destaca principalmente la reducción conspicua en el tiempo (eje X) de recuperación con la implementación del modelo, versus la trayectoria típica o tendencia en la

recuperación con medidas diferentes, e incluso, sin manejo. Asimismo, es evidente también la variación en el potencial de restauración (eje Y) luego de la implementación del modelo, el cual es categórico para las diferentes trayectorias, e individualizado a su vez, conforme se involucren medidas adicionales de manejo catalogadas en el análisis como significativas. Si bien es de gran importancia la implementación del modelo para reducción del tiempo en la recuperación, rehabilitación o iniciar la restauración ecológica, el mayor aporte del modelo se percibe en el aumento del potencial de restauración, teniendo en cuenta que con su implementación se propende por el desarrollo estructural y funcional de los ecosistemas para todos los componentes de los humedales intervenidos.

Para ejemplificar las variaciones en uno de los sitios evaluados, se presentan en la Figura 4-8 los cambios en el potencial de restauración en un tiempo determinado, para los ecosistemas intervenidos en los años 0 y 5 antes de la evaluación (ED0 y ED5). Se trata de cuantificar como en el mismo período, dos ecosistemas hipotéticamente en iguales condiciones, cambian significativamente su potencial de restauración, luego de aplicar en uno de ellos, las intervenciones sugeridas por el modelo conceptual de restauración. Los cambios como bien se mencionan en la Tabla 4-8 dan cuenta del incremento en la efectividad de las intervenciones sugeridas por el modelo, lo que en últimas justifica plenamente su aplicación en los sitios de la zona de estudio.

**Figura 4-8:** Cambio en el Potencial de Restauración para un ecosistema evaluado en los años 0 y 5, con y sin la aplicación del modelo de restauración ecológica para ecosistemas degradados por minería aurífera aluvial en la planicie del río Nechí.



En términos de temporalidad, la implementación del modelo no dista de la aplicación de las medidas actuales para la recuperación de tierras por parte de las empresas, más aún, las actividades que hoy en día se realizan integran lo sugerido por el modelo, más deben orientarse específicamente a garantizar: (i) la reconfiguración geomorfológica de los sitios, incluyendo diques, caños, pozas que asemejen las ciénagas, orillares y hasta el mismo basín, actividades que con la maquinaria y equipos disponibles por las empresas que realizan minería de gran escala en la región, tomarían a lo sumo un año o fracciones de éste; (ii) la conectividad hidráulica del sistema, que complementaria a la anterior, debe garantizar los pulsos hidrosedimentológicos, tiempos adecuados de residencia del agua en las pozas, caños y ciénagas, y la formación paulatina de sustratos minerales por la entrada de sedimentos, procesos que se pueden iniciar en períodos inferiores a dos años como lo demuestra el ecosistema más recientemente intervenido (ED0); (iii) la colonización y el repoblamiento en lo posible de la biota y los peces en los humedales intervenidos, cuyas evidencias de propágulos para los ecosistemas evaluados, no superan el año; y finalmente (iv) el trabajo mancomunado con las comunidades, su educación para el conocimiento y manejo de humedales, y el diseño de la implementación de las acciones del modelo para la recuperación, lo cual se inicia durante el año posterior a la finalización de la explotación, lo que sugiere concretamente que la implementación y puesta en marcha del modelo de restauración, con resultados tangibles en el potencial de restauración, puede ser inferior a los tres años luego de terminadas las explotaciones e iniciados los programas de “recuperación de tierras” por parte de las empresas mineras.

Finalmente, las acciones propuestas por el modelo conceptual de restauración ecológica demandan una secuencialidad en su implementación, bien sea para ser adoptadas en los planes de manejo ambiental de las empresas mineras, o por los lineamientos que establecen las autoridades ambientales en los programas de restauración en la región. Para ello, se sugiere seguidamente una forma de abordar con facilidad las acciones específicas del modelo, haciendo énfasis en que no son una “receta única” para la recuperación de áreas explotadas por minería aurífera aluvial, y sobre todo que tienen aplicación estricta para el complejo de humedales de la planicie de inundación del río Nechí, en la margen derecha del cauce principal (área de estudio).

## **4.4 Pasos para la implementación del modelo conceptual de restauración**

A continuación se enumeran siete (7) pasos para la implementación del modelo conceptual de restauración ecológica propuesto. La secuencialidad sugerida no necesariamente es estricta, más aún, su ejecución permite la transversalidad en su aplicación de forma idealizada, pero el cumplimiento variará dependiendo del rol de los actores y los recursos disponibles. Es preciso aclarar que dichos pasos aplican una vez terminen las actividades extractivas.

1. Consultar y diseñar con las comunidades humanas asentadas en las áreas próximas a intervenir y con los demás actores, las posibilidades de aplicación del modelo conceptual de restauración propuesto para las áreas degradadas por minería aurífera aluvial.
2. Diseño de la ejecución del proceso de recuperación de tierras (modelo de restauración ecológica), incluyendo las empresas, las comunidades y autoridades competentes.
3. Reconfiguración geomorfológica e hidráulica, previa planeación de la intervención utilizando SIG y sensores remotos, de acuerdo al ecosistema de referencia tomado inicialmente (modelo de Bradshaw, 1984).
4. Facilitación del proceso de sucesión natural de la flora, la fauna silvestre y el recurso íctico (peces) con las comunidades y demás actores participantes en el proceso de restauración, de acuerdo al modelo de la NRC (1992).
5. Reubicación y reasentamiento de personas, familias y comunidades según sea el caso, en los sitios con proceso de recuperación, las cuales habitaban tradicionalmente la zona (colonos, campesinos, indígenas, etc.) y que poseen conocimiento del manejo de los humedales.



6. Aplicación del modelo de restauración adaptable (Christensen *et al.*, 1996): monitoreo, educación ambiental, investigación y sistematización de las experiencias logradas conforme avanza el proceso.



## 5. Conclusiones

- Evaluar el potencial de restauración para un ecosistema dado, es una forma concreta y efectiva de saber si existe o no viabilidad para un eventual proceso de restauración, además califica en términos de porcentaje o probabilidades, los factores de cada componente considerando su respectivo aporte, afectación o disponibilidad.
- La versatilidad de la ecuación del potencial de restauración hallada en el presente estudio, permite inferir no solo las trayectorias que puede tomar un ecosistema de humedal en el área de estudio, sino evaluar las posibilidades para crear escenarios hipotéticos de cara a mejorar su manejo.
- De las 38 variables calificadas para evaluar el potencial de restauración, incluyendo 24 factores, cuatro limitantes y 10 tensionantes, se seleccionaron como altamente significativos y factores constituyentes del modelo, cinco factores: la geomorfología (GE), la hidráulica (Hi), la fauna silvestre (FS), los peces (PE) y el tipo de comunidades humanas (TCH).
- Basados en la evaluación del potencial de restauración, se comprobó que no existe una dependencia absoluta del potencial sociodinámico, y que más bien la facilitación de la recuperación de los humedales degradados, incluye componentes de la oferta ambiental, el potencial biótico y el sociodinámico equilibradamente.
- Al analizar conjuntamente los potenciales de restauración para todos los sitios del área de estudio o de la margen derecha de la planicie de inundación, las condiciones de deterioro del complejo de humedales se ven reflejadas en el

potencial encontrado (11,51%), permitiendo calificar la planicie como “tierras marginales” y degradadas, en cuyo caso solo se puede aspirar a realizar trabajos de recuperación productiva a corto y mediano plazo, descartando la posibilidad de realizar programas de rehabilitación o restauración ecológica en los ecosistemas intervenidos.

- Los Análisis de Componentes Principales (ACP) para todas las variables, incluyendo o no los limitantes y tensionantes, mostraron básicamente dos escenarios para los sitios: los humedales con conexión directa al río Nechí y aquellos desconectados; los primeros con un mayor potencial de restauración y los segundos más disímiles con los humedales naturales.
- La restitución paralela de factores como la geomorfología y la hidráulica, puede garantizar de manera consecuente la recuperación de la biota (peces y fauna silvestre principalmente), y que aunado a un control efectivo de la sobreexplotación de la biota al interior y en los alrededores de los sitios intervenidos, con el apoyo de las comunidades anfibias que apliquen sus prácticas adaptativas a las condiciones de los humedales, se obtiene una solución adaptada, efectiva y que dictamina las acciones de recuperación, rehabilitación o restauración de las áreas explotadas, es decir, los factores determinantes del modelo conceptual de restauración ecológica para los ecosistemas degradados.
- De los factores evaluados, el de mayor afectación y que requiere mucho más tiempo (probablemente cientos de años) para su recuperación, es el sustrato o suelo mineral, puesto que luego de la intervención minera, el material resultante dista radicalmente en su composición del medio de crecimiento original, pasando de tener suelos con texturas francas e incluso arcillosas, a tener materiales donde predominan las arenas y gravas, fracción que si bien no imposibilita los procesos de restauración, ofrece condiciones muy diferentes a la biota que ha evolucionado en dichas condiciones, entre ellos los cativales.

- El modelo conceptual de restauración ecológica hallado para la planicie de inundación del río Nechí a través de la evaluación de sitios explotados por minería aurífera aluvial, se puede resumir de la siguiente forma:  $RE = f(Ge, Hi, Pe, FS, TCH) + MA$ ; siendo RE la propuesta de restauración ecológica, Ge, Hi, Pe, FS y TCH los factores determinantes y MA las medidas de manejo adicionales para mejorar las trayectorias de recuperación de tierras.
- Con la aplicación del modelo conceptual de restauración ecológica, se espera una reducción conspicua en el tiempo de recuperación de los sitios intervenidos, versus la trayectoria típica o tendencia en la recuperación con medidas diferentes o sin manejo. Sin embargo, el mayor aporte del modelo se percibe en el aumento del potencial de restauración, teniendo en cuenta que con su implementación se propende por el desarrollo estructural y funcional de los ecosistemas para todos los componentes de los humedales intervenidos.
- En términos de tiempo, la implementación del modelo no dista de la aplicación de las medidas que actualmente emplea por ejemplo Mineros S.A para la recuperación de tierras en la planicie de inundación del río Nechí, más aún, las actividades que hoy en día se realizan integran en buena medida lo sugerido por el modelo, más deben orientarse específicamente a garantizar: (i) la reconfiguración geomorfológica de los sitios, (ii) la conectividad hidráulica del sistema, (iii) la colonización y el repoblamiento de la biota (incluyendo los peces) en los humedales intervenidos, y (iv) el trabajo mancomunado con las comunidades, su educación para el manejo de humedales y el diseño de la implementación de las acciones del modelo para la recuperación, lo que sugiere concretamente que la implementación y puesta en marcha del modelo de restauración, con resultados tangibles en el potencial de restauración, puede ser inferior a los tres años luego de terminadas las explotaciones e iniciados los programas de “recuperación de tierras” por parte de las empresas mineras.
- Las acciones propuestas por el modelo conceptual de restauración ecológica pueden ser implementadas: bien en los planes de manejo ambiental de las

empresas mineras, o bien en los lineamientos que establecen las autoridades ambientales en los programas de restauración para áreas degradadas por minería informal en la región. Estas acciones no son una “receta única” para la recuperación de humedales de zonas bajas tropicales degradados por minería aurífera aluvial, aunque si tienen aplicación estricta para el complejo de humedales de la planicie de inundación del río Nechí, en la margen derecha del cauce principal (área de estudio).

- Es de vital importancia considerar a la planicie de inundación del río Nechí como una parte de la cuenca y del sistema fluvial, donde las relaciones río - planicie inundable son indispensables para comprender el funcionamiento de la misma. Su modificación tiene efectos locales drásticos para la riqueza de la biota, pero igualmente considerables en la región a largo plazo, dado que puede conducir a una reducción de la diversidad típica de los relictos de humedales de zonas tropicales.
- La presente propuesta de restauración está acotada espacialmente para el “complejo de humedales” de la margen derecha del río Nechí en su cuenca baja, y temporalmente para escalas “actuales”, dependiendo de la intensidad de las medidas. Asimismo, considera también dos condicionantes que podrían impedir el funcionamiento del modelo, el conflicto armado en la región y la ausencia de normatividad e instrumentos legales vigentes que aseguren la no intervención a futuro en las áreas en proceso de restauración.
- El presente modelo incluye las estrategias, acciones y consolida los resultados esperados por otros modelos de restauración tales como NRC (1992), Bradshaw (1984) y Adaptable (Christensen *et al.*, 1996).
- Sin desconocer la responsabilidad de Mineros S.A. en la modificación del medio natural, es preciso identificar la participación de otras formas de explotación minera y sus efectos sobre él. Lo anterior, no para minimizar los resultados de las acciones de la empresa, sino para resaltar que si el propósito es plantear y ejecutar acciones conducentes al mejoramiento de la calidad ambiental, es

preciso elaborar un plan integral en el cual estén contemplados los actores institucionales y sociales que han actuado sobre el medio por acción u omisión: las administraciones municipales por omisión en la inversión, malversación de fondos, negligencia en la aplicación de las normas de control; la pequeña y la mediana minería con su acción, la población con sus prácticas antiecológicas (Estudios y Asesorías Ambientales, 2005).

