

Detección y caracterización de procesos erosivos y movimientos en masa mediante el uso de tecnologías geoespaciales, Salento, Quindío – Colombia

Detection and Characterization of Erosion Processes and Mass Movement Through Geospatial Technologies. Salento, Quindío - Colombia

Seiry Soleny Vargas Tejedor¹ 
Héctor Jaime López Salgado² 

Resumen

Durante 2019, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi realizó un convenio con la Corporación Autónoma Regional del Quindío cuyo objeto fue “Aunar esfuerzos para la realización de un estudio para la identificación, caracterización y espacialización cartográfica a escala 1:10,000 de los procesos erosivos en la unidad hidrográfica del río Navarco”. Como parte de las actividades, se estableció la necesidad de generar un insumo cartográfico con la información de los procesos erosivos que se presentaban en la cuenca del río Navarco y que pudiera ser incorporado en los diferentes análisis que darían cumplimiento a dicho convenio. Para esto, se plantearon como objetivos determinar los insumos, técnicas, lineamientos de captura y atributos para la identificación y delimitación de dos temáticas: movimientos en masa y erosión; a partir, en primer lugar, del estudio de los conceptos que las definen y enmarcan, lo que incluyó la revisión de varias fuentes de información como: Servicio Geológico Colombiano, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, la Publicación Geológica Multinacional, entre otros; y, en segundo, la generación cartográfica a partir de la interpretación de imágenes de sensores aerotransportados de alta resolución espacial como las cámaras Vexcel y *Sequoia*, usando la estereoscopia digital como técnica principal. La interpretación se realizó para 2009 y 2019, y se usaron aplicaciones móviles para el control en terreno.

Palabras clave:

erosión, estereoscopia, movimientos en masa, sensores remotos.

Cómo citar

Vargas Tejedor, S. S. y López Salgado, H. J. (2024). Detección y caracterización de procesos erosivos y movimientos en masa mediante el uso de tecnologías geoespaciales, Salento, Quindío – Colombia. *Análisis Geográficos*, 57 (1), 44 - 53

¹ Instituto Geográfico Agustín Codazzi. seyrvt@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1738-8155>.

² Instituto Geográfico Agustín Codazzi. hectorlopezs@hotmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2965-2562>.

Abstract

During 2019, Geographic Institute Agustín Codazzi entered into an agreement with the Regional Autonomous Corporation of Quindío whose purpose was "Join efforts to carry out a study for the identification, characterization and cartographic spatialization at a scale of 1:10,000 of the erosive processes in the hydrographic unit of the Navarco river" As part of the activities, the need to generate a cartographic input with information on the erosive processes was determined, that were presented in the Navarco river basin and that could be incorporated into the different analyzes that would comply with said agreement, for this the objectives were set to determine the inputs, techniques, capture guidelines and attributes for the identification and delimitation of two themes: mass movements and erosion Starting, first of all, from the study of the concepts that define and frame them, which includes the review of various sources of information such as: Colombian Geological Service, Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies, the Multinational Geological Publication among others, and secondly the cartographic generation from the interpretation of images from high spatial resolution airborne sensors such as the Vexcel and *Sequoia* cameras, using stereoscopy, digital as the main technique. The interpretation was carried out for the years 2009 and 2019, and mobile applications were used for field control.

Keyword:

erosion, stereoscopy, mass movements, remote sensing, remote sensing.

Introducción

El proceso metodológico expuesto tuvo como objetivo principal proveer un insumo cartográfico que aportara información para la identificación y caracterización de los procesos erosivos en el área de estudio y que, a su vez, apoyara el proceso de validación de la información de erosión obtenida por método cuantitativos como la ecuación universal de pérdida del suelo USLE, establecida por Wischmeyer y Smith (1978). Cabe mencionar que los resultados que se presentan en el presente artículo corresponden solo al proceso de interpretación digital y que estos no son la totalidad de la información obtenida en el marco del convenio, que incluyó: el índice de erodabilidad inferido a las particularidades de la precipitación, el índice de erosividad relacionado con características edáficas del horizonte A, el factor pendiente, generado a partir del DEM Alos Palsar, el índice de cobertura en función del grado de protección, entre otros, que, en conjunto, determinaron las características de los procesos erosivos en el área.

A partir de dicho objetivo, se identificó que la Subdirección de Agrología del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) venía desarrollando y aplicando metodologías para la obtención de cartografía geomorfológica en algunos departamentos del país mediante la interpretación de insumos de sensores remotos, usando la estereoscopia digital como una de las principales técnicas, con base en estas experiencias, se consideró desarrollar y aplicar un proceso metodológico para la obtención de movimientos en masa (MVM) y erosión en un área de 84 km² localizada en el municipio de Salento, departamento del Quindío, de lo que se obtuvo un inventario de 463 MVM y una zonificación de erosión.

Metodología

Una vez identificado el alcance y propósito del estudio, se plantearon tres líneas principales para la caracterización y el mapeo de los MVM y la erosión: la primera consistió en una revisión y análisis de la información previa disponible para el área y la información por ser capturada en el marco del convenio que

incluyó geomorfología aplicada a levantamientos de suelos de acuerdo con IGAC (2019), suelos, cobertura de la tierra, entre otras, para que, de esta manera, se estructurará el marco biofísico de la zona. La segunda, en la que se identificaron los insumos de sensores remotos disponibles y las técnicas más adecuadas para su mapeo; y la tercera, en la que se realizó una revisión y análisis de metodologías específicas orientadas a la identificación de erosión y MVM, lo que permitió definir los lineamientos conceptuales, criterios de interpretación y criterios cartográficos que se aplicarían en el proceso de detección y caracterización de estos. En la Figura 1 se observa el proceso metodológico seguido.

