



UNODC
Oficina de las Naciones Unidas
contra la Droga y el Delito

GOBIERNO DE COLOMBIA



Colombia

Explotación de oro de aluvión

Evidencias a partir de percepción remota

Junio 2016

MINJUSTICIA

MINAMBIENTE

MINMINAS



Explotación de oro de aluvión

Evidencias a partir de percepción remota

Junio 2016

MINISTERIO DE JUSTICIA Y DEL DERECHO:

Jorge Eduardo Londoño Ulloa, Ministro de Justicia y del Derecho.

Carlos Medina Ramírez, Viceministro de Política Criminal y Justicia Restaurativa.

Javier Andrés Flórez Henao, Director de Política contra las Drogas y Actividades Relacionadas.

Martha Paredes Rosero, Subdirectora Estratégica y de Análisis.

Apoyo técnico y temático:

Alexander Rivera Álvarez.

Carlos Andrés Mora González.

Diana Katherine Velásquez Aguirre.

Erika Yadira Padilla Rodríguez.

Herbert Augusto Infante Romero.

Marye Saenz Suazo.

Viviana Gómez Forero.

UNODC:

Bo Mathiasen, Representante en Colombia.

Hyarold Leonardo Correa Fajardo, Coordinador Técnico SIMCI.

Sandra Constanza Rodríguez Castillo, Analista Senior en Procesamiento Digital.

Orlando González, Analista Senior en Procesamiento Digital.

Zully Clara Sossa Suárez, Analista Senior en Procesamiento Digital.

María Isabel Velandia Casallas, Analista Senior en Procesamiento Digital.

Daniel Oswaldo León Prieto, Analista Junior en Procesamiento Digital.

Jerson Andrés Achicanoy Chicaiza, Analista Junior en Procesamiento Digital.

Germán Andrés Clavijo Hincapié, Líder Área SIG.

Omar Favián Pachón Quevedo, Analista SIG y Sensores Remotos.

Guillermo Arturo Barbosa, Analista SIG y Sensores Remotos.

Mauricio González Caro, Ingeniero de Soporte PDI.

Nelson Rafael Palacios Ibarra, Ingeniero de Soporte SIG.

Lina Paola Arévalo Méndez, Analista e Investigadora de Apoyo.

María Ximena Gualdrón Parra, Ingeniera de Campo.

Martha Liliana Martínez Velásquez, Diseñadora Gráfica.

Angela Me, Jefe, Sección de Investigación y Análisis de Tendencias, Viena.

Coen Bussink, Experto en Sensores Remotos, SIG, Sección de Investigación y Análisis de Tendencias, Viena.

AGRADECIMIENTOS

Las siguientes organizaciones e individuos contribuyeron con la realización del estudio “Explotación de oro de aluvión. Evidencias a partir de percepción remota”, año 2014 y la preparación del presente informe:

Gobierno de Colombia:

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Ministerio de Minas y Energía.

Ministerio de Salud y Protección Social.

Policía Nacional – Dirección de Carabineros y Seguridad Rural – DICAR.

Armada Nacional de Colombia.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC.

Departamento Nacional de Planeación – DNP.

Dirección de Inteligencia Policial, Centro de Inteligencia Prospectiva – CIPRO.

Otros

Daniel M. Rico, Consultor en política antinarcoóticos e investigador de la Universidad de Maryland.

Fiscalía General de la Nación, Dirección Seccional Guanía – Vaupés.

Gobernación del Guainía.

Proyecto “Conservación de la biodiversidad en paisajes impactados por la minería en la Región del Chocó Biogeográfico” a cargo de World Wildlife Fund – WWF, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo – PNUD y Fondo para el Medio Ambiente Mundial – GEF (por sus siglas en inglés).

La implementación del estudio “Explotación de oro de aluvión. Evidencias a partir de percepción remota”, para el año 2014 ha sido posible gracias al aporte financiero del Gobierno de Colombia.

A menos que se especifique otra, todas las gráficas, tablas, ilustraciones y figuras de este informe tienen como fuente el Gobierno de Colombia dentro del contexto del Sistema de Monitoreo apoyado por UNODC.

Fotografías. UNODC/SIMCI a menos que se especifique otra.

TABLA DE CONTENIDO

EXECUTIVE SUMMARY	9
RESUMEN EJECUTIVO	11
RESUMEN DE RESULTADOS.....	13
PRINCIPALES HALLAZGOS	15
INTRODUCCIÓN.....	17
ALCANCES	19
SECCIÓN I	
MODELO DE MONITOREO.....	25
LÍNEA BASE: EVIDENCIAS DE EXPLOTACIÓN DE ORO DE ALUVIÓN CON USO DE MAQUINARIA EN TIERRA EN EL TERRITORIO COLOMBIANO	31
TERRITORIO AFECTADO POR EVIDENCIAS DE EXPLOTACIÓN DE ORO DE ALUVIÓN Y CULTIVOS DE COCA	35
ZONAS DE MANEJO ESPECIAL.....	37
Parques Nacionales Naturales.....	37
Consejos comunitarios de comunidades afrodescendientes	43
PÉRDIDA DE COBERTURAS DE ALTO VALOR AMBIENTAL POR ACTIVIDADES DE EXPLOTACIÓN DE ORO DE ALUVIÓN	44
CUENCAS HIDROGRÁFICAS	46
RELACIÓN ENTRE EVOA Y FIGURAS AUTORIZADAS POR LA LEY PARA EXPLOTACIÓN DE ORO EL SECTOR MINERO EN LOS ÚLTIMOS TIEMPOS	52
SECCIÓN II	
DETECCIÓN DE ALTERACIÓN EN SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN MEDIANTE ÍNDICES ESPECTRALES (ESTUDIO DE CASO).....	61

LÍNEA BASE: COMPORTAMIENTO ESPECTRAL NATURAL DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN	66
DETECCIÓN DE CAMBIOS EN EL COMPORTAMIENTO NATURAL MEDIANTE LA OBSERVACIÓN Y ANÁLISIS DE ÍNDICES ESPECTRALES	69
DINÁMICA ESPACIAL DE COBERTURAS EN TORNO A ACTIVIDADES DE EXPLOTACIÓN DE ORO DE ALUVIÓN CON USO DE MAQUINARIA EN TIERRA EN LA REGIÓN PACÍFICO (ESTUDIO DE CASO)	75
RIESGO DE AFECTACIÓN EN LAS POBLACIONES POR ACUMULACIÓN DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN POR PRESENCIA DE ACTIVIDADES DE EXPLOTACIÓN DE ORO DE ALUVIÓN EN EL PACÍFICO COLOMBIANO (ESTUDIO DE CASO).....	96
SECCIÓN III	
ANEXO 1 METODOLOGÍA PARA EL MODELO DE MONITOREO	109
INTERPRETACIÓN VISUAL DE EVOA CON USO DE MAQUINARIA EN TIERRA	113
INTEGRACIÓN DE INFORMACIÓN	126
ANEXO 2: EVOA CON USO DE MAQUINARIA EN TIERRA EN RESGUARDOS INDÍGENAS, 2014	137
ANEXO 3: SELECCIÓN DE ÍNDICES ESPECTRALES PARA LA DETECCIÓN DE ALTERACIÓN DE SEDIMENTOS SUSPENDIDOS	139
ANEXO 4: VISORES GEOGRÁFICOS	146
GLOSARIO	150
BIBLIOGRAFÍA.....	154

EXECUTIVE SUMMARY

There is a growing concern among citizens about the expansion and increase of alluvial gold exploitation activities taking place in Colombia that are not properly established within existing normative frameworks, and which in many cases finances and strengthens organized crime groups.

Given this development, the Colombian government through the Ministry of Justice and Law, in alliance with UNODC, designed and built a baseline of evidences of alluvial gold exploitation by using machinery on land in the Colombian territory. This project is comprised of two phases. The first phase – and the aim of this report – focuses primarily on geographical factors and develops a methodology based on remote sensing techniques, oriented towards detecting evidences of alluvial gold exploitation – AGE (EVOA – by its Spanish acronym) at the national level, as well as integrating information and constructing a geographical framework for the characterization of this phenomenon.

In 2014, the results showed that 78,939 hectares of land were affected by alluvial gold exploitation at the national level, distributed over 17 of Colombia's 32 departments. However, 79% of this detected area was concentrated in the departments of Antioquia and Chocó. The municipality of Nechí (Antioquia) represented the most affected area with 6,232 ha (8% of the total area at the national level). Moreover, the Pacific region of Colombia appears to be the most affected by AGM activities, a similar trend as seen with coca crops.

The study warns about the presence of AGE in special territories within Colombia. In this sense, Afro-Colombian common lands were the most impacted of the special territories, with 46% of the AGE evidences. It is necessary that the special circumstances of these areas be taken

into consideration in the design of public policies. The overall impact of AGM on indigenous reservations is less than other special territories, nonetheless the lands belonging to the Emberá – Katío communities (Chocó and Antioquia departments) were highly vulnerable to AGE activities. Regarding the National Parks, 5 of these had AGM evidences within the parks and 9 of these showed evidences in their direct vicinity.

Furthermore, the results of the study provide evidence that alluvial gold exploitation is one of the main drivers of deforestation in Colombia. The total loss of vegetation cover - that is of high environmental value - due to AGE activities was calculated to be 24,450 ha in 2014; and mainly concentrated in the department of Chocó with 77% of the respective loss. Chocó is considered to be one of the most biodiverse areas in the world; and in addition to losing forest cover to AGE, it was estimated that 15,404 hectares of vegetation cover - that is of high environmental value - were cleared to make way for coca crops in 2013 at the national level.

Regarding the relationship between AGE and coca crops, the study highlights that in the departments of Caquetá, Putumayo and Nariño, over 80% of the detected AGE activities are found in territories affected by coca crops, meanwhile Bolívar has 45% of the AGE in territories affected by coca crops, while in Chocó, Valle and Antioquia this percentage is between 30 and 35%.

The study also looked at the relationship between AGE and formal procedures authorized by law for gold exploitation (environmental licenses, mining titles unlicensed, requests for legalization, and contract proposals) related to legal mining operations. In this regard, it was found that 60% of the detected AGE did not match any records of formal procedures, 40% did partially match with a formal

procedure, but only 2% of these matched fully with all the formal procedures for extraction.

The project will develop tools that are applicable to a larger monitoring scheme that integrates the monitoring of illicit crops, the monitoring of evidences of alluvial gold exploitation as well as other forms of illicit activities in the territory. It will also provide a research framework to focus political efforts, and promote applied research.

The second phase of the project – that will be implemented in 2016 – will generate an analytical report that looks at socio-economic dimensions for measuring the degree of vulnerability of the territory in relationship to this phenomenon, as well as a methodology for characterizing the spatial dynamics of chemical substances involved in extraction activities.

The Ministry of Justice and Law and UNODC hope to contribute to a better understanding of alluvial gold exploitation activities in the country, hereby offering objective information that contributes towards the formulation of more specialized public policy regarding this phenomenon, and in addition, offers a georeferenced framework for research that clarifies the relationship between this mineral exploitation modality and illegal and criminal activities.

RESUMEN EJECUTIVO

Existe preocupación de los ciudadanos en general por el reciente auge de la explotación de oro de aluvión en el territorio colombiano, que no está enmarcado en la normatividad vigente para el desarrollo de esta actividad y que en muchos casos implica la creación de una cadena productiva que financia y fortalece la delincuencia organizada.

En este sentido el Gobierno de Colombia en cabeza del Ministerio de Justicia y del Derecho y en alianza con UNODC desarrollaron el diseño y construcción de una línea base de evidencias de explotación de oro de aluvión con uso de maquinaria en tierra en el territorio colombiano. El Proyecto se desarrolla en dos fases. La primera fase, objeto de este informe, tiene un énfasis principalmente geográfico y desarrolla una metodología basada en sensores remotos orientada a detección nacional de las evidencias de explotación de oro de aluvión (EVOA), integración de información y construcción del marco geográfico para la caracterización del fenómeno.

Los resultados señalan que para el año 2014 Colombia tenía 78.939 hectáreas con EVOA, distribuidas en 17 de los 32 departamentos del país. El 79% se encuentra en dos departamentos: Antioquia y Chocó. Nechí (Antioquia) es el municipio que presenta la mayor área afectada (6.232 ha) que representa el 8% de la afectación nacional. Al igual que con cultivos de coca, la Región Pacífico es la más afectada con EVOA.

El estudio alerta sobre la presencia de EVOA en territorios especiales. Los Consejos comunitarios resultaron ser los más afectados, el 46% de las EVOA se encuentra en este tipo de territorios por lo cual el diseño de política pública debería considerar sus particularidades. Aunque la afectación en resguardos indígenas es mucho menor, se focaliza en comunidades Emberá – Katío,

en los departamentos de Chocó y Antioquia altamente vulnerables. Respecto a Parques Nacionales, 5 de ellos ya tienen EVOA al interior del parque y 9 más en zonas cercanas.

El estudio también demuestra que la explotación de oro de aluvión es uno de los principales motores de pérdida de coberturas en Colombia. La pérdida total de coberturas de alto valor ambiental asociada a las actividades de explotación de oro de aluvión fue de 24.450 ha para el año 2014 y se concentró en Chocó (77%), uno de los hotspots de biodiversidad más importantes del mundo; como referencia vale la pena mencionar que en 2013 fueron transformadas 15.404 ha de coberturas de alto valor ambiental para sembrar coca.

Respecto a la relación entre EVOA y cultivos de coca, el estudio indica que en los departamentos de Caquetá, Putumayo y Nariño más del 80% de las EVOA se localizan en territorio afectado por cultivos de coca, Bolívar por su parte presenta el 45% de las EVOA en territorios afectados por cultivos de coca (2014), mientras que en Chocó, Valle y Antioquia este porcentaje se encuentra entre 30 y 35%.

El estudio desarrolla la relación entre EVOA y las figuras autorizadas por la ley para la explotación de oro (Licencias ambientales, Amparo de Títulos sin licencia, Solicitudes de legalización y Propuestas de contrato), que reglamentan la producción minera; se encontró que el 60% de las EVOA no coincide con ninguna figura, el 40% presenta relación con alguna figura pero solo el 2% cumple con todos los requisitos para la explotación.

El proyecto desarrolla herramientas aplicables en un sistema de monitoreo que integre los cultivos ilícitos con las evidencias de explotación de oro de aluvión y otras

formas de ilegalidad en los territorios. Ofrece un marco de investigación que permitirá focalizar los esfuerzos de política y promover investigaciones aplicadas.

La segunda fase del proyecto se ejecutará durante el 2016 y contempla un informe analítico que involucra la dimensión socioeconómica para la medición del grado de vulnerabilidad del territorio frente al fenómeno, así como una metodología para la caracterización espacial de la dinámica de las sustancias químicas involucradas en las actividades de explotación.

El Ministerio de Justicia y del Derecho y UNODC esperan de esta manera, contribuir a una mejor caracterización de la explotación de oro de aluvión, ofreciendo información objetiva y robusta, que contribuya a la formulación y focalización de la política pública y que ofrezca un marco georreferenciado de investigación para dar claridad a las relaciones de esta modalidad de explotación mineral con las actividades ilegales y criminales.

RESUMEN DE RESULTADOS

Departamentos afectados por EVOA				
Área de EVOA detectada nacional		78.939 hectáreas		
Departamento	EVOA (ha)	Porcentaje total nacional (EVOA) 2014	Cultivos de coca (ha)	Porcentaje total nacional (coca)
Chocó	36.185	46%	1.741	3%
Antioquia	26.323	33%	2.293	3%
Bolívar	7.361	9%	1.565	2%
Córdoba	3.544	4%	560	1%
Nariño	1.676	2%	17.285	25%
Valle	1.570	2%	561	1%
Cauca	1.408	2%	6.389	9%
Otros	872	1%	18.167	38%
Municipios con mayor afectación por EVOA				
Municipio	Departamento	EVOA (ha)	Porcentaje	
Nechí	Antioquia	6.232	8%	
Nóvita	Chocó	5.175	7%	
Istmina	Chocó	5.069	6%	
Zaragoza	Antioquia	4.887	6%	
Condoto	Chocó	4.543	6%	
Zonas de Manejo Especial	EVOA (porcentaje del total nacional)		Coca (Porcentaje del total nacional)	
Consejos comunitarios	46%		15%	
Resguardos Indígenas	1%		11%	
Parques Nacionales Naturales	Menos del 1%		8%	
Parques Nacionales Naturales con EVOA				
Nombre del PNN	EVOA dentro del parque (ha)		EVOA en área de influencia del parque 0-20 km (ha)	
Puinawai	25		0	
Paramillo	14		450	
Los Katíos	5		84	
Munchique	2		145	
Selva de Florencia	1		108	
Otros	0		1.230	
Total	47		2.017	
Pérdida de coberturas de alto valor ambiental 2013-2014*			24.450 hectáreas	
		Pérdida total en el periodo	Tasa mensual	
Pérdida asociada a EVOA		24.450 ha	(2.038 / ha/mes)	
Pérdida asociada a coca		15.404 ha	(1.284 / ha / mes)	
Superficie deforestada en Colombia reportada para el año 2014 (IDEAM, 2015)		140.356 ha		
EVOA bajo figuras autorizadas por la ley para la explotación de oro				
Sin figuras autorizadas			60%	
Propuestas de contrato**			4%	
Solicitudes de legalización***			14%	
Amparo de títulos sin licencia****			20%	
Licencias ambientales *****			2%	
* Análisis obtenido para el presente estudio. La temporalidad y metodología no se homologa con los datos oficiales del IDEAM para Colombia.				
** Aquellas solicitudes presentadas por particulares ante el estado con el fin de obtener la concesión de un área libre para la realización de actividades de exploración y explotación minera.				
*** Aquellas solicitudes hechas por explotadores de minas de propiedad estatal sin título minero inscrito en el Registro Minero Nacional, y que llevan a cabo explotaciones de depósitos y/o yacimientos mineros.				
**** En el Código de Minas se define el Título minero como el documento en el cual se otorga el derecho a explorar y explotar el suelo y el subsuelo. Los títulos mineros se clasifican en: i) Licencias de exploración y explotación, ii) Aportes mineros, iii) Contratos mineros. Se incluyen solamente aquellas áreas que no cuentan con licencia ambiental.				
***** Autorización que otorga la autoridad ambiental competente, mediante acto administrativo, a una persona, para la ejecución de un proyecto, obra o actividad que conforme a la ley y a los reglamentos, puede producir deterioro grave a los recursos naturales renovables o al medio ambiente o introducir modificaciones considerables o notorias al paisaje, y en la que se establecen los requisitos, obligaciones y condiciones que el beneficiario de la Licencia Ambiental debe cumplir para prevenir, mitigar, corregir, compensar y manejar los efectos ambientales del proyecto, obra o actividad autorizada.(Decreto 1753 de 1994, artículo 2).				

PRINCIPALES HALLAZGOS

Los resultados de la detección de EVOA señalan que para el año 2014 Colombia tenía 78.939 hectáreas, distribuidas en 17 de los 32 departamentos del país. El 24% de los departamentos afectados se ubica en el litoral Pacífico. El 79% se encuentran en dos departamentos: Antioquia (33%) y Chocó (46%). Nechí (Antioquia) es el municipio que presenta la mayor área afectada (6.232 ha), que representa el 8% de la afectación nacional. En Chocó, 27 de los 30 municipios del departamento están afectados por EVOA.

Los Consejos comunitarios resultaron ser los territorios especiales más afectados: el 46% de las EVOA se encuentra en este tipo de territorios, por lo cual el diseño de política pública debería considerar las particularidades de estas unidades. Aunque la afectación en resguardos indígenas es mucho menor que en Consejos comunitarios, está focalizada en territorio de las comunidades Emberá – Katío, altamente vulnerables. Respecto a Parques Nacionales, 5 de ellos ya presentan EVOA al interior del parque y 9 más en zonas cercanas.

Se destaca que el 51% del área nacional de EVOA se concentra en las subcuencas de los ríos Quito, Bajo Nechí, Directos Bajo Nechí y Tamaná - Directos San Juan.

La pérdida total de cobertura de alto valor ambiental (bosque natural, vegetación secundaria y otros tipos de coberturas leñosas) asociada a las actividades de explotación de oro de aluvión fue de 24.450 ha para el año 2014 y se concentró en Chocó (77%).

Al nivel nacional, el 38% del territorio afectado con EVOA registra presencia de cultivos ilícitos. En los departamentos de Caquetá, Putumayo y Nariño, más del 80% de las EVOA se localizan en territorio afectado por

cultivos de coca, Cauca por su parte presenta el 64% de las EVOA en territorios afectados por cultivos de coca y Bolívar el 45%, mientras que en Chocó, Valle y Antioquia este porcentaje se encuentra entre 30 y 35%.

Se encontró que el 60% del área de EVOA no coincide espacialmente con áreas autorizadas por la ley para explotación de oro (Licencias ambientales, amparo de Títulos sin licencia, Solicitudes de legalización y Propuestas de contrato), mientras que el 40% se encuentra en zonas que presentan algún tipo de autorización. Solo el 2% coincide con licencias ambientales mineras, que son el requisito último mediante el cual se puede iniciar el proceso de explotación (incluye título y licencia ambiental). Antioquia es el departamento que presenta mayor coincidencia de EVOA con áreas en las que se hayan concedido licencias ambientales. Para la figura de Amparo de Títulos sin licencia (no presenta coincidencia espacial con licencias ambientales), Antioquia es el departamento que concentra el mayor porcentaje (48%) del total de títulos relativos a explotación de oro en el territorio nacional. En el caso de las Solicitudes de legalización Chocó ocupa el primer lugar con 84%, mientras que para las Propuestas de contrato Antioquia y Chocó representan la mayor proporción de EVOA bajo esta figura con 39% y 38% respectivamente. Por último, en la categoría donde no hay coincidencia geográfica con ninguna figura autorizada por la ley para la explotación de oro, Chocó (47%) y Antioquia (33%) ocupan los primeros lugares.

Los resultados del piloto de dinámica multitemporal en la Región Pacífico indican que el área afectada acumulada entre el periodo 2001-2014 es de 44.746 ha. Durante el periodo 2001 solo se encontraron EVOA en 637 ha, mientras que para el 2014 se encontraron 40.839 ha. Se encontró que el 50% de las subcuencas afectadas

en el 2014 ya presentaban EVOA en el 2001; sobresale la subcuenca del Río Quito por presentar la mayor expansión del fenómeno y porque representa el 30% de EVOA en la región para el 2014.

Los resultados del estudio piloto de aplicación de índices espectrales para la detección de alteración de sedimentos en suspensión en cuerpos hídricos, permitieron identificar las zonas con alteración de sedimentos en el río Inírda por causa de actividades de explotación de oro. Estas fueron contrastadas en talleres con mineros de la zona y con representantes de las instituciones con resultados positivos de la aplicación metodológica. Los resultados permiten concluir la viabilidad técnica para su implementación y monitoreo en el territorio nacional.

En el desarrollo de la investigación se encontraron serias dificultades en el manejo de la información geográfica disponible sobre el fenómeno. Problemas de completitud, estandarización, topología y periodicidad están presentes en casi todas las fuentes de información. Un esfuerzo para mejorar la información existente, pero sobre todo para mejorar la nueva captura, es absolutamente recomendable.

El documento desarrolla algunas herramientas que podrían ser implementadas en un sistema de monitoreo que integre el monitoreo de cultivos ilícitos con el monitoreo de EVOA, y ofrece un marco de investigación que permitirá focalizar los esfuerzos y promover investigaciones aplicadas como:

- Generación de alertas tempranas de actividad basada en índices espectrales.
- Identificación de poblaciones ribereñas en riesgo por contaminación de sedimentos en suspensión originados aguas arriba en zonas de explotación.
- Dinámica histórica de las figuras de formalización de la explotación de oro de aluvión para la generación de índices de alerta y monitoreo de las actividades en las mismas.
- Estudio de las dinámicas de los mercados asociados a la explotación de oro de aluvión.
- Monitoreos ambientales orientados a registrar la pérdida de Coberturas de la Tierra, y la identificación de zonas de riesgo por alteración de los cauces.

INTRODUCCIÓN

El Ministerio de Justicia y del Derecho y la Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito observan con preocupación, al igual que muchos sectores del país, el crecimiento de las actividades de explotación de oro de aluvión y su relación cada vez más evidente con un entorno de ilegalidad y criminalidad. Ya en 2012, el Sistema Integrado de Monitoreo de cultivos ilícitos - SIMCI, alertó que la vulnerabilidad de los territorios afectados por cultivos de coca seguía siendo alta a pesar de la reducción de los cultivos; en 2013 se presentó una alerta por la expansión de las actividades de explotación de oro de aluvión en territorios afectados por cultivos ilícitos; en 2014 se presentó un primer ejercicio de detección basado en sobrevuelos de reconocimiento con apoyo de imágenes satelitales; finalmente en 2015, el SIMCI presentó el primer ejercicio de detección de evidencias de explotación de oro de aluvión en territorios afectados por cultivos de coca y propuso estrategias para monitorear el fenómeno a partir de percepción remota.

Por esta razón y en el marco del convenio de cooperación 589 de 2015, el Ministerio de Justicia y del Derecho propuso a UNODC el desarrollo de una investigación dirigida a: 1) construir e implementar un modelo de detección basado en sensores remotos que permita identificar las evidencias de explotación de oro de aluvión; 2) integrar en la plataforma de investigación del proyecto SIMCI, la información geográfica sobre actividades relacionadas con la explotación de oro de aluvión; y 3) evaluar la viabilidad de implementar un sistema de monitoreo para explotación de oro de aluvión que aproveche los desarrollos y capacidades del sistema de monitoreo de cultivos ilícitos y potencialice la calidad de la información y las investigaciones basadas en evidencia. El Ministerio y UNODC esperan de esta manera, contribuir a una mejor caracterización de la explotación de oro de aluvión, que brinde información objetiva y robusta a las entidades

ambientales, de control, de fiscalización y gestión territorial, así como para la formulación de política pública y ofrecer un marco de investigación para clarificar las relaciones de esta modalidad de explotación mineral con las actividades ilegales y criminales.

Dadas las condiciones de la explotación y las posibilidades de detección, el proyecto está dirigido al monitoreo de la explotación de oro de aluvión, dejando de lado el monitoreo de explotaciones de oro en veta o filón. Se propone una metodología basada en interpretación visual de imágenes de satélite del tipo Landsat para la detección de evidencias de explotación de oro de aluvión en tierra (EVOA) y una metodología basada en índices espectrales para la detección de actividades de explotación de oro de aluvión directamente en agua. Los resultados tienen cobertura nacional para el caso de las EVOA y una aplicación piloto para el caso de índices espectrales.

Por último, es pertinente señalar que en este documento, por tratarse del primer informe de línea base nacional, la primera parte presenta los resultados del estudio de la línea base de EVOA con uso de maquinaria en tierra en el territorio Colombiano, junto con las investigaciones complementarias. La segunda parte presenta investigaciones complementarias y por último una tercera parte que expone de manera detallada la batería metodológica utilizada para la realización del estudio, con el fin de que todas las personas interesadas tengan acceso a la información sobre los procedimientos técnicos aplicados. Este apartado contiene información de carácter especializado que se presenta de la manera más sencilla posible para llegar a un público extendido.

ALCANCES

El panorama actual de la explotación aurífera en Colombia contempla dos tipos de yacimiento de acuerdo con las condiciones geológicas de formación: i) primarios, conocidos como de filón o veta¹, caracterizados por explotación de tipo subterráneo, y ii) secundario o de aluvión², con explotación de tipo cielo abierto [1] [2] [3]. El Sistema de Información Minero Colombiano - SIMCO³ [4] reporta que durante el año 2011 el 18% de la producción de oro⁴ en Colombia provino de explotaciones de filón y el 82% de explotaciones de aluvión. En la misma línea, con respecto al carácter de legalidad de la explotación en ambos tipos de yacimientos, de los datos reportados por el censo minero se deduce que el 95% de las minas de aluvión censadas carece de titulación⁵, mientras que el porcentaje sin titulación para minas de filón es de 77%.

La explotación de los yacimientos, tanto de los de filón como de los de aluvión, presenta dos modalidades básicas en cuanto a la explotación y beneficio de acuerdo con el nivel tecnológico aplicado: la que emplea técnicas y herramientas rudimentarias y la que usa maquinaria pesada (retroexcavadoras, dragas etc.). La minería de subsistencia corresponde a la primera modalidad, y se lleva a cabo por personas naturales que dedican su fuerza de trabajo a la explotación de algún mineral mediante métodos rudimentarios para generar ingresos

1. Yacimientos primarios hacen referencia a depósitos de mineral in situ donde la explotación inicial se lleva a cabo en zonas superficiales y posteriormente en profundidad mediante trabajos subterráneos en sistema de galería.

2. Yacimientos secundarios son aquellos que posterior a procesos de meteorización de un yacimiento primario hay una disgregación mecánica natural y por acción del agua las partículas de oro son transportadas a ciertas distancias estas tienden a concentrarse en cauces hídricos, dando lugar a los conocidos "placeres auríferos" [77].

3. Sistema de Información Minero Colombiano, que contiene la información integrada, confiable y oportuna del sector minero colombiano y además suministra las estadísticas oficiales del sector. El Administrador es el Ministerio de Minas y Energía [95].

4. Las producciones reportadas no discriminan el carácter legal o ilegal de la explotación puesto que mineros informales o ilegales pueden registrar producción ficticia en un municipio diferente del cual se produjo la explotación con el fin de evadir el control de las autoridades. [98].

5. Se hace referencia a titulación en las modalidades de exploración y explotación indistintamente para el aprovechamiento de recursos minerales.

El proyecto:

- Desarrolla lineamientos metodológicos para la detección nacional basada en evidencia física de las actividades de explotación de oro de aluvión con uso de maquinaria en tierra (retroexcavadoras)
- Implementa en zona piloto en Guainía de la detección de alteraciones en los sedimentos suspendidos en los cuerpos hídricos, como EVOA con uso de maquinaria en agua, tipo dragas y balsas.
- No pretende caracterizar la actividad de explotación de oro de aluvión, sino la relación entre este fenómeno y el territorio afectado
- Identifica las áreas de EVOA sin relacionar con número de frentes o minas en explotación.

de subsistencia; este tipo de minería está contemplado como Minería artesanal [5]. En esta actividad no se utiliza maquinaria especializada (retroexcavadoras, dragas, etc.) sino que por el contrario es la mano del hombre la que extrae de manera muy artesanal el mineral y en pequeñas cantidades [6]; algunas modalidades de esta minería son el barequeo, el machaqueo, y el descuñe⁶[4]. Para el caso del barequeo⁷, se plantea que es una

6. Barequeo en ríos y quebradas, el "machaqueo" en sitios de explotación con depósitos residuales in situ o como sobrantes de las pilas de estériles de minería de mayor envergadura, el "monitoreo" de terrazas y aluviones, el "descuñe" de explotaciones abandonadas o en proceso de cerramiento y la explotación bajo tierra de yacimientos recién descubiertos [76].

7. (Artículo 155 del Código de Minas). Actividad popular de los habitantes de terrenos aluviales actuales". De acuerdo al citado precepto legal, esta actividad esta exclusivamente supeditada al lavado de arenas por medios manuales, quedando prohibida la utilización de maquinaria o medios mecánicos para su ejercicio. La minería de barequeo tiene como objetivo específico, separa y recoger metales preciosos contenidos en esas arenas [10].

El estudio genera información espacial de evidencias de explotación de oro de aluvión (EVOA) con uso de maquinaria en tierra en el territorio nacional, sin considerar o profundizar el carácter legal o ilegal de las mismas, cuya determinación está en competencia de Instituciones del Gobierno. Sin embargo se provee un marco de información que contempla la integración de información primaria como la espacialización de EVOA, y secundaria como información de figuras autorizadas por la ley para explotación de oro de aluvión (Licencias ambientales, Amparo de Títulos sin licencia, Solicitudes de legalización y Propuestas de contrato) que permitirá al Gobierno Nacional tener una visión más integral del territorio y facilitará la comprensión del fenómeno, la gestión, el control y la formulación de política basada en evidencia.

explotación de subsistencia en condiciones amigables con el medio ambiente, ya que no utiliza ningún químico para la recuperación del oro y el área intervenida es imperceptible. La minería de subsistencia es un fenómeno frecuente y no se aborda en el presente estudio. [7]

De otra parte, la utilización de maquinaria pesada ha ganado protagonismo en las explotaciones auríferas como herramienta que mejora la rentabilidad en la explotación, al remover grandes volúmenes de material en poco tiempo, pero que repercute con mayor impacto si no se sigue un plan de manejo ambientalmente sostenible.

En consecuencia, el tipo de explotación, las herramientas y maquinaria utilizadas generan en el territorio evidencias físicas⁸: En el caso de la explotación tipo subterráneo se identifican principalmente como aquellas derivadas de la contaminación atmosférica, auditiva, hídrica y de desestabilización del medio subterráneo, mientras que la explotación a cielo abierto genera evidencias físicas sobre la cobertura terrestre, con fuerte impacto visual por cambios en el paisaje circundante relacionado con alteraciones en los cuerpos de agua, deforestación y degradación de suelos, entre otros.

Las evidencias físicas pueden detectarse por técnicas “in situ” y mediante técnicas de percepción remota⁹ de acuerdo con el objetivo de estudio. Las técnicas “in situ” se focalizan en zonas y estudios específicos de contaminación atmosférica e hídrica debido al alto costo de implementación. Por otra parte, la percepción remota ofrece herramientas que permiten, entre otros, mayor cubrimiento de territorio a menor costo, con tiempos de visita cortos que potencian su utilidad en estudios de monitoreo. La aplicabilidad de esta técnica en estudios relativos a explotación mineral va desde la detección de áreas potenciales en minerales (con el uso de imágenes hiper- espectrales), hasta la detección y monitoreo de la dinámica de las actividades de explotación basada en evidencias físicas sobre el paisaje.

Dimensión de la minería de oro en Colombia

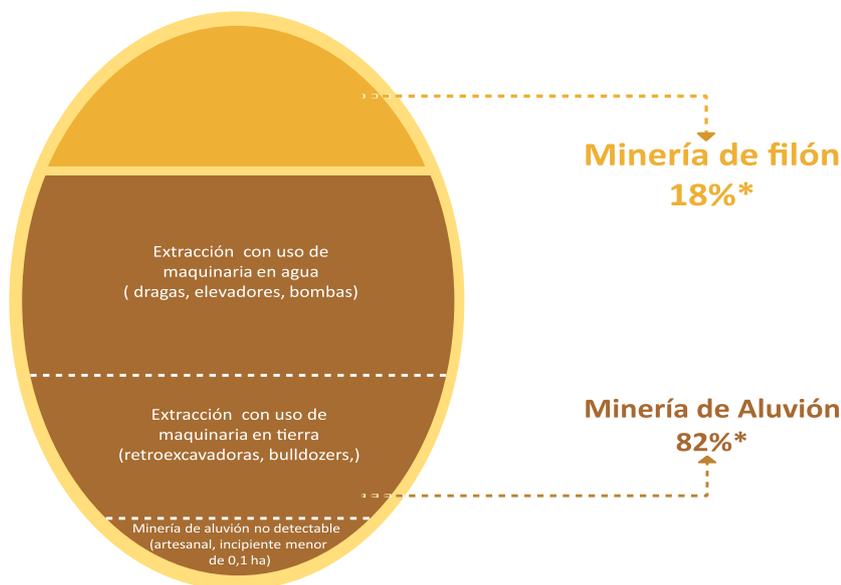


Ilustración 1. Distribución de las explotaciones según tipo de yacimiento (Fuente SIMCO).

8. La evidencia física es todo material sensible significativo que se percibe con los sentidos y que tiene relación con un hecho [78].

9. La percepción remota se define como la ciencia y arte de obtener información útil sobre los objetos, áreas o fenómenos bajo investigación mediante análisis de datos adquiridos por dispositivos que no están en contacto físico con estos por intermedio de imágenes que ofrecen observación periódica y amplia perspectiva de la superficie terrestre. Las imágenes satelitales se han convertido en una fuente valiosa de información para numerosas aplicaciones, tales como el inventario de recursos naturales, planificación urbana y rural, monitoreo y gestión del medio ambiente, agricultura, infraestructuras, obras civiles, exploraciones mineras, respuestas rápidas a desastres y operaciones militares, entre muchas otras [94].

El proyecto desarrolla la detección de evidencias físicas caracterizadas por cambio de paisaje generadas en las explotaciones en tierra con maquinaria tipo retroexcavadoras y define los lineamientos metodológicos para la detección de EVOA en cuerpos de agua con alteración de los sedimentos en suspensión, resultante del empleo de maquinaria tipo dragas. La detección de EVOA generada por ambos tipos de explotación se aborda mediante técnicas de percepción remota.

En cuanto a la detección de evidencias físicas visibles sobre el terreno circundante por cambio de paisaje, se aborda una primera línea metodológica mediante interpretación visual y su cubrimiento es todo el territorio nacional.

Para la detección de EVOA en cuerpos de agua con base en la alteración de los sedimentos suspendidos, se aborda una segunda línea metodológica a través del uso de algebra de bandas (índices espectrales). Esta línea metodológica se implementa como estudio-caso en una zona piloto en la que predomina este tipo de explotación (Río Inírida).

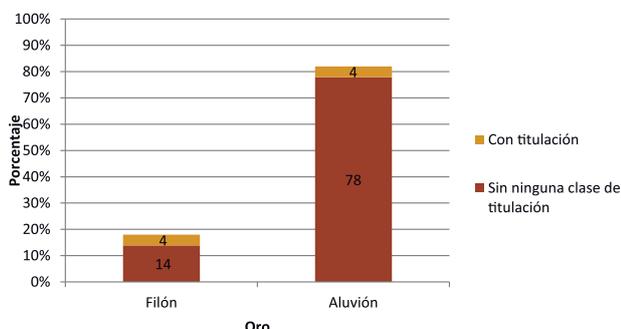


Gráfico 1. Distribución porcentual de encuestas realizadas en el marco del censo minero de acuerdo a la titulación (Fuente SIMCO).

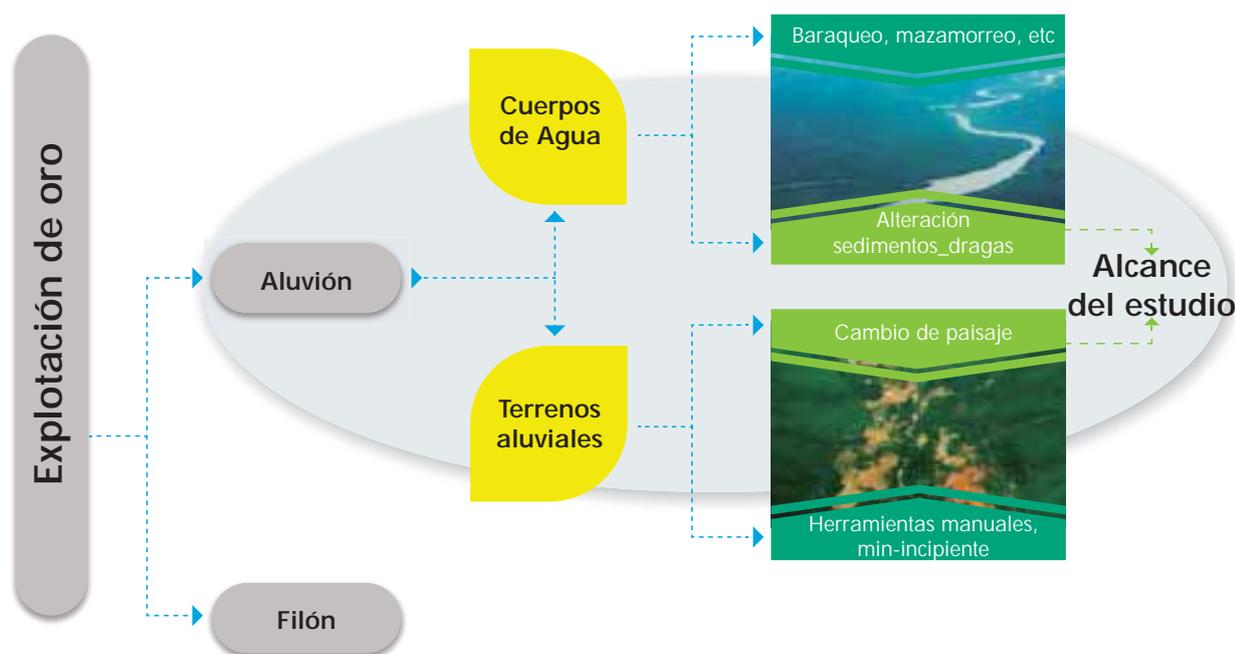


Ilustración 2. Alcance del estudio.

Aunque la evidencia física visible más característica de la utilización de maquinaria pesada en tierra es la alteración del paisaje circundante a los cuerpos hídricos o en terrenos aluviales, la naturaleza de la explotación (remoción de material, beneficio con agua, etc.) altera los sedimentos en suspensión en el medio acuático; esto quiere decir que las actividades de explotación con uso de maquinaria en tierra dejan evidencias detectables tanto por interpretación visual como por índices espectrales¹⁰.

Sin embargo, la aplicabilidad de los índices espectrales se concentra en indicar los sitios de alteración de los sedimentos.

Adicionalmente se desarrollará una aplicación piloto para identificar la dinámica espacial que ha tenido el fenómeno de la explotación de oro de aluvión en la Región Pacífico en cuatro cortes de tiempo: 2001, 2006, 2011 y 2014¹¹. Esta aplicación tiene los siguientes propósitos: i) identificar el área afectada durante el periodo de

10. Los índices espectrales se basan en la combinación algebraica de bandas con valores espectrales corregidos y calibrados radiométricamente (reflectancias); el objetivo es agrupar y minimizar las diferentes respuestas de los sensores en un único valor por píxel, que pueda relacionarse con éxito con un fenómeno a investigar [28].

11. La selección de periodos se estableció con base en el conocimiento general de la zona adquirido a través del monitoreo del fenómeno de cultivos ilícitos en el territorio, que permitió identificar periodos de escasa o nula presencia del fenómeno y periodos de aumento de la misma.

El estudio contempla las evidencias físicas caracterizadas por cambio en el paisaje dejadas por actividades de explotación. Sin embargo, es necesario precisar que existen explotaciones que cumplen con los requerimientos y manejos ambientales necesarios y no dejan evidencia en el paisaje. Estas explotaciones no son consideradas en el presente estudio.

estudio; ii) determinar las coberturas vegetales con mayor afectación por el establecimiento del fenómeno; iii) identificar la dinámica de afectación de subcuencas hidrográficas afectadas; iv) establecer los efectos en la pérdida de coberturas vegetales asociada con las actividades de explotación de oro de aluvión y con cultivos ilícitos; v) identificar el comportamiento espacial de los cultivos ilícitos y las evidencias de explotación de oro de aluvión en el territorio; vi) establecer el área afectada por actividades de explotación de oro de aluvión durante el periodo de estudio.

Por otra parte, el estudio desarrolla una propuesta metodológica para identificar los drenajes que han presentado posible afectación por el flujo y arrastre de sedimentos originados en la explotación de oro de aluvión, y determinar la dirección en la que se van acumulando dichos sedimentos.

Este informe contempla la primera fase del estudio, cuyo énfasis está en la detección como componente geográfico e insumo base para la caracterización del fenómeno en el territorio, y la construcción del marco geográfico de referencia, apoyado en un modelo de integración de información primaria y secundaria con el marco de áreas de SIMCI¹².

12. Sistema de grillas de 1km x 1 km que contiene toda la información recopilada sobre el territorio en relación con el fenómeno de cultivos ilícitos.



SECCIÓN

|

MODELO DE MONITOREO

El Gobierno de Colombia, en cabeza del Ministerio de Justicia y del Derecho, en alianza con UNODC, han diseñado una plataforma para detección y monitoreo de actividades de explotación de oro de aluvión en el territorio colombiano, para generar evidencia que mejore la comprensión del fenómeno y la toma de decisiones. Este modelo parte de la identificación y geo-referenciación

de las manifestaciones físicas del fenómeno, sigue con la conformación de un marco de estudio sobre el cual diseñar investigaciones que mejoren la caracterización del fenómeno y permitan retroalimentar el sistema, y finalmente termina con la puesta a disposición de los datos. La plataforma consta de 6 ejes que se desarrollaran en dos fases:

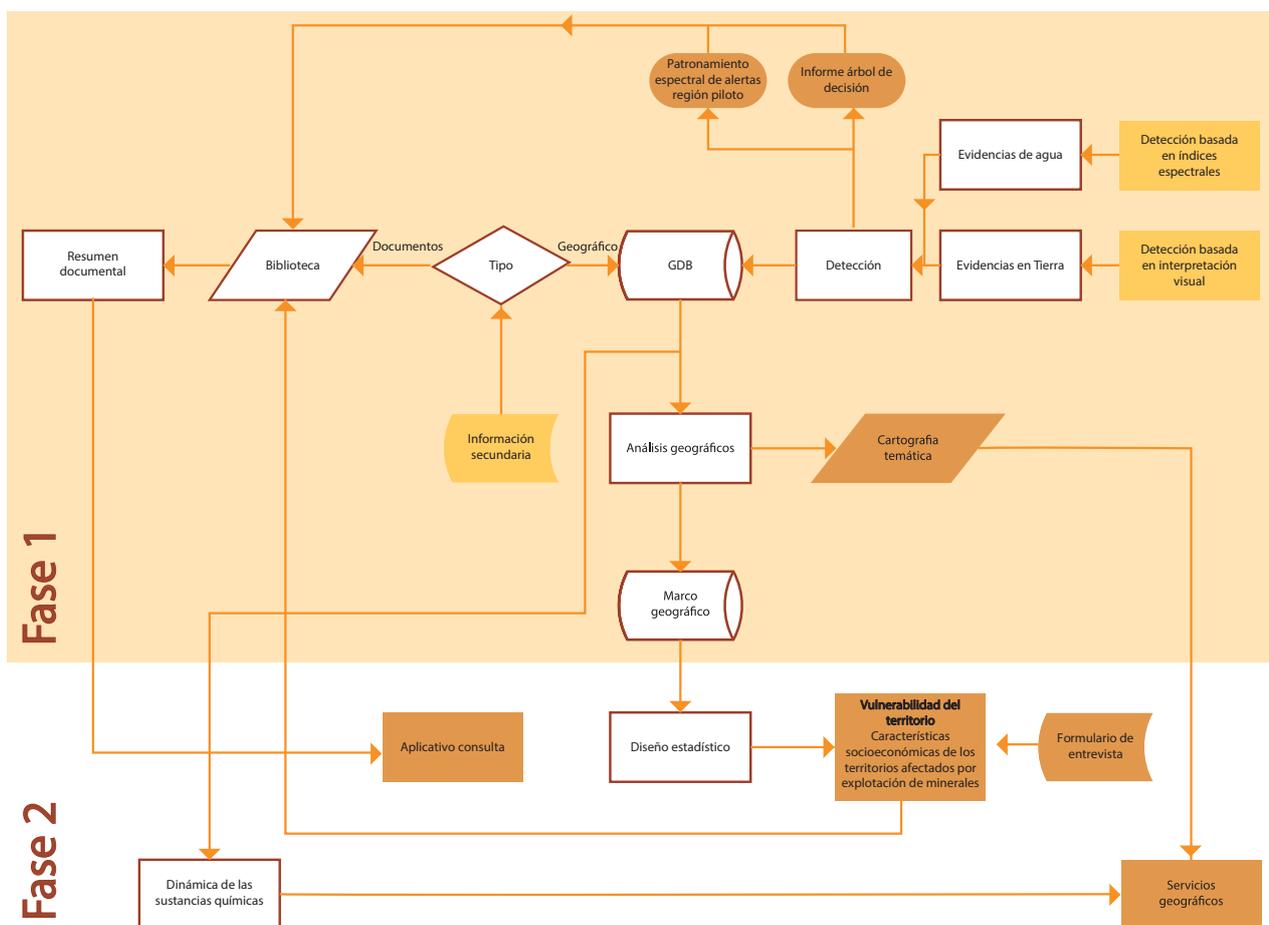


Figura 1. Esquema plataforma de investigación.

FASE I: Esta fase, objeto del presente informe, tiene un énfasis principalmente geográfico y desarrolla el diseño e implementación de la metodología orientada a: i) detección; ii) integración de información primaria (detección de evidencias físicas) y secundaria (datos generados por instituciones oficiales, títulos, licencias, operativos, etc.); iii) análisis geográficos específicos para la caracterización del fenómeno.

DETECCIÓN

- El dimensionamiento espacial del fenómeno de la explotación de oro de aluvión se basa en la detección mediante percepción remota de las evidencias físicas de las actividades de explotación del mineral. Esta etapa se constituye en la base para la caracterización geográfica del fenómeno en el territorio y se complementa con un estudio multitemporal de la dinámica espacial del fenómeno en la Región Pacífico.
- El monitoreo del territorio afectado por cultivos ilícitos que realiza SIMCI anualmente, incluye en su metodología sobrevuelos de reconocimiento y verificación, realizados con apoyo de la Dirección Antinarcóticos de la Policía Nacional - DIRAN. Durante los últimos años, en estos sobrevuelos se ha podido constatar la creciente aparición y expansión de EVOA en el territorio afectado por cultivos de coca, principalmente en terrenos aluviales sobre márgenes y terrazas alledañas a los cuerpos de agua. Se comprobó por parte de los expertos en procesamiento digital del SIMCI que estas

evidencias son detectables mediante la interpretación de imágenes satelitales usadas en la plataforma de monitoreo desarrollada por SIMCI.

- En el campo específico de la explotación mineral a cielo abierto, la percepción remota se ha incorporado a los sistemas de gestión ambiental de las operaciones mineras y áreas afectadas por éstas, principalmente en las economías más desarrolladas [8]. Diversos métodos se han implementado para identificar y evaluar los impactos causados por la explotación de minerales, empleando imágenes de satélite. En este contexto las aplicaciones tienden a ser altamente especializadas, utilizando datos de alta resolución hiperespectral para la identificación del componente metálico de las áreas de residuos mineros, la cartografía de la distribución de los componentes generadores de ácido en el material de desecho, y la evaluación de los impactos de los desechos mineros en la vitalidad de las diferentes comunidades vegetales [9].
- La explotación de oro de aluvión en el territorio colombiano se efectúa en dos modalidades generales: explotación mediante el uso de maquinaria en tierra (retroexcavadoras) y explotación mediante el uso de maquinaria en agua (dragas, dragones, balsas); cada modalidad de explotación ocasiona diferentes perturbaciones, las cuales generan evidencias físicas de diversa naturaleza de acuerdo al medio en el que se manifiestan.

a) Retroexcavadora



b) Draga



c) Dragones



d) Balsas



Ilustración 3. Maquinaria usada en la explotación de oro de aluvión.

Fuentes: Fotos tomadas de: a) http://elmanuelin.blogspot.com.co/2012_05_01_archive.html b) <http://www.elespectador.com/files/especiales/rioquito6/index.html> c) <http://www.semana.com/nacion/articulo/los-dragones-del-oro/100811-3> d) <http://unriodesal.blogspot.com.co/2008/05/minera-de-retro-pequea-escala.html>

En este sentido, las evidencias físicas se convierten en instrumento para la detección y espacialización de las actividades de explotación mediante sensores remotos. Sin embargo, la naturaleza temporal difiere en cada modalidad de explotación.

La explotación en el lecho de los cuerpos hídricos mediante el uso de maquinaria en agua genera “evidencias efímeras”, caracterizadas por la alteración de los sedimentos suspendidos en el agua, que se relacionan con el momento de la explotación y no son duraderos. Los

cambios en el medio ocasionados por la explotación de oro en el lecho de los ríos mediante el uso de maquinaria en agua, involucran la alteración de las propiedades ópticas del medio hídrico las cuales no se detectan con precisión mediante las técnicas tradicionales de interpretación, y deben ser abordadas mediante técnicas especializadas de explotación de información, como el álgebra de bandas (índices espectrales), que resaltan las características del objeto de estudio y se complementan con sobrevuelos de verificación e incorporación de información secundaria.

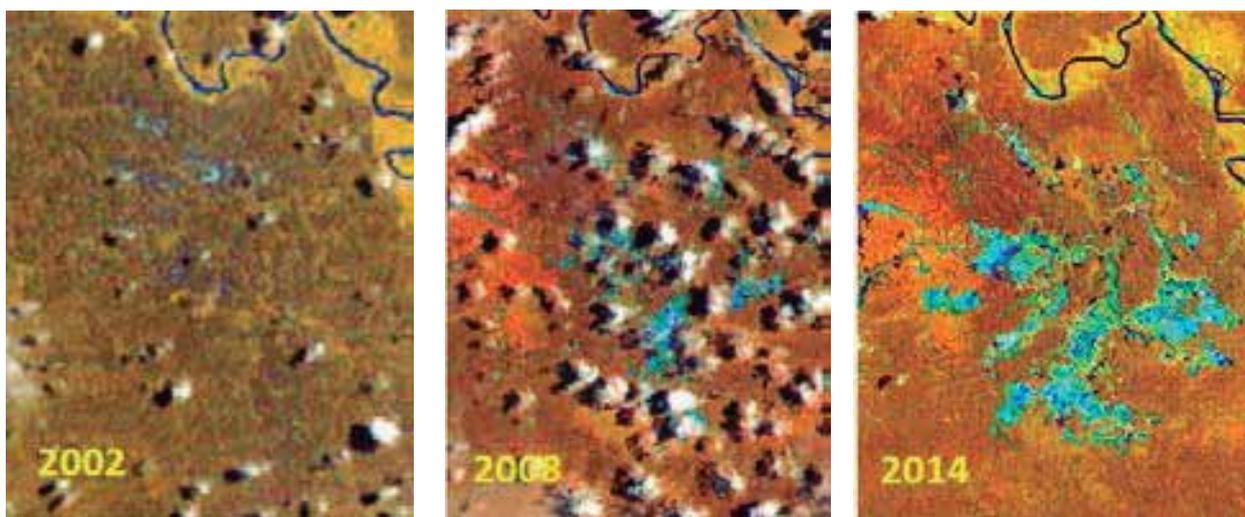


Ilustración 4. Detección de cambios con imágenes de satélite Landsat (visualizadas en falso color CC 543. Evidencias físicas visibles sobre el paisaje, generadas por el uso de maquinaria en tierra. EVOA en tono azul claro con lagunas de beneficio.

Por otra parte, las evidencias generadas por las actividades de explotación mediante el uso de maquinaria en tierra se caracterizan por cambios en el paisaje circundante a los cuerpos hídricos, debido entre otros a la remoción de la capa vegetal, la proliferación de suelos desnudos, y la alteración de cauces. Estas se consideran

“evidencias duraderas” por su permanencia en el tiempo, y se detectan por medio de percepción remota mediante interpretación de imágenes satelitales. Sin embargo, la naturaleza de la explotación también genera alteración en los sedimentos suspendidos en el medio hídrico, por lo que esta modalidad genera los dos tipos de evidencia.

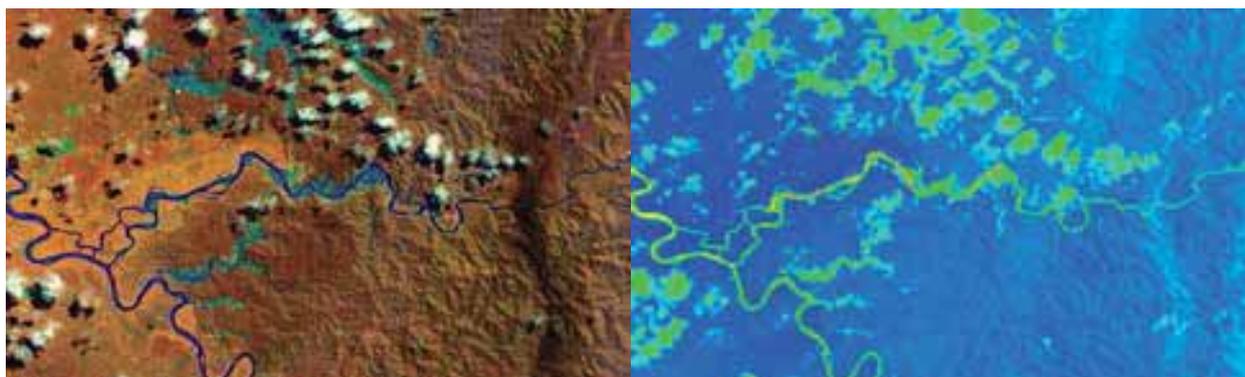


Ilustración 5. Evidencias físicas detectadas mediante el uso de índices espectrales generadas por el uso de maquinaria en tierra. Izquierda imagen satelital en la cual no se observan perturbaciones en el medio hídrico. Derecha, índice espectral aplicado a la imagen. En la imagen de la derecha, las zonas del río en color naranja o rojo, indican alteraciones en los sedimentos.

Lo anterior implica que las evidencias físicas detectadas mediante imágenes satelitales deben tener una lectura de interpretación de acuerdo con las siguientes precisiones:

i) Evidencias detectadas por alteración del paisaje circundante, corresponden a evidencias duraderas que

pueden estar relacionadas con actividades en progreso o con actividades de explotación en períodos anteriores.

ii) Evidencias detectadas por alteración de sedimentos en suspensión, corresponden a evidencias efímeras relativas a actividades de explotación en progreso, con

movilidad a lo largo del cuerpo hídrico afectado, según corresponda con el sitio de explotación.

De acuerdo con lo anterior, la metodología para la detección EVOA se basa en percepción remota mediante el uso de imágenes satelitales, por medio de dos líneas metodológicas que presentan un eje común, pero que abordan procesos específicos de acuerdo con la naturaleza de la evidencia, tal como se observa en la siguiente ilustración.

La detección se aborda en dos marcos de ejecución de acuerdo con el desarrollo y madurez metodológica:

1. Línea base de evidencias de actividad de explotación de oro de aluvión con el uso de maquinaria en tierra en ámbito nacional.
2. Implementación y validación metodológica de la detección de EVOA con el uso de maquinaria en agua en una zona piloto del departamento de Guainía.

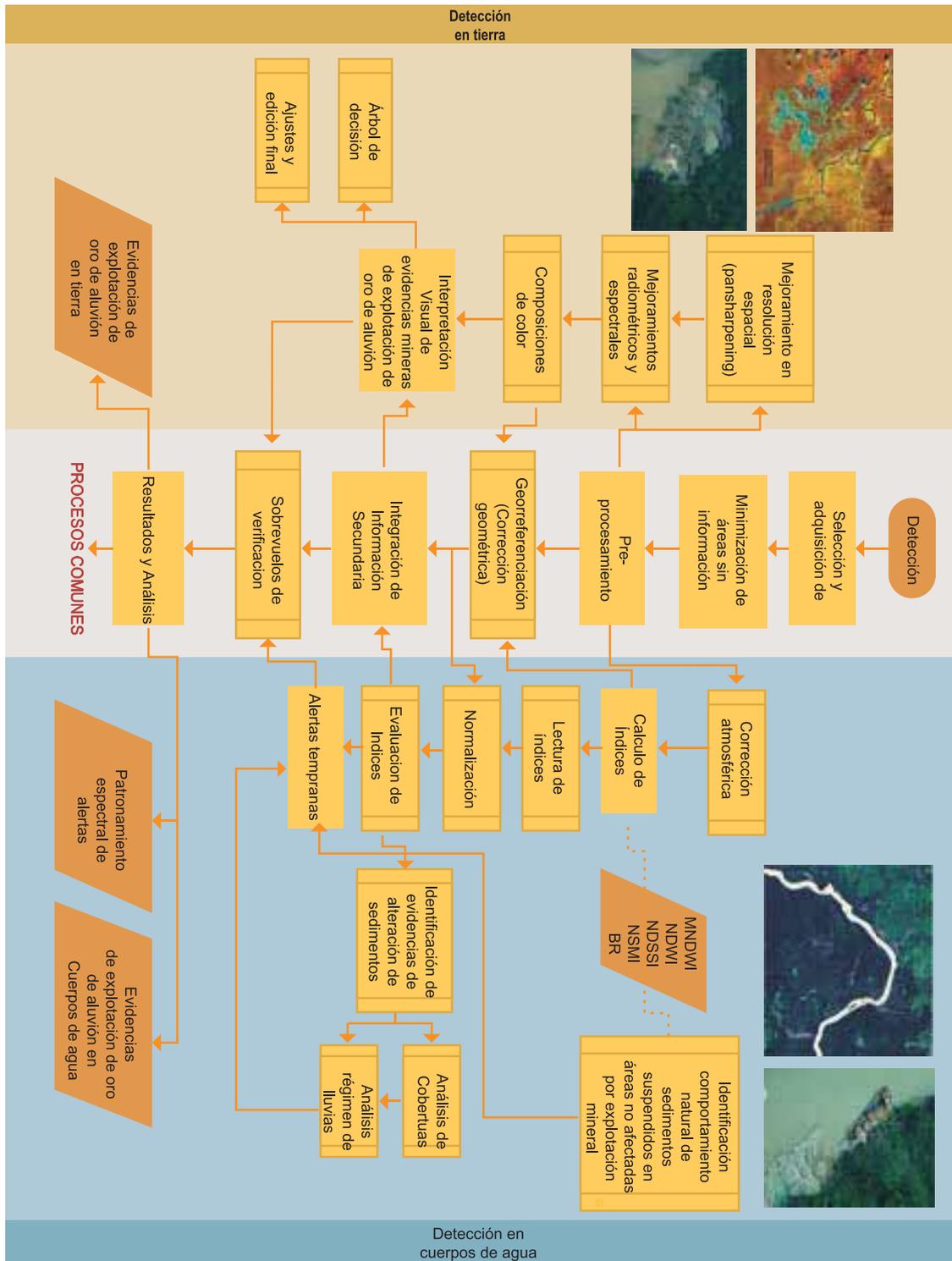


Ilustración 6. Esquema modelo de detección basado en percepción remota.

INTEGRACIÓN DE INFORMACIÓN

Hace referencia a la estandarización y consolidación de la información primaria (detección) y secundaria recolectada, relativa al fenómeno de explotación mineral en la base de datos del SIMCI. Los datos consolidados permiten el acceso a información estructurada de tipo multidisciplinario, recolectada por el SIMCI durante más de 10 años en el monitoreo de fenómenos de ilegalidad en el territorio, y facilita, entre otros, la construcción del marco de referencia espacial para las áreas de evidencia de explotación de oro de aluvión.

El proyecto SIMCI ha integrado la información geográfica en un sistema de grillas de cinco kilómetros cuadrados y de un kilómetro cuadrado; esta cuadrícula se conoce con el nombre de marco de áreas. Cada grilla tiene asociada información de atributos como municipio y departamento, consejo comunitario, resguardo indígena, Parque Nacional Natural, zona de reserva forestal y cuenca hidrográfica, entre otros. El interés de tener los límites administrativos y zonas de manejo especial se centra en la necesidad de agregar la información construida y recolectada para diferentes investigaciones. Los datos de cultivos de coca, estudios de producción de la transformación de hoja de coca a clorhidrato de cocaína, análisis multi-temporales de coberturas, y ahora los datos de EVOA, se encuentran en este marco único de referencia, el cual permite la comparabilidad tanto temporal como espacial.

Este marco se ha utilizado en el análisis y cálculo de afectación por presencia de evidencias de explotación de oro de aluvión, e igualmente para establecer las relaciones entre EVOA y presencia de cultivos de coca; la información integrada será el insumo para construir un modelo probabilístico que permita identificar las zonas donde se deba realizar trabajo de campo con el fin de caracterizar las poblaciones inmersas en la actividad de explotación de oro de aluvión. Los datos se encuentran disponibles en un archivo de tipo geodatabase -GDB, nativo del software ArcGis de ESRI, con un sistema de coordenadas planas, transversa de Mercator con origen en Bogotá¹³.

MONITOREO GEOGRÁFICO

La caracterización geográfica de la explotación de oro de aluvión no sólo involucra su localización y dimensionamiento, sino que requiere de una mirada integral a los diversos fenómenos presentes en el territorio, de manera que permitan adquirir el conocimiento y la comprensión de las variaciones asociadas a su

13. El proyecto SIMCI definió este sistema desde el 2001. La escala en la cual se obtienen los datos permite utilizar el origen Bogotá para todo el territorio colombiano, los errores por asumir este único origen no son representativos para la escala.

distribución y localización, su dinámica de expansión, y las relaciones de asociación con otros procesos económicos y sociales. Para este estudio se aborda la dinámica espacial del fenómeno en una región piloto, con un análisis de vectores de expansión como alertas de movilidad.

FASE II: Esta fase, de carácter más integral, se ejecutará durante el primer semestre del 2016, e involucra la dimensión socioeconómica para el desarrollo de análisis espaciales que permitan profundizar en la caracterización del fenómeno, con el diseño e implementación de una metodología de aproximación que considere los siguientes elementos:

VULNERABILIDAD DEL TERRITORIO

El establecimiento del grado de vulnerabilidad del territorio frente al fenómeno de explotación de oro de aluvión a cielo abierto fuera del marco de legalidad, y su relación con otras formas de ilegalidad, se aborda por medio de un estudio piloto que permite la identificación y caracterización de variables socioeconómicas y demográficas presentes en el territorio afectado, y sobre las que se pueden establecer relaciones de asociación consistentes con dicho fenómeno. El estudio se proyecta en la Región Pacífico.

DINÁMICA DE LAS SUSTANCIAS QUÍMICAS

La caracterización espacial de la dinámica del uso de las sustancias químicas involucradas en las actividades de explotación de oro de aluvión (mercurio metálico y cianuro) se llevará a cabo para todo el territorio nacional, por medio del análisis de las bases de datos relacionadas con la introducción de estas sustancias al territorio en los procesos de importación, así como a través del análisis de la información de uso lícito de las mismas.

SERVICIOS GEOGRÁFICOS

Las características de los Servicios Web Geográficos hacen interoperable la información con desarrollos que estén registrando entidades gubernamentales y privadas, y permiten integrar la información geográfica de manera que los análisis y estudios tengan una visión integral de la situación en el territorio. Los cuatro escenarios posibles de acceso a la información son: i) público en general; ii) desarrolladores de aplicaciones geográficas; iii) usuarios especializados; iv) entidades productoras de información que proporcionan y/o acceden a recursos geográficos. El proyecto contempla este servicio durante la segunda fase de ejecución.