## 6. Recomendaciones

- Dada la versatilidad y los alcances que permite la evaluación del *potencial de restauración* en un ecosistema, de cara a conocer la viabilidad de un eventual proceso de restauración, se recomienda su utilización no solo para ecosistemas intervenidos por minería, sino en cualquier ecosistema en el que se pretendan establecer programas de recuperación, rehabilitación y restauración ecológica.
- Las acciones propuestas en este *modelo conceptual de restauración ecológica* deben ser implementadas en el área de estudio (complejo de humedales de la cuenca baja del río Nechí), sin embargo, la metodología para la obtención del modelo conceptual de restauración tiene una amplia aplicación en zonas de humedales tropicales con o sin intervención minera, la cual puede ser implementada por las empresas en la reorientación de sus planes de manejo o por las autoridades ambientales en los programas de restauración a nivel regional.
- Si bien el modelo conceptual propuesto para la recuperación de los humedales presentes en la planicie de inundación del río Nechí, ofrece una serie de alternativas positivas para propender por la recuperación de ciertos atributos y funciones de este tipo de ecosistemas, este no sería 100% efectivo en la recuperación regional, cuando algunos limitantes y tensionantes que se originan en toda la cuenca están conduciendo claramente a la inutilidad de estos ecosistemas, tales como los contaminantes tóxicos, la bioacumulación y bioamplificación, la sobreexplotación de los recursos y la presencia de especies exóticas entre otras, los cuales ameritan una intervención conjunta por parte de la institucionalidad y autoridades regionales y nacionales, conducentes a su control y mitigación. Por tanto deben abordarse estas problemáticas asociadas a la minería principalmente, con estrategias de carácter departamental y nacional, lideradas por los entes competentes.



# A. Anexo 1: Matrices de calificación de las variables del potencial de restauración.

## CALIFICACIÓN POTENCIAL DE RESTAURACIÓN

MODELO DE RESTAURACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS POR MINERÍA EN EL BAGRE –  
ANTIOQUIA

$$PR = \frac{((OA/n) - (FL+FT)/2n) + ((PB/n) - (FL+FT)/2n) \pm ((PSD/n) - (FL+FT)/2n)}{3}$$

Dónde: **PR**: Potencial de restauración **OA**: Oferta ambiental  
**PSD**: Potencial sociodinámico **PB**: Potencial biótico  
**FT**: Factores tensionantes **FL**: Factores limitantes  
**n**: Número de variables componentes de cada factor

---

### HUMEDALES O ECOSISTEMAS EVALUADOS

---

<b>ER</b>	Ecosistema de Referencia
<b>ED45</b>	Ecosistema Degradado 45 años
<b>ED35</b>	Ecosistema Degradado 35 años
<b>ED25</b>	Ecosistema Degradado 25 años
<b>ED15</b>	Ecosistema Degradado 15 años
<b>ED5</b>	Ecosistema Degradado 5 años
<b>ED0</b>	Ecosistema Degradado 0 años

---

---

### ESCALAS DE CALIFICACIÓN

---

<b>Valor</b>	<b>Interpretación</b>
0-20	Muy Baja
21-40	Baja
41-60	Media
61-80	Media-Alta
81-100	Alta

---

## 1. OFERTA AMBIENTAL – OA

Calificación de la **Oferta Ambiental** en cada ecosistema evaluado.

**Variables:** Ciclo Hidrológico, Geomorfología, Hidráulica, Suelos, Clima, Geología y Físicoquímica del agua.

Componente: Oferta Ambiental (OA)							
Variable o factor: Ciclo Hidrológico (CH)							
<b>Definición</b>	Disponibilidad del ciclo hidrológico para un evento de restauración ecológica en los ecosistemas a evaluar.						
<b>Elementos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Pulso de inundación</i>: alternancia de los períodos de inundación y sequía definidos por Neiff <i>et al.</i> (2004). Aporte a la calificación= 25%.</li> <li>• <i>Fuente de agua</i>: disponibilidad del recurso en los ecosistemas evaluados, bien sea por cuerpos de agua superficiales (lénticos o lóticos) o subsuperficiales. Aporte a la calificación= 25%.</li> <li>• <i>Precipitación</i>: disponibilidad del agua para un evento de restauración, vía precipitación. Aporte a la calificación= 25%.</li> <li>• <i>Comportamiento bimodal</i>: existencia o no de la distribución típica de los períodos “lluviosos” en los ecosistemas evaluados; dos al año. Aporte a la calificación= 25%.</li> </ul>						
<b>Ecosistema</b>	<b>ER</b>	<b>ED45</b>	<b>ED35</b>	<b>ED25</b>	<b>ED15</b>	<b>ED5</b>	<b>ED0</b>
<b>Calificación (%)</b>	100	100	100	100	100	100	100
<b>Interpretación</b>	Dado que los cuatro elementos se dan en ambos ecosistemas (referencia y degradados), así como su aporte es positivo y equitativo independiente del tipo y grado de intervención, se concluye que el CH siempre estará disponible para cualquier evento de restauración ecológica en los sitios evaluados. Dicho de otra forma, este factor a la escala del estudio no es presenta diferencias significativas y por ende no sería crucial durante la toma de decisiones.						

Componente: Oferta Ambiental (OA)							
Variable o factor: Geomorfología (GE)							
<b>Definición</b>	Presencia de las unidades geomorfológicas originales en la llanura de inundación y en especial en los sitios de interés, que favorezcan un proceso de restauración ecológica.						
<b>Elementos</b>	Existen seis unidades geomorfológicas en la planicie de inundación (dique, orillares, basín, ciénaga, caño y madre vieja), de las cuales se incluyen en la calificación aquellas unidades funcionales que quedan disponibles para la RE después de la intervención en términos de porcentaje. Ejemplo: si después de la intervención permanecen la ciénaga, el dique y el caño, su calificación será 3 de 6, es decir: $(3/6)*100=50\%$ . Aporte a la calificación por elemento= 16,67%.						
<b>Ecosistema</b>	<b>ER</b>	<b>ED45</b>	<b>ED35</b>	<b>ED25</b>	<b>ED15</b>	<b>ED5</b>	<b>ED0</b>
<b>Calificación (%)</b>	83,3	16,7	16,7	16,7	50	66,7	66,7
<b>Interpretación</b>	Presentes las unidades exceptuando los caños, dada su rectificación en los humedales	Incluyen sólo la unidad de ciénaga, dado que son ecosistemas aislados, desconectados y completamente artificiales.			Incluye tres unidades: caño, ciénaga y dique	Incluye cuatro unidades: caño, ciénaga, dique, basín	

Componente: Oferta Ambiental (OA)							
Variable o factor: Hidráulica (HI)							
<b>Definición</b>	Variable relacionada con el tiempo de residencia y velocidad del agua en los sitios evaluados, así como del suministro de sedimentos por medio de la corriente de agua principal (río Nechí).						
<b>Elementos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Conectividad</i>: conexión existente entre los humedales o sitios evaluados y los pulsos del río principal (Nechí). Aporte a la calificación= 20%.</li> <li>• <i>Deposición de sedimentos gradualmente</i>: ingreso constante de sedimentos a los humedales o sitios evaluados, a través del río principal y que formen gradualmente por sedimentación los sustratos o medios de crecimiento para la restauración ecológica de los sitios. Aporte a la calificación= 20%.</li> <li>• <i>Disponibilidad de sedimentos</i>: carga de sedimentos en la fuente de agua principal durante todos los períodos hidrosedimentológicos (fases del pulso basado en Neiff, 1997). Aporte a la calificación= 20%.</li> <li>• <i>Clase de sedimentos</i>: referido principalmente a los de origen mineral y orgánico, los cuales son habitualmente transportados por el río principal. Aporte a la calificación= 20%.</li> <li>• <i>Residencia del agua</i>: tiempo “normal” que permanece el agua en el humedal o ecosistema evaluado, asumiendo que en un humedal conectado ingresa, permanece y sale el agua conforme se dan las fluctuaciones o fases de los pulsos. Aporte a la calificación= 20%.</li> </ul>						
<b>Ecosistema</b>	<b>ER</b>	<b>ED45</b>	<b>ED35</b>	<b>ED25</b>	<b>ED15</b>	<b>ED5</b>	<b>ED0</b>
<b>Calificación (%)</b>	60	20	20	20	40	60	60
<b>Interpretación</b>	Considerando que aportan 3 de los 5 elementos, exceptuando la conectividad (por la rectificación de los caños) y para el caso de Sabalito, se modifica el tiempo de residencia del agua que a su vez afecta la vegetación y el ecosistema de los humedales.	Se consideran ausentes los elementos por la desconexión con el río, exceptuando el tiempo de residencia del agua, que aunque superior al “normal”, el remanente puede aportar a un proceso de restauración.			Dado que existe conexión parcial en este sitio, aportan a la RE 2 de los 5 elementos: deposición gradual de sedimentos y disponibilidad de sedimentos.	Considerando que aportan 3 de los 5 elementos, exceptuando la conectividad (por la modificación de los caños) y el tiempo de residencia del agua por los humedales artificiales resultantes.	Considerando que aportan 3 de los 5 elementos, exceptuando la conectividad (por la modificación de los caños) y el tiempo de residencia del agua por los humedales artificiales resultantes

<b>Componente: Oferta Ambiental (OA)</b>							
<b>Variable o factor: Suelos (SU)</b>							
<b>Definición</b>	Principales propiedades del suelo o sustrato relacionadas con el humedal, teniendo como base el ecosistema de referencia.						
<b>Elementos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Textura</i>: referida a la presencia y representatividad de partículas minerales (&lt; 2 mm) de arena, limo y arcilla que conforman el suelo o sustrato. Aporte a la calificación= 25%.</li> <li>• <i>Profundidad efectiva</i>: profundidad del suelo en la que se desarrollan las raíces de las plantas para absorber agua y nutrientes sin impedimento (Ochoa y Oballos, 2006). Aporte a la calificación= 25%.</li> <li>• <i>Contenido de Humedad</i>: disponibilidad de agua en el suelo o sustrato para el desarrollo de la biota (Ochoa y Oballos, 2006). Aporte a la calificación= 25%.</li> <li>• <i>Nivel freático</i>: línea que marca la parte superior de la zona de saturación de agua en el suelo o sustrato (Ochoa y Oballos, 2006). Aporte a la calificación= 25%.</li> </ul>						
<b>Ecosistema</b>	<b>ER</b>	<b>ED45</b>	<b>ED35</b>	<b>ED25</b>	<b>ED15</b>	<b>ED5</b>	<b>ED0</b>
<b>Calificación (%)</b>	100	0	0	0	0	25	25
<b>Interpretación</b>	Todas las propiedades se encuentran en el ecosistema de referencia	Ausencia de las propiedades del suelo en el material resultante de las extracciones (cargueros y rellenos hidráulicos).				Ausencia de las propiedades del suelo excepto la profundidad efectiva, la cual no es limitante al compararse con el ecosistema de referencia y es típica en los rellenos hidráulicos.	

<b>Componente: Oferta Ambiental (OA)</b>							
<b>Variable o factor: Clima (CL)</b>							
<b>Definición</b>	Factor que indica principalmente las variaciones y disponibilidad de la temperatura, humedad y precipitación en los sitios a evaluarse.						
<b>Elementos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Temperatura</i>: concepto de biotemperatura media anual basada en Holdridge (1967). Aporte a la calificación= 33,3%.</li> <li>• <i>Humedad Relativa</i>: referida a la humedad atmosférica en los sitios evaluados. Aporte a la calificación= 33,3%.</li> <li>• <i>Precipitación</i>: concepto de precipitación media anual basada en Holdridge (1967). Aporte a la calificación= 33,3%.</li> </ul>						
<b>Ecosistema</b>	<b>ER</b>	<b>ED45</b>	<b>ED35</b>	<b>ED25</b>	<b>ED15</b>	<b>ED5</b>	<b>ED0</b>
<b>Calificación (%)</b>	100	100	100	100	100	100	100
<b>Interpretación</b>	En síntesis, tanto el clima como las variables evaluadas están disponibles en cualquier ecosistema evaluado, además de no presentar variaciones significativas entre sitios.						

Componente: Oferta Ambiental (OA)							
Variable o factor: Geología (GL)							
<b>Definición</b>	Factor que evalúa las posibles variaciones del material parental en los ecosistemas analizados.						
<b>Elementos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Procesos tectónicos</i>: se refiere a los procesos llevados a cabo en las placas tectónicas y cuya escala del análisis para los sitios evaluados, se incluyen en el mismo proceso. Aporte a la calificación= 25%.</li> <li>• <i>Procesos litosedimentológicos</i>: procesos de transporte, formación y deposición de materiales que se acumulan como sedimentos en ambientes continentales y marinos, formando comunmente rocas de tipo sedimentarias. La totalidad de los sitios evaluados se encuentran en la misma unidad. Aporte a la calificación= 33,3%.</li> <li>• <i>Conformación de la cubeta donde se depositan los sedimentos</i>: referido a procesos geológicos internos en la formación de la cuenca y cuya escala del análisis para los sitios evaluados, se incluyen en el mismo proceso. Aporte a la calificación= 25%.</li> <li>• <i>Tipo de material parental</i>: material mineral que ha dado origen durante miles de años a los suelos resultantes en la actualidad; éstos son principalmente sedimentos de las partes altas y medias de las cuencas. Aporte a la calificación= 25%.</li> </ul>						
<b>Ecosistema</b>	<b>ER</b>	<b>ED45</b>	<b>ED35</b>	<b>ED25</b>	<b>ED15</b>	<b>ED5</b>	<b>ED0</b>
<b>Calificación (%)</b>	100	100	100	100	100	100	100
<b>Interpretación</b>	En síntesis, los elementos y la geología en general están disponibles en cualquier ecosistema evaluado. Adicionalmente el material formador (sedimentos) continua llegando a los sitios.						