Área de estudio

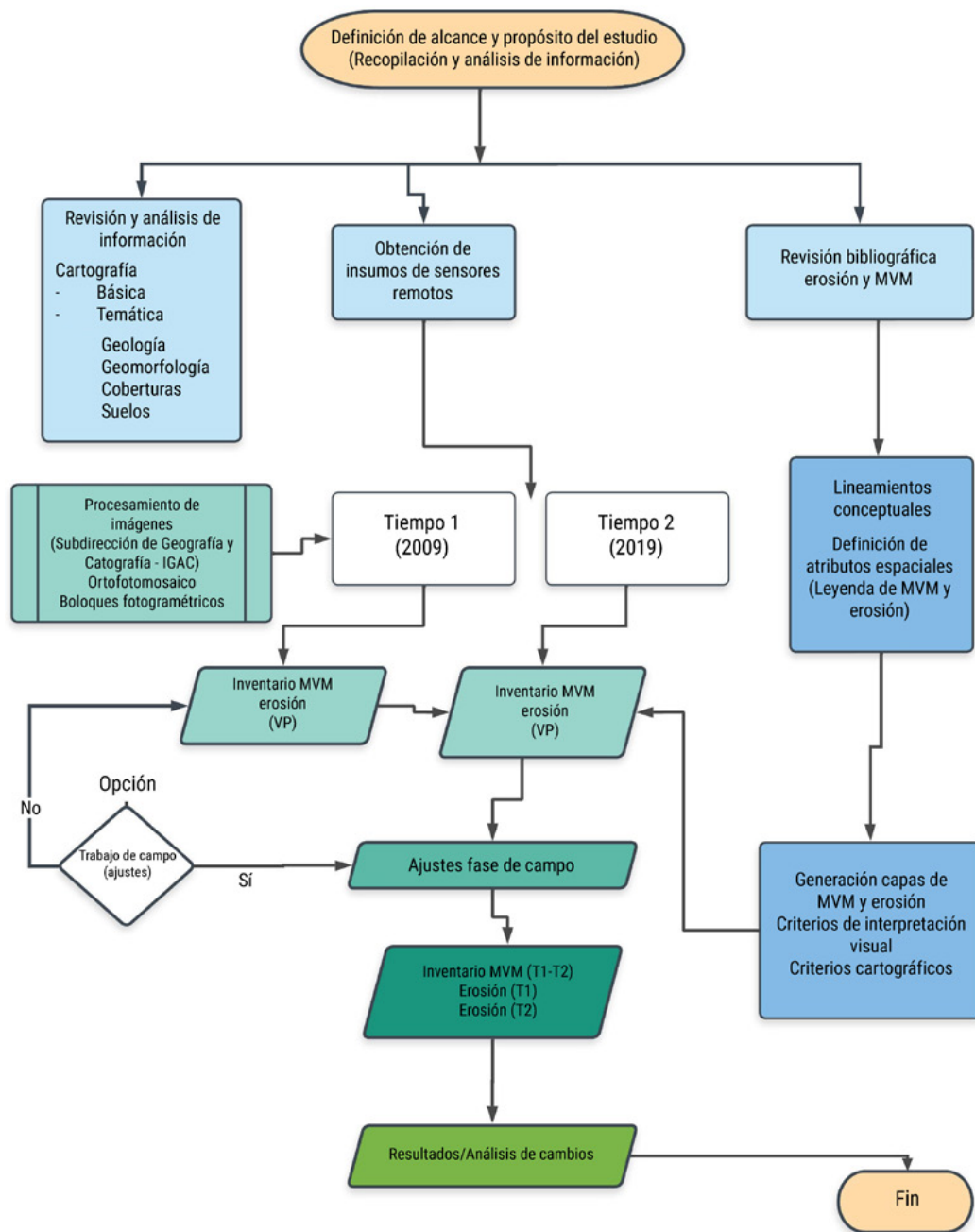
El área de estudio se encuentra ubicada en el municipio de Salento, departamento del Quindío – Colombia. Limita hacia el sur con los municipios de Calarcá (Quindío) y Cajamarca (Tolima), tiene un área aproximada de 80 km² y hace parte de cuenca hidrográfica del río Navarco (Figura 2).