LÍNEA BASE: EVIDENCIAS DE EXPLOTACIÓN DE ORO DE ALUVIÓN CON USO DE MAQUINARIA EN TIERRA EN EL TERRITORIO COLOMBIANO

Los resultados de la detección de EVOA a cielo abierto con uso de maquinaria en tierra, señalan que para el año 2014 Colombia tenía 78.939 hectáreas con evidencias físicas de explotación de oro de aluvión, distribuidas en 17 de los 32 departamentos del país. El 24% de los departamentos afectados se ubica en el litoral Pacífico. El 79% de las EVOA en el país se encuentra en dos departamentos, Antioquia (33%) y Chocó (46%).

Aunque el mayor porcentaje de EVOA se encuentra en el departamento del Chocó, es Antioquia donde se registra la mayor producción¹⁴, tal como se puede observar en el siguiente gráfico. Las diferencias registradas pueden obedecer, entre otras razones, a la incidencia de la producción en filón (que está considerada en las estadísticas de producción pero no produce evidencias de actividad registrables por teledetección), a las diferencias en productividad, y a que el oro no siempre se registra en la zona de explotación, o simplemente no se registra, como fue posible comprobar por medio de información obtenida en terreno.

El siguiente gráfico muestra el área de EVOA obtenida en el presente estudio, en relación con el registro de producción de oro por departamento¹⁵

DEPARTAMENTO	2014	% del total
Chocó	36.185	46
Antioquia	26.323	33
Bolívar	7.361	9
Córdoba	3.544	4
Nariño	1.676	2
Valle	1.570	2
Cauca	1.408	2
Otros	872	1

Tabla 1. EVOA con uso de maquinaria en tierra (hectáreas) por departamento.

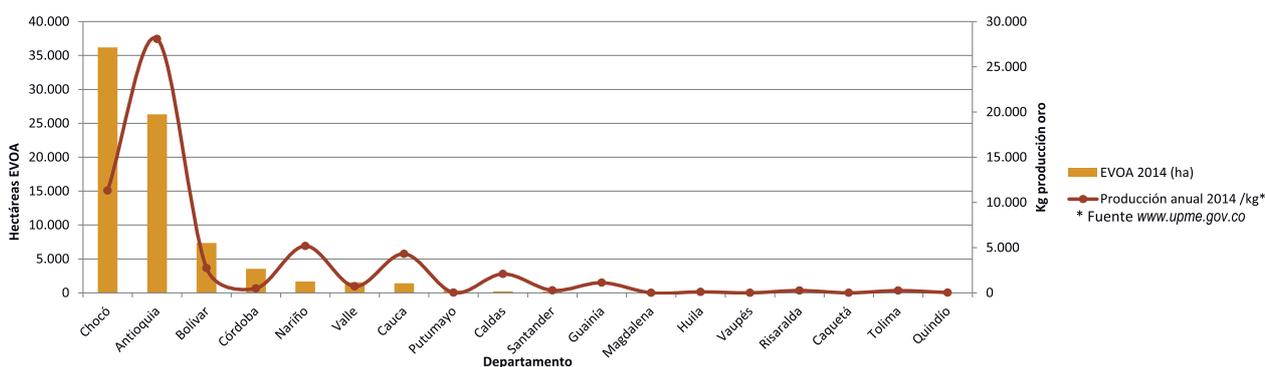
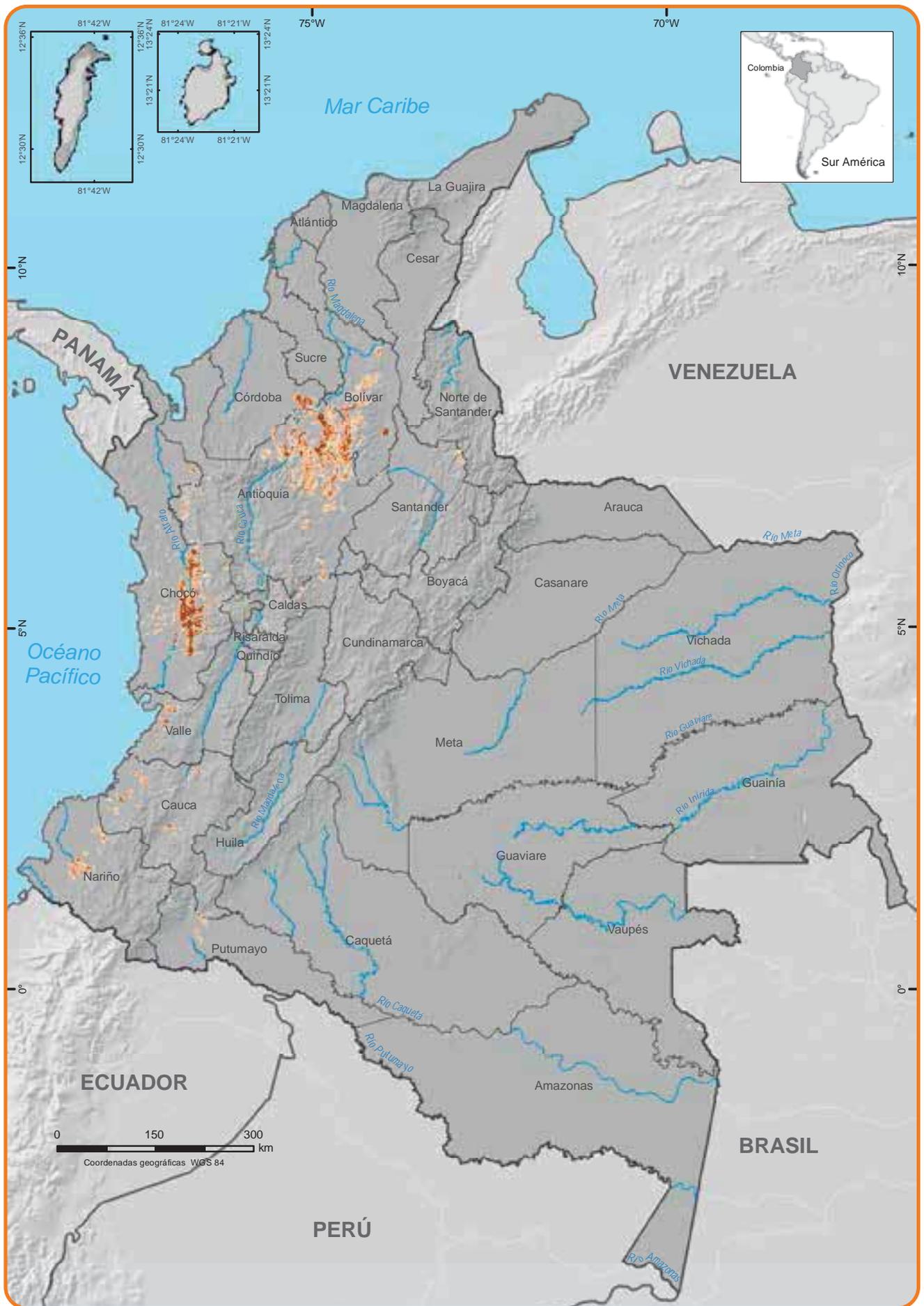


Gráfico 2. EVOA y producción de oro (Fuente: UPME).

14. El Reporte de producción nacional se obtiene en función del recaudo de regalías sustentado en el Formato Básico Minero, que es una herramienta de fiscalización del gobierno, donde el titular indica, entre otros, los volúmenes producidos semestral y anualmente. Sin embargo, esta información no es totalmente consolidada por parte de la autoridad minera [89].

15. Se toma la fuente oficial suministrada por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) que es una Unidad Administrativa Especial del orden nacional, de carácter técnico, adscrita al Ministerio de Minas y Energía, entre cuyas funciones se encuentra la de desarrollar análisis económicos de las principales variables sectoriales y evaluar el comportamiento e incidencia del sector minero energético en la economía del país. [86].

En el caso de Huila, Caldas, Tolima, Risaralda, Santander y Quindío, la información disponible registra una predominancia de actividades de explotación asociadas a filón [10], lo que explicaría una producción relativamente alta, a pesar de unas evidencias bajas; por el contrario, en Cauca y Antioquia sólo el 4 % y 14 % respectivamente de los encuestados por el censo minero en 2010, reportaron explotaciones en filón, por lo cual se esperaría una mayor relación entre las EVOA y la producción. Desafortunadamente no existen reportes sobre productividad para soportar la hipótesis de que en esos departamentos se obtiene más oro con menos afectación. Mineros entrevistados por UNODC en Cauca, Chocó y Guainía, reportaron a Medellín como el destino final del oro que extraían. Es importante anotar que el censo minero no incluyó al departamento de Nariño, por lo cual no existe información disponible sobre este aspecto.



Fuente: Gobierno de Colombia - Sistema de monitoreo Apoyado por UNODC
 Los límites, nombres y títulos usados en este mapa no constituyen reconocimiento o aceptación por parte de las Naciones Unidas

**Densidad de Evidencia
 de Explotación
 (ha/km²)**

- 0.1 - 1.0
- 1.1 - 5.0
- > 5.0

- Límites internacionales
- Límites departamentales

Mapa 1. Densidad de EVOA en Colombia, 2014.

La afectación por EVOA abarca 147 municipios (13%) del total de 1.127 en el país. Antioquia tiene afectados el 37% de los municipios, y se ubica en el primer lugar en cantidad de municipios afectados con 46 municipios. Las EVOA se concentran en 10 municipios: Nechí, Zaragoza, Cáceres, El Bagre, Tarazá, Caucasia, Segovia, Remedios, Anorí y Amalfí, los cuales aportan el 92% de las EVOA del departamento y el 31% del dato nacional.

Conceptos:

Municipio afectado: Municipio que presenta EVOA con uso de maquinaria en tierra mediante percepción remota.

Evidencia: Evidencia detectada mediante interpretación y procesamiento digital de imágenes satelitales y que se caracteriza por alteración del paisaje en terrenos aluviales.



Foto 1. EVOA en Cauca (izquierda) y Bolívar (derecha).

Por otra parte, 27 municipios del Chocó (90%) reportan evidencias del fenómeno, y solo los municipios de Acandí, Bahía Solano y Juradó no presentan afectación. Las EVOA se concentran en 11 municipios: Nóvita, Istmina, Condoto, Cantón de San pablo, Quibdó, Unión Panamericana, Medio Atrato, Tadó, Río Quito, Medio San Juan y Certeguí. En este departamento se encuentra el 18% del total de municipios afectados en el país.

El fenómeno está fuertemente concentrado. El siguiente gráfico muestra los 10 municipios con mayor incidencia de EVOA con uso de maquinaria en tierra. El 55% se concentra en 10 municipios de los departamentos de Antioquia, Chocó, Córdoba y Bolívar.

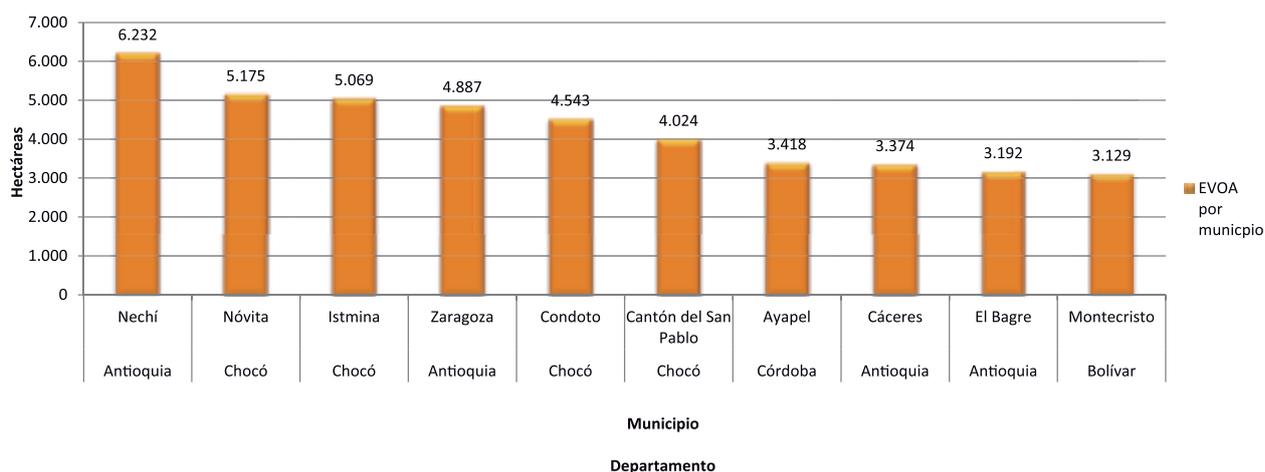


Gráfico 3. Los 10 municipios con mayor afectación de EVOA con uso de maquinaria en tierra 2014.

Antioquia y Chocó aportan 4 municipios cada uno a esta lista, con el 22% y el 24% del área nacional afectada, respectivamente. Nechí, en el departamento de Antioquia, es el municipio que presenta la mayor área reportada (6.232 ha), que equivale al 8% del total nacional, seguido

de Nóvita, en Chocó, con 5.175 ha. El departamento de Bolívar se integra a esta lista con el municipio de Montecristo, y el departamento de Córdoba con Ayapel. Todos estos municipios, excepto Ayapel (Córdoba), están afectados también por la presencia de cultivos de coca.



Foto 2. Explotación de oro de aluvión en Antioquia.

TERRITORIO AFECTADO POR EVIDENCIAS DE EXPLOTACIÓN DE ORO DE ALUVIÓN Y CULTIVOS DE COCA

SIMCI viene realizando monitoreo del territorio por más de 10 años en áreas afectadas por cultivos de coca. Una de las conclusiones es que el área sembrada se ha reducido en algunas regiones, pero los territorios no logran liberarse de fenómenos de ilegalidad [11]. En estos territorios el fenómeno de la explotación de oro de aluvión se viene manifestando cada vez con más fuerza, y los sobrevuelos de reconocimiento y verificación han permitido comprobar una relación espacial entre estos fenómenos.

De acuerdo con el Informe Preventivo de la Procuraduría sobre minería ilegal, esta se suele asociar al patrocinio de otras actividades ilícitas como son, por ejemplo, la financiación del terrorismo y de las bandas criminales. Ello obedece a que se trata de una importante fuente

para la captación de recursos que carece de un control efectivo del Estado y que, en la actualidad, no es objeto de una represión tan significativa, como sí lo son otras actividades como el narcotráfico. [12].

En consecuencia, las mismas condiciones de vulnerabilidad que han caracterizan al territorio afectado por cultivos ilícitos, han facilitado la aparición y crecimiento de esta nueva forma de ilegalidad en los mismos territorios, lo que evidencia de manera más marcada las condiciones de aislamiento de la oferta estatal, la precariedad institucional, las bajas condiciones de accesibilidad, y las fallas de gobernabilidad.

El análisis espacial de la asociación entre producción de cultivos ilícitos y EVOA se realiza sobre un marco de área con grillas de 5 km². El 38% del territorio afectado actualmente por EVOA, coincide con el territorio afectado por cultivos de coca. El siguiente gráfico representa el territorio (porcentaje de grillas de 5km) donde se observan las EVOA y el porcentaje del mismo en el que también hay cultivos de coca.

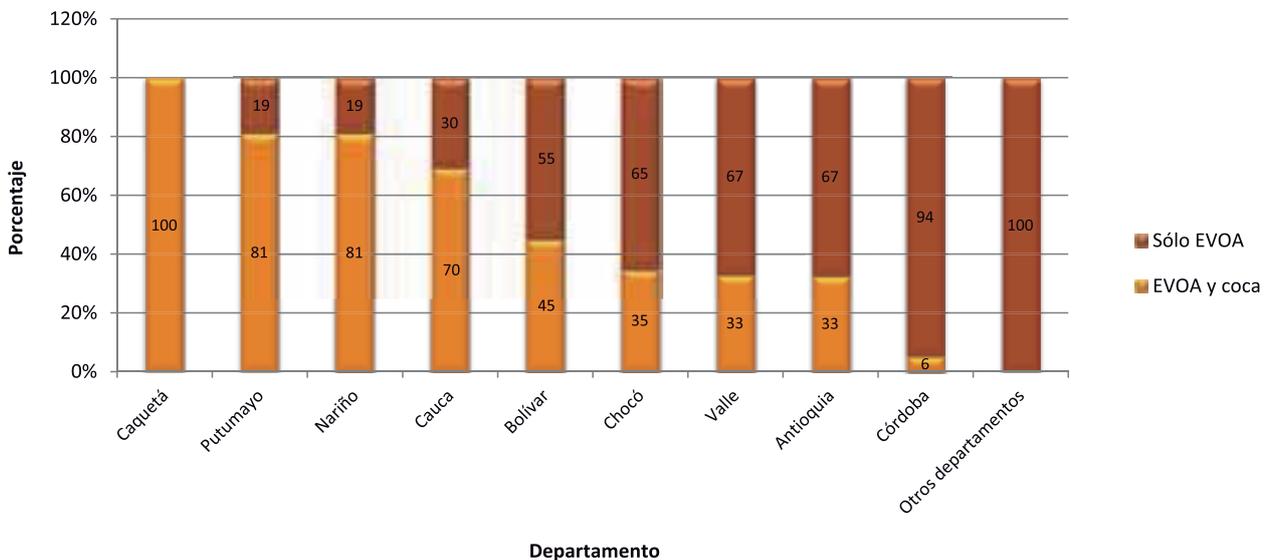
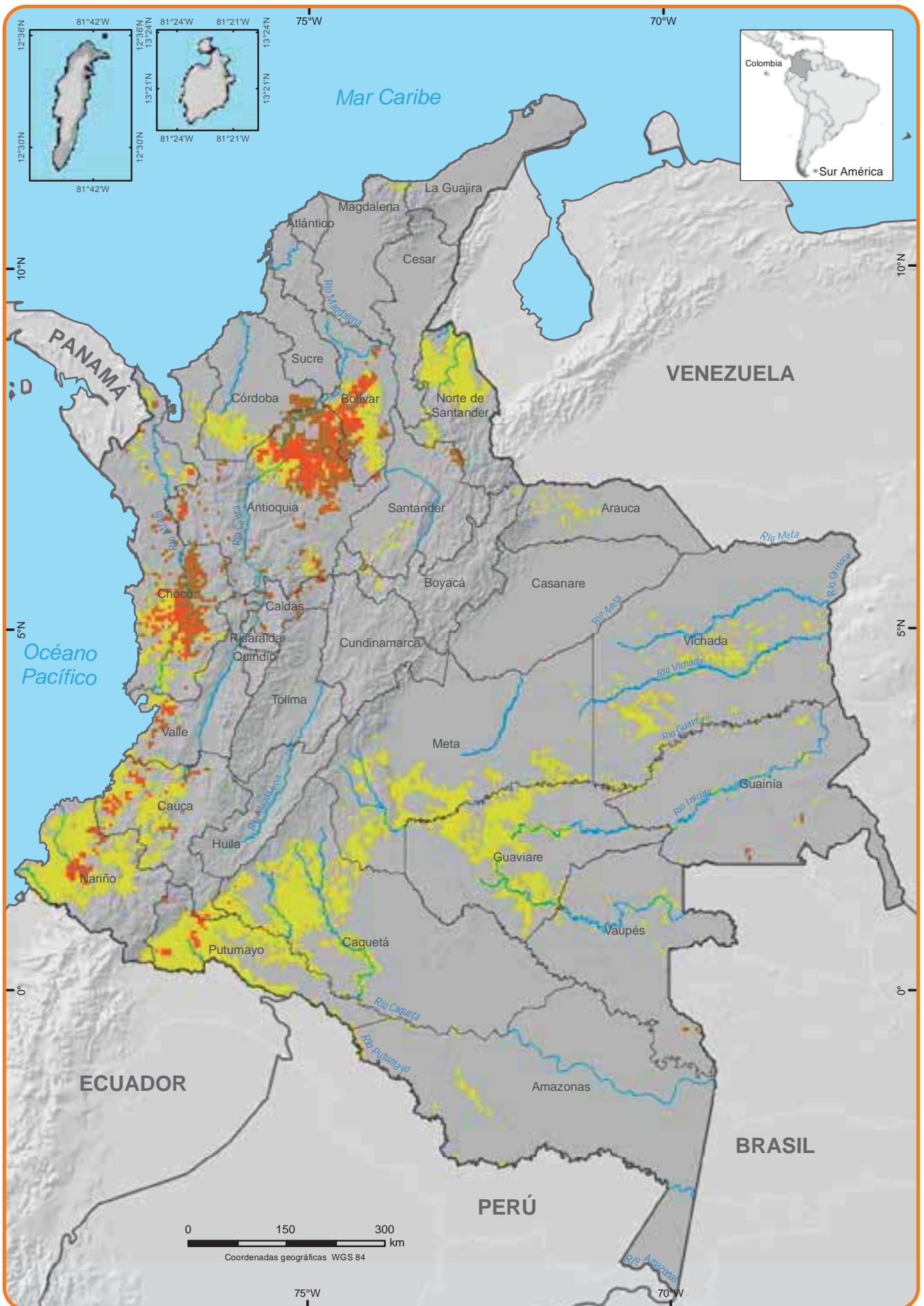


Gráfico 4. Territorio afectado por EVOA y relación con cultivos de coca.



Fuentes: Gobierno de Colombia - Sistema de monitoreo apoyado por UNODC
 Los límites, nombres y títulos usados en este mapa no constituyen reconocimiento o aceptación por parte de las Naciones Unidas

Territorios afectados por evidencia de explotación de oro de aluvión y cultivos de coca 2014

- Solo EVOA
- Solo cultivos de coca
- Cultivos de coca y EVOA

- Límites internacionales
- Límites departamentales

Nota: La representación de la evidencia de explotación y cultivos de coca se realiza en grillas de 5km x 5km

Mapa 2. Territorio afectado por EVOA y cultivos de coca, 2014.

En los departamentos de Putumayo, Nariño y Caquetá, más del 80% del territorio afectado con EVOA coincide con territorio afectado con cultivos de coca; estos departamentos registraron también aumentos del área sembrada con coca durante el periodo 2013-2014. La mayor área en territorios afectados por ambos fenómenos se localiza en los municipios de Barbacoas, Magui y El Charco, en el departamento de Nariño, y Puerto Guzmán y Puerto Asís en el Putumayo. De los municipios afectados con EVOA en estos departamentos, tres están incluidos en la lista de los 10 municipios con mayor área cultivada con cultivos de coca: Tumaco (Nariño) ocupa el primer lugar, Puerto Asís (Putumayo) el segundo, y Orito (Putumayo) ingresó a la lista durante el último periodo y ocupa el séptimo lugar. [11].

En Cauca el 70% de EVOA se presenta en territorios afectados por cultivos de coca, concentrados en Timbiquí y en López donde se encuentran los dos fenómenos, el primero de ellos mantuvo su área sembrada de coca estable durante el periodo 2013-2014 mientras que el segundo la aumentó en el mismo periodo.

En los departamentos de Chocó, Valle y Antioquia, entre el 30 y el 35% de las EVOA se encuentran en territorios afectados por cultivos de coca. En el Valle del Cauca, de acuerdo con el censo de cultivos 2014, las EVOA se localizan en áreas con tendencia a reducción o a la estabilidad de la producción cocalera, mientras que en Chocó (municipios de Nóvita, Condoto, Medio San Juan y Cantón de San Pablo), Antioquia (Cáceres y Tarazá) y Bolívar (Montecristo, Santa Rosa del Sur y Simití) las EVOA se localizaron en zonas que presentaron incremento en el área sembrada. En municipios como el Bagre y Nechí, en Antioquia, las EVOA se ubican en zonas donde se registra una tendencia a la reducción de la producción cocalera.

Llama la atención que los departamentos de Antioquia, Cauca, Chocó, Nariño y Putumayo reportan evidencias de actividad de explotación de oro en veredas focalizadas para desarrollo alternativo durante el 2014.

ZONAS DE MANEJO ESPECIAL

Uno de los énfasis de la política pública promovida por el Gobierno de Colombia es el reconocimiento de las particularidades del territorio y la necesidad de que las políticas públicas incorporen estas particularidades. La observación de las zonas de manejo especial contribuye a la focalización de esfuerzos, pero sobre todo al diseño de estrategias específicas para enfrentar problemas en estos territorios. En el presente documento se presentan datos sobre EVOA para 3 zonas de manejo especial:

los Parques Nacionales Naturales¹⁶, Los Resguardos Indígenas¹⁷ y los Consejos comunitarios¹⁸.

El 47% de las EVOA se encuentra en alguna de estas categorías. En particular los Consejos comunitarios están fuertemente afectados: el 44% (70 de 158 consejos) tiene EVOA, y el 46% del total del área con EVOA se encuentra en esta categoría. Aunque menos del 1% de la detección para el año 2014 se encuentra en Zonas de Resguardos Indígenas, llama la atención que el 93% afectan a comunidades Emberá Katio.

Parques Nacionales Naturales

Según el atlas de justicia ambiental 2014 (*Environmental Justice Organizations, Liabilities and Trade*), Colombia es el país que más conflictos ambientales enfrenta en el continente, [13]. La destrucción de ecosistemas ha aumentado en los últimos años de forma alarmante a causa de diversos frentes de presión, cultivos ilícitos, presencia de grupos armados, pesca y ganadería extensiva, avance de frontera agrícola y, durante los últimos años, minería ilegal.

Las EVOA detectadas en zonas de Parques Nacionales Naturales aportan información de alertas por presencia de la actividad y por vulnerabilidad al fenómeno, que permitirán a las instituciones competentes mejorar la caracterización que se tiene del fenómeno en estas áreas de alta riqueza en biodiversidad y oferta de servicios ambientales. De los 59 Parques Nacionales Naturales, en 2014 en 5 de ellos se detectaron EVOA con uso de maquinaria en tierra, totalizando 47 hectáreas que representan el 0.06% del área total nacional detectada.

La presencia de EVOA en Parques Nacionales Naturales, independientemente de su magnitud, genera alertas por los efectos que se ocasionan sobre los ecosistemas¹⁹. El siguiente cuadro presenta los parques con EVOA en tres rangos de proximidad: a) al interior de los parques, (b) a menos de 10 km de sus límites, y (c) a una distancia entre 10 km y 20 km de los límites.

16. La cobertura geográfica de Parques Nacionales Naturales corresponde a: información oficial de UAESPNN año 2010 cuando se realizó el último ajuste en delimitación.

17. La cobertura geográfica de Resguardos Indígenas corresponde a información reportada por el IGAC año 2009.

18. La cobertura geográfica de Consejos comunitarios corresponde a la delimitación geográfica reportada por el IGAC.

19. Se propone el concepto de afectación en parques por el impacto ambiental que genera en estos territorios protegidos. Por otra parte, el estudio plantea una metodología para la posible contaminación por sedimentos en las poblaciones aguas abajo, pero no incluye aun el tema de contaminación por mercurio, pues el tema de sustancias químicas utilizadas en el proceso de transformación forma parte de la segunda fase del proyecto.

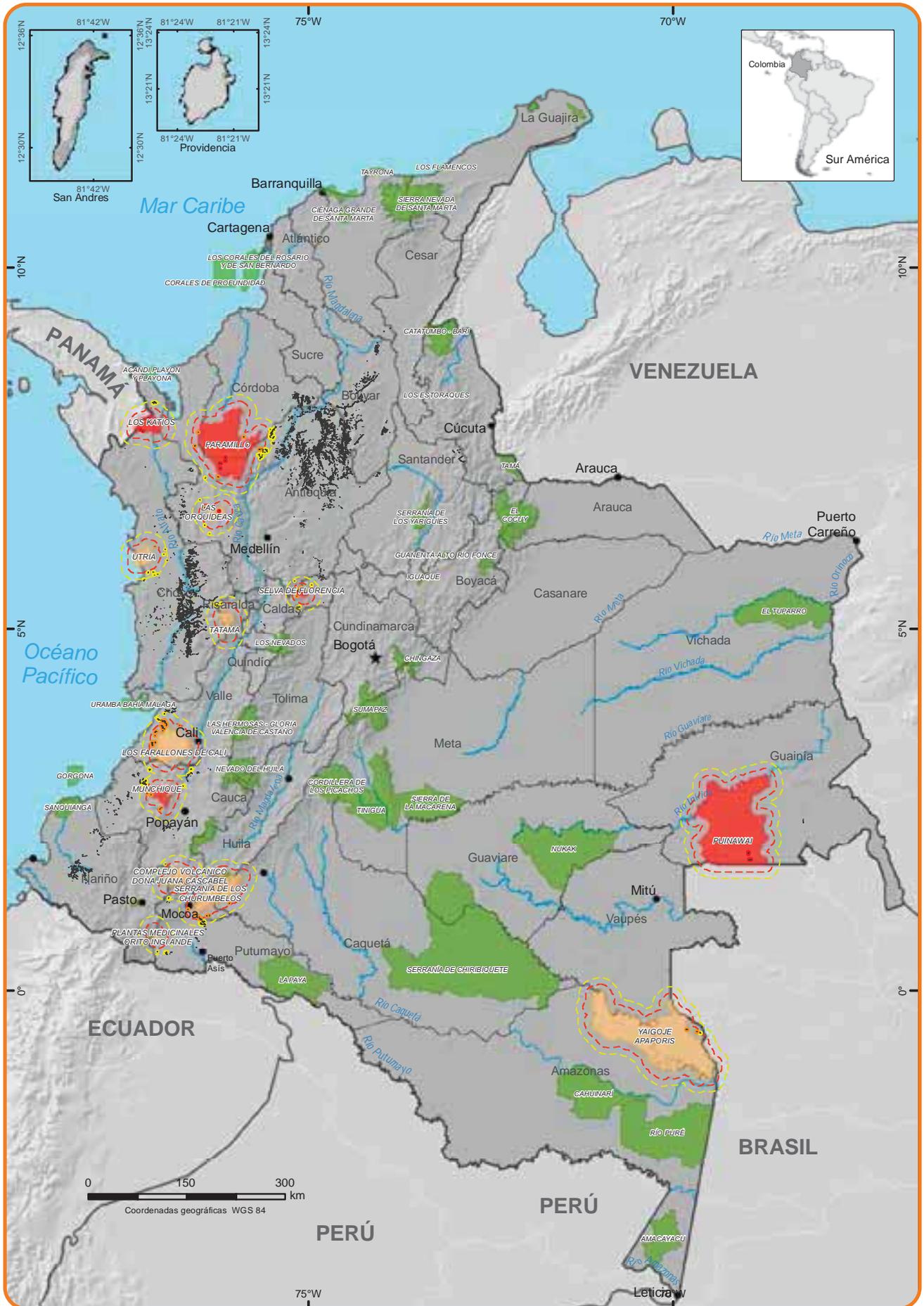
Parque Nacional Natural	EVOA en PNN	EVOA en ZI_10Km	EVOA en ZI_20Km
Puinawai	25	0	0
Paramillo	14	73	377
Los Katios	5	0	84
Munchique	2	11	134
Selva de Florencia	1	93	15
Las Orquídeas		4	10
Los Farallones de Cali		884	91
Serranía de los Churumbelos		64	78
Alto Fragua - Indiwasi		5	0
Yaigojé Apaporis		8	6
Utría			17
Complejo Volcánico Doña Juana Cascabel*			6
Plantas Medicinales Orito Ingi Ande**			32
Tatama			23
Total	47	1143	874

*Parque con cubrimiento de nubes y sombras entre 30% y 40%

** Parque con cubrimiento de nubes y sombras de 80%

Tabla 2. EVOA detectada en Parques Nacionales Naturales (ha).

Aunque solo en cinco parques se encontraron evidencias de alteración directa del paisaje, al tomar en consideración zonas de influencia de los parques se revela que cinco parques adicionales se encuentran en riesgo por presentar EVOA a menos de 10 km, y cuatro parques más a menos de 20 km.



Fuentes: para evidencia de explotación: Gobierno de Colombia - Sistema de monitoreo apoyado por UNODC; para Parques Nacionales: Parques Nacionales Naturales de Colombia

Los límites, nombres y títulos usados en este mapa no constituyen reconocimiento o aceptación por parte de las Naciones Unidas

- Evidencia de explotación en 2014
- PNN con evidencia de explotación
- PNN en cercanías (0 a 20 km) de evidencia de explotación
- PNN sin evidencia de explotación
- Grilla 1k con evidencia de explotación en PNN
- Grilla 1k con evidencia de explotación de 0 a 10 km de PNN
- Grilla 1k con evidencia de explotación de 10 a 20 km de PNN
- Area de influencia de PNN a 10 km
- Area de influencia de PNN a 20 km
- Límites internacionales
- Límites departamentales

Mapa 3. Parques Nacionales Naturales y EVOA, 2014.

La Reserva Nacional Natural Puinawai registra la mayor afectación, con 25 hectáreas que representa el 53% del total detectado en el SNPNN; las EVOA se concentran principalmente en la Serranía Naquén. Sin embargo, el Parque Nacional Natural Farallones de Cali se puede considerar en alto riesgo debido a que existen fuertes evidencias de explotación de oro a menos de 10 km de sus límites. Esta actividad se desarrolla principalmente en el río Anchicayá, que está totalmente incluido en el parque, y en los ríos Mallorquín, Cajambre, Guapi y Juan López, que nacen al interior del parque.

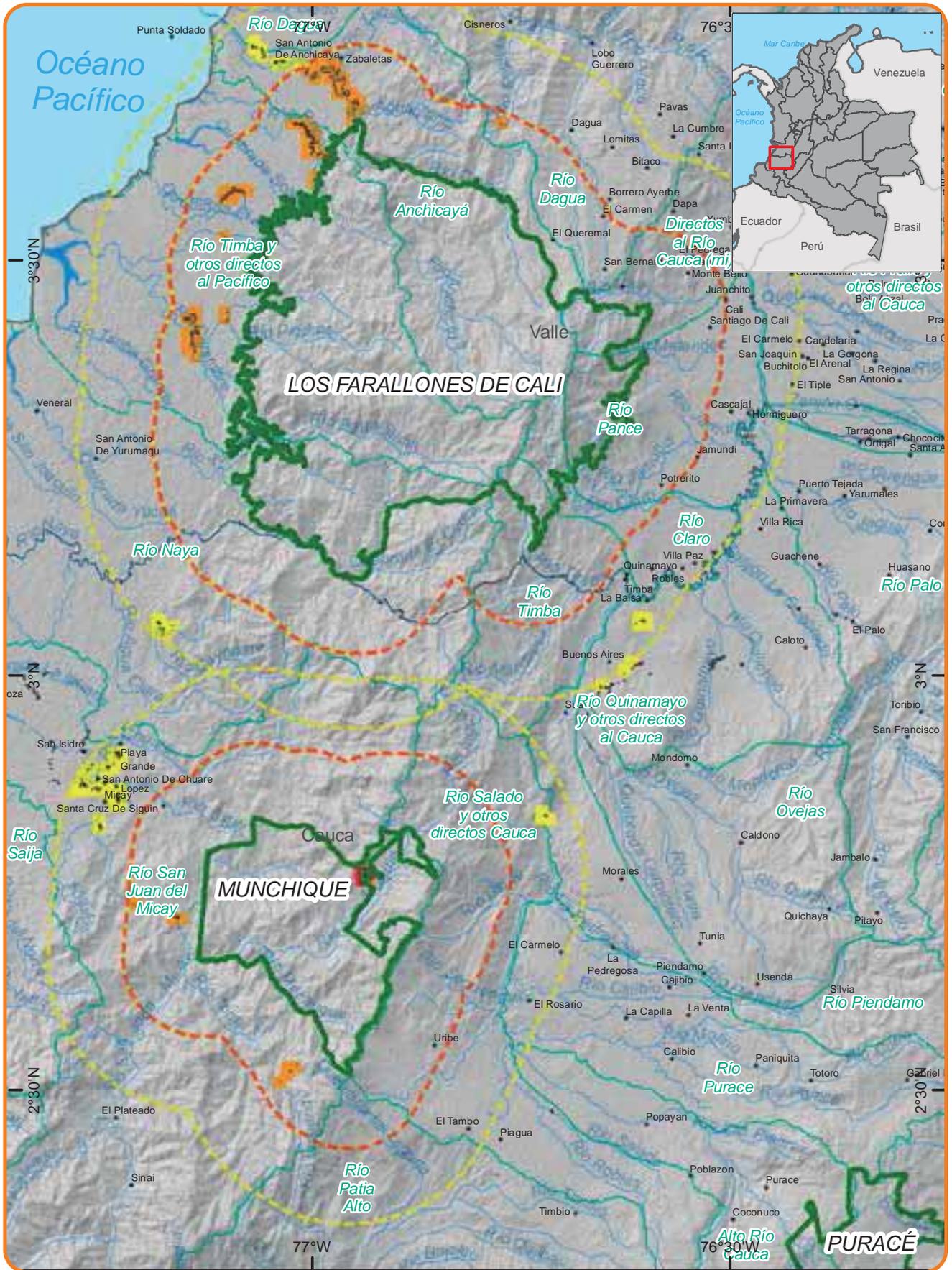
El riesgo asociado a la presencia de EVOA se refiere no solo a la proximidad respecto al parque sino al hecho de que la evidencia se encuentra en cuencas hidrográficas²⁰ incluidas parcialmente en el mismo. De esta manera, las EVOA en áreas cercanas a los PNN Farallones de Cali, Serranía de los Churumbelos y Serranía de los Yariguíes, presentan mayor riesgo de afectación por estar conectados directamente hacia el interior de los parques a través de algunos ríos o sus afluentes, tal como se presenta en el siguiente cuadro.

Parque Nacional Natural	Conectividad fluvial	NOMSZH ²¹ Subcuenca
Las Orquídeas	Río Carauta afluente del Río Chaquenodá	Río Murri
Selva de Florencia	Río Samaná y afluentes del Río Dulce	Río Samaná
Munchique	Río San Juan del Micay y afluentes, Río Huesito	San Juan del Micay
Utría	Río Bojayá	Río Bojayá
	Río Boroboro	Pacífico y frontera Pacífico
Los Farallones de Cali	Río Anchicayá	Anchicayá
	Río Mallorquín, Río Cajambre, Río Guapi, Quebrada Juan López	Río Timba y directos al Pacífico
Serranía de los Churumbelos	Río Caquetá y afluentes Quebrada Pacayaco y Santa Lucía	Alto Caquetá
Serranía de los Yariguíes	Afluentes del Río Tamaná	Río Tamaná y otros directos San Juan

Tabla 3. Conectividad fluvial entre EVOA detectadas y PNN.

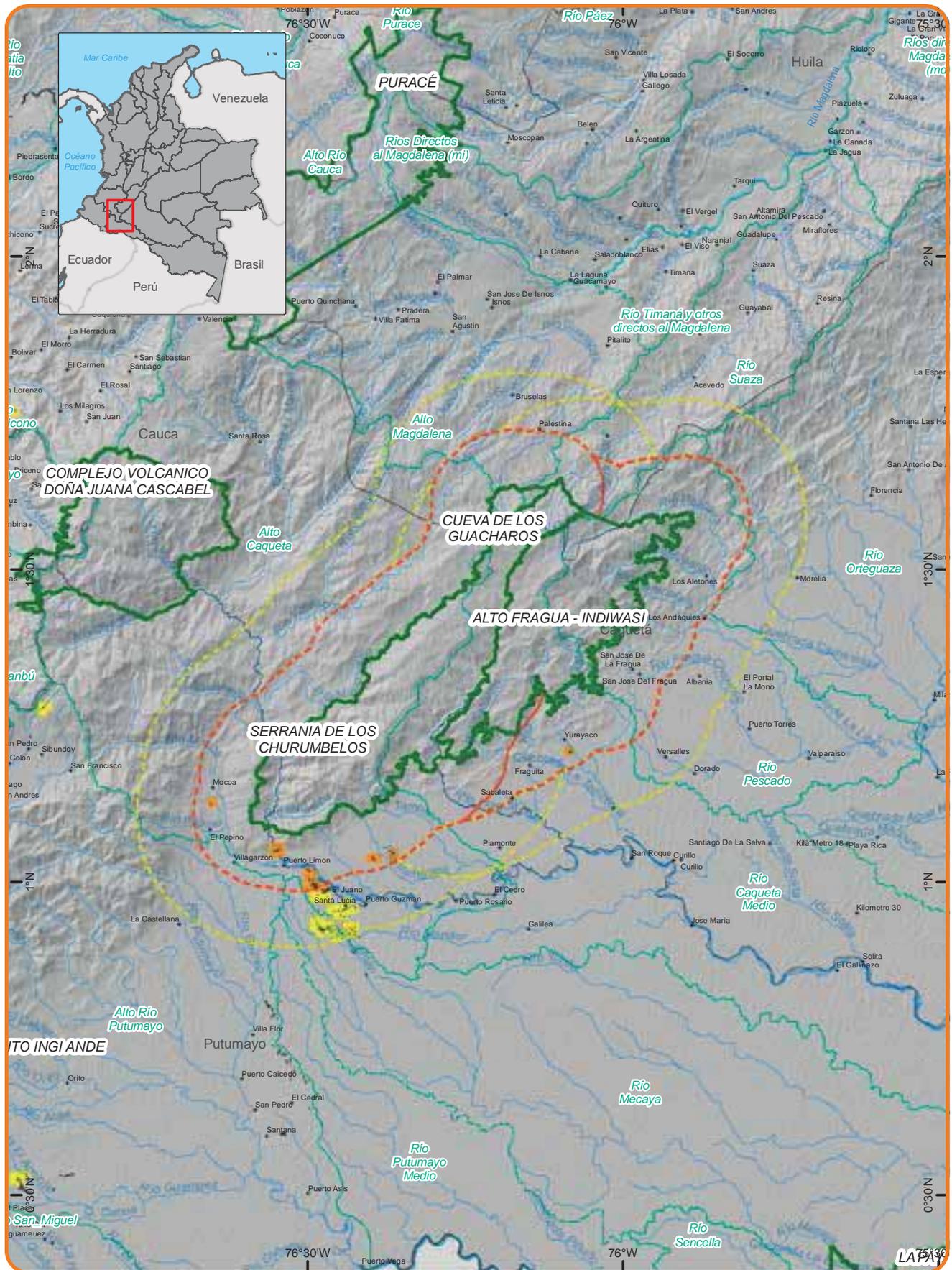
20. Se toma como referencia la información 2013 del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, IDEAM.

21. NOMSZH: Nombre Subzona Hidrográfica, IDEAM.



- | | |
|---|--|
| Parques Nacionales Naturales | ■ Evidencia de explotación en PNN |
| Centros poblados | Evidencia de explotación de 0 a 10 km de PNN |
| — Drenajes | Evidencia de explotación de 10 a 20 km de PNN |
| Límite de Subcuenca Hidrográfica | Área de influencia de PNN a 10 km |
| Límites internacionales | Área de influencia de PNN a 20 km |
| Límites departamentales | |

Mapa 4. EVOA detectadas en relación con buffers de influencia en los Parques Farallones de Cali y Munchique.



- Parques Nacionales Naturales
- Centros poblados
- Drenajes
- Límite de Subcuenca Hidrográfica
- Límites internacionales
- Límites departamentales
- Evidencia de explotación en PNN
- Evidencia de explotación de 0 a 10 km de PNN
- Evidencia de explotación de 10 a 20 km de PNN
- Área de influencia de PNN a 10 km
- Área de influencia de PNN a 20 km

Mapa 5. EVOA detectadas en relación con buffers de influencia en el Parque Nacional Natural Serranía de los Churumbelos.

Resguardos indígenas

El 7% del total de resguardos indígenas en el país está afectado por EVOA; se identificaron en estos territorios 803 hectáreas de EVOA para el 2014. Los resguardos

en Chocó son los más afectados, con 499 hectáreas (62%) distribuidas en 27 resguardos. El segundo lugar en afectación corresponde al departamento de Antioquia, con 156 ha (19%) distribuidas en 13 resguardos, que representan el 20% del total en el departamento.

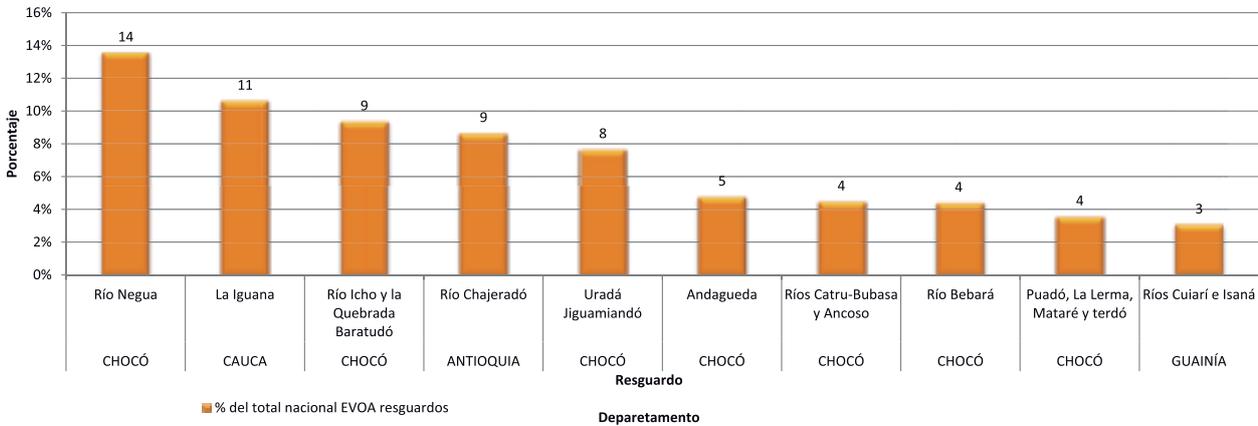


Gráfico 5. Los 10 Resguardos con mayor afectación de EVOA con uso de maquinaria en tierra 2014.

Los 10 resguardos más afectados reúnen el 70% (565 ha) de EVOA detectadas, y están ubicados en los departamentos de Chocó, Antioquia, Cauca y Guainía. 7 de los 10 resguardos en esta lista se ubican en Chocó y representan el 48% del total detectado en resguardos en todo el país. El 89% de estos pertenecen a etnias Emberá – Katios. Anexo 2

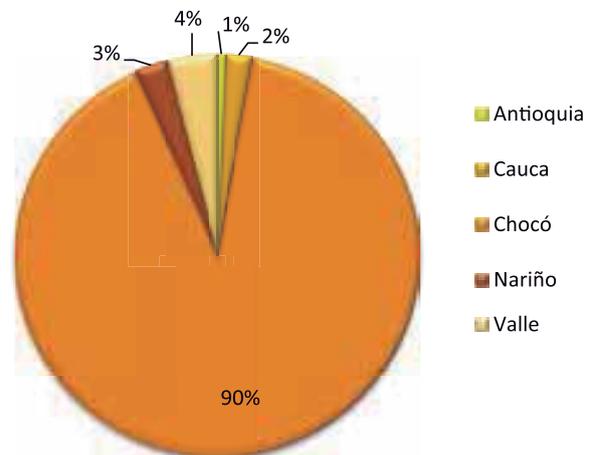


Gráfico 6. Participación porcentual de Consejos por departamento.

Consejos comunitarios

Las EVOA detectadas en zonas de Consejos comunitarios reportan 36.381 ha para el año 2014; esta cifra representa el 46% del total detectado en todo el territorio nacional. Este dato debe tomarse como una alerta nacional por la afectación de la biodiversidad ambiental y cultural presente en estas zonas.

Chocó se posiciona nuevamente en primer lugar en afectación, y concentra el 90% del área de EVOA detectadas en estas zonas de manejo especial. De los 67 consejos del departamento, 24 (36% de los consejos del departamento) presentan evidencias del fenómeno.



Foto 3. Explotación de oro de aluvión en Chocó.

El 88% del territorio afectado en estos territorios se focaliza en 10 consejos comunitarios ubicados en el departamento del Chocó. Es importante resaltar que Chocó representa el 46% de detección de EVOA en

todo el territorio nacional. El 42% del dato nacional de EVOA fue detectado en Consejos comunitarios de este departamento y solo el 4% fuera de ellos.

Consejo Comunitario	EVOA (ha)
Mayor del Medio Atrato Acia	5.074
Istmina y Parte del Medio San Juan	4.932
Mayor del Municipio Condoto e Iró	4.744
Mayor del Cantón San Pablo "ACISANP"	4.051
Mayor de Unión Panamericana	3.453
Acadesán	3.440
Mayor de Nóvita	3.152
Mayor del Alto San Juan "ASOCASAN"	1.313
Cértégui	985
Paimadó	757
Total	31.900

Tabla 4. Los 10 Consejos comunitarios de comunidades afrodescendientes con mayor área de EVOA en el territorio nacional.

En Chocó, el acceso y desplazamiento por el territorio presentan graves limitaciones; más de la mitad de los municipios no se encuentran conectados por red vial, y aunque la red fluvial del departamento es amplia y permite la comunicación al interior de las cuencas, presenta restricciones de calado para las embarcaciones, por lo que una parte importante del territorio puede conectarse solo por medio de barcas de baja capacidad. [14]. Este factor limita el acceso de actores de desarrollo y control al territorio, facilita el establecimiento de fenómenos de ilegalidad y aumenta las condiciones de vulnerabilidad.

De acuerdo con entrevistas realizadas por el SIMCI durante el año 2015, la cuenca hidrográfica es el elemento territorial primario para la realización de actividades de explotación de oro de aluvión en el pacífico. Los ríos obran como ejes de conectividad entre zonas de explotación y sitios de abastecimiento y se constituyen en núcleo de avance del fenómeno. En este sentido, la Cuenca debe observarse como territorio base para comprender la dinámica del fenómeno en región.

El 54% de las EVOA en Consejos comunitarios en Chocó se focalizan en dos subcuencas: Río Quito y Río Tamará - otros directos San Juan, que representan el 22% del total detectado en todo el territorio nacional e integran los municipios de Certeguí, Istmina, Medio San Juan, Río Iró, Tadó, Unión Panamericana, Condoto, Nóvita y San José del Palmar.

PÉRDIDA DE COBERTURAS DE ALTO VALOR AMBIENTAL POR ACTIVIDADES DE EXPLOTACIÓN DE ORO DE ALUVIÓN

Uno de los impactos de la explotación mineral en terrenos aluviales es la pérdida de cobertura boscosa, puesto que para su explotación se requiere de la remoción de grandes áreas de tierra [15]. El documento de preparación para REDD+²² cita la minería como uno de los motores de deforestación, que de acuerdo con estudios realizados es uno de los temas más preocupantes en relación con la deforestación en el país con efectos nocivos para el medio ambiente, especialmente en el Pacífico, Amazonía y Magdalena Medio [16]. Por otra parte, el informe 2014 del Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMBYC) del IDEAM²³ y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), señala a la minería ilegal como uno de los factores de deforestación con mayor

22. REDD+ (Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación) es un mecanismo de compensación económica por la conservación del carbono que capturan los bosques en pie. Colombia ha avanzado en su proceso como país REDD+, dentro del marco de las negociaciones internacionales sobre el cambio climático. Para lograr la construcción de la Estrategia Nacional REDD+ los gobiernos de cada país deben desarrollar un esquema de salvaguardas ambientales y sociales, orientado a garantizar los derechos tanto de los actores que habitan las áreas boscosas como de todos los involucrados en el proceso (privados, inversionistas, etc.). [96].

23. Cobertura de bosque: Tierra ocupada principalmente por árboles que puede contener arbustos, palmas, guadas, hierbas y lianas, en la que predomina la cobertura arbórea con una densidad mínima del dosel de 30%, una altura mínima del dosel (in situ) de 5 m al momento de su identificación, y un área mínima de 1,0 ha. Se excluyen las coberturas arbóreas de plantaciones forestales comerciales (coníferas y/o latifoliadas), plantaciones comerciales de Palma, y árboles sembrados para la producción agropecuaria, y árboles en parques urbanos [101].

presencia en el Pacífico colombiano y nororiente del departamento de Antioquia [17].

Mucho se ha escrito sobre los efectos de la pérdida de cobertura boscosa y sus implicaciones para el medio ambiente; entre los principales se señalan: alteración del paisaje, erosión, fragmentación de hábitats, pérdida de corredores naturales, alteración de ecosistemas, pérdida de biodiversidad, y aumento de las emisiones de carbono a la atmósfera que contribuyen al cambio climático. Si bien el alcance de este documento no incluye una evaluación de impacto ambiental, las EVOA constituyen un insumo fundamental para aportar información y hacer evaluaciones que contribuyan de manera práctica a dimensionar el problema.

Cobertura de bosque: La definición de la cobertura presentada ante la Convención del Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático es la tierra ocupada principalmente por árboles que puede contener arbustos, palmas, guaduas, hierbas y lianas, en la que predomina la cobertura arbórea con una densidad mínima del dosel de 30%, una altura mínima del dosel (in situ) de 5 m al momento de su identificación, y un área mínima de 1,0 ha. Se excluyen las coberturas arbóreas de plantaciones forestales comerciales (coníferas y/o latifoliadas), plantaciones comerciales de Palma, y árboles sembrados para la producción agropecuaria, y árboles en parques urbanos [101].

La pérdida total de coberturas (bosque natural y otros tipos de Coberturas de la Tierra como vegetación secundaria) de alto valor ambiental asociada a las actividades de explotación de oro de aluvión para 2014 fue de 24.450 ha, es decir, la tasa mensual total de pérdida de coberturas de interés ambiental asociadas al fenómeno fue de 2.038 ha.

La pérdida de cobertura de bosque asociada a las actividades de explotación de oro de aluvión para el año 2014 fue de 2.681 ha, y se concentró en el departamento del Chocó con 2.300 ha, el 86% de la pérdida asociada a esta actividad; departamentos como Valle, Antioquia, Cauca, Bolívar y Putumayo, registran menor participación.

El panorama se oscurece un poco más al considerar la pérdida de cobertura de vegetación secundaria²⁴ o en proceso de sucesión vegetal, con una pérdida de cobertura de 21.768 ha, que representan una tasa mensual de pérdida de 1.814 ha, de las cuales 1.378

24. "Vegetación secundaria comprende aquella cobertura vegetal originada por el proceso de sucesión de la vegetación natural que se presenta luego de la intervención o por la destrucción de la vegetación primaria, que puede encontrarse en recuperación tendiendo al estado original. Se desarrolla en zonas desmontadas para diferentes usos, en áreas agrícolas abandonadas y en zonas por donde la ocurrencia de eventos naturales la vegetación natural fue destruida. No se presentan elementos intencionalmente introducidos por el hombre. [87]

ha se pierden en Chocó, que se ubica en el corredor biogeográfico, una de las 10 zonas megadiversas del mundo con varios endemismos, ecosistemas estratégicos para la conservación de la oferta hídrica, y cientos de especies de flora y fauna que actualmente están incluidas en los libros rojos de especies en peligro.

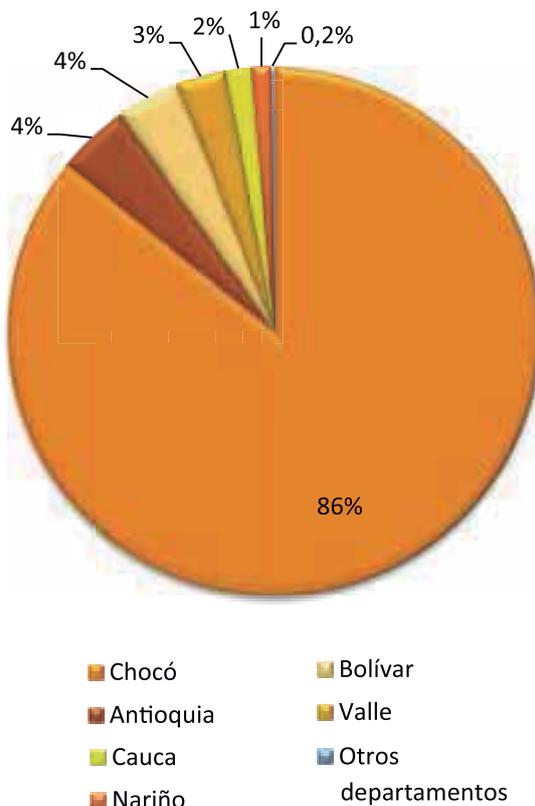


Gráfico 7. Distribución porcentual de pérdida de cobertura de bosque natural por actividades de explotación de oro de aluvión con uso de maquinaria en tierra.

Es de especial reflexión nacional la tasa de pérdida de bosques naturales por esta actividad para el periodo 2013-2014, que reporta 223 ha de bosques eliminados mensualmente, y de las cuales 192 ha se localizan en el Chocó. El 55% de la pérdida de coberturas de alto valor ambiental (bosque natural y otros tipos de Coberturas de la Tierra como vegetación secundaria) se concentra en jurisdicción de los Consejos comunitarios Mayor del Medio Atrato Acia, Mayor del municipio Condoto e Iró, Istmina y parte del medio San Juan, Mayor del Cantón San Pablo ACISANP, Acadesán y Mayor de Nóvita.

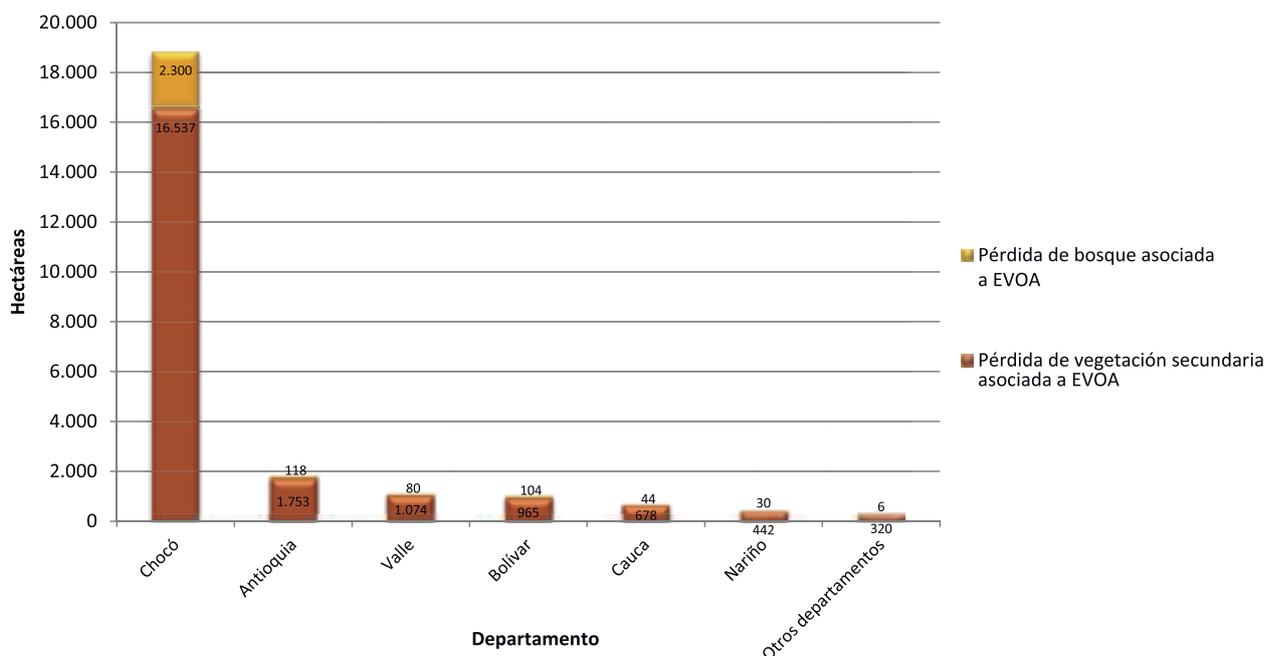


Gráfico 8. Pérdida de coberturas de alto valor ambiental asociada a EVOA.

La información empleada para el cálculo de pérdida de bosque y análisis relacionados corresponde a los datos reportados por el IDEAM para el año 2014.

El presente informe utiliza como insumo la información oficial de monitoreo de la superficie de bosque generada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) a través del Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono operado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), que se constituye en el referente de información oficial en esta materia para el país. Esta información es compatible con los estándares nacionales de monitoreo de Coberturas de la Tierra a través de la adaptación de la metodología CORINE Land Cover para Colombia. En este sentido, la definición de bosque utilizada en este estudio corresponde a la definición oficial del país ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).

CUENCAS HIDROGRÁFICAS

La cuenca hidrográfica se concibe como unidad de manejo por excelencia del recurso hídrico, y en ella se produce la interrelación e interdependencia entre los sistemas físicos y bióticos y el sistema socio económico. De forma análoga, la dependencia de un sistema hídrico compartido y de los caminos y vías de acceso, y el hecho de que deban enfrentar riesgos similares, confiere a los habitantes de una cuenca características socioeconómicas y culturales comunes. Adicionalmente, los cambios en el uso de los recursos naturales, principalmente la tierra, acarrearán aguas arriba de la cuenca una modificación del ciclo hidrológico que tiene efectos aguas abajo en cantidad y calidad. Por último, las características físicas del agua generan un grado extremadamente alto y en muchos casos imprevisible, de interrelación e interdependencia entre los usos y los usuarios de agua en una cuenca. [18].

En consecuencia, la caracterización espacial para mejorar la comprensión del fenómeno de explotación de oro de aluvión, debe involucrar estas unidades como áreas independientes con características homogéneas que pueden identificar dinámicas y actores específicos. El trabajo de campo con mineros en Cauca permitió identificar la importancia, particularmente para la Región Pacífico, de las cuencas hidrográficas. Los mineros mencionaron que tanto la mano de obra no especializada como el abastecimiento de insumos, y las autorizaciones para desarrollar la actividad, se gestionan siguiendo las cuencas; incluso la comercialización de los productos sigue los cursos hídricos.

En este contexto, desde el punto de vista hidrológico el país está conformado por cinco Áreas Hidrográficas (Caribe, Magdalena - Cauca, Orinoco, Amazonas y Pacífico) que a su vez están divididas en 41 Zonas Hidrográficas y subdivididas en 316 Subzonas Hidrográficas [19].

Para el año 2014, se encontraron EVOA en cuatro de las cinco Áreas Hidrográficas o macrocuencas, 19 Zonas Hidrográficas o cuencas y 81 Subzonas Hidrográficas o subcuencas (ver tablas 5 a 8).

Como se observa en el siguiente mapa, la mayor concentración de áreas con EVOA se encuentra en la macrocuenca Magdalena-Cauca, especialmente al nororiente del departamento de Antioquia y sur de Bolívar, en los municipios de Zaragoza, El Bagre, Nechí²⁵, Caucasia, Segovia y Montecristo y Santa Rosa del Sur, respectivamente, Las subcuencas donde se ubican estos municipios tienen en su mayoría más de 1000 ha en EVOA.

Se observan dos focos de alta concentración en la macrocuenca del Pacífico. El primero en la parte norte, en municipios de Istmina, Medio San Juan, Nóvita, Condoto y Tadó, del departamento del Chocó, y el segundo en la parte sur de los municipios de Barbacoas y Magüi, del departamento de Nariño, en la cuenca del Patía.

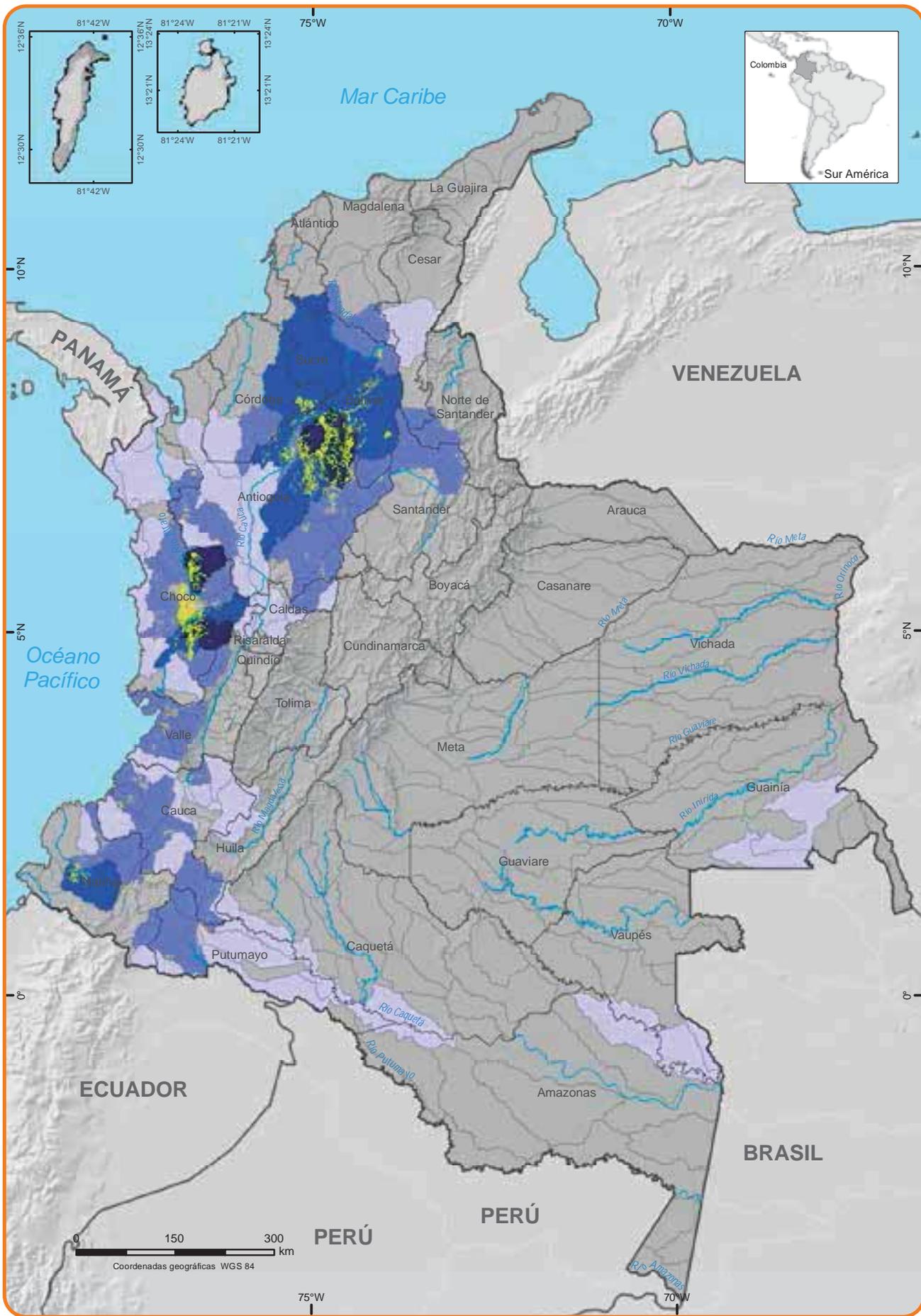
La macrocuenca del Caribe, por su parte, tiene alta concentración de EVOA al norte del departamento del Chocó en los municipios del Medio Atrato, Río Quito, Cantón de San Pablo y Unión Panamericana, de la cuenca Atrato- Darién.