Componente: Oferta Ambiental (OA)							
Variable o factor: Físicoquímica del agua (FQ)							
<b>Definición</b>	Estado de las variables físicas y químicas del agua que ofrecen condiciones necesarias para el desarrollo y colonización por parte de las comunidades hidrobiológicas y de la biota.						
<b>Elementos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Variables físicas y químicas (FQ)</i>: Oxígeno, pH, °T, conductividad, sólidos, alcalinidad, Fe, N, P, Ca, Mg, DBO, DQO, sulfatos, nitratos, amonios. Basado en los reportes del PMA y Corantioquia y Neotropicos (2000). Según estas referencias, en general no se tiene ningún impedimento para realizar procesos de RE en la zona de estudio, dado que los humedales evaluados aún ofrecen las condiciones necesarias para el desarrollo y colonización por parte de las comunidades hidrobiológicas y de la biota en general. Aporte a la calificación= 25%.</li> <li>• <i>Toxicología del agua (Hg)</i>: referido principalmente a la presencia detectada de mercurio (Hg). Aporte a la calificación= 25%.</li> <li>• <i>Sólidos suspendidos totales (SST)</i>: cantidad de material (sólidos) retenido después de realizar la filtración de un volumen de agua. Su importancia radica en la disminución del paso de luz a través de agua evitando su actividad fotosintética en las corrientes de agua, repercutiendo en la producción de oxígeno. Aporte a la calificación= 25%.</li> <li>• <i>Contaminación microbológica (MB)</i>: basado en los reportes del PMA y Corantioquia y Neotropicos (2000). Aporte a la calificación= 25%.</li> </ul>						
<b>Ecosistema</b>	<b>ER</b>	<b>ED45</b>	<b>ED35</b>	<b>ED25</b>	<b>ED15</b>	<b>ED5</b>	<b>ED0</b>
<b>Calificación (%)</b>	50	100	100	100	50	50	25
<b>Interpretación</b>	Aportan al proceso de restauración: FQ y SST. No aportan la MB y el contenido de Hg en las aguas del sitio.	Aportan al proceso de restauración los cuatro elementos (FQ, SST, Hg y Mb), es decir, ninguno presenta impedimento para adelantar programas de restauración en los sitios evaluados.			Aportan al proceso de restauración: FQ y SST. No aportan la MB y el contenido de Hg en las aguas del sitio.		Aporta al proceso de restauración: FQ. No aportan la MB, el contenido de Hg y la MB en las aguas del sitio.

## 2. POTENCIAL BIÓTICO – PB

Calificación del **Potencial Biótico** en cada ecosistema evaluado.

**Variabes:** Peces, Fauna silvestre, Flora, Zooplancton, Fitoplancton, Macrófitas.

Componente: Potencial Biótico (PB)							
Variable o factor: Peces (Pe)							
<b>Definición</b>	Indica la capacidad biológica que tienen las comunidades de peces frente a un proceso de restauración. El recurso íctico pese a que encuentra diezariado en la región, altamente sobreexplotado y desconocida su calidad del material genético; el pull de especies se mantiene, más su densidad ha disminuido notablemente (Estudios y Asesorías Ambientales, 2005).						
<b>Elementos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Riqueza (S)</i>: calificación del número de especies relativizado para cada ecosistema o humedal evaluado. Aporte a la calificación= 50%.</li> <li>• <i>Densidad (D)</i>: cantidad de individuos de las poblaciones de peces caracterizadas en los humedales o ecosistemas evaluados. Aporte a la calificación= 50%.</li> </ul>						
<b>Ecosistema</b>	<b>ER</b>	<b>ED45</b>	<b>ED35</b>	<b>ED25</b>	<b>ED15</b>	<b>ED5</b>	<b>ED0</b>
<b>Calificación (%)</b>	75	50	50	50	50	75	75
<b>Interpretación</b>	La riqueza se encuentra disponible en toda la planicie y la densidad de los individuos disminuida en un 50%, en especial en el ecosistema de referencia por la intensidad de pesca.	La riqueza no se encuentra disponible en los ecosistemas aislados por la desconexión, mientras la densidad aumenta en estos ecosistemas intervenidos.			La riqueza se encuentra disponible en toda la planicie y la densidad de los individuos disminuida en un 50%, en especial por la intensidad de pesca.		

Componente: Potencial Biótico (PB)							
Variable o factor: Fauna silvestre (FS)							
<b>Definición</b>	Factor que se basa en la presencia y recurrencia de los seis grupos faunísticos principales en los ecosistemas evaluados.						
<b>Elementos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Aves</i>: calificación de la presencia o ausencia de las principales especies de aves en cada ecosistema o humedal evaluado, tomando como base el ecosistema de referencia. Aporte a la calificación= 16,67%.</li> <li>• <i>Mamíferos</i>: presencia o ausencia de las principales especies de mamíferos en cada ecosistema o humedal evaluado, tomando como base el ecosistema de referencia. Aporte a la calificación= 16,67%.</li> <li>• <i>Anfibios</i>: calificación de la presencia o ausencia de las principales especies de anfibios en cada ecosistema o humedal evaluado, tomando como base el ecosistema de referencia. Aporte a la calificación= 16,67%.</li> <li>• <i>Reptiles</i>: calificación de la presencia o ausencia de las principales especies de reptiles en cada ecosistema o humedal evaluado, tomando como base el ecosistema de referencia. Aporte a la calificación= 16,67%.</li> <li>• <i>Insectos</i>: calificación de la presencia o ausencia de las principales especies de insectos en cada ecosistema o humedal evaluado, tomando como base el ecosistema de referencia. Aporte a la calificación= 16,67%.</li> <li>• <i>Biota acuática</i>: evaluación en los ecosistemas de la presencia y estado de la biota acuática. Aporte a la calificación= 16,67%.</li> </ul>						
<b>Ecosistema</b>	<b>ER</b>	<b>ED45</b>	<b>ED35</b>	<b>ED25</b>	<b>ED15</b>	<b>ED5</b>	<b>ED0</b>
<b>Calificación (%)</b>	83,3	16,67	16,67	16,67	50	66,67	66,67
<b>Interpretación</b>	Buen estado de los grupos faunísticos, exceptuando la biota acuática, dada la afectación de los cuerpos de agua y sus ecosistemas.	Solo se considera aportante a la restauración por su presencia, el grupo faunístico de las aves.			Aportan a la restauración por su presencia los grupos faunísticos aves, anfibios y reptiles.	Aportan a la restauración por su presencia y recurrencia los grupos faunísticos aves, anfibios, reptiles e insectos.	

Componente: Potencial Biótico (PB)							
Variable o factor: Flora (FL)							
<b>Definición</b>	Indica la presencia de vegetación en diferentes estados sucesionales, tanto en el área evaluada como en su entorno, así como la disponibilidad de propágulos para un proceso de restauración ecológica.						
<b>Elementos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Diferentes estados sucesionales</i>: referido a diferentes coberturas naturales, las cuales aportan a la restauración según la NRC (1992). Aporte a la calificación= 25%.</li> <li>• <i>Regeneración natural del bosque</i>: presencia de los estratos bajos del dosel, principalmente de brinzales y latizales. Aporte a la calificación= 25%.</li> <li>• <i>Dispersión física y biológica</i>: ejecución natural de los procesos de dispersión a través de la fauna, del río, el viento y otros mecanismos de transporte. Aporte a la calificación= 25%.</li> <li>• <i>Disponibilidad de propágulos vía fluvial</i>: ingreso de material vegetal reproductivo (semillas, frutos, esporas, etc.) a los humedales a través del río principal y los pulsos. Aporte a la calificación= 25%.</li> </ul>						
<b>Ecosistema</b>	<b>ER</b>	<b>ED45</b>	<b>ED35</b>	<b>ED25</b>	<b>ED15</b>	<b>ED5</b>	<b>ED0</b>
<b>Calificación (%)</b>	100	75	75	75	75	100	100
<b>Interpretación</b>	Todos los elementos aportan a la restauración.	Exceptuando la disponibilidad de propágulos vía fluvial, todos los elementos aportan a la restauración.				Todos los elementos aportan a la restauración.	

Componente: Potencial Biótico (PB)							
Variable o factor: Zooplancton (ZO)							
<b>Definición</b>	Indica la presencia de organismos animales que forman parte del plancton.						
<b>Elementos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Mecanismos biológicos (aves y peces)</i>: referido al ingreso y flujo de zooplancton a través de la fauna, principalmente de las aves y los peces. Aporte a la calificación= 50%.</li> <li>• <i>Transporte fluvial de propágulos</i>: flujo (entrada y salida) de propágulos de la fauna en los sitios evaluados. Aporte a la calificación= 50%.</li> </ul>						
<b>Ecosistema</b>	<b>ER</b>	<b>ED45</b>	<b>ED35</b>	<b>ED25</b>	<b>ED15</b>	<b>ED5</b>	<b>ED0</b>
<b>Calificación (%)</b>	100	50	50	50	50	100	50
<b>Interpretación</b>	Ambos elementos aportan a la restauración.	Solo aporta el mecanismo biológico (aves y peces), dado que no existe conectividad entre los sitios evaluados y el río principal.			Ambos elementos aportan a la restauración.		Solo aporta el mecanismo biológico (aves y peces), dado que no existe conectividad entre los sitios evaluados y el río principal.

Componente: Potencial Biótico (PB)							
Variable o factor: Fitoplancton (Fi)							
<b>Definición</b>	Indica la presencia y disponibilidad de organismos vegetales que forman parte del plancton.						
<b>Elementos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Mecanismos biológicos</i>: referido al ingreso y flujo de fitoplancton a través de mecanismos naturales provenientes de la fauna y la flora. Aporte a la calificación= 50%.</li> <li>• <i>Mecanismos fluviales</i>: provisión de propágulos del fitoplancton a través del cuerpo de agua principal. Aporte a la calificación= 50%.</li> </ul>						
<b>Ecosistema</b>	<b>ER</b>	<b>ED45</b>	<b>ED35</b>	<b>ED25</b>	<b>ED15</b>	<b>ED5</b>	<b>ED0</b>
<b>Calificación (%)</b>	100	50	50	50	50	100	50
<b>Interpretación</b>	Ambos elementos aportan a la restauración.	Solo aporta el mecanismo biológico dado que no existe conectividad entre los sitios evaluados y el río principal.			Ambos elementos aportan a la restauración.		Solo aporta el mecanismo fluvial, puesto que no están la fauna y flora que proveen propágulos.

<b>Componente:</b> Potencial Biótico (PB)							
<b>Variable o factor:</b> Macrófitas (MA)							
<b>Definición</b>	Capacidad biológica que tienen las plantas acuáticas para iniciar un proceso de restauración.						
<b>Elementos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Mecanismos biológicos</i>: referido al ingreso y flujo de plantas acuáticas a través de mecanismos naturales, tal como la colonización. Aporte a la calificación= 50%.</li> <li>• <i>Mecanismos fluviales</i>: provisión de propágulos de plantas acuáticas a través del cuerpo de agua principal. Aporte a la calificación= 50%.</li> </ul>						
<b>Ecosistema</b>	<b>ER</b>	<b>ED45</b>	<b>ED35</b>	<b>ED25</b>	<b>ED15</b>	<b>ED5</b>	<b>ED0</b>
<b>Calificación (%)</b>	100	50	50	50	50	100	50
<b>Interpretación</b>	Ambos elementos aportan a la restauración.	Solo aporta el mecanismo biológico dado que no existe conectividad entre los sitios evaluados y el río principal.			Ambos elementos aportan a la restauración.		Solo aporta el mecanismo fluvial, puesto que no están la fauna y flora que proveen propágulos.



### 3. POTENCIAL SOCIODINÁMICO – PSD

Calificación del **Potencial Sociodinámico** en cada ecosistema evaluado.

**Variables:** Política y Gobernabilidad, Tipo de Comunidades Humanas, Grado de Organización, Actividades Antrópicas, Estrategia Adaptativa, Nivel Educativo, Normatividad Ambiental, Tenencia de la Tierra, Uso del Suelo, Demografía e Infraestructura y Empresas Mineras.

<b>Componente:</b> Potencial Sociodinámico (PS)							
<b>Variable o factor:</b> Política y Gobernabilidad (EI)							
<b>Definición</b>	Concepto adaptado de Neira (1999) para describir la gobernabilidad política, el cual incluye cuatro elementos propuestos para “calificar” el entorno institucional.						
<b>Elementos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Institucionalidad:</i> referido a la presencia del estado a través de instancias y órganos de gobierno en las zonas donde se localizan los ecosistemas a evaluar. Aporte a la calificación= 25%.</li> <li>• <i>Demandas sociales:</i> atención efectiva por parte de los gobernantes de las demandas de los gobernados. Aporte a la calificación= 25%.</li> <li>• <i>Legitimidad política:</i> reconocimiento y respeto en las comunidades del área en estudio por los gobernantes locales y regionales. Aporte a la calificación= 25%.</li> <li>• <i>Estabilidad del sistema (eficiencia administrativo-económica):</i> necesidad que tienen los gobiernos para permitir la acción gubernamental y ofrecer un mínimo de estabilidad y legitimidad. Aporte a la calificación= 25%.</li> </ul>						
<b>Ecosistema</b>	<b>ER</b>	<b>ED45</b>	<b>ED35</b>	<b>ED25</b>	<b>ED15</b>	<b>ED5</b>	<b>ED0</b>
<b>Calificación (%)</b>	25	25	25	25	25	25	25
<b>Interpretación</b>	Aunque existen instituciones del estado (municipio, CAR, etc.) en la región, están ausentes o son poco eficientes, no obstante son el único elemento aportante (25%) a la RE, puesto que las demandas sociales no aportan (0%), no hay legitimidad, dado que el estado no ha tenido en cuenta a las comunidades (0%) y no hay estabilidad del sistema (0%), como resultado de los demás elementos.						