Materiales y métodos

Se utilizaron insumos en 2D y 3D (estereoscopia digital), por lo que se requirió la generación de ortofotomosaicos y bloques fotogramétricos construidos a partir de las fotografías aéreas de la cámara Vexcel Ultracam D³ (Figura 3). Se interpretaron aproximadamente 90 pares estereoscópicos para 2009 y 71 para 2019. Adicionalmente, para el año 2019 se emplearon cuatro ortofotomosaicos de la cámara multispectral Sequoia y un ortofotomosaico de la cámara Vexcel, insumos generados por la Subdirección de Geografía y Cartografía del IGAC. De manera complementaria, se generaron composiciones en falso color realizadas a partir de los diferentes ortofotomosaicos y, como apoyo, se utilizó el modelo digital de elevación del sensor satelital Alos Palsar, con resolución

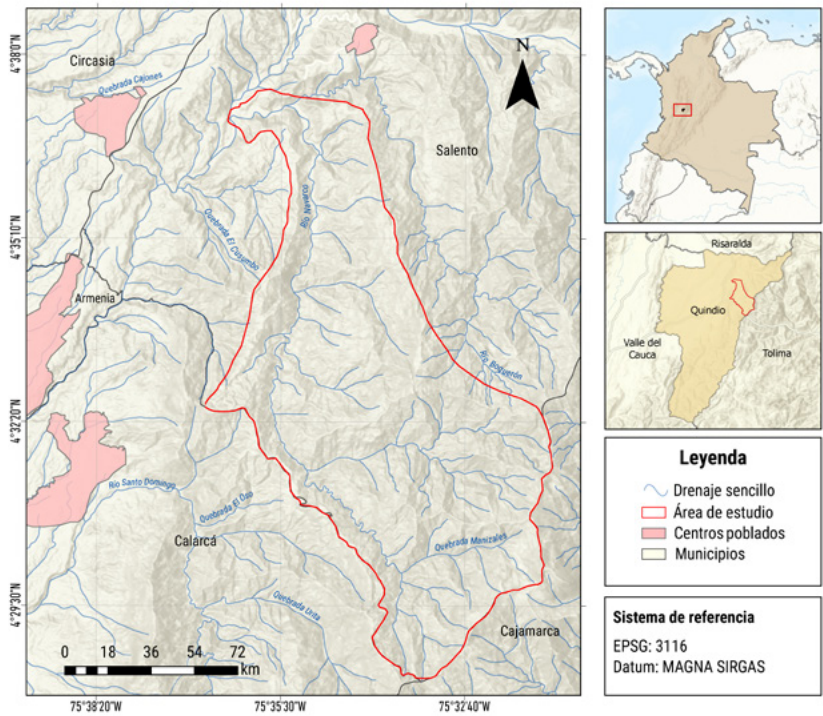
³ Información adicional de las imágenes fuente del ortofotomosaico y bloques fotogramétricos empleados en la interpretación de 2009 pueden ser consultadas en IGAC (2010).

Figura 1 - Diagrama metodológico



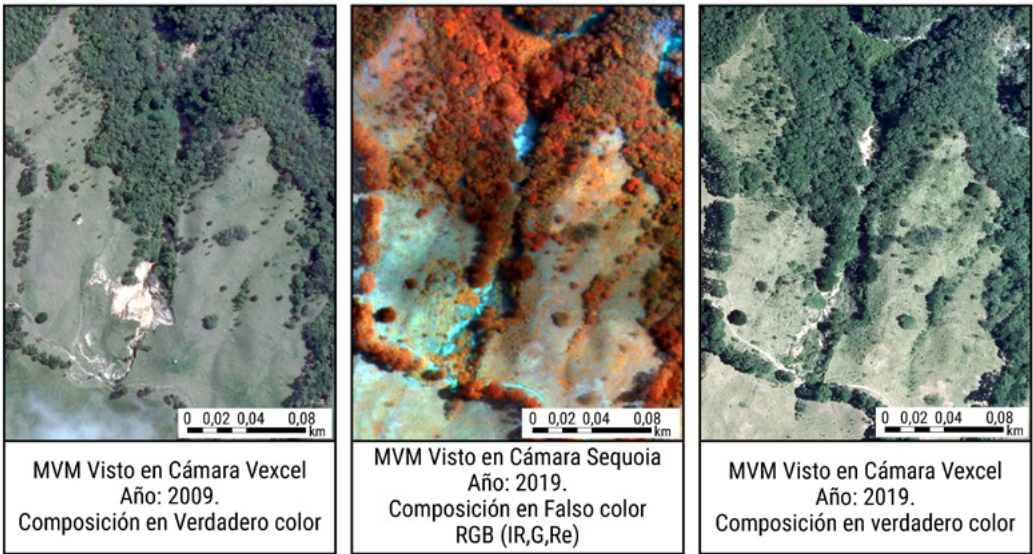
Fuente: adaptado de IGAC y CRQ, 2019.

Figura 2 - Localización área de estudio



Fuente: adaptado de IGAC y CRQ, 2019.

Figura 3 - Detalle de los insumos principales empleados en la captura de MVM y erosión



Fuente: adaptado de IGAC y CRQ, 2019.

Nota: a) MVM visto en cámara Vexcel, año: 2009, composición en verdadero color; b) MVM visto en cámara Sequoia, año: 2019, composición en falso color RGB (IR, G, R), c) MVM visto en cámara Vexcel, año: 2019, composición en verdadero color.

espacial de 125 m y sus productos derivados (por ejemplo, mapas de pendientes y sombras). En la Tabla 1 y Figura 3 se describen las características de los principales insumos utilizados.

Tabla 1 - Características de las imágenes de sensores remotos plataformas aerotransportadas

Sensores aerotransportados					
Sensor	Resolución	No. Bandas	Res. Espacial (m)	Año toma de fotografía	Cubrimiento área de estudio
(%)	Muy alta-submétrica	Azul(B), verde(G), rojo(R) e infrarrojo cercano (IR)	0,15 - 0,3	2009	100
				2019	76
Sequía	Muy alta-submétrica	Verde(G), rojo(R), borde rojo (Re), infrarrojo cercano (IR)	0,49	2019	47

Fuente: adaptado de IGAC y CRQ, 2019.