La cuenca Atrato - Darién pertenece al Área Hidrográfica del Caribe a la cual aporta 36% del área total; tiene una superficie aproximada de 38500 km², y se encuentra limitada por la cordillera Occidental, la serranía del Baudó y las prominencias del istmo de San Pablo. El río Atrato nace en los farallones de Citará, cerro del Plateado, sobre una cota de 3700 m, en el municipio del Carmen de Atrato, en el departamento del Chocó. A esta fuente vierten sus aguas numerosos afluentes, entre los que se destacan: Cabí, Negua, Quito, Munguidó, Beté, Buey, Bebará, Bebaramá, Tagachí, Murry, Arquía, Buchadó, Bojayá, Murindó, Opogadó, Montaña, Curvaradó, Domingodó, Truandó, Salaquí, La Larga, Cacarica y el León.

La cuenca del Río Nechí pertenece al Área hidrográfica del Magdalena – Cauca, y tiene una superficie de 320 km. El río Nechí nace en la jurisdicción del municipio de Yarumal y sirve de límite entre diversos municipios de Antioquia, como Campamento, Angostura, Anorí, Yarumal, Valdivia, Tarazá, Cáceres, Zaragoza, El Bagre, Caucasia y Nechí

La cuenca del Río San Juan aporta el 24,5% (en un área aproximada de 15.858 km²) del área de la macrocuenca del Pacífico, nace en zona alta del Municipio de Mistrató en el Departamento de Risaralda, en el Cerro de Caramanta, en la cordillera occidental. Sus aguas corren en dirección sur Occidente atravesando el departamento del Chocó y desembocando en el Pacífico en el Municipio del Litoral del San Juan en un delta de unos 300 km² denominado «Siete Bocas», y que está situado a unos 60 km al noroeste del puerto de Buenaventura, e incluye numerosas islas rodeadas de manglares. [103]

25. Nechí es una palabra de origen catío que significa Oro natural; Ne significa oro, y Chí, natural y en lengua yamesí significa Río de oro.



Fuentes: Gobierno de Colombia - Sistema de monitoreo apoyado por UNODC; Para subcuencas hidrográficas: IDEAM
 Los límites, nombres y títulos usados en este mapa no constituyen reconocimiento o aceptación por parte de las Naciones Unidas

Subcuencas hidrográficas afectadas con evidencia de explotación de oro de aluvión

- Evidencia explotación en 2014
- 0 - 100 ha

- 100,1 - 1000 ha
- 1000,1 - 5000 ha
- > 5000,1 ha

- Límite subcuenca hidrográfica
- Límites internacionales
- Límites departamentales

Mapa 6. Subcuencas hidrográficas y EVOA, 2014.

Área Hidrográfica (Macrocuena)	Zona Hidrográfica (Cuenca)	Subzona Hidrográfica (Subcuena)
Amazonas	Apaporis	Bajo Río Apaporis
		Directos Río Taraira
	Caquetá	Alto Caquetá
		Río Caquetá Medio
		Río Mecaya
	Guainía	Bajo Río Guainía
		Río Cuiary
	Putumayo	Alto Río Putumayo
		Río Putumayo Medio
		Río San Miguel

Tabla 5. Zonas y Subzonas Hidrográficas afectadas con EVOA, Área Hidrográfica del Amazonas.

Área Hidrográfica (Macrocuena)	Zona Hidrográfica (Cuenca)	Subzona Hidrográfica (Subcuena)
Caribe	Atrato - Darién	Alto Atrato
		Directos Atrato (md)
		Directos Atrato (mi)
		Río Andágueda
		Río Bebaramá y otros Directos Atrato
		Río Bojayá
		Río Cacarica
		Río Murindó - Directos al Atrato
		Río Murri
		Río Quito
		Río Salaquí y otros directos Bajo Atrato
		Río Sucio
	Río Tanela y otros Directos al Caribe	
	Caribe- Urabá	Río León
	Alto Sinú - Urrá	Alto Sinú - Urrá

Tabla 6. Zonas y Subzonas Hidrográficas afectadas con EVOA, Área Hidrográfica del Caribe.

Área Hidrográfica (Macrocuena)	Zona Hidrográfica (Cuenca)	Subzona Hidrográfica (Subcuena)
Magdalena Cauca	Alto Magdalena	Río Páez
	Bajo Magdalena- Cauca -San Jorge	Alto San Jorge
		Bajo San Jorge - La Mojana
		Directos Bajo Cauca - Cga La Raya
	Cauca	Directos al Cauca (md)
		Directos Río Cauca (md)
		Directos Río Cauca (mi)
		Río Chinchiná
		Río Frío y Otros Directos al Cauca
		Río La Vieja
		Río Palo
		Río Quinamayo y otros directos al Cauca
		Río Risaralda
		Río San Juan
		Río Tapias y otros directos al Cauca
		Río Taraza - Río Man
		Medio Magdalena
	Directos Magdalena (mi)	
	Directos Magdalena Medio (mi)	
	Río Carare (Minero)	
	Río Cimitarra	
	Río Gualí	
	Río Guarinó	
	Río Lebrija	
	Río Nare	
	Río Opón	
	Río Samaná	
	Río San Bartolo y otros directos al Magdalena Medio	
	Nechí	Alto Nechí
		Bajo Nechí
		Directos al Bajo Nechí
		Río Porce
Saldaña	Medio Saldaña	
Sogamoso	Río Sogamoso	

Tabla 7. Zonas y Subzonas Hidrográficas afectadas con EVOA, Área Hidrográfica del Magdalena – Cauca.

Área Hidrográfica (Macrocuena)	Zona Hidrográfica (Cuena)	Subzona Hidrográfica (Subcuena)
Pacífico	Amarales - Dagua - Directos	Río Anchicayá
		Río Dagua
		Río Guapi
		Río Iscuandé
		Río Naya
		Río Saija
		Río San Juan del Micay
		Río Tapaje
		Río Timba y otros directos al Pacífico
		Río Timbiquí
	Baudó - Directos Pacífico	Río Baudó
		Río Docampadó y Directos Pacífico
	Pacífico - Directos	Directos Pacífico Frontera Panamá
	Patía	Río Guachicono
		Río Patía Alto
		Río Patía Medio
	San Juan	Río Telembí
		Río Cajón
		Río Calima
		Río Capoma y otros directos al San Juan
Río San Juan		
Río Sipí		
Río Tamaná y otros Directos San Juan		

Tabla 8. Zonas y Subzonas Hidrográficas afectadas con EVOA, Área Hidrográfica del Pacífico.

Se destaca que el 51% del total de área con EVOA se concentra en las subcuencas de los ríos Quito -pertenece a la Cuena Atrato Darién, con 12.137 ha (15%)-, Bajo Nechí (14%) y Directos al Bajo Nechí (12%) -de la Cuena Nechí con áreas de 10.690 ha y 9.748 ha

respectivamente- y Río Tamaná y otros directos San Juan de la cuena del Río San Juan con participación en área de 7.337 ha correspondiente al 9%, como se observa en el siguiente gráfico:

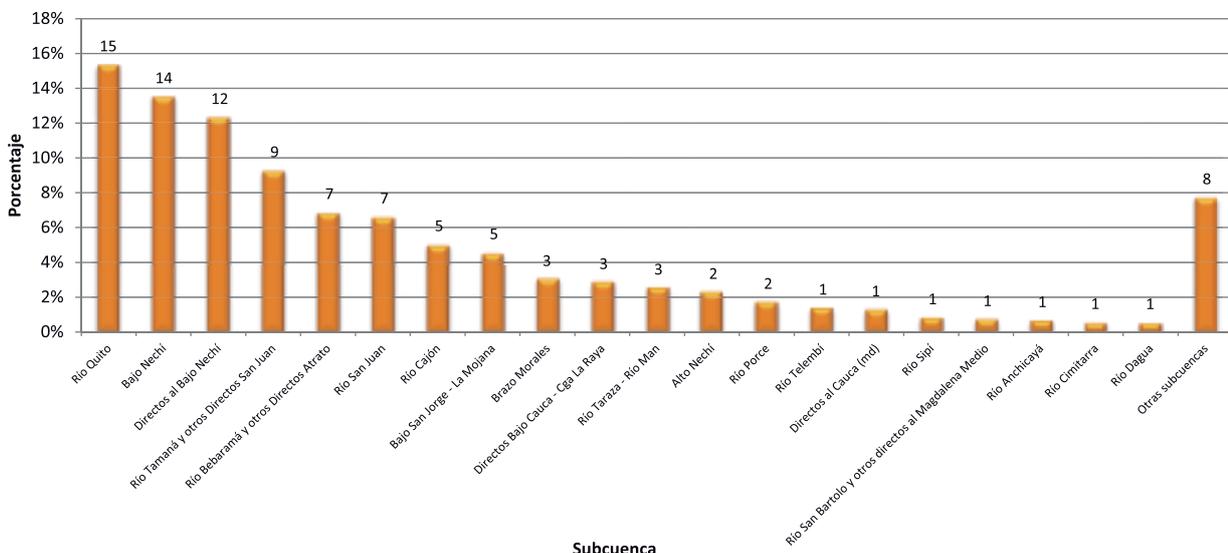


Gráfico 9. Distribución porcentual en Subcuencas con EVOA.

La Subcuenca del Río Quito, de la cuenca Atrato-Darién, se ubica a 30 kilómetros de Quibdó y alberga el pueblo más pobre del país. Sus tres corregimientos, Villa Conto, San Isidro y Paimadó, registran un 98% de necesidades básicas insatisfechas según el DANE. La explotación de oro de aluvión se ha intensificado en los últimos diez años fragmentando el curso del río, desviando su cauce, y provocando inundaciones por la destrucción de sus meandros. [20] La contaminación del agua por actividades de explotación de oro de aluvión ha afectado la producción piscícola, debido a la alta sedimentación del Río Quito; especies como el bocachico, el dentón y la mojarra, han registrado una progresiva reducción [20].

Las subcuencas Bajo Nechí y Directos al Nechí están categorizadas como zonas con alta amenaza por contaminación de mercurio, de acuerdo con el índice

de prioridad para determinar los planes de restauración ecológica de los ecosistemas intervenidos, afectados y abandonados por la explotación mineral descrito en el Plan Estratégico Macrocuena Magdalena- Cauca [21], el cual se elaboró teniendo en cuenta la producción de oro en la subcuenca y, con ello, su potencial contaminación por mercurio.

El incremento de los sólidos suspendidos que llegan a estos ríos por el lavado del material procedente de las áreas de explotación mineral, ha disminuido la disponibilidad de alimento, y las posibilidades de captura de las especies de hábitos acuáticos como el Bocachico, Bagre tigre, Doncella, Pacora y Dorada. Para todas ellas, se ha registrado una progresiva reducción no sólo en el volumen de pesca, sino también en el tamaño y peso de captura. [22].

Subcuenca	Producción Oro (kg/año) 2012	Descarga Potencial Mercurio (kg/año) 2012	Población total Subcuenca 2013
Bajo Nechí	5.623	28.113	84.340
Directos al Bajo Nechí	2.113	10.566	26.890

Tabla 9. Producción de oro, descarga potencial de mercurio y población de subcuencas afectadas por EVOA en Nechí (Fuente: EOT Nechí, Antioquia).

La Subcuenca del Río Tamaná tiene como área de influencia los Municipios de Condoto, Medio San Juan, Nóvita y San José del Palmar, en el Departamento del Chocó; su nacimiento se da en la zona alta del Municipio del San José del Palmar. Tiene como afluentes principales los Ríos Pogodó, Agua Clara, Sesego, Igará y Urabará.

RELACIÓN ENTRE EVOA Y FIGURAS AUTORIZADAS POR LA LEY PARA EXPLOTACIÓN DE ORO

Antes de exponer los resultados de la relación entre EVOA y las figuras autorizadas por la ley para el desarrollo de cualquiera de los procesos de explotación minera, es pertinente tener un acercamiento a la dinámica del sector minero del país.

EL SECTOR MINERO EN LOS ÚLTIMOS TIEMPOS

Viceministerio de Minas y Energía

Como señalan las bases del Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018, “el sector minero energético jugará un papel clave en garantizar el desarrollo económico sostenido e inclusivo. Su tarea será, por un lado, asegurar que la economía tenga fuentes de energía competitivas que le permitan crecer y generar empleo, mientras que al dar acceso a energía y combustibles contribuirá de forma

directa en la reducción de la pobreza. Por otro lado, el sector generará importantes recursos para financiar las inversiones que van a requerir la construcción de la paz, la educación y las políticas sociales en la lucha contra de la desigualdad.” Para lograr este objetivo sectorial se está trabajando en una política minera que tenga en cuenta la clasificación de la minería y que a través de una institucionalidad minera fortalecida, se pueda tener un sector minero competitivo, incluyente, y legítimo.

Clasificación de la minería

Según las bases del Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018, de conformidad con la clasificación del Censo Minero de 2010, y según el número de trabajadores empleados, solo el 1% de las Unidades de Producción Minera – UPM- son consideradas grandes empresas, 26% medianas y 72% pequeñas. Este factor es el que nos lleva a la necesidad de una política pública diferenciada por escala minera que tenga en cuenta las necesidades y requerimientos de cada caso.

En el marco de lo establecido por el PND 2014-2018, la primera tarea para la organización del sector minero, es su clasificación dependiendo de su escala de producción. Por esto el PND determinó que existen 4 escalas de minería: pequeña, mediana, grande y de subsistencia.

Dentro de la política minera y la organización que se viene liderando por parte del Ministerio de Minas y

Energía al sector, la formalización para la pequeña minería se enfoca en el cumplimiento por parte de las Unidades de Producción Minera (UPM) de los estándares legales, técnicos, ambientales, económicos, sociales y laborales que permiten que la pequeña minería sea una actividad económica legal, viable, rentable, ambientalmente sostenible y que contribuya al desarrollo de las comunidades y sus regiones.

Por otro lado, para la minería de subsistencia, dado que el objetivo del Estado colombiano es fomentar un desarrollo adecuado de la actividad minera, las acciones se enfocarán en que los mineros de subsistencia ejerzan su actividad bajo condiciones de legalidad, seguridad y sostenibilidad ambiental. De igual forma, se pretende que los programas sociales que conforman la oferta institucional del Estado formen parte de las estrategias de apoyo a este tipo de minería.

En 2016, el Gobierno Nacional expedirá la reglamentación que definirá la gran minería, la mediana minería, la pequeña minería y la minería de subsistencia²⁶. Para este trabajo, el Ministerio de Minas y Energía adelantó talleres con más de 200 expertos en varias regiones del país (empresas, asociaciones, gremios, mineros, corporaciones regionales, entre otros), así como acciones de trabajo de campo en 8 departamentos (Tolima, Huila, Guajira, Antioquia, Quindío, Valle del Cauca, Cundinamarca y Boyacá) y grupos de trabajo entre las instituciones relacionadas (MME, ANM, UPME).

Regularización (Mecanismos - Formalización)

Regularización: Es la etapa preliminar en donde las unidades de producción de pequeña minería, evalúan los diferentes mecanismos que según sus condiciones les brinde la posibilidad de trabajar bajo el amparo de un título minero y cuente con un instrumento ambiental aprobado, de acuerdo con la normatividad vigente, para posteriormente poder hacer parte del programa de formalización minera.

Formalización: Es el conjunto de acciones o actividades desarrolladas, enfocadas a las unidades de producción minera de pequeña minería que trabajen bajo el amparo de un título minero y cuenten con instrumento ambiental o lo tengan en trámite. Los beneficiarios de estas unidades de producción minera deberán comprometerse previamente a dar cumplimiento a los estándares establecidos en la

26. El Artículo 21 de la Ley 1753 del 2015 estableció "clasificar la minería en grande, mediana, pequeña y minería de subsistencia, con el fin de implementar una política diferenciada acorde a las características de cada una de las clasificaciones que se definan". Por esto, Colombia en los últimos meses (febrero-octubre de 2015) ha venido adelantando un trabajo riguroso para definir las escalas de la minería con base en criterios de producción anual y área, según lo estipulado en el Plan Nacional de Desarrollo (PND).

política de formalización, con el fin de lograr las mejores prácticas mineras.

Ingreso a la formalización de pequeña minería: Todo titular de pequeña minería o quien trabaje bajo el amparo de un título minero, con instrumento ambiental en trámite o aprobado, puede hacer parte de los programas desarrollados en aplicación de la política de formalización minera.

Procesos de construcción e implementación de la formalización de pequeña minería en el país: A partir del año 2013, se inició la implementación de la Política de Formalización Minera, la cual fue adoptada mediante Resolución 90719 del 08 de julio de 2014, trabajando en tres líneas principales.

Caracterización: Se define como un proceso de recolección de información básica, que permite establecer un marco de referencia sobre el desarrollo de la actividad minera en una determinada región. Su objetivo es el de establecer parámetros que permitan clasificar las condiciones en que se desarrollan las actividades mineras, de tal manera, que dichas actividades puedan ser categorizadas en regularizadas y no regularizadas, siendo las primeras, aquellas que cuentan con título minero e instrumento ambiental aprobado o en trámite. A 31 de diciembre de 2015 se habían caracterizado 7326 Unidades de Producción Minera, con la identificación de 18383 mineros.

Acompañamiento integral: Es uno de los principales instrumentos de formalización que contempla la Política, aplicable solamente a unidades regularizadas, el cual cuenta con dos elementos esenciales: la asistencia técnica práctica y la asistencia para la eliminación del uso del mercurio. El primero, busca fortalecer las condiciones técnicas, ambientales, económicas y sociales de las UPM objeto del programa de formalización, generando recomendaciones prácticas para el mejor desarrollo de las labores mineras, tendientes a un avance porcentual en materia de formalización. El segundo como su nombre lo indica, corresponde a talleres teórico – prácticos para la eliminación del uso del mercurio en plantas de beneficio de oro que usen dicho elemento dentro de sus procesos. A 31 de diciembre de 2015 el Ministerio de Minas se encontraba apoyando a 597 UPM con asistencia técnica – práctica, en la cual se han intervenido 4267 mineros, así mismo la Gobernación de Antioquia ha apoyado a 808 UPM en este proceso. Dentro de la asistencia para la eliminación del uso del mercurio se han intervenido 32 plantas de beneficio de oro, asistiendo a 384 mineros y capacitando a 25000 entre comunidades mineras y autoridades locales.

Mediación y regularización: Son procesos que buscan que aquellas UPM que no se encuentren amparadas bajo un título minero, trabajen bajo el amparo del mismo, de tal forma que ingresen al Programa de Formalización mediante mecanismos definidos para ello. Es así como en los casos donde un minero no regularizado se encuentra desarrollando su actividad dentro de un área ya concesionada, el paso a seguir es la mediación.

La metodología empleada para la detección de EVOA, tal como se relaciona en el alcance metodológico, no pretende caracterizar la actividad de explotación de oro de aluvión ni la legalidad de la misma. El objetivo es fortalecer a las entidades competentes encargadas del manejo, gestión y control de los recursos, con información que permita mejorar la caracterización del fenómeno en el territorio. Para este propósito, observar el carácter espacial de las EVOA y las zonas bajo figuras de autorización por la ley para la explotación de oro como: Amparo de Títulos sin licencia²⁷, Solicitudes de legalización²⁸, Propuestas de contrato²⁹ y Licencias ambientales³⁰, permite obtener una visión territorial de esta variable.

La información relativa a Propuestas de contrato, Solicitudes de legalización y Amparo de Títulos sin licencia tiene como fuente la Agencia Nacional Minera –ANM, que es la entidad encargada de administrar los recursos minerales del Estado de forma eficiente, eficaz y transparente a través del fomento, la promoción, el otorgamiento de títulos, y el seguimiento y control de la exploración y explotación minera, a fin de maximizar la contribución del sector al desarrollo integral y sostenible del país [23]. Para las Licencias Ambientales la fuente es la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales –ANLA, como entidad encargada de que los proyectos, obras o actividades sujetos de licenciamiento, permiso o trámite ambiental, cumplan con la normativa ambiental, de tal manera que contribuyan al desarrollo sostenible ambiental del País (Decreto 3573) [24]. La información más reciente de Licencias disponible para este estudio se obtuvo por fuentes secundarias para el año 2011.

27. En el Código de Minas se define el Título minero como el documento en el cual se otorga el derecho a explorar y explotar el suelo y el subsuelo. Los títulos mineros se clasifican en: i) Licencias de exploración y explotación, ii) Aportes mineros, iii) Contratos mineros. [90].

28. Aquellas solicitudes hechas por Explotadores de minas de propiedad estatal sin título minero inscrito en el Registro Minero Nacional, y que llevan a cabo explotaciones de depósitos y/o yacimientos mineros. [91].

29. Aquellas solicitudes presentadas por particulares ante el Estado para celebrar un contrato de concesión minera para la ejecución de estudios, trabajos y obras de exploración de minerales de propiedad estatal en lugares donde no se llevan a cabo aún explotaciones de depósitos y/o yacimientos mineros. [102].

30. Autorización que otorga la autoridad ambiental competente, mediante acto administrativo, a una persona, para la ejecución de un proyecto, obra o actividad que conforme a la ley y a los reglamentos, puede producir deterioro grave a los recursos naturales renovables o al medio ambiente o introducir modificaciones considerables o notorias al paisaje, y en la que se establecen los requisitos, obligaciones y condiciones que el beneficiario de la Licencia Ambiental debe cumplir para prevenir, mitigar, corregir, compensar y manejar los efectos ambientales del proyecto, obra o actividad autorizada. (Decreto 1753 de 1994, artículo 2).

Mediante la superposición de las EVOA con información de la ANM³¹ y de ANLA, se estableció la relación espacial de intersección entre las mismas. Para el análisis se manejan cuatro figuras:

Licencias ambientales: Para poder sacar usufructo de una mina se debe tener título minero y licencia ambiental. [25]. Por tanto, esta modalidad hace referencia a títulos con licencia ambiental

Amparo de Títulos sin licencia: Esta figura hace referencia a títulos que no intersectan el archivo de licencias ambientales (2011)³². Sin embargo, puesto que la licencia ambiental es un requisito previo para el otorgamiento de un título, puede presentarse inconsistencias en el archivo de licencias por falta de actualización en la ANLA de los reportes generados por las autoridades ambientales competentes. Solicitudes y legalizaciones de título minero.

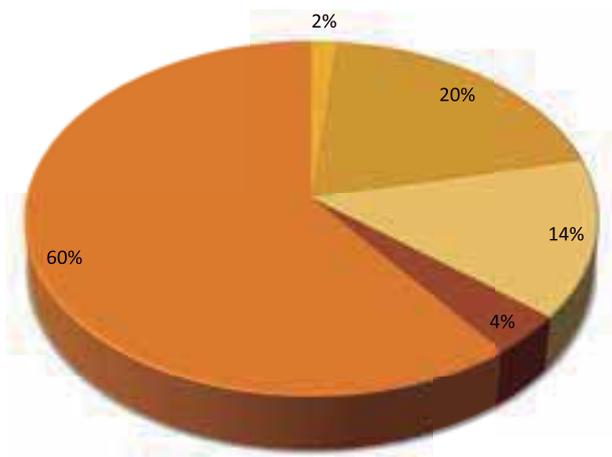
Solicitudes de legalización: Esta figura comprende las áreas correspondientes a las solicitudes hechas por explotadores de minas de propiedad estatal sin título minero inscrito en el Registro Minero Nacional en lugares donde se adelanta un proceso de exploración o explotación mineral.

propuestas de contrato: En esta figura se incluyen solamente las zonas que han sido objeto de solicitud para celebrar un contrato de concesión minera entre el Estado y particulares para la ejecución de estudios, trabajos y obras de exploración de minerales de propiedad estatal en lugares donde no se llevan a cabo aún explotaciones de depósitos y/o yacimientos mineros

El siguiente gráfico ilustra la relación porcentual entre EVOA y las figuras de formalidad relacionadas.

31. La información de la ANM fue suministrada por la Dirección de Carabineros y seguridad rural, DICAR. Se obtuvo información acerca solicitudes a Noviembre de 2014, Títulos para los departamentos de Putumayo, Caquetá, Chocó, Nariño, Cauca y Valle a marzo 2015 y para el resto del país a noviembre 2014. La tabla de datos adjunta no diferencia modalidades de explotación, ni tipos de yacimientos, por cuanto los archivos representan el universo de las figuras de formalidad para la exploración de oro sin diferenciación por filón, o aluvión.

32. Artículo 206 de la Ley 685 de 2001 exige la licencia ambiental como requisito de la explotación de minerales: "Requisito ambiental: Para las obras y trabajos de la explotación temprana, el interesado deberá obtener Licencia Ambiental, que posteriormente podrá ser modificada para amparar los trabajos definitivos de explotación con el llenado de los requisitos legales".



- Licencias ambientales
- Amparo de Títulos sin licencia
- Solicitudes de legalización
- Propuestas de contrato
- Sin autorización de la ley para explotación de oro

Gráfico 10. Distribución porcentual de área de EVOA respecto a figuras autorizadas por la ley 2014-2015.

El 60% del área de EVOA no está asociada espacialmente con ninguna figura autorizada por la ley para la explotación

de oro y el 40% restante de las EVOA coincide con alguna de las figuras autorizadas.

El 20% del área detectada se encuentra bajo la modalidad de "Amparo de Títulos sin licencia" y se concentra en los departamentos de Antioquia (48%), Bolívar (27%) y Chocó (21%), mientras que el 14% corresponde a "Solicitudes de legalización"³³, donde el 84% se focaliza en Chocó, aunque también registran evidencias bajo esta figura Antioquia, Nariño, Valle y Cauca principalmente. Por su parte, el 4% de las EVOA se encuentran en áreas registradas bajo la figura de "Propuestas de contrato", concentradas en Chocó (39%) y Chocó (38%), con presencia en menor proporción en Nariño, Cauca y Bolívar especialmente.

Finalmente, el 2% del área de EVOA se encuentra bajo la modalidad de "Licencias ambientales", es decir cuenta con todos los requisitos para desarrollar actividades de explotación minera de oro (Título y Licencia ambiental). De este 2%, el 81% se concentra en Antioquia, mientras que el restante 19% se distribuye en Chocó, Córdoba, Santander y Caldas.

A pesar de esta coincidencia geográfica, no es posible determinar que la explotación se esté haciendo en un marco pleno de formalidad. En efecto, existe otra figura que vincula la formalidad de estos títulos con perturbaciones en los mismos, los Amparos administrativos³⁴. Para el estudio no fue posible acceder a esta información.

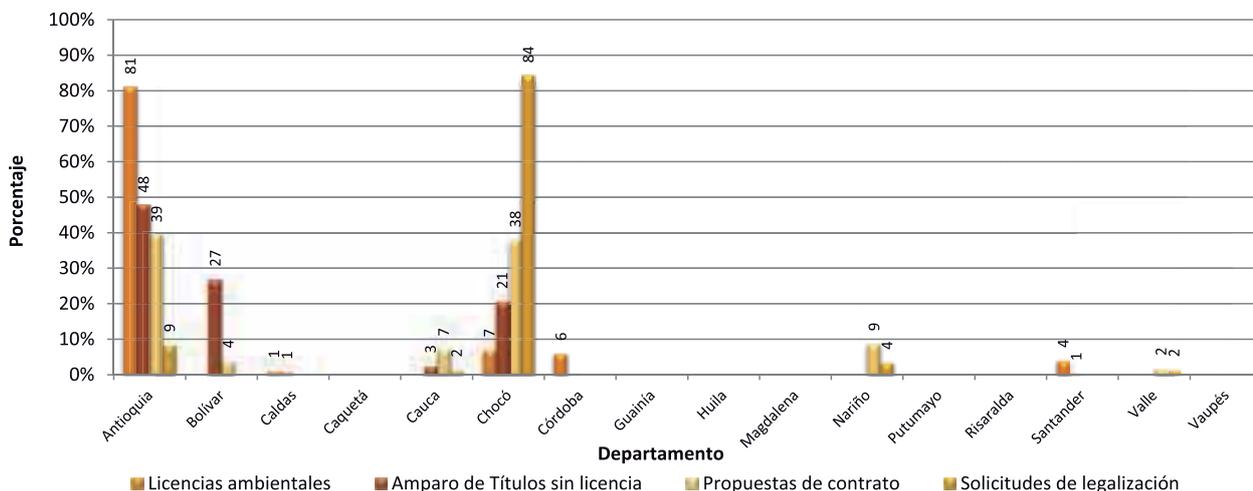


Gráfico 11. Distribución porcentual de las figuras autorizadas por la ley según EVOA a nivel nacional.

En el siguiente mapa se resumen los resultados departamentales (ha) de EVOA por figura autorizada a nivel nacional, y a continuación el gráfico muestra la participación porcentual de cada figura autorizada por departamento:

33. Bajo esta modalidad puede existir más de una solicitud de título minero sobre una misma área geográfica, aunque pueden diferir en delimitación y área solicitada.

34. La acción de amparo administrativo tiene como finalidad impedir el ejercicio ilegal de actividades mineras, la ocupación de hecho o cualquier otro acto perturbatorio, actual o inminente contra el derecho que consagra el título. El carácter de esta garantía de los derechos mineros frente a actos de perturbación u ocupación de hecho, se refleja en un procedimiento previsto por el legislador en el que no se vislumbra ni se articula confrontación alguna entre el particular y el Estado, sino amparo de los derechos de un sujeto privado ante los actos perturbadores de otro u otros, todo lo cual hace de éste un proceso de naturaleza eminentemente policiva. [92].

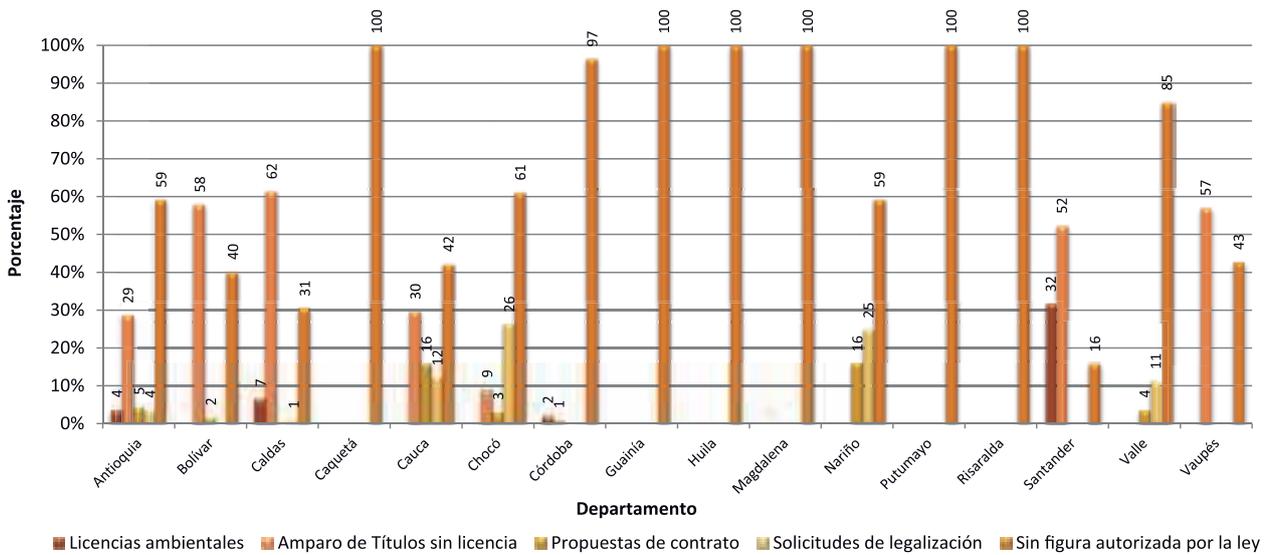
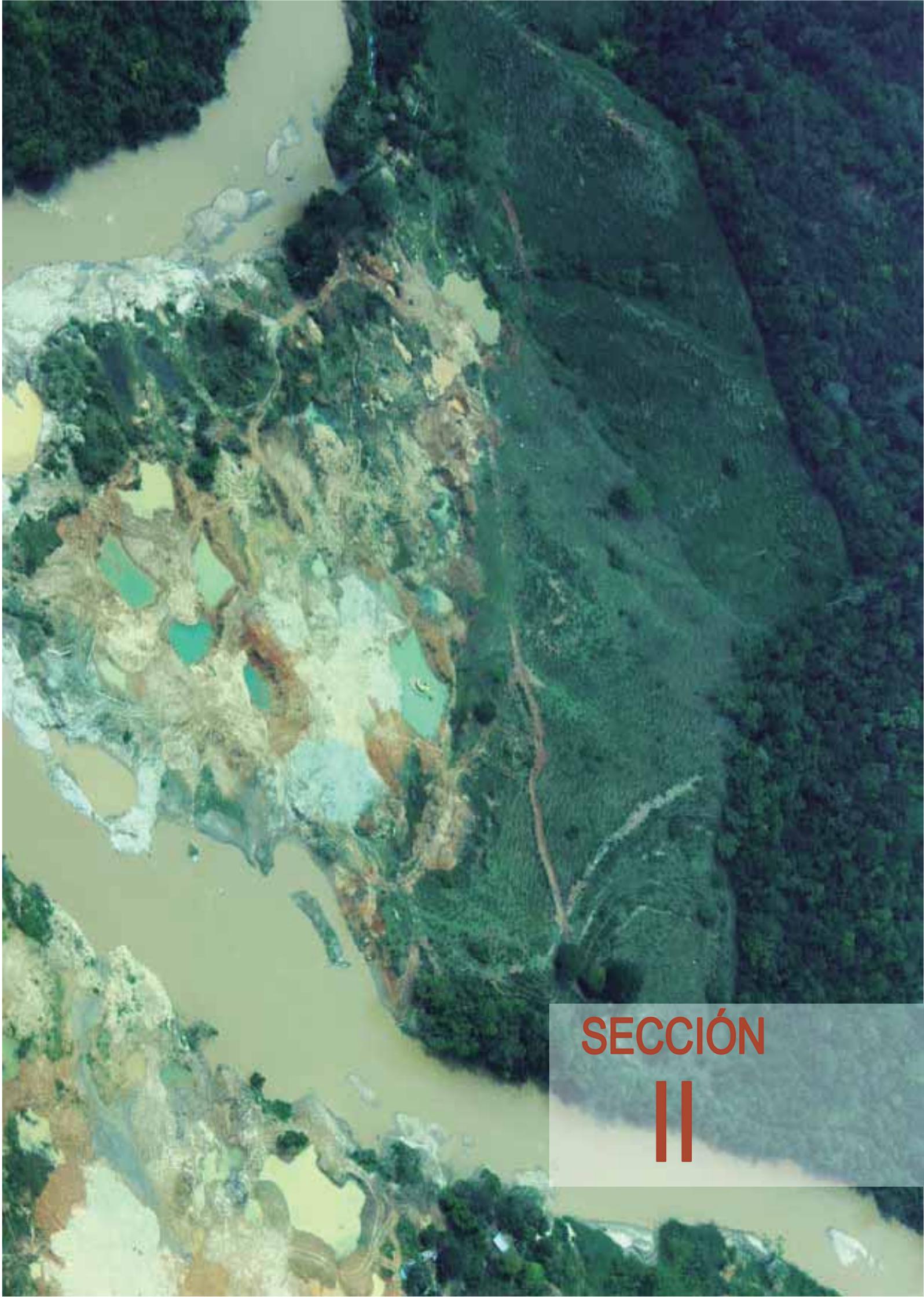


Gráfico 12. Participación porcentual departamental de las EVOA de acuerdo con figuras autorizadas por la ley.

De las EVOA detectadas en Resguardos indígenas, el 14% se encuentra bajo la figura de “amparo de Títulos sin licencia”, el 7% bajo “Solicitudes de legalización” y el 2% bajo “Propuestas de contrato”. En territorios de Consejos comunitarios de comunidades afrodescendientes, el 25% se encuentra bajo la figura de “Solicitudes de legalización”, el 9% bajo “Amparo de Títulos sin licencia” y el 4% bajo “Propuestas de contrato”.

En el Sistema de Parques Nacionales Naturales no se encuentran EVOA bajo alguna figura de formalidad. Sin embargo se encuentran 260 ha de EVOA bajo la figura de “Propuestas de contrato” que se encuentran en el área de influencia entre 0-20 km de los parques de Los Farallones de Cali, Munchique, Selva de Florencia, Paramillo. En la misma condición, bajo la modalidad de “Amparo de Títulos sin licencia” se encuentran 102 ha en el área de influencia de los parques Las Orquídeas, Los Farallones de Cali, Selva de Florencia, Yaigojé Apaporis, Paramillo, Tatama y Munchique.



SECCIÓN

II

DETECCIÓN DE ALTERACIÓN EN SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN MEDIANTE ÍNDICES ESPECTRALES (ESTUDIO DE CASO)

La explotación aurífera que se lleva a cabo en el lecho de los ríos comprende las siguientes actividades: preparación y acceso a la zona, operación, beneficio o transformación del mineral, transporte del material y abandono.

Proceso de explotación en cuerpos de agua

Etapa 0: Sin afectación. Selección de los depósitos de sedimentos propicios para la explotación de oro de aluvión.

Etapa 1: La preparación y acceso a la zona de explotación aurífera en ríos está condicionada al tipo de plataforma o terreno sobre el cual se hace el montaje y se establece la maquinaria para llevar a cabo los procesos de explotación mediante dragado, en razón de que, dependiendo de la escala del aprovechamiento, pueden existir dragas fijas ancladas a tierra o dragas móviles³⁵; estas últimas tienen un impacto sobre el paisaje que es muy difícil de percibir en imágenes provenientes de sensores remotos, pues no es una actividad estática que deja evidencia porque actúa en función de la dinámica de la corriente hídrica.

Etapa 2: En cuanto a las operaciones de dragado para la explotación de oro de aluvión, existe una gran variedad de técnicas según las características de la maquinaria empleada; sin embargo, independientemente del tipo de draga utilizada y de la escala del aprovechamiento, cualquier proceso de dragado comprende tres actividades: explotación del material del lecho del río según el método específico de excavación, transporte de los sedimentos extraídos (tanto para el beneficio como para el vertimiento posterior) de acuerdo con los medios en los que se desarrolla este movimiento de material,

35. Las dragas ancladas a tierra tienen una estructura mucho más compleja que soporta grandes operaciones de explotación, mientras que las dragas móviles se encuentran en embarcaciones de distinto calado de acuerdo con la capacidad requerida [2].

y finalmente el vertimiento del material residual al río nuevamente³⁶.

Las labores de beneficio del oro extraído en ríos mediante dragas cumplen con los mismos principios que las de mineral extraído en terrazas aluviales, puesto que se emplean los mismos materiales y técnicas, y lo único que varía es el lugar donde se realiza. Generalmente en las embarcaciones se acondiciona un espacio junto a la maquinaria de dragado en el que se utilizan elementos como canecas y baldes con agua para el proceso de amalgamamiento con mercurio y lixiviación por cianuración, y las aguas residuales son descargadas al río. En el caso de las dragas ancladas a tierra, se dispone un espacio sobre la terraza aluvial al borde del río para realizar estas labores. [26].

Etapa 3 y 4: Estas etapas están relacionadas con la magnitud de la explotación, relacionada a su vez con la cantidad de maquinaria en una sección del río, dependiendo de la riqueza del depósito aluvial. Algunos procesos pasan de la etapa 2 a la 5.

Etapa 5: Es complejo determinar si un área que ha sido sometida a dragado ha sido abandonada, debido a que el material removido es reintegrado casi en su totalidad al río; además, este es un proceso dinámico que se presenta en distintos puntos de un mismo río. Sin embargo, si con el dragado del lecho del río en un punto específico no se sigue encontrando oro, se cambia el lugar de explotación.

De acuerdo con la siguiente ilustración, después de encontrar los depósitos de sedimentos propicios para la explotación de oro de aluvión en los lechos del río (etapa 0) y de realizar el montaje de las dragas en los terrenos o

36. La clasificación de las dragas es: Mecánicas (Dragalina, Cuchara, Pala, Rosario) e Hidráulicas (Succión en marcha, cortadora, succión estacionaria y Dustpan); esta clasificación depende principalmente de su complejidad, tamaño, capacidad y tecnología [83].

plataformas a que haya lugar (etapa 1), las máquinas de dragado comienzan las actividades de explotación (etapa 2), hasta llegar a consolidarse grandes extensiones a lo largo del río para el dragado con mayor cantidad de

maquinaria y de mayor capacidad (etapa 3 y 4). Si se agota el oro en un sitio, las máquinas se desplazan a nuevas áreas para explorar y explotar (5).



Ilustración 7. Etapas del proceso de explotación de oro de aluvión con uso de maquinaria en agua.

Comportamiento espectral de los cuerpos de agua.

Los cuerpos de agua en las imágenes satelitales son uno de los elementos que mejor explican las propiedades ópticas de reflectancia, transmitancia y absorción; el agua absorbe o transmite la mayor parte de la radiación visible que recibe, siendo mayor su absorción³⁷ cuanto mayor sea la longitud de onda. La mayor reflectividad³⁸ del agua clara se produce en el rango del espectro electromagnético que comprende desde 0,45 hasta 0,52 μm , reduciendo su valor paulatinamente hacia el infrarrojo cercano, donde ya es prácticamente nulo. La reflectividad se ve afectada por factores como el contenido de clorofila, sólidos en suspensión, rugosidad superficial y profundidad [27].

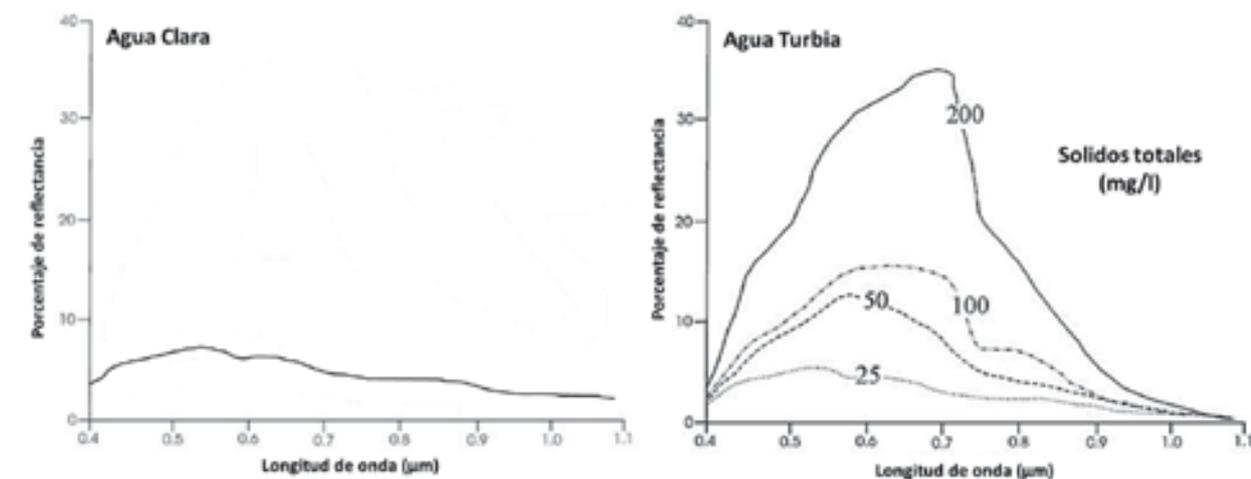


Figura 2. Comportamiento espectral del agua (Fuente: Aligarh Muslim University).

Índices espectrales

Los índices espectrales se basan en la combinación algebraica de bandas en sus valores espectrales corregidos y calibrados radiométricamente (reflectancias), mejorando la capacidad de interpretación de resultados; el objetivo es agrupar y minimizar las diferentes respuestas de los sensores en un único valor por píxel, que pueda relacionarse con éxito con un fenómeno a investigar [28].

Los sedimentos suspendidos presentes en los cuerpos de agua por efecto de la actividad de explotación de oro de aluvión con uso de maquinaria especializada para remoción de materiales, retroexcavadoras sobre las orillas de los ríos, y dragas que remueven enormes cantidades de material de las riberas y del fondo de los

Como se mencionó anteriormente, aunque las imágenes de satélite capturan información en diferentes rangos del espectro electromagnético y permiten estudiar diversas coberturas sobre la Tierra, existen zonas de confusión espectral que no permiten discriminar con precisión una cobertura o característica en particular mediante el uso de bandas individuales; en este sentido, el uso de algebra de bandas (índices espectrales), cuyo objetivo es realzar y suministrar información sobre una cobertura específica, permite obtener de una forma objetiva y precisa información cuantitativa del objeto de estudio.

En la siguiente imagen se presenta una comparación entre el comportamiento de la reflectividad en agua clara (sin turbidez) y agua turbia afectada por sedimentos suspendidos, donde se observa que a mayor cantidad de sólidos en suspensión hay mayor reflectividad.

cuerpos de agua, modifican la reflectancia del cuerpo hídrico y hacen que puede ser detectado por medio de índices espectrales específicos.

En el mundo se han desarrollado diferentes investigaciones que validan el uso de estos índices para la detección, monitoreo y cuantificación sedimentos suspendidos, como el de la evaluación y monitoreo del río Misisipi en Estados Unidos mediante la aplicación de índices espectrales para describir y cuantificar los sedimentos suspendidos [29], el estudio de materiales en suspensión en aguas costeras de Puerto Rico para monitorear los cuerpos de agua [30], el uso de índices espectrales para el monitoreo del río Amazonas en Brasil realizando correlación entre la concentración de los sedimentos suspendidos y la reflectancia de los sensores remotos [31], entre otras; estos estudios realizan una aproximación a diferentes aplicaciones de los índices para la detección de sedimentos suspendidos.

37. En el proceso de teledetección, relación entre el flujo incidente y el que absorbe una superficie.

38. En el proceso de teledetección, relación entre el flujo incidente y reflejado en una superficie.

Se evaluaron nueve índices espectrales, cada uno de los cuales está formulado para dar como resultado cocientes que resaltan coberturas detectadas en las imágenes satelitales; se realizó el cálculo para cada uno de ellos y se compararon entre sí, para determinar cuáles son los que permiten detectar sedimentos suspendidos, cuáles son suficientemente sensibles a cambios en el tiempo y que en sí mismos permiten destacar zonas de cambios. Los resultados fueron evaluados visualmente a través de mapas, y cuantitativamente a través de tablas dinámicas de comparación de valores, ya que el resultado de los cocientes de cada índice es una fracción, que comparado con la medición del mismo en un tiempo inicial, puede determinar cambios con respecto a otro tiempo de muestra. De los índices analizados, cuatro presentaron mayor robustez en sensibilidad de detección:

- Normalized Difference Water Index (NDWI)
- MNDWI Modification for Normalized Difference Water Index
- Normalize Difference Suspended Sediment Index (NDSSI)
- Normalized Suspended Material Index (NSMI)

Índices espectrales evaluados

SIGLA	NOMBRE
SAVI	Soil-Adjusted Vegetation Index
NDWI	Normalized Difference Water Index
MNDWI	Modification for Normalized Difference Water Index
NDSSI	Normalize Difference Suspended Sediment Index
NSMI	Normalized Suspended Material Index
BR	Band Ratio
LSWI	Land Surface Water Index
TCBI	Tasseled Cap Brightness Index
TCWI	Tasseled Cap Wetness Index

ÍNDICE	DESCRIPCIÓN	FÓRMULA
NDWI	Este índice está diseñado para maximizar la reflectancia del agua mediante el uso de las longitudes de onda de la banda verde. Como resultado, los valores bajos corresponden a agua con sedimentos suspendidos y los valores altos corresponden a agua clara [32].	$NDWI = (\rho_{green} - \rho_{NIR}) / (\rho_{green} + \rho_{NIR}) \quad (1)$
MNDWI	Este índice está diseñado para discriminar los valores digitales entre los cuerpos de agua y la reflectancia de los suelos haciendo uso de la banda del infrarrojo medio	$MNDWI = (\rho_{green} - \rho_{MIR}) / (\rho_{green} + \rho_{MIR})$
NDSSI	Ha sido utilizado para desarrollar modelos de sedimentos en suspensión en los ríos, lagos, estuarios y muchos otros cuerpos de agua [33]. Los valores obtenidos del índice NDSSI son un rango de valores del -1 al 1, donde los valores más altos indican la presencia de agua más clara y los valores bajos indican la presencia de agua más turbia o con mayor contenido de sedimentos.	$NDSSI = (\rho_{blue} - \rho_{NIR}) / (\rho_{blue} + \rho_{NIR}) \quad (2)$
NSMI	Fue desarrollado sobre la base de los principios i) agua limpia tiene un pico de reflectancia en la gama azul, ii) la presencia de material suspendido promueve un aumento de la reflectancia en todo el espectro visible, especialmente en la gama de verde y rojo [104]. La ecuación genera valores entre -1 a 1. Los valores más altos corresponden a agua más clara y los valores más bajos corresponden a agua con más sedimentos suspendidos.	$NSMI = (\rho_{red} + \rho_{green} - \rho_{blue}) / (\rho_{red} + \rho_{green} + \rho_{blue}) \quad (3)$

Tabla 10. Principales características de los índices espectrales empleados.

La facilidad para generar nuevas imágenes a través del cálculo de índices espectrales ha hecho muy útil esta metodología; sin embargo, los resultados obtenidos están circunscritos a las condiciones particulares de la toma de la imagen de satélite e influenciados por factores como el ángulo de incidencia, condiciones de luminosidad, topografía, calidad de la calibración, partículas de la atmósfera, condiciones climáticas, etc. [28].

El estudio compara los resultados obtenidos para cada índice e identifica cuál presenta mayor sensibilidad a la medición de la alteración en los sedimentos en suspensión en la zona piloto. Los índices fueron obtenidos en imágenes Landsat 5 y Landsat 8.

Comportamiento espectral natural de sedimentos en suspensión

La metodología propuesta no pretende caracterizar espectralmente las actividades de explotación de oro de aluvión, sino evaluar, a partir del comportamiento espectral, las alteraciones en los sedimentos suspendidos en los cuerpos de agua atribuibles a actividades de explotación. En consecuencia, busca validar si el uso de índices espectrales es una herramienta para la detección de este fenómeno en particular, y determinar así cuál es la relación entre objetos (balsas, dragas usadas para la explotación de oro sobre ríos) y variables (alteración de sedimentos suspendidos en los cuerpos de agua) que caracterizan este tipo de explotación de minerales sobre cuerpos hídricos. La metodología hace énfasis en el establecimiento de una línea base de sedimentos en suspensión normales en el cuerpo de agua, que permita la comparabilidad en el tiempo para la detección de cambios. Se selecciona para este efecto un río sin afectación por explotación de oro de aluvión en la zona de estudio.

Los periodos de análisis, tanto para el establecimiento del comportamiento espectral natural (sin afectación por actividades de explotación) como para la dinámica de afectación, fueron seleccionados apoyados en información secundaria de explotación de oro en la zona: 2002 (muy baja o nula afectación), 2007 (inicio de afectación), 2011 (auge minero) y 2014 (tiempo actual). Para garantizar la comparabilidad en función del caudal hídrico, se estableció para cada periodo una ventana de tiempo correspondiente a la estación seca en función de las siguientes premisas:

- El menor caudal facilita la detección de alteraciones en los sedimentos suspendidos.
- El periodo lluvioso representa un régimen fuerte de precipitación, lo cual conlleva un incremento

en los sedimentos transportados, generados tanto por el régimen de lluvias como por otros factores inherentes a derrumbes y arrastre de material.

- Información secundaria adquirida por instituciones presente en la zona reporta que el mayor caudal dificulta el acceso al yacimiento por parte de la maquinaria utilizada

La identificación de la línea base de sedimentos en suspensión se realizó en el tramo del río Inírida comprendido entre las Comunidades “El Zancudo” y “Morroco”, en el departamento de Guanía, mediante el cálculo de índices en la corriente hídrica para diferentes periodos de tiempo T0 (febrero 2002), T1 (febrero 2007), T2 (enero 2011) y T3 (enero 2014). El río objeto de estudio se somete a un filtro de pixeles de efecto borde para eliminar posibles ruidos exógenos en la lectura de los índices, y posteriormente se toman diferentes puntos a lo largo del río, espaciados 5 km entre sí, como puntos de muestra; con los valores obtenidos se construye una curva de comportamiento “natural”. Los valores mínimos y máximos de los índices determinan el rango de análisis, que a su vez identifican los cambios en los sedimentos suspendidos.

Construcción de curvas de comportamiento espectral

Con base en la metodología para el establecimiento de la “Línea Espectral Natural”³⁹ se realiza el cálculo de los índices seleccionados en la corriente hídrica a evaluar para los diferentes periodos de tiempo T0 (2002), T1 (2007), T2 (2011) y T3 (2014); se eliminan los pixeles con efecto borde y se toman puntos de muestra a lo largo del río.

La explotación de oro de aluvión en agua no se realiza en una mina estática, en razón a que las dragas y maquinaria similar se mueven por el cuerpo del río en busca del mineral y sólo se quedan cuando encuentran volúmenes rentables.

Los datos son comparados con la línea base natural para detectar los cambios en los sedimentos suspendidos; este procedimiento espacial genera un mapa de cambios con las variables “estabilidad” y “aumento”. La estabilidad es considerada dentro del comportamiento natural de la corriente hídrica y el aumento genera las primeras alertas para una inspección.

Una vez generadas estas zonas alerta, se realiza un análisis visual cuantitativo y un análisis espacial con coberturas para eliminar zonas alerta por agentes exógenos a la actividad de explotación de oro de aluvión,

39. Hace referencia al comportamiento de la luz reflejada por los cuerpos de agua sin alteraciones en los sedimentos suspendidos.

y obtener así un mapa de consolidado de alertas para el cuerpo hídrico.

La siguiente figura muestra la curva de comportamiento esperado para el índice NDSSI en zona sin afectación de explotación de oro, y otra con afectación. El eje horizontal representa los puntos para lectura tomados sobre la imagen a lo largo del río, y el eje vertical el valor

calculado para el índice. Se observa que la zona sin afectación presenta un comportamiento similar para todos los periodos de análisis, mientras que la zona con afectación permite ver, según la interpretación del índice, que para los periodos T2 y T3 hay un incremento en los sedimentos en suspensión que coincide con la información secundaria suministrada.



Ilustración 8. Curvas esperadas de afectación, valores cercanos a 1,0 indican menos sedimentos en suspensión, basado en (Hossain, Jia & Chiao; 2016)

Modelo

El modelo está basado en la identificación de cambios en el comportamiento natural de los sedimentos en ríos que se pueden medir a través de cambios en los índices espectrales, y que se pueden asociar con actividades de explotación de oro de aluvión. Para la aplicación del modelo se seleccionó el índice MNDWI (Modification for Normalized Difference Water Index), el cual demostró una mayor robustez y coherencia temática con las condiciones del río Inírida⁴⁰.

El modelo de monitoreo para la detección de actividades de explotación de oro de aluvión en agua basado en índices espectrales involucra tres etapas:

- i) La construcción de la línea de base para el río en la que se garantiza el comportamiento espectral "natural", es decir, sin intervención de actividades de explotación de minerales.
- ii) La detección de cambios en el comportamiento natural mediante la observación y análisis de índices espectrales.
- iii) Asociación de los cambios con actividades de explotación de oro de aluvión.

40. Una descripción más detallada del proceso de selección de los índices está disponible en el anexo 3 "Selección de índices espectrales para la alteración de sedimentos suspendidos".

La selección de la zona piloto se hizo teniendo en cuenta características geográficas, hidrografía, régimen de precipitaciones y climatología; se seleccionaron dos ríos para la construcción de la línea base de comportamiento espectral natural: El río Inírida a la altura de las comunidades de Zancudo, Chorro Bocón, Huesito y Morroco, y el río Orinoco a aproximadamente 55 km al noroccidente de la provincia de Tama Tama, del estado de Amazonas en Venezuela, donde no existen antecedentes de afectación por explotación mineral. Los hallazgos obtenidos para ambos ríos tienen una tendencia similar por lo que se selecciona como línea base el Río Inírida, por cuanto es donde se realiza la aplicación del modelo.

En este capítulo se presentan los principales hallazgos de la implementación, con énfasis en los puntos claves para la implementación de un sistema de monitoreo a escala nacional.

LÍNEA BASE: COMPORTAMIENTO ESPECTRAL NATURAL DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN

La construcción de una línea base para el río establece el comportamiento espectral “natural”, es decir, sin afectación por actividades de explotación de oro. Garantiza que los resultados de la comparación con los índices en diferentes periodos de tiempo se relacionen con alteraciones de los sedimentos en suspensión. La validación de las curvas obtenidas de acuerdo con los índices trabajados se realizó mediante análisis de congruencia con respecto a:

- i) Información secundaria⁴¹: Cualitativa, relativa a la presencia de la actividad en la región durante el periodo de estudio.
- ii) Entrevistas a mineros de la región realizadas por el proyecto en el marco del presente estudio
- iii) Conocimiento de las instituciones de la región sobre la dinámica de la actividad, mediante talleres

de construcción de conocimiento geográfico basado en experiencia y percepción realizados en el marco del estudio.

De acuerdo a Montalvo, (2010) y con los resultados obtenidos en el desarrollo del piloto, se estableció que los índices de mayor robustez son el NDWI, MNDWI, NDSSI y NSMI. Las curvas de comportamiento obtenidas para cada índice se evaluaron teniendo en cuenta la sensibilidad para la detección, y la sensibilidad a los cambios en el tiempo; con ello, el índice que mayor robustez y sensibilidad presenta es el MNDWI, dado a que aprovecha el uso del rango del espectro electromagnético del infrarrojo medio, que permite diferenciar y resaltar lugares donde el contenido de agua, humedad se ven afectados por alguna alteración. [34]; este se seleccionó tanto para la caracterización de la línea base como para el análisis de los sedimentos.

En el siguiente gráfico se presenta el índice MNDWI para los dos ríos en condiciones previas a la intervención, los puntos de muestra de los valores resultantes para el índice se tomaron a una distancia media de 5 km entre ellos.

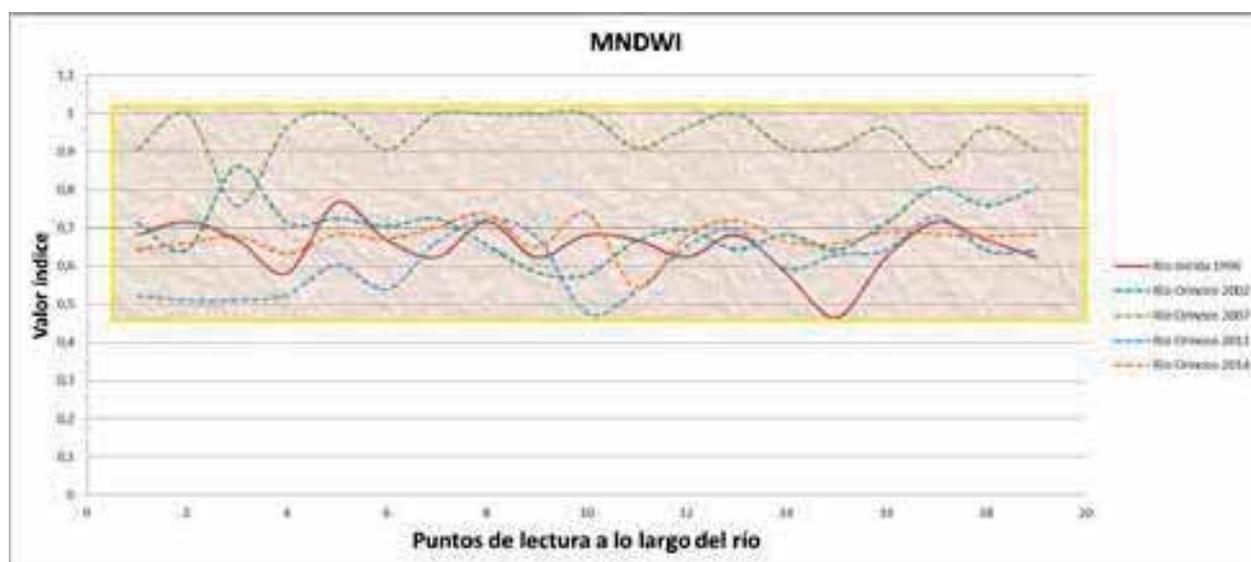
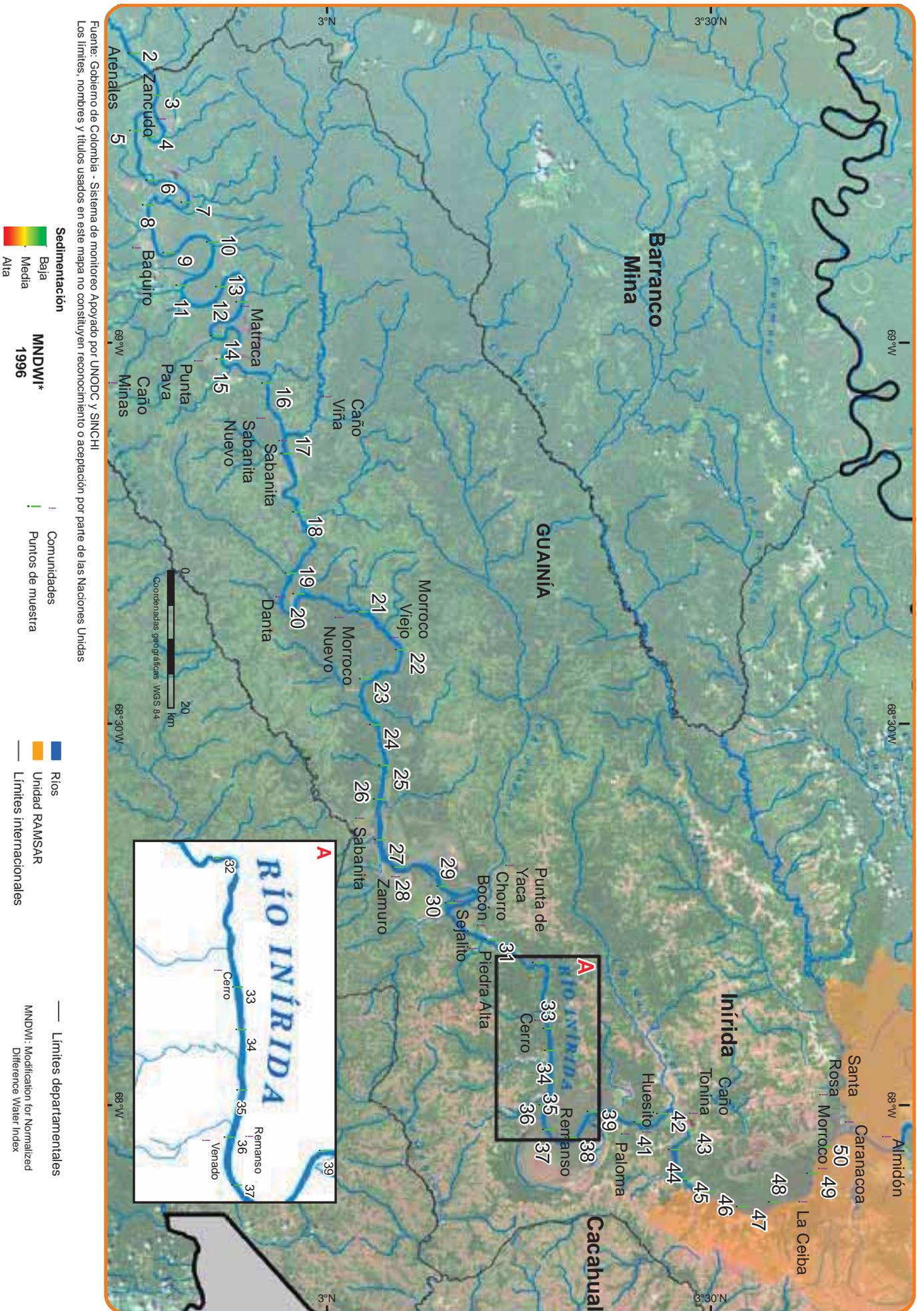


Gráfico 13. Línea base espectral “natural” MNDWI.

Se observa un comportamiento uniforme a lo largo del río, principalmente en el caso de río Inírida-1996; en el caso del río Orinoco, si bien existe mayor variación, esta variación ocurre dentro de rangos bien definidos y constantes en los cuatro momentos de estudio.

41. Documentos descriptivos de la dinámica histórica de la actividad minera en el Guainía.



Mapa 8. Distribución de puntos de muestra a lo largo del río Inirida 1996.

El índice MNDWI, bajo condiciones de mínima alteración por explotación mineral, registra que el río se comporta de manera uniforme en la mayoría de los puntos tomados como muestra. Como se puede observar en el mapa, el río Inírida presenta una coloración azul, debido a su muy baja alteración en los sedimentos suspendidos, inclusive en zonas de meandros donde por el comportamiento del río se deberían acumular sedimentos, lo cual valida que para la fecha base del río Inírida (1996), este no estaba afectado por factores externos que alteraran los sedimentos suspendidos sobre el lecho del río. Para efectos del monitoreo, se propone que las variaciones a este comportamiento indican alteraciones en los sedimentos en suspensión en el río que pueden asociarse con actividades de explotación de oro de aluvión en agua. En la siguiente sección se aplica la propuesta metodológica para la detección de cambios en el comportamiento natural mediante la observación de índices espectrales.

reporta mínima actividad de explotación mineral, y el río Orinoco como testigo, durante los años 2002, 2007, 2011, y 2014⁴², en un tramo que no tiene antecedentes de este tipo de actividad. El comportamiento de los índices refleja el comportamiento de los sedimentos en el río en una condición de no afectación por actividades de explotación de oro de aluvión; para la construcción de las curvas se seleccionaron puntos bajo los siguientes criterios: i) los puntos de medición se ubican en zonas diferentes a meandros⁴³; ii) los puntos deben abarcar la totalidad de la zona de estudio, es importante destacar que estos puntos son los mismos que se utilizan para la construcción de las curvas en todos los momentos del estudio; iii) los puntos están distribuidos sistemáticamente cada 5 km en el río de estudio, para abarcar la variabilidad de la zona.