<b>Componente:</b> Potencial Sociodinámico (PS)							
<b>Variable o factor:</b> Tipo de comunidades humanas (TCH)							
<b>Definición</b>	Indica la presencia o no de negritudes, indígenas o campesinos en los ecosistemas a evaluar y cuyas prácticas ancestrales tienen gran influencia en el manejo de los humedales.						
<b>Elementos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Indígenas:</i> presencia de comunidades o núcleos familiares indígenas. Aporte a la calificación= 33,3%.</li> <li>• <i>Negritudes:</i> presencia de comunidades o núcleos familiares de negros. Aporte a la calificación= 33,3%.</li> <li>• <i>Colonos:</i> presencia de comunidades o núcleos familiares de colonos. Aporte a la calificación= 33,3%.</li> </ul>						
<b>Ecosistema</b>	<b>ER</b>	<b>ED45</b>	<b>ED35</b>	<b>ED25</b>	<b>ED15</b>	<b>ED5</b>	<b>ED0</b>
<b>Calificación (%)</b>	100	66,7	66,7	66,7	66,7	66,7	66,7
<b>Interpretación</b>	Presentes todos los elementos y aportan potencialmente a la restauración.		Los indígenas y colonos son los que aportan generalmente en la región, los negros hacen explotación de oro en lugares ya explotados, porque no entran en ecosistemas no explotados.				

<b>Componente:</b> Potencial Sociodinámico (PS)							
<b>Variable o factor:</b> Grado de organización (GO)							
<b>Definición</b>	Se basa en el nivel de organización de las comunidades que habitan los ecosistemas evaluados.						
<b>Elementos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Existencia de Juntas de Acción (JAC), ONG's u otro tipo de organizaciones:</i> principalmente en las veredas donde se ubican los ecosistemas intervenidos y el de referencia. Aporte a la calificación= 50%.</li> <li>• <i>Funcionamiento de Juntas de Acción (JAC), ONG's u otro tipo de organizaciones:</i> esta variable incluye la participación de los pobladores y se refiere a la "funcionalidad" de las organizaciones de la comunidad. Aporte a la calificación= 50%.</li> </ul>						
<b>Ecosistema</b>	<b>ER</b>	<b>ED45</b>	<b>ED35</b>	<b>ED25</b>	<b>ED15</b>	<b>ED5</b>	<b>ED0</b>
<b>Calificación (%)</b>	50	100	100	100	100	100	100
<b>Interpretación</b>	Existe la JAC más no es completamente funcional en la zona de Sabalito.		A partir de las intervenciones, se activa o se mejora el grado de organización en los ecosistemas evaluados.				

<b>Componente:</b> Potencial Sociodinámico (PS)								
<b>Variable o factor:</b> Actividades antrópicas (AN)								
<b>Definición</b>	Se basa en las principales actividades antrópicas tradicionales y que pueden desarrollar las comunidades en cada ecosistema evaluado. Vale la pena aclarar que si dichos elementos superan los umbrales, es decir, no se practican de forma sostenible, ninguno aportará a la RE.							
<b>Elementos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Agricultura:</i> prácticas agrícolas tales como siembras, mantenimientos y aprovechamientos de los cultivos transitorios o adaptados a los pulsos en los humedales evaluados. Aporte a la calificación= 16,6%.</li> <li>• <i>Caza:</i> actividades de caza por parte de los habitantes de la región, principalmente de fauna. Aporte a la calificación= 16,6%.</li> <li>• <i>Pesca:</i> referido principalmente al aprovechamiento íctico por parte de los habitantes de la región. Aporte a la calificación= 16,6%.</li> <li>• <i>Aprovechamiento forestal:</i> extracción de los bosques presentes en los humedales; principalmente de productos maderables. Aporte a la calificación= 16,6%.</li> <li>• <i>Minería:</i> extracción aurífera por parte de las comunidades y empresas, diferente a la aluvial a gran escala realizada por empresas como Mineros S.A. Aporte a la calificación= 16,6%.</li> <li>• <i>Ganadería:</i> referido principalmente al pastoreo de vacunos en los humedales evaluados. Aporte a la calificación= 16,6%.</li> </ul>							
<b>Ecosistema</b>	<b>ER</b>	<b>ED45</b>	<b>ED35</b>	<b>ED25</b>	<b>ED15</b>	<b>ED5</b>	<b>ED0</b>	
<b>Calificación (%)</b>	83,3	66,7	66,7	66,7	66,7	66,7	0	
<b>Interpretación</b>	Exceptuando la sobreexplotación en la pesca, la cual superó el umbral, los demás elementos aportan a la RE.	Exceptuando la minería y la pesca, los demás elementos (caza, pesca, agricultura, ganadería y aprovechamiento forestal) contribuyen potencialmente a la "recuperación" de los ecosistemas intervenidos.					En este sitio ningún elemento contribuye a la RE, puesto que todas las actividades superan el umbral en el año cero (0).	

<b>Componente: Potencial Sociodinámico (PS)</b>							
<b>Variable o factor: Estrategia adaptativa (EA)</b>							
<b>Definición</b>	Es la cultura asociada al manejo del humedal, las practicas, adaptabilidad a las inundaciones y viviendas por parte de las comunidades de los ecosistemas evaluados.						
<b>Elementos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>Adaptabilidad de las comunidades:</i> capacidad de los habitantes para acoplarse a las condiciones propias de la planicie de inundación y sus humedales. Aporte a la calificación= 100%.</li> </ul>						
<b>Ecosistema</b>	<b>ER</b>	<b>ED45</b>	<b>ED35</b>	<b>ED25</b>	<b>ED15</b>	<b>ED5</b>	<b>ED0</b>
<b>Calificación (%)</b>	100	100	100	100	100	100	100
<b>Interpretación</b>	El elemento aporta a la RE de los sitios, puesto que la cultura, costumbres y conocimientos son adaptables a las condiciones resultantes, incluso, después de las explotaciones. Funcionan como "propágulos culturales".						
<b>Componente: Potencial Sociodinámico (PS)</b>							
<b>Variable o factor: Nivel educativo (NE)</b>							
<b>Definición</b>	Se refiere al grado de escolaridad de las comunidades que habitan los ecosistemas como una respuesta a su manejo. Basado en Estudios y Asesorías (2005).						
<b>Elementos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>Básica primaria:</i> 100 de los 127 planteles educativos del Bagre son de básica primaria, razón por la que su población accede y se mantiene principalmente en este grado de escolaridad. Aporte a la calificación= 33,3%.</li> <li><i>Secundaria:</i> 14 de los 127 planteles educativos son de secundaria y se centran en el área urbana o en corregimientos distantes a los sitios evaluados. Aporte a la calificación= 33,3%.</li> <li><i>Técnicos o más:</i> la oferta a este nivel de instrucción esta dada por convenios suscritos con siete universidades y el SENA para la formación de bachilleres en el municipio. No obstante, prácticamente no hay personas con este nivel de escolaridad en las veredas o sitios evaluados. Aporte a la calificación= 33,3%.</li> </ul>						
<b>Ecosistema</b>	<b>ER</b>	<b>ED45</b>	<b>ED35</b>	<b>ED25</b>	<b>ED15</b>	<b>ED5</b>	<b>ED0</b>
<b>Calificación (%)</b>	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3
<b>Interpretación</b>	Prácticamente el nivel de básica primaria es el único alcanzado por los habitantes de los ecosistemas evaluados.						

<b>Componente: Potencial Sociodinámico (PS)</b>							
<b>Variable o factor: Normatividad ambiental (NA)</b>							
<b>Definición</b>	Indica la existencia o no de políticas que aportan a la restauración ecológica regional y nacional.						
<b>Elementos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>Instrumentos o políticas de orden nacional:</i> tales como el Plan Nacional de Restauración -PNR-, la Compensación por Pérdida de Biodiversidad -CPB-, los Programas Regionales de restauración realizados por las CAR's, etc. Aporte a la calificación= 50%.</li> <li><i>Instrumentos con aplicación puntual:</i> tal como el Plan de Manejo Ambiental -PMA- luego de las intervenciones por parte de las empresas mineras. Aporte a la calificación= 50%.</li> </ul>						
<b>Ecosistema</b>	<b>ER</b>	<b>ED45</b>	<b>ED35</b>	<b>ED25</b>	<b>ED15</b>	<b>ED5</b>	<b>ED0</b>
<b>Calificación (%)</b>	50	100	100	100	100	100	100
<b>Interpretación</b>	Solo podrían aportar los instrumentos de orden nacional, puesto que en este ecosistema no se adelanta ningún tipo de instrumento puntual que apunte a la RE.		Ambos instrumentos podrían aportar, puesto que aplica el PMA, PNR, CPB y programas regionales de RE.				

<b>Componente:</b> Potencial Sociodinámico (PS)							
<b>Variable o factor:</b> Tenencia de la Tierra (TT)							
<b>Definición</b>	Brinda información acerca de la propiedad de la tierra donde se encuentran los ecosistemas evaluados.						
<b>Elementos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Propiedad (títulos) de la tierra:</i> referida a la relación existente entre los poseedores de la tierra y las acciones de restauración. Aporte a la calificación= 100%.</li> </ul>						
<b>Ecosistema</b>	<b>ER</b>	<b>ED45</b>	<b>ED35</b>	<b>ED25</b>	<b>ED15</b>	<b>ED5</b>	<b>ED0</b>
<b>Calificación (%)</b>	100	100	100	100	100	100	100
<b>Interpretación</b>	El elemento aporta en igualdad de condiciones para los ecosistemas, dado que en estas tierras ningún habitante posee títulos de propiedad. La propiedad de la totalidad de sitios evaluados es de Mineros S.A.						

<b>Componente:</b> Potencial Sociodinámico (PS)							
<b>Variable o factor:</b> Uso del Suelo (US)							
<b>Definición</b>	Tomando como referencia los principales usos o elementos definidos por FAO (2009).						
<b>Elementos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Agricultura:</i> usos agrícolas tradicionales en los sitios evaluados. Aporte a la calificación= 20%.</li> <li>• <i>Ganadería:</i> uso de pastoreo principalmente de vacunos en los sitios evaluados. Aporte a la calificación= 20%.</li> <li>• <i>Forestal:</i> siembra y aprovechamiento maderable (forestal) en los sitios evaluados. Aporte a la calificación= 20%.</li> <li>• <i>Protección:</i> uso conservacionista, poca o ninguna intervención en los sitios evaluados. Aporte a la calificación= 20%.</li> <li>• <i>Asentamientos humanos:</i> suelos destinados a las construcciones e infraestructura habitacional de las comunidades en los sitios evaluados. Aporte a la calificación= 20%.</li> </ul>						
<b>Ecosistema</b>	<b>ER</b>	<b>ED45</b>	<b>ED35</b>	<b>ED25</b>	<b>ED15</b>	<b>ED5</b>	<b>ED0</b>
<b>Calificación (%)</b>	80	100	100	100	100	100	80
<b>Interpretación</b>	Exceptuando la ganadería, en la actualidad los demás elementos aportan a la RE.	Los cinco elementos aportan a la RE de los sitios, incluyendo la ganadería, siempre y cuando sea bien manejada-estabulada o controlada.				Exceptuando el impacto de la agricultura tradicional por la fragilidad de los recientes sustratos, todos los elementos aportan a la RE.	

<b>Componente:</b> Potencial Sociodinámico (PS)							
<b>Variable o factor:</b> Demografía e Infraestructura (DI)							
<b>Definición</b>	Aporte a un proceso de restauración por parte de los habitantes de la región, en especial por su distribución y densidad habitacional.						
<b>Elementos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Presencia de habitantes:</i> en las veredas evaluadas y en caseríos vecinos, considerando su densidad habitacional. Se destacan los caseríos de Sabalito, Bijagual, Río Viejo y Cargueros. Aporte a la calificación= 100%.</li> </ul>						
<b>Ecosistema</b>	<b>ER</b>	<b>ED45</b>	<b>ED35</b>	<b>ED25</b>	<b>ED15</b>	<b>ED5</b>	<b>ED0</b>
<b>Calificación (%)</b>	100	100	100	100	100	100	100
<b>Interpretación</b>	Los habitantes de la región, su distribución y densidad habitacional aportan a un eventual proceso de RE.						

<b>Componente:</b> Potencial Sociodinámico (PS)							
<b>Variable o factor:</b> Empresas Mineras (EM)							
<b>Definición</b>	Presencia de empresas mineras legalmente constituidas y cuya aplicación del PMA aporte a la RE del ecosistema.						
<b>Elementos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Presencia o no de empresas mineras legales.</i> Basicamente se consideró Mineros S.A. Aporte a la calificación= 100%.</li> </ul>						
<b>Ecosistema</b>	<b>ER</b>	<b>ED45</b>	<b>ED35</b>	<b>ED25</b>	<b>ED15</b>	<b>ED5</b>	<b>ED0</b>
<b>Calificación (%)</b>	100	100	100	100	100	100	100
<b>Interpretación</b>	La empresa Minera en atención al PMA y a la gestión voluntaria, propicia y ha propiciado la recuperación de los ecosistemas.						

#### 4. FACTORES LIMITANTES – FL

Calificación de los **Factores Limitantes** en cada ecosistema evaluado.

**Definición:** Son aquellos que se hallan en cantidad, concentración, frecuencia o accesibilidad inferiores o superiores (al máximo de tolerancia) a las requeridas para el desarrollo del ecosistema (Modificada de PNR, 2010).

**Variables:** Escases de Nutrientes, Eutrofización de Ecosistemas, Escases de Propágulos y Disminución en la Cultura Anfibia.