La interpretación visual se desarrolló en su totalidad de manera digital empleando técnicas de estereoscopia digital principalmente. La estereoscopia es un proceso que se realiza de manera natural cuando un observador mira simultáneamente dos imágenes de un mismo objeto que han sido captadas desde dos posiciones distintas; cada ojo ve una imagen y el resultado de ese proceso es la percepción de la profundidad o tercera dimensión (Quiroga y Morales, 2015), esta percepción de profundidad permitió caracterizar de manera precisa la extensión y cambios morfológicos tanto de los MVM como de la erosión.

En el caso de la interpretación con estereoscopia digital se utilizó la extensión Stereo Analyst, del software ArcGis. En la Figura 4 se observa la estación de trabajo y los elementos empleados para la realización de la interpretación.

Figura 4 - Estación de trabajo para la captura de información con estereoscopia digital



Fuente: Vargas et al., 2020.

Lineamientos conceptuales y cartográficos

Para la captura de los MVM se partió de su morfología típica, en el caso de los deslizamientos desde la corona hasta donde el perímetro y los flancos fueron claramente visibles. Para el caso de los flujos desde el escarpe (área de suministro), hasta el cuerpo (área de depósito) (Figura 5). Para los otros tipos (caídas de roca, reptación entre otros) donde la zona de depósito o de llegada fuera claramente identificada. La geometría bajo la cual se realizó la captura fue de tipo polígono y se representaron todos aquellos movimientos que fueron claramente identificados en los insumos empleados.

Para los MVM, no se determinó una unidad mínima de mapeo, ya que como se indica en (Servicio Geológico Colombiano [SGC], 2017) es necesario representar todos los movimientos identificados en el área, los dominios definidos para caracterizar los MVM se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2 - Intervalos de altura en el mapa de relieve

Edad relativa	Asociación	Fuente	Fecha	Área (ha)	Símbolo	Observación	Característica
Reciente	Aislado	T1 o T2			RAT1		
	Canalizado				RCT1		
	Aislado/vía				RAVT1		
	Canalizado/vía				RCVT1		
Antiguo	Aislado				AAT1		
	Canalizado				ACT1		
	Aislado/vía				AAVT1		
	Canalizado/vía				ACVT1		
Relicto	Aislado				SAT1		
	Canalizado				SCT1		
	Aislado/vía				SAVT1		
	Canalizado/vía				SCVT1		

Fuente: adaptado de IGAC y CRQ, 2019.

Para el caso de la erosión se diferenciaron el tipo (origen) y la clase (dominio de la manifestación, Instituto de hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM] y Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales [U.D.C.A], 2015). La geometría bajo la cual se realizó la captura fue de tipo polígono. La unidad mínima cartografiable fue de 1 ha en concordancia con la escala del estudio. Los dominios espaciales definidos para la caracterización y su posterior captura son listados en la Tabla 3.

Tabla 2 - Intervalos de altura en el mapa de relieve

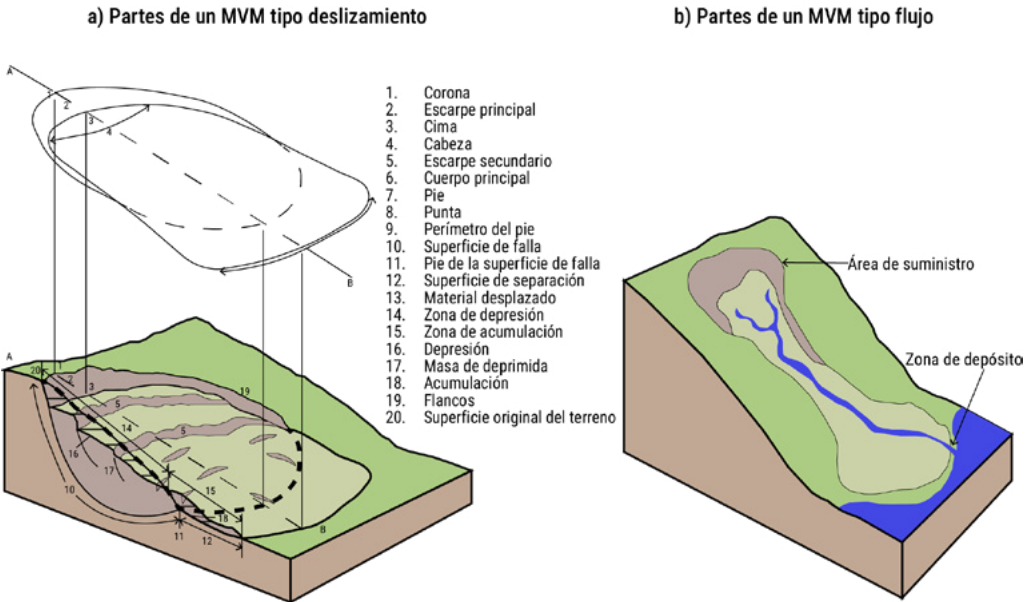
Dominios	Tipo de Erosión	Clase	Fuente	Fecha	Área(ha)	Símbolo
Dominios Base	Héfrica	Laminar				WL
		Cárcavas				WC
		Laminar y surcos				WLS
		Terraceo				WT
		Terraceo y laminar				WTL
		Terraceo y cárcavas				WTC
Dominios complementarios		Sin evidencia				N
		Afloramiento rocoso				AF
		Cuerpo de agua				CA
		Zona de extracción minera				ZA
		Territorios asociados a red vial				ZU

Fuente: adaptado de IGAC y CRQ, 2019.