DETECCIÓN DE CAMBIOS EN EL COMPORTAMIENTO NATURAL MEDIANTE LA OBSERVACIÓN Y ANÁLISIS DE ÍNDICES ESPECTRALES

Los índices se aplicaron en temporada seca en dos ríos de la región, el río Inírida en el año 1996 cuando se

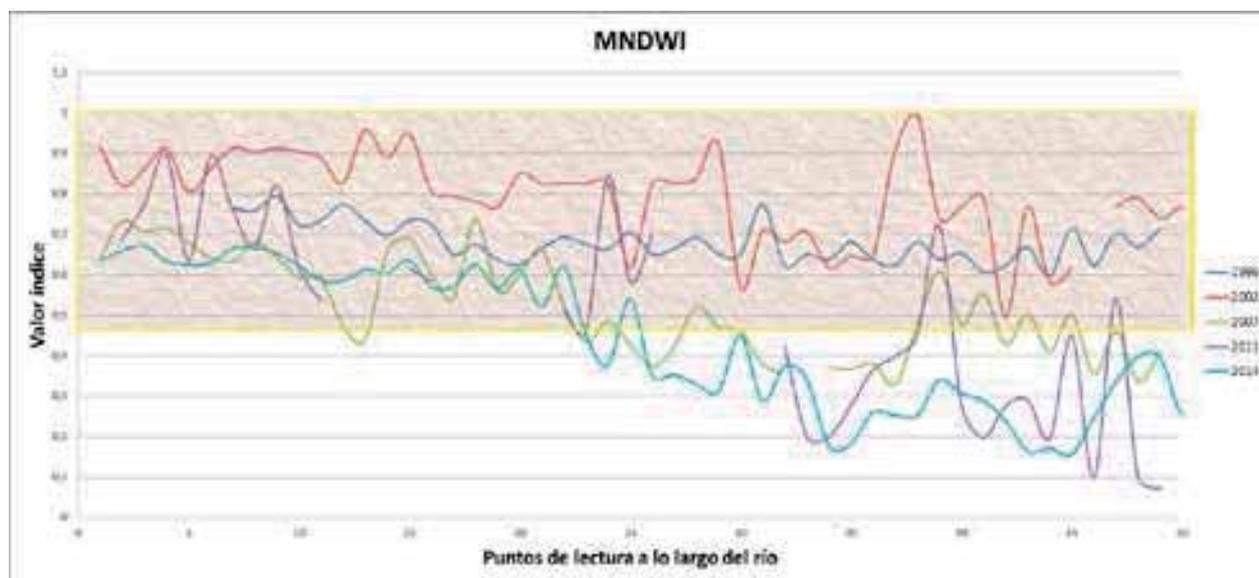


Gráfico 14. Curva de comportamiento espectral de sedimentos en suspensión mediante aplicación de MNDWI en zona piloto. Los segmentos de las curvas que se encuentran por fuera del recuadro amarillo, corresponden a alteraciones en los sedimentos suspendidos.

42. Para el río Inírida la documentación existente no relaciona actividad de explotación para este periodo, sin embargo se considera que pudo haber existido una mínima actividad. Para el río Orinoco se consideró un tramo del río fuera de la frontera, inmerso en territorio selvático que no evidencia perturbación ni actividades de explotación en ninguno de los periodos estudiados.

43. Curva descrita por el curso de un río donde los sedimentos suelen depositarse en la parte convexa del mismo [97].

Para los años 1996 y 2002 los valores calculados se encontraron dentro del comportamiento natural del río; para el 2007 se evidencia alteración de los sedimentos suspendidos en puntos específicos cercanos a la población de Matraca, y más marcados en puntos cercanos a las poblaciones de Chorro Bocón, Piedra Alta, Remanso y La Ceiba; en el 2011 se evidencian valores más bajos sobre la comunidad de Morroco Viejo, puntos cercanos a la comunidad Cerro, comunidad Paloma, Caño Tonina y La Ceiba; en el 2014 se evidencia una afectación acentuada en las comunidades de Chorro Bocón, Zamuro, Sejalito, Cerro, Remanso, Huesito y Morroco.

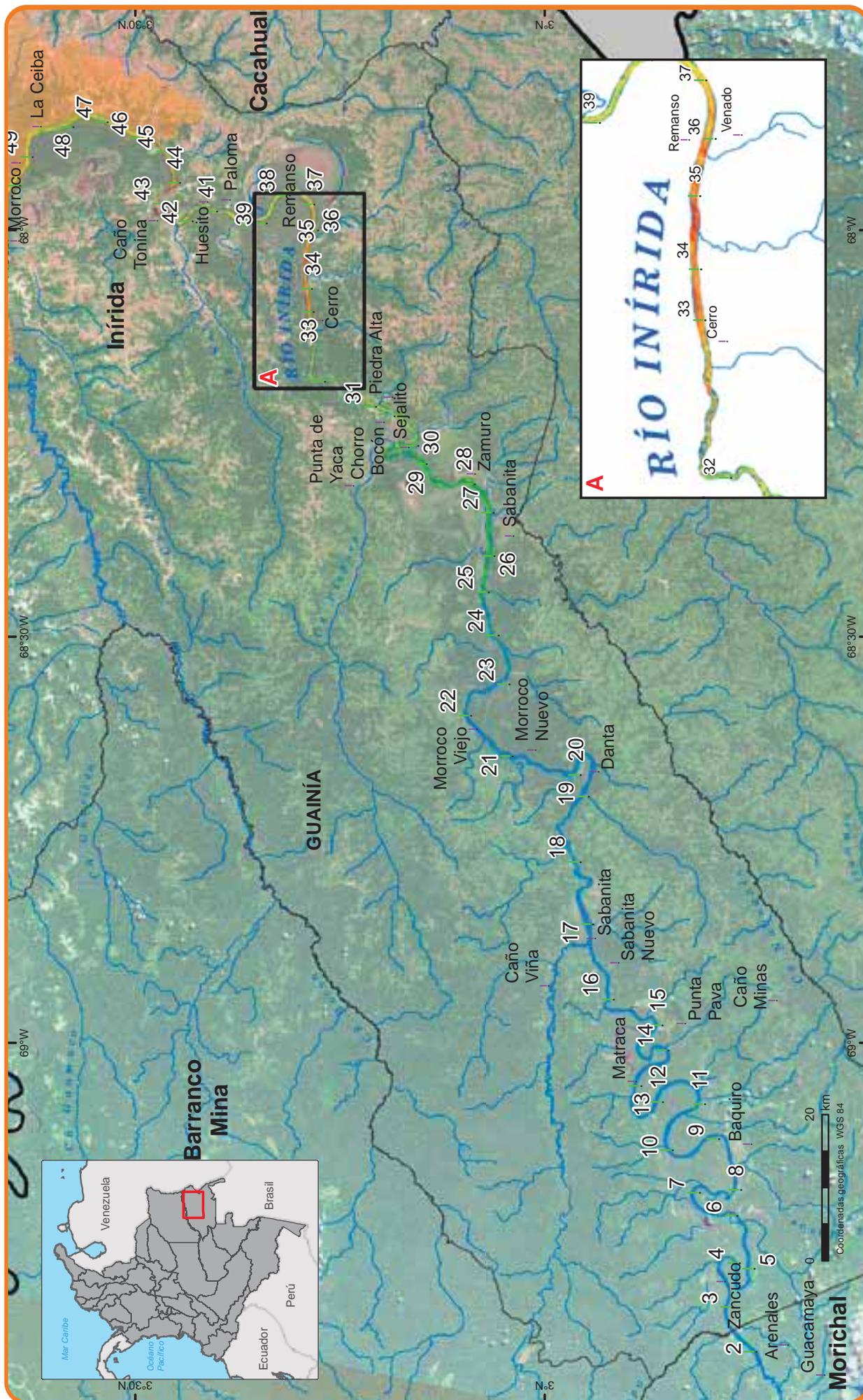
En el siguiente mapa se puede observar sectores del río donde se evidencia la alteración de sedimentos para el año 2014 y la aplicación del índice MNDWI; las tonalidades de rojo evidencian una mayor alteración de los sedimentos, y dichos sectores coinciden con zonas de explotación de oro sobre el río Inirida según información secundaria.

La explotación de oro de aluvión en agua no se realiza en una mina estática, en razón a que las dragas y maquinaria similar se mueven por el cuerpo del río en busca del mineral. Y solo se quedan cuando encuentran volúmenes rentables.

Punto de Muestra	COMUNIDAD	MNDWI				
		1996	2002	2007	2011	2014
12	Baquiرو	0,770	0,830	0,470	**	0,590
14	Matraca	0,700	0,890	0,660	**	0,600
24	Morroco Viejo	0,660	0,830	0,480	0,850	0,380
26	Chorro Bocón	0,650	0,830	0,370	0,700	0,350
27	Sabanita	0,660	0,830	0,420	**	0,350
29	Zamuro	0,650	0,920	0,470	**	0,310
30	Sejalito	0,650	0,570	0,460	**	0,450
31	Piedra Alta	0,780	0,710	0,380	**	0,290
32		0,620	0,680	0,360	0,430	0,370
33	Cerro	0,650	0,710	**	0,200	0,340
34		0,640	0,620	0,370	0,200	0,180
35		0,680	0,650	0,370	0,280	0,180
36		0,640	0,650	0,380	0,360	0,260
37	Remanso	0,620	0,910	0,330	0,400	0,250
38		0,680	1,000	0,480	0,450	0,250
39		0,640	0,740	0,610	0,720	0,340
40	Paloma	0,650	0,770	0,480	0,280	0,310
41	Huesito	0,610	0,790	0,550	0,200	0,290
42		0,620	0,500	0,430	0,280	0,240
43	Caño Tonina	0,670	0,770	0,500	0,290	0,160
44		0,600	0,580	0,410	0,200	0,170
45		0,720	0,620	0,500	0,450	0,160
46		0,620	**	0,360	0,100	0,250
47	La Ceiba	0,700	0,770	0,460	0,540	0,340
48		0,670	0,790	0,340	0,100	0,400
49		0,720	0,740	0,410	0,070	0,400
50	Morroco	**	0,770	**	**	0,260

** Hace referencia a áreas sin información por presencia de nubes en los períodos evaluados.

Tabla 11. Puntos rojos (hot spots) con evidencia de alteración en sedimentos para el índice MNDWI.



Fuente: Gobierno de Colombia - Sistema de monitoreo Apoyado por UNODC y SINCHI
 Los límites, nombres y títulos usados en este mapa no constituyen reconocimiento o aceptación por parte de las Naciones Unidas

Mapa 9. Detección de la alteración de sedimentos suspendidos mediante índices espectrales (MNDWI – 2014).

Resultado de la evaluación de índices espectrales para la determinación de alteración de sedimentos en el río Inírida.

Para la detección de las alteraciones en sedimentos se realizó un proceso de modelamiento posterior al cálculo

Modelo.

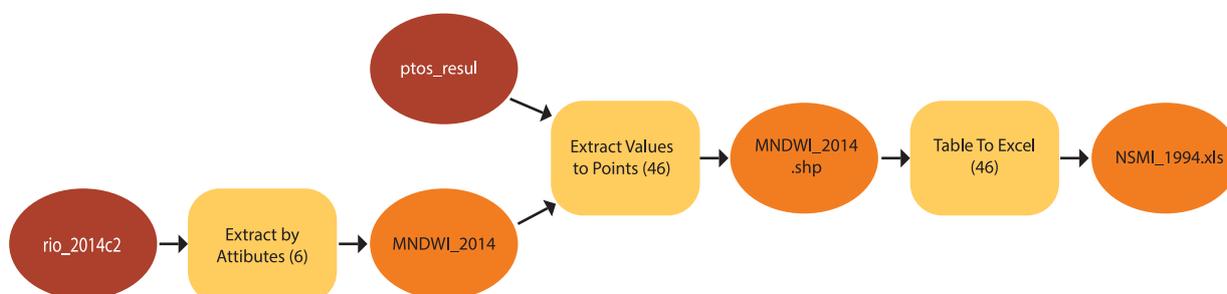


Ilustración 9. Modelo para la evaluación de índices espectrales.

Una vez ejecutado el modelo, se realizó una clasificación no supervisada de los raster resultantes, haciendo uso del algoritmo K-Means, el cual realiza la agrupación

de los índices; este modelo es capaz de extraer los valores a tablas y generar una capa tipo raster de los índices que cumplan con los valores que determinan la alteración de sedimentos suspendidos⁴⁴, como se indica a continuación.

utilizando la distancia mínima entre los valores de datos, permitiendo clasificar los resultados extraídos en diferentes clases.

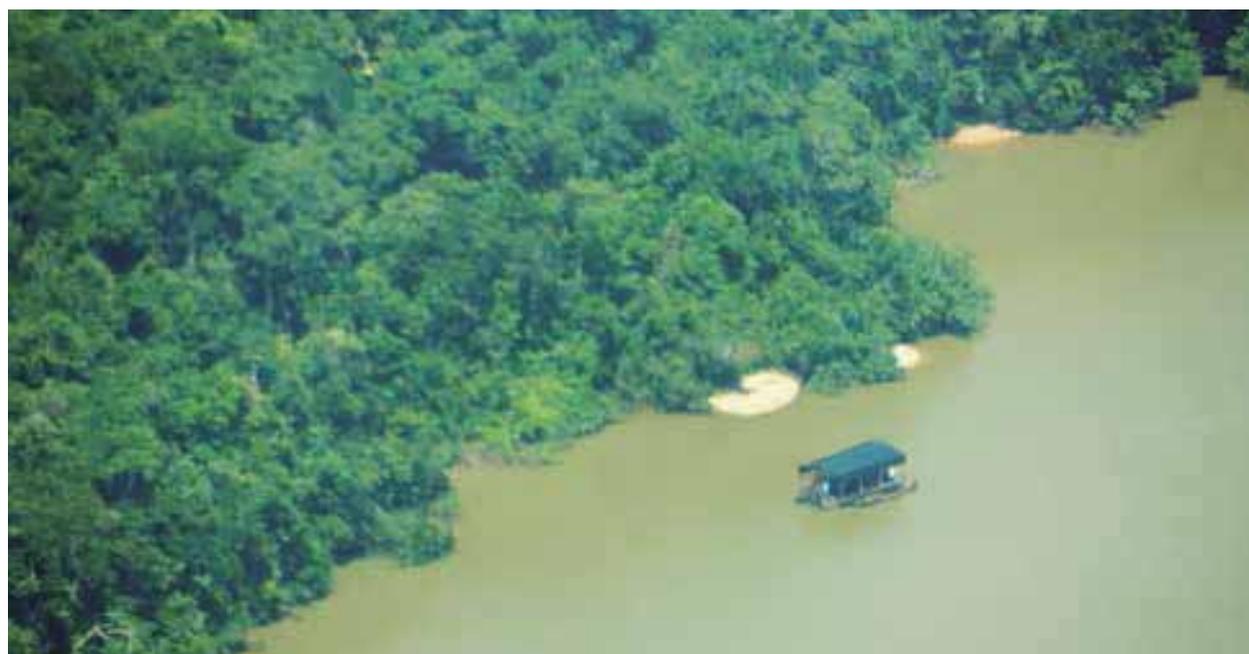


Foto 4. Balsa de explotación de oro de aluvión sobre el río Inírida.

De esta manera se pueden identificar zonas destacadas (hot-spots) donde la alteración de sedimentos es claramente detectable. La información obtenida puede ser verificada y validada con información secundaria (la maquinaria utilizada para explotación de oro sobre fuentes hídricas permanecen de 7 a 30 días en una misma zona, por lo cual la evidencia de afectación puede ser detectable); el hallazgo de coincidencias satisfactorias determinaría que es posible la detección de la actividad de explotación de oro de aluvión sobre fuentes hídricas usando la metodología propuesta.

Asociación de datos obtenidos con información secundaria

Como parte de la validación de la robustez de la aplicación de índices espectrales se obtuvo información correspondiente a operaciones de control e interdicción de la Armada Nacional de Colombia, y se realizaron talleres de aproximación sobre lugares de exploración y explotación de oro de aluvión con entidades y mineros de la región de estudio; utilizando los resultados obtenidos

44. Los valores correspondientes a alteración de sedimentos suspendidos para el río Inírida y el índice MNDWI son todos aquellos menores a 0,48.

en el piloto se realizó un análisis de correspondencia espacial entre la información obtenida de los índices y la información secundaria. En el siguiente mapa se pueden observar sectores del río donde se evidencia la alteración de sedimentos para el año 2014 como evidencia de la aplicación del índice MNDWI. Las tonalidades de rojo evidencian una mayor alteración de los sedimentos; dichos sectores coinciden con zonas de explotación de oro sobre el río Inírida según información secundaria. Cabe destacar que, según los mineros de la región, para la explotación de oro se realizan labores de “pesquisa” (las balsas exploran a lo largo del río en busca de oro) en grupos de tres o cuatro balsas; una vez identificado el sitio de explotación se establecen durante el tiempo que consideren que la producción de oro es viable económica y productivamente (de 7 a 30 días); este tiempo es suficiente para que se formen alteraciones en los ríos que se pueden detectar mediante percepción remota y el cálculos de los índices .

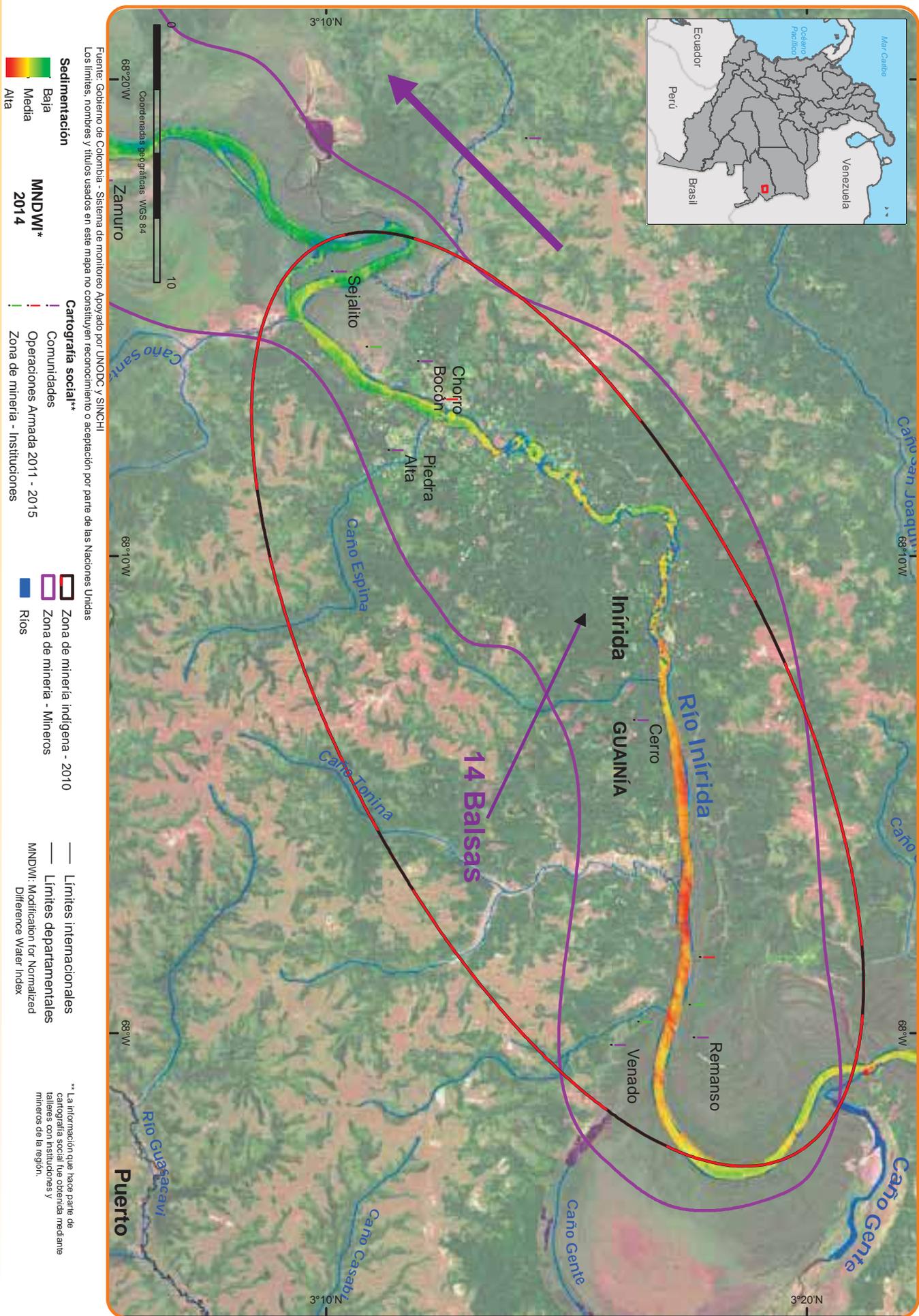
Conclusiones del estudio piloto

Como conclusión se afirma que, de acuerdo al análisis de la región del río Inírida, es posible realizar la detección de cambios por sedimentación debidos a la explotación de oro de aluvión sobre fuentes hídricas; el índice que mejor representa las alteraciones y concuerda con información secundaria es el MNDWI para la zona de estudio.

Los índices manejan un rango espectral del visible y de los infrarrojos, por lo que se pueden aprovechar aún más con imágenes de mayor resolución espacial y radiométrica.

El uso de índices espectrales es aplicable a nivel nacional, salvo que para ello se deben tener en cuenta las características geográficas, hidrográficas y meteorológicas de cada región de estudio, así como los tiempos de selección de imágenes para la extracción de valores digitales con la menor afectación espectral.

Es importante validar la metodología con talleres de campo en cada zona de estudio, para que la aplicación de índices espectrales como metodología de detección de alteración de sedimentos por causa de la explotación mineral sobre cuerpos de agua sea extendida y replicada, aumentando su confiabilidad y robustez.



Mapa 10. Detección de la alteración de sedimentos suspendidos mediante índices espectrales (MNDWI – 2014) con superposición de cartografía social.

DINÁMICA ESPACIAL DE COBERTURAS EN TORNO A ACTIVIDADES DE EXPLOTACIÓN DE ORO DE ALUVIÓN CON USO DE MAQUINARIA EN TIERRA EN LA REGIÓN PACÍFICO (ESTUDIO DE CASO)

El análisis multitemporal es una evaluación de tipo espacial que consiste en identificar, no solo los cambios que presenta en sí un fenómeno en particular, sino también en relación con las coberturas terrestres, a través de observaciones o lecturas que se hacen en diferentes periodos de tiempo.

El permanente monitoreo durante los últimos años ha evidenciado alta dinámica y expansión de las actividades de explotación de oro de aluvión en buena parte del territorio colombiano, coincidiendo principalmente con la Región Pacífico y Central en el área afectada por cultivos ilícitos [11].

Con el propósito de analizar la dinámica temporal de coberturas en torno al fenómeno de explotación de oro de aluvión, se seleccionó la Región del Pacífico como zona piloto. El estudio contempla cuatro cortes de tiempo: 2001, 2006, 2011 y 2014.

Las condiciones atmosféricas que dominan la Región Pacífico la califican como una de las zonas con mayor nubosidad en el territorio colombiano, y a que la evidencia física permanece visible por varios años debido a la perturbación causada en el paisaje que involucra pérdida de cobertura boscosa y alteración de las condiciones físicas de los suelos. Por lo anterior, se usaron diferentes imágenes tomadas en un lapso de dos años para las áreas que presentaban nubosidad, con el fin de reducir las áreas sin información por presencia de nubes y establecer una base por periodo de evaluación⁴⁵. Los resultados de análisis se presentan en un marco maestro de grillas de 1km x 1 km.

El análisis de la dinámica espacio-temporal en la Región Pacífico está orientado a: i) identificar el área afectada durante el periodo de estudio; ii) determinar las coberturas vegetales con mayor afectación por el establecimiento del fenómeno; iii) identificar la dinámica de afectación de subcuencas hidrográficas; iv) establecer los efectos en la pérdida de cobertura vegetal asociada con las actividades de explotación de oro de aluvión y con cultivos ilícitos; v) identificar el comportamiento espacial de los cultivos ilícitos y las evidencias de explotación de oro de aluvión en el territorio.

El estudio piloto en la Región del Pacífico contempla tres líneas de evaluación y análisis. La primera tiene que ver con la cuantificación de los cambios en área utilizada para el establecimiento de explotación de oro de aluvión; para esto, se definieron las siguientes tres categorías: Área estable: Es el área con evidencias de explotación de oro de aluvión presentes en el periodo actual (T) y en el periodo anterior (T-1).

Área nueva: Es el área con evidencias de explotación de oro de aluvión presentes en el periodo actual (T) pero no en el periodo anterior (T-1).

Área abandonada: Es el área con evidencias de explotación de oro de aluvión no presentes en el periodo actual (T) pero presentes en el periodo anterior (T-1).

45. El monitoreo multitemporal permite realizar detecciones de acuerdo con la resolución temporal de las imágenes. Sin embargo se debe tener en cuenta que la región de estudio permanece gran parte del año con cobertura de nubes, lo que dificulta la detección. Tecnologías como la de radar pueden mejorar la detección en estas zonas.

Por último, la tercera línea de análisis está relacionada con el comportamiento espacial de las áreas con EVOA dentro del territorio afectado por cultivos de coca entre 2001 - 2014. Se busca identificar si el fenómeno de la

explotación de oro de aluvión, en términos espaciales, se presenta conjuntamente en el territorio con cultivos de coca, o por el contrario los han sustituido o relegado.

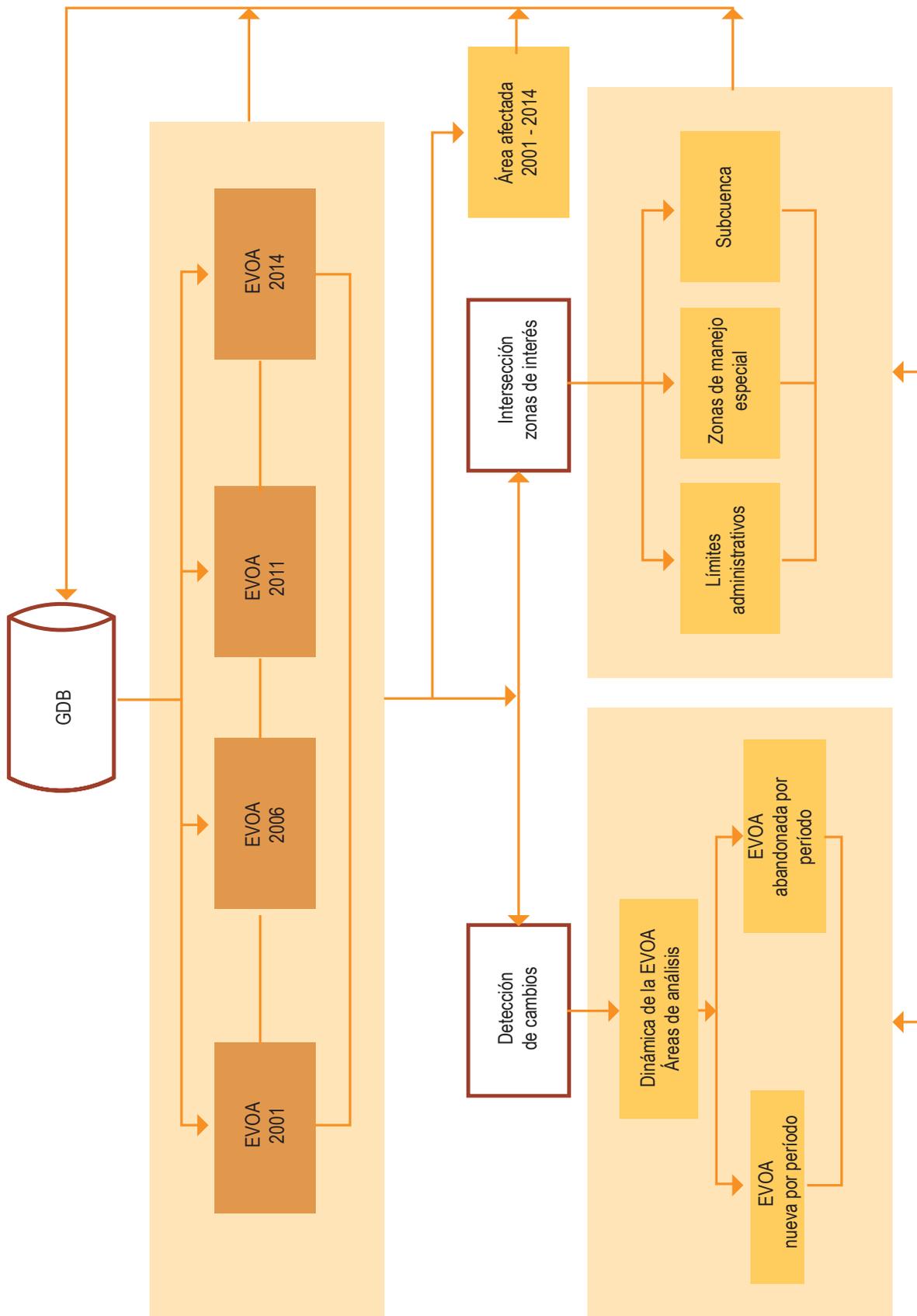


Ilustración 12. Esquema de procesos dinámica espacial de coberturas con énfasis en EVOA.

MOSAICO DE COBERTURAS

Anualmente, y desde el año 2000, el proyecto SIMCI ha realizado la identificación de coberturas del suelo presentes en el territorio afectado por cultivos de coca. La interpretación de estas coberturas se realiza por medio de imágenes satelitales de resolución espacial media, información con la se construye el mosaico de coberturas, insumo básico para el análisis multitemporal.

El Proyecto construyó una leyenda propia para identificar las coberturas vegetales que pueden ser afectadas por la presencia de cultivos de coca, para hacer un seguimiento de la dinámica y los cambios sobre el paisaje dentro del territorio. De igual manera, la leyenda contempla coberturas de carácter antrópico (cultivos lícitos, vías, centros poblados) que en conjunto apoyan la caracterización de estas zonas.

Hallazgos

A partir de la detección de EVOA en cuatro momentos (2001, 2006, 2011 y 2014), se construyó un análisis multitemporal con 3 propósitos: i) analizar el

comportamiento de las EVOA en términos de área durante el periodo de estudio, a través de las diferentes unidades de territorio (Administrativas y áreas de manejo especial); ii) identificar la dinámica de las EVOA, examinando qué cantidad de estas aparece en cada periodo de estudio (EVOA nuevas), y cuánto de la evidencia desaparece con el tiempo (EVOA abandonada); iii) examinar cómo las EVOA interactúa con el territorio de cultivos de coca. En este capítulo se presentan los principales hallazgos del análisis.

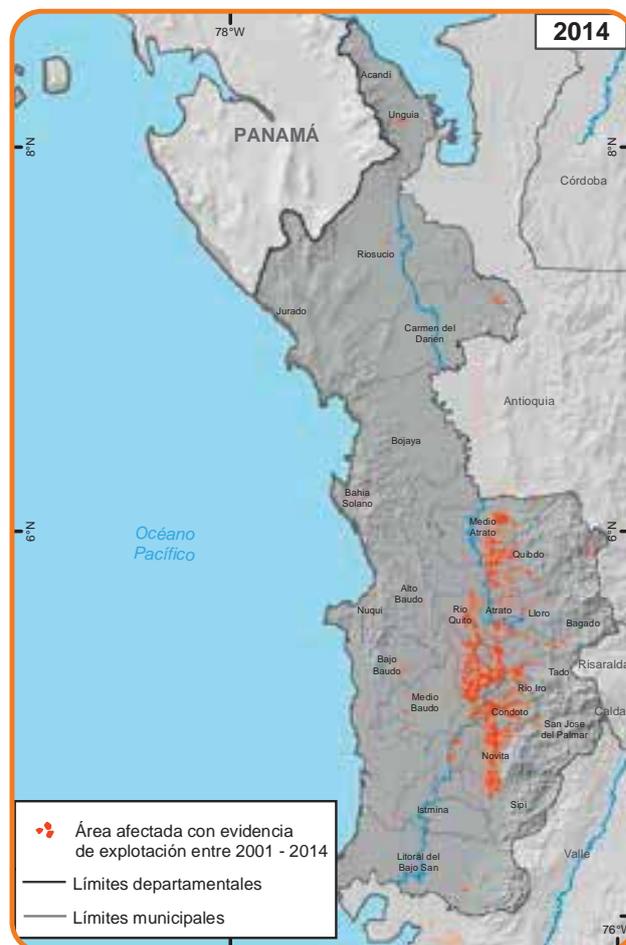
El área afectada acumulada durante el periodo de estudio fue de 44.746 ha, pasando de 637 ha en 2001, a 40.839 ha en 2014; esto quiere decir que 3.907 ha, estuvieron afectadas por EVOA en algún momento en el periodo de estudio pero no lo están más al final del mismo. La construcción periódica de este dato permite el seguimiento en la tendencia de crecimiento y expansión del fenómeno en nuevos territorios.

El área afectada por periodo es equivalente al territorio nuevo con EVOA; en este sentido, el periodo 2011 - 2014 es el de mayor expansión del fenómeno en la región, con 35.431 ha de nuevas EVOA, situación que se verifica en el siguiente mapa.

Conceptos:

Área afectada acumulada: corresponde a la suma geográfica de las áreas afectadas por periodo.

Área afectada por periodo: corresponde a zonas de la región que presentaron evidencias de explotación de oro de aluvión y que en periodos anteriores no se detectaron.

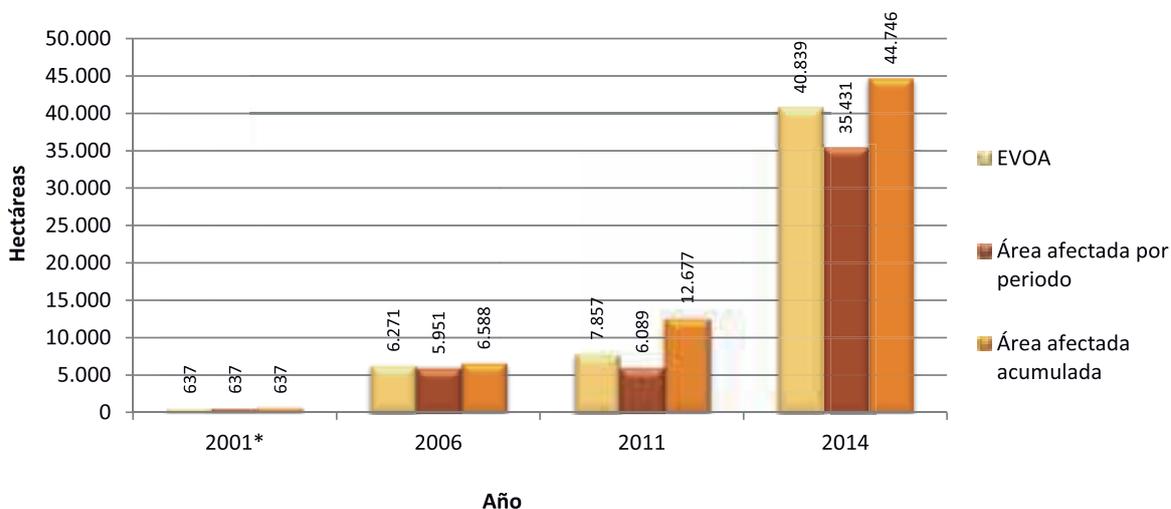


Fuente: Gobierno de Colombia - Sistema de monitoreo Apoyado por UNODC
 Los límites, nombres y títulos usados en este mapa no constituyen reconocimiento o aceptación por parte de las Naciones Unidas

Mapa 11. Área afectada acumulada por periodo. Región Pacífico.

Por otra parte, la diferencia entre EVOA y el área afectada por periodo, indica la cantidad de área que ya había sido afectada por EVOA y que se mantiene afectada en el periodo de referencia; lo anterior significa que la EVOA perdura en el tiempo. A manera de ejemplo, la diferencia

entre EVOA y área afectada en el año 2014, corresponde a 5.408 ha que en algún periodo anterior ya habían sido afectadas para el establecimiento de actividades de explotación antes del 2014.



*Se considera el 2001 como el periodo de inicio del estudio esto no implica que en años anteriores no se realizaran actividades de minería

Gráfico 15. EVOA, afectación por periodo y afectación acumulada 2001-2014. Pacífico.

La explotación de oro de aluvión en el Pacífico colombiano ha existido desde la época de la conquista [35]. Sin embargo, como resultado de la detección de EVOA, se concluye que esta actividad se ha incrementado de manera exponencial en la última década (Ver siguiente gráfico), puesto que pasó de tener 637 ha en el 2001 a 40.839 en el 2014. El comportamiento del incremento durante el primer quinquenio se multiplicó por 10, mientras que al tomar todo el periodo como referencia se incrementó 65 veces.

Este incremento de área se manifiesta en el aumento del número de zonas continuas intervenidas para actividades de explotación mineral: mientras en el año 2001 se detectaron 259 sitios de evidencia que representan 637 hectáreas, para el año 2014 se incrementó a 2.559 sitios que cubrieron un total de 40.839 ha. Por otra parte, durante el periodo de estudio se pasó de un promedio en área de EVOA de 2,5 ha a 16 ha.

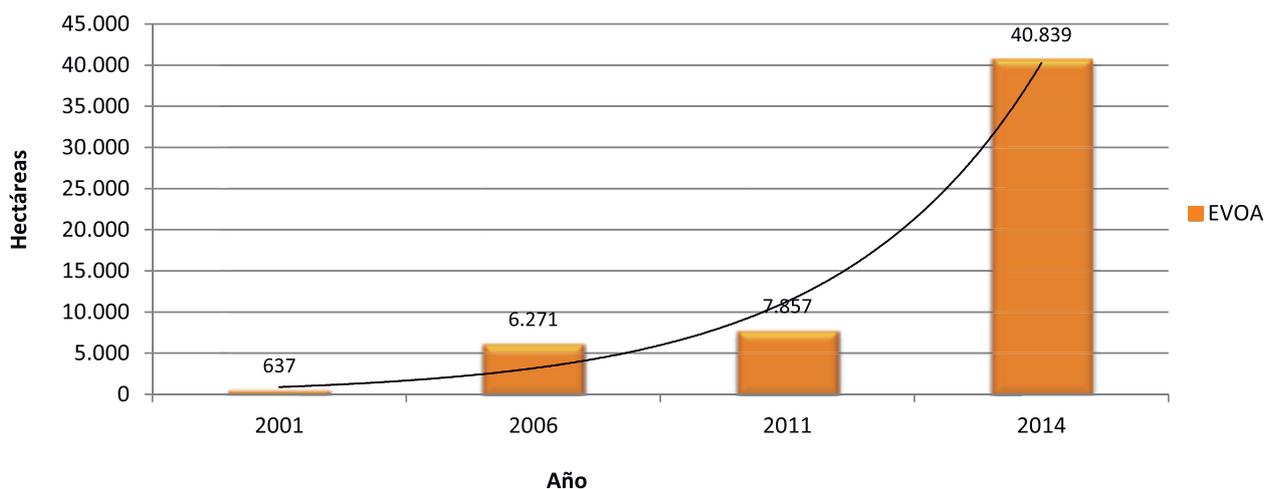


Gráfico 16. Área de EVOA por año. Región Pacífico.

El incremento de EVOA en la región coincide con que el precio del oro experimentó una tendencia alcista; según el Banco de la Republica, el gramo paso de valer \$16.700 en enero del 2.000 a \$20.025 un año después, en 2004 alcanzó los \$37.300 y en 2.013 los \$86.900.

El alza se congeló en 2014 y el gramo bajo a \$70.000, pero el aumento del precio del dólar terminó disparando nuevamente el precio del oro, que en agosto del 2015 alcanzó los \$108.099. Esta tendencia alcista (gráfico 3) generó una avalancha de población proveniente de otras

regiones del país con retroexcavadoras y dragas que permiten extraer el mineral en grandes cantidades [36]. Según Codechocó, en el 2013 había 54 dragas trabajando en la explotación aurífera en todo el departamento, 184 % más en relación con el número que había en el 2012 [37]. Esta llegada masiva de maquinaria ha conducido a que las prácticas artesanales sean desplazadas

por la explotación mecanizada, y ejerzan presión en la transformación de la relaciones de los pobladores originales con el territorio.

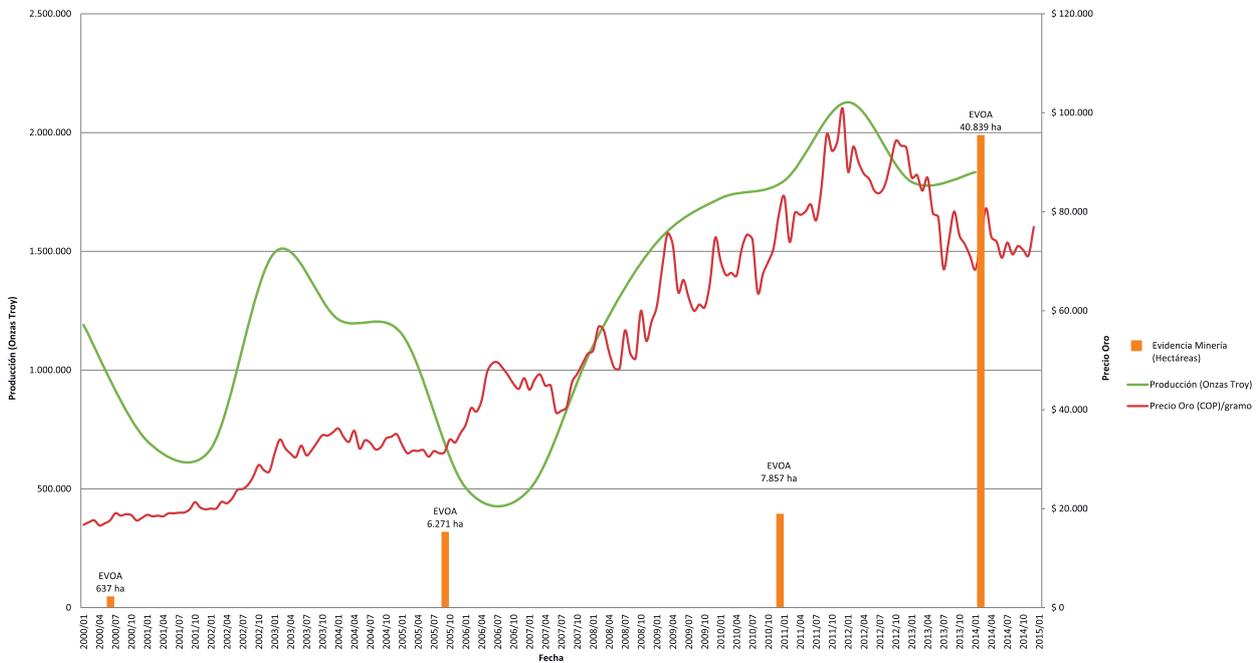
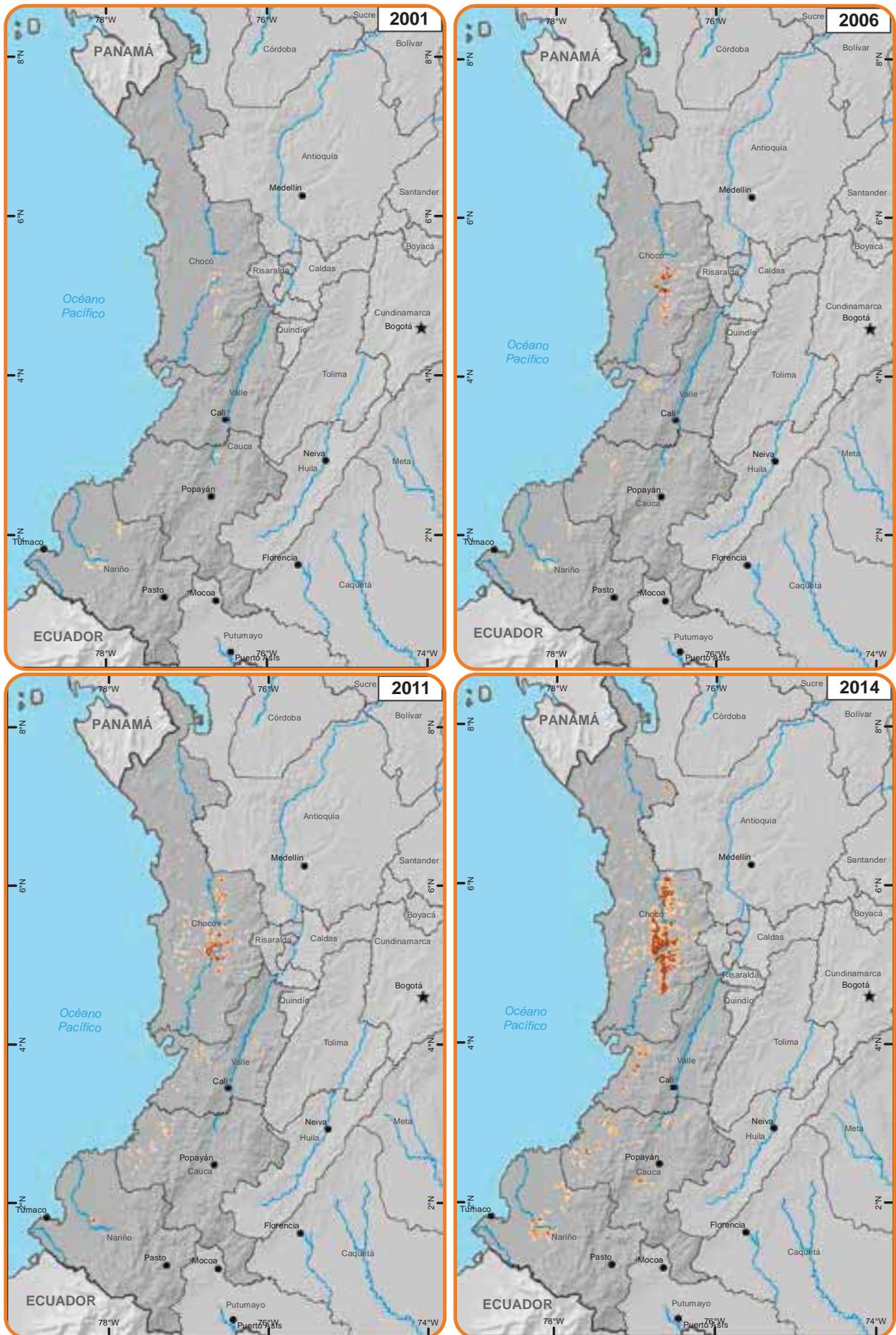


Gráfico 17. Relación EVOA, precios y producción del oro.

Fuente producción: Banco de la República, Ministerio de Minas y Energía, Minercol, Ingeominas (2004-2011), Servicio Geológico Colombiano (2012 en adelante). Nota: Los datos del 2015 actualizados a primer trimestre. Fuente precios: Departamento Técnico Industrial de la Subgerencia Industrial y de Tesorería del Banco de la República.



Fuente: Gobierno de Colombia - Sistema de monitoreo Apoyado por UNODC
 Los límites, nombres y títulos usados en este mapa no constituyen reconocimiento o aceptación por parte de las Naciones Unidas

Densidad Evidencia Explotación
 (ha/km²)

0.1 - 1.0

1.1 - 5.0

> 5.0

Mapa 12. Densidad de EVOA en la región de estudio.

Departamento del Chocó

Los resultados para Chocó muestran que el departamento ha tenido un incremento de EVOA superior al de los demás departamentos de la región, al pasar de 302 hectáreas en el 2001, a 36.185 en el 2014. Chocó está conformado por 30 municipios, de los cuales 28 han tenido EVOA en algún momento durante el período de estudio; solo los municipios de Bahía Solano y Juradó no han presentado EVOA durante el periodo 2001-2014.

Tal como se observa en el gráfico “Área de EVOA por año. Región Pacífico” en el primer quinquenio la EVOA se multiplicó 19 veces, lo que representa el mayor incremento en términos de porcentaje frente a los demás periodos; ahora bien, al analizar todo el periodo de estudio (2001 y 2014) el fenómeno se multiplicó 120 veces. En términos generales, el incremento en el departamento del Chocó representa el de la región; en efecto, a partir del año 2006, estos aumentos han llevado a que en promedio

el área de EVOA del departamento corresponda al 90 % del total de la región, y la evidencia del periodo 2014 represente el 46% del área en todo el país. Un efecto inmediato del incremento es la generación de grandes cantidades de parches en los bosques del departamento, principalmente en dirección suroriente, que una década atrás eran constituidos por grandes bloques continuos de masas boscosas climácicas. Como resultado de este incremento se concluye que en el departamento se concentra tanto la expansión del área afectada, como las nuevas áreas de EVOA de la región.

En referencia al periodo de estudio, el comportamiento de expansión del fenómeno en el departamento tiene como foco de inicio el municipio de Nóvita, junto a lo que hoy se conoce como el distrito minero de Istmina (Bagadó, Condoto, Istmina, Sipí y Tadó), a lo largo del Río San Juan en dirección norte por los municipios que atraviesan los ríos Quito (Quibdó, Cantón de San Pablo) y Atrato, principalmente en el municipio de Medio Atrato.

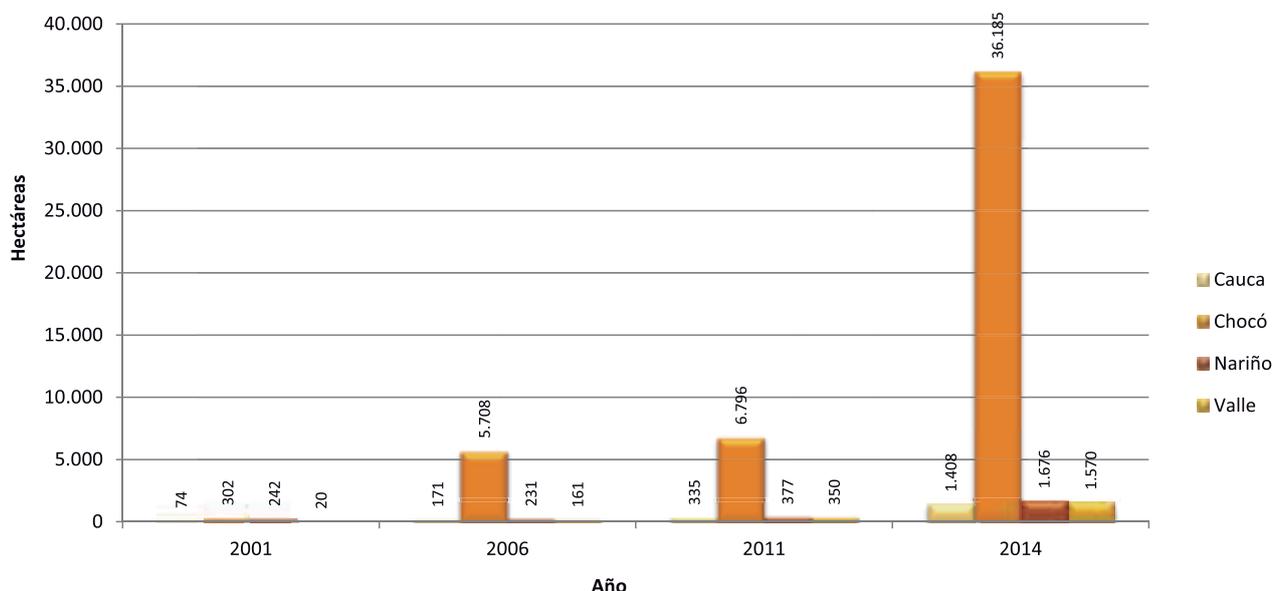


Gráfico 18. EVOA por departamento. Pacífico.

Departamento de Nariño

El departamento de Nariño es el segundo en área de EVOA dentro de la región, al pasar de 242 hectáreas en el 2001 a 1.676 en el 2014; su mayor incremento, aproximadamente de 4,5 veces, se presentó en el periodo 2011-2014, mientras que en los primeros periodos mantuvo una tendencia de estabilidad.

En referencia al periodo de estudio, el comportamiento de expansión del fenómeno dentro del departamento tiene sus inicios de focalización en los municipios de Barbacoas y Magüí, en riveras del Río Telembí, utilizando afluentes del Río Telembí como Río Yacula y Río Güelmambi para expandirse. Otro foco de expansión

se encuentra entre los límites de los municipios de Santa Bárbara y el Charco.

Barbacoas es el municipio de mayor crecimiento en el departamento, pasando de 94 hectáreas en el 2001, a 966 en el 2014.

Departamento del Valle

El departamento del Valle es el tercero en crecimiento en área de EVOA dentro de la región, al pasar de 20 hectáreas en el 2001 a 1.570 en el 2014. Su mayor incremento, aproximadamente 4,5 veces, se presentó en el periodo 2011-2014.

En referencia al periodo de estudio y a diferencia de los demás departamentos, el comportamiento del fenómeno está concentrado principalmente en el municipio de Buenaventura. Los inicios de la actividad se dieron en las riveras del Río Dagua, y su expansión se dio en la dirección sur del municipio a través de los ríos Anchicayá, Mayorquín y Raposo.

Departamento del Cauca

El departamento del Cauca es el de menor crecimiento en área de EVOA en la región, al pasar de 74 hectáreas en el 2001 a 1.408 en el 2014. Al igual que los departamentos de Nariño y Valle, su mayor incremento, aproximadamente 4 veces, se presentó en el periodo 2011-2014.

La expansión del fenómeno dentro del departamento durante el período de estudio tiene sus inicios en el municipio de López, a lo largo de la rivera del Río Micay. Su principal expansión se dio en dirección sur del

departamento, afectando principalmente los municipios costeros de Timbiquí y Guapi a través de los ríos Timbiquí e Iscuandé, y algunos de sus afluentes, como se observa en el mapa.

Un aspecto importante de la dinámica de este departamento tiene que ver con la dispersión del fenómeno; el Cauca es el de mayor dispersión dentro de la región, existiendo focos del fenómeno en municipios del norte (Buenos Aires), centro (Patía) y sur (Santa Rosa), focos que pueden ser considerados como alerta para hacer el respectivo seguimiento.

Abandono y expansión de las EVOA

El análisis a realizar en este apartado corresponde a los cambios del área que contiene la EVOA para cada uno de los periodos examinados a nivel del polígono en dos aspectos: EVOA abandonada⁴⁶ y EVOA nueva⁴⁷.

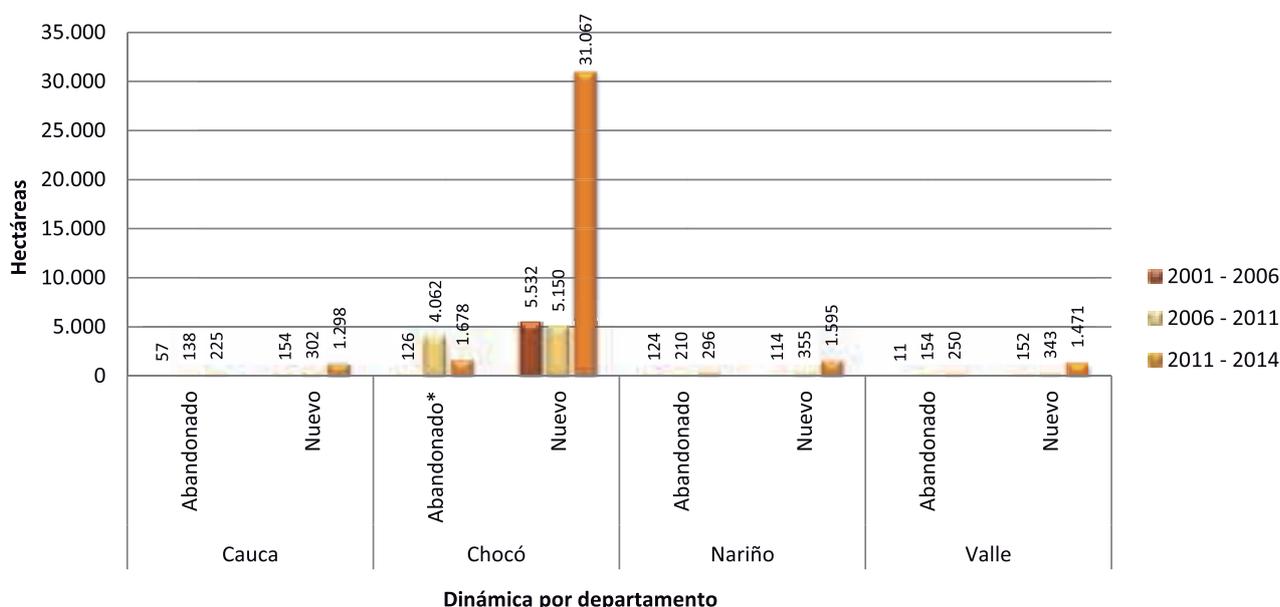


Gráfico 19. Dinámica del área de EVOA por departamento y por periodo. Pacífico.

*Cerca de 40 % de EVOA detectada en el año 2006 se encontró bajo nubes del año 2011.

Como se aprecia en el gráfico arriba, es en el departamento de Chocó donde principalmente se conjugan las diferentes dinámicas de EVOA; sobresale la evidencia nueva entre el periodo 2011-2014, mientras que para los demás departamentos la dinámica de EVOA abandonada y EVOA nueva son muy similares para cada periodo.

Explotación de oro de aluvión y cultivos de coca

El siguiente gráfico indica la variación porcentual del área sembrada con cultivos de coca con referencia al año 2001; al analizarlo, se observa que las mayores variaciones de

los cultivos de coca se presentan en los departamentos de Chocó y Valle, que mantienen una tendencia similar durante el periodo de estudio, con excepción del caso del Valle del Cauca en 2008.

El departamento de Nariño desde el 2006 ocupa el primer lugar en el país con mayor área sembrada, y en el 2014 concentra el 67% de la región [11]; durante el periodo de estudio la variación porcentual del área sembrada para Nariño y Cauca es similar, y de igual forma sucede con la

46. Evidencia de explotación de oro de aluvión abandonada es el área con actividad de explotación no presente en el periodo actual (t) pero presente en el periodo anterior (t-1).

47. Evidencia de explotación de oro de aluvión nueva es el área con actividad de explotación presente en el periodo actual (t) pero no en el periodo anterior.

EVOA en los años 2011 y 2014 en estos departamentos. En el 2014 Nariño presenta una relación de 10:1 entre área cultivos de coca y EVOA, mientras que en Chocó esta relación es de 1:20

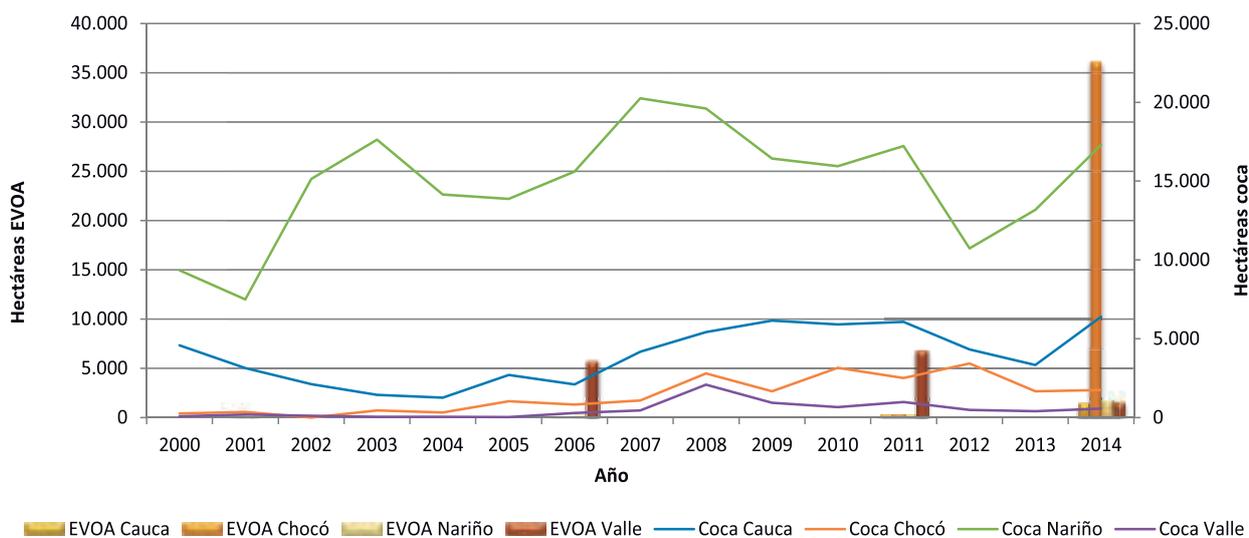
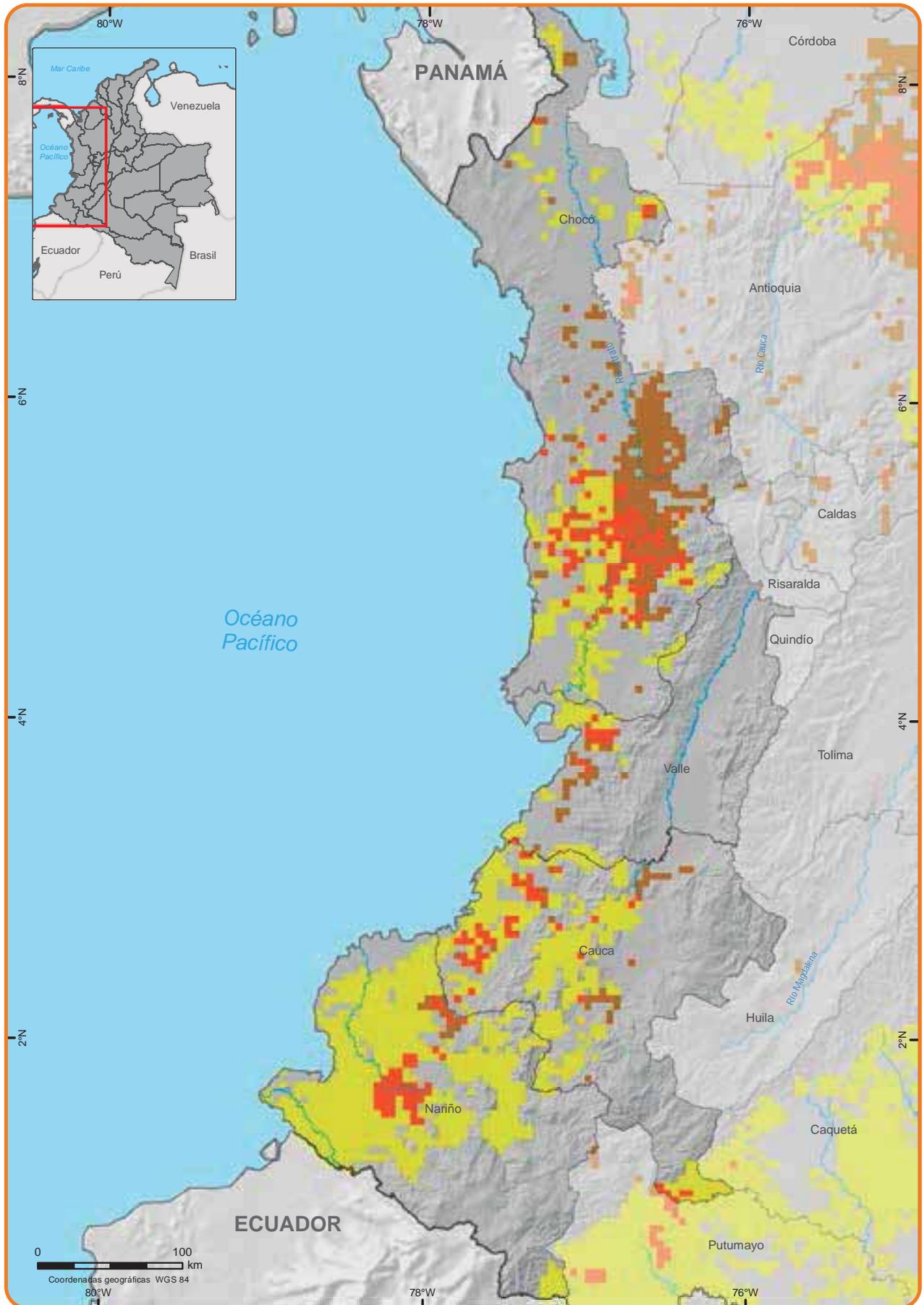


Gráfico 20. Comportamiento histórico del área sembrada con cultivos de coca frente a EVOA. Pacífico.

Al analizar la ubicación espacial de EVOA en los municipios de los departamentos de Nariño y Cauca, se observa que comparte territorio con los cultivos de coca, mientras para el departamento de Chocó las EVOA en gran proporción no coinciden con territorios afectados por cultivos de coca; en Chocó, mientras las áreas sembradas con coca se ubican principalmente hacia el oeste, las EVOA tienden hacia el Noreste del departamento a través de las zonas aluviales de los ríos San Juan, Quito y Atrato, susceptibles de inundación, que afectarían los cultivos de coca. (Ver Mapa de territorios afectados por evidencias de explotación de oro de aluvión y cultivos de coca.)



Fuente: Gobierno de Colombia - Sistema de monitoreo Apoyado por UNODC

Los límites, nombres y títulos usados en este mapa no constituyen reconocimiento o aceptación por parte de las Naciones Unidas

Territorios afectados por evidencia de explotación de oro de aluvión y cultivos de coca 2014

- Sin cultivos de Coca / Con evidencia de explotación de oro de aluvión
- Con cultivos de coca / Sin evidencia de explotación de oro de aluvión
- Con cultivos de coca / Con evidencia de explotación de oro de aluvión

- Límites internacionales
- Límites departamentales

Nota: La representación de la evidencia de explotación de oro de aluvión y cultivos de coca se realiza en grillas de 5km x 5km

Mapa 13. Territorio afectado por EVOA y cultivos de coca 2014, Región Pacífico.