<b>Componente:</b> Factores Limitantes (FL)							
<b>Variable o factor:</b> Escases de nutrientes (EN)							
<b>Definición</b>	La escasez o contrariamente la alta disponibilidad de los nutrientes en el humedal; depende principalmente del sustrato (suelo), la biota o materia orgánica (MO) y el intercambio del agua determinando su fertilidad. La ausencia de estos nutrientes provenientes de estos tres elementos se convierte en un limitante para efectos de la RE de ecosistemas típicos de la llanura de inundación (ej: cativales, tapafriales y asociaciones afines). Su calificación depende de cuántos están ausentes, es decir, si faltan los tres el limitante es del 100%. Igualmente, si no existe limitante, su calificación será de 0%.						
<b>Elementos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>Sustrato mineral:</i> considerado con el principal reservorio de nutrientes, principalmente de origen mineral. Aporte a la calificación= 33,3%.</li> <li><i>MO:</i> disponibilidad de nutrientes de origen orgánico (materia orgánica). Aporte a la calificación= 33,3%.</li> <li><i>Intercambio de agua:</i> disponibilidad de nutrientes provenientes del cauce principal o sus afluentes. Aporte a la calificación= 33,3%.</li> </ul>						
<b>Ecosistema</b>	<b>ER</b>	<b>ED45</b>	<b>ED35</b>	<b>ED25</b>	<b>ED15</b>	<b>ED5</b>	<b>ED0</b>
<b>Calificación (%)</b>	0	100	100	100	100	66,7	66,7
<b>Interpretación</b>	No se han perdido ni el sustrato ni la MO, además continúa el intercambio de agua con minerales finos, por tanto no es limitante en éste ecosistema.		Se han perdido el sustrato natural, el intercambio de agua y la MO en los ecosistemas intervenidos. Los tres elementos vuelven un limitante la escases de nutrientes.			Se han perdido el sustrato y la MO, continúa el intercambio de agua y por tanto el ingreso de nutrientes por el cause principal.	

<b>Componente:</b> Factores Limitantes (FL)							
<b>Variable o factor:</b> Eutrofización de ecosistemas (EU)							
<b>Definición</b>	Consiste en el acelerado enriquecimiento de nutrientes, tanto de aguas como de sustratos donde se asientan los humedales, principalmente por nitrógeno (N) y fósforo (P) entre otros elementos. Los nutrientes provienen directamente del río en los ecosistemas degradados. Su calificación afecta la oferta ambiental. Es preciso aclarar que ésta es una variable alóctona.						
<b>Elementos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>N y P:</i> contenidos o niveles de nitrógeno y fósforo en los humedales evaluados. Según Corantioquia y Neotrópicos (2000), los valores reportados para los humedales objeto de estudio presentan valores “normales”. Aporte a la calificación= 50%.</li> <li><i>Ortofósfatos (PO4):</i> la calificación se basó principalmente en la caracterización hecha por Neotropicos (2000) y Roldán (1992), considerando los valores superiores como referencia. Aporte a la calificación= 50%.</li> </ul>						
<b>Ecosistema</b>	<b>ER</b>	<b>ED45</b>	<b>ED35</b>	<b>ED25</b>	<b>ED15</b>	<b>ED5</b>	<b>ED0</b>
<b>Calificación (%)</b>	30	0	0	0	0	30	30
<b>Interpretación</b>	Se presentan concentraciones “medias” de PO4 en éste ecosistema, más sus contenidos de N y P son normales, por tanto su calificación es menor del 50%.		Los valores de N y P son normales, así como tampoco se presentan altas concentraciones de PO4, razón por la que no se presenta un limitante en éste ecosistema.			Se presentan concentraciones “medias” de PO4 en éste ecosistema, más sus contenidos de N y P son normales, por tanto su calificación es menor del 50%.	

<b>Componente:</b> Factores Limitantes (FL)							
<b>Variable o factor:</b> Escases de propágulos (DPR)							
<b>Definición</b>	Pérdida del banco de semillas <i>in situ</i> de vegetación típica, como la que actualmente se encuentra en el bosque referencia o aguas arriba de los sitios intervenidos. También se da por disminución de las poblaciones de fauna dispersora.						
<b>Elementos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Pérdida del banco de semillas in situ:</i> por acción de la explotación minera aluvial. Aporte a la calificación= 33,33%.</li> <li>• <i>Disminución de la fauna dispersora:</i> la pérdida de vegetación disminuye considerablemente la presencia y accionar de la fauna para la dispersión de semillas. Aporte a la calificación= 33,33%.</li> <li>• <i>Disminución ex situ de propágulos propios de la llanura de inundación:</i> la deforestación y cambios en el uso del suelo entre otros, están disminuyendo los propágulos en los humedales a lo largo de la cuenca, convirtiéndose en una problemática regional. Aporte a la calificación= 33,33%.</li> </ul>						
<b>Ecosistema</b>	<b>ER</b>	<b>ED45</b>	<b>ED35</b>	<b>ED25</b>	<b>ED15</b>	<b>ED5</b>	<b>ED0</b>
<b>Calificación (%)</b>	33,3	66,7	66,7	66,7	66,7	66,7	66,7
<b>Interpretación</b>	Se presenta una disminución de propágulos ex situ de la llanura de inundación. Continúan los bancos de semilla y la fauna dispersora.		Hay pérdida del banco de semillas, disminución de la fauna dispersora y de los propágulos ex situ de la llanura de inundación.				

<b>Componente:</b> Factores Limitantes (FL)							
<b>Variable o factor:</b> Disminución de la cultura anfibia (DCA)							
<b>Definición</b>	Se refiere a que los remanentes de la cultura anfibia en la región están disminuyendo (SAG, 2010), no solo por la itinerancia de los mineros y los cultivos ilícitos, sino también por los cambios en los usos del suelo y las prácticas culturales de las comunidades. Su calificación afecta el potencial sociodinámico.						
<b>Elementos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Afectaciones porcentuales a la cultura anfibia:</i> cambios secuenciales a la estructura del paisaje de la llanura de inundación, que afectan el accionar de las culturas anfibias en aspectos como caza, pesca, la agricultura, etc. No obstante, los cambios son propios de todas las culturas incluyendo las anfibias, aunque no a la rata actual por procesos detonantes como la minería, los cultivos ilícitos, etc. Aporte a la calificación= 0 a 100% según el estado del ecosistema evaluado.</li> </ul>						
<b>Ecosistema</b>	<b>ER</b>	<b>ED45</b>	<b>ED35</b>	<b>ED25</b>	<b>ED15</b>	<b>ED5</b>	<b>ED0</b>
<b>Calificación (%)</b>	40	70	70	70	70	80	80
<b>Interpretación</b>	Este ecosistema ha sufrido cambios paulatinos en el paisaje aluvial, que coartan el accionar de la cultura anfibia, principalmente por procesos como la minería, los cultivos ilícitos, la deforestación, etc. Sin embargo, no superan el umbral del 50% de afectación, puesto que permiten la continuidad de las actividades propias de la cultura anfibia.	Estos ecosistemas han sufrido un cambio considerable, debido principalmente a que ya superaron el umbral del 50% de afectación, luego de la explotación minera, lo que varía considerablemente las actividades propias de la cultura anfibia. No obstante, la retoma de prácticas y actividades relacionadas con la recuperación de los ecosistemas con más de 10 años de adaptación, coadyuva a mitigar dicho porcentaje.			Estos ecosistemas han sufrido un cambio abrupto, luego del proceso de explotación minera, modificando abruptamente las actividades propias de la cultura anfibia, en especial, por la imposibilidad de seguir con las prácticas en los ecosistemas resultantes.		

## 5. FACTORES TENSIONANTES – FT

Calificación de los **Factores Tensionantes** en cada ecosistema evaluado.

**Definición:** Factores que impiden, limitan o desvían la sucesión natural en áreas alteradas por disturbios naturales y antrópicos (GREUNAL, 2010).

### 5.1 FACTORES TENSIONANTES FÍSICOS QUE AFECTAN LA OFERTA AMBIENTAL

**Variables:** Contaminantes tóxicos, desconexión hidráulica, ausencia de sustrato mineral y orgánico, tiempo de residencia del agua y sobrecarga de sedimentos.

Componente: Factores Tensionantes (FT)							
Variable o factor: Contaminantes tóxicos (CTO)							
<b>Definición</b>	<p>Indican la presencia de toxicidad para la biota que puedan afectar su supervivencia y desarrollo, dada su bioacumulación y biomagnificación. Se basa en los niveles de referencia en aguas para la región y el país (Corantioquia y Neotropicos, 2000; DNP-FAO, 2003; Estudios y Asesorías Ambientales, 2005; Marrugo <i>et al.</i>, 2007; Marrugo <i>et al.</i>, 2008; Olivero <i>et al.</i>, 1995; Olivero <i>et al.</i>, 2004).</p> <p>Según el estudio de Corantioquia y Neotrópicos (2000), los niveles de mercurio (Hg) son bajos en la zona, considerando únicamente como referencia los niveles críticos para el hombre. Sin embargo, los niveles para la biota y para eventuales procesos de RE no se tienen establecidos en el país. Vale la pena aclarar que la presencia y transporte del contaminante se aborda en este estudio como un factor alóctono al ecosistema, y que su vector principal es el río Nechí. Adicionalmente, aunque existen otros elementos contaminantes (Cd, Cr, Pb, entre otros) y pesticidas, no se cuenta con estudios propios en la zona que certifiquen su presencia y en qué grado se encuentran.</p>						
<b>Elementos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>Magnitud de Hg en los sedimentos:</i> El estudio de Corantioquia y Neotrópicos (2000) argumenta que todos los niveles de Hg encontrados para los sedimentos en las ciénagas de la región, están entre 0,012 y 0,071 mg/Kg. Considerando también los estudios DNP-FAO (2003), Estudios y Asesorías Ambientales (2005), Marrugo <i>et al.</i> (2007 y 2008) y Olivero <i>et al.</i> (1995 y 2004), los niveles encontrados en los sedimentos son suficientes para calificarlos como tóxicos para la biota, dada su bioacumulación y biomagnificación para la misma, que está entre 10.000 y 100.000 veces mayor la concentración de Hg al aumentar de nivel en toda la biota. Aporte a la calificación= 100%.</li> </ul>						
<b>Ecosistema</b>	<b>ER</b>	<b>ED45</b>	<b>ED35</b>	<b>ED25</b>	<b>ED15</b>	<b>ED5</b>	<b>ED0</b>
<b>Calificación (%)</b>	100	100	100	100	100	100	100
<b>Interpretación</b>	<p>El porcentaje obedece a la contaminación aguda que acontece desde hace aproximadamente 450 años en la región (DNP-FAO, 2003), lo cual, aunque es un factor alóctono, es un tensionante grave para cualquier proceso de RE en la zona de estudio, en la región y en el área de influencia de la minería y los ríos asociados. Por lo anterior, su calificación es igual a 100%, la variable afecta considerablemente (muy alta) el proceso de RE; si su calificación es inferior, se convierte en un factor menos tensionante.</p>						

<b>Componente: Factores Tensionantes (FT)</b>							
<b>Variable o factor: Desconexión hidráulica (DH)</b>							
<b>Definición</b>	Proceso de alteración o inclusión de barreras a la dinámica natural de la entrada o salida de agua, sólidos y propágulos a la planicie aluvial. Es tensionante porque impide el flujo normal de la carga sólida y líquida a un ecosistema. Además el pulso de inundación e hidrosedimentológico no se manifiesta, lo que es imprescindible para la mayoría de las especies de humedales, principalmente en los eventos reproductivos.						
<b>Elementos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>Desconexión hidráulica</i>: interrupción de los humedales o ecosistemas evaluados con el río principal. Aporte a la calificación= 100%.</li> </ul>						
<b>Ecosistema</b>	<b>ER</b>	<b>ED45</b>	<b>ED35</b>	<b>ED25</b>	<b>ED15</b>	<b>ED5</b>	<b>ED0</b>
<b>Calificación (%)</b>	0	100	100	100	100	0	0
<b>Interpretación</b>	No existe desconexión.	Existe desconexión con el cause principal (río Nechí).				No existe desconexión.	

<b>Componente: Factores Tensionantes (FT)</b>							
<b>Variable o factor: Ausencia de sustrato mineral y orgánico (ASM)</b>							
<b>Definición</b>	Se considera un tensionante teniendo como base el ecosistema de referencia y sus condiciones, especialmente para el establecimiento de asociaciones vegetales en las cuales la presencia de texturas finas determina la presencia o no de algunas especies (cativales, mangle, tapafriales, yarumales, etc).						
<b>Elementos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>Ausencia del sustrato</i>: referida a la pérdida de sustrato mineral y orgánico luego de la explotación minera. Aporte a la calificación= 100%.</li> </ul>						
<b>Ecosistema</b>	<b>ER</b>	<b>ED45</b>	<b>ED35</b>	<b>ED25</b>	<b>ED15</b>	<b>ED5</b>	<b>ED0</b>
<b>Calificación (%)</b>	0	100	100	100	100	100	100
<b>Interpretación</b>	No hay ausencia.	Ausente; el sustrato mineral y orgánico típico de humedales no se encuentra.					