Almacenamiento y calidad de la información

La información capturada se gestionó en una geodatabase (gdb), bajo la estructura mostrada en la Figura 6. Durante la captura y el almacenamiento se revisaron aspectos relacionados a posibles inconsistencias en los polígonos interpretados, que incluyeron: concordancia entre los dominios definidos (leyenda de interpretación), y los dominios gestionados en la base de datos, polígonos adyacentes con el mismo código, aspectos topológicos, así como áreas mínimas de mapeo.

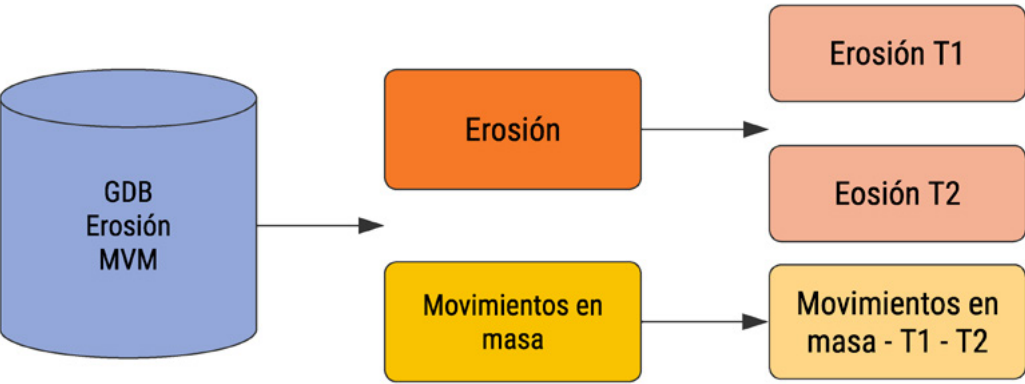
Figura 5 - Partes de MVM



Fuente: a) adaptado de Proyecto Multinacional Andino [PMA], 2007; b) adaptado de IGAC y CRQ 2019, con base en SGC, 2017.

Nota: a) partes de un MVM tipo deslizamiento; b) partes de un MVM tipo flujo.

Figura 6 - Partes de MVM

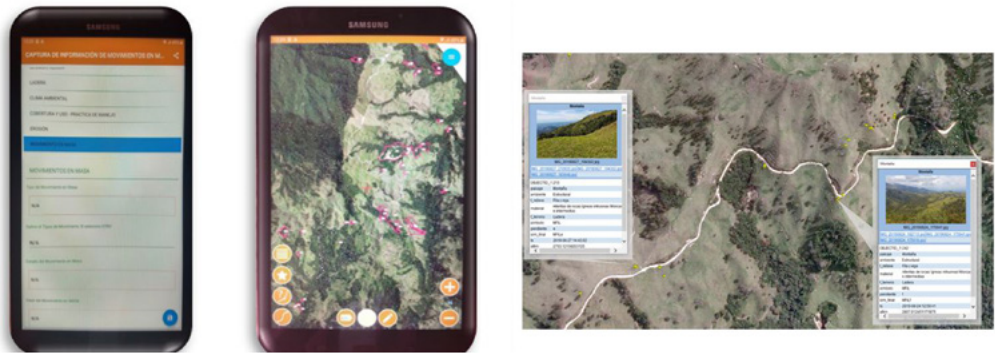


Fuente: adaptado de IGAC y CRQ, 2019.

Trabajo de campo
La verificación y ajuste de la delimitación y caracterización de los MVM y la erosión se realizó mediante un control en terreno, ejecutado en noviembre de 2019. Para la captura de la información en campo, se diseñó un formulario ágil y de fácil uso que permitiera recoger los aspectos más importantes con base en los lineamientos conceptuales y atributos definidos; este formulario

recogió parte de la información sugerida en IDEAM, U.D.C.A (2015), y fue desarrollado en la aplicación GvSig Mobile (Figura 7). En la Figura 8 se muestra el formulario, donde para los dominios como el “tipo” en los MVM, se tomaron los más comunes en Colombia según SGC (2017) y para los dominios de clima ambiental se tomaron los contemplados en IGAC (2014). En la Figura 8 se muestra el formulario, donde para los dominios

Figura 7 - Dispositivos móviles empleando la aplicación GrSig para la captura de información en campo



Fuente: adaptado de IGAC y CRQ, 2019.