Departamento	Municipio	EVOA 2014 (ha)	Cultivos de coca 2014 (ha)
* Choco	Nóvita	5.175	53
	Istmina	5.069	517
	Condoto	4.543	10
	Cantón del San Pablo	4.024	50
	Quibdó	2.840	2
	Unión Panamericana	2.468	0
	Medio Atrato	2.405	0
Nariño	Barbacoas	966	1.130
	Magüí	306	586
	Santa Barbara	179	368
	Roberto Payán	89	1.147
	Tumaco	79	8.963
	El Charco	56	1.263
Valle	Buenaventura	1.542	539
Cauca	Timbiquí	458	572
	López	341	686
	La Sierra	139	0
	El Tambo	104	2.522

Tabla 12. Principales municipios con EVOA y su relación con cultivos de coca en 2014.

*Las áreas de EVOA nueva superior a 2.000 hectáreas representa el 72 % de EVOA nueva del departamento

Zonas de manejo especial en la Región Pacífico

De los 16 Parques Nacionales Naturales que se encuentran dentro de la Región Pacífico, sólo en dos de ellos se detectó EVOA, representada en 7 hectáreas que corresponden al 0.02% del total de la región, donde el Parque Nacional Natural Los Katíos es el más afectado con 5 ha en 2014. La principal afectación se presentó en el año 2014. Durante los años 2006 y 2011 no se detectaron EVOA. Para esta unidad de manejo especial, se incrementó en 4 ha la afectación entre el 2001 y 2014.

Respecto a resguardos indígenas, el mayor incremento de EVOA se presenta entre los años 2011 y 2014, pasando de 201 ha a 610 ha, lo que equivale a un aumento mayor al 300%. Este incremento se observa principalmente en los límites de los resguardos de Río Icho y la Quebrada Baratudo, Río Negua y Urada Jiguamiandó. En el año 2006 se registran las primeras EVOA, que representaron un total de 178 ha. El 34% de los resguardos indígenas afectados en 2014 ya estaban afectados en 2006.

Uno de los principales hallazgos es que las EVOA detectadas en la región se encuentran ubicadas principalmente en los Consejos comunitarios durante todo el periodo de estudio.

El siguiente gráfico muestra dos aspectos: el primero, la participación de la presencia de EVOA dentro de los Consejos comunitarios a nivel porcentual, que pasó de 73% a 90% entre el 2001-2014; el segundo, que el número de Consejos comunitarios afectados se triplicó. Como resultado de este incremento para el año 2014, de los 144 consejos que se encuentran en la región, el 49% está afectado. Con respecto a las EVOA que no se encuentra al interior de los Consejos comunitarios, la mayor parte se encuentra ubicada a lo largo de los ríos Atrato y Andagueda, en territorios donde el fenómeno se expande.

Los resguardos indígenas "Río Negua", "Río Icho y la "Quebrada Baratudo" están ubicados en una zona de expansión de EVOA.

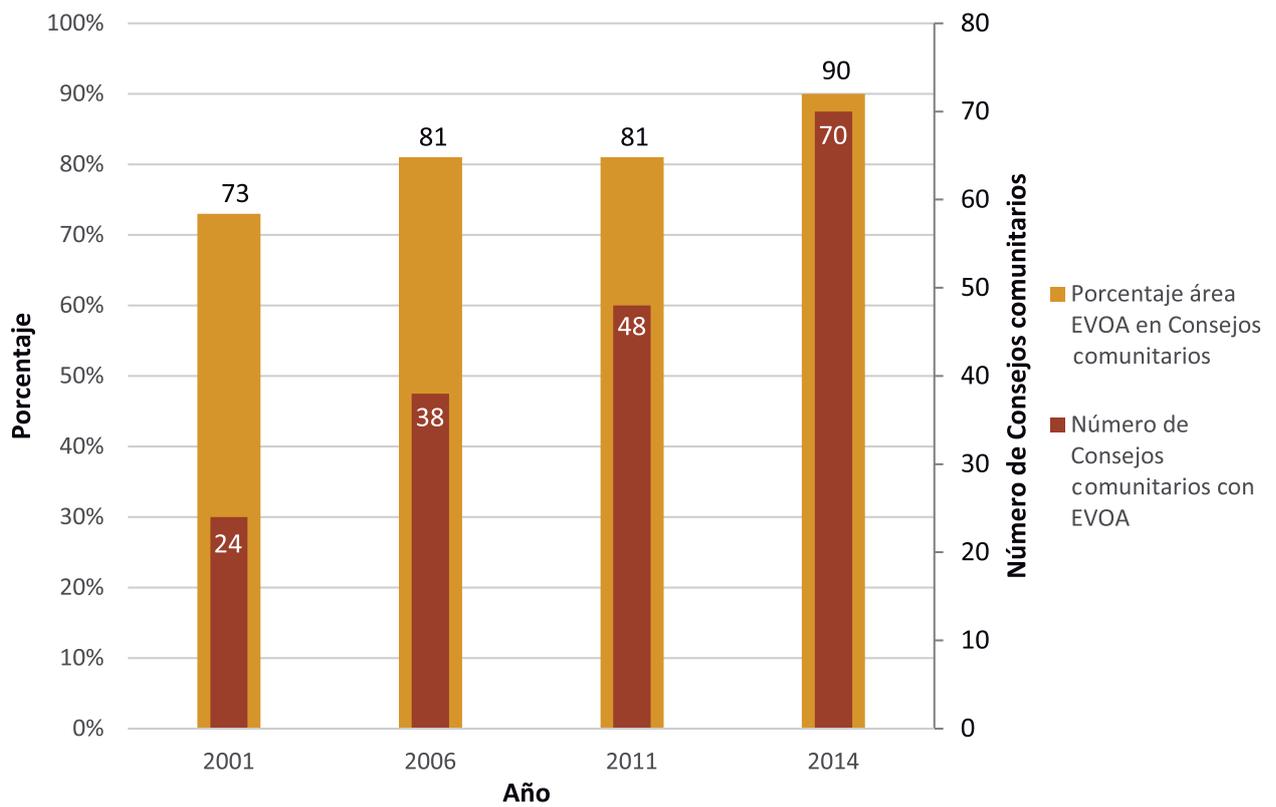
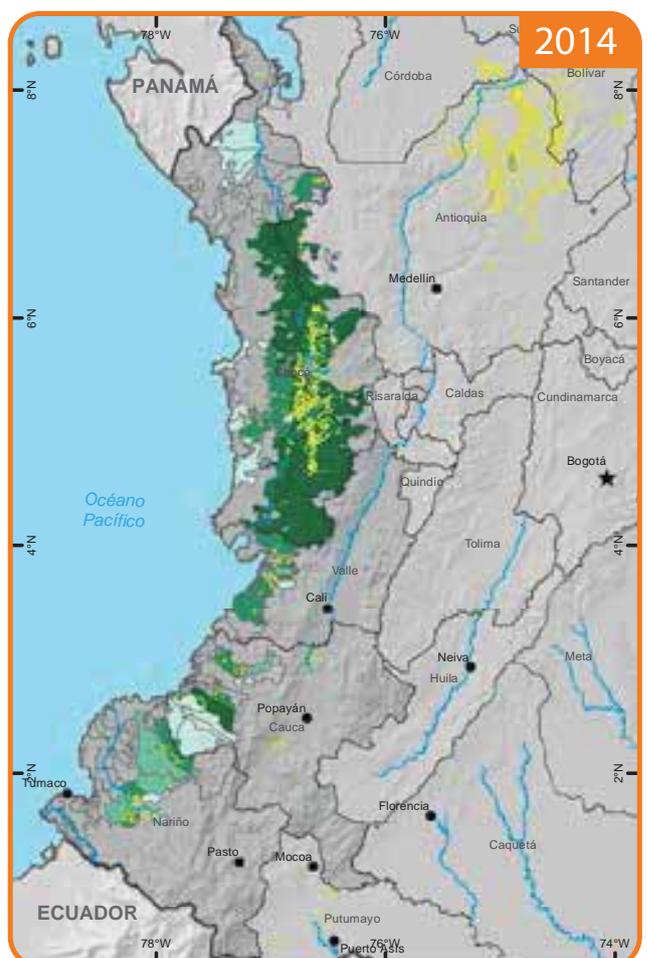
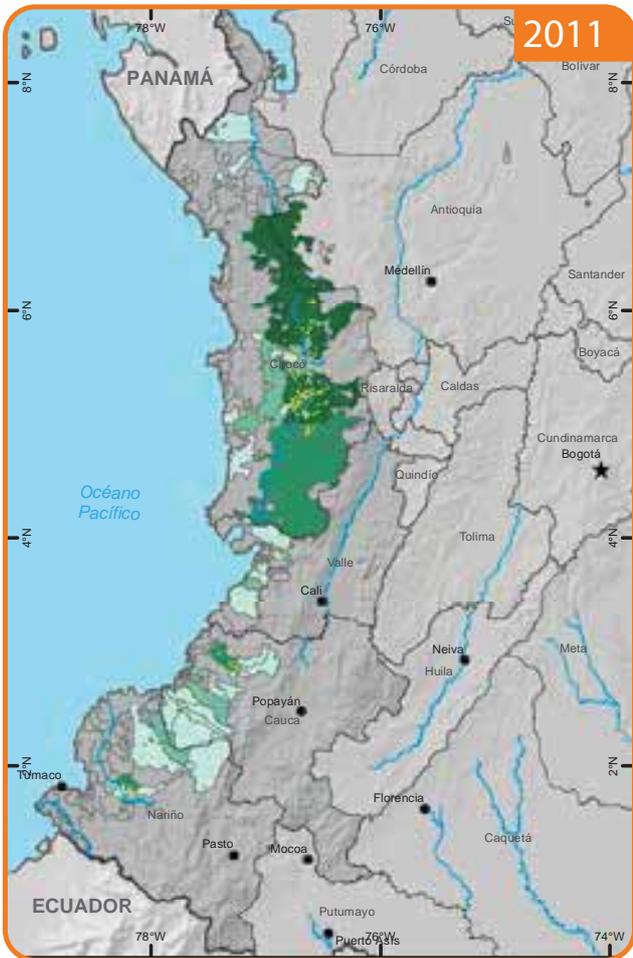
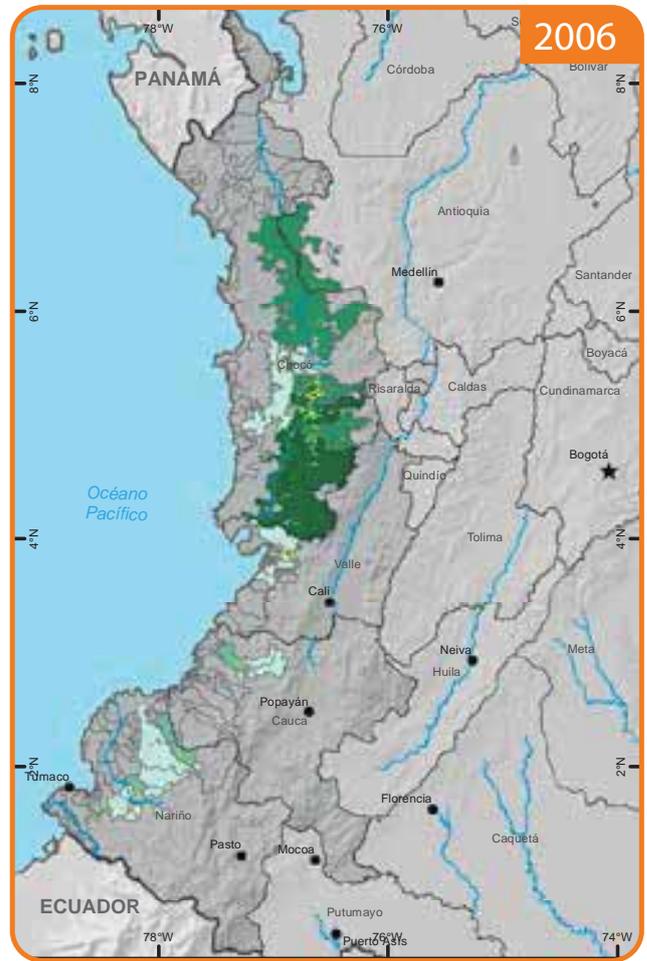
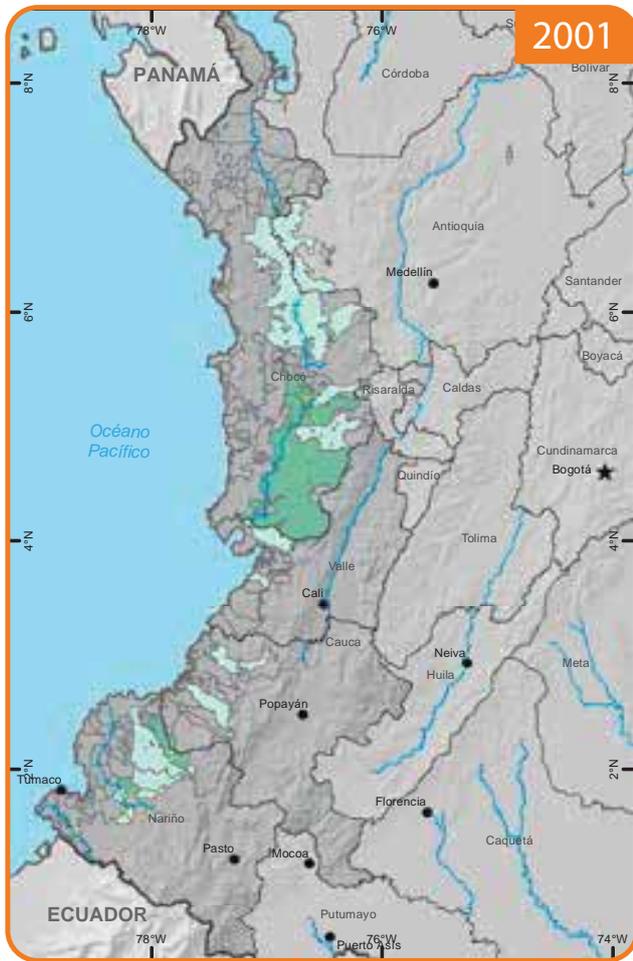


Gráfico 21. Participación porcentual de EVOA en Consejos comunitarios con respecto al total de la región y número de Consejos comunitarios afectados. Pacífico.



Fuentes: para evidencia de explotación: Gobierno de Colombia - Sistema de monitoreo apoyado por UNODC. Para Consejos comunitarios: IGAC 2010. Los límites, nombres y títulos usados en este mapa no constituyen reconocimiento o aceptación por parte de las Naciones Unidas.

- Evidencia de explotación
- 25,1 - 100 ha
- > 250,1 ha
- Sin evidencia de explotación

Mapa 14. Consejos comunitarios de comunidades afrodescendientes, EVOA y subcuencas en el periodo de estudio. Pacífico.

A pesar de que el número de subcuencas afectadas por EVOA se duplicó, pasando de 19 subcuencas en 2001 a 39 subcuencas en 2014, el fenómeno está focalizado en las 19 subcuencas que ya estaban afectadas por EVOA en 2001; estas se incrementaron en 38.016 ha en el 2014, con una tasa de crecimiento anual de 2.924 ha. En

las subcuencas afectadas en el último período la tasa de crecimiento anual fue del 8%. Es importante destacar que mientras la expansión de las EVOA sucedió entre 2011 y 2014, la expansión de la afectación en el número de subcuencas sucedió en el periodo 2001 – 2006.

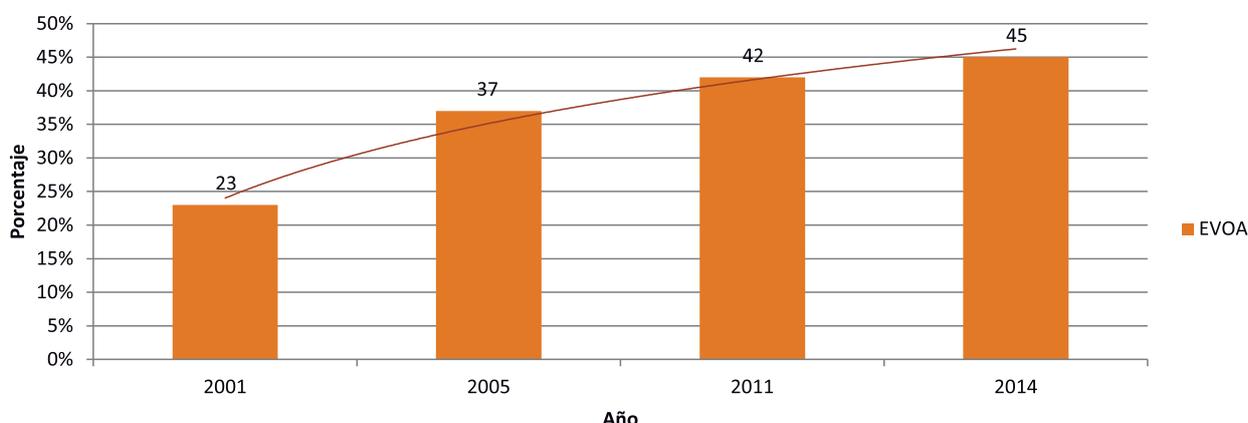


Gráfico 22. Evolución del porcentaje de subcuencas afectadas por EVOA. Pacífico.

La siguiente tabla presenta las principales subcuencas afectadas. Sobresale la del Río Quito no solo por tener la mayor área de EVOA (30% en la región), sino porque allí se presentó la expansión en mayor proporción; en consecuencia, para el año 2014 el 33% de la EVOA nueva se detectó en esta cuenca.

suman 11.258 ha con EVOA, es decir que 879 ha se encuentran fuera de los Consejos Comunitarios pero al interior de la subcuenca. El Consejo Comunitario que sobresale en la subcuenca es Mayor del Cantón San Pablo “Acisanp”, el cual pasó de 36 ha en 2001 a 4.051 ha en 2014.

Por otra parte, la subcuenca Río Quito tiene un total de 12.137 ha de EVOA para el 2014; en ella tienen jurisdicción 10 Consejos Comunitarios que en conjunto

Las 19 subcuencas afectadas con EVOA en 2001 concentran el 95% de EVOA detectada en 2014

SUBCUENCA	Área de la subcuenca ha	EVOA 2001 ha	EVOA 2006 ha	EVOA 2011 ha	EVOA 2014 ha
Río Quito	181.666	109	1.380	2.562	12.137
Río Tamañá y otros Directos San Juan	282.633	57	2.076	1.236	7.337
Río Bebaramá y otros Directos Atrato	306.640	13	321	955	5.438
Río San Juan	298.903	42	1.234	1.452	5.231
Río Cajón	74.293	60	432	174	3.983

Tabla 13. Evolución de EVOA en las principales subcuencas afectadas. Región Pacífico.

Modelo de Vectores de expansión como alertas de movilidad del fenómeno

La información de EVOA en diferentes periodos de tiempo determina la dinámica del crecimiento del fenómeno en la región; esto permite conocer si la actividad presenta un patrón de expansión, y de este modo determinar qué territorios podrían ser afectados por esta actividad en el futuro.

Los vectores de expansión son generados a partir de la capa de los polígonos de EVOA de un tiempo inicial, T0, en comparación con la capa de los polígonos de un

tiempo T1. El modelo actual compara dos años y solo considera como expansión si la EVOA se encuentra en el año base; cuando se detecta un área con evidencia en el año final (T1) que no tiene registro en el año inicial (T0), se marca como una nueva actividad sobre el territorio y por lo tanto no se identifican vectores.

Se consideran como expansión al aumento en área en cualquier dirección de EVOA ya detectadas. Las detecciones nuevas se consideran como ampliación a nuevos territorios.

Para definir un vector de expansión son necesaria dos variables: 1) Dirección y 2) Magnitud. Para las evidencias de explotación de oro de aluvión podrían encontrarse vectores de crecimiento en todas las direcciones, por lo cual se divide el círculo en octantes y se determina un vector de expansión en cada octante, partiendo del centro del polígono de la EVOA base, como se ilustra en la figura siguiente.

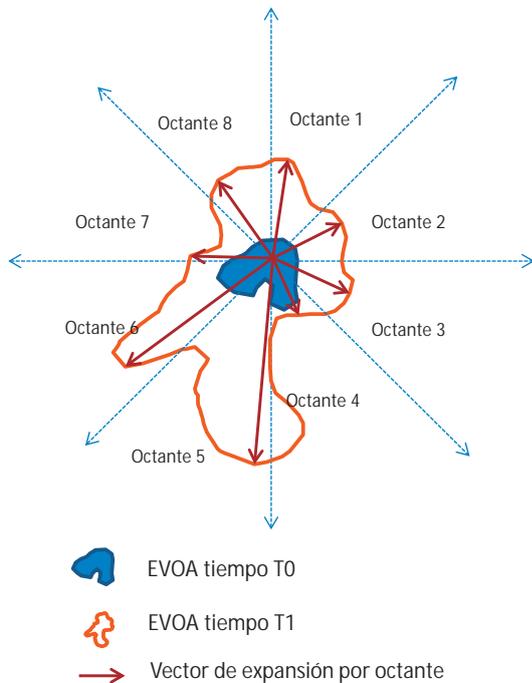


Figura 3. Determinación de un vector de expansión de EVOA.

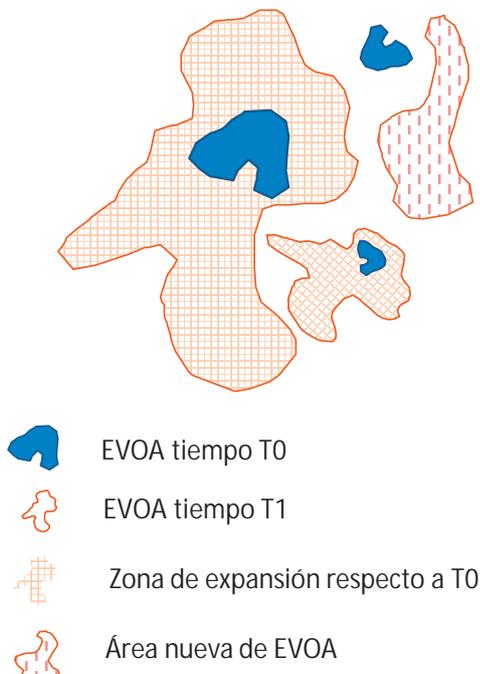


Figura 4. Ejemplo expansión EVOA entre T0 y T1.

El proceso comienza al reconocer qué áreas con EVOA en el año base (T0) presentaron un crecimiento

respecto al año de estudio (T1); este proceso se realiza mediante la comparación entre la posición geográfica y el área detectada de ambos años. Como resultado se obtienen dos capas: la primera identifica los polígonos del tiempo T0 que presentaron expansión, y la segunda los polígonos del tiempo T1 que corresponden a las áreas de expansión. También se localizan las nuevas áreas con EVOA que no tienen referencia en el tiempo T0.

Luego, por la complejidad en la geometría de cada una de las capas, se realiza un proceso de generalización y posteriormente se obtienen los centros de los polígonos de EVOA en el tiempo T0, y los puntos de los vértices de los polígonos en T1, lo que permite optimizar los cálculos en el modelo.

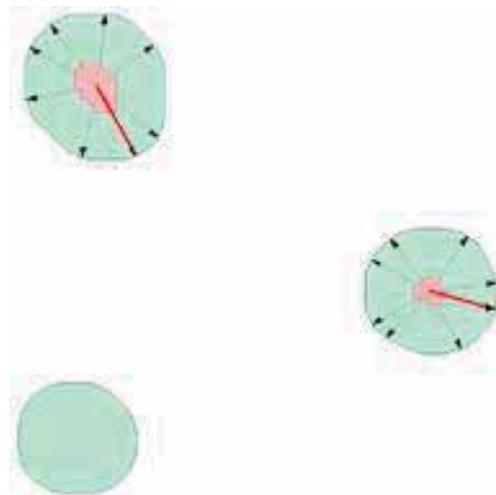


Figura 5. Ejemplo vector de expansión principal.

Una vez se tienen los puntos de las capas T1 y T0 se calculan las distancias desde el centro del polígono en T0 hasta cada uno de los vértices en T1, lo que genera una tabla de distancias. Con esta tabla se grafican los vectores, puesto que contiene los datos de las coordenadas de los puntos iniciales, los finales, la distancia y el ángulo para cada punto.

De los posibles vectores se filtra el mayor vector (mayor distancia) por octante (segmentos de ángulo cada 45° hasta completar 360°) con respecto a cada punto de origen, es decir, con respecto a cada punto de la capa T0. Esos vectores pasan por un segundo filtro similar al anterior, pero con respecto a los puntos de destino (capa T1), con el fin de que cuando exista más de un polígono T0 incluido dentro de un polígono T1 solo queden los 8 mayores vectores dentro de ese polígono T1. Como último paso se identifica al vector de mayor tamaño por capa T1, y se almacena en el atributo de tipo de vector como "principal". Este es considerado como el vector predominante de expansión de la explotación a cielo abierto de oro de aluvión.

Hallazgos

El estudio de la dinámica espacial de las EVOA en diferentes periodos de tiempo permite caracterizar el comportamiento del fenómeno, e identificar rasgos y patrones de crecimiento de la explotación de oro de aluvión en los departamentos afectados, para de esta forma contar con información que sirva de alerta sobre los sitios hacia los que se está moviendo la actividad.

El análisis que se propone tiene como insumo los polígonos de EVOA identificados en las imágenes de satélite para los años del análisis del multitemporal (2001 a 2006, 2006 a 2011 y 2011 a 2014).

De manera general, se encontró que en el período 2001-2006 el número de polígonos se incrementó en un 119%, en el período 2006-2011 en un 32%, y en el período 2011- 2014 en un 241%, siendo este último el de mayor incremento para el estudio, al pasar de 751 polígonos en 2011 a 2.559 polígonos en 2014. Por lo anterior, el análisis que aquí se presenta se enfoca en este último lapso por la representatividad del fenómeno.

Como se explica en la metodología, solo se considera el análisis de vectores si el polígono del año base tiene un crecimiento de 90% y se sobreponen con otro respecto al año final. Los resultados obtenidos muestran que, de los 751 polígonos identificados en el periodo 2007-2011, 464 presentaron expansión.

	2001	2001-2006	2007-2011	2012-2014
Número de polígonos	259	568	751	2559
Porcentaje de incremento de polígonos	No Aplica	119%	32%	241%
Número de polígonos con expansión	No Aplica	148	82	464
Porcentaje de polígonos con expansión	No Aplica	57%	14%	62%

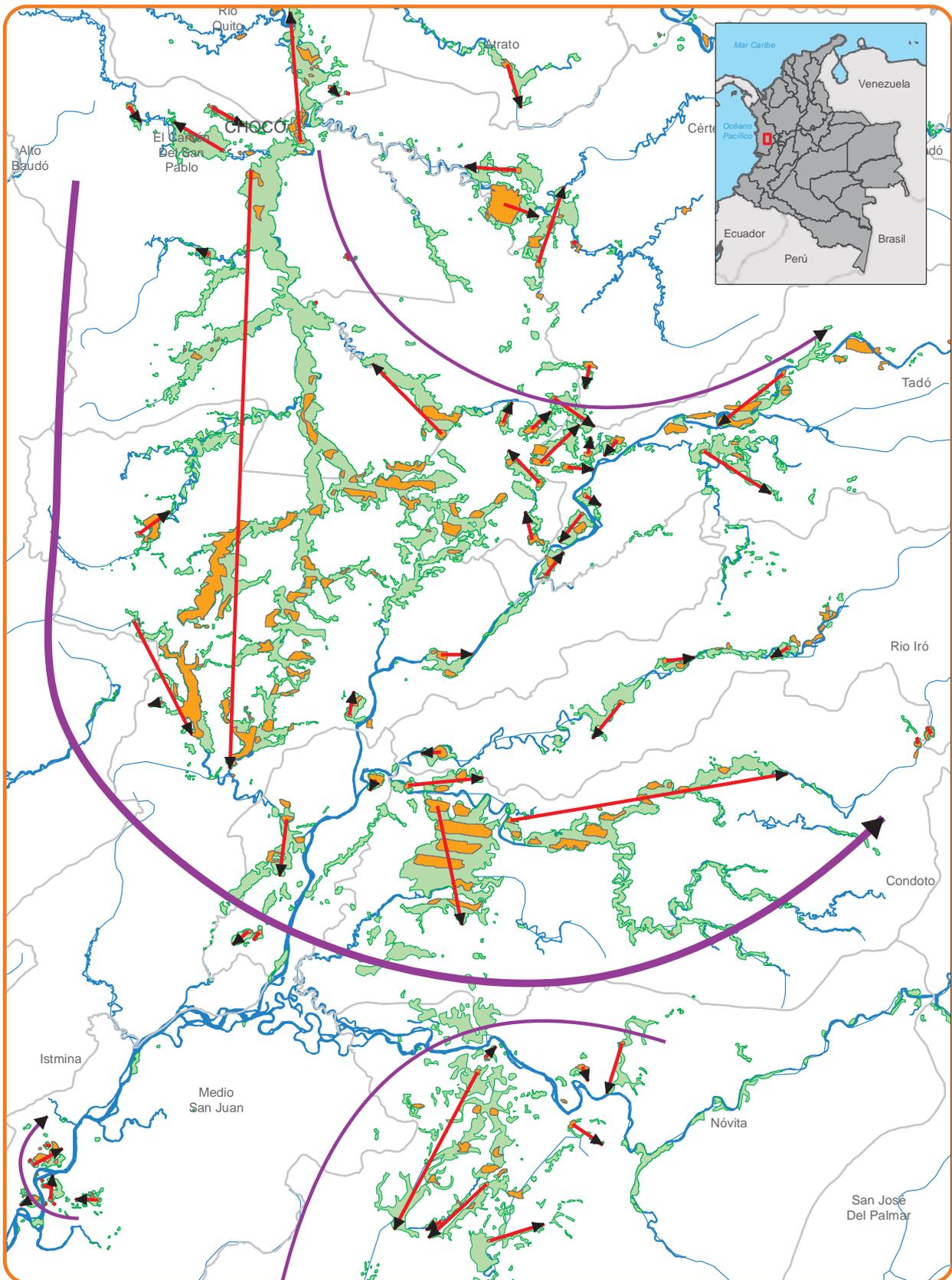
Tabla 14. Cambios en EVOA 2001, 2006, 2011 y 2014.

En relación con las áreas, se identificó que 30 (59%) de los 51 municipios de la zona de estudio con EVOA en 2014 presentaron expansión. El 95% de esta área se ubica en el departamento de Chocó, consolidándolo como el departamento con mayor expansión de EVOA, y donde el 50% detectado en 2014 es considerado como de expansión. El municipio de Cantón del San Pablo presenta el 14% de dicha área, seguido de Istmina (12%) y Condoto (12%).

Según los datos, Chocó tiene el vector de mayor expansión, el cual alcanzó 31 kilómetros; dicha evidencia

partió del municipio de Istmina y llegó hasta el Cantón de San Pablo. Para este departamento las EVOA que presentaron una expansión promedio de 860 metros. Si se comparan los datos regionales con este valor, el valor promedio de expansión está 527 metros por encima de las reportadas en los demás departamentos.

Con los vectores principales de crecimiento, en rojo en la imagen, los ríos de la zona (azul) y EVOA (naranja, T0 y verde, T1), se construyeron vectores de tendencia, en morado. Este ejercicio busca encontrar en líneas generales el crecimiento del fenómeno por departamento.



Fuente: Gobierno de Colombia - Sistema de monitoreo Apoyado por UNODC
 Los límites, nombres y títulos usados en este mapa no constituyen reconocimiento o aceptación por parte de las Naciones Unidas

- Evidencia de explotación T- 0
- Evidencia de explotación T- 1
- Ríos
- Vectores de expansión 2009-2014**
- ▶ Principal
- ▶ Vector de tendencia

Ilustración 13. Vectores de tendencia.

Chocó

Para Chocó se evidencian tres procesos de expansión. El primero en los municipios de Medio Atrato y Quibdó, principalmente por los ríos Neguá, Berbaramá y Bebará, de la misma subcuenca; para los dos primeros ríos la dirección de expansión es en sentido noreste, con límites en el municipio de Urrao (Antioquia); para el último la dirección es suroriental, aguas abajo del río Berbará hacia su desembocadura en el Atrato.

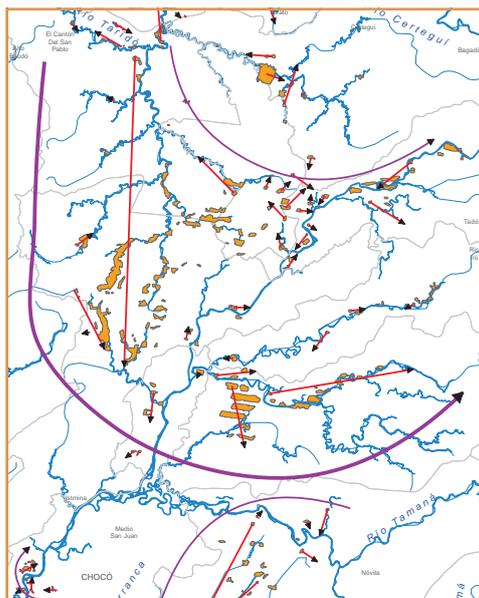


Figura 7. Vectores de tendencia EVOA en Chocó (2); rojo (principal), morado (secundario).

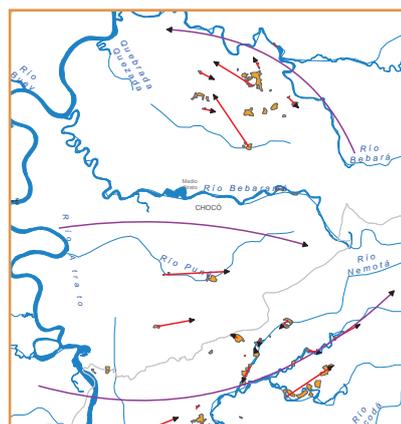


Figura 6. Vectores de tendencia EVOA en Chocó (1); rojo (principal), morado (secundario).

El segundo proceso de expansión se concentra entre los municipios de Cantón de San Pablo, Unión Panamericana, Medio San Juan, y el norte de Istmina. Los vectores tienen una tendencia en sentido sureste, pasando por las cuencas de los ríos Quito, San Juan y Tamaná. Esta zona presenta los mayores vectores de expansión de todo el país.

Por último, en el municipio de Nóvita se presenta una tendencia expansiva en sentido suroeste, aguas abajo del río Tamaná, pasando por afluentes pequeños para unirse a río Cajón y afectar otra subcuenca más.

Valle del Cauca

En el Valle del Cauca la mayor expansión alcanzó 5 kilómetros y se ubicó en el municipio de Buenaventura. Es el segundo departamento con vectores de expansión más largos (590 metros en promedio).

Es este departamento la expansión está asociada al crecimiento de pequeños núcleos identificados en el 2011 en los ríos Dagua, Anchicayá, Raposo y Mayorquín, que fueron creciendo a lo largo de los cauces. Es de resaltar que en el Valle no se evidencian grandes procesos de expansión, puesto que cada uno de los vectores identificados no atraviesa cuencas ni busca nuevos afluentes, y las direcciones del proceso se presentan linealmente por el cauce del río afectado.

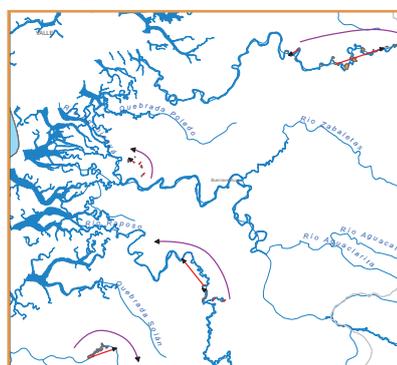


Figura 8. Vectores de tendencia EVOA en Valle del Cauca; rojo (principal), morado (secundario).

RIESGO DE AFECTACIÓN EN LAS POBLACIONES POR ACUMULACIÓN DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN POR PRESENCIA DE ACTIVIDADES DE EXPLOTACIÓN DE ORO DE ALUVIÓN EN EL PACÍFICO COLOMBIANO (ESTUDIO DE CASO)

Las actividades de explotación mecanizada de oro de aluvión alteran la carga normal de sedimentos en suspensión en los cuerpos hídricos. Esta alteración por sí sola, sin tener en cuenta sedimentos contaminados por el uso de sustancias químicas en las actividades de explotación, genera múltiples efectos sobre el medio ambiente, entre ellos:

- La perturbación física de las características hidráulicas de los cauces que favorecen las inundaciones y pérdida de navegabilidad por reducción de la profundidad. [38].
- El aumento de los sedimentos en suspensión, lo que genera mayor turbidez y por ende reducción de la penetración de la luz necesaria para los procesos de fotosíntesis y cambios en el calor de radiación. La turbidez es el cambio físico más importante generado sobre la calidad del agua [39].
- En niveles altos de turbidez, el agua pierde la habilidad de apoyar la diversidad de organismos acuáticos, aumenta la temperatura al sostener partículas que absorben el calor de la luz solar y el agua caliente conserva menos oxígeno que el agua fría, así al entrar menos luz disminuye la fotosíntesis necesaria para producir oxígeno [40]. Otro efecto asociado a la turbidez es la obstrucción de las agallas de los peces por los sólidos suspendidos, reducción del crecimiento y la resistencia a las enfermedades, al igual que limita el desarrollo de huevos y larvas [41].
- Acumulación de sedimentos aguas abajo de las actividades de explotación, lo que repercute directamente sobre las poblaciones ribereñas que se surten de los cuerpos hídricos para el consumo de agua, riego, mantenimiento de animales y pesca, entre otros.

- Lo anterior se relaciona directamente con los ecosistemas de manglar, que se encuentran a lo largo de la franja del litoral pacífico y constituyen zonas de desove y desarrollo de gran variedad de fauna asociada y los hacen uno de los ecosistemas más productivos del planeta. Para el Pacífico colombiano se han reportado 380 especies de peces que entran a los estuarios o habitan en ellos [4].

El presente estudio desarrolla una propuesta metodológica orientada a identificar el riesgo potencial de afectación por flujos y acumulación de sedimentos derivados de la explotación de oro de aluvión, en función de la longitud de los ríos pertenecientes a una misma unidad geográfica de análisis (Zubzona Hidrográfica, subcuenca), para determinar posteriormente las poblaciones que pueden presentar riesgos por la acumulación de sólidos en el agua mediante el análisis de las capas resultantes. Esta metodología parte de los siguientes insumos: i) Modelo Digital de Elevación (DEM)⁴⁸, ii) Detección de EVOA, iii) Límites de microcuencas hidrográficas y iv) Centros poblados. En general, se puede dividir en cuatro etapas: la primera es la generación de drenajes a partir del modelo digital de elevación, la segunda el cálculo de afectación en los ríos y el cálculo de acumulación de flujo, la tercera determinar las microcuencas de descarga, y la cuarta el análisis de los datos resultantes. El siguiente esquema presenta dicho procedimiento.

48. Estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno [74].

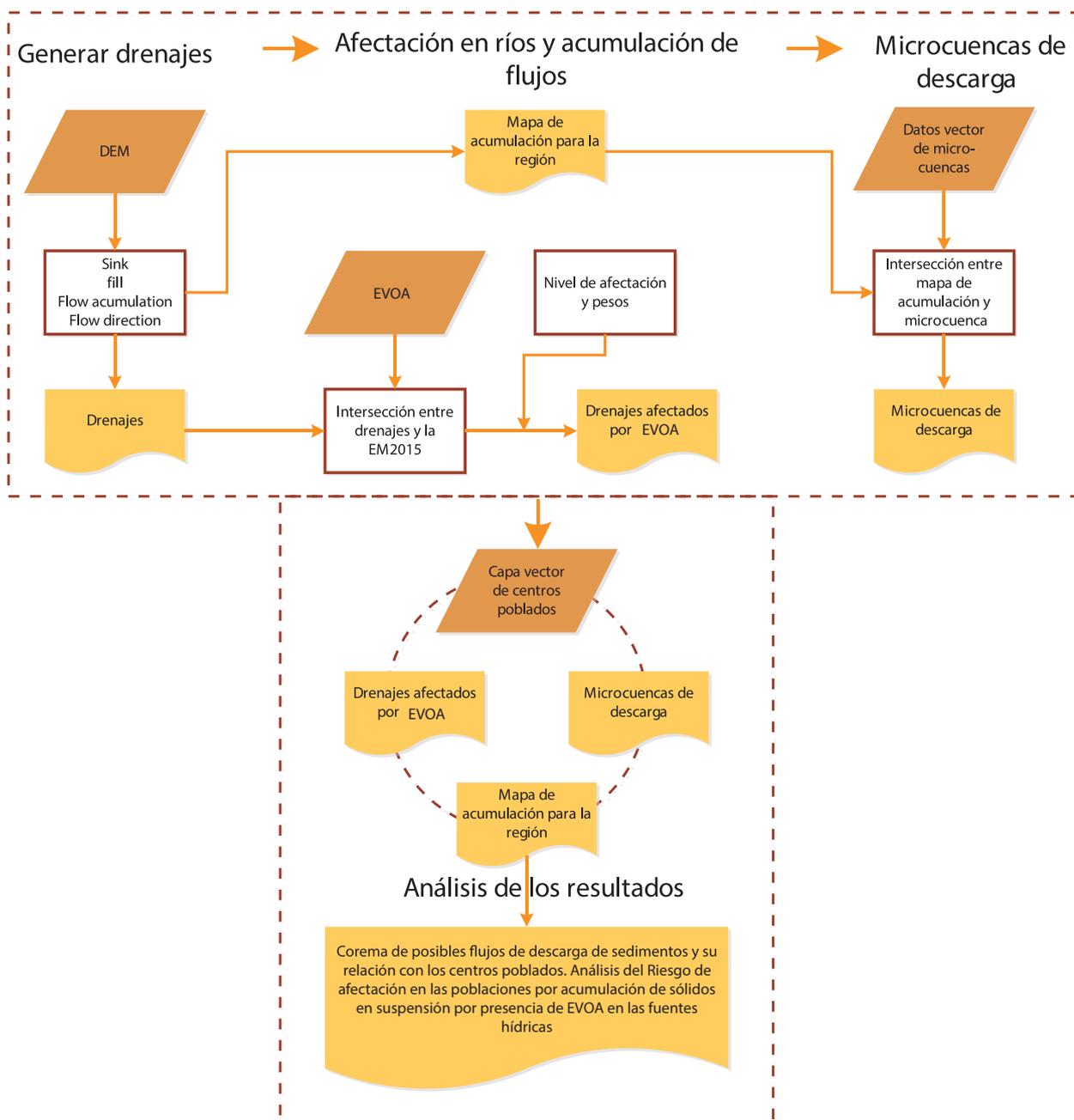


Ilustración 14. Riesgo de afectación en las poblaciones por acumulación de sólidos en suspensión por presencia de EVOA en las fuentes hídricas⁵⁰

- Generar drenajes a partir del DEM⁵⁰

Para obtener los drenajes a partir del modelo digital de elevación es necesario determinar los flujos de dirección y los flujos de acumulación de las aguas. El mapa de acumulación de los flujos se construye a partir de los valores de píxeles según la pendiente y la dirección; este método contabiliza la cantidad de píxeles que estén por encima, según la elevación, que vierten sobre cada uno de los vecinos que estén inmediatamente por

49. Corema: Representaciones gráficas muy esquemáticas, basadas en sencillas figuras geométricas de los elementos que conforman un espacio y de las relaciones que se establecen entre ellos, realizadas con la finalidad de crear un modelo espacial para el análisis geográfico. Esta técnica es muy empleada en varias ramas de la geografía humana. Tomado de: <http://www.ecured.cu/index.php/Corema>.

50. Se basa en la adaptación de la metodología utilizada con la herramienta Hidrology de ArcGIS.

debajo. Luego se agrupan los píxeles que en el valor de acumulación estén por arriba de un límite específico para posteriormente definir los drenajes; la cantidad de drenajes es inversamente proporcional al límite de acumulación, de modo que mientras más alto sea el valor de acumulación menor cantidad de drenajes secundarios se obtienen y viceversa. Para este estudio se definió un valor superior a 5.000 píxeles.

Por último, se segmentan los drenajes mediante el método de Horton-Strahler⁵¹ que codifica cada tramo de río de manera ascendente, es decir: cuando dos drenajes de un mismo orden confluyen, aumenta el orden del siguiente tramo de drenaje; de lo contrario, el drenaje que

51. Define el tamaño de una corriente, basándose en la jerarquía de los afluentes.

le sigue a dos drenajes de diferente orden conservará el orden del mayor de los drenajes que lo precede para que al final se obtenga el mapa de red de drenajes codificada.

- Afectación en los ríos y acumulación de flujos

Para determinar la afectación de los ríos se realizó la intersección entre los drenajes y las EVOA 2014⁵², con estos datos se asignó un peso en función de la longitud del río afectado y del área de la EVOA que lo cubre, así:

Peso 1 $\equiv (a / b) * c$, donde:

a: Long (m) del segmento de río intersectado con EVOA

b: Σ Long (m) ríos de la microcuenca donde está el río intersectado

c: Área (ha) de EVOA del tramo

Como se considera que la mayor afectación y aporte de sedimentos al río está relacionada con las EVOA que se intersectan directamente con los drenajes, el peso 1 tendrá una ponderación del 75%.

Como no en todos los casos se intersectan las EVOA con los drenajes, puesto que la metodología para obtener los ríos puede omitir fuentes hídricas pequeñas, es necesario calcular las distancias entre estas evidencias y el río más cercano⁵³.

Peso 1 $\equiv d * e$, donde:

d: Área total (ha) EVOA distanciada de un río

e: Promedio distancias (m) de las EVOA distanciadas de un río

A este peso se le dará una ponderación del 25%; así la ponderación final de peso será:

Peso final = Peso1 + Peso2

Al final se obtiene una serie de drenajes con unos pesos que hacen referencia a la afectación directa por presencia de evidencias de explotación de oro de aluvión, así como a la afectación indirecta por cercanía a EVOA.

- Microcuencas de descarga

Para su determinación es necesario calcular la cantidad de flujos acumulados por microcuenca para posteriormente comparar cada una, lo cual permitirá conocer las que presentan los mayores valores de acumulación. Así

52. Se realizó un buffer o área de influencia de 90m para las EVOA teniendo en cuenta la resolución espacial del DEM y las imágenes de satélite utilizadas, el margen de error que tiene la delimitación de áreas de explotación de oro de aluvión, y la omisión de algunos drenajes en la capa obtenida a partir del DEAM que pueden estar en zonas de explotación de oro de aluvión.

53. Se considera que las áreas con evidencias de explotación de oro de aluvión están aportando sedimentos a un pequeño río que se conectará con el drenaje más cercano identificado en la primera parte de este ejercicio.

se podrán determinar las direcciones en las cuales los drenajes están aportando sedimentos que pueden ser arrastrados a través de la red hídrica.

- Análisis de los resultados

Por último se realiza un cruce con la capa de centros poblados para identificar las poblaciones a orillas de los ríos que estarían afectadas por el arrastre de sedimentos a través de la red de drenajes, de acuerdo con el flujo de los mismos. Se espera esquematizar todo este resultado en un corema de fácil explicación.

Hallazgos

El área delimitada para el estudio comprende 8 zonas hidrográficas, que a su vez se dividen en 76 subzonas hidrográficas⁵⁴ que ocupan totalmente la jurisdicción de Chocó, Valle y Quindío, así como parte de los departamentos de Nariño, Cauca, Risaralda, Caldas y Antioquia.

El riesgo potencial para cada subcuenca al que se exponen las poblaciones que se encuentran aguas abajo de EVOA por efecto de flujo y acumulación de sedimentos, se determina a partir de los resultados de la detección⁵⁵. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la remoción de la cobertura vegetal en el desarrollo de este tipo de actividad extractiva aumenta la susceptibilidad a la erosión. La susceptibilidad a la erosión es mucho mayor en comparación a suelos con cobertura vegetal, lo que genera un arrastre de sedimentos hacia la corriente hídrica así no exista actividad extractiva posterior (FAO, 1997).

La dinámica de sedimentos en una corriente hídrica contempla la deposición o asentamiento de una parte de ellos, en función de factores asociados al tipo de suelo y a las características propias de cada caudal (FAO, 1997). El presente estudio no contempla esta caracterización de la sedimentación.

La afectación a las poblaciones considera dos premisas:

1. Afectación por distancia a las evidencias de explotación, es decir entre más cerca esté el centro poblado o cabecera municipal de la evidencia mayor puede ser la afectación.
2. Afectación por acumulación de descargas en varios puntos de explotación ubicados aguas arriba.

54. Hace referencia al nivel de jerarquía que se define en la estructura hidrográfica para la planificación de cuencas, una zona hidrográfica está compuesta por varias subzonas hidrográficas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

55. Las EVOA que involucran la explotación aurífera con uso de maquinaria en tierra se consideran como "evidencias duraderas" en razón a su permanencia en el tiempo. Es decir la evidencia queda aunque ya no se esté realizando la explotación.

Se establecieron cinco categorías relativas al riesgo de afectación por flujos y acumulación de sedimentación⁵⁶ derivados de las actividades de explotación de oro de aluvión, de acuerdo con los pesos relativos calculados para las subcuencas en relación al peso total del área de estudio; los pesos fueron calculados en función de la longitud de toda la red hídrica y de la extensión de las EVOA detectadas. En la siguiente tabla se presentan las categorías:

Riesgo de afectación	Peso relativo
Nulo	0,00
Muy bajo	0,01 – 1,00
Bajo	1,01 – 2,00
Medio	2,01 – 5,00
Alto	5,01 – 10,00
Muy alto	> 10,00

Tabla 15. Categorías de riesgo potencial de afectación por flujos y acumulación de sedimentos.

El mayor riesgo de afectación derivado por los flujos de sedimentos originados en las actividades de explotación de oro de aluvión en la Región del Pacífico se concentra principalmente en las subcuencas del Atrato-Darién y del San Juan, ubicadas respectivamente al norte y centro de la Región del Pacífico. Las subcuencas del Patía y algunas del Amarales - Dagua registran igualmente una condición alta de riesgo. Existen otros puntos en zonas hidrográficas del Cauca y del Baudó en las que el riesgo es menor en comparación con las zonas hidrográficas mencionadas inicialmente. En la siguiente tabla se presentan los pesos relativos con su respectiva categoría de riesgo de afectación para 41 subcuencas⁵⁷, indicando la correspondiente zona hidrográfica a la que pertenecen:

Zona hidrográfica	Subcuenca	Peso relativo	Categoría riesgo de afectación
Atrato - Darién	Río Bebaramá y otros Directos Atrato	19,87	Muy alto
Atrato - Darién	Río Quito	19,28	Muy alto
San Juan	Río Tamaná y otros Directos San Juan	17,35	Muy alto
Patía	Río Telembí	10,29	Muy alto
San Juan	Río Cajón	3,01	Medio
Baudó - Directos Pacífico	Río Baudó	2,67	Medio
Amarales - Dagua - Directos	Río San Juan del Micay	2,50	Medio
San Juan	Río Sipí	2,07	Medio
Atrato - Darién	Río Murindó - Directos al Atrato	1,48	Bajo
Patía	Río Patía Medio	1,47	Bajo
Atrato - Darién	Río Murri	1,27	Bajo
Atrato - Darién	Directos Atrato (mi)	0,99	Muy bajo
Patía	Río Patía Alto	0,98	Muy bajo
Amarales - Dagua - Directos	Río Dagua	0,97	Muy bajo
Amarales - Dagua - Directos	Río Timba y otros directos al Pacífico	0,92	Muy bajo
Amarales - Dagua - Directos	Río Iscuandé	0,86	Muy bajo
San Juan	Río Calima	0,83	Muy bajo
Atrato - Darién	Alto Atrato	0,58	Muy bajo
Amarales - Dagua - Directos	Río Guapi	0,54	Muy bajo
Amarales - Dagua - Directos	Río Anchicayá	0,53	Muy bajo
Pacífico - Directos	Directos Pacífico Frontera Panamá	0,46	Muy bajo
Atrato - Darién	Directos Atrato (md)	0,44	Muy bajo
Atrato - Darién	Río Andágueda	0,43	Muy bajo
Amarales - Dagua - Directos	Río Timbiquí	0,32	Muy bajo

56. No se calcula el volumen de sedimentos vertidos a los ríos que llegan a las poblaciones.

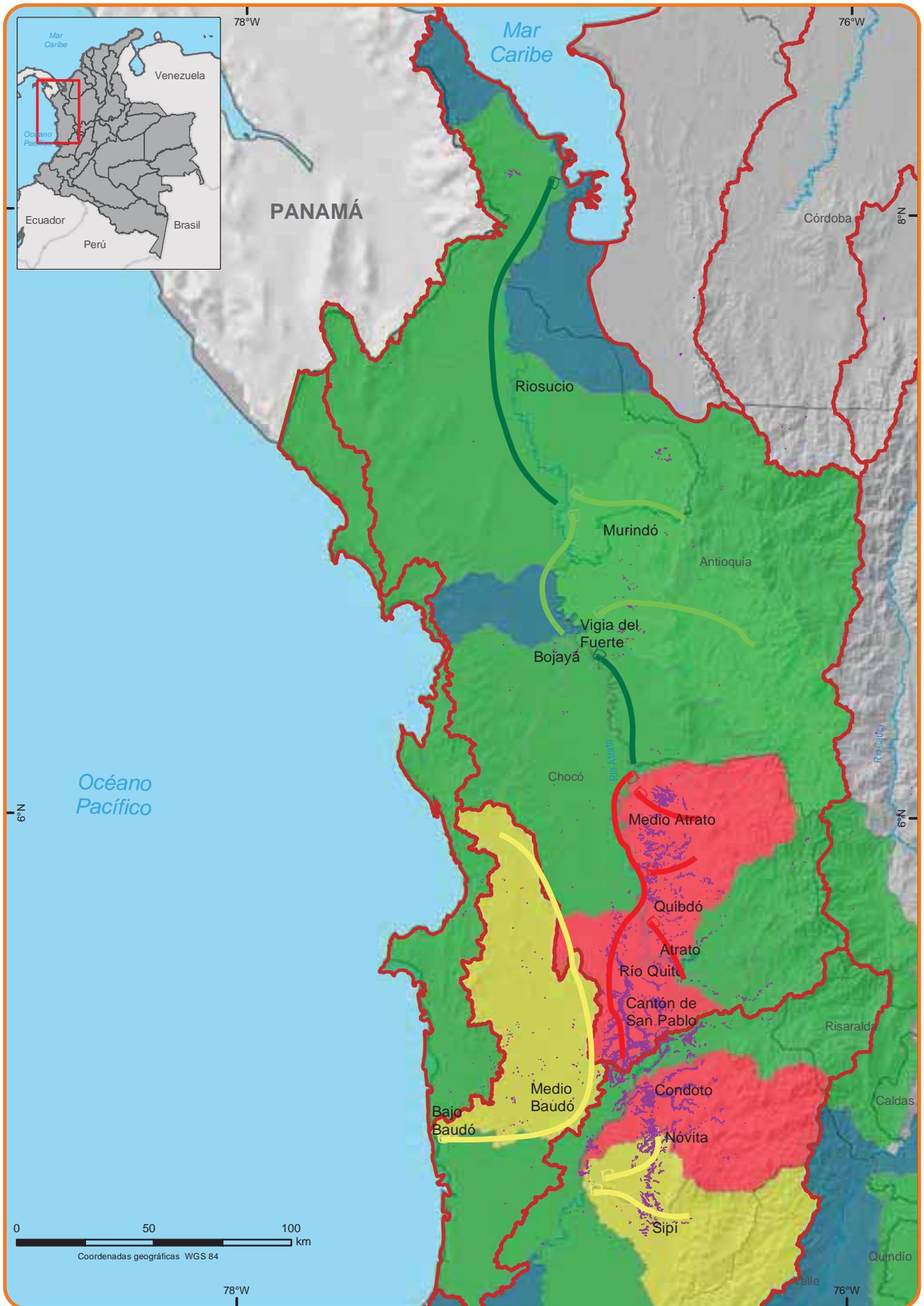
57. No se consideran 35 subcuencas que presentaron en el estudio categoría "Nulo".

Zona hidrográfica	Subcuenca	Peso relativo	Categoría riesgo de afectación
Amarales - Dagua - Directos	Río Saija	0,26	Muy bajo
Atrato - Darién	Río Tanela y otros Directos al Caribe	0,25	Muy bajo
Amarales - Dagua - Directos	Río Naya	0,21	Muy bajo
Atrato - Darién	Río Sucio	0,20	Muy bajo
Amarales - Dagua - Directos	Río Tapaje	0,17	Muy bajo
Baudó - Directos Pacífico	Río Docampadó y Directos Pacífico	0,16	Muy bajo
Atrato - Darién	Río Bojayá	0,16	Muy bajo
Atrato - Darién	Río Salaquí y otros directos Bajo Atrato	0,15	Muy bajo
Cauca	Río Quinamayo y otros directos al Cauca	0,14	Muy bajo
San Juan	Río Capoma y otros directos al San Juan	0,11	Muy bajo
Cauca	Río Palo	0,08	Muy bajo
Patía	Río Guachicono	0,06	Muy bajo
Cauca	Río Risaralda	0,03	Muy bajo
Cauca	Río La Vieja	0,03	Muy bajo
Atrato - Darién	Río Cacarica	0,01	Muy bajo
Cauca	Río San Juan	0,01	Muy bajo
San Juan	Río San Juan	0,01	Muy bajo

Tabla 16. Pesos relativos y categorías de riesgo de afectación en las subcuencas del Pacífico.

Como se mencionó anteriormente, en el sector norte del Pacífico colombiano, en las Zonas Hidrográficas del Atrato-Darién y San Juan se concentra el mayor riesgo de afectación a las poblaciones por los flujos de sedimentos a través de los afluentes hídricos en función del área con EVOA; en ambos casos las EVOA se encuentran en las partes altas y medias de las zonas hidrográficas, razón por la cual existe mayor riesgo de afectación de las poblaciones ubicadas aguas abajo.

En la siguiente página se presenta el mapa del riesgo de afectación por flujos y acumulación de sedimentos por subcuenca y posteriormente se presentan los resultados principales agrupados por cuenca (Zona Hidrográfica).



Fuente: Gobierno de Colombia - Sistema de monitoreo Apoyado por UNODC - IDEAM.

Los límites, nombres y títulos usados en este mapa no constituyen reconocimiento o aceptación por parte de las Naciones Unidas

Riesgo de afectación por flujos y acumulación de sedimentos (subzona hidrográfica)

- Nulo
- Muy bajo
- Bajo
- Medio
- Alto
- Muy alto

Dirección del riesgo del flujo y acumulación de sedimentos

- Muy bajo
- Bajo
- Medio
- Alto
- Muy alto

Zona hidrográfica

- Evidencia de explotación en 2014
- Límites internacionales
- Límites departamentales

Mapa 15. Riesgo de afectación por flujos y acumulación de sedimentos por actividades de explotación de oro de aluvión (Pacífico norte).

- Zona Hidrográfica Atrato – Darién

En la parte alta de la Zona Hidrográfica Atrato – Darién se concentra la explotación de oro de aluvi6n en las subzonas hidrográficas del río Quito y del río Bebaramá; las dos presentan riesgo de afectación muy alto por flujos y acumulación de sedimentos. En total existen allí cinco cabeceras municipales (Medio Atrato, Quibdó, Atrato, Río Quito y Cant6n de San Pablo) y 23 centros poblados que se encuentran en las riberas de los ríos que arrastran sedimentos provenientes de las áreas con EVOA aguas arriba. Las cabeceras de Río Quito y Cant6n de San Pablo están localizadas en áreas con EVOA, mientras que los otros tres municipios mencionados están más alejados por vía fluvial del área de EVOA ubicada aguas arriba más cercana (ver la siguiente tabla); sin embargo, es en la cabecera municipal Quibdó, y posteriormente en la cabecera del municipio de Medio Atrato, donde confluye la acumulación del arrastre de sedimentos generado aguas arriba en el área de mayor concentración de EVOA.

Más abajo del municipio del Medio Atrato el riesgo de afectación es muy bajo porque la EVOA disminuye en

este sector; sin embargo, a la altura de Bojayá y Vigía del Fuerte, donde confluyen las aguas de las Subzonas Hidrográficas del río Bojayá (riesgo de afectación muy bajo) y Murri (riesgo de afectación bajo), presentan algunos puntos con EVOA. Un poco más adelante, la cabecera municipal de Murindó recibe los flujos de sedimentos mencionados anteriormente, además de los flujos de sedimentos generados en la Subzona Hidrográfica del río Murindó (riesgo de afectación bajo). Después de Murindó, el río Atrato (que arrastra los sedimentos acumulados que no se han asentado) continúa su curso pasando por Riosucio en un tramo que no reporta detección (riesgo de afectación muy bajo), pero al llegar al Golfo de Urabá hay un pequeño sector con EVOA en la Subzona Hidrográfica del río Tanela (riesgo de afectación muy bajo), que pasa posteriormente junto a un centro poblado en la costa caribe. Mientras que la cabecera municipal de Bojayá se encuentra localizada en un área con EVOA, Vigía del Fuerte está un poco más alejado de áreas con EVOA aguas arriba, y los otros dos municipios mencionados están mucho más alejados (ver siguiente tabla).

Cabecera municipal	Distancia a EVOA aguas arriba	Subzona Hidrográfica
Medio Atrato	8,4 km	Río Bebaramá y otros Directos Atrato
Quibdó	4,9 km	Río Bebaramá y otros Directos Atrato
Atrato	3,2 km	Río Bebaramá y otros Directos Atrato
Río Quito	0,0 km	Río Quito
Cant6n de San Pablo	0,0 km	Río Quito
Riosucio	29,6 km	Río Sucio
Murindó	16,1 km	Río Murindó – Directos Atrato
Vigía del Fuerte	3,7 km	Río Murindó – Directos Atrato
Bojayá	0,0 km	Directos Atrato (mi)

Tabla 17. Distancia por vía fluvial de cabeceras municipales a EVOA aguas arriba (Zona Hidrográfica Atrato – Darién y Subzonas Hidrográficas correspondientes).

- Zona Hidrográfica del San Juan

En la parte media de la zona hidrográfica del río San Juan se concentra la explotación de oro de aluvi6n en las subzonas hidrográficas del río Tamaná, río Caj6n y río Sipí, de las cuales las dos primeras tienen un riesgo de afectación por flujos y acumulación de sedimentos muy alto, mientras que la última tiene un riesgo de afectación medio; en total existen allí tres cabeceras municipales (Condoto, N6vita y Sipí) y nueve centros poblados que se encuentran en las riberas de los ríos que arrastran sedimentos provenientes de las áreas con EVOA ubicadas aguas arriba. Las tres cabeceras municipales mencionadas están localizadas en áreas con EVOA (ver tabla siguiente), y cada una de ellas se encuentra

en cada una de las subzonas hidrográficas referidas anteriormente, razón por la cual los flujos de sedimentos confluyen aguas abajo de estas cabeceras, por lo que la acumulación del arrastre de material es menor al pasar por esas cabeceras dado que las tres vertientes se unen más abajo.

Después de confluir los ríos Tamaná, Caj6n y Sipí para convertirse en el brazo principal del río San Juan, el riesgo de afectación es muy bajo porque la EVOA disminuye en este sector. Solo hay algunos puntos registrados después de la confluencia de estos tres ríos, así como al sur de la zona hidrográfica del San Juan en la parte alta del río Calima, en área rural de Buenaventura. Antes de llegar a la cabecera municipal del Litoral del San

Juan, en una zona de riesgo de afectación nulo porque no hay EVOA (la más cercana está a una gran distancia fluvial – ver siguiente tabla); el río San Juan (que arrastra los sedimentos acumulados que no se han asentado) se abre en varios afluentes que desembocan al océano

Pacífico, razón por la cual los sedimentos que pueden ser arrastrados hasta allí y que provienen de las áreas con EVOA aguas arriba no fluyen en su totalidad hacia dicha cabecera municipal.

Cabecera municipal	Distancia a EVOA aguas arriba	Subzona Hidrográfica
Condoto	0,0 km	Río Bebaramá y otros Directos Atrato
Nóvita	0,0 km	Río Bebaramá y otros Directos Atrato
Sipí	0,0 km	Río Bebaramá y otros Directos Atrato
Litoral del San Juan	72,3 km	Directos San Juan y Pacífico

Tabla 18. Distancia por vía fluvial de cabeceras municipales a EVOA aguas arriba (Zona Hidrográfica del San Juan y Subzonas Hidrográficas correspondientes).

- Otras Zonas Hidrográficas en el sector norte de la Región del Pacífico

Principalmente se destaca la Zona Hidrográfica del Baudó – Directos Pacífico, que presenta un riesgo medio de afectación por flujos y acumulación de sedimentos, puesto que existen algunas áreas menores a lo largo del río principal y sus afluentes, afectando fundamentalmente las cabeceras municipales de Medio Baudó y Bajo Baudó, que se encuentran en la parte baja de esta Zona Hidrográfica y reciben el arrastre de los sedimentos que no se han asentado y que se generaron en las áreas con EVOA aguas arriba (Medio Baudó está aguas abajo, a una menor distancia de áreas con detección de lo que se encuentra Bajo Baudó – ver siguiente tabla). En el caso del sector norte de la costa Pacífica los afluentes que vierten directamente sobre el océano Pacífico presentan un riesgo de afectación nulo, puesto que no hay allí EVOA; lo mismo sucede en la parte baja de la zona hidrográfica del río Cauca que hace parte del área de estudio.

Cabecera municipal	Distancia a EVOA aguas arriba	Subzona Hidrográfica
Medio Baudó	6,3 km	Río Baudó
Bajo Baudó	28,1 km	Río Baudó

Tabla 19. Distancia por vía fluvial de cabeceras municipales a EVOA (Zona Hidrográfica del Baudó - Directos Pacífico y Subzonas Hidrográficas correspondientes).

En relación con el sector sur de la Región del Pacífico, se encuentran las zonas hidrográficas del Patía y Amarales – Dagua, que presentan un riesgo menor de afectación por flujos y acumulación de sedimentos en comparación con las Zonas Hidrográficas referidas anteriormente, que se localizan hacia el norte; en ambos casos las EVOA se encuentran en las partes medias de las zonas hidrográficas, razón por la cual existen varias poblaciones aguas arriba de las áreas identificadas con

EVOA y no están en riesgo por flujos y acumulación de sedimentos, aunque hay otros municipios y centros poblados que sí están expuestos a dicho riesgo. En la siguiente página se presenta el mapa del riesgo de afectación por flujos y acumulación de sedimentos por Subzona Hidrográfica con un zoom realizado al sector sur del Pacífico Colombiano, y se analizan también los principales hallazgos agrupados por Zonas Hidrográficas y sus respectivas subcuencas.