<b>Componente: Factores Tensionantes (FT)</b>							
<b>Variable o factor: Tiempo de residencia del agua (TRA)</b>							
<b>Definición</b>	Factor de restricción de establecimiento de los propágulos al interior de la planicie de inundación, que se manifiesta de dos formas: uno, cuando el tiempo de residencia del agua está por encima del promedio (tensión de inundación), impide germinación de semillas y establecimiento de plántulas y desarrollo de especies de fauna que requieren mayor tiempo seco (Función fitas). Dos, cuando el tiempo de residencia está por debajo del promedio, ocurre en lugar de la depositación, un transporte o lavado de sedimentos que restringe el establecimiento de propágulos, nutrientes y sedimentos.						
<b>Elementos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>Tiempo de residencia del agua por encima o por debajo del promedio</i>: su calificación será de 0 a 100, conforme la afectación al eventual proceso de RE. Aporte a la calificación= 0 a 100% según el estado del ecosistema evaluado.</li> </ul>						
<b>Ecosistema</b>	<b>ER</b>	<b>ED45</b>	<b>ED35</b>	<b>ED25</b>	<b>ED15</b>	<b>ED5</b>	<b>ED0</b>
<b>Calificación (%)</b>	0	100	100	100	100	50	50
<b>Interpretación</b>	No se presentan variaciones por encima o por debajo de lo normal.	Se presentan variaciones drásticas, puesto que los cargueros antiguos quedan aislados, dejando el TRA por encima del tiempo medio en la planicie de inundación.			No se presenta tan drásticamente, puesto que los cargueros y su topografía están quedando en condiciones similares a las originales, dejando el TRA por encima de lo normal, debido principalmente a la profundidad con la que quedan las posas.		



Componente: Factores Tensionantes (FT)							
Variable o factor: Sobrecarga de sedimentos (SS)							
<b>Definición</b>	Cantidad de carga sólida que transporta el río, especialmente por procesos de degradación en su área de captación, así como por el considerable incremento por la minería. Dicha sobrecarga podría impedir el desarrollo de la biota por su acumulación excesiva, alterar la germinación y emergencia de la misma y colmar los hábitats de fresaderos de peces.						
<b>Elementos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>Sobrecarga de sedimentos</i>: indica que en condiciones normales, ocurre sobrecarga de sedimentos, lo que redundaría en la celeridad de la colmatación por la pérdida de semillas, propáulos y biota en general. Aporte a la calificación= 0 a 100% según el estado del ecosistema evaluado.</li> </ul>						
<b>Ecosistema</b>	<b>ER</b>	<b>ED45</b>	<b>ED35</b>	<b>ED25</b>	<b>ED15</b>	<b>ED5</b>	<b>ED0</b>
<b>Calificación (%)</b>	30	0	0	0	0	60	60
<b>Interpretación</b>	Por su geomorfología, su cobertura vegetal y las estructuras de los caños que mitigan el impacto de la sobrecarga, lo que reduce la magnitud del tensionante.	Por su topografía reconfigurada y ausencia de sedimentos finos en los cargueros, no sucede la sobrecarga de sedimentos en los sitios evaluados.			Su topografía reconfigurada, la ausencia de sedimentos finos en los cargueros y la ausencia de cobertura vegetal, la sobrecarga es moderadamente tensionante para un proceso de RE.		

## 5.2 FACTORES TENSIONANTES BIÓTICOS QUE AFECTAN EL POTENCIAL BIÓTICO

**Variables:** Especies exóticas invasoras, bioacumulación y bioamplificación, sobreexplotación de la biota y sistema pulsátil.

Componente: Factores Tensionantes (FT)							
Variable o factor: Especies exóticas invasoras (EX)							
<b>Definición</b>	Es la presencia o inclusión de especies introducidas (árboles, peces y algunas macrófitas), cuyo origen es antrópico principalmente, aunque también pueden presentarse por causas naturales (por ejemplo dispersión de aves o el mismo río). Son tensionantes, una vez desplazan por su proceso reproductivo (especie agresiva e invasora) a las especies nativas. Debe aclararse que es un factor alóctono, por tanto, las actividades de RE que emprendan las empresas, no son un tensionante <i>per se</i> ; caso contrario sucede con las especies ícticas, donde el fenómeno se reporta hace décadas para toda la región y la zona Caribe (DNP-FAO, 2003). Si el tensionante incide en la vegetación, las macrófitas y los peces principalmente, se asume la ictiofauna como la de mayor impacto, por tanto la calificación del factor se basa en la presencia de especies de peces invasores.						
<b>Elementos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>Presencia de especies exóticas invasoras</i>: referida al avistamiento o presencia en muestreos de dichas especies en los ecosistemas evaluados. Aporte a la calificación= 100%.</li> </ul>						
<b>Ecosistema</b>	<b>ER</b>	<b>ED45</b>	<b>ED35</b>	<b>ED25</b>	<b>ED15</b>	<b>ED5</b>	<b>ED0</b>
<b>Calificación (%)</b>	100	100	100	100	100	100	100
<b>Interpretación</b>	La presencia de especies invasoras agresivas en un proceso de RE, es un factor altamente tensionante, principalmente para la ictiofauna, con especies como la tilapia, barbona y cachama, todas presentes en la zona de estudio (Corantioquia y Neotrópicos, 2000).						

<b>Componente: Factores Tensionantes (FT)</b>							
<b>Variable o factor: Bioacumulación y bioamplificación (BB)</b>							
<b>Definición</b>	Referida principalmente a la toxicidad por mercurio (Hg) en la cadena trófica de ecosistemas de humedales, dado que no se reportan estudios de contaminantes adicionales que puedan tener bioacumulación y bioamplificación demostrada en la región de estudio. Sin embargo, es necesario evaluar las concentraciones para el resto de la biota, puesto que no se tienen registros para otras especies y de otros elementos tóxicos bioacumulables.						
<b>Elementos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>Contenido de mercurio:</i> basado en la tabla de clasificación de Hg por Kg de tejido (Burguer y Gochfeld, 2011) de 0 a 100. Aporte a la calificación= 0 a 100% según el estado del ecosistema evaluado.</li> </ul>						
<b>Ecosistema</b>	<b>ER</b>	<b>ED45</b>	<b>ED35</b>	<b>ED25</b>	<b>ED15</b>	<b>ED5</b>	<b>ED0</b>
<b>Calificación (%)</b>	25	0	0	0	0	25	25
<b>Interpretación</b>	Basado en los valores reportados en el estudio de línea base (Estudios y Asesorías Ambientales, 2005) para las especies ícticas dentón, blanquillo y moncholo (0,03; 0,035 y 0,076 ppm), las concentraciones de Hg en tejido de pez son bajas.		Según la tabla de clasificación de Hg por Kg de tejido (Burguer and Gochfeld, 2011), en los cuerpos de agua aislados, los niveles de bioacumulación y biomagnificación bajan prácticamente a cero.			Basado en los valores reportados en el estudio de línea base (Estudios y Asesorías Ambientales, 2005) para las especies ícticas dentón, blanquillo y moncholo (0,03; 0,035 y 0,076 ppm), las concentraciones de Hg en tejido de pez son bajas.	

<b>Componente: Factores Tensionantes (FT)</b>							
<b>Variable o factor: Sobreexplotación de la biota (SB)</b>							
<b>Definición</b>	Basado especialmente en la ictiofauna (Corantioquia y Neotropicos, 2000; Estudios y Asesorías Ambientales, 2005) y en el recurso forestal, considerando que la primera hace parte de la dieta alimenticia y constituye una fuente de ingreso para los habitantes de la región, y la segunda, satisface materiales para viviendas e igualmente es una importante fuente de ingresos.						
<b>Elementos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>Sobreexplotación de la biota:</i> referido a la afectación de los recursos por explotación desmedida y sin control para cada ecosistema evaluado. Aporte a la calificación= 0 a 100% según el estado del ecosistema evaluado.</li> </ul>						
<b>Ecosistema</b>	<b>ER</b>	<b>ED45</b>	<b>ED35</b>	<b>ED25</b>	<b>ED15</b>	<b>ED5</b>	<b>ED0</b>
<b>Calificación (%)</b>	100	30	30	30	30	70	70
<b>Interpretación</b>	Su calificación se basó principalmente en la sobreexplotación al recurso íctico en el ecosistema de referencia.		Este porcentaje se fundamenta en que los ecosistemas intervenidos tienen aparceros (o campesinos que habitan las parcelas productivas) encargados de su control, o comunidades disminuidas que ejercen menor presión respecto al ecosistema de referencia.			Este porcentaje se fundamenta en la cercanía, conectividad e influencia del río, por tanto hay una gran sobreexplotación de los recursos.	

Componente: Factores Tensionantes (FT)							
Variable o factor: Sistema pulsátil (SP)							
<b>Definición</b>	El sistema pulsátil afecta los procesos de RE, una vez sea alterado el sistema o conformación geomorfológica de la planicie, con obras como albardones, diques, jarillones, cargueros y barreras que alteran los niveles naturales del agua. Es decir, los pulsos de inundación <i>per se</i> no son un tensionante, más su interacción con las alteraciones geomorfológicas, lo vuelven tensionante para con los procesos biológicos de la vegetación, la fauna y en especial para la ictiofauna. Un ejemplo de ello sucede con las especies reofilicas, cuyo alteración no permite que puedan llegar a la llanura de inundación, ciénagas y otros cuerpos de agua secundarios. Otro ejemplo sería la vegetación riparia y su fenología, que depende fisiológicamente de los pulsos, tal es el caso de los cativales y otras especies típicas en los basines. Algunos elementos para su calificación pueden estar basados en los atributos de la función Fitras (Neiff, 1990).						
<b>Elementos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Frecuencia</i>: número de veces que ocurre un fenómeno determinado dentro de una unidad de tiempo. Aporte a la calificación= 16,6%.</li> <li>• <i>Intensidad</i>: magnitud alcanzada por una fase de inundación o de sequía. Se mide generalmente por el valor alcanzado en el hidrómetro más próximo o en términos de caudal de agua. Aporte a la calificación= 16,6%.</li> <li>• <i>Tensión</i>: valor de la desviación típica desde las medias máximas o desde las medias mínimas de una curva de fluctuación hidrométrica del río. Se la define también como envolvente de fluctuación y permite establecer la variabilidad en la magnitud de los eventos de inundación y sequía. Se expresa generalmente en valores hidrométricos o en caudal. Aporte a la calificación= 16,6%.</li> <li>• <i>Recurrencia</i>: corresponde a la probabilidad estadística de un evento de inundación o sequía de magnitud determinada dentro de una centuria o de un milenio. Está dado por al frecuencia relativa. Aporte a la calificación= 16,6%.</li> <li>• <i>Amplitud</i>: también expresada como duración, es el segmento de tiempo que permanece el río en una fase de inundación o de sequía de determinada magnitud. Aporte a la calificación= 16,6%.</li> <li>• <i>Estacionalidad</i>: se refiere a la frecuencia estacional en que ocurren las fases de sequías o inundaciones. Los organismos, excepto el hombre, tienen ajustes de sus ciclos de vida (fertilidad, reproducción, crecimiento) a la época en que ocurren los eventos hidrológicos. Aporte a la calificación= 16,6%.</li> </ul>						
<b>Ecosistema</b>	<b>ER</b>	<b>ED45</b>	<b>ED35</b>	<b>ED25</b>	<b>ED15</b>	<b>ED5</b>	<b>ED0</b>
<b>Calificación (%)</b>	0	50	50	50	50	0	0
<b>Interpretación</b>	El régimen pulsátil se da normalmente en la cuenca del río Nechí (Corantioquia y Neotrópicos, 2000). En el ecosistema de referencia éste factor no es tensionante.		El régimen pulsátil se da normalmente en la cuenca del río Nechí (Corantioquia y Neotrópicos, 2000). Sin embargo, éstos ecosistemas carecen de tres elementos según la función Fitras: frecuencia, amplitud y estacionalidad, aunque en los alrededores se siguen dando los pulsos.			El régimen pulsátil se da normalmente en la cuenca del río Nechí (Corantioquia y Neotrópicos, 2000). En el ecosistema de referencia éste factor no es tensionante.	

### 5.3 FACTORES TENSIONANTES SOCIALES QUE AFECTAN EL POTENCIAL SOCIODINÁMICO

**Definición:** Un tensionante social es un factor que impide, limita o desvía, no solo el proceso de sucesión natural, sino también un proceso de recuperación, rehabilitación o restauración ecológica en un ecosistema cualquiera, especialmente con lo relacionado a procesos sociales.