Figura 8 - Formato de captura de información de movimientos en masa y erosión

IGAC INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUIRRE CORTAJO		FORMATO CAPTURA DE INFORMACIÓN DE MOVIMIENTOS EN MASA Y EROSIÓN PROYECTO NAVARCO		PROYECTO NAVARCO
			FECHA	
			ACCIONES	
			2019-12-04	
INFORMACIÓN GENERAL				
Descripción por: Sciry Vargas		Nº: SV-27		
Altitud: 1774		FECHA: 2019-11-15		
Fotografía N° (Cámara Externa): 1679				
GEOMORFOLOGÍA				
Paisaje: Montaña		Tipo de Relieve: Fila y viga		
Forma de Terreno: Ladera		Símbolo: Mide		
Pendiente: e		Longitud: Larga 100 - 300 metros		
% Pendiente Local: 49		Forma: Compleja		
CLIMA AMBIENTAL				
Tipos clima ambiental: Templado, húmedo		Época: Lluviosa		
Observación:				
COBERTURA y USO - PRACTICA DE MANEJO				
Coberturas y Uso: Pastos limpios				
Práctica de manejo: Siembras en contorno-Terrazas				
Observación:				
EROSION				
Tipo: Hídrica		Clase: Terrazo		
Grado: Ligera		Símbolo: N/A		
Profundidad (m): N/A				
Observación:				
MOVIMIENTOS EN MASA				
Tipo: N/A				
Estado: N/A				
Edad: N/A				
Asociación: N/A				
Observación:				
FOTO OBSERVACIÓN DE CAMPO				
				
Observaciones de la fotografía:				
Terrazo en ladera de fila y viga, segunda foto. Terrazas de valle estrecho geomorfología				

Fuente: adaptado de IGAC y CRQ, 2019.

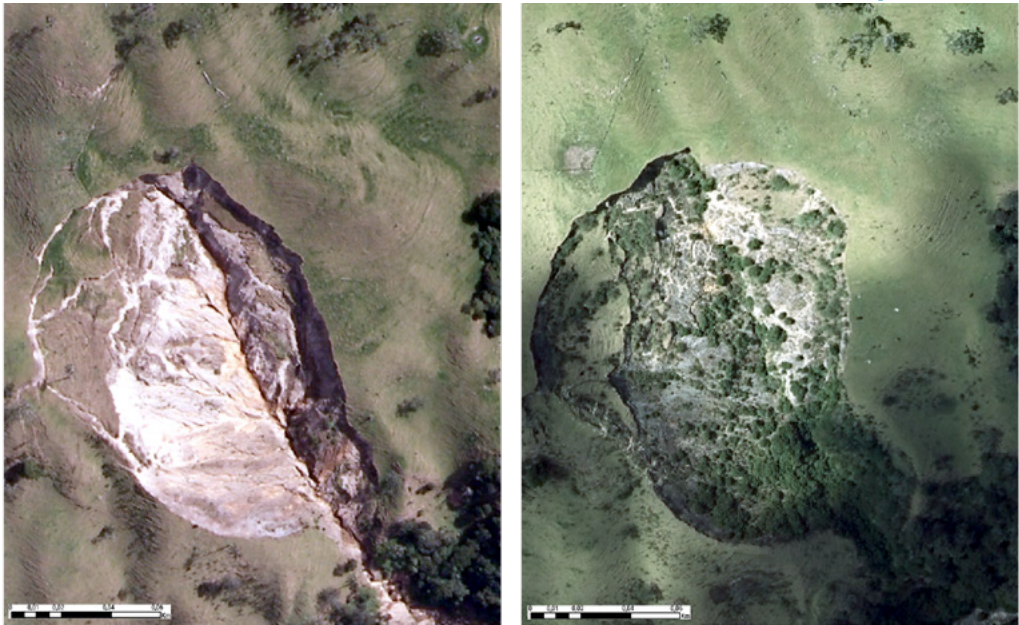
como el “tipo” en los MVM, se tomaron los más comunes en Colombia según SGC (2017) y para los dominios de clima ambiental se tomaron los contemplados en IGAC (2014).

Resultados

Para los MVM se realizó un inventario multitemporal en el cual se identificaron 463 movimientos. La distribución por cada uno de los

dominios establecidos se observa en la Tabla 4. El mayor número pertenecen a MVM antiguos los cuales atienden a la definición dada en SGC (2017) que considera a un movimiento en masa como antiguo si en el análisis multitemporal fue identificado en las imágenes más antiguas disponibles. Algunas características morfológicas de los MVM identificadas son mostradas en la Figura 9.

Figura 9 - MVM de diferentes edades. Fotografías aéreas - cámara Vexcel 2009 y 2019. Composición en verdadero color



Fuente: adaptado de IGAC y CRQ, 2019.

Tabla 4 - Distribución por los dominios establecidos para el inventario de MVM para 2009 y 2019

Edad relativa	Asociación	Fecha	Símbolo	Nº de eventos por edad relativa y asociación
Antiguo	Aislado	2009	AAT1	17
Antiguo	Aislado/Vía	2009	AAVT1	14
Antiguo	Canalizado	2009	ACT1	258
Antiguo	Canalizado/Vía	2009	ACVT1	23
Reciente	Aislado	2019	RAT2	1
Reciente	Aislado/Vía	2019	RAVT2	8
Reciente	Canalizado	2019	RCT2	93
Reciente	Canalizado/Vía	2019	RCVT2	6
Relicto	Aislado	2009	SAT1	5
Relicto	Canalizado	2009	SCT1	32
Relicto	Canalizado/Vía	2009	SCVT1	6
Total				463

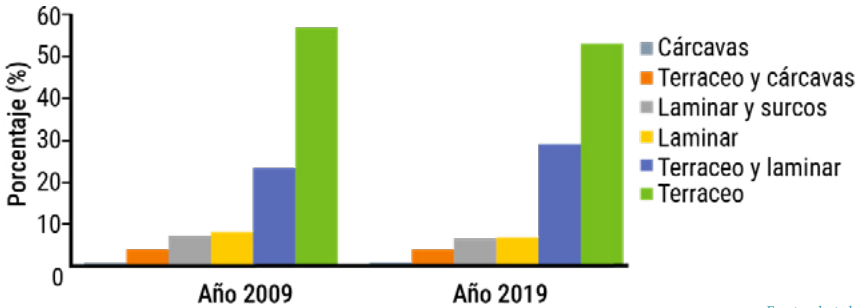
Fuente: adaptado de IGAC y CRQ, 2019.