- Zona Hidrográfica del Patía

En la parte media de la zona hidrográfica del Patía se concentra la explotación de oro de aluvión en las subzonas hidrográficas del río Telembí y del Patía Medio. La primera tiene riesgo muy alto de afectación por flujo y acumulación de sedimentos, mientras que la segunda tiene un riesgo de afectación bajo. En total existen allí tres cabeceras municipales (Roberto Payán, Barbacoas y Magüí) y 26 centros poblados que se encuentran en las riberas de los ríos que arrastran sedimentos provenientes de la explotación de oro de aluvión aguas arriba. Las cabeceras municipales de Barbacoas y Magüí están localizadas en áreas con EVOA, mientras que Roberto Payán está muy cerca aguas abajo de estas áreas (ver tabla siguiente); sin embargo, es en Roberto Payán, en la parte baja de la Subzona Hidrográfica del río Telembí, donde confluye la acumulación del arrastre de sedimentos generado aguas arriba, mientras que Barbacoas, por encontrarse más arriba, recibe un flujo de sedimentos menor. Por su parte, la cabecera municipal de Magüí recibe únicamente los flujos provenientes de la Subzona Hidrográfica del Medio Patía.

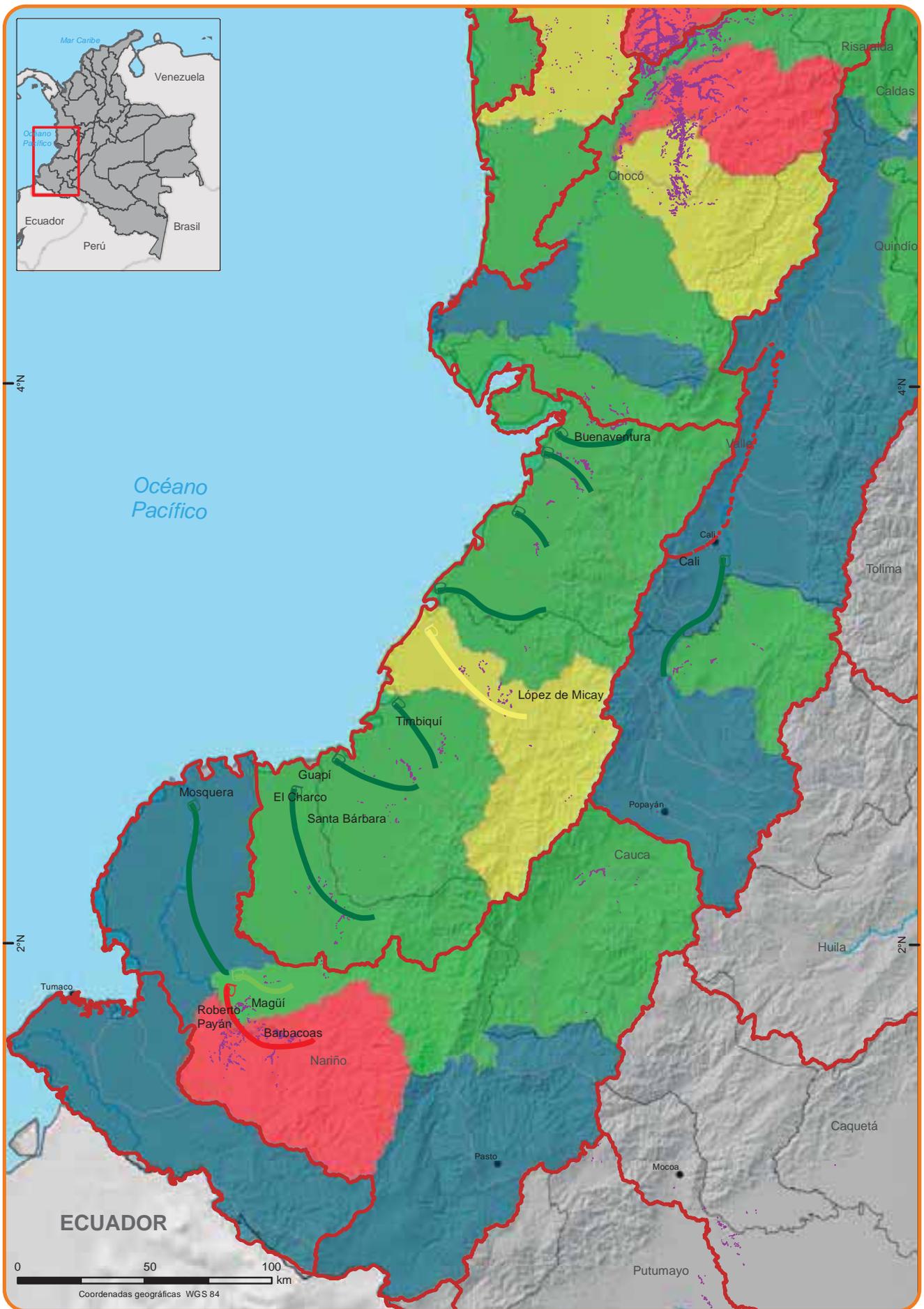
Más abajo de Roberto Payán y Magüí confluyen los ríos Telembí y Medio Patía para formar el brazo principal del Patía en un tramo en el que no se reportan más EVOA, razón por la cual el riesgo por flujos y acumulación de sedimentos es muy bajo. Antes de llegar a la cabecera

municipal de Mosquera, en una zona de riesgo de afectación nulo porque no hay EVOA (la evidencia más cercana está a una gran distancia fluvial (ver siguiente tabla), el río Patía (que arrastra los sedimentos acumulados que no se han asentado) se abre en varios

afluentes que desembocan al océano Pacífico, razón por la cual los sedimentos que pueden ser arrastrados hasta allí y que provienen de las áreas con EVOA aguas arriba no fluyen en su totalidad hacia dicha cabecera municipal.

Cabecera municipal	Distancia a EVOA aguas arriba	Subzona Hidrográfica
Roberto Payán	0,4 km	Río Telembí
Barbacoas	0,0 km	Río Telembí
Magüí	0,0 km	Río Patía Medio
Mosquera	141,3 km	Río Patía Bajo

Tabla 20. Distancia por vía fluvial de cabeceras municipales a EVOA aguas arriba (Zona Hidrográfica del Patía y subcuencas correspondientes).



Fuente: Gobierno de Colombia - Sistema de monitoreo Apoyado por UNODC - IDEAM.

Los límites, nombres y títulos usados en este mapa no constituyen reconocimiento o aceptación por parte de las Naciones Unidas

- | | | | | |
|---|--|---|--|---|
| Riesgo de afectación por flujos y acumulación de sedimentos (subzona hidrográfica) | ■ Nulo | Dirección del riesgo del flujo y acumulación de sedimentos | → Muy bajo | □ Zona hidrográfica |
| | ■ Muy bajo | | → Bajo | |
| | ■ Medio | | → Medio | — Límites internacionales |
| | ■ Alto | | → Alto | — Límites departamentales |
| | ■ Muy alto | | | |

Mapa 16. Riesgo de afectación por flujos y acumulación de sedimentos por explotación de oro de aluvión (Pacífico sur).

- Zona Hidrográfica Amarales – Dagua

Esta zona hidrográfica se caracteriza porque la mayoría de sus afluentes no confluyen entre sí, sino que desembocan directamente y por separado en el océano Pacífico; en todas sus Subzonas Hidrográficas existen EVOA, pero es en la Subzona Hidrográfica del río San Juan del Micay donde se concentra la mayor parte de EVOA, lo que hace que dicha subzona hidrográfica presente un riesgo medio de afectación por flujos y acumulación de sedimentos. En la Subzona Hidrográfica del río San Juan del Micay existen en total una cabecera municipal (López de Micay) y siete centros poblados, los cuales se encuentran en las riberas de los ríos que arrastran sedimentos provenientes de la explotación de oro de aluvión aguas arriba. La cabecera municipal de López de Micay se encuentra localizada en un área con EVOA (ver siguiente tabla), pero se ubica en la parte media de la Subzona Hidrográfica mencionada, lugar donde se reportan las EVOA que están más arriba en la Subzona Hidrográfica, razón por la cual el arrastre de sedimentos hacia esta cabecera municipal es mucho menor en comparación con seis de los siete centros

poblados referidos anteriormente y que están aguas abajo.

Las otras nueve Subzonas Hidrográficas pertenecientes a la Zona Hidrográfica Amarales-Dagua (Dagua, Timba, Iscuandé, Guapí, Anchicayá, Timbiquí, Saija, Naya y Tapaje) presentan riesgo de afectación por flujos y acumulación de sedimentos muy bajo; en total existen allí cinco cabeceras municipales (Buenaventura, Timbiquí, Guapí, El Charco y Santa Bárbara) y 30 centros poblados que se encuentran en las riberas de los ríos que arrastran sedimentos provenientes de la explotación de oro de aluvión aguas arriba. En el caso de las cinco cabeceras municipales mencionadas, la EVOA más cercana aguas arriba está a una gran distancia fluvial (ver siguiente tabla), y adicionalmente se encuentran antes de la apertura de los ríos correspondientes en múltiples brazos que desembocan al océano Pacífico, razón por la cual los sedimentos que pueden ser arrastrados hasta allí y que provienen de las áreas aguas arriba no fluyen en su totalidad hacia dichas cabeceras municipales.

Cabecera municipal	Distancia EVOA aguas arriba	Subzona Hidrográfica
López de Micay	0,0 km	Río San Juan del Micay
Buenaventura	18,4 km	Río Dagua
Timbiquí	9,9 km	Río Timbiquí
Guapí	19,5 km	Río Guapí
El Charco	57,3 km	Río Tapaje
Santa Bárbara	31,0 km	Río Iscuandé

Tabla 21. Distancia por vía fluvial de cabeceras municipales a EVOA aguas arriba (Zona hidrográfica Amarales – Dagua y Subcuencas correspondientes).

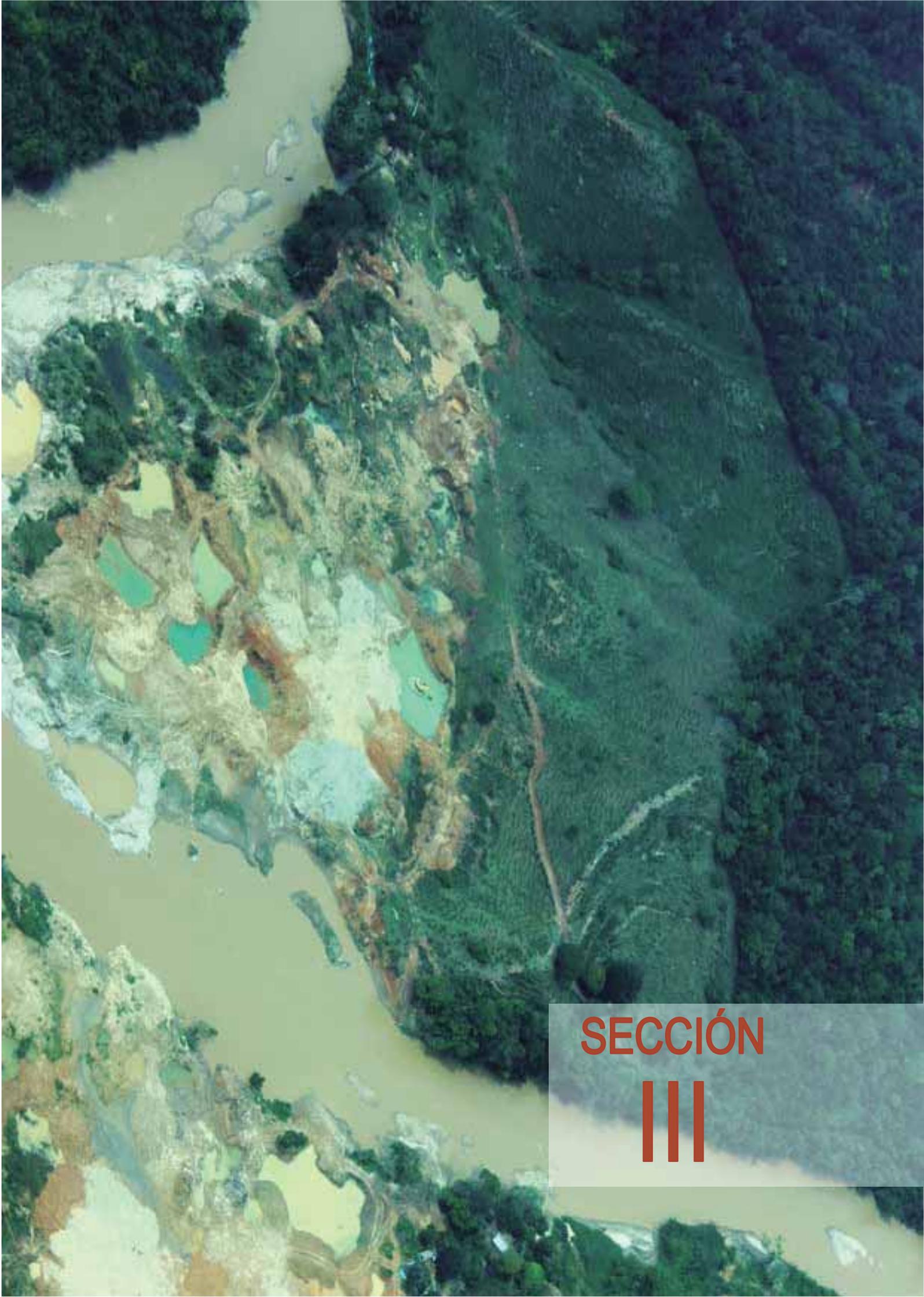
- Otras Zonas Hidrográficas en el sector sur de la Región del Pacífico

En la parte alta de la Zona Hidrográfica del río Cauca que hace parte del área de estudio, más exactamente en la Subzona Hidrográfica del río Quinamayo, existe un pequeño foco con EVOA que hace que allí se tenga un riesgo de afectación por flujos y acumulación de sedimentos muy bajo, a diferencia de las otras Subzonas Hidrográficas pertenecientes a esta parte de la Zona Hidrográfica del río Cauca donde el riesgo de afectación es nulo. La cabecera más cercana que está aguas abajo del área de EVOA es la ciudad de Cali (96,5 km por el río Cauca). En el caso de la Zona Hidrográfica del río Mira, al extremo sur de la Región del Pacífico, no se reporta detección, razón por la cual el riesgo de afectación allí es nulo.

La información suministrada en este ítem es de gran importancia para la generación de alertas tempranas para la institucionalidad de las entidades territoriales (salud, servicios públicos, corporaciones autónomas y desarrollo

sostenible, secretarías de ambiente y oficinas de planeación, principalmente), en razón de que es necesario identificar los acueductos que surten a la población que toman agua directamente de las fuentes de los ríos con algún riesgo de afectación por sedimentación, para contemplar las medidas de saneamiento o alternativas a que haya lugar. De igual manera sería muy valioso implementar acciones para cuantificar los volúmenes de material que son vertidos a los ríos mencionados, en especial en aquellas zonas donde aguas abajo hay centros poblados y cabeceras municipales muy cercanas, con el fin de establecer estrategias para prevenir o mitigar posibles aumentos en el nivel de los ríos más allá de lo normal para la región.

Se debe tener en cuenta que en este estudio no se ha desarrollado la información concerniente a los factores de riesgo de contaminación fluvial por el posible uso de sustancias químicas implementadas en la explotación de oro de aluvión, proceso totalmente diferente pero de acuerdo a la documentación existente muy nocivo para la población en el área de influencia.



SECCIÓN



ANEXO 1 METODOLOGÍA PARA EL MODELO DE MONITOREO

PERCEPCIÓN REMOTA

La percepción remota tiene varias definiciones que tienen que ver con la posibilidad de observar detalladamente objetos sin necesidad de estar en contacto con ellos. Así entonces, esta disciplina es llamada también “teledetección” (Tele= lejos -- teledetección= detectar de lejos). Según Bakker et al, [42] esta disciplina hace alusión al “proceso de adquisición de información a distancia, sin que exista contacto físico entre la fuente de información (objeto) y el receptor de la misma (sensor)”. De igual manera, Chuvieco [43] asegura que “en el sentido más amplio la teledetección no engloba sólo los procesos que permitan obtener una imagen desde el aire o el espacio sino también su posterior tratamiento, en el contexto de una determinada aplicación”. Esto implica que no solamente el proceso aislado forma parte de la definición, ya que éste incluye procesamiento, interpretación, análisis y aplicación. [44].

La teledetección permite capturar información mediante la identificación, agrupación, análisis e interpretación de los datos provistos por sensores remotos, encargados de captar señales que se traducen en imágenes, como por ejemplo las fotografías aéreas o las imágenes satelitales. [45].

Uno de los aportes de mayor relevancia de la percepción remota (teledetección) es su capacidad para monitorear procesos dinámicos. La información adquirida por las imágenes de satélite constituye una fuente importante y valiosa para estudiar los cambios que se producen en la superficie terrestre, ya sea debido a factores naturales o por acción humana. Las características orbitales de los satélites de observación terrestre permiten adquirir imágenes repetitivas de cualquier lugar, en condiciones comparables de observación lo que resulta idóneo para

estudiar la dinámica y tendencias de expansión de fenómenos de interés. Un ejemplo de esta posibilidad de observación periódica es el monitoreo de la dinámica en la siembra de cultivos ilícitos realizado desde 1998 por el Proyecto SIMCI [11] en varios países en donde la producción de cultivos ilícitos constituye un problema político y social, con monitoreos anuales en Colombia, Perú, Bolivia, Afganistán, Brasil, México, Laos y Myanmar.

Algunas ventajas específicas del uso de imágenes de satélite como fuente de información sobre los recursos naturales y del ambiente son: i) el cubrimiento de escenas permite obtener una visión sinóptica de grandes áreas de la superficie terrestre, lo que posibilita una mejor comprensión de la organización espacial; ii) la periodicidad de tomas permite el seguimiento y monitoreo de procesos dinámicos, con esta característica es posible realizar análisis de tipo espacial y temporal mediante la comparación entre dos o más imágenes de un mismo lugar en diferentes fechas (análisis multitemporal); iii) la capacidad de captura de datos en diferentes rangos de longitud de onda facilita la identificación y discriminación de las coberturas analizadas en la imagen y permiten acceder a información que nuestra visión no capta, tal como las bandas del infrarrojo; iv) rápida actualización de la información por la periodicidad de las tomas (resolución temporal); v) cubrimiento territorial, que permite accesibilidad a datos en zonas aisladas, por lo que hace que sean menos costosas por unidad de superficie que las fotografías aéreas o la información tomada en el terreno [46]; vi) disponibilidad de imágenes del sistema de teledetección Landsat de forma gratuita.

Selección y adquisición de imágenes satelitales

Para la obtención de la cobertura de EVOA se emplearon imágenes de resolución media del sistema de teledetección Landsat⁵⁸. El 85% de las imágenes empleadas se encontraron en el Banco de Información Espacial de SIMCI, ya que habían sido usadas anteriormente para establecer el territorio afectado por cultivos de coca. En ese sentido se obtuvo optimización y eficiencia en el uso de recursos. Estas imágenes, ampliamente conocidas y utilizadas para la construcción de los mosaicos usados en los censos de cultivos de coca desde el 2001, presentan condiciones adecuadas de periodicidad, disponibilidad, cobertura, resolución espectral y gratuidad, las cuales representan una herramienta valiosa para la realización de estudios de la dinámica de los recursos naturales, facilitando la sostenibilidad de los monitoreos implementados.

Los datos de Landsat 7 ETM+ se obtienen de 6 bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros, dos bandas termales con resolución espacial de 60 metros y una banda adicional pancromática con una resolución espacial de 15 metros. El satélite tiene un ciclo de repetición de 16 días, lo cual permite obtener imágenes con diferente cubrimiento de nubes. Su ancho de banda de 185 km es apropiado para estudios regionales. Desde mayo de 2003 existen fallas en el corredor de escaneo lineal (SLC) de Landsat 7 ETM+, produciendo pérdida de información en las imágenes que se reduce hacia el centro de la escena; los lotes ubicados en estas franjas se califican como gap. Por la razón anterior el uso de estas imágenes se restringe exclusivamente a áreas sin información por nubes en imágenes Landsat 8.

Landsat 8 (LDCM) captura datos en 8 bandas espectrales con resolución espacial de 30 metros, dos bandas termales con resolución de 100 metros y una banda pancromática de 15 metros. Al igual que el Landsat 7, el satélite tiene un ciclo de revisita de 16 días. Su resolución radiométrica es de 16 Bits con un cubrimiento de 185 km. Este sensor fue lanzado el 11 de febrero del año 2013 para dar continuidad a la captura, archivo, procesamiento y distribución de datos del sistema Landsat 7.

Para elaborar la línea base nacional de EVOA con uso de maquinaria en tierra para el año 2014 y con soporte en la temporalidad de esta modalidad, se tomó una ventana

58. La constelación de satélites LANDSAT (LAND=tierra y SAT=satélite), que inicialmente se llamaron ERTS (Earth Resources Technology Satellites), fue la primera misión de los Estados Unidos para el monitoreo de los recursos terrestres. Su mantenimiento y operación está a cargo de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA) en tanto que la producción y comercialización de las imágenes depende del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).

Línea Base Nacional:

Se procesaron e interpretaron 58 Path Row que cubren todo el territorio nacional (1.142.000 km²) a excepción de las islas de San Andrés y Providencia. Se descargaron imágenes Landsat 7 y Landsat 8 (LDCM) con fechas entre marzo de 2013 y marzo de 2015.

Comportamiento espectral de los ríos en la región del estudio piloto:

Para el establecimiento base del comportamiento espectral natural en río control se procesó el Path Row 3-58 y para el análisis temporal de cambios espectrales en los sedimentos suspendidos se procesó el Path Row 4-58.

de dos años (2013- 2015). Los datos obtenidos no tienen ajustes por áreas sin información o temporalidad.

Por otra parte, para establecer la línea base de comportamiento espectral del río piloto en la metodología basada en índices espectrales de sedimentación, se procesaron 2 path rows. Los periodos de análisis son 2002, 2007, 2011 y 2014.

Minimización de áreas sin información

La presencia constante de nubes en el territorio colombiano dificulta la obtención de imágenes libres de nubosidad. Para minimizar estas áreas sin información se realiza una búsqueda permanente de las imágenes disponibles en los portales de descarga⁵⁹ y se construyen mosaicos utilizando varias imágenes de la misma zona con fechas cercanas.

Preprocesamiento de imágenes

El preprocesamiento de imágenes agrupa una serie de técnicas orientadas a: i) corregir o remover efectos en la imagen por errores del sensor o por factores ambientales, ii) realzar el contraste para facilitar la interpretación, iii) incrementar la resolución espacial para mejorar la delimitación y detección de objetos.

- Mejoramiento en resolución espacial (pansharpening)

En la actualidad, el procesamiento digital permite integrar las características espectrales con las características espaciales al fusionar imágenes pancromáticas de alta resolución espacial (15 metros) con imágenes

59. Portales para descargar imágenes Landsat: <http://glovisapp.glovis.usgs.gov/>, <http://earthexplorer.usgs.gov/>, <http://glovis.usgs.gov/>.

Para construir los mosaicos y reducir las áreas sin información de la línea base nacional se descargaron y procesaron 237 imágenes, 40 Landsat 7 ETM+ y 197 Landsat 8 (LDCM). Solo 3 departamentos superan el 10% de áreas sin información por nubes: Cauca (11%), Nariño (11%) y Huila (20%).

Por región se descargaron 13 imágenes para Sierra Nevada, 48 imágenes para la Región Central, 35 para el Pacífico, 46 en Meta-Guaviare, 49 para la Amazonia, 25 imágenes para Arauca-Vichada y 23 para Putumayo-Caquetá. De otra parte, para el establecimiento de la línea base espectral se descargaron y procesaron 8 imágenes entre Landsat 5, Landsat 7 y Landsat 8 y para la detección de cambios en los sedimentos en suspensión 14 imágenes distribuidas en cuatro periodos de análisis 2002-2007-2011 y 2014.

multiespectrales de resolución media (30 metros). Este algoritmo se denomina pansharpening.

El resultado es una imagen multiespectral con resolución espacial a 15 metros. Este proceso permite una mejor delimitación e interpretación visual de las coberturas terrestres y por consiguiente de áreas con EVOA.

- **Corrección atmosférica:** Este procedimiento reduce el efecto de la dispersión de la radiación electromagnética originada por parte de los gases y partículas en suspensión de la atmósfera, para que los valores sean independientes de las condiciones atmosféricas [46]. Para este proceso se empleó la herramienta Atmospheric Correction del software PCI Geomatics.

De acuerdo con los resultados de un estudio anterior realizado por SIMCI [47], el uso del algoritmo ATCOR como método de corrección absoluta del efecto atmosférico sobre las imágenes satelitales permite su comparabilidad, logrando valores de radiancia cercanos a los absolutos, que representan de forma más robusta y precisa las dinámicas de los cuerpos de agua y demás coberturas de la tierra.

- **Mejoramientos radiométricos**

El mejoramiento radiométrico está orientado a optimizar el contraste espectral de los datos, para facilitar la interpretación visual.

- **Filtros**

Para mejorar las características espaciales de una imagen, se utilizan varios filtros que modifican el valor de

los píxeles utilizando los valores de los píxeles vecinos, y cuya función es resaltar elementos lineales como redes hidrográficas y viales presentes en la imagen.

Georreferenciación

La georeferenciación de la imagen es imprescindible para hacer mapas, superponer cualquier información cartográfica auxiliar y realizar estudios multitemporales. Una adecuada georeferenciación permite controlar las distorsiones en la imagen de satélite para garantizar una correcta posición geográfica, medición de áreas y comparabilidad con otras capas de información.

Las imágenes de satélite utilizadas para la interpretación de evidencias de explotación de oro de aluvión se georreferenciaron a partir de una serie de puntos de control, tomados en mosaicos contruidos con las imágenes ajustadas y empalmadas de menor nubosidad utilizadas anteriormente en censos de cultivos de coca. Para que el ajuste entre imagen y mapa sea correcto se tuvieron en cuenta tres aspectos en la selección de los puntos de control: número, rigor en su localización y distribución.

De otra parte, la evaluación de la precisión de la georeferenciación se realizó mediante el indicador “error medio cuadrático” (RMS por sus siglas en ingles) que representa el grado de correspondencia de la transformación entre los puntos de control utilizados. El Proyecto SIMCI adoptó como valores aceptables de este indicador RMS⁶⁰ menores a un pixel en zonas planas y RMS menores a tres píxeles en zonas montañosas. A continuación se muestran los parámetros adoptados⁶¹.

Información secundaria

Los datos obtenidos con la interpretación de imágenes de satélite son contrastados y complementados con información secundaria proporcionada por la Dirección de Carabineros y Seguridad Rural (DICAR) de la Policía

60. El RMS se calcula como la raíz cuadrada de las desviaciones entre los valores observados y los estimados por la regresión cuando se hace la corrección geométrica de la imagen.

61. Para realizar el cálculo de áreas se deben cumplir ciertas condiciones: 1) la proyección de los datos debe ser plana y acorde con la ubicación del país dentro del planeta; la proyección transversa de mercator cumple con estas condiciones; 2) se debe homogenizar el cubrimiento de todo el país con dicha proyección, es decir con las imágenes utilizadas; esto evita tener inconvenientes y errores asociados a los empalmes entre imágenes al momento de la construcción del mosaico. Considerando los dos criterios anteriores se optó por utilizar la misma base de georeferenciación que se utiliza en el censo de cultivos de coca, en el que los errores por deformación debido a la curvatura de la tierra son despreciables a la escala de trabajo. Además, el uso del mismo sistema de georeferenciación permitirá la comparabilidad con toda la información en el marco de áreas de SIMCI. El proyecto SIMCI está trabajando en la migración de los datos al sistema proyección oficial de Colombia (Magna, SIRGAS); sin embargo, aún no se han completado las pruebas técnicas que permitan utilizar dicho sistema y no se tiene una base de georeferenciación definida.

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE PROYECCIÓN EMPLEADO PARA LA GEORREFERENCIACIÓN

WKID: 21897 Autoridad: EPSG

Proyección: Transversa de Mercator (Gauss_Krueger)

Falso Este: 1000000

Falso Norte: 1000000

Meridiano Central: -74,08091666666667

Factor de escala: 1,0

Latitud del Origen: 4,599047222222222

Datum: Observatorio Bogotá

Elipsoide Internacional 1924.

Toda la información secundaria fue re proyectada a este Sistema.

Nacional, y por la Armada Nacional de Colombia, en cuanto a operaciones contra la minería ilegal. También se cuenta con datos del Censo Minero⁶² publicado por el Ministerio de Minas y Energía. La información de Amparo de Títulos sin licencia, Solicitudes de legalización y Propuestas de contrato fue suministrada por la Agencia Nacional de Minería, y la correspondiente a Licencias Ambientales relativas a las explotaciones de oro otorgadas por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. Finalmente, se cuenta con puntos georreferenciados de explotaciones mineras reportados por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME)⁶³.

Sobrevuelos de reconocimiento

Como soporte a la interpretación en imágenes de satélite y con el fin de construir conceptualmente patrones para identificación de EVOA, la metodología contempla sobrevuelos de reconocimiento y verificación. Este reconocimiento se basa en la inspección visual del terreno de zonas afectadas por el fenómeno desde una aeronave. Los sobrevuelos cuentan con registro de información de este fenómeno desde el año 2012 para el territorio afectado por cultivos de coca.

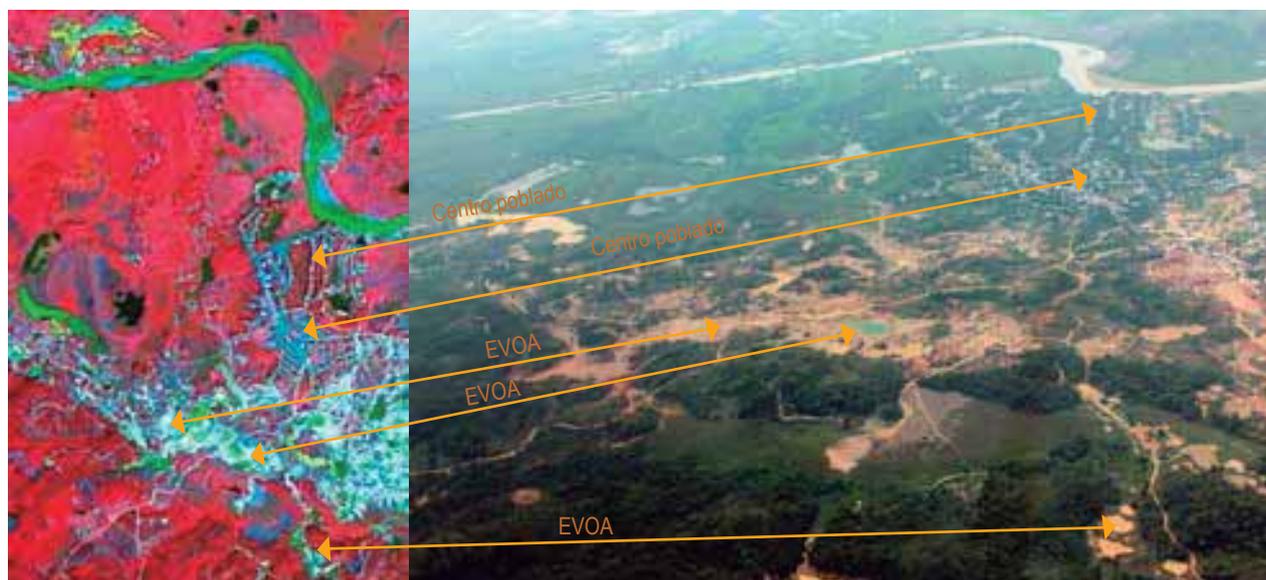


Ilustración 15. Comparación Imagen de satélite (Landsat 8, verdadero color RGB 432) (izquierda) y fotografía tradicional (derecha) tomada en sobrevuelo. Puerto Claver (El Bagre, Antioquia).

62. El Censo Minero 2010 – 2011 fue elaborado con el fin de conocer las condiciones técnicas, socioeconómicas, organizacionales y administrativas, entre otras, de las Unidades de Producción Minera de 23 departamentos del territorio nacional.

63. En este capítulo se hace referencia al uso de información secundaria como apoyo a la detección. El uso de esta información para análisis específicos se desarrolla en capítulos posteriores.

En esta etapa la detección se divide en dos líneas metodológicas como se mencionó anteriormente:

1. Línea metodológica basada en Interpretación visual de EVOA con uso de maquinaria en tierra.
2. Línea metodológica basada en detección de EVOA con uso de maquinaria en agua mediante índices espectrales.

Control de calidad de procesos

El control de calidad realizado por el proyecto SIMCI busca garantizar la estandarización de los procedimientos, de manera que los datos generados cumplan los estándares de calidad, precisión y comparabilidad requeridos por el Gobierno de Colombia y los usuarios de la información.

En general, este control de calidad está basado en evaluaciones específicas de las diferentes actividades involucradas en la detección de EVOA, especialmente en los procesos de georreferenciación e interpretación. La calidad se controla en:

- Selección de imágenes: el área sin información se reduce al máximo posible utilizando varias imágenes de la misma zona y conformando mosaicos
- Georreferenciación: se adoptó como indicador el error medio cuadrático, que es el más utilizado para medir la calidad del ajuste, cuyos parámetros se mencionaron en un apartado anterior
- Interpretación: para evaluar este parámetro se realiza una validación de los datos entre intérpretes en diferentes zonas. De igual manera, se realizó una confrontación de la información obtenida por medio de verificación de campo en sobrevuelos e información secundaria.

INTERPRETACIÓN VISUAL DE EVOA CON USO DE MAQUINARIA EN TIERRA

Para el abordaje de esta línea se realizó un trabajo de patronamiento espacial de las etapas del proceso documentadas en la teoría académica, mediante sobrevuelos de reconocimiento, documentación fotográfica e identificación espectral. La explotación aurífera que se lleva a cabo en terrazas aluviales comprende las siguientes actividades: preparación y acceso a la zona, operación, beneficio o transformación del mineral; transporte del material y abandono de la

mina (estas dos últimas actividades no se abordan en el presente estudio). [48], [49], [50]. A continuación se describen las principales actividades para la explotación de oro en terrenos aluviales.

Proceso de explotación en terrenos aluviales

Etapa 0: Cobertura sin afectación. Selección de los depósitos de sedimentos propicios para la explotación de oro de aluvión.

Etapa 1: Inicialmente, se prepara el terreno donde se realiza la explotación del mineral; lo anterior consiste en adecuar las áreas circundantes a los ríos donde se presume la disposición de oro para su explotación, en zonas que generalmente se encuentran con cobertura vegetal. De esta manera, se cambia la cobertura con vegetación por un suelo desnudo mediante tala rasa y remoción de los horizontes superficiales del suelo. En cuanto al acceso a las áreas de producción para el personal y para el transporte del mineral extraído, en algunas zonas del país se hace por la misma red fluvial; en otros lugares es necesario construir trochas, caminos o carreteras pequeñas, o adecuar la infraestructura existente.

Etapa 2: Una vez exista acceso a la zona de explotación y el terreno esté preparado, se inicia la operación de las actividades de explotación del mineral, que consiste en la excavación de arenas, gravas y cantos rodados, los cuales se movilizan y acopian in situ. El beneficio puede realizarse en el mismo lugar mediante técnicas físicas, mecánicas o artesanales, como clasificación y separación por tamaños y gravedad⁶⁴, y/o mediante técnicas químicas como amalgamación⁶⁵ y lixiviación⁶⁶ con el uso de sustancias como mercurio y cianuro; es importante resaltar que el beneficio no está ligado exclusivamente al uso de sustancias químicas. Esta etapa corresponde a procesos pequeños de explotación que en estados incipientes no es detectado por interpretación visual en imágenes satelitales. La detección de esta etapa mediante índices espectrales constituye la "alerta temprana".

Etapa 3 y 4: En la medida en que la actividad de explotación se consolida en el sitio, el patronamiento geográfico es más evidente por la expansión en área

64. Hace referencia a la selección de los materiales finos por gravedad mediante la utilización de zarandas, mallas, bateas, canaletas, estanques, entre otros [81].

65. Consiste en agregar excesos a los minerales previamente clasificados (puede ser al interior de estanques de agua o en canalones), de tal manera que se aproveche la propiedad física del mercurio de ligarse fácilmente con los metales preciosos, proceso en el que se obtiene una pasta combinada (mercurio y oro) que es expuesta al fuego para liberar el mercurio en forma de vapor [76].

66. Se basa en la utilización de estanques con soluciones de cianuro y medios filtrantes, donde se agregan las colas de amalgamación mezcladas para facilitar que por gravedad se generen precipitados de cianuración que posteriormente deben ser fundidos a fuego lento para finalmente separar el oro [26].

de las evidencias, que se traduce en mayor escala de aprovechamiento, con métodos más mecanizados para la extracción y movilización de materiales⁶⁷ y tecnificación en la clasificación y el beneficio, de tal manera que se obtiene un producto más puro. Adicionalmente, como subproductos de la explotación también se obtiene plata y platino, por cuanto los yacimientos auríferos están relacionados con estos metales. Estas etapas se reconocen por su mayor tamaño reflejado en amplias zonas de suelos desnudos provenientes de la remoción de material y excavaciones, y también incluye varias lagunas para el beneficio. Estas etapas no siempre se presentan y se relacionan con la riqueza del yacimiento.

Etapa 5: Debido a que el oro es un recurso natural no renovable, en algún momento las áreas de explotación de este mineral son abandonadas para encontrar nuevos frentes de exploración y aprovechamiento. De acuerdo con la normatividad vigente en Colombia, la minería regulada debe contemplar medidas restaurativas después de las operaciones de explotación una vez se dé el abandono definitivo de la mina, de tal manera que se procure restablecer la capa vegetal.

De acuerdo con la figura 5, después encontrar los depósitos de sedimentos propicios para la explotación de oro de aluvión (etapa 0) y de cambiar las coberturas existentes en la etapa de preparación (etapa 1), las actividades de operación y beneficio ocurren simultáneamente en el lugar de explotación; generalmente se comienza con pequeñas áreas aprovechadas (etapa 2) que posteriormente se expanden en tamaño y cantidad a núcleos aislados (etapa 3), hasta llegar a consolidarse en grandes extensiones de aprovechamiento de oro de aluvión (etapa 4). Generalmente cuando se abandona la mina de oro de aluvión por agotamiento del recurso se buscan áreas próximas para reiniciar el proceso de explotación (etapa 5).

67. La operación mecanizada incluye retroexcavadoras, buldóceres, motobombas, monitores y distintos tipos de dragas, mientras que la operación artesanal se ejecuta con herramientas convencionales como picos, barrenos, palas y carretillas [26] [82].



Ilustración 16. Etapas del proceso de explotación de oro de aluvión con uso de maquinaria pesada en tierra.

Interpretación

Las diferentes etapas del proceso identificadas generan evidencias físicas en el paisaje caracterizadas por un patronamiento espectral. Sin embargo este patronamiento presenta confusión espectral con otras coberturas como suelo desnudo, zona de jagüeyes o estanques piscícolas, eriales, centros poblados pequeños y vegetación herbácea difusa; esta condición descarta el uso de una clasificación automática para su obtención. Por esta razón la identificación se realiza mediante interpretación visual a través de la aplicación de una clave de interpretación desarrollada por el proyecto para este fin, con base en composiciones a color que permiten resaltar características de interés en la imagen.

La interpretación visual de EVOA se realiza mediante barrido sistemático de las imágenes con énfasis en la red hídrica y paisajes aluviales. La identificación se lleva a cabo mediante delimitación de los polígonos que circunscriben estas áreas, los cuales son digitalizados en pantalla con ayuda de herramientas manuales (bitmaps⁶⁸) y semi-automáticas de software (semilleo de píxeles), consistente en agrupar automáticamente los píxeles de valor espectral similar, para que posteriormente el intérprete determine el umbral de similitud para la agrupación de los píxeles.

El comportamiento espectral de las áreas de explotación de oro de aluvión, como se mencionó anteriormente, es similar al del suelo desnudo o con escasa vegetación, lo que quiere decir que presenta alta reflectividad en todas las bandas visibles. De igual forma, las lagunas de

beneficio pueden ser desde unas pocas a muchas, con distribución irregular, similar a la presencia de jagüeyes o estanques; en consecuencia, el Proyecto desarrolló una clave de interpretación para la detección de EVOA con uso de maquinaria en tierra, que permite detectar de manera objetiva y técnica las EVOA mediante la identificación de elementos de interpretación.

Las composiciones a color que resaltan los elementos de interés son:

- Composición 4,3,2 (3,2,1 en Landsat 7). Constituye la combinación más próxima a la percepción de la tierra con nuestros ojos en el espacio, de allí nombre de color verdadero. Las bandas visibles dan respuesta a la luz que ha penetrado más profundamente, y por tanto sirve para discriminar agua poco profunda, aguas turbias, corrientes, batimetría y zonas con sedimentos. La explotación mineral a cielo abierto se observa con tonalidades blancuzcas y plateadas.
- Composición 5,6,4 (4,5,3 en Landsat 7). Realza con gran detalle los límites de agua y tierra. El agua se ve de color azul intenso. Los diferentes tipos de vegetación se muestran en colores marrones, verdes y naranja. Realza las diferencias de humedad en el suelo. La explotación mineral a cielo abierto tiende a una tonalidad azul clara.
- En la combinación RGB6,5,2 (5,4,1 en Landsat 7) los suelos desnudos se observan de color violeta y las piscinas de color azul oscuro.

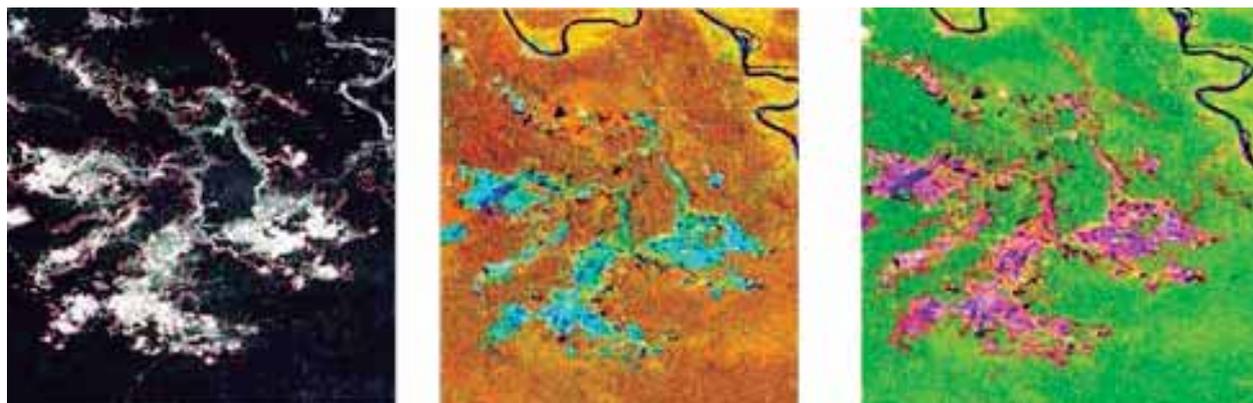


Ilustración 17. Ejemplos de diferentes composiciones de color a partir de una imagen Landsat 8 ETM+, (a) Color real, RGB(4,3,2), (b) Falso color, RGB(5,6,4), (c) Falso color, RGB(6,5,2).

68. Un mapa de bits o Bitmap actúa como una capa gráfica que puede ser utilizada para crear máscaras de regiones en las imágenes para diversos propósitos.

Clave de interpretación para detección de EVOA

Dentro de las metodologías que se agrupan en el concepto Clave de interpretación⁶⁹, se encuentra el modelo de árbol de decisión, que se conoce como un conjunto de condiciones organizadas en una estructura de guía jerárquica multivía⁷⁰, de tal manera que la decisión final a tomar se puede determinar siguiendo las condiciones que se cumplen desde la raíz del árbol hasta alguna de sus terminaciones. [51]. Este tipo de clave se desarrolló con apoyo de Department of Landscape, Spatial and Infrastructure Sciences (BOKU) of the University of Natural Resources and Applied Life Sciences in Vienna, Austria [52].

Los árboles de decisión se constituyen como un modelo predictivo basado en reglas, que sirve para representar y categorizar una serie de condiciones secuenciales para la solución de un problema [53]. Un árbol de decisión tiene unas entradas, las cuales pueden ser un objeto o una

situación descrita por medio de un conjunto de atributos, a partir del cual se obtiene una respuesta (decisión) como consecuencia de las entradas. De esta forma, ilustran la manera en que se pueden desglosar los problemas y la secuencia del proceso de decisión. [54]

Esta estructura de análisis de datos jerárquica y objetiva permite para el monitoreo, la automatización del proceso de detección de las evidencias con continuidad histórica y provee información robusta y verificable de la actividad geográfica del fenómeno en el territorio.

Elementos de interpretación

Son conocidos como características pictórico-morfológicas, que determinan la interpretación de un objeto por su forma, tamaño, textura, tono y color, patrón espacial y posición geográfica.

Para identificar EVOA, y haciendo uso de las características pictórico - morfológicas se tiene:

Característica Pictórico - morfológica	Se observa
Forma	Su forma es irregular, generalmente dendrítica por estar asociado a ríos en zonas de pendientes planas.
Tamaño	Variable, desde pequeñas áreas en estados iniciales de explotación a grandes áreas de explotación.
Tono y color	Depende del sensor y resolución espectral. Para Landsat 8 RGB 5,6,4, se observa de color azul claro con incrustaciones de colores azul oscuro, representando los suelos desnudos y las piscinas de lixiviación respectivamente. En la combinación RGB 652 los suelos desnudos se observan de color violeta y las piscinas de color azul oscuro. Estos colores se deben al comportamiento espectral del suelo desnudo, indicando alta reflectividad en todas las bandas del espectro visible.
Patronamiento espacial	La explotación de oro de aluvión se encuentra en áreas de pendientes suaves y planas, generalmente en áreas de vegetación natural (bosques) aunque varía según la región; se observa una incipiente infraestructura vial, áreas pequeñas de asentamientos humanos discontinuos, normalmente alejados de los centros poblados principales. Las evidencias de explotación de oro de aluvión son identificables por la alta reflectancia de los suelos desnudos (presencia de minerales compuestos de materiales sueltos o segmentados como piedras, guijarros y arena, entre otros) y los cuerpos de agua. La expansión del fenómeno se caracteriza por transformación drástica del paisaje por deforestación, erosión y cambio en el curso de los ríos.
Textura	La textura en la imagen se observa de fina a media, dependiendo del número de piscinas de lixiviación y acumulación de residuos de la remoción del sustrato edáfico.
Posición geográfica	La actividad de explotación de oro de aluvión se localiza principalmente en valles y terrazas aluviales, en áreas remotas con bajo desarrollo y presencia institucional, que en algunos casos puede corresponder geográficamente con el territorio afectado históricamente con cultivos de coca.

Tabla 22. Características pictórico - morfológicas de los elementos para detección de EVOA.

69. La clave de interpretación se refiere a la característica o combinación de características, que posibilitan la identificación de un objeto en particular, por ejemplo el tamaño, la forma, el tono, el color. [80].

70. Guías jerárquicas multivía porque pueden existir más de dos opciones y es una guía porque al responder una pregunta se llega a una decisión [79].

Con base en las características pictórico-morfológicas definidas y la información secundaria, se construyó el árbol de decisión para la interpretación de evidencias de explotación a cielo abierto de oro de aluvión para la modalidad de explotación con maquinaria en tierra. El objetivo de esta herramienta es la documentación del proceso que se realiza para calificar un objeto en la imagen de satélite como evidencia de explotación de oro de aluvión con todas las variaciones posibles dentro de la dinámica que se presenta en cada una de las regiones. La herramienta hace énfasis en la discriminación de coberturas con confusión espectral; sin embargo, es importante resaltar que el árbol de decisión para detección de evidencias de explotación de oro de aluvión con uso de maquinaria en tierra basado en sensores remotos no permite identificar la vigencia de la actividad, ni las etapas iniciales de explotación.

Las áreas con explotación de oro de aluvión presentan una respuesta espectral alta debido a la remoción total de la cobertura vegetal en el proceso de preparación y acceso a las zonas de explotación, que hace que se pierdan los horizontes superficiales del suelo y la absorción de luz sea muy escasa. Otra característica que facilita la interpretación de la cobertura asociada a las actividades de explotación de oro de aluvión es la presencia de pequeñas áreas con agua para el beneficio

del mineral. Las zonas de explotación de oro de aluvión pueden presentar texturas finas cuando las actividades de explotación y remoción son homogéneas y los minerales son menos densos, o texturas medias a gruesas cuando las actividades son heterogéneas y el material es más denso.

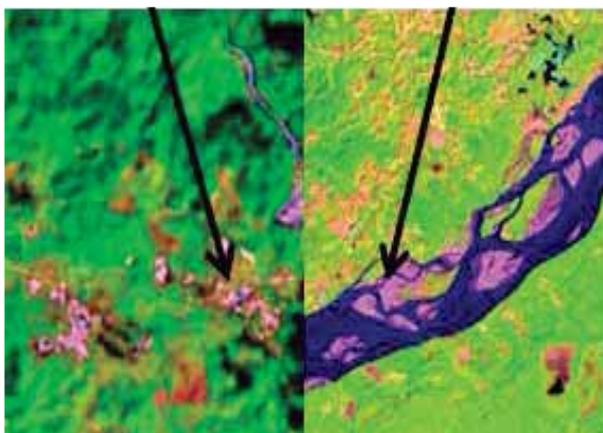
Algunas coberturas terrestres responden espectralmente de manera similar a las áreas afectadas por explotación de oro de aluvión en las imágenes satelitales. Para establecer las diferencias en la visualización del paisaje y en las imágenes satelitales de las coberturas con respuesta similar a las evidencias de explotación de oro de aluvión, se presentan a continuación los casos con probabilidad de confusión al momento de interpretar y delimitar.

Bancos de arena

Los bancos de arena se caracterizan por presentar una alta reflectancia espectral debido a la poca absorción de la luz, como consecuencia de la exposición del mineral. Presentan texturas finas, pero se diferencian porque sus formas son más suavizadas por efecto de la sedimentación por el movimiento del agua, y no son evidentes en la imagen satelital cuerpos de agua en su interior.

Evidencia de explotación de oro de aluvión

Banco de arena



Banco de arena

Evidencia de explotación de oro de aluvión



Ilustración 18. Izquierda EVOA y bancos de arena, (Landsat 8, falso color RGB 652). Derecha Foto banco de arena y EVOA, sobrevuelo SIMCI.

Centros poblados

Los centros poblados se caracterizan por presentar una alta reflectancia espectral debido a la poca absorción de la luz, como consecuencia de la exposición de los materiales de construcción. Presentan texturas gruesas, pero se diferencian por el patronamiento geométrico externo (límites del casco urbano) e interno (red vial).



Ilustración 19. Izquierda EVOA y centro poblado, (Landsat 8, falso color RGB 547). Derecha Foto centro poblado y EVOA, sobrevuelo SIMCI.

Derrumbes

Los derrumbes se caracterizan por presentar una alta reflectancia espectral debido a la poca absorción de la luz, como consecuencia de pérdida de la cobertura vegetal. Presentan texturas medias a gruesas dependiendo de

la capa de suelo que haya quedado expuesta, pero se diferencian porque estos se producen en pendientes más pronunciadas que los terrenos donde generalmente hay explotación de oro de aluvión, además que no existen cuerpos de agua en su interior.



Ilustración 20. Izquierda EVOA y derrumbe, (Landsat 8, falso color RGB 652). Derecha Foto derrumbe y EVOA, sobrevuelo SIMCI.

Eriales⁷¹

Los eriales se caracterizan por presentar una alta reflectancia espectral debido a la poca absorción de la luz, como consecuencia de la escasa vegetación portante. Presentan texturas finas y algunas zonas con

vegetación de porte bajo, pero se diferencian porque no se evidencia respuesta espectral de agua, sino del suelo y de la escasa vegetación. Los eriales tienen un origen natural (geología y clima) y no se generan como consecuencia de actividades antrópicas. [55].



Ilustración 21. Izquierda EVOA y erial (Landsat 8 falso color RGB 547). Derecha Foto derrumbe (Fuente Diario El TIEMPO) y EVOA, sobrevuelo SIMCI.

71. Zonas secas sujetas a erosión eólica con vegetación incipiente de bajo desarrollo, sin uso [85]De acuerdo con el DANE tienen un origen geológico distinto a los suelos desnudos debido a los tiempos de formación [93].

Estanques piscícolas

Los estanques para producción piscícola se caracterizan por presentar una baja reflectancia espectral debido a la alta absorción de la luz, como consecuencia de la existencia de cuerpos de agua. En algunos casos estos estanques están inmersos en zonas sin cobertura vegetal, lo que responde a altas respuestas espectrales que

rodean los estanques, pero se diferencian porque existe un claro diseño rectangular en el área de producción, evidenciable principalmente en imágenes de resolución espacial (<15m). Debido a los requerimientos de agua de la actividad piscícola en muchos casos estos estanques están localizados en valles y llanuras aluviales, y pueden coincidir en las mismas zonas donde se presenta la actividad de explotación de oro de aluvión.

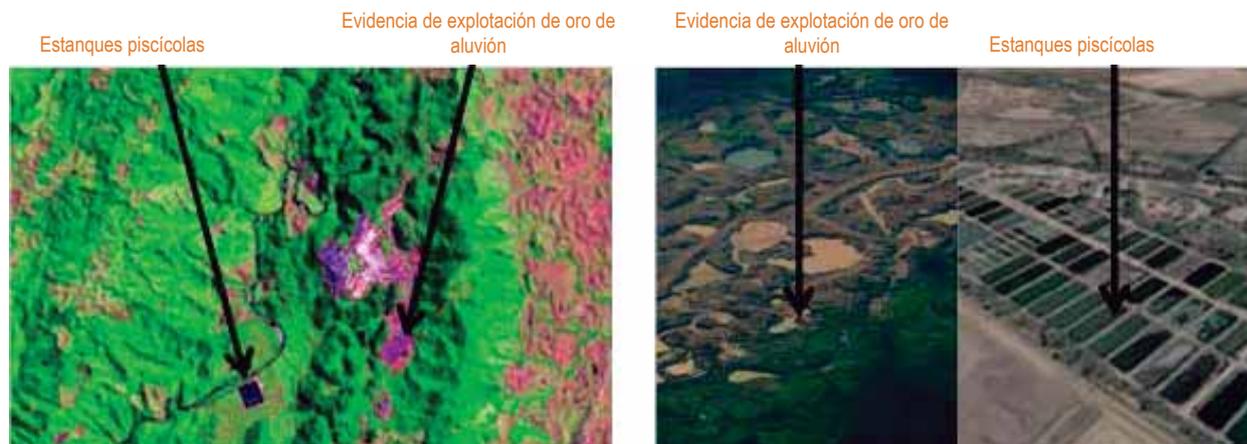


Ilustración 22. Izquierda EVOA y estanques piscícolas (Landsat 8 falso color RGB 652). Derecha Foto Estanques (fuente ICA) y EVOA, sobrevuelo SIMCI.

Jagüeyes⁷²

Los jagüeyes se caracterizan por presentar una baja reflectancia espectral debido a la alta absorción de la luz como consecuencia de la existencia de cuerpos de

agua, pero se diferencian porque éstos están rodeados por algún tipo de cobertura herbácea que genera una respuesta espectral más baja que la que muestran los suelos desprovistos de vegetación que rodean los estanques en las zonas de explotación de oro de aluvión.



Ilustración 23. Izquierda EVOA y Jagüeyes, (Landsat 8, falso color RGB 564). Derecha Foto jagüeyes y EVOA, sobrevuelo SIMCI.

Suelos desnudos

Los suelos desnudos se caracterizan por presentar una alta reflectancia espectral debido a la poca absorción de la luz, como consecuencia de la exposición del horizonte

superficial del suelo. Presentan texturas finas, pero se diferencian porque no son evidentes en la imagen satelital cuerpos de agua en su interior.

72. Depresiones sobre el terreno que permiten almacenar agua proveniente de escurrimientos superficiales [84].

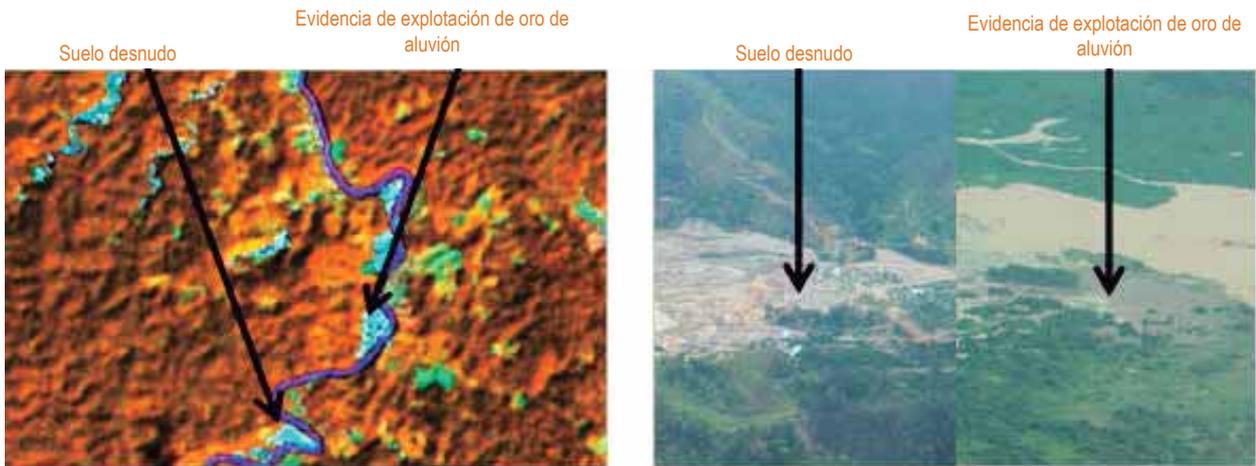


Ilustración 24. Izquierda EVOA y suelo desnudo (Landsat 8, falso color RGB 564). Derecha Foto Suelo desnudo y EVOA, sobrevuelo SIMCI.

Zonas preparación para pastos y cultivos

Las zonas de preparación para actividades agropecuarias se caracterizan por presentar una alta reflectancia espectral debido a la poca absorción de la luz, como consecuencia de las actividades de labranza y arado que generan la exposición del horizonte superficial del suelo. Presentan texturas finas, pero se diferencian porque no son evidentes en la imagen satelital cuerpos de agua en

su interior, y porque el patrón de las áreas es regular. También se pueden diferenciar en muchos casos estas zonas de las áreas de explotación de oro de aluvión porque no siempre están localizadas al margen de los ríos; adicionalmente, al revisar imágenes satelitales de fechas previas se pueden observar los mismos lotes productivos en ciclos diferentes cuando no se trata de áreas agrícolas nuevas.



Ilustración 25. Izquierda EVOA y suelo desnudo (Landsat 8, falso color RGB 652). Derecha Foto preparación de terreno y EVOA, sobrevuelo SIMCI.

Confiabilidad de la metodología

La aplicabilidad de la metodología de espacialización de EVOA por detección remota está subordinada a la confiabilidad de los hallazgos. Debido a que el monitoreo propuesto está centrado en variables proxy o instrumentales de la explotación mineral, es muy importante evaluar la confiabilidad; para este ejercicio no se han realizado mediciones en terreno para contrastar las áreas con EVOA identificadas por teledetección respecto de las áreas en campo; sin embargo, se realizaron sobrevuelos sobre 21.000 hectáreas identificadas por teledetección (el 26% del área total de EVOA detectadas), encontrando que la correspondencia fue del 95%. Para reforzar el análisis de confiabilidad de la teledetección, se hizo uso de la información secundaria disponible y particularmente un análisis de correspondencia entre los puntos de georeferenciación de las encuestas del Censo Minero (CM) respecto de los hallazgos por teledetección, encontrando que el 90% de los puntos de localización de explotaciones registrados por el CM corresponden a zonas que también fueron identificadas por teledetección.

En este capítulo se presentan de manera detallada los hallazgos respecto a la confiabilidad de la metodología de detección que permiten proponer su implementación como modelo de monitoreo de las evidencias de explotación de oro de aluvión.

El 95% de los puntos detectados en sobrevuelos de verificación fueron identificados mediante la metodología planteada y cubren un área de 21.000 ha, el 26% de evidencias para el 2014.

Censo minero y EVOA detectadas

Durante el periodo 2010-2011 el Ministerio de Minas y Energía realizó el Censo Minero⁷³ con el propósito de conocer acerca de las condiciones técnicas, ambientales, socioeconómicas, organizacionales y administrativas, en las Unidades de Producción Minera. Aunque inicialmente se contempló su desarrollo en 31 departamentos, en ocho de ellos (Vichada, Amazonas, Guainía, Vaupés, Sucre, Quindío, Nariño y Guaviare) no se pudo llevar a cabo, debido principalmente a factores de orden público, minería incipiente y altos costos [56].

El censo minero ofrece una fuente de información valiosa para evaluar la confiabilidad metodológica de la teledetección de las EVOA, ya que las encuestas fueron realizadas en el sitio de explotación y están georreferenciadas⁷⁴; sin embargo la cobertura del censo minero tiene limitaciones importantes para su aplicación

73. Censo Minero realizado por el Ministerio de Minas y Energía- MME , 2011.

74. La base de datos del Censo Minero se encuentra en formato Excel e incluye información de coordenadas en grados, minutos y segundos que fueron georreferenciadas para la obtención del archivo espacial. La información no relaciona la precisión de los dispositivos de captura, ni el sistema de proyección empleado. Para la transformación se asumieron como base coordenadas en WGS84.

Departamentos como Bolívar, Antioquia, Chocó y Cauca pueden presentar explotación de oro de aluvión con uso de maquinaria en tierra y en agua en el mismo territorio, por lo que las evidencias en tierra pueden coincidir con encuestas del censo minero con explotación mediante maquinaria en agua.

como fuente de caracterización de las EVOA, no solo por el hecho de que no cubre todos los departamentos, sino porque el marco no incluye toda la información del universo minero.

El marco de estudio del censo minero se basó en el número de títulos mineros vigentes en el Registro Minero Nacional. No se tuvieron en cuenta títulos con registro menor a un año por la escasa experiencia de la firma minera, y porque en la mayoría de los casos las actividades se inician al segundo año de ser otorgado el título, una vez se obtiene la aprobación de la documentación técnica y ambiental requerida. [56] Adicionalmente, la información relacionada con minería ilegal⁷⁵ no estuvo completa por falta de información. Esto quiere decir que la información del censo minero puede usarse como puntos de verdad de campo (se hicieron encuestas georreferenciadas en las que se verificó la actividad minera) pero no como una representación plena de las actividades de minería.