**Variables:** Desconocimiento de los humedales y conflicto armado.

<b>Componente: Factores Tensionantes (FT)</b>							
<b>Variable o factor: Desconocimiento de los humedales (DH)</b>							
<b>Definición</b>	<p>El desconocimiento, valoración y falta de percepción de los humedales tropicales, trae consigo la falta de elementos para su uso y manejo, lo que redundará en el deterioro de los recursos asociados a los humedales y la pérdida irreparable de sus componentes funcionales. En otras palabras, el conocimiento o desconocimiento del ecosistema a restaurar, puede optimizar o impedir un proceso de RE. Memoria y patrimonio, aspectos que se han ido perdiendo o que los habitantes no han sido conscientes del verdadero valor de los humedales.</p> <p>Este factor se evaluó de forma general para cinco (5) gremios, incluyendo la percepción de sus representantes en los contextos social, cultural, biológico y económico de los humedales de la región, de tal forma que si desconocen y no valoran los recursos de los humedales, su calificación tenderá al 20%, o a 0% en caso contrario.</p>						
<b>Elementos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Institucional:</i> incluye la percepción de representantes del gobierno local. Aporte a la calificación= 0 a 20%.</li> <li>• <i>Productivo:</i> incluye la percepción de funcionarios de empresas de la región. Aporte a la calificación= 0 a 20%.</li> <li>• <i>Académico:</i> incluye la percepción del gremio estudiantil en la región. Aporte a la calificación= 0 a 20%.</li> <li>• <i>Población circundante:</i> percepción de representantes de las comunidades de veredas del área de influencia. Aporte a la calificación= 0 a 20%.</li> <li>• <i>Población en general:</i> percepción de representantes de las comunidades del municipio y la región. Aporte a la calificación= 0 a 20%.</li> </ul>						
<b>Ecosistema</b>	<b>ER</b>	<b>ED45</b>	<b>ED35</b>	<b>ED25</b>	<b>ED15</b>	<b>ED5</b>	<b>ED0</b>
<b>Calificación (%)</b>	64	64	64	64	64	64	64
<b>Interpretación</b>	<p>En general, existe un desconocimiento generalizado de los humedales, de su valoración, uso y manejo dado a los ecosistemas resultantes por parte de los habitantes. Adicionalmente, en la actualidad se siguen definiendo estrategias para optimizar y volver productivos los ecosistemas resultantes, es decir, las medidas de manejo que intentan restaurar o recuperar los ecosistemas con medidas que hasta ahora, no son completamente conocidas por todos los actores.</p> <p>El grado de desconocimiento resultante para los gremios fue: institucional (20%), productivo (20%), académico (4%), población circundante (0%) y población en general (20%); lo anterior teniendo en cuenta que a mayor porcentaje, mayor limitación para la RE.</p>						

<b>Componente: Factores Tensionantes (FT)</b>							
<b>Variable o factor: Conflicto armado (CA)</b>							
<b>Definición</b>	<p>El conflicto armado puede limitar, desviar y hasta impedir un eventual programa de RE, considerando que tanto la empresa como los diferentes actores sociales de la llanura de inundación que intervienen en el proceso, se ven afectados y hasta erradicados del área objeto de restauración. Una consecuencia de lo anterior, podría ser el desplazamiento forzado de los ejecutores (comunidades, empresas, autoridades ambientales), situación que se mantiene latente en la región, según Estudios y Asesorías Ambientales (2005).</p>						
<b>Elementos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Latencia del conflicto armado en la región:</i> basado en los antecedentes y en la probabilidad de ocurrencia de la problemática. Aporte a la calificación= 0 a 100%, según las condiciones del ecosistema evaluado.</li> </ul>						
<b>Ecosistema</b>	<b>ER</b>	<b>ED45</b>	<b>ED35</b>	<b>ED25</b>	<b>ED15</b>	<b>ED5</b>	<b>ED0</b>
<b>Calificación (%)</b>	100	100	100	100	100	100	100
<b>Interpretación</b>	<p>Existe una latencia del conflicto armado, dado que es un proceso activo tradicional y potencialmente en la región.</p>						

## Bibliografía

- Álvarez C., J. M. 2008. De Robert Morris a Eden Project: otras formas de rehabilitación minera para uso público. 9º Congreso Nacional del Medio Ambiente. Cumbre del Desarrollo Sostenible. Universidade da Coruña (España).
- Amorós C. and Bornette G. 2002. Connectivity and biocomplexity in waterbodies of riverine floodplains. *Freshwater Biology*, 47: 761-776.
- Andrés, P. 2009. La restauración ecológica: objetivos y aspectos generales. En: Barrera *et al.* 2009. Restauración ecológica de áreas degradadas por minería a cielo abierto. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C.
- Arias A., P. A. 1985. Las ciénagas de Colombia. En: Divulgación Pesquera. Inderena - Ministerio de Agricultura, 1986. Vol. XXIII, N°3, 4, 5. Bogotá D. E., pag: 37 - 70.
- Arscott D. B., Tockner K. & Ward J. V. 2000. Aquatic habitat diversity along the corridor of an Alpine floodplain river Fiume Tagliamento, Italy. *Archiv für Hydrobiologie*, 149: 679-704.
- Banco de Iniciativas Regionales para el Desarrollo de Antioquia -BIRD Antioquia-. 2009. Potencial Minero antioqueño. Visión General. Edición 1.
- Barber, M. C. (ed.). 1994. Environmental monitoring and assessment program indicator development strategy, EPA/620/R-94, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Environmental Resources Lab, Athens, GA.
- Barbier, E., M. Acreman and D. Knowler. 1997. Valoración económica de los humedales - Guía para decisores y planificadores. Oficina de la Convención de Ramsar.
- Barrera C., J. I. 2009. Barreras al restablecimiento natural y a la restauración ecológica de áreas afectadas por minería a cielo abierto. En: Barrera Cataño, *et al.* 2009. Restauración ecológica de áreas degradadas por minería a cielo abierto. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C.
- Barrera C., J. I. y H. F. Ríos. 2002. Acercamiento a la ecología de la restauración. Perez – Arbelaezia. No. 13: 33-46.
- Barrera C., J. I., Aguilar G., M. y D.C. Rondón C. (eds.). 2008. Experiencias de restauración ecológica en Colombia. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, D.C. 274p.
- Barrera C., J. I., Contreras R., S., Ochoa C., A., Perilla C., S. C., Garzón Y., N. y D. C. Rondón C. (eds). 2009. Restauración ecológica de áreas degradadas por minería a cielo abierto. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C.
- Bradshaw, A. D. 1984. Ecological principles and land reclamation practice. *Landscape Planing* 11:35-48.
- Bradshaw, A. D. 1987. Restoration: An acid test for ecology. En: W.R. Jordan III, M.E, Gilpin y J.D Aber (eds.). *Restoration ecology: A synthetic approach to ecological*. Cambridge University Press, EE.UU.

- Brinson, M. 2004. Niveles extremos de variación de patrones y procesos en humedales. Department of Biology, East Carolina University, Greenville, North Carolina (27858), USA. En: Malvárez & Bó, 2004.
- Brown, S. and A. E. Lugo. 1994. Rehabilitation of tropical lands: a key to sustaining development. *Restoration ecology* 2(2):97-111.
- Burguer, J. and Gochfeld, M. 2011. Mercury and selenium levels in 19 species of saltwater fish from New Jersey as a function of species, size, and season. *Sci. Total Environ.* 409, 1418-1429.
- Cardona, C. y Castañeda, N. 2008. Humedales artificiales, un compromiso de Mineros S.A. En: Resúmenes. Primer Congreso Nacional de Ciénagas y Lagunas de Colombia.
- Carrick, P. J. y R. Krüger. 2006. Restauración de áreas degradadas en la zona baja de Namaqualand: Lecciones desde la experiencia de la minería y la dinámica ecológica regional. *Journal of Arid Environments* 70 (2007) 767–781 – ELSEVIER.
- Casco, S. L., I. Basterra de Chiozzi y J. J. Neiff. 2005. La vegetación como indicador de la geomorfología fluvial. *Revista Brasileira de Geomorfología. - Geomorfología Fluvial* 6 (1): 123-136 p.
- Christensen, N.L., A.M. Bartuska, J.H. Brown, S. Carpenter, C. D'Antonio, R. Francis, J. F. Franklin, J. A. MacMahon, R. F. Noss, D. J. Parsons, C. H. Peterson, M. G. Turner and R. G. Woodmansee. 1996. The Report of the Ecological Society of America Committee on the Scientific Basis for Ecosystem Management. *Ecological Applications* 6:665–691. <http://dx.doi.org/10.2307/2269460>
- Contraloría General de Antioquia. 1997. Recursos naturales y medio ambiente en Antioquia. Contraloría General de Antioquia. Medellín, 237 p.
- Contreras S., Romo R., Muñoz A. y Sánchez J. 2005. Pruebas de germinación de dos leguminosas herbáceas con potencial para rehabilitar bancos de minería a cielo abierto. *Avances en la investigación científica en CUCBA (México)*.
- Corantioquia y Neotropicos. 2000. Ciénagas de la Región Panzenú. Contrato 2018 de 1999. Informe Final.
- Corantioquia. 2012. Modelos de recuperación de áreas degradadas por minería de oro de aluvión. Ponencia Simposio Bosques y Minería Responsable. Agosto 27 y 28 de 2012.
- Corpochivor. 2001. Estudio básico de restauración ecológica para el área subandina (2000 - 2600 m.s.n.n) en la cuenca alta de la quebrada "La Quigua" del municipio de Garagoa (Boyacá). Fundación Bachaqueros-Corpochivor.
- Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal - CONIF. 2004. Restauración de ecosistemas a partir del manejo de la vegetación. Guía metodológica. ISBN 958-33-482. 98 p.
- Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal - CONIF. 2004. Restauración de ecosistemas a partir del manejo de la vegetación. Guía metodológica. ISBN 958-33-482. 98 p.
- De Petre, A., Panigatti, J. y J. Ferrer. 2012. Diccionario de términos edafológicos y otras voces asociadas. AACS – UNER.
- Defensoría del Pueblo Colombia. 2010. La minería de hecho en Colombia. Defensoría Delegada para los Derechos Colectivos y del Ambiente. Diciembre de 2010. ISBN 958-958-8571-29-4.
- DNP-FAO. 2003. Programa de Desarrollo Sostenible de la Región de la Mojana. Bogotá. D.C.: Gente Nueva Editorial.

- Durán Valsero, J. J., A. García de Domingo y P. Robledo Ardila. 2009. Propuesta de clasificación genético-geológica de humedales. Aplicación a los humedales españoles incluidos en el Convenio de Ramsar. *Boletín Geológico y Minero*, 120 (3): 335-346. ISSN: 0366-0176.
- Elosegí A. y S. Sabater. 2009. Conceptos y técnicas en ecología fluvial. Separata del capítulo 2. El río como ecosistema. Primera edición: abril 2009. ISBN: 978-84-96515-87-1. En: *El río como ecosistema fluvial*. Contraloría General de Antioquia. 1994. *Crónicas del agua en Antioquia. Nuestros ríos hechos de tiempo y agua*. Medellín, 190 p.
- Escobar, L. A. 2009. Recuperación de áreas degradadas por minería en el Bajo Cauca, departamento de Antioquia, Colombia. *Corantioquia*. En: Barrera Cataño, *et al.* 2009. *Restauración ecológica de áreas degradadas por minería a cielo abierto*. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C.
- Estudios y Asesorías Ambientales - Ingenieros Consultores Ltda. 2005. Plan de Manejo Ambiental de la explotación aurífera por dragado del río Nechí – Mineros S.A.
- Fals B., O. 1979. *Historia doble de la Costa, Mompox y Loba*. Carlos Valencia Editores, Bogotá.
- Gallego, J. B. 2008. Seguimiento de la restauración de los ecosistemas del río Guadiamar: propuesta de un modelo conceptual. En: Montes C. & F. Carrascal. *La restauración ecológica del río Guadiamar y el proyecto del Corredor Verde: la historia de un paisaje emergente*. pp. 191-202. Conserjería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla.
- Gil P., N. E. 2004. Los bosques inundables del río Amazonas – Colombia.
- Gil P., N. E. 2010. Documento base para la discusión en restauración ecológica. Sin Publicar. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Maestría en Ciencias y Biotecnología. 149 p.
- Gil P., N. E. y L. Ceballos U. 2011. Propuesta para calcular el potencial de restauración en la ciénaga del Tigre, Yondó, Antioquia, Colombia. 4th World Conference on Ecological Restoration. México. Book of Abstracts.
- Gil P., N. E., García B., F. L. y Montoya, M. 2011. Plan de manejo ambiental basado en criterios de restauración ecológica para la ciénaga El Tigre, Yondó, Antioquia. 180 p.
- Gil P., N. E., García B., F., Cuadros, T. y A. Garcés. 2007. Capítulo 4: Análisis Ecológico del área de incidencia por las obras del dique marginal. En: Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. *Dique Marginal de Yondó*. Posgrado en Recursos Hidráulicos. Universidad Nacional de Colombia.
- Gobernación de Antioquia y Escuela de Ingeniería de Antioquia. 2009. *Potencial Minero Antioqueño. Visión General*. Edición 1.
- Gobernación de Caldas – Universidad de Caldas – Corpocaldas. 2008. *Prácticas ambientalmente amigables y prácticas ambientalmente nocivas en la minería aluvial de oro*.
- Gómez G., E. A. 2008a. Caracterización del hidroperíodo en la cuenca de Ayapel. En: *Resúmenes. Primer Congreso Nacional de Ciénagas y Lagunas de Colombia*. Universidad De Antioquia, Universidad Nacional De Colombia, Medellín-Bogotá, Arfo Editores E Impresores Ltda. P. 152.