Para el caso de la temática de erosión se identificaron las zonas sin evidencia del proceso como las de mayor extensión, asociadas principalmente a bosques (de galería, denso y abierto) y a vegetación secundaria o en transición, las zonas que presentan alguna clase de erosión corresponden aproximadamente al 40% del área. En este porcentaje la clase con mayor predominancia es el terraceo, donde dominan los pastos limpios y enmalezados, la vegetación secundaria o en transición y los cultivos permanentes arbóreos donde se realizan buenas prácticas de manejo, mientras que las clases de menor proporción son el terraceo y cárcavas y las cárcavas, tendencias que se mantiene en los dos periodos interpretados (Figura 10).

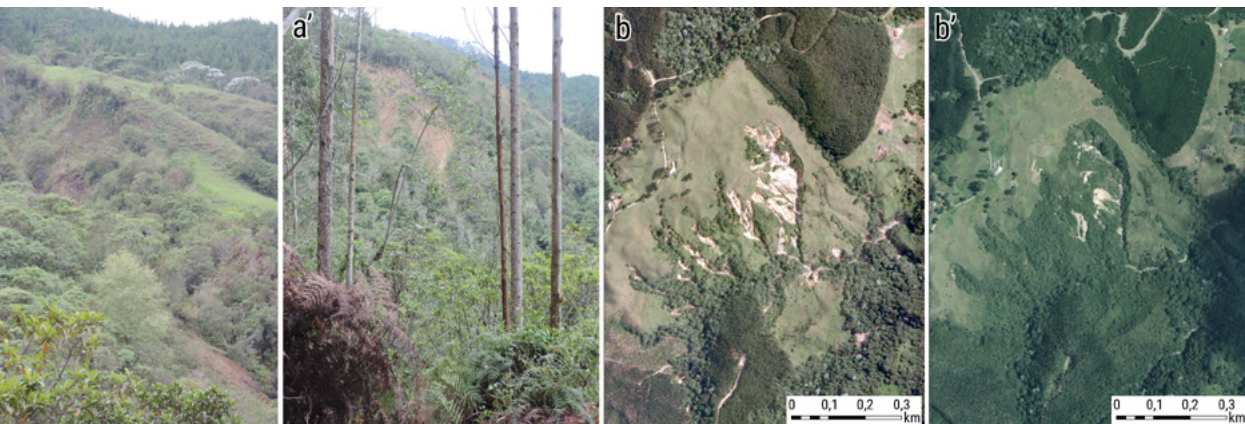
En la Figura 11 se observan algunos ejemplos de los patrones identificados para las clases de erosión en el área de estudio.

Nota. Erosión: hídrica - clase: cárcava a) y a'). Fotografías de la

Figura 9 - Porcentaje de distribución por clase de erosión para 2009 y 2019



Fuente: adaptado de IGAC y CRQ, 2019.

Figura 11 - Ejemplos clases únicas en erosión

Fuente: adaptado de IGAC y CRQ, 2019.

Nota. Erosión: hídrica - clase: cárcava a) y a'). Fotografías de la zona de estudio donde se aprecia la revegetalización de las cárcavas en climas húmedos. Imágenes cámara Vexcel: composición en verdadero color b) año: 2009 b') año: 2019.

Discusión

Los inventarios son un registro ordenado de la localización y las características individuales de una serie de movimientos ocurridos en un área. Según el Instituto de Investigaciones en Geociencias, Minería y Química (INGEOMINAS, 2011; en SGC 2017) la elaboración de un inventario debe permitir entender la ocurrencia de los movimientos en masa y sus características más importantes con base en el alcance y los recursos empleados, existen varios tipos de inventarios donde se incluyen los catálogos, el inventario de información secundaria y el inventario geomorfológico. Para el caso del presente estudio se realizó un inventario de tipo geomorfológico multitemporal, este se llevó a cabo mediante la interpretación de insumos de sensores remotos de alta resolución espacial con dos fechas de toma, donde se identificaron 463 MVM.

En Colombia existe el Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA) del SGC el cual registra, almacena, administra, procesa y visualiza los movimientos en masa en el país, y donde se encuentran registrados tanto el catálogo como los inventarios, este sistema fue consultado durante la ejecución del convenio encontrándose un MVM para el área objeto de estudio.

En el caso de la erosión bajo el esquema metodológico planteado se encontró que en aproximadamente el 40% del área se presenta alguna clase, lo que hace que sea la de mayor predominancia el terraceo, el terraceo y laminar, las clases con menos presencia en el área son la laminar, terraceo y cárcavas y las cárcavas tendencias que se mantiene en los dos periodos interpretados. Es importante mencionar que el IDEAM y U.D.C.A (2015) indican que las manifestaciones en el terreno de los procesos de erosión normalmente no se presentan solas, sino como una combinación, aspectos que también se evidenciaron en el área y que la importancia del entendimiento de la zonificación de acuerdo con los patrones y lineamientos establecidos podrá garantizar la réplica de este tipo de trabajos a otras áreas del país.

En el marco del convenio la erosión fue estimada mediante la ecuación universal de pérdida del suelo USLE, proceso que incluyó: la generación del índice de erodabilidad inferido a las particularidades de la precipitación; índice de erosividad relacionado con características edáficas del horizonte A; el factor pendiente, generado a partir del DEM ALOS 12 m, el índice de cobertura en función del grado de protección que estas ofrecen calificadas sobre la aproximación de Corine Land Cover y por último las prácticas de conservación que se realizan en la zona acorde con el uso (IGAC y CRQ, 2019). Los resultados obtenidos a partir de este método y las clases de erosión generadas por la interpretación fueron analizados y comparados, encontrando una relación coincidente entre las clases combinadas definidas por fotointerpretación y las áreas que muestran pérdidas de suelos en el modelo USLE (IGAC y CRQ, 2019).

Por último, mediante el inventario de movimientos en masa y la zonificación de la erosión realizada a partir de insumos de sensores remotos de alta resolución espacial, así como el uso de la estereoscopia digital, la cual es una técnica que permitió identificar características y rasgos que como lo indica Saiz (2010) no se hubieran determinado por medios tradicionales, se logró obtener información con mayor nivel de detalle, y más actualizada que la que se contaba a la fecha de la elaboración del estudio. Sin embargo, el uso de esta información para análisis de otras temáticas como amenazas debe ser complementado.

Conclusiones

Con la propuesta metodológica planteada se logró obtener un análisis multitemporal con información actualizada para 2019; el uso de insumos de alta resolución espacial para los dos periodos de tiempo en conjunto con la estereoscopia digital proporcionó información de los cambios sufridos en los movimientos en masa, así como en las variaciones de los procesos erosivos. El diseño

de formularios de campo, ágiles y acordes con los lineamientos conceptuales definidos para la interpretación permitió un control efectivo en terreno, el presente proyecto se ejecutó en todas sus etapas de manera digital brindando la posibilidad de analizar datos en tiempo real, disminuyendo el esfuerzo y tiempos en el análisis de la información. La cartografía obtenida por interpretación visual fue un insumo importante para la validación de los resultados obtenidos por métodos cuantitativos. De igual forma, este estudio permitió conocer otras aplicaciones a las técnicas de interpretación de insumos de sensores remotos que actualmente utiliza la subdirección de agrología del IGAC.

Referencias

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM] y Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales [U.D.C.A.]. (2015). *Protocolo para la identificación y evaluación de la degradación de suelos por erosión*. IDEAM-MADS-U.D.C.A. Bogotá DC.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2010). *Ficha Técnica ortofotomosaico Quindío 1:10.000*. Bogotá DC: Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Documento interno.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2014). *Instructivo para los levantamientos de suelos. Manual de códigos*. Bogotá DC: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Subdirección de Agrología, Documento interno.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi y Corporación Regional del Quindío. (2019). *Estudio de identificación de procesos erosivos en la unidad hidrográfica del río Navarco en el departamento del Quindío. Informe final*. Corporación Regional del Quindío e Instituto Geográfico Agustín Codazzi. <https://crq.gov.co/descarga-de-documentos/page/3/>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2019). *Sistema de clasificación geomorfológica aplicado a los levantamientos de suelos*. Bogotá DC: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Proyecto Multinacional Andino [PMA]. (2007). Movimientos en masa en la Región Andina: una guía para la evaluación de amenazas. *Publicación Geológica Multinacional*, n.º 4. Proyecto Multinacional Andino: geociencias para las comunidades andinas. <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20500.12544/2830#files>
- Quiroga, E. y Morales, L. (2015). La estereoscopia, métodos y aplicaciones en diferentes áreas del conocimiento. *Revista Científica General José María Córdova*, 13(16), 201-209.
- Servicio Geológico Colombiano [SGC]. (1982). *Geología y prospección geoquímica de las planchas 244 Ibagué y 263 Ortega departamento del Tolima Colombia escala 1:100.000*. Memoria explicativa. Ibagué
- Servicio Geológico Colombiano. (2017). *Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:25000*. [https://www2.sgc.gov.co/Archivos/GM\(2017\).pdf](https://www2.sgc.gov.co/Archivos/GM(2017).pdf)
- Servicio Geológico Colombiano. (2017). *Clasificación de movimientos en masa y su distribución en terrenos geológicos de Colombia*. <https://www2.sgc.gov.co/Publicaciones/Cientificas/NoSeriadadas/Documents/Clasificacion-MM-Terrenos-Geologicos-Colombia.pdf>
- Saiz, M. (2010). *Reconstrucción tridimensional mediante visión estereó y técnicas de optimización*. Madrid: Universidad Pontificia de Comillas.
- Vargas, S., López, H., Cortes, D. y Vargas, W. (2020). Uso de estereoscopia digital para la detección y caracterización de movimientos en masa y procesos erosivos. Caso de estudio: Salento-Quindío [Presentación de la ponencia]. En *14a Semana Técnica de Geología, Ingeniería Geológica y Geociencias (2020)*, Universidad de Pamplona, Plataforma virtual.
- Wischmeier, W. y Smith, D. (1978). Predicting Rainfall-Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning. *Agriculture Handbook (AH) 537*. U.S. Dept. of Agriculture, Washington, DC, USA.