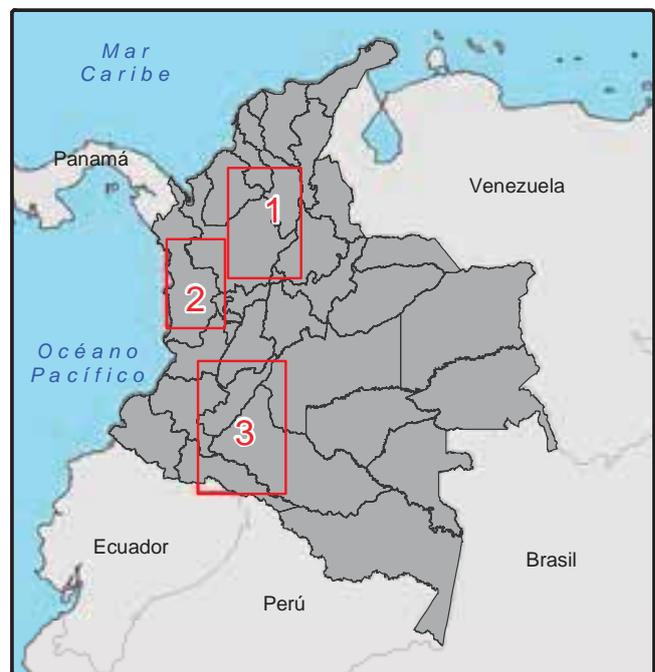
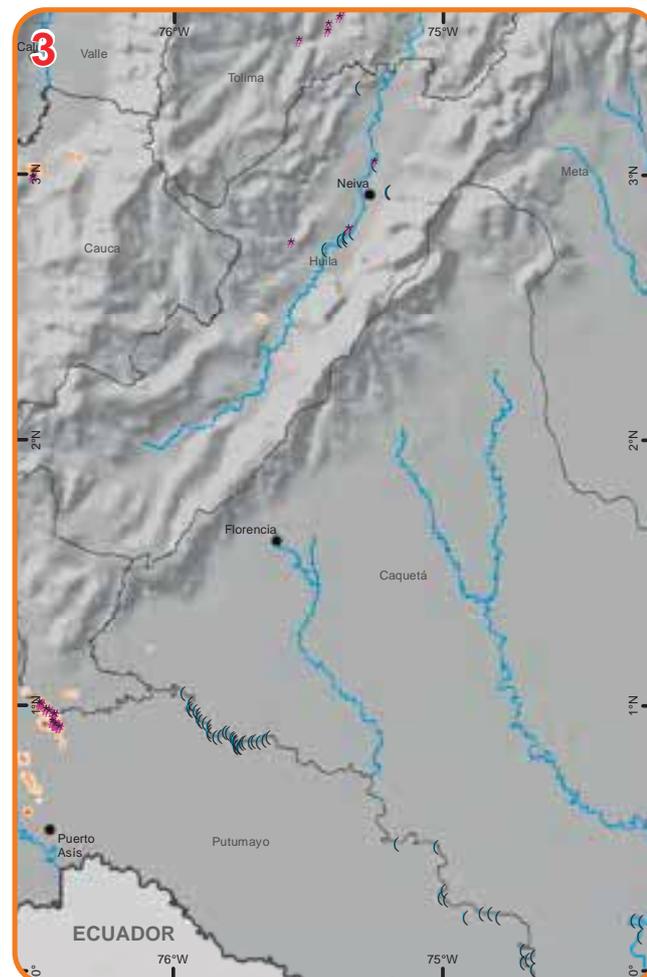
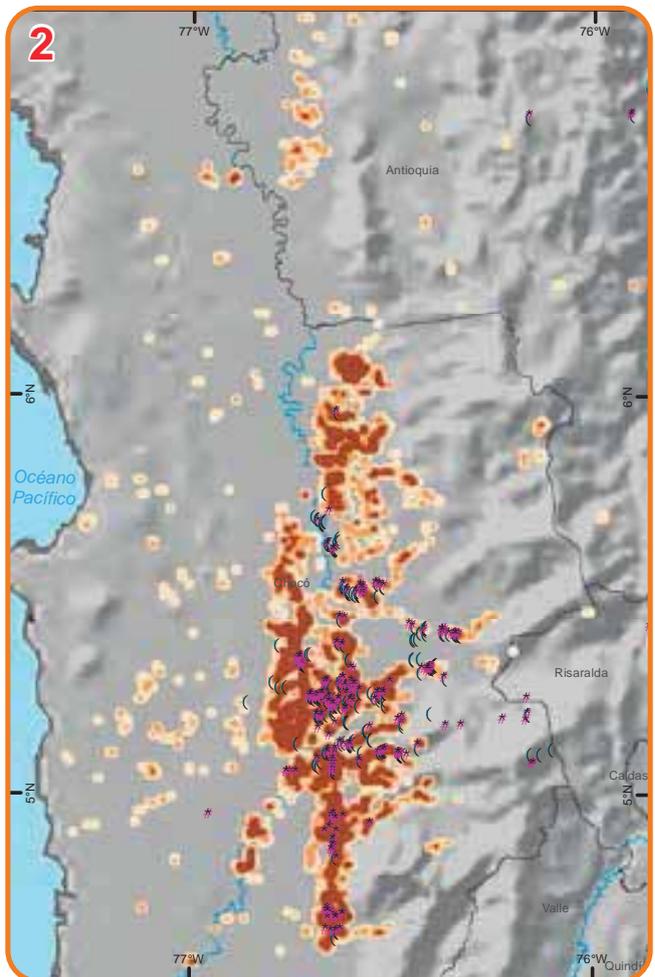
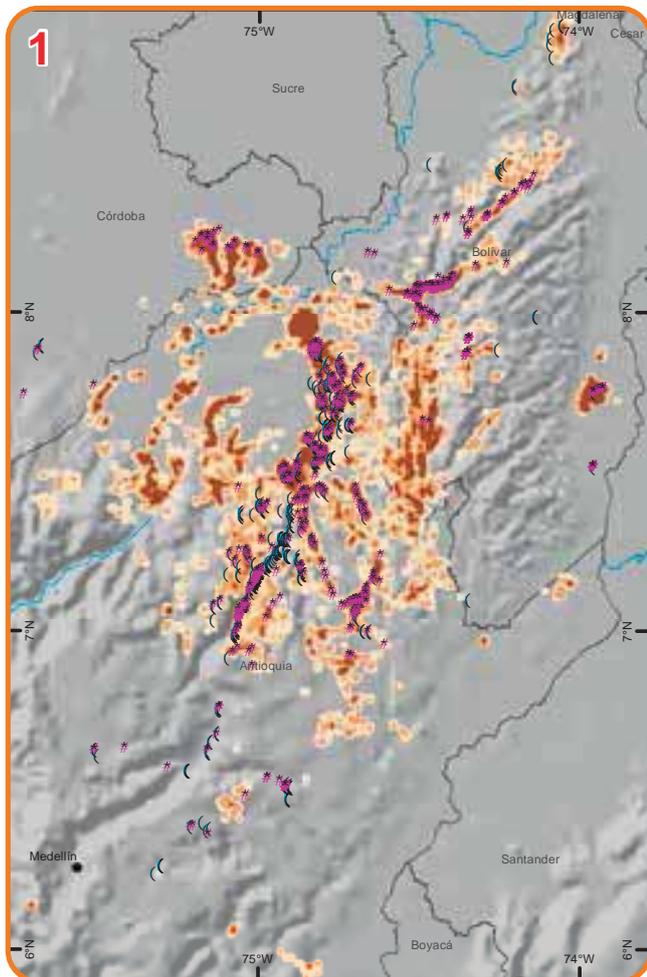
De las 14.357 encuestas del Censo Minero, el 29% (4.121) se realizó en Unidades de Producción Minera (UPM) relativas a explotación de oro; el 8% de estas 4.121 se realizó en UPM de explotación por barequeo, mazamorreo, manual, artesanal o tradicional, 48% se concentró en minas de tipo subterráneo⁷⁶, con yacimientos primarios, tipo veta o filón, y el 44% restante se concentra en explotaciones de yacimientos secundarios o de aluvión; 20% relativo a explotación en el lecho de los ríos (uso de maquinaria en agua)⁷⁷ y 24% en UPM relacionadas con explotación en terrenos aluviales (uso de maquinaria en tierra y técnicas de explotación que alteran el paisaje circundante); este 24% (964 encuestas) se utilizaron como puntos verdad de campo para evaluar la confiabilidad temática de las EVOA.⁷⁸

75. Para establecer la magnitud de las encuestas, se solicitó información primaria sobre minería ilegal a las entidades competentes, sin embargo el informe precisa que no todas las entidades suministraron la información. El informe logró establecer que son pocos los trámites desarrollados por estas entidades y no hay un consolidado que permita dar precisión referente a la ubicación de las unidades de explotación. [56].

76. El método de explotación reportado en las encuestas del CM como de tipo subterráneo se focaliza en Bolívar, Caldas, Tolima, Huila, Antioquia y Santander, mientras que la minería tradicional, artesanal o mediante barequeo está reportada según las encuestas principalmente en Putumayo, Tolima y Bolívar. Sin embargo entrevistas realizadas a mineros en la Región del Pacífico mencionan que esta modalidad se desarrolla simultáneamente en el mismo territorio con explotaciones mecanizadas (dragas, retroexcavadoras) y es desarrollada por las comunidades que se ubican en la periferia de las explotaciones mecanizadas. Estas encuestas no se tuvieron en cuenta para el análisis de coherencia temática.

77. La explotación de oro en el lecho de los ríos mediante uso de maquinaria en agua reportada por el CM se concentra en el río Caquetá entre los departamentos de Putumayo y Caquetá, Río Iró, Río San Juan y Río Andagueda en Chocó y Río Porce y Nechí en Antioquia.

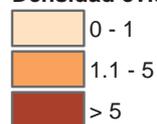
78. Las encuestas realizadas por el CM en UPM de explotaciones de aluvión con uso de maquinaria en tierra, se focalizan en Chocó, Antioquia, Córdoba y Bolívar. La explotación de oro de aluvión en Antioquia y Chocó se realiza mediante maquinaria en agua y mediante maquinaria en tierra.



Censo minero de Oro, Metodo de explotación

- * con uso de maquinaria en tierra
- (con uso de maquinaria en agua

Densidad evidencia explotación 2014 (ha/km²)



Fuentes: para evidencia de explotación: Gobierno de Colombia - Sistema de monitoreo apoyado por UNODC; para censo minero: Ministerio de Minas y Energía
 Los límites, nombres y títulos usados en este mapa no constituyen reconocimiento o aceptación por parte de las Naciones Unidas.

Mapa 17. Densidad EVOA 2014 y sitios de encuesta censo minero 2011, modalidad explotación con maquinaria en tierra y con maquinaria en agua.

Las encuestas en UPM relacionadas con explotación en terrenos aluviales con uso de maquinaria en tierra y técnicas de explotación que alteran el paisaje circundante, se realizaron en los departamentos de Antioquia (40%), Chocó (26%), Bolívar (25%); el resto en los departamentos de Cauca, Córdoba, Putumayo, Santander y Tolima (9%).

El 80% de las encuestas realizadas en UPM en Antioquia se focalizan en los municipios de Anorí, Zaragoza, El Bagre, Segovia y Amalfi. Los municipios de Condoto, Cantón de San Pablo, Nóvita, Tadó y Unión Panamericana en Chocó, concentran el 70% de las encuestas realizadas, mientras que para el departamento de Bolívar las encuestas se centralizaron en el municipio de Montecristo (80%).

El 90% de los sitios de la encuesta del Censo Minero en UPM relacionadas con explotación en terrenos aluviales (uso de maquinaria en tierra y técnicas de explotación que alteran el paisaje circundante), coinciden con EVOA detectadas en el estudio. El 67% se encuentran al interior

de los polígonos detectados, y el 23% en un radio de influencia de 500m⁷⁹ a una evidencia detectada.

El 10% de los sitios de la encuesta del CM restante, no fue detectado por la metodología aplicada en este estudio. Al comparar los datos del CM correspondientes a esta fracción de encuestas con imágenes satelitales, se encuentra que el 8% de los mismos no presenta EVOA con correspondencia espectral; los puntos caen en zonas de coberturas vegetales de bosques, rastrojos y cuerpos hídricos. De este modo, la omisión de la metodología corresponde sólo al 2% del total de sitios relacionados en la encuesta del CM.

El 10% que no fue detectado se distribuye en los departamentos de Bolívar (4%), Chocó (3%), Antioquia (2%) y Córdoba (1%). En la base de datos del CM están relacionados con métodos de explotación de "Bancos", "Dársenas" y "Corte y relleno". Las omisiones por la aplicación de la metodología diseñada para este estudio no son sistemáticas. Del total de sitios con estos métodos de explotación, se registró el 77%.

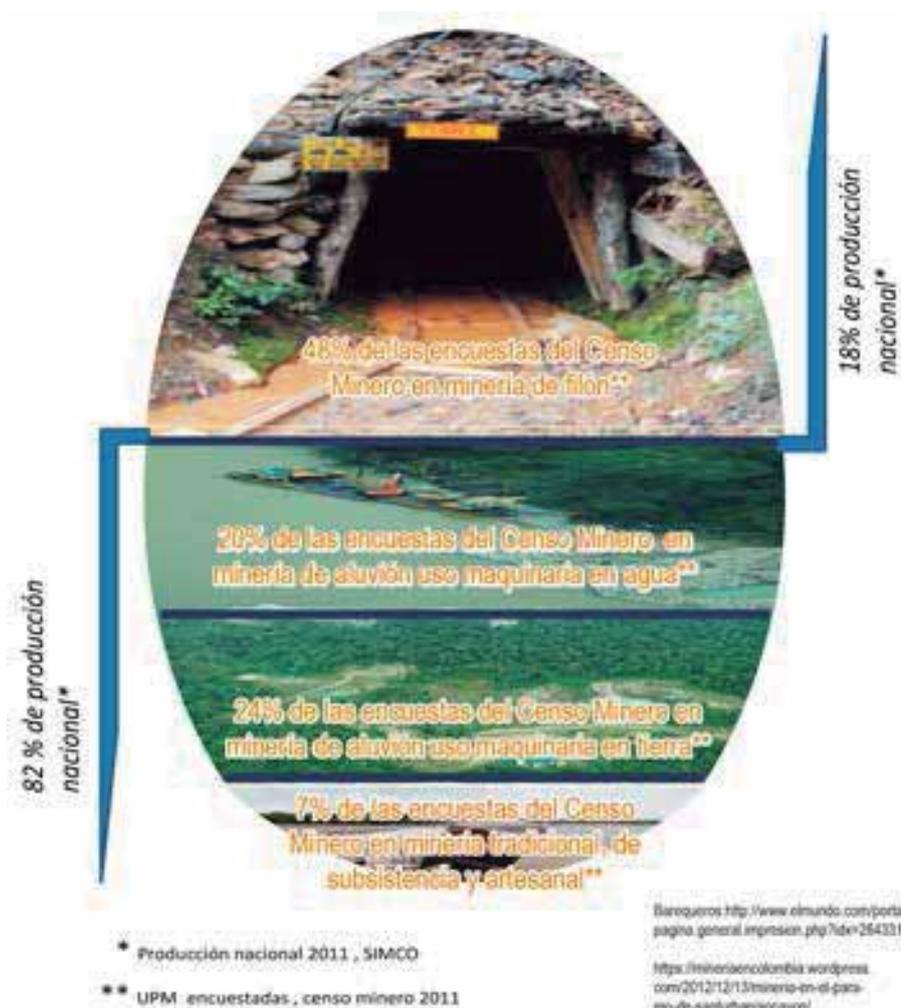


Ilustración 27. Distribución porcentual de encuestas del Censo Minero relativas a oro según modalidades de explotación, 2011.

79. Con base en la información disponible en el censo minero se considera esta distancia como el rango normal de influencia de captura mediante dispositivos móviles.

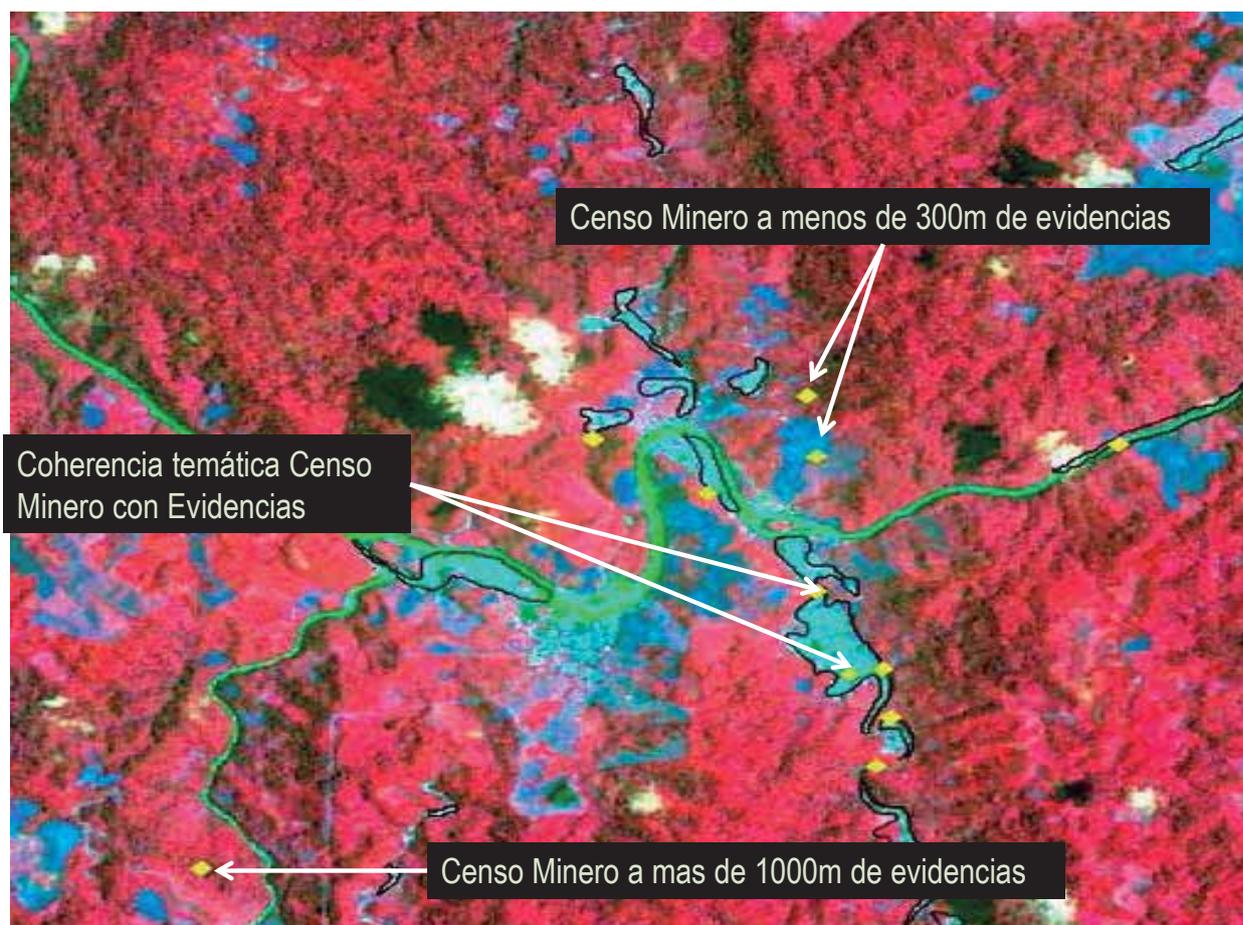


Ilustración 28. Confiabilidad metodológica: análisis de correspondencia entre encuestas censo minero 2011 y EVOA 2014. En amarillo, puntos de encuestas del censo minero; en negro, polígonos de EVOA detectados.

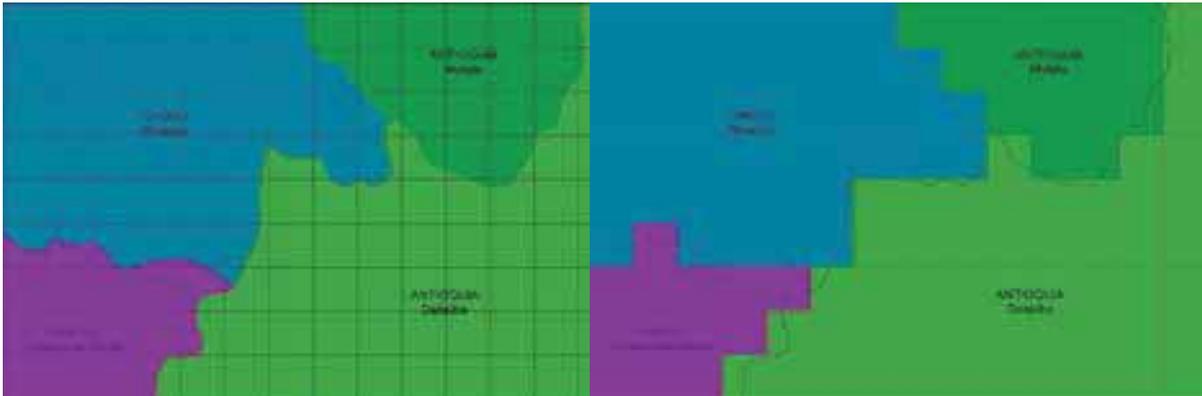
INTEGRACIÓN DE INFORMACIÓN

En los últimos años el modelo de investigación del proyecto SIMCI ha evolucionado, al pasar de limitar sus esfuerzos a la construcción de datos sobre los fenómenos y problemáticas presentes, como hectáreas sembradas con cultivos de coca, área asperjada y área erradicada, para convertirse en un modelo de investigación donde el eje integrador es el territorio, el cual se constituye en el marco de los análisis. Este cambio de enfoque, asociado a la incorporación de la teoría del riesgo, ha mostrado que la integración de información sobre las amenazas y las vulnerabilidades permite entender de una manera más consistente y productiva las dinámicas presentes en los territorios.

La construcción de este modelo requiere de la integración de información, y la estandarización de los datos y la comparabilidad temporal y geográfica son características necesarias. Para presente el estudio se ha abordado la perspectiva de integración mediante el uso del marco de áreas.

Con el fin de que otros investigadores conozcan las ventajas y limitaciones del uso este marco, se describen a continuación los procesos técnicos para la integración de la información disponible dentro del marco de áreas. Para asignarle a las grillas de un kilómetro cuadrado los límites administrativos se utilizan las coordenadas del centro del polígono de la grilla. Con los datos de EVOA se realiza una intersección con la grilla. Finalmente, al realizar este proceso es necesario calcular las áreas de los nuevos polígonos de EVOA y así conocer el cubrimiento de esta capa por grilla; los datos de cultivos de coca, al estar en el mismo formato, ingresan directamente a la base de datos, y los análisis para conocer las coberturas de la tierra se realizan mediante intersección espacial con las coberturas interpretadas a partir de las imágenes de satélite y la grilla; finalmente se calcula el área de la cobertura predominante para cada grilla. Las figuras a continuación presentan un ejemplo de cada caso.

Asignación de información de los límites administrativos mediante las coordenadas del centro de la grilla (a)



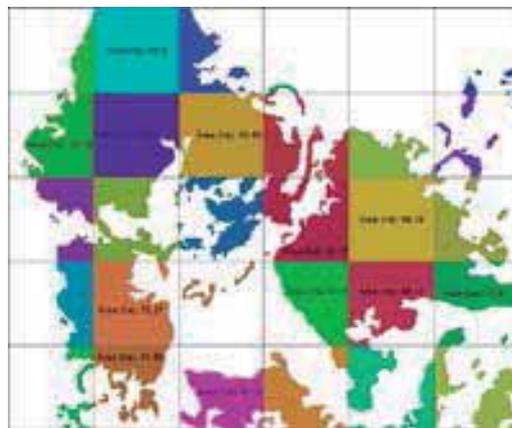
Límites administrativos (municipios) y grilla de 1 kilómetro²

Asignación de los límites según el centro de la grilla

Asignación de las área interpretadas de EVOA por intersección con la grilla (b)

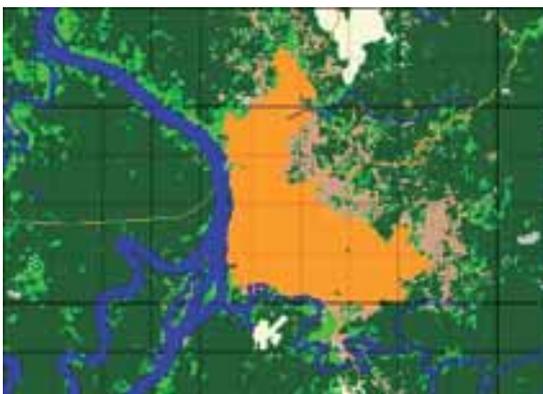


Área de EVOA (polígonos) y grillas 1 kilómetro²

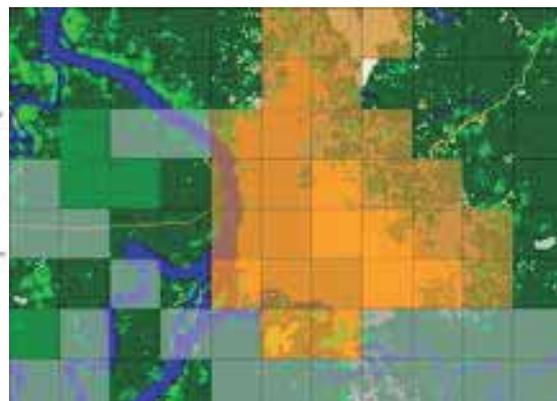


Área de EVOA discriminado por grillas 1 kilómetro²

Asignación de cobertura de la tierra predominante a la grilla (c)



Coberturas de la tierra (Chocó - Quibdó)



Grillas con coberturas predominantes: naranja (intervenido), verde (bosque), gris (área sin información)

El apartado anterior describe la integración de la información que genera el proyecto SIMCI y que se integra al marco de áreas; sin embargo, para el análisis

de las dinámicas de la minería en Colombia es necesario complementar la información anterior con la información oficial sobre minería. El siguiente apartado se enfoca en

la descripción de la información geográfica disponible sobre minería, con énfasis en los datos disponibles de minería de oro de aluvión.

Información geográfica disponible relativa a minería de oro de aluvión.

Las entidades encargadas de generar información oficial de minería en Colombia son el Ministerio de Minas y Energía, la Agencia Nacional de Minería (ANM), la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), la Dirección de Carabineros y Seguridad Rural (DICAR), las Corporaciones Autónomas y las Fuerzas Armadas y de Policía, en relación con las operaciones interdictivas a la minería ilegal. Cada una de estas entidades, en cumplimiento de su misión, han georreferenciado su información y en algunos casos creado visores geográficos que permiten consultar la información de interés relacionada con minería.



Figura 10. Cobertura del Censo Minero por departamento (Fuente: MME, 2011).

Ministerio de Minas y Energía - Censo Minero -CM

El Ministerio de Minas y Energía se encarga de gestionar las políticas relacionadas con las actividades de exploración y explotación del potencial minero en Colombia. En 2010 – 2011 se realizó el Censo Minero con el fin de conocer las condiciones de las Unidades de Producción Minera -UPM del país. El CM cubrió 23 departamentos y 527 municipios del país; en la figura al costado, en color verde se presentan los ocho departamentos en los cuales no se pudo realizar el censo minero. El objeto de medición fueron las unidades de explotación minera de tipo frente de explotación o bocamina, canteras, material de arrastre y en general en todo tipo de explotaciones subterráneas y a cielo abierto⁸⁰.

Como resultado se obtuvo un archivo de Excel con 322 campos y 14.357 registros correspondientes al total de las UPM censadas; adicionalmente se cuenta con el diccionario de datos, el cual presenta el significado de cada uno de los campos de la base de datos, información que facilita su comprensión.

El archivo contiene datos de ubicación como el municipio, el departamento y además las coordenadas geográficas (longitud y latitud) en grados, minutos y segundos capturados en sistema de referencia WGS84⁸¹; con estos datos se georreferenciaron y crearon puntos conservando los demás atributos. El resultado es un archivo de tipo vector con geometría de punto; en este formato se depuró la información relacionada con minería de oro y se consolidó una base de datos espacial con 4.121 registros, lo que representa el 29% de las UPM censadas. Mediante las consultas a cada uno de los campos es posible saber para estos puntos si la actividad minera se realiza mediante bombas sumergibles, con compresores, con dragas, con elevadores, retroexcavadora o con algún tipo de maquinaria; adicionalmente, si las operaciones se realizan de forma subterránea o a cielo abierto entre otros.

80. Censo minero departamental 2010-2011, Ministerio de Minas y Energía.

81. Sistema de referencia mundial en el cual por defecto se captura la información mediante dispositivos GPS o navegadores. No se tienen certeza de la exactitud ni método de levantamiento de las coordenadas reportadas en el archivo de Excel.

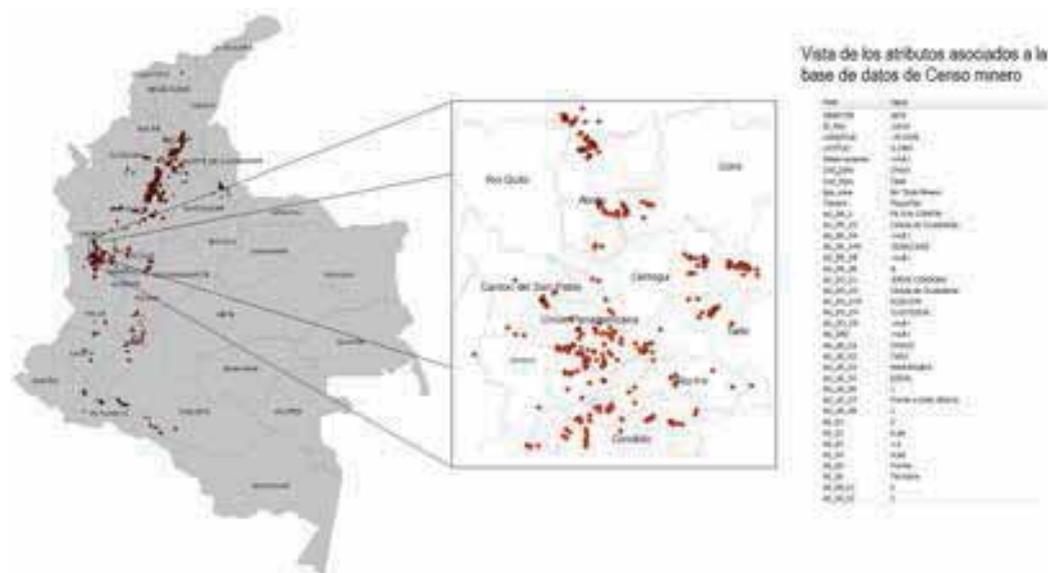


Figura 11. Ubicación de puntos de encuesta del Censo Minero (Fuente, MME, 2011).

Al comparar la ubicación reportada en hoja de datos de Excel y la calculada mediante georreferenciación se presentan diferencias en los campos de municipio y departamento; estas diferencias son comunes cuando el trabajo de campo requiere de una digitación posterior de la información, como es el caso del CM. Por lo anterior, se recomienda realizar una validación de la información e identificación de posibles diferencias, para evitar análisis errados o ubicaciones incorrectas de puntos en futuras investigaciones. Para los análisis espaciales adelantados

en este documento se asumió como cierta la ubicación según las coordenadas geográficas reportadas en el archivo original.

Se logró identificar que 16 de los 23 departamentos y 124 de los 527 municipios censados presentaron por lo menos un dato de oro; además, el 73% de los puntos de encuesta se encuentran entre los departamentos de Antioquia (37%), Bolívar (23%) y Chocó (12%).

Departamentos con datos de oro	Numero de UPM censadas	% respecto del total
Antioquia	1.520	37
Bolívar	964	23
Chocó	507	12
Santander	254	6
Putumayo	209	5
Caldas	181	4
Cauca	170	4
Tolima	94	2
Huila	83	2
Risaralda	51	1
Caquetá	42	1
Córdoba	32	1
Norte de Santander	5	0,12
Magdalena	4	0,10
Valle Del Cauca	4	0,10
Boyacá	1	0,02
TOTAL	4.121	98.34

Tabla 23. Distribución de encuestas del CM relativas a explotaciones de oro (Fuente: MME, 2011).

Agencia Nacional de Minería - ANM

LA ANM es la entidad encargada de administrar los recursos minerales del Estado y es responsable del otorgamiento de títulos y control de la exploración y explotación minera [57]. En cumplimiento de su misión la ANM genera información geográfica con la ubicación de títulos, solicitudes y legalizaciones mineras, considerados durante los análisis desarrollados como figuras de formalidad ante el gobierno colombiano. Estos datos vienen en archivos de tipo vector en formato shapefile. La siguiente tabla resume las características de los archivos entregados a UNODC/SIMCI⁸² que sirvieron para la realización de los ejercicios de análisis espacial.

Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA

La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA es la encargada de que los proyectos, obras o actividades sujetos de licenciamiento, permiso o trámite ambiental, cumplan con la normativa ambiental, de tal manera que contribuyan al desarrollo sostenible ambiental del país (Decreto 3573) [24]⁸³. Estos datos vienen en archivos de tipo vector en formato shapefile que se detallan también en la tabla siguiente.

82. La información de la ANM fue suministrada por la Dirección de Carabineros y seguridad rural, DICAR. Se obtuvo información acerca de Solicitudes de legalización y Propuestas de contrato a noviembre de 2014; Amparo de Títulos sin licencia para los departamentos de Putumayo, Caquetá, Chocó, Nariño, Cauca y Valle a marzo 2015. Para el resto del país se obtuvo información de Amparo de Títulos sin licencia a noviembre 2014 mediante consulta en página web [88]. Las tablas de datos anexas no diferencian modalidades de explotación, ni tipos de yacimientos, por cuanto los archivos representan el universo de las figuras de formalidad para la exploración de oro sin diferenciación por filón o aluvión.

83. La información relativa a licencias ambientales se obtuvo con corte a 2011 por fuentes secundarias de otras organizaciones.

Resumen de la información geográfica disponible de la ANM y ANLA

Nombre	Geometría tipo	Formato	Características	Cubrimiento Geográfico
Licencias ambientales Archivo: LA_WWF_NAL	Polígono	Vector Shape	<p>Contiene información a 2011 de las licencias ambientales discriminadas por estado, modalidad, mineral y titular, se encuentra organizada en 32 campos. Tiene información para 28 departamentos.</p> <p>Número de registros: 2.374.</p> <p>Sistema de coordenadas planas origen Magna - Bogotá.</p> <p>Escala: nacional.</p>	
Licencias ambientales de oro Archivo: LA_ORO_2014	Polígono	Vector Shape	<p>Luego de depurar los datos de licencias para solo obtener las relacionadas a explotación de oro se tiene un archivo de 179 registros, lo que equivale al 7,5% del total de las licencias del país. Tiene cubrimientos en 14 departamentos concentrándose principalmente en Antioquia.</p>	
Amparo de títulos Archivo: Titulos_sep2015	Polígono	Vector Shape	<p>Contiene información actualizada a agosto de 2015, de amparo de títulos discriminados por modalidad, mineral y titular. El archivo se encuentra organizado con 12 campos.</p> <p>Contiene información para 30 de los 32 departamentos de Colombia; solo Amazonas y San Andrés y Providencia no presentan información de amparo de títulos.</p> <p>Número de registros: 9.670.</p> <p>Sistema de coordenadas planas origen Bogotá.</p> <p>Escala: nacional.</p>	
Amparo de títulos Archivo: Amparo_Titulo_Oro_Nal_2014	Polígono	Vector Shape	<p>Se depuró la información de amparo de títulos para dejar solo los relacionados con explotación de oro de aluvión. El resultado fue un archivo con 1.969 polígonos, lo que representa el 20% del total de los títulos en Colombia. Contienen información para 22 departamentos</p>	

Nombre	Geometría tipo	Formato	Características	Cubrimiento Geográfico
<p>Propuestas de contrato</p> <p>Archivo: Propuesta_contrato_Oro_Nal_2014</p>	Polígono	Vector Shape	<p>Contiene información actualizada de propuestas de contrato a 2014. El archivo se encuentra organizado con 7 campos. Contiene información para 26 de los 32 departamentos.</p> <p>Número de registros:465</p> <p>Sistema de coordenadas planas origen Bogotá.</p> <p>Escala: nacional.</p>	
<p>Propuestas de contrato de oro</p> <p>Archivo: Propuesta_contrato_Oro_Nal_2014_Pacifico_2015</p>	Polígono	Vector Shape	<p>Se obtuvo luego de depurar los datos para obtener solo la información relacionada con explotación de oro. Para completar el archivo más actualizado de propuestas de contrato de oro fue necesario agregar información adicional actualizada a agosto de 2015.</p> <p>Quedó un archivo con 942 registros, con cobertura en 26 departamentos.</p>	
<p>Solicitudes de legalización</p> <p>Archivo: Antioquia_Legalizacion_1382</p> <p>Antioquia_Legalizacion_685</p> <p>Solicitudes_Legalizacion_Ley_1382_Oro_Nal_2014</p> <p>Solicitudes_Legalizacion_Ley_685_Oro_Nal_2014</p>	Polígono	Vector Shape	<p>Para completar el archivo más actualizado de solicitudes de legalización fue necesario agregar la información de diferentes archivos (legalización 1382, 685, Antioquia 1382, Antioquia 685). Contiene información actualizada de las solicitudes de legalización a 2014. El archivo se encuentra organizado en 11 campos. Contiene información para 12 departamentos.</p> <p>Sistema de coordenadas planas origen Bogotá.</p> <p>Escala: nacional.</p>	
<p>Solicitudes de legalización de oro</p> <p>Archivo: Solicitudes_Legalizacion_Nal_2014</p>	Polígono	Vector Shape	<p>Luego de consolidar y depurar la información de los diferentes archivos de legalizaciones se obtuvo un archivo con 939 registros</p>	

Tabla 24. Información espacial disponible ANM-ANLA.

Para el uso adecuado de esta información fue necesario realizar validaciones topológicas, ya que se evidenciaron superposiciones y duplicidad de información que podría alterar los resultados. Para realizar los ejercicios de análisis espacial se utilizaron los archivos depurados con solo los datos de minería relacionada a oro. En estos ejercicios se dio prioridad de la información de la siguiente manera: 1. Licencias ambientales 2. Ámparo de Títulos sin licencia⁸⁴, 3. Solicitudes de legalización y 4. Propuestas de contrato.

Dirección de Carabineros y Seguridad Rural (DICAR)

La Dirección de Carabineros y Seguridad Rural (DICAR) de la Policía Nacional tiene a su cargo la Unidad Nacional contra la Minería Ilegal (UNIMIL), encargada de

liderar institucionalmente la lucha contra la minería ilegal y además contra aquellos que no cumplan los requisitos legales y exploten recursos naturales y minerales⁸⁵, en coordinación con los diferentes organismos estatales. En cumplimiento de su misión, la DICAR genera información con las coordenadas en grados, minutos y segundos de las operaciones interdictivas contra la minería ilegal. Mediante acuerdos institucionales fue posible tener acceso a la información sobre las operaciones de las incautaciones o destrucciones realizadas durante 2012, 2013, 2014 y 2015 (septiembre) en formato Excel. Los archivos suministrados no discriminan el tipo de explotación, sino que relacionan en general campos con minas intervenidas, retroexcavadoras, buldócer, motores, motobombas, volquetas, incautaciones de oro, mercurio, gasolina, acpm, arena, entre otros.

Nombre	Características
Operaciones 2012 (archivo: DICAR_2012)	Contiene información de incautaciones. Número de registros: 5 Escala: nacional.
Operaciones 2013 (archivo: DICAR_2013)	Contiene información de incautaciones/destrucciones. Número de registros: 12 Los puntos son los mismos que los suministrados para 2014. Escala: nacional.
Operaciones 2014 (archivo: DICAR_2014)	Contiene información de incautaciones/destrucciones. Número de registros: 12 Los puntos son los mismos que los suministrados para 2013. Escala: nacional.
Operaciones 2015 (archivo: DICAR_Op_2015)	Contiene información de operaciones organizada en 35 campos. Número de registros: 249 Escala: nacional. Observaciones: <ul style="list-style-type: none"> No existe un diccionario de datos que especifique a que hacen referencia los campos reportados y las unidades. Hay 49 puntos mal georreferenciados.
Consolidado de Operaciones 2015 (archivo: Consolidado_OperDICAR_Minería_2015 cons_ptos_oper_dicar_2015)	Contiene información de operaciones organizada en 35 campos. Número de registros: 512 Sistema de coordenadas geográficas: WGS 84. Escala: nacional. Observaciones: <ul style="list-style-type: none"> No existe un diccionario de datos que especifique a que hacen referencia los campos reportados y las unidades.

Tabla 25. Información disponible DICAR (Fuente DICAR).

84. Esta figura hace referencia al archivo de Ámparo de títulos que no se intersecta con el archivo de Licencias ambientales. En este sentido pueden considerarse como títulos en exploración.

85. <http://www.policia.gov.co/>.

Con la información anterior es posible ubicar los puntos de las operaciones realizadas. En este proceso, conocido como georreferenciación, se presentan errores en algunos puntos que no se encuentran en el territorio nacional; esto puede deberse a errores en la captura o digitación de coordenadas, casos comunes al momento de realizar trabajo de campo; por lo tanto se recomienda estandarizar el formato de recolección de información de operaciones interdictivas de la minería ilegal, además de la creación de un manual de usuario para llenar la información de manera estandarizada, y un diccionario de datos que permita analizar los datos a personal diferente al que realizó la operación. Para poder obtener un producto con

estas características se recomienda la creación de un aplicativo que funcione en dispositivos portables como los celulares o GPS de última generación, mediante el cual la información capturada sea guardada en una base de datos con una estructura clara y sin errores asociados a la ubicación de los puntos.

Al construir el archivo geográfico se evidencia una cobertura nacional con actividades realizadas en 22 departamentos del país; el 74% de las operaciones se concentran entre los departamentos de Antioquia (49%), Valle del Cauca (13%), Córdoba (8%) y Cauca (4%).

Departamento	Número de operaciones	% respecto al total
Antioquia	207	49
Valle del cauca	54	13
Córdoba	33	8
Cauca	17	4
Santander	15	4
Nariño	13	3
Caldas	12	3
Huila	12	3
Chocó	10	2
Putumayo	10	2
Magdalena	7	2
Tolima	7	2
Bolívar	6	1
Cesar	4	1
Atlántico	3	1
Caquetá	3	1
Casanare	1	0,2
Guainía - Vichada	1	0,2
Guajira	1	0,2
Sucre	1	0,2
Urabá	1	0,2
Vichada	1	0,2

Construido mediante el archivo: Consolidado de Operaciones 2015

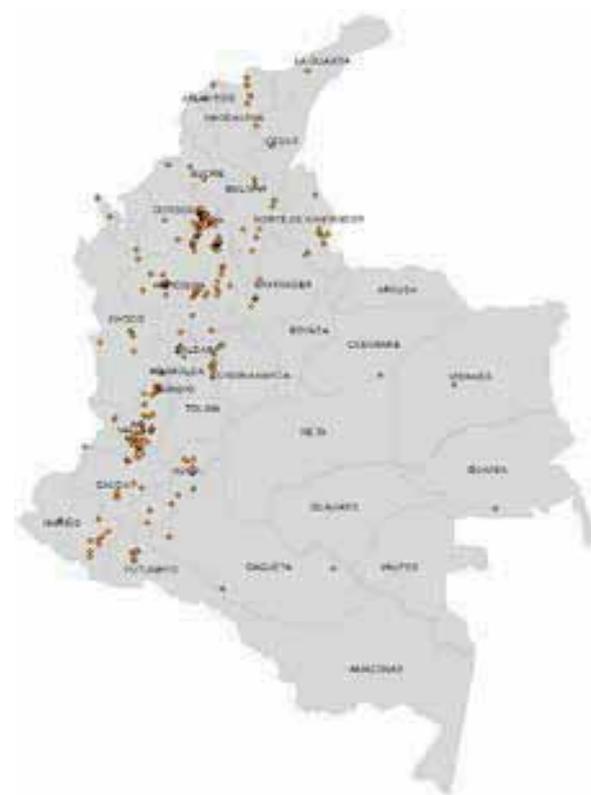


Ilustración 29. Cobertura de las operaciones de interdicción relacionadas a minería realizadas por la DICAR en el país (Fuente Armada Nacional).

Armada Nacional de Colombia

La Armada Nacional de Colombia realiza operaciones de control contra minería ilegal en ríos y reporta las coordenadas de dichas operaciones en grados, minutos y segundos. Mediante acuerdos institucionales fue posible tener acceso a las coordenadas de las operaciones realizadas durante los últimos 5 años. Los datos suministrados corresponden a las coordenadas, municipio

y departamento de las 13 operaciones realizadas por la Fuerza Naval de Oriente en los últimos 5 años en los departamentos de Guainía, Vichada y Casanare. La Fuerza Naval del Sur no cuenta con datos estadísticos de operaciones.

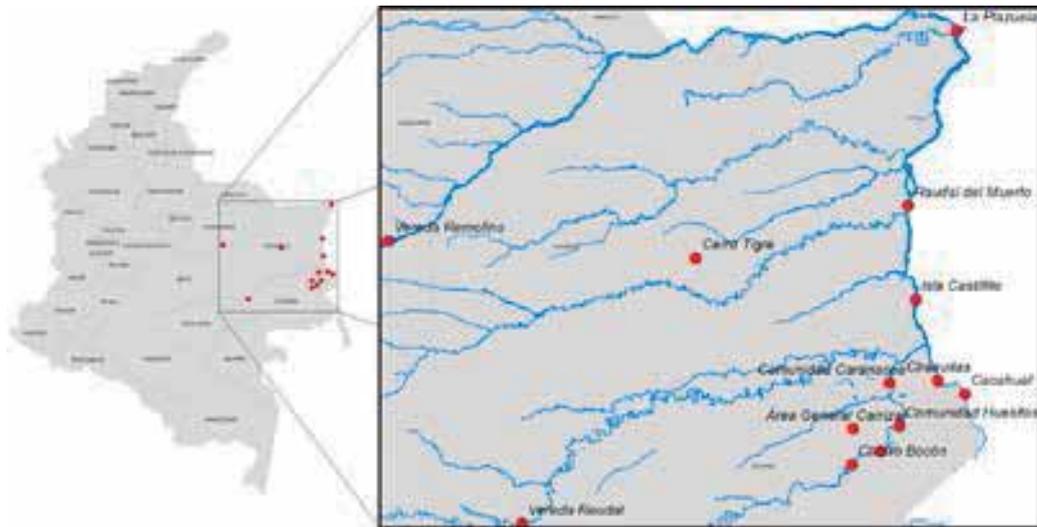


Ilustración 30. Cobertura de las operaciones interdictivas de la Armada a minería (Fuente Armada Nacional).

Los diferentes datos relacionados en el apartado anterior (Información geográfica disponible de minería de oro de aluvión) se integraron al marco de áreas. El

siguiente esquema presenta toda la información que quedó integrada en el marco de áreas para el estudio de explotación de oro de aluvión.

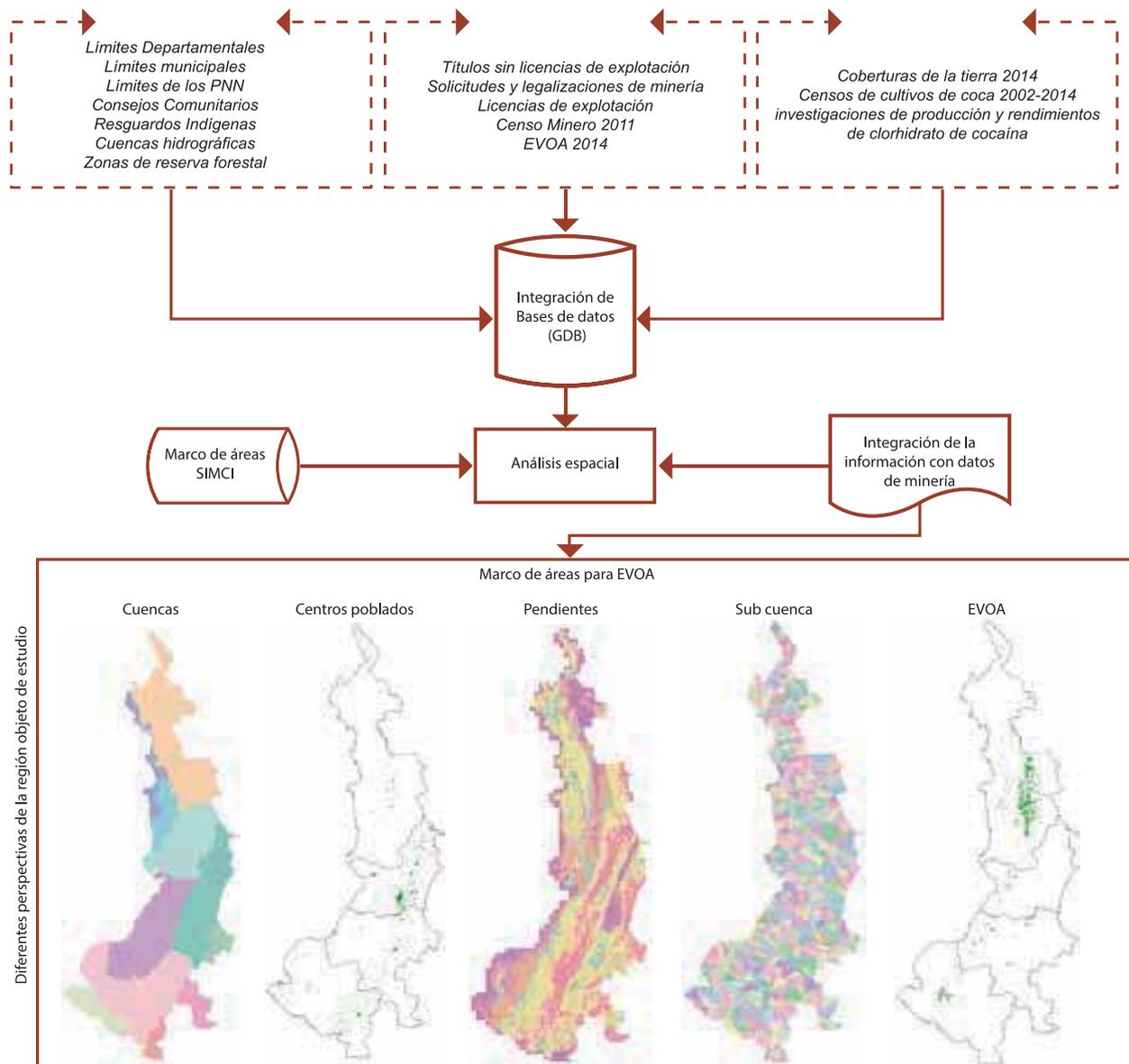


Ilustración 31. Marco de áreas EVOA.

Recomendaciones

- Actualmente existen diferentes instituciones generando información de minería, de acuerdo con la misión y objetivos específicos de cada una. Es recomendable la creación de una instancia del Gobierno que centralice la información disponible en el país; se recomienda igualmente que la estructura de este modelo de integración esté enfocada en una infraestructura de datos que soporte tanto información alfanumérica como información geográfica, en donde cada una de las instituciones represente un nodo de información disponible.
- En cada una de las instituciones es necesario generar mecanismos que aseguren la correcta geometría y topología respecto a la información geográfica de los datos publicados.
- Al recolectar información en campo se deben dejar definidos los formularios, diccionarios de datos y manuales de recolección de información, con el fin de estandarizar unidades de medida y conceptos; además, si se requiere tener la ubicación de esta información se recomienda la creación de un aplicativo que funcione en dispositivos portables como los celulares o GPS de última generación, mediante los cuales la información capturada sea guardada en una base de datos con una estructura clara y sin errores asociados a la ubicación de los puntos.

Visores geográficos disponibles en minería

Algunas entidades han generado visores geográficos⁸⁶ que permiten realizar consultas generales a través de las páginas web. A continuación se describen los principales encontrados y que tienen relación con minería. ANEXO 4

86. Con los visores se puede tener acceso a todas las funcionalidades de visualización de información geográfica como acercar, alejar, paneo, activar y desactivar capas, consultar mediante clic en el visor, realizar impresiones de la información geográfica. Adicionalmente en algunos casos se pueden agregar más capas WMS para aumentar el nivel de análisis e información desplegada y construir mapas mediante fuentes remotas de información geográfica, IGAC http://www.icde.org.co/web/guest/visor_geografico, consultado 06/12/2015.

ANEXO 2: EVOA CON USO DE MAQUINARIA EN TIERRA EN RESGUARDOS INDÍGENAS, 2014

Departamento	Resguardo	ha
Antioquia	RÍO CHAJERADÓ	70
	YABERARADÓ	22
	TAGUAL-LA PO	15
	JENGADO APARTADÓ	13
	RÍO MURINDÓ	12
	RÍO JARAPETÓ	5
	MURRI-PANTANOS	4
	MAJORÉ-AMBURÁ	3
	PABLO MUERA	3
	JAI-DUKAMA	3
	ANDABÁ	3
	AMPARRADO ALTO Y MEDIO Y QUEBRADA CHONTADURO	2
	CAÑAVERALES-ANTADO	2
Cauca	HUELLAS	11
	LA IGUANA	85
	PLAYA BENDITA	0

Departamento	Resguardo	ha
Chocó	AGUACLARA Y BELLA LUZ DEL RÍO AMPORÁ	5
	RÍO NEGUA	109
	RÍO ICHO Y LA QUEBRADA BARATUDO	75
	URADÁ JIGUAMIANDÓ	62
	ANDAGUEDA	38
	RÍOS CATRU-DUBASA Y ANCOSO	36
	RÍO BEBARA	35
	PUADÓ, LA LERMA, MATARE Y TERDO	29
	QUEBRADA QUERA	24
	RÍO PURRICHÁ	18
	HURTADO Y TEGAVERA	13
	RÍOS TORREIDÓ Y CHIMANI	7
	ELVEINTE, PLAYALTA Y EL NOVENTA	7
	PUERTO ALEGRE Y LA DIVISA	6
	SANTA CECILIA DE LA QUEBRADA ORO CHOCÓ	6
	RÍOS UVA Y POGUE-QUEBRADA TAPARAL	4
	BELLAVISTA-UNIÓN PITALITO	4
	BUCHADÓ AMPARRADÓ	4
	DEARADE BIAKIRUDE	3
	PUERTO LIBIA TRIPICAY	3
	EL VEINTIUNO	2
	CHIGORODO MEMBA	2
	LA LOMITA	2
PUERTO LIBRE DEL RÍO PEPÉ	2	
ALTO RÍO BOJAYÁ	2	
SAN JOSÉ AMIA DE PATO	1	
BETE-AUROBETE Y AURO DEL BUEY	0	
Guainía	RÍOS CUIARI E ISANA	25
	TONINA, SEJAL, SAN JOSÉ Y OTRAS	12
Nariño	TORTUGAÑA, TELEMBI, PUNDE, PITADERO, BRAVO, TRONQUERIA Y ZABALETA	1
Valle	CHONARA HUENA	14
TOTAL		803

Tabla 26. Resguardos Indígenas con EVOA (ha).

ANEXO 3: SELECCIÓN DE ÍNDICES ESPECTRALES PARA LA DETECCIÓN DE ALTERACIÓN DE SEDIMENTOS SUSPENDIDOS.

Para la selección de los índices espectrales que evidencien la alteración de sedimentos suspendidos se tomaron nueve índices basados en los alcances de discriminación de coberturas que los mismos poseen. Los cinco primeros índices (ver tabla) fueron descartados por

no presentar sensibilidad en la alteración de sedimentos en ríos blancos y negros⁸⁷. El río Inirida pertenece a la categoría de ríos de aguas negras. Los cuatro restantes se aplicaron sobre las imágenes de satélite en los cuatro periodos de tiempo seleccionados.

SIGLA	Nombre	Fórmula
SAVI	Soil-Adjusted Vegetation Index	$SAVI = [(ρNIR - ρred) / (ρNIR + ρred + L)] * (1 + L)$
BR	Band Ratio	$BR = (ρgreen / ρblue)$
LSWI	Land Surface Water Index	$LSWI = ((ρNIR) - (ρSWIR2)) / ((ρNIR) + (ρSWIR2))$
TCBI*	Tasseled Cap Brightness Index	$T.C. = A1*(L7_1) + A2*(L7_2) + A3*(L7_3) + A4*(L7_4) + A5*(L7_5) + A7*(L7_7)$
TCWI**	Tasseled Cap Wetness Index	$T.C. = A1*(L7_1) + A2*(L7_2) + A3*(L7_3) + A4*(L7_4) + A5*(L7_5) + A7*(L7_7)$
<u>NDWI</u>	Normalized Difference Water Index	$NDWI = (ρgreen - ρNIR) / (ρgreen + ρNIR)$
<u>MNDWI</u>	Modification for Normalized Difference Water Index	$MNDWI = (ρgreen - ρMIR) / (ρgreen + ρMIR)$
<u>NDSSI</u>	Normalize Difference Suspended Sediment Index	$NDSSI = (ρblue - ρNIR) / (ρblue + ρNIR)$
<u>NSMI</u>	Normalized Suspended Material Index	$NSMI = (ρred + ρgreen - ρblue) / (ρred + ρgreen + ρblue)$
*Brightness A1=0.3037 A2= 0.2793 A3=0.4743 A4= 0.5585 A5= 0.5082 A7=0.1863		
**Wetness A1= 0.3191 A2=0.5061 A3=0.5534 A4=0.0301 A5=-0.5167 A6=-0.2604		
Los datos de Brightness y Wetness hacen referencia a metadatos de captura en la imagen satelital		

Tabla 27. Índices espectrales evaluados para la detección de alteración de sedimentos en suspensión

Los índices que presentaron sensibilidad a la detección de alteración de sedimentos en suspensión fueron: NDWI, MNDWI, NDSSI y NSMI. A cada uno de estos índices se le creó curvas de comportamiento “natural” de sedimentos en suspensión tal como se observa en el siguiente gráfico:

87. De acuerdo con las características de las aguas, se encuentran ríos blancos cuyas aguas son barrosas, amarillentas, ricas en nutrientes, arenas y limos y tienen un pH o grado de acidez neutro. Ríos negros pocos sedimentos y gran cantidad de materia orgánica, lo que les genera una coloración café oscura; son pobres en nutrientes y sus aguas tienden a ser ácidas. [99]. Ríos de aguas claras contienen muy pocos nutrientes y son completamente claros y nítidos [100].

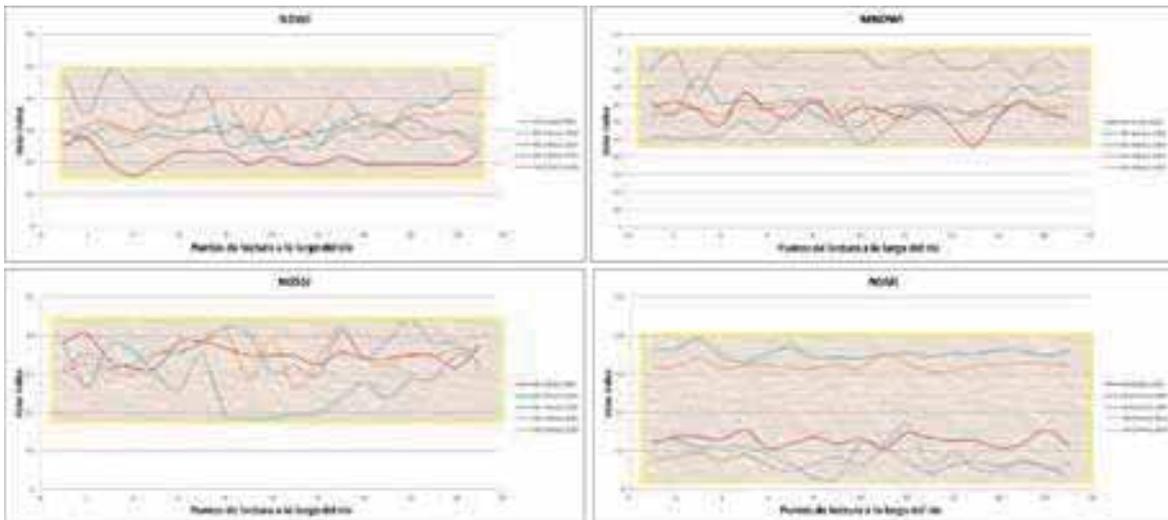


Gráfico 23. Curvas de comportamiento natural de sedimentos en los cuatro índices seleccionados.

89

Como ⁸⁸resultado de la evaluación del río Inírida en temporada seca y sin antecedentes de actividad de explotación mineral, se identificó una barrera de análisis determinada por la lectura de los índices que tanto para NDWI, MNDWI y NDSSI se da a partir de valores por debajo del comportamiento natural y en el caso del NSMI valores por encima [46]. Esta lectura determina la evidencia marcada en cambios en el comportamiento natural del río de estudio.

ÍNDICE	VALOR
NDWI	< 0,17
MNDWI	< 0,48
NDSSI	< 0,19
NSMI	> 0,39

Tabla 28. Valores de índices espectrales que determinan alteración de sedimentos suspendidos en el río Inírida.

En el siguiente análisis para cada índice se utilizaron los resultados de extraer los valores de los ríos donde la sedimentación es evidente con la ayuda de los índices

NDWI, NDSSI y NSMI; el índice MNDWI se describió previamente en los hallazgos.

ÍNDICE NDWI: Para este índice se evidencia que para los años 1996 y 2002 los valores calculados se encontraron dentro del comportamiento natural del río con excepción en el 2002 en puntos cercanos a las comunidades de Piedra Alta y Paloma; para el 2007 se evidencia alteración de los sedimentos suspendidos a lo largo del río mostrando un comportamiento homogéneo desde los puntos cercanos a la comunidad de Báquiro hasta La Ceiba con puntos destacados sobre la comunidad de Chorro Bocón y Remanso; el 2011 se caracterizó por una acentuación del fenómeno en puntos cercanos a la comunidad de Cerro, Remanso, Paloma, Caño Tónica y La Ceiba; en el 2014 se evidencia alteración de los sedimentos suspendidos cercanos a la población de Báquiro hasta la población de La Ceiba, con puntos destacados sobre las poblaciones de Morroco Viejo, Cerro, Remanso, Caño Tonina y La Ceiba.

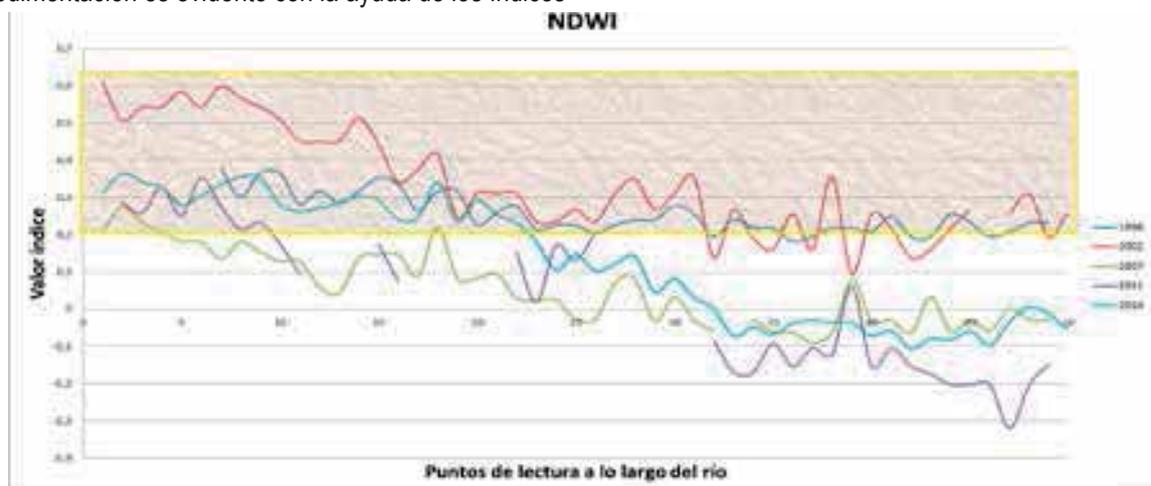


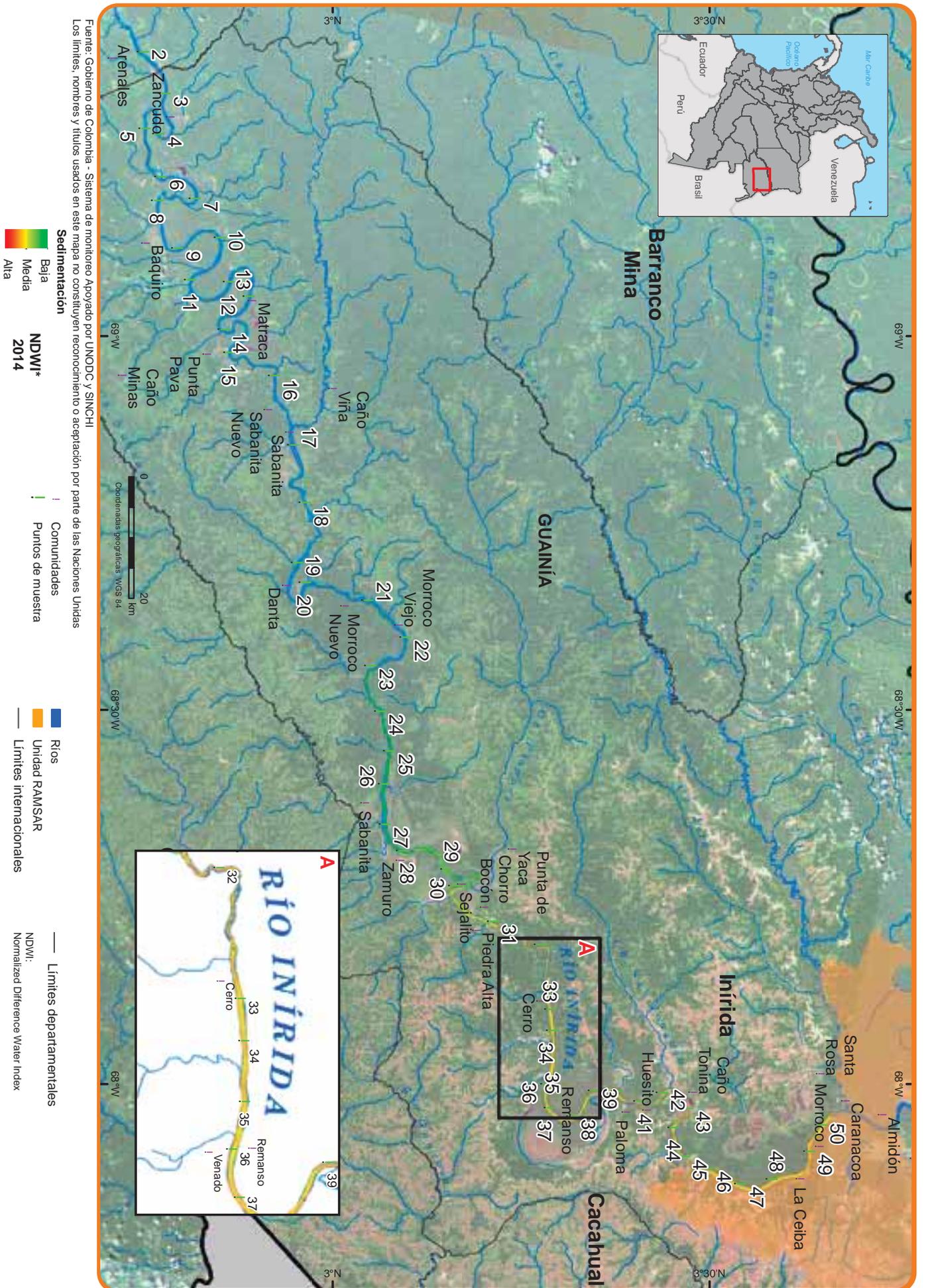
Gráfico 24. Curva de comportamiento espectral de sedimentos en suspensión mediante aplicación de NDWI en zona piloto.

88. La caja amarilla hace referencia al rango de comportamiento "natural" espectral del río, los valores por debajo de dicha caja representan alteración en los sedimentos suspendidos. Los puntos de toma de valores para el gráfico se encuentran distribuidos en la zona de estudio a 5 km entre sí.

Punto de Muestra	COMUNIDAD	NDWI				
		1996	2002	2007	2011	2014
8	Baquiro	0,317	0,568	0,181	0,215	0,355
9		0,353	0,543	0,154	0,232	0,354
10		0,335	0,510	0,129	0,175	0,281
11		0,265	0,451	0,129	0,096	0,263
12		0,317	0,451	0,061	**	0,272
23	Morroco Viejo	0,240	0,235	0,023	0,019	0,181
24		0,277	0,235	0,025	0,171	0,105
25	Chorro Bocón	0,256	0,267	-0,027	0,130	0,148
26		0,195	0,235	-0,026	0,208	0,103
32	Piedra Alta	0,218	0,138	-0,058	-0,083	0,002
33		0,218	0,267	**	-0,169	-0,073
34	Cerro	0,208	0,189	-0,027	-0,169	-0,048
35		0,250	0,161	-0,060	-0,092	-0,069
40	Paloma	0,195	0,255	-0,030	-0,153	-0,072
41		0,208	0,218	-0,029	-0,105	-0,058
44	Caño Tonina	**	0,218	-0,060	-0,203	-0,083
45		**	0,267	-0,028	-0,203	-0,059
46		**	**	-0,058	-0,203	-0,097
47	La Ceiba	**	0,255	0,002	-0,320	-0,035
48		**	0,309	-0,027	-0,203	0,006
49		**	0,192	-0,029	-0,148	-0,014

** Hace referencia a áreas sin información por presencia de nubes en los periodos evaluados.

Tabla 29. Puntos rojos (hot spots) con evidencia de alteración en sedimentos para el índice NDWI.



Mapa 18. Aplicación del índice NDWI para la determinación de alteración de sedimentos en el río Inirida. 2014.

ÍNDICE NDSSI: Para este índice se evidencia que para los años 1996 y 2002 los valores calculados se encontraron dentro del comportamiento natural del río, con excepción en el 2002, en puntos cercanos a las comunidades de Chorro Bocón, Cerro y Paloma. Para el 2007 se evidencia para el índice valores en el umbral de comportamiento normal natural del río en cuanto

a alteración de los sedimentos suspendidos; el 2011 se caracterizó por una acentuación del fenómeno en puntos cercanos a la comunidad de Baquiro, Matraca, Sabanita, Choro Bocón, Cerro y Huesito; para el 2014 las comunidades de Báquiro, Sabanita Nuevo, Morroco Nuevo y más acentuado en las comunidades de Chorro Bocón, Zamuro, Cerro, Paloma, Huesito y Caño Tonina.

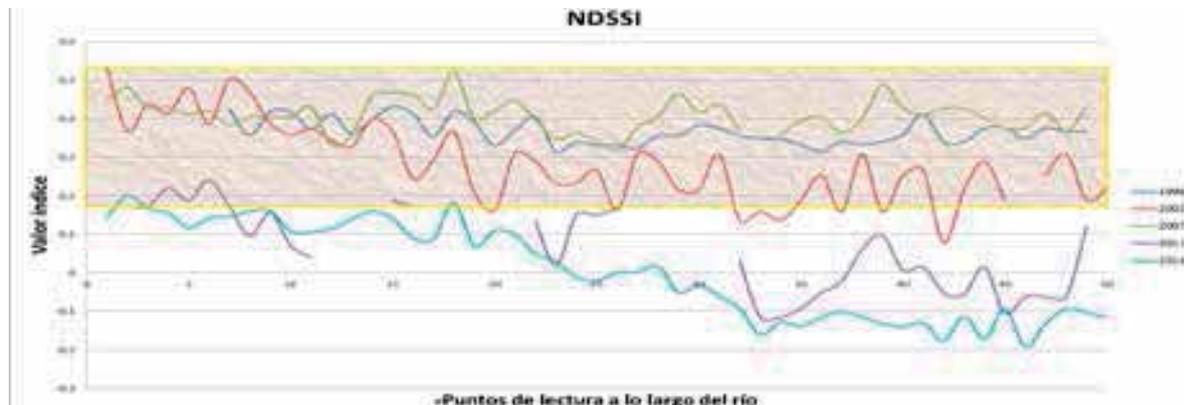
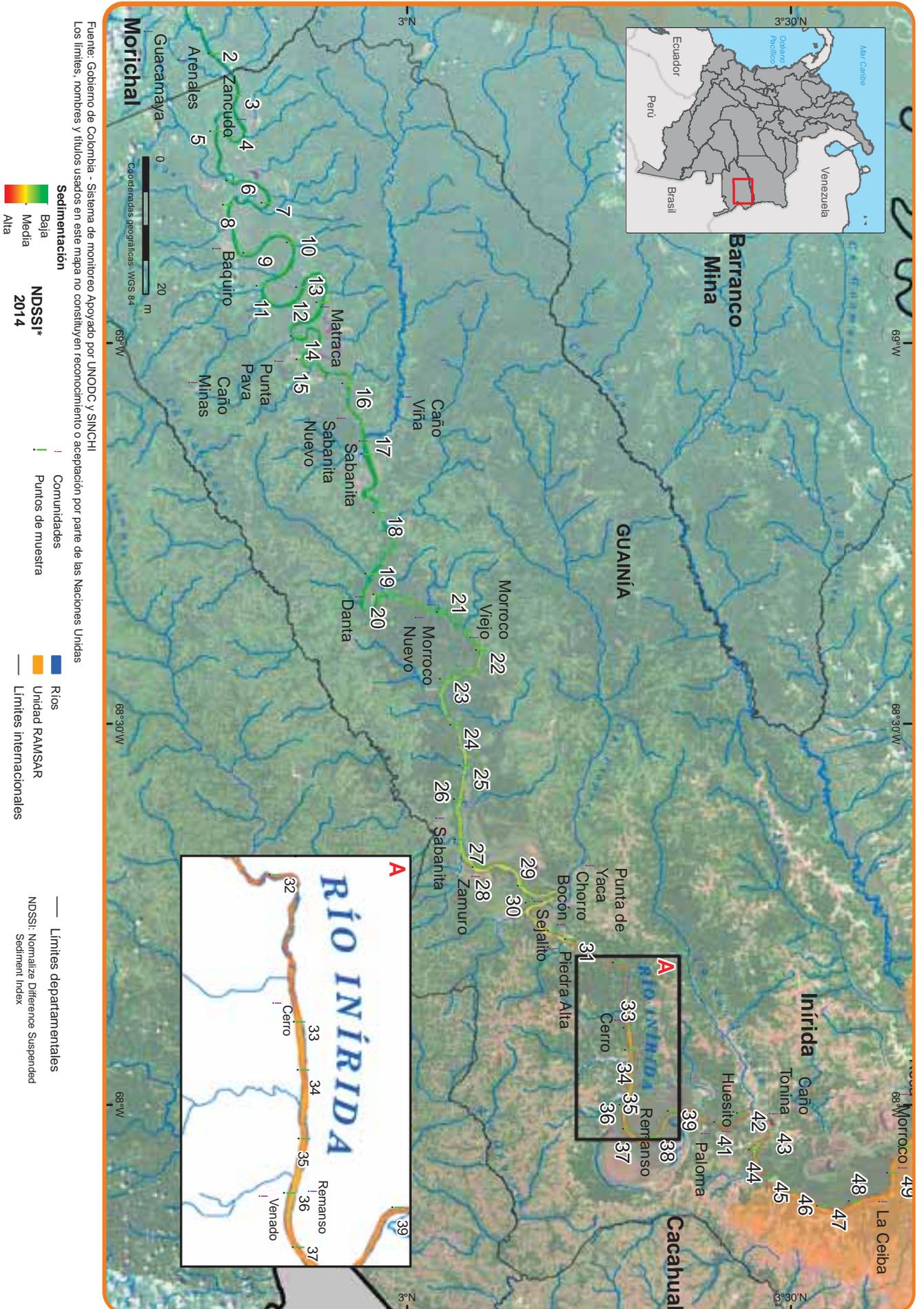


Gráfico 25. Curva de comportamiento espectral de sedimentos en suspensión mediante aplicación de NDSSI en zona piloto.

Punto de Muestra	COMUNIDAD	NDSSI				
		1996	2002	2007	2011	2014
8	Baquiro	0,358	0,468	0,406	0,095	0,160
9		0,418	0,388	0,402	0,156	0,161
10		0,418	0,359	0,406	0,071	0,107
11		0,374	0,374	0,431	0,041	0,106
12		0,412	0,344	0,332	**	0,114
13	Matraca	0,360	0,328	0,358	**	0,139
14		0,399	0,399	0,460	**	0,160
17	Sabanita Nuevo	0,353	0,293	0,427	**	0,087
18	Sabanita	0,419	0,366	0,520	0,140	0,182
19		0,391	0,208	0,401	**	0,069
22	Morroco Nuevo	0,405	0,288	0,395	0,135	0,049
25	Chorro Bocón	0,331	0,266	0,344	0,150	-0,021
26		0,331	0,163	0,317	0,170	0,002
27	Sabanita	0,323	0,310	0,378	**	0,002
28		0,356	0,288	0,406	**	0,018
29	Zamuro	0,356	0,216	0,465	**	-0,051
30		0,383	0,216	0,416	**	-0,032
34	Cerro	0,348	0,137	0,357	-0,116	-0,128
35		0,332	0,189	0,395	-0,093	-0,140
40	Paloma	0,359	0,254	0,428	0,007	-0,141
41		0,412	0,266	0,411	0,015	-0,130
42	Huesito	0,340	0,078	0,427	-0,052	-0,176
43		0,340	0,216	0,427	-0,056	-0,114
44	Caño Tonina	0,375	0,288	0,401	0,015	-0,170
45		0,375	0,189	0,376	-0,105	-0,094
46		0,348	**	0,376	-0,062	-0,191

** Hace referencia a áreas sin información por presencia de nubes en los períodos evaluados.

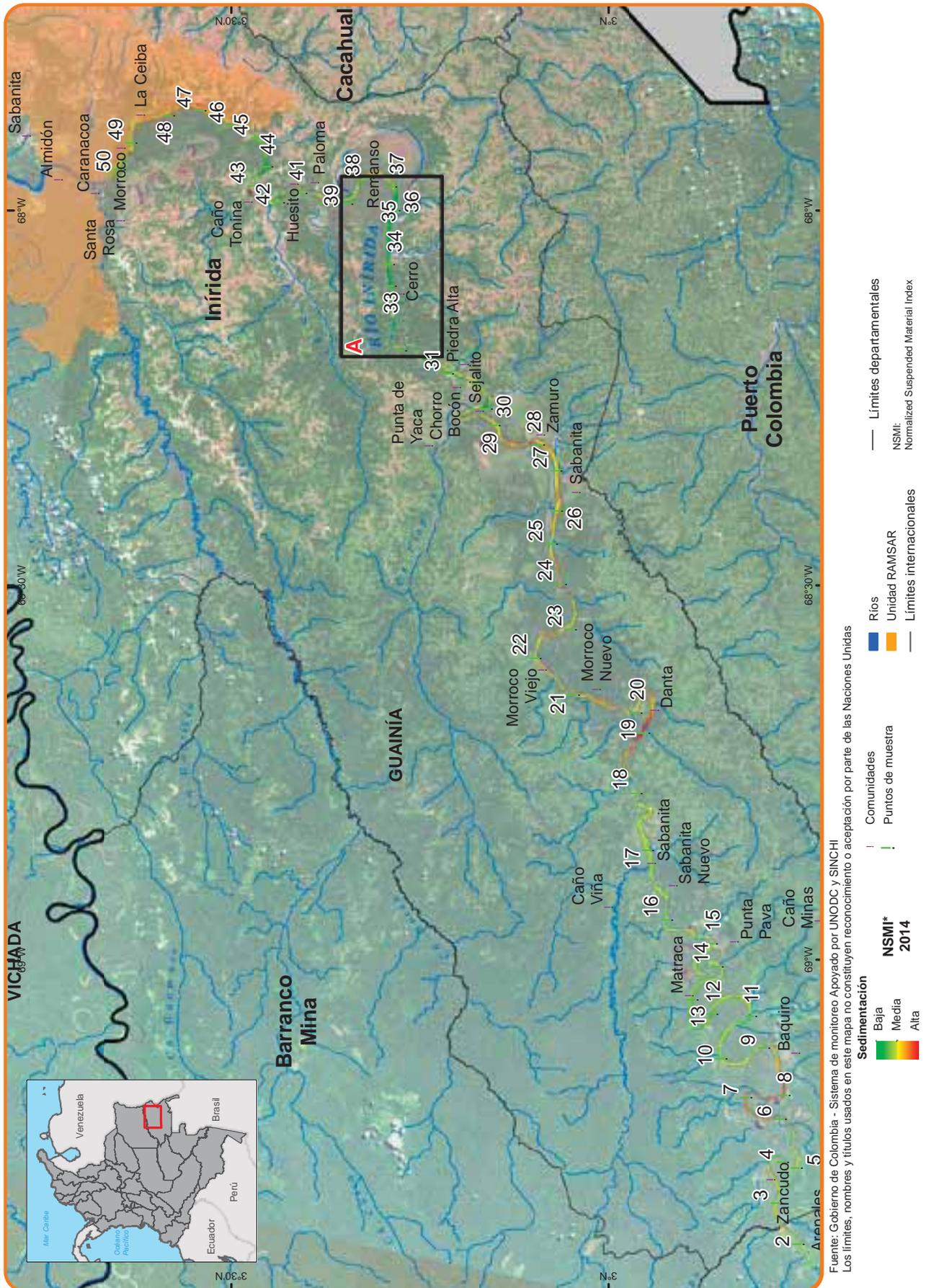
Tabla 30. Puntos rojos (hot spots) con evidencia de alteración en sedimentos para el índice NDSSI.



Mapa 19. Aplicación del índice NDSSI para la determinación de alteración de sedimentos en el río Inirida.

ÍNDICE NSMI: Este índice no evidenció cambios en el 2007 y 2011 en cambio para el 2002 y 2014 marcó alteraciones pero con una distribución atípica a como se evidenció en los otros índices, por este motivo no se recomienda realizar un análisis de este índice su

confiabilidad es distinta a los anteriores. En el mapa se puede observar que la representación en rojo marca valores de sedimentación, pero en esta ocasión relacionados con los meandros.



Mapa 20. Aplicación del índice NSMI para la determinación de alteración de sedimentos en el río Inirida 2014.

ANEXO 4: VISORES GEOGRÁFICOS

Visor 1: Mapa de regalías

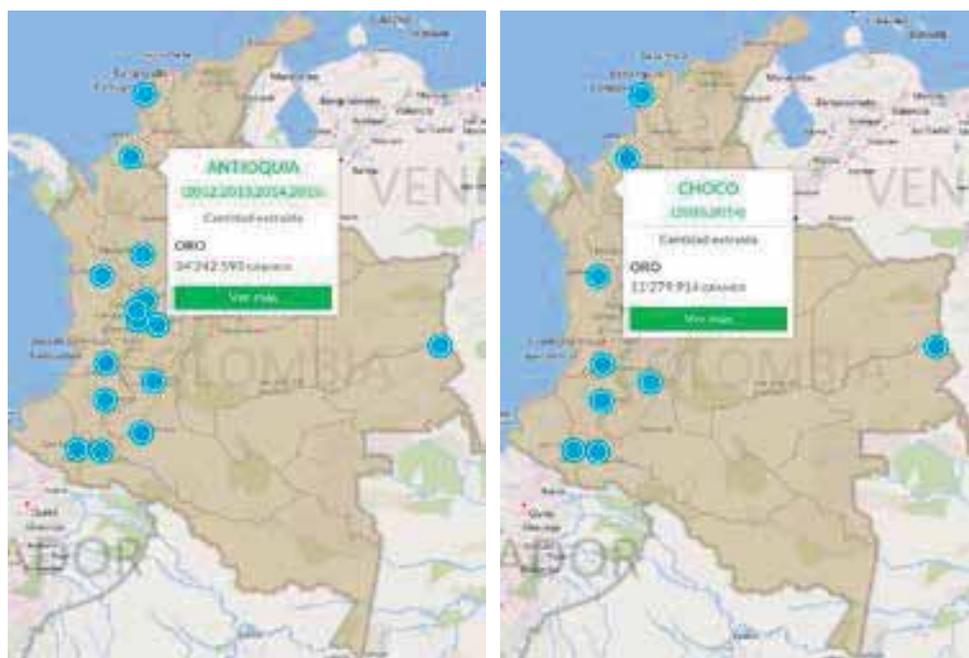
Descripción:

Es una herramienta para la gestión transparente de la actividad Minero Energética, desde la explotación de los recursos naturales, hasta la financiación y ejecución de los proyectos de inversión que benefician a todos los colombianos. Consta de 4 módulos: proyectos, recursos, producción, fiscalización⁸⁹. Los relacionados con minería de oro son:

- Producción: permite conocer la producción de oro (gramos) por departamento y municipio.
- Fiscalización: permite conocer las actividades se han realizado para verificar las explotaciones por departamento y municipio, permite filtrar por oro, oro de aluvión, filón y veta

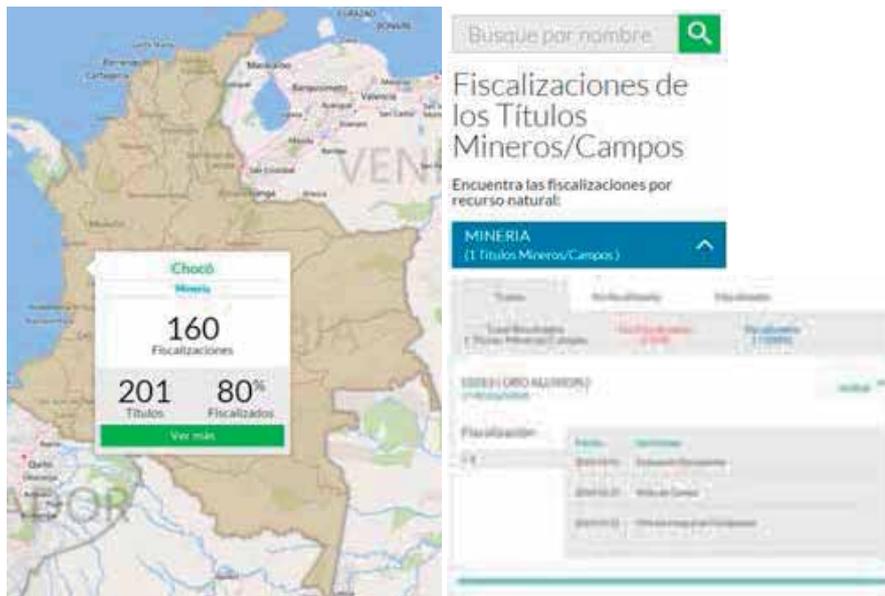
Fuente: DNP – SGR, Producción Minera, Fuente: ANM-Producción, Última actualización: 21/05/2015, Corte de los datos: 31/12/2014

Enlace: <http://maparegalias.sgr.gov.co/#/produccion/> - <http://maparegalias.sgr.gov.co/#/fiscalizacion/>



Vista: de los datos de producción asociados a oro

89. Consulta web <http://maparegalias.sgr.gov.co/#/?zoom=6¢er=4.3344012216447965,-77.76142578125&topLeft=12.907166580077373,-98.668408203125&bottomRight=-4.33651170402878,-56.854443359375>, realizada 06/12/2015.



Al hacer click sobre el boton ver mas se activa una nueva pagina en la cual se puede filtrar la informacion de fiscalizacion de titulos
 Vista: de los datos de fiscalización

Visor 2: Minas y títulos mineros

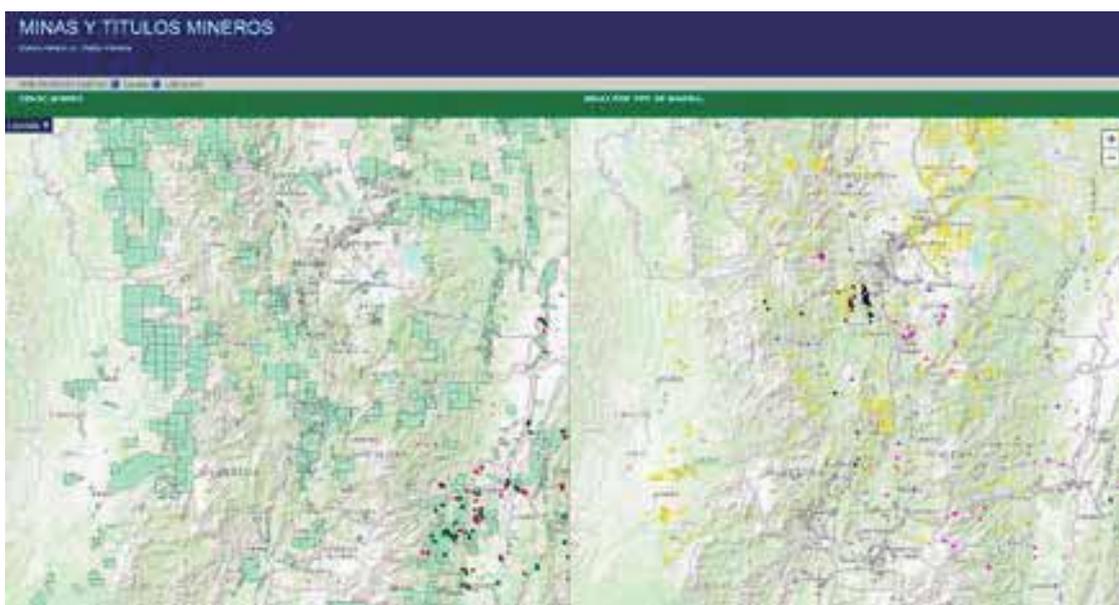
Descripción:

Permite la visualización del censo minero (minas por tipo de mineral) vs títulos mineros.

El Sistema de información minero energético de Colombia -SIMEC está compuesto por 9 módulos: 1) Sistema De Información Eléctrico Colombiano, 2) Sistema De Información Ambiental Minero Energético, 3) Balances, 4) Sistema De Información Minero Colombiano, 5) Sistema De Información De Eficiencia Energética Y Energías Alternativas, 6) Módulo De Documentos, 7) Sistema De Información De Petróleos, 8) Catalogo De Mapas Y 9) Boletines. Información de minería se encuentra en los módulos 2 y 4.

Fuente : Sistema de Información Minero Energético de Colombia -SIMEC

[Enlace: http://sig.simec.gov.co/UPME MI minas/](http://sig.simec.gov.co/UPME_MI_minas/)



Vista del visor geográfico del Sistema de Información Minero.

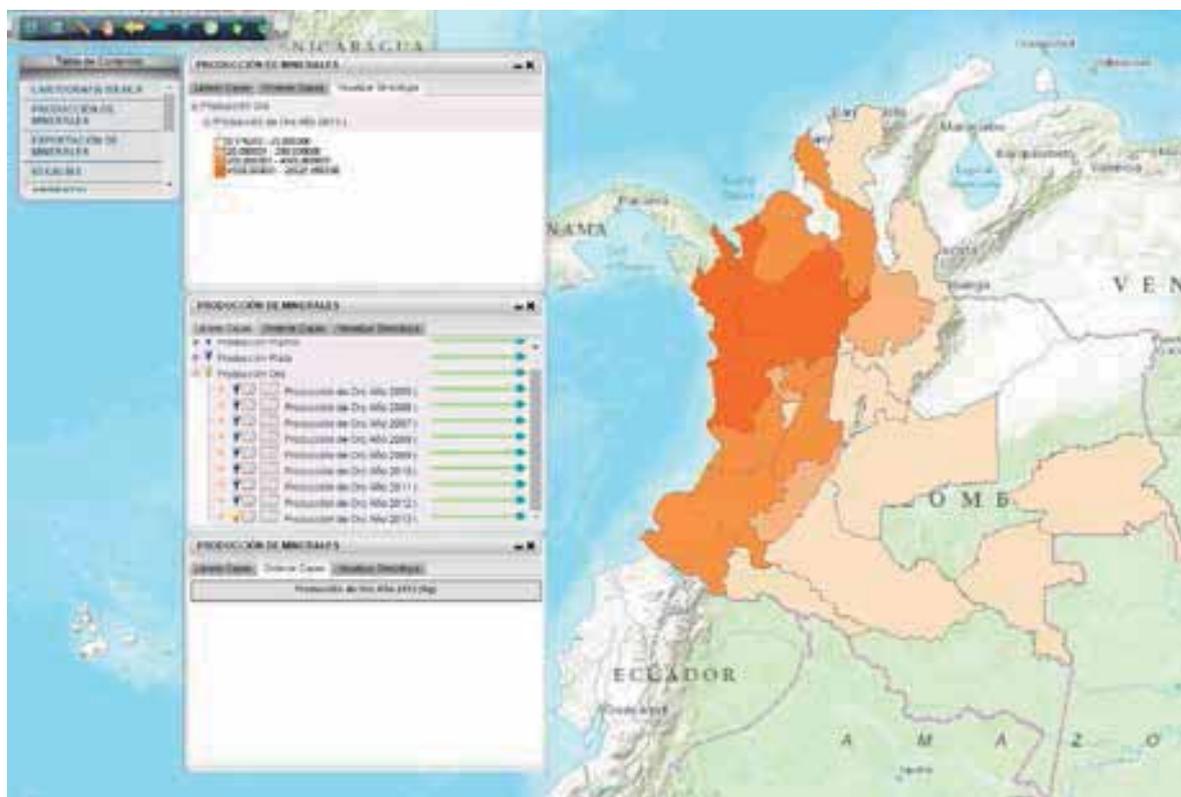
Visor 4: Información geográfica minería

Descripción:

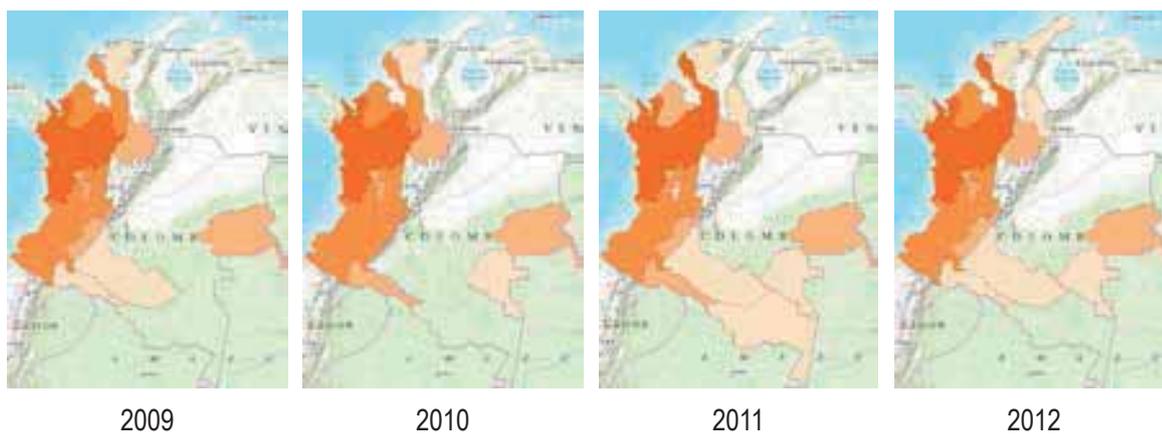
Presenta información de producción, exportación y regalías de minerales.

Fuente Ministerio de Minas y Energía

Enlace: <http://geoportalsme.minminas.gov.co/geoportalsme/34>



Vista del visor geográfico: Producción de oro por año



Visores geográficos relacionados con minería

GLOSARIO

Análisis multitemporal. Es una evaluación de tipo espacial que consiste en identificar no solo los cambios que presenta en sí un fenómeno en particular, sino también en relación con las coberturas terrestres, a través de observaciones o lecturas que se hacen en diferentes periodos de tiempo. [58]

Árbol de decisión. Conjunto de condiciones organizadas en una estructura de guía jerárquica multivía, de tal manera que la decisión final a tomar se puede determinar siguiendo las condiciones que se cumplen desde la raíz del árbol hasta alguna de sus hojas. [51].

Amalgamación. Proceso de aleación del mercurio con otros metales. En el caso de la explotación de oro, se realiza por adición de mercurio a los minerales previamente clasificados (puede ser al interior de estanques de agua o en canalones), proceso en el que se obtiene una pasta combinada (mercurio y oro) que es expuesta al fuego para liberar el mercurio en forma de vapor. [4]

Banda. Intervalo de longitud de onda dentro del espectro electromagnético. Por extensión, se denomina banda a cada uno de los canales de adquisición de datos de un sistema sensor. [46]

Clave de interpretación. Se refiere a la característica o combinación de características, que posibilitan la identificación de un objeto particular, por ejemplo el tamaño, la forma, el tono, o el color. [59]

Cobertura terrestre. Formada por diferentes tipos de objetos o cuerpos que se encuentran sobre la superficie terrestre (vegetación, suelos, agua, entre otros) que reciben la señal energética procedente de la fuente

de energía y la reflejan o emiten de acuerdo a sus características físicas y químicas. [60]

Color. Elemento básico de la interpretación visual de imágenes, se origina de las diferentes longitudes de onda que captan los ojos como característica de la reflectividad selectiva de las cosas. Por ejemplo: si un objeto refleja en longitudes de onda 0.5 a 0.6 mm, entonces lo que se vea será de color verde. [60]

Composición a color. Proceso de formación de una imagen en color mediante la composición de tres bandas, en donde a cada una de las cuales se les hace corresponder uno de los cañones primarios (rojo, verde y azul, RGB). [61]

Corema. Representaciones gráficas muy esquemáticas de los elementos que conforman un espacio y de las relaciones que se establecen entre ellos, basadas en sencillas figuras geométricas, y realizadas con la finalidad de crear un modelo espacial para el análisis geográfico. Esta técnica es muy empleada en varias ramas de la geografía humana. [62]

Erial. Zonas secas sujetas a erosión eólica con vegetación incipiente de bajo desarrollo, sin uso. [63]

Filtro. Operador local mediante el cual se resalta o suprime, de forma selectiva, la información contenida en una imagen para destacar algunos de sus elementos, o también para ocultar valores anómalos [43]

Forma: Se define como “configuración externa de algo” [64]. La forma de un determinado objeto es una clave determinante para identificarlo, ya que su contorno permite asimilarlo a alguno de los patrones que resultan familiares. [46]

Georreferenciación. Es el procedimiento mediante el cual se dota de validez cartográfica a una imagen digital, corrigiendo geométricamente la posición de las celdas y atribuyéndoles coordenadas en algún sistema de referencia [65].

Hot spot. Anglicismo utilizado con frecuencia en idioma español, es un punto o zona de alta actividad dentro de un área mayor de baja actividad. El término se aplica a diferentes cosas en diferentes contextos.

Imágenes de Satélite. Son productos de sensores pasivos y trabajan en el rango óptico del espectro electromagnético de 0.4 μm a 15 μm . El sistema de captura de información se combina con una óptica similar a la de la fotografía y un sistema de detección electrónica. [43]

Índice espectral. Combinaciones algebraicas de dos o más bandas que sirven para realzar espectralmente determinada cobertura. El resultado de estas operaciones permite obtener una nueva imagen donde se destacan determinados píxeles relacionados con parámetros de la cobertura analizada. [66]

Interpretación. Formalmente interpretación se define como “explicar o declarar el sentido de algo”. [64]. En el contexto de la teledetección, la interpretación consiste en la utilización de técnicas, sistemas y procesos de análisis de imágenes por personal capacitado, para dar información segura y detallada acerca de los objetos naturales o artificiales contenidos en la superficie cuya imagen se analiza, y determinar los factores que implican la presencia, condición y uso de ellos. [67]

Jagüey. Depresión sobre el terreno que permite almacenar agua proveniente de escurrimientos superficiales. [68]

LandSat. Programa civil de información satelital. La constelación de satélites LANDSAT (LAND=tierra y SAT=satélite), que inicialmente se llamaron ERTS (Earth Resources Technology Satellites), fue la primera misión de los Estados Unidos para el monitoreo de los recursos terrestres. Su mantenimiento y operación está a cargo de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA) en tanto que la producción y comercialización de las imágenes depende del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). [43].

Lixiviación. La lixiviación es una técnica ampliamente utilizada en metalurgia extractiva que convierte los metales en sales solubles en medios acuosos. Proceso basado en la utilización de estanques con soluciones de cianuro y medios filtrantes, donde se agregan las colas de amalgamación mezcladas para facilitar que por

gravedad se generen precipitados de cianuración que posteriormente deben ser fundidos a fuego lento para finalmente separar el oro. [69]

Llanura aluvial. Zonas planas o ligeramente planas que bordean un río, que se han formado debido a la acumulación de materiales sedimentarios derivados de los procesos fluviales donde hay flujos en movimiento. [70]

Modelo Digital de Elevación - DEM. Estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno. [71]

Multiespectral. Imagen registrada ópticamente en más de un espectro o intervalo de longitud de onda. Cada imagen individual es usualmente de la misma área física y escala pero de una diferente banda espectral. [72]

Nivel digital. Valor numérico discreto que traduce la intensidad radiométrica recibida por un sensor electro-óptico. Se le conoce también como nivel de gris, luminancia, número digital, valor de pixel, etc. [73]

Pancromática. Imagen colectada dentro del amplio rango de longitudes de onda visibles pero producida en blanco y negro. El término ha sido históricamente referido a la emulsión fotográfica en blanco y negro sensible a todos los colores visibles, aunque no necesariamente de forma uniforme. [72]

Pan-Sharpning: Es el acrónimo para “Panchromatic sharpening”, proceso en el cual se emplea una imagen pancromática de alta resolución para ajustar una imagen multispectral incrementando su resolución espacial.

Patrón. Arreglo espacial de un conjunto o asociación de objetos similares, así como la repetición sistemática de formas. Tiene en cuenta la organización espacial particular de los objetos de una cobertura. [65]

Percepción remota (teledetección). Consiste en el “proceso de adquisición de información a distancia, sin que exista contacto físico entre la fuente de información (objeto) y el receptor de la misma (sensor)”. [42]

Procesamiento Digital de Imágenes de Satélite. Disciplina que desarrolla las bases teóricas y algorítmicas mediante las cuales puede extraerse información del mundo real, de manera automática, a partir de una imagen observada. Tal información puede relacionarse con el reconocimiento de objetos, descripciones tridimensionales, posición y orientación de los mismos, o con la medición de cualquier

propiedad espacial tal como la distancia entre dos puntos o la sección transversal del objeto. [67]

Proyección cartográfica. Sistema de representación gráfica que establece una relación ordenada entre los puntos de la superficie curva de la Tierra y los de una superficie plana (mapa), para lo cual utiliza transformaciones matemáticas [46]

Puntos de control: Elementos geográficos fijos y localizables con precisión en imagen y documento de referencia para ser empleados durante la etapa de la georreferenciación. [46]

Radiancia. Es la cantidad de energía radiada desde un objeto en la unidad de tiempo por cada unidad de ángulo sólido y de unidad de superficie del objeto, perpendicular a la dirección de propagación. [46]

Raster. Forma de tratamiento y representación espacial de las entidades mediante la disposición de celdas o píxeles en forma de matriz numérica de Niveles Digitales [46]

Reflectancia. Medida de la capacidad de una superficie para reflejar energía electromagnética en una determinada longitud de onda. Es la razón existente entre el flujo reflejado y el incidente sobre dicha superficie. Aplicado al espectro visible, suele hablarse de albedo. [46]

Resolución espacial. Este término designa al objeto más pequeño que puede ser distinguido sobre una imagen [43]. En otras palabras, es la distancia que corresponde a la unidad mínima de información incluida en la imagen (píxel). Así, a menor tamaño del píxel mayor será la resolución espacial, lo que implica que el sensor obtendrá más detalle de los objetos.

Resolución espectral. Indica el número y ancho de las bandas espectrales que puede discriminar el sensor [74]. Entre más bandas del espectro discrimine un sistema sensor, mayor será su resolución espectral. Esta particularidad facilita la identificación de ciertas características en una imagen, ya que discrimina información dependiendo de la longitud de onda entre el visible y el infrarrojo, lo que permite determinar firmas espectrales de las coberturas terrestres. [46]

Resolución radiométrica. Se refiere a la capacidad del sensor para detectar las variaciones de luz o de radiación traducidas en niveles de gris. De esta manera, se puede concluir que entre más bits, más tonos de gris equivalentes a una mayor resolución radiométrica. Esta característica permite que haya el suficiente contraste

en las imágenes, haciendo más fácil la discriminación de patrones. [43]

Resolución temporal. Se refiere a la periodicidad con la que el sensor adquiere imágenes de la misma porción de la superficie terrestre. Este ciclo está en función de las características orbitales de la plataforma (la altura, la velocidad, el ángulo, la hora de captura, la inclinación), así como el diseño del sensor. [43]

Respuesta espectral. También definida como firma espectral o signatura espectral, es la expresión de un objeto de la superficie terrestre que permite reconocerlo en una imagen satelital de acuerdo con las características propias que configuran su interacción con la energía electromagnética y con sus longitudes de onda. [46]

Shapefile. Formato de representación vectorial desarrollado por ESRI (Environmental Systems Research Institute). Consta de un número variable de archivos, en los que se almacena digitalmente la localización de los elementos geográficos (archivo shape *.shp) junto con sus atributos o características (tabla dBase *.dbf).

Sistema de referencia: conjunto de convenciones y conceptos adecuadamente modelados que permiten definir la orientación, ubicación y escala de tres ejes coordenados (x,y,z). [65]

Sistemas de Información Geográfica (SIG): En su sentido más amplio, un SIG es un grupo de procedimientos utilizados para almacenar y manipular datos referenciados geográficamente, ya sea en forma manual o basada en computador. [75]

Sistema de Referencia Mundial (Worldwide Reference System - WRS). Es un sistema global de numeración que permite al usuario obtener la ubicación de una imagen satelital obtenida por los satélites Landsat de cualquier parte del planeta, especificando el par ordenado de la escena (imagen) que está definido por el PATH (órbita aproximada del satélite) y ROW (centro nominal de la escena o imagen). [46]

Tamaño. El tamaño de un objeto es uno de los más útiles indicios que llevan a su identificación. Por la medida de un objeto, el intérprete puede eliminar de su consideración gran parte de las posibilidades de confusión. [67]

Territorio afectado. Grillas del marco de áreas de 1km* 1 km que presentan EVOA de acuerdo a la metodología establecida basada en percepción remota.

Textura. La textura de una imagen está referida al contraste espacial entre los distintos elementos presentes en la imagen, y procede de la relación entre el tamaño de los objetos y la resolución del sensor. Se relaciona con la aparente rugosidad o suavidad de una región de la imagen. [67]

Tono. Se define como los grados de variación de gris que existe entre el negro y el blanco [67]. Esta característica hace referencia a la intensidad de energía recibida por el sensor para una determinada banda del espectro, es decir, se relaciona con el comportamiento espectral de las distintas coberturas, para la banda particular del espectro sobre la que se está trabajando. [65]

Valle aluvial. Llanuras o depresiones alargadas e inclinadas por las cuales generalmente se da el curso de un río, bien sea hacia el océano o hacia otros ríos de mayor jerarquía, y se caracterizan por situarse en medio de montañas u otras formaciones de mayor altura. [70]

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ayuntamiento de Astorga, [En línea]. Available: <http://www.rutadeloro.com/>.
- [2] MME, «Métodos de explotación minera:Vetas y Aluvión,» Bogotá, 1988.
- [3] CIPRO Centro de inteligencia prospectiva, Redescubriendo la minería aurífera aluvial, Bogotá, 2014.
- [4] PNUMA, MADS, Sinopsis nacional de la minería aurífera artesanal y de pequeña escala, Bogotá, 2012.
- [5] MinMinas, «Glosario técnico minero,» Bogota, 2003.
- [6] L. Perafán, «Impacto de la minería de hecho en Colombia,» Bogotá, 2013.
- [7] UPME, «Producción más limpia en la minería de oro en Colombia,» Bogotá, 2007.
- [8] A. D. Lamb, «Earth observation technology applied to mining-related environmental issues,» *Mining Technology*, vol. 109, nº 3, pp. 153-156, 2000.
- [9] D. B. G. B. C. & G. D. Paull, «Monitoring the environmental impact of mining in remote locations through remotely sensed data,» *Geocarto International*, vol. 21, nº 1, pp. 33-42, 2006.
- [10] «www.simco.gov.co,» [En línea]. Available: www.simco.gov.co/Portals/0/.../COMPETENCIA_DE_ALCALDES.pdf.
- [11] UNODC-SIMCI, Monitoreo de Cultivos de Coca 2014, Bogotá: UNODC Colombia, 2015.
- [12] Procuraduría General de la Nación, «Minería Ilegal en Colombia. Informe Preventivo,» Bogotá, 2012.
- [13] G. Méndez, «www.mincit.gov.co,» 2014. [En línea]. Available: www.mincit.gov.co/mintranet/descargar.php?id=76086.
- [14] Minjusticia- UNODC, Caracterización regional de la problemática asociada a las drogas ilícitas en el departamento de Chocó, 2014.
- [15] SPDA, «La realidad de la minería ilegal en países amazónicos,» 2014.
- [16] UNDP, «Informe biodiversidad 2014,» 2014.
- [17] IDEAM-MADS, «Sistema de Monitoreo de bosques y carbono,» Bogotá, 2015.
- [18] e. a. Dourojeanni A, «Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica,» 2002.
- [19] IDEAM, Estudio Nacional del Agua, 2014.
- [20] A. Cuevas, «Río Quito, la vida fragmentada por la minería,» *El Espectador*, 2015.
- [21] Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, «Plan Estratégico Macrocuena Magdalena Cauca,» 2013.
- [22] «Esquema de Ordenamiento Territorial Municipio de Nechí,» [En línea]. Available: http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/eot_esquema%20de%20ordenamiento%20territorial_nechi_antioquia_2000.pdf
- [23] ANM, «www.anm.gov.co,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.anm.gov.co/?q=agencia/mision>.
- [24] ANLA, «www.anla.gov.co,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.anla.gov.co/funciones-anla>.

- [25] MME, «<http://www.simco.gov.co>,» [En línea]. Available: http://www.simco.gov.co/Portals/0/archivos/Cartilla_Minería.pdf. [Último acceso: 10 10 2015].
- [26] Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, Minería aurífera en Madre de Dios y contaminación con mercurio, Lima: Deposito legal en la Biblioteca Nacional del Perú, 2011.
- [27] H. d. I. M. C. & C. E. (. Hernández, Manejo y Conservación de Recursos Forestales, Santiago de Chile: Pirámide Editions, 2007.
- [28] C. Pérez y Á. Muñoz, Teledetección: Nociones y Aplicaciones, Salamanca, España: Universidad de Salamanca, 2006.
- [29] A. H. X. C. & Y. J. A.K.M., Development of Remote Sensing Based Index for Estimating/Mapping Suspended Sediment Concentration in River and Lake Environments, 2010.
- [30] N. E. & R. Kilham, «Amazon River time series of surface sediment concentration from MODIS,» *International Journal of Remote Sensing*, vol. 10, nº 32, pp. 2659-2679, 2011.
- [31] L. Montalvo, «Spectral analysis of suspended material in coastal waters: A comparison between band math equations,» 2011.
- [32] S. McFeeters, «Using the normalized difference water index (NDWI) within a geographic information system to detect swimming pools for mosquito abatement: A practical approach,» *Remote Sensing*, vol. 5, pp. 3544-3561, 19 July 2013.
- [33] A. Hossain, Y. Jia y X. Chiao, «Development of Remote Sensing Based Index for Estimating/Mapping Suspended Sediment Concentration in River and Lake Environments. International Symposium on Ecohydraulics in Seoul Korea.,» *The University of Mississippi*, 2006.
- [34] G. Vivek Kumar, G. Piyush Kumar, M. P y A. M, «Assessment of Surface Water Dynamics in Bangalore Using WRI, NDWI, MNDWI, Supervised Classification and K-T Transformation,» *Aquatic Procedia*, vol. Volume 4, pp. 739-746, 2015.
- [35] MinJusticia-UNODC, Caracterización regional de la problemática asociada a las drogas ilícitas en el departamento de Chocó., Bogotá, 2014.
- [36] A. M. C. Guarnizo, «Rio Quito, la vida fragmentada por la minería,» 27 08 2015. [En línea]. Available: www.elespectador.com/files/especiales/rioquito6/index.htm.
- [37] J. S. Herrera, «El desolador Panorama de la minería ilegal en el Chocó,» *El Tiempo*, 11 08 2014.
- [38] FAO, «Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos.,» 1997.
- [39] a. M. Carl Goodwin, «Appearance and water quality of turbidity plumes produced by dredging in Tampa Bay,» 1984.
- [40] CATIE, «Calidad y riesgo de contaminación de las aguas superficiales en la,» Turrialba, 2003.
- [41] M. Mitchel, K. Bixby y W, Manual de campo de Proyecto del Río: una guía para monitorear la calidad del agua en el Río Bravo, USA, 1991.
- [42] A. Montoya, Percepción remota y procesamiento digital de imágenes, Bogotá: CIAF, 1996.
- [43] E. Chuvieco Salinero, Teledetección Ambiental: La Observación de la Tierra Desde el Espacio, Madrid: Ariel, 2006, p. 586.
- [44] IGAC, «www.IGAC.gov.co,» [En línea]. Available: www.IGAC.gov.co.
- [45] M. Á. Menéndez y V. Núñez, El uso de los Sensores Remotos en los Recursos Naturales. La Fotografía Aérea y la Fotointerpretación, Universidad Nacional de Salta, 2009.
- [46] E. Chuvieco, Fundamentos de Teledetección espacial, Madrid: Ediciones Rialp, S.A., 1996.
- [47] UNODC-SIMCI, «Evaluación de la sucesión vegetal en áreas intervenidas por el PECIG,» 2014.
- [48] C. Delgado, S. Arango y A. Romero, «Una propuesta sistemática para el análisis de la productividad de un proceso minero aurífero colombiano,» *Facultad de ingeniería -Universidad de Antioquia No. 72*, 2014.
- [49] O. García y M. Molina, Avances en la solución de impactos ambientales causados por la minería aurífera del Nordeste Antioqueño, Edgar Berrezueta y María José Domínguez, 2011.
- [50] Instituto geológico minero de España, Técnicas aplicadas a la caracterización y aprovechamiento de recursos geológicos mineros: Procesos experimentales VOL III, Oviedo, 2012.

- [51] J. Hernández - Orallo, *Introducción a la minería de datos*, Pearson, 2004.
- [52] UNODC-SIMCI, «Monitoreo de cultivos de coca 2005,» Bogotá, 2005.
- [53] R. Cano, F. Herrera y M. Lozano, «Extracción de modelos predictivos e interpretables en conjuntos de datos de tamaño grande mediante la selección de conjuntos de entrenamiento,» Granada, 2005.
- [54] A. Berger, «UCEMA,» 2007. [En línea]. Available: <http://www.ucema.edu.ar/u/aberger/Arboles/Arboles.pdf>.
- [55] DANE, «Encuesta Experimental Nacional de Desempeños Agropecuario-ENDA,» 2008.
- [56] MME, «Censo Minero departamental 2010-2011,» 2012.
- [57] ANM, «www.anm.gov.co,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.anm.gov.co/?q=agencia/mision>.
- [58] Scanterra, «[scanterra.com.ar](http://www.scanterra.com.ar),» 2015. [En línea]. Available: http://www.scanterra.com.ar/conozca_mas.html#espectro.
- [59] F. Sabins, *Remote sensing*, New York, 1996.
- [60] «[IGAC.gov.co](http://igac.gov.co),» 2015. [En línea]. Available: http://geoservice.igac.gov.co/contenidos_telecentro/fundamentos_pr-semana2/index.php?id=11.
- [61] S. Aronoff, *Remote sensing for GIS managers*, New York: Esri Press New York, 2005, p. 487.
- [62] L. Martínez, «Ecured,» 2008. [En línea]. Available: <http://www.ecured.cu/index.php/Corema>. [Último acceso: 21 12 2015].
- [63] OEA, *Plan Integral de Desarrollo de los Recursos Hídricos de la Provincia de Loja*, 1994.
- [64] RAE, «<http://lema.rae.es/drae/srv/search?key=interpretar>,» 2015. [En línea].
- [65] IGAC, «Instituto Geográfico Agustín Codazzi,» 2015. [En línea]. Available: http://geoservice.igac.gov.co/contenidos_telecentro/fundamentos_sig/cursos/sem_2/uni2/index.php?id=2.
- [66] I. Gómez y P. Martín, *Estudio comparativo de Índices Espectrales para la cartografía de áreas quemadas con imágenes MODIS*, Granada, 2006, pp. 883-894.
- [67] M. Camacho y H. Melo, *Interpretación visual de imágenes de sensores remotos y su aplicación en levantamientos de cobertura y uso de la tierra*, Bogotá: Instituto Geografico Agustin Codazzi, 2005.
- [68] SAGARPA, *Ollas de agua, jagüeyes, cajas de agua o Aljibes*, México, 2009.
- [69] MADS, *Diagnóstico y proyecciones de la gestión minero ambiental para las regiones auríferas de Colombia*, Bogotá, 2002.
- [70] Biblioteca del Congreso Nacional de Chile - BCN, «Glosario de términos geográficos,» 2013. [En línea]. Available: http://siit2.bcn.cl/glosario/index_html.
- [71] A. Felicísimo, «El modelo digital de elevaciones,» 2004. [En línea]. Available: http://www6.uniovi.es/~feli/CursoMDT/Tema_2.pdf. [Último acceso: 21 12 2015].
- [72] MicroImages, «Glosario para el Análisis Geoespacial,» 2006. [En línea]. Available: <http://es.scribd.com/doc/7681877/Glosario-Para-Analisis-Geoespacial#scribd>.
- [73] J. R. Jensen, *Remote sensing of the environment: an Earth Resources Perspective*, Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 2007.
- [74] W. H. Bakker, Janssen, LLF, Weir, M, Gorte, BH, Pohl, C, Woldai, T, Horn, JA y Reeves, CV, *Principles of remote sensing: an introductory textbook.*, Tercera Edición ed., ITC Educational Textbook Series, 2004.
- [75] Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, *Proyecto Bosques Nativos y Areas Protegidas Argentina. Manual de Teledetección*, 2004.
- [76] PNUMA, MADS, «Sinopsis nacional de la minería aurífera artesanal y de pequeña escala,» Bogotá, 2012.
- [77] Barreto, *Guía de legalización de la minería artesanal y de pequeña escala (MAPE)*, 2011.

- [78] «<http://www.criminalistica.com.mx>,» [En línea]. Available: <http://www.criminalistica.com.mx/areas-forenses/criminalistica/104-las-evidencias>.
- [79] D. Rossiter, Basic concepts and procedures on land evaluation, 1994.
- [80] F. Sabins, Remote sensing, New York, 1996.
- [81] J. Aristizabal, «Estudio de impacto ambiental para la explotación minera informal de oro de aluvión a pequeña escala sobre el río Saldaña, departamento del Tolima, Colombia. Trabajo de grado, Especialización en Gestión Ambiental y Evaluación de Impacto Ambiental,» 2013.
- [82] IIAP y M. d. Ambiente, «Minería aurífera en Madre de Dios y contaminación con mercurio: Una bomba de tiempo,» 2011.
- [83] L. Ortego, «Técnicas de dragado en ingeniería marítima,» España, 2003.
- [84] SAGARPA, Ollas de agua, jagüeyes, cajas de agua o Aljibes, México, 2009.
- [85] OEA, «Plan Integral de Desarrollo de los Recursos Hídricos de la Provincia de Loja,» 1994.
- [86] UPME, «<http://www.upme.gov.co>,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.upme.gov.co/QUpme.html>.
- [87] IDEAM, 2010. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D.C. , 75p
- [88] «Tierraminada,» 10 2015. [En línea]. Available: <https://sites.google.com/site/tierraminada/>.
- [89] UPME, «Plan Nacional de Desarrollo Minero al 2014,» 2012.
- [90] UPME, «<http://www.upme.gov.co>,» 10 2015. [En línea]. Available: http://www.upme.gov.co/Docs/Proceso_Minero_Col.pdf.
- [91] MME, 12 11 2015. [En línea]. Available: <https://www.minminas.gov.co/legalizacion-minera>.
- [92] Corte Constitucional, «<http://www.corteconstitucional.gov.co>,» 10 10 2015. [En línea]. Available: <http://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/1993/T-361-93.htm>.
- [93] DANE, COLOMBIA - Encuesta Experimental Nacional de Desempeño Agropecuario - ENDA, 2008.
- [94] IGAC-CIAF, «Manual de prácticas de percepción remota con el programa ERDAS IMAGINE 2011,» Bogotá, 2012.
- [95] MME, «<https://www.minminas.gov.co>,» [En línea]. Available: <https://www.minminas.gov.co/sistema-de-informacion-minera>.
- [96] WWF, «www.org.co,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.wwf.org.co/?231931/Estrategia-REDD>.
- [97] Straeler.A, Geología física, Barcelona: Omega, 1997.
- [98] L. Ibañez.A, «Los municipios mineros en Colombia: características e impactos sobre el desarrollo,» 2013.
- [99] Banco de Occidente, «imeditores,» 2008. [En línea]. Available: <http://www.imeditores.com/banocc/amazonia/cap5b.htm>. [Último acceso: 2015].
- [100] D. ., H. T. Borsdorf.A, Espacios naturales de latinoamerica, 2012.
- [101] Galindo G., Espejo O. J., Ramírez J.P., Forero C., Valbuena C.A., Rubiano J. C., Lozano R.H., Vargas K.M., Palacios A., Palacios S., Franco C.A., Granados E.I., Vergara L. K. y Cabrera E., «Memoria técnica de la Cuantificación de la superficie de bosque natural y deforestación a nivel nacional. Actualización Periodo 2012 – 2013,» Bogotá, 2014.
- [102] ANM, «Guía de Servicios de la Agencia Nacional de Minería,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.anm.gov.co/?q=guia-de-servicios-de-la-agencia-nacional-de-mineria>.
- [103] Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico, «Plan Estratégico de la Macrocuenca del Pacífico Colombiano,» Quibdó, 2013.

- [104] Fiuza Borges, E., Souza dos Anjos, C., & Santana Santos, P. (2011). Detection of suspended sediments in Grande River and Ondas River - Bahía/Brazil. Bahía, Brazil: Federal University of Bahia, Institute of Environmental Sciences and Sustainable Development.

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1.	Densidad de EVOA en Colombia, 2014.....	33
Mapa 2.	Territorio afectado por EVOA y cultivos de coca, 2014.....	36
Mapa 3.	Parques Nacionales Naturales y EVOA, 2014.....	39
Mapa 4.	EVOA detectadas en relación con buffers de influencia en los Parques Farallones de Cali y unchique.	41
Mapa 5.	EVOA detectadas en relación con buffers de influencia en el Parque Nacional Natural Serranía de los Churumbelos.	42
Mapa 6.	Subcuencas hidrográficas y EVOA, 2014.....	48
Mapa 7.	Distribución departamental de EVOA (ha) en relación con figuras autorizadas por la ley para explotación de oro.....	56
Mapa 8.	Distribución de puntos de muestra a lo largo del río Inírida 1996.....	68
Mapa 9.	Detección de la alteración de sedimentos suspendidos mediante índices espectrales (MNDWI – 2014).	71
Mapa 10.	Detección de la alteración de sedimentos suspendidos mediante índices espectrales (MNDWI – 2014) con superposición de cartografía social.....	74
Mapa 11.	Área afectada acumulada por periodo. Región Pacífico.....	79
Mapa 12.	Densidad de EVOA en la región de estudio.....	82
Mapa 13.	Territorio afectado por EVOA y cultivos de coca 2014, Región Pacífico.....	86
Mapa 14.	Consejos comunitarios de comunidades afrodescendientes, EVOA y subcuencas en el periodo de estudio. Pacífico.....	89
Mapa 15.	Riesgo de afectación por flujos y acumulación de sedimentos por actividades de explotación de oro de aluvión (Pacífico norte).	101
Mapa 16.	Riesgo de afectación por flujos y acumulación de sedimentos por explotación de oro de aluvión (Pacífico sur).	105
Mapa 17.	Densidad EVOA 2014 y sitios de encuesta censo minero 2011, modalidad explotación con maquinaria en tierra y con maquinaria en agua.....	124
Mapa 18.	Aplicación del índice NDWI para la determinación de alteración de sedimentos en el río Inírida. 2014.....	142
Mapa 19.	Aplicación del índice NDSSI para la determinación de alteración de sedimentos en el río Inírida.	144
Mapa 20.	Aplicación del índice NSMI para la determinación de alteración de sedimentos en el río Inírida 2014.....	145

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	EVOA con uso de maquinaria en tierra (hectáreas) por departamento.	31
Tabla 2.	EVOA detectada en Parques Nacionales Naturales (ha).	38
Tabla 3.	Conectividad fluvial entre EVOA detectadas y PNN.	40
Tabla 4.	Los 10 Consejos comunitarios de comunidades afrodescendientes con mayor área de EVOA en el territorio nacional.	44
Tabla 5.	Zonas y Subzonas Hidrográficas afectadas con EVOA, Área Hidrográfica del Amazonas.	49
Tabla 6.	Zonas y Subzonas Hidrográficas afectadas con EVOA, Área Hidrográfica del Caribe.	49
Tabla 7.	Zonas y Subzonas Hidrográficas afectadas con EVOA, Área Hidrográfica del Magdalena – Cauca.	50
Tabla 8.	Zonas y Subzonas Hidrográficas afectadas con EVOA, Área Hidrográfica del Pacífico.	51
Tabla 9.	Producción de oro, descarga potencial de mercurio y población de subcuencas afectadas por EVOA en Nechí (Fuente: EOT Nechí, Antioquia).	52
Tabla 10.	Principales características de los índices espectrales empleados.	64
Tabla 11.	Puntos rojos (hot spots) con evidencia de alteración en sedimentos para el índice MNDWI. .	70
Tabla 12.	Principales municipios con EVOA y su relación con cultivos de coca en 2014.	87
Tabla 13.	Evolución de EVOA en las principales subcuencas afectadas. Región Pacífico.	90
Tabla 14.	Cambios en EVOA 2001, 2006, 2011 y 2014.	92
Tabla 15.	Categorías de riesgo potencial de afectación por flujos y acumulación de sedimentos.	99
Tabla 16.	Pesos relativos y categorías de riesgo de afectación en las subcuencas del Pacífico.	100
Tabla 17.	Distancia por vía fluvial de cabeceras municipales a EVOA aguas arriba (Zona Hidrográfica Atrato – Darién y Subzonas Hidrográficas correspondientes).	102
Tabla 18.	Distancia por vía fluvial de cabeceras municipales a EVOA aguas arriba (Zona Hidrográfica del San Juan y Subzonas Hidrográficas correspondientes).	103
Tabla 19.	Distancia por vía fluvial de cabeceras municipales a EVOA (Zona Hidrográfica del Baudó - Directos Pacífico y Subzonas Hidrográficas correspondientes).	103
Tabla 20.	Distancia por vía fluvial de cabeceras municipales a EVOA aguas arriba (Zona Hidrográfica del Patía y subcuencas correspondientes).	104
Tabla 21.	Distancia por vía fluvial de cabeceras municipales a EVOA aguas arriba (Zona hidrográfica Amarales – Dagua y Subcuencas correspondientes).	106
Tabla 22.	Características pictórico - morfológicas de los elementos para detección de EVOA.	117
Tabla 23.	Distribución de encuestas del CM relativas a explotaciones de oro (Fuente: MME, 2011).	129
Tabla 24.	Información espacial disponible ANM-ANLA.	132
Tabla 25.	Información disponible DICAR (Fuente DICAR).	133
Tabla 26.	Resguardos Indígenas con EVOA (ha).	138
Tabla 27.	Índices espectrales evaluados para la detección de alteración de sedimentos en suspensión	139
Tabla 28.	Valores de índices espectrales que determinan alteración de sedimentos suspendidos en el río Inírida.	140
Tabla 29.	Puntos rojos (hot spots) con evidencia de alteración en sedimentos para el índice NDWI.	141
Tabla 30.	Puntos rojos (hot spots) con evidencia de alteración en sedimentos para el índice NDSSI. ...	143

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Distribución de las explotaciones según tipo de yacimiento (Fuente SIMCO).	20
Ilustración 2. Alcance del estudio.	21
Ilustración 3. Maquinaria usada en la explotación de oro de aluvión.	26
Ilustración 4. Detección de cambios con imágenes de satélite Landsat (visualizadas en falso color CC 543. Evidencias físicas visibles sobre el paisaje, generadas por el uso de maquinaria en tierra. EVOA en tono azul claro con lagunas de beneficio.	27
Ilustración 5. Evidencias físicas detectadas mediante el uso de índices espectrales generadas por el uso de maquinaria en tierra. Izquierda imagen satelital en la cual no se observan perturbaciones en el medio hídrico. Derecha, índice espectral aplicado a la imagen. En la imagen de la derecha, las zonas del río en color naranja o rojo, indican alteraciones en los sedimentos.	27
Ilustración 6. Esquema modelo de detección basado en percepción remota.	28
Ilustración 7. Etapas del proceso de explotación de oro de aluvión con uso de maquinaria en agua.	62
Ilustración 8. Curvas esperadas de afectación, valores cercanos a 1,0 indican menos sedimentos en suspensión, basado en (Hossain, Jia & Chiao; 2016)	66
Ilustración 9. Modelo para la evaluación de índices espectrales.	72
Ilustración 10. Dinámica del fenómeno en tres momentos.	76
Ilustración 11. Categorías de las áreas interpretadas.	76
Ilustración 12. Esquema de procesos dinámica espacial de coberturas con énfasis en EVOA.	77
Ilustración 14. Riesgo de afectación en las poblaciones por acumulación de sólidos en suspensión por presencia de EVOA en las fuentes hídricas50.....	97
Ilustración 15. Comparación Imagen de satélite (Landsat 8, verdadero color RGB 432) (izquierda) y fotografía tradicional (derecha) tomada en sobrevuelo. Puerto Claver (El Bagre, Antioquia).....	112
Ilustración 16. Etapas del proceso de explotación de oro de aluvión con uso de maquinaria pesada en tierra.	114
Ilustración 17. Ejemplos de diferentes composiciones de color a partir de una imagen Landsat 8 ETM+, (a) Color real, RGB(4,3,2), (b)Falso color, RGB(5,6,4), (c) Falso color, RGB(6,5,2).....	116
Ilustración 18. Izquierda EVOA y bancos de arena, (Landsat 8, falso color RGB 652). Derecha Foto banco de arena y EVOA, sobrevuelo SIMCI.	118
Ilustración 19. Izquierda EVOA y centro poblado, (Landsat 8, falso color RGB 547). Derecha Foto centro poblado y EVOA, sobrevuelo SIMCI.....	119
Ilustración 20. Izquierda EVOA y derrumbe,(Landsat 8 , falso color RGB 652) . Derecha Foto derrumbe y EVOA, sobrevuelo SIMCI.	119
Ilustración 21. Izquierda EVOA y erial (Landsat 8 falso color RGB 547). Derecha Foto derrumbe (Fuente Diario El TIEMPO) y EVOA, sobrevuelo SIMCI.....	119
Ilustración 22. Izquierda EVOA y estanques piscícolas (Landsat 8 falso color RGB 652). Derecha Foto Estanques (fuente ICA) y EVOA, sobrevuelo SIMCI.	120
Ilustración 24. Izquierda EVOA y suelo desnudo (Landsat 8, falso color RGB 564). Derecha Foto Suelo desnudo y EVOA, sobrevuelo SIMCI.....	121
Ilustración 25. Izquierda EVOA y suelo desnudo (Landsat 8, falso color RGB 652). Derecha Foto preparación de terreno y EVOA, sobrevuelo SIMCI.	121
Ilustración 26. Árbol de decisión para detección de EVOA con uso de maquinaria en tierra.....	122
Ilustración 27. Distribución porcentual de encuestas del Censo Minero relativas a oro según modalidades de explotación, 2011.	125
Ilustración 28. Confiabilidad metodológica: análisis de correspondencia entre encuestas censo minero 2011 y EVOA 2014. En amarillo, puntos de encuestas del censo minero; en negro, polígonos de EVOA detectados.....	126
Ilustración 29. Cobertura de las operaciones de interdicción relacionadas a minería realizadas por la DICAR en el país (Fuente Armada Nacional).	134
Ilustración 30. Cobertura de las operaciones interdictivas de la Armada a minería (Fuente Armada Nacional).	135
Ilustración 31. Marco de áreas EVOA.	135

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.	Distribución porcentual de encuestas realizadas en el marco del censo minero de acuerdo a la titulación (Fuente SIMCO).....	21
Gráfico 2.	EVOA y producción de oro (Fuente: UPME).....	31
Gráfico 3.	Los 10 municipios con mayor afectación de EVOA con uso de maquinaria en tierra 2014.....	34
Gráfico 4.	Territorio afectado por EVOA y relación con cultivos de coca.	35
Gráfico 5.	Los 10 Resguardos con mayor afectación de EVOA con uso de maquinaria en tierra 2014. ...	43
Gráfico 6.	Participación porcentual de Consejos por departamento.	43
Gráfico 7.	Distribución porcentual de pérdida de cobertura de bosque natural por actividades de explotación de oro de aluvión con uso de maquinaria en tierra.....	45
Gráfico 8.	Pérdida de coberturas vegetales de alto valor ambiental asociada a EVOA.....	46
Gráfico 9.	Distribución porcentual en Subcuencas con EVOA.....	51
Gráfico 11.	Distribución porcentual de las figuras autorizadas por la ley según EVOA a nivel nacional. ...	55
Gráfico 12.	Participación porcentual departamental de las EVOA de acuerdo con figuras autorizadas por la ley.	57
Gráfico 13.	Línea base espectral “natural” MNDWI.....	67
Gráfico 14.	Curva de comportamiento espectral de sedimentos en suspensión mediante aplicación de MNDWI en zona piloto. Los segmentos de las curvas que se encuentran por fuera del recuadro amarillo, corresponden a alteraciones en los sedimentos suspendidos.	69
Gráfico 15.	EVOA, afectación por periodo y afectación acumulada 2001-2014. Pacífico.....	80
Gráfico 16.	Área de EVOA por año. Región Pacífico.	80
Gráfico 17.	Relación EVOA, precios y producción del oro.	81
Gráfico 18.	EVOA por departamento. Pacífico.	83
Gráfico 19.	Dinámica del área de EVOA por departamento y por periodo. Pacífico.	84
Gráfico 20.	Comportamiento histórico del área sembrada con cultivos de coca frente a EVOA. Pacífico..	85
Gráfico 21.	Participación porcentual de EVOA en Consejos Comunitarios con respecto al total de la región y número de consejos comunitarios afectados. Pacífico.	88
Gráfico 22.	Evolución del porcentaje de subcuencas afectadas por EVOA. Pacífico.	90
Gráfico 23.	Curvas de comportamiento natural de sedimentos en los cuatro índices seleccionados.....	140
Gráfico 24.	Curva de comportamiento espectral de sedimentos en suspensión mediante aplicación de NDWI en zona piloto.	140
Gráfico 25.	Curva de comportamiento espectral de sedimentos en suspensión mediante aplicación de NDSSI en zona piloto.....	143