- Gómez G., E.A. 2008b. Formalización del concepto de pulso de inundación en humedales de tierras bajas. En: Resúmenes. Primer Congreso Nacional de Ciénagas y Lagunas de Colombia. Universidad De Antioquia, Universidad Nacional De Colombia, Medellín-Bogotá, Arfo Editores E Impresores Ltda. P. 135.
- Grupo de Restauración Ecológica –GREUNAL-. 2010. Guías técnicas para la restauración ecológica de ecosistemas. Convenio de Asociación No. 22 entre Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) y Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (ACCEFYN).
- Heredia, M. 2002. Contribución al conocimiento taxonómico y ecológico de la familia Cichlidae: Ictiofauna de la Reserva de la Biósfera de Calakmul, Campeche. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Metropolitana, México D.F., México.
- Hobbs, R. J. and Norton, D. A. 1996. Towards a conceptual framework for restoration ecology. *Restoration Ecology*. 4: 93–110.
- Holdridge, L. R. 1967. Life zone ecology. San José, Costa Rica. Tropical Science Center. 206 p.
- Holdridge, L. R. 1982. Ecología basada en zonas de vida. 3 ed. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, IICA, San José, Costa Rica. 216 Pág.
- Hughes F. M. R. 2002. Biogeomorfología de la llanura de inundación. *Geomorphology*, Volume 44, Issues 3-4, 1 May, Pages 259-271.
- IDEA. 2001. Prediagnóstico Físico y Socio Cultural Participativo del Estado Ambiental de los Humedales del Magdalena Medio Antioqueño en la Jurisdicción de Corantioquia. Medellín, 193 p.
- Imbellone, P. A., Giménez, J. E, Panigatti, J. L. 2010. Suelos de la Región Pampeana: Procesos de formación. Ed. INTA. Buenos Aires. 320 pp.
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt – IAvH-. 1998. Biosíntesis. Boletín No. 9 Nov. 1998. ISSN 0123-7896.
- Izquierdo, I., Caravaca B., M. F., Alguacil G., M., Hernández V., G. y A. Roldán G. 2005. Use of microbiological indicators for evaluating success in soil restoration after revegetation of a mining area under subtropical conditions. *Applied Soil Ecology* 30 (2005) 3–10.
- Jaramillo J., D.F. 2014. El Suelo: origen, propiedades, espacialidad / Daniel F. Jaramillo J. Segunda edición. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. 553 p.
- Junk W.J., Bayley P.B., and Sparks R.E. 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Dodge DP Can Spec Public Fish Aquatic Sci* 106 (1989): 110-127.
- Junk, W. 1984. Amazonian floodplains: Their ecology, present and potential use. *Hydrobiologie tropical*. 15 (4): 285 – 301.
- Krebs, C. J. 2001. Ecología: estudio de la distribución y la abundancia. Segunda edición. Oxford University Press. 753p.
- Kupschus, S. and D. Tremain. 2001. Associations between fish assemblages and environmental factors in nearshore habitats of a subtropical estuary. *J. Fish Biol.* 58: 1383-1403.
- Londoño G., M. A. 2008. Hábitats anfíbios - arquitectura en torno a humedales. Maestría en hábitat. Universidad Nacional de Colombia- Sede Medellín.
- Machado A., A. 1990. Ecología de los peces de las áreas inundables de los llanos de Venezuela. En: *Interciencia* Nov-Dic 1990, Vol.15 No.6. Caracas, pag: 411-423.



- Malvárez, A. I., R. F. Bó. 2004. Documentos del curso-taller: bases ecológicas para la clasificación e inventario de humedales en Argentina. 1a. ed. – Buenos Aires. 120 p.
- Marchese M. and Ezcurra de Drago I. E. 1992. Benthos of the lotic environments in the middle Parana River system: Transverse zonation. *Hydrobiologia*, 237: 1-13.
- Márquez H., R. 2004. Fundamentos teóricos y convenciones para la restauración ecológica: aplicación de conceptos y teorías a la resolución de problemas en restauración. Instituto Nacional de Ecología. México, D. F.
- Márquez H., R. 2007. Fundamentos teóricos y convenciones para la restauración ecológica: aplicación de conceptos y teorías a la resolución de problemas en restauración. Instituto Nacional de Ecología, Periférico 5000, 2° piso. Col. Insurgentes-Cuicuilco, C. P. 04530 México, D. F. En: Fundamentos teóricos restauración Ecológica. MHTML.
- Marrugo J., Lans E., Benítez L. 2007. Finding of mercury in fish from the Ayapel marsh, Cordoba, Colombia. *Rev.MVZ Córdoba* 12 (1): 878-886.
- Marrugo N., A., Olivero V., J. y E. Lans C. 2008. Total mercury and methylmercury concentrations in fish from the Mojana region of Colombia. Norberto Benitez. *Environ Geochem Health*. 30:21–30.
- Martin D., J. F., Pedraza, J., Díez, A., Sanz, M. M. and R. M., Carrasco. 1998. A geomorphological desing for the rehabilitation of an abandoned sand quarry in central Spain. *Landscape and Urban Planning* 42:1-14.
- Mendiondo, E., Neiff, J. y Depettris, C. 2000. Interpretación de humedales por el abordaje METAS-REVIVIR. In: XV Cong. Arg. del Agua, 2000, Termas Río Hondo, Sgo. Estero. Actas. Santiago del Estero: Ed. UNSE, Páginas: 12. <http://libnet.unse.edu.ar/Rhid/R/R01020.pdf>.
- Methven, D. A., R. L Haedrich & G. A. Rose. 2001. The fish assemblage of a Newfoundland estuary: diel monthly and annual variation. *J. Fish Biol.* 52: 669-687.
- Mineros S.A. 2010. Un modelo de rehabilitación de ecosistemas. Ponencia Simposio de Bosques y Minería Responsable. Jardín Botánico Medellín; 27 y 28 de agosto de 2012.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT-. 2010a. Plan Nacional de Restauración - Restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de áreas disturbadas.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial –MAVDT-. 2010b. Decreto 2820 del 5 de agosto de 2010, “Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre Licencias Ambientales”.
- Miranda M., B.T. 2009. Estrategias para la restauración del componente suelo en áreas afectadas por minería. En: Barrera Cataño, *et al.* 2009. Restauración ecológica de áreas degradadas por minería a cielo abierto. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C.
- MUNICIPIO DE EL BAGRE. Plan Básico de Ordenamiento Territorial - PBOT -. 2001 – 2009. El Bagre, escenario estratégico para el desarrollo sostenible. 2001.
- Naranjo, L. G., G.I. Andrade y E. Ponce. 1999. Humedales Interiores de Colombia: Bases técnicas para su conservación y uso sostenible. Instituto Humboldt y Ministerio del Medio Ambiente. Bogotá.
- National Research Council – NRC-. 1992. Restoration of Aquatic Ecosystems: Science, Technology, and Public Policy. Washington, DC: The National Academies Press.

- Neiff, J. J. 1990. Aspects of primary productivity in the lower Paraná and Paraguay riverine system. *Acta Limnol. Bras.* Vol. III, Tomo I: 77-113.
- Neiff, J. J. 1997. El régimen de pulsos en ríos y grandes humedales de Sudamérica, pp 99-149. En: *Tópicos sobre grandes humedales sudamericanos*. Malvárez, A.I. y P. Kandus (eds.), ORCYT-MAB (UNESCO), Montevideo, Uruguay. 106 p.
- Neiff, J. J. 2001. Diversity in some tropical wetland systems of South América, pp 157-186. En: *Biodiversity in wetlands: assessment, function and conservation*, Vol II. Gopal, B., W. Junk y J. Davis (Eds.). Backhuys Publish. The Netherlands.
- Neiff, J. J. y A. I. Malvárez. 2004. Grandes Humedales Fluviales. 77-85 en: *Malvárez, A.I. y R.F. Bó (Comp.). Documentos del curso-taller Bases ecológicas para la clasificación e inventario de humedales en Argentina" FCEN (UBA) - RAMSAR - USFWS -USDS - Buenos Aires, 1-119.*
- Neiff, J. J., Poi de Neiff, A. S. G., Casco, S. L. 2005. Importancia ecológica del Corredor Fluvial Paraguay-Paraná como contexto del manejo sostenible en: [www.neiff.com.ar/Archivo42.pdf](http://www.neiff.com.ar/Archivo42.pdf)
- Neiff, J. J., S. L. Casco y J. C. Arias. 2004. Glosario de humedales de Iberoamérica. 336-380. En: Neiff, J.J. (Ed.). *Humedales de Iberoamérica*. CYTED, Subprograma XVII – Red Iberoamericana de Humedales. Cuba. ISBN: 959-270-036-2. 380 páginas.
- Neira F., E. 1999. Reingeniería política. Análisis del caso colombiano, Mérida. Universidad de Los Andes 1999, p. 31–37.
- Nicolau I., J. M., Martín D., J. F., Pérez D., S., Comín S., S., Martín M., C. y A. L. Vela. 2009. La reconstrucción del relieve en la restauración de la minería a cielo abierto. En: Barrera *et al.* 2009. *Restauración ecológica de áreas degradadas por minería a cielo abierto*. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C.
- Noon, B. R., Spies, T.A. and Raphael, M.G. 1999. Conceptual basis for designing an effectiveness monitoring program. En: *The strategy and designing of the effectiveness program for the Northwest Forest Plan*, Mulder, B.S., Noon, B. R., Spies, T.A., Raphael, M.G., Palmer, C.J., Olsen, A.R., Reeves, GH. and Welsh, H.H. Jr. (eds.), USDA For. Serv. Gen. Tech. Rept., PNW-GTR-437, Pacific Northwest Station, Portland, OR, pp. 21-48.
- Ochoa, G. y J. Oballos. 2006. *Diccionario de Suelos*. Universidad de los Andes. Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico. Mérida – Venezuela.
- Olivero V., J., Johnson R., B., Mendoza M., C., Paz M., R. y R. Olivero V. 2004. Mercury in the aquatic environment of the village of Caimito at the Mojana region, north of Colombia. *Water, Air, and Soil Pollution* 159: 409–420.
- Olivero V., J., Mendonza C. y J. Mestre. 1995. Mercurio en cabello de diferentes grupos ocupacionales en una zona de minería aurífera en el Norte de Colombia. *Rev saude publica.* 29 (5):376-79.
- Organización de las Naciones Unidas – ONU -. 1992. *Convenio Sobre Diversidad Biológica*. Río de Janeiro. Brasil.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – FAO. 2009. *Guía para la descripción de suelos*. Cuarta Edición. Roma.
- Petry, P., P. B. Bayley and D. F. Markle. 2003. Relationships between fish assemblages, macrophytes and environmental gradients in the Amazon River floodplain. *J. Fish Biol.* 63: 547-579.
- Pickett, S., T. A. and P. S., White. 1985. *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. Academic Press Inc. 472p.

- Prieto, A., J. O. Rangel, A. Rudas y P. Palacios. 1995. Aspectos estructurales y tipos de vegetación de la Isla de Mocagua, río Amazonas. *Caldasia* 17(82/85): 463-479.
- Ramsar - Grupo de Trabajo sobre Cultura. 2008. Cultura y humedales. Un documento de orientación de Ramsar. Convención sobre los Humedales (Ramsar, 1971). Gland.
- Recover. 2001. Monitoring and assessment plan draft 29 March 2001. Comprehensive Everglades Restoration Plan (CERP). Florida, USA.
- Roldán, P. G. 1992. Fundamentos de limnología neotropical. 1<sup>o</sup> edición. Editorial Universidad de Antioquia. Colección Ciencia y Tecnología U de A. Medellín, 529 p.
- Romero, M. I., Ramil, P., Amigo, J., Rodríguez G., M. A. y Rubinos, M. 2004. Notas sobre la flora de humedales en el noroeste ibérico. *Bot. Complut.* 28: 61-66.
- Rosselli S., L. 2008. Clasificación del potencial de restauración de los humedales del Distrito Capital de Bogotá usando las aves como grupo indicador. Libro De Resúmenes Primer Congreso Nacional Ciénagas Y Lagunas De Colombia. Homenaje Al Prof. Dr. Thomas Van Der Hammen. Universidad De Antioquia, Universidad Nacional De Colombia, Medellín-Bogotá, Arfo Editores e Impresores Ltda. p.108-110, v. <, fasc.
- Ruiz J., M. y T. Mitchell A. 2005. Estructura de la vegetación, diversidad de especies y procesos ecosistémicos como medidas de éxito en restauración. *Forest Ecology and Management* 218 (2005) 159–173. - ELSEVIER.
- Saint Paul, U. 1994. Der neotropische überschwemmungswald : Beziehung zwischen fish und umwelt. Final Rep. BMFTN: 033936617. BMFT.
- Servicios Ambientales y Geográficos – SAG S.A. 2005. Estudio de sucesión vegetal en áreas de abandono de minería aluvial.
- Servicios Ambientales y Geográficos – SAG S.A. 2006. Caracterización Social Área de influencia de Sabalito.
- Servicios Ambientales y Geográficos – SAG S.A. 2009. Caracterización de las coberturas vegetales y su medio de crecimiento en el área de influencia de Mineros S.A. – Vereda Sabalito parte baja.
- Servicios Ambientales y Geográficos – SAG S.A. 2010. Caracterización Social Comunidad de Sabalito.
- Taylor, C. M. and M. L. Warren. 2001. Dynamics in species composition of stream fish assemblages: environment variability and nested subset. *Ecology* 82: 2320-2330.
- Unidad de Planeación Minero Energética – UPME-. 2007. Producción más limpia en la minería del oro en Colombia. Mercurio, cianuro y otras sustancias. Subdirección de planeación minera.
- Urrego G., L. E. 1997. Los bosques inundables del medio Caquetá. Caracterización y sucesión. En: Estudios en la amazonía colombiana, tomo XIV. Fundación Tropenbos, Colombia, Bogotá.
- Vanegas V., H.A y N. E. Gil. 2012. Modelo de restauración para humedales intervenidos por minería aurífera aluvial en el Bagre – Antioquia, Colombia. Ponencia Simposio de Bosques y Minería Responsable. Jardín Botánico Medellín; 27 y 28 de agosto de 2012.
- Wantzen K. M. & Junk W. J. 2000. The importance of stream-wetland-systems for biodiversity: A tropical perspective. In B. Gopal, W.J. Junk & J.A. Davies eds. *Biodiversity in Wetlands: Assessment, function and conservation*, 11-34, Leiden, The Netherlands, Backhuys Publishers.

- Ward J. V., Tockner K. and Schiemer F. 1999. Biodiversity of floodplain river ecosystems: Ecotones and connectivity. *Regulated Rivers: Research & Management*, 15: 125-139.
- Welcomme, R. L. 1985. River fisheries. *FAO Fisheries Technical Paper*: 262. Roma, Italia.
- Zapata, H., R. D. 2006. Química de los procesos pedogenéticos. Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín.