
Monitoreo del proceso

de afectación del páramo andino venezolano a través de un análisis multitemporal

Monitoring land use changes in the Andean Paramo
of Venezuela using a multitemporal analysis

Jesús F. Araujo Contreras

Yolanda Molina García

Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales
Escuela de Ingeniería Forestal. Mérida, Venezuela
jesus.araujo@ula.ve; y Molina@ula.ve
Araujo Contreras: <https://orcid.org/0000-0001-6278-2616>
Molina García: <https://orcid.org/0000-0002-8229-0376>

Resumen

La investigación midió el proceso de afectación del páramo andino venezolano mediante un análisis multitemporal del indicador 'cobertura vegetal de páramo andino intervenida', usando imágenes Landsat 7 de los años 2006 y 2012, y Landsat 8 del año 2016, que abarcan el municipio Rangel del estado Mérida, como parte de un sistema de indicadores de gestión diseñado en el marco del Plan de Acción para la Conservación del Páramo Andino Venezolano. Los resultados muestran una disminución de 538,69 ha de superficie de páramo andino, a consecuencia de intervenciones entre los años 2006 y 2016. Adicionalmente, se identificó un incremento de 426,08 ha de la superficie de selva nublada montano alta, ocupando áreas previamente dominadas por vegetación de páramo, debido al avance altitudinal de los bosques andinos en las vertientes húmedas posiblemente como consecuencia del cambio climático.

PALABRAS CLAVE: ecosistemas de páramo; bosques andinos; indicadores de gestión; plan de acción.

Abstract

This research measured land use changes in the Andean paramo of Venezuela using a multitemporal analysis of the indicator 'vegetal coverage affected of Andean Paramo'. Landsat 7 satellite images from 2006 and 2012, and Landsat 8 satellite image from 2016 has been used for the Rangel municipality of Merida state. Information regarding this indicator as part of a management system (IMS), comes from an Action Plan for the Conservation of the Venezuelan Andean Paramo. A decrease of 538.69 ha of Andean paramo surface, has been found as a consequence of interventions activities between years 2006 and 2016. At the same time, a decrease of 426.08 ha of Andean Paramo surface was identified and it was replaced by the altitudinal advance of Andean forest surface on wet slopes, due to climate change.

KEYWORDS: paramo ecosystems; Andean forests; management indicators; action plan.

1. Introducción

El estudio surge de un sistema de indicadores de monitoreo y evaluación diseñado en el marco del Plan de Acción para la Conservación del Páramo Andino Venezolano, el cual se formuló en el año 2011, como producto del Proyecto Páramo Andino, financiado por el Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF), procurando la aplicación de estrategias de conservación de los componentes de este importante ambiente.

La región natural páramo andino venezolano permite agrupar el conjunto de unidades ecológicas ubicadas desde la cota de los 2.600 msnm, en vertientes secas, hasta los 4.800 msnm, en el cinturón de las huellas glaciales de los macizos rocosos de mayor elevación. Este frágil ambiente se encuentra sometido a un acelerado proceso de extensión e intensificación de los usos agrícola, turístico y residencial, reflejado en una elevada tasa de despeje de vegetación, quemas periódicas, presión urbanística y expansión de la frontera agrícola (agricultura intensiva de ciclo corto) y pecuaria (ganadería semi-intensiva y extensiva), en áreas de fuerte pendiente, que junto a los factores climáticos, la fragilidad de los suelos y la activación o avance de los procesos de erosión, ocasionan pérdidas de suelo fértil, desertificación y disminución de la oferta de agua para consumo doméstico y riego.

Es de particular interés la poca implementación y continuidad de políticas de ordenación del territorio y de manejo de las cuencas hidrográficas de la región andina del país, lo que ha traído como consecuencia el cambio de uso de la tierra con aptitud agrícola por un uso residencial y turístico, provocando el avance altitudinal del piso agrícola, establecimiento de infraestructura de apoyo a esta actividad en sitios con alto riesgo natural al deterioro y depredación anárquica de formaciones ecológicas propias del páramo andino.

El municipio Rangel del estado Mérida, se corresponde con la caracterización de la región

natural páramo andino, involucrando un ambiente frágil, con presencia de humedales altoandinos, asociados a una vasta red hidrográfica y a una importante biodiversidad; además de presentar interrelaciones socioeconómicas e institucionales marcadas por frecuentes conflictos de uso de la tierra que conllevan al deterioro de los ecosistemas.

De acuerdo a lo anterior, se seleccionó este municipio como área representativa para medir el proceso de afectación de la ecoregión de páramo a través del indicador 'cobertura vegetal de páramo andino intervenida' haciendo un análisis multitemporal con imágenes de satélite, como parte del sistema de indicadores de gestión del Plan de Acción para la Conservación del Páramo Andino Venezolano. El análisis multitemporal permitió evaluar en el área objeto de estudio, el avance de la intervención en determinados períodos, considerando situaciones para los años 2006, 2012 y 2016.

El estudio de los cambios en las coberturas de la tierra, también podría dar indicios de las relaciones con los cambios en el clima (Jiménez y Sánchez, 2017). Ejemplo de esto es un análisis multitemporal de los cambios de las coberturas de la tierra y modelos de regresión climática, teniendo como objeto de estudio al Parque Nacional Cotopaxi, en Ecuador, que evidenció la reducción de la cobertura vegetal de páramo entre 1987 y 2013, y de la extensión del glaciar del volcán Cotopaxi entre 1976 y 2013 (López *et al.*, 2017).

Por su parte, los indicadores para el monitoreo y evaluación son herramientas medibles, precisas, unificadoras de criterios y de amplia aplicación, que contribuyen con las acciones de seguimiento a las necesidades de protección legal y gestión de las áreas naturales con potencial hídrico y relevancia ecológica, incluyendo las Áreas Bajo Régimen de Administración Especial circunscritas a los páramos de la región andina venezolana.

2. Fundamentos teóricos

La investigación se fundamenta en el análisis multitemporal de coberturas de vegetación para medir el proceso de afectación en la región natural páramo andino del municipio Rangel del estado Mérida, como parte del uso de indicadores para el monitoreo y evaluación del Plan de Acción para la Conservación del Páramo Andino Venezolano.

2.1 Análisis multitemporal

Se trata de una herramienta útil para monitorear los cambios de uso de la tierra y de cobertura vegetal a través del tiempo y espacio, dando una visión objetiva en la toma de decisiones al momento de realizar proyectos sostenibles para conservar los recursos naturales (Muñoz *et al.*, 2009).

Chuvienco (1990) lo define como un análisis de tipo espacial que se realiza mediante la comparación de las coberturas interpretadas en dos imágenes de satélite o mapas de un mismo lugar, en diferentes fechas, y que permite evaluar los cambios en la situación de las coberturas previamente clasificadas.

Esta herramienta apoyada en los sistemas de información geográfica (SIG), ha permitido analizar los cambios en la cobertura y uso del suelo de ecosistemas de alta montaña, como los páramos, con el fin de entender las condiciones del territorio en el pasado y su situación potencial frente a problemáticas como el cambio climático (Jiménez y Sánchez, 2017).

2.2 Proceso de afectación de los páramos

Se refiere a los cambios que se presentan en uno o varios ecosistemas de la región natural páramo andino, producto de intervenciones antrópicas o por causas naturales, reflejados en la pérdida o deterioro de alguno de sus componentes. Este estudio hace énfasis en el proceso de afectación de los ecosistemas de bosques subparameros,

páramo andino y páramo altiandino, a través del monitoreo de la pérdida de cobertura vegetal, a razón de la elevada notoriedad del componente vegetación en la dinámica biofísica de los páramos.

2.3 Sistema de indicadores

Constituye el mecanismo concreto aplicado para cuantificar y hacer el análisis cualitativo de los aspectos relevantes durante los procesos, resultados, impactos o efectos, objeto de un plan, programa, proyecto o actividad. Los indicadores son herramientas idóneas para el monitoreo y evaluación de la gestión (Sierra, 2012).

Los indicadores de gestión pueden ser valores, unidades, índices, series estadísticas, entre otros; y son la expresión cuantitativa del desempeño de una organización, o de una de sus partes, así como de un plan, programa, proyecto o actividad, cuya magnitud al ser comparada con algún nivel de referencia, puede señalar una desviación sobre la que se tomarán acciones preventivas, atenuantes o correctivas, cumpliendo los siguientes criterios:

- Medible: cuantificable en términos del grado y/o de la frecuencia de la cantidad.
- Entendible: reconocido fácilmente por todos aquellos que le darán uso.
- Verificable: debe ser controlable por los responsables del monitoreo y evaluación.

Diseñar un sistema de indicadores o de monitoreo de logros en un proyecto de manejo de cuencas, es una labor imprescindible para contar con los datos necesarios que permitan la evaluación de los resultados, durante su ejecución a mediano y largo plazo (Hernández, 1993). Estos sistemas responden a diferentes necesidades de información, puesto que la gestión involucra a gerentes, planificadores, empresarios, técnicos de campo, miembros de la comunidad y otros actores, ameritando definir con precisión sus objetivos.

3. Área de estudio

El área objeto de estudio se corresponde con el municipio Rangel, localizado al noreste del estado Mérida, y abarca la zona alta de la cuenca del río Chama y parte de las nacientes de la cuenca del río Santo Domingo en el sector Mucubají (FIGURA 1).

Se ubica entre las coordenadas $8^{\circ} 35' 13''$ y $8^{\circ} 53' 50''$ de latitud norte y $70^{\circ} 42' 30''$ y $71^{\circ} 02' 23''$ de longitud oeste. Limita por el norte con los municipios Justo Briceño y Miranda, por el sur con el estado Barinas, por el este con el municipio Cardenal Quintero y por el oeste con el municipio Santos Marquina (CORPOANDES, 2010).

En esta área, la región natural páramo andino se extiende en un rango altitudinal comprendido entre los 2.600 msnm, en la confluencia de la quebrada La Carbonera con el río Chama, y los 4.400 msnm, en las nacientes de la quebrada Mifafí. Según la clasificación de climas y subtipos climáticos de Venezuela, determinada por Silva

(2010), el municipio Rangel presenta los siguientes tipos de clima (TABLA 1).

El clima varía conforme a la altitud, a la dirección de los vientos y al ángulo y tiempo de exposición de las vertientes al sol, lo que explica en parte, el hecho de que las vertientes norte de la sierra Nevada y de la sierra de Santo Domingo, presentan páramos húmedos, mientras que la vertiente sur de la sierra de La Culata presenta páramos secos, restringiéndose la unidad ecológica Páramo Altiano Desértico a sus zonas más elevadas.

Litológicamente, el área se caracteriza por afloramientos de la Asociación Sierra Nevada, conformada por rocas con alto a mediano metamorfismo, con predominio de gneises; siendo la excepción los depósitos de sedimentos recientes de los humedales de fondo de valle, afectados por el régimen climático y por la tectónica regional producto de la presencia de la falla de Boconó (Fonseca *et al.*, 2009).

FIGURA 1. Área de estudio.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

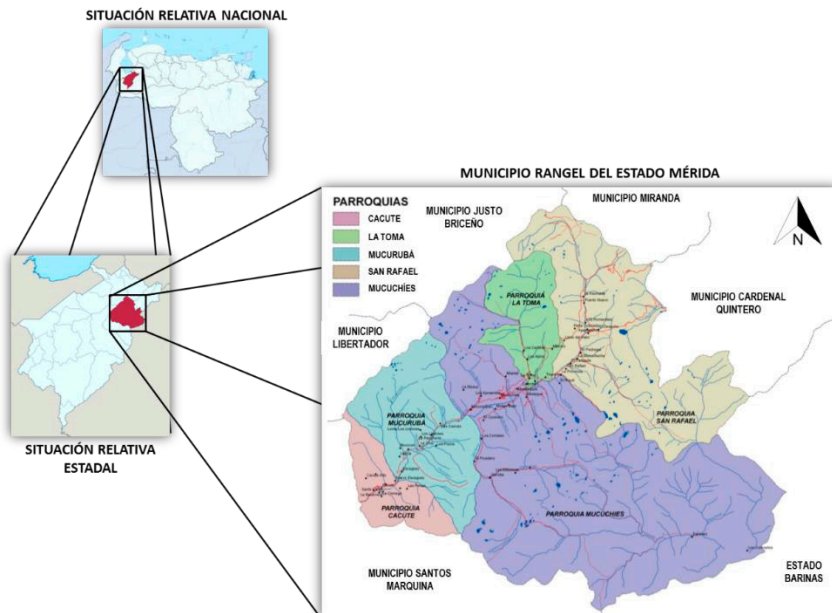


TABLA 1. Tipos de clima del municipio Rangel, estado Mérida.

FUENTE: ADAPTADO DE SILVA (2010)

Tipo de clima	Temperatura media anual (°C)	Precipitación (mm/año)	Localidad de referencia
Gélido y escasamente lluvioso	<3,0	300 a 699	Pico Piedras Blancas
Gélido y poco lluvioso	<3,0	700 a 1.200	Pico Mucuñuque
Muy frío y escasamente lluvioso	3,0 a 7,9	300 a 699	Valle de Mifaffí
Muy frío y poco lluvioso	3,0 a 7,9	700 a 1.199	Apartaderos
Frío y escasamente lluvioso	8,0 a 12,9	300 a 699	Mucuchies
Frío y poco lluvioso	8,0 a 12,9	700 a 1.19	Valle de Gavidia
Templado y poco lluvioso	13,0 a 17,9	700 a 1.199	Escagüey-La Musuy
Templado y moderadamente lluvioso	13,0 a 17,9	1.200 a 1.799	Cacute

También se encuentra influenciada por la Formación Mucuchies que aflora en un bloque de falla, aproximadamente a 1 km al suroeste de Mucuchies, predominando las gravas y las arenas finas de granos subredondeados, con presencia de anfibolitas, granitos, pegmatitas, gneis biotítico y anfibolítico, cuarcitas y esquistos biotíticos (Pimstein *et al.*, 2013); y por la Asociación Pico El Águila, con afloramientos de cuarcitas, filitas y calizas a lo largo de la carretera Trasandina, en la ruta hacia Timotes, subdividiéndose en tres intervalos con el rango de miembro, en orden ascendente: Miembro de Cuarcitas de Gavilán, Miembro El Balcón y Miembro de Caliza de Cebolleta (Kovisars, 1972).

En términos generales se presenta un relieve abrupto de montaña, con pendientes fuertes a muy fuertes, que varían entre el 25% y más del 60%, a excepción de los fondos de los valles donde las pendientes son suaves y moderadas, oscilando entre 3% y 25%.

Las zonas más altas presentan valles en ‘U’ con depósitos morrénicos, lagunas glaciares y humedales de fondo de valle de origen periglacial, estos últimos, desde el punto de vista sedimentológico son depósitos lacustres periglaciares rellenados durante el Holoceno (Fonseca *et al.*, 2009).

Los pisos altitudinales inferiores a las zonas altoandinas poseen rasgos resultantes del período Cuaternario o Neozoico, entre los que destacan el complejo morrénico de Mucubají y otras unidades cuaternarias, formados por una mezcla heterométrica de arcillas, arenas, gravas y bloques rocosos; las terrazas y conos de valles aluviales intramontanos, conformados por depósitos recientes de material de litología similar a la anterior, producto de la erosión en las cuencas altas, y los abanicos aluviales del piedemonte, constituidos por bloques subangulares, cantos rodados y material de textura más fina en relación al presentado en las terrazas y conos intramontanos (INPARQUES-ICAE, 2012).

Los suelos presentes son de bajo a mediano desarrollo pedogenético. En los fondos de los valles dominan suelos de los órdenes Molisol e Inceptisol, mientras que en las vertientes dominan Entisoles e Inceptisoles (González, 1975).

La hidrografía se circunscribe a la parte alta de la cuenca del río Chama y, en menor cuantía, a una porción de la parte alta de la cuenca del río Santo Domingo. Gran parte del Complejo de Humedales Altoandinos de la cuenca alta del río Chama y del sistema lagunar Santo Cristo, se encuentra en jurisdicción del municipio Rangel.

Este complejo de humedales está conformado por 33 lagunas de origen glaciario, asociadas a cursos de agua, ciénagas, céspedes y turberas, determinantes para regular el régimen hidrológico desde el piso altoandino hasta las zonas bajas (Pineda *et al.*, 2007).

La vegetación de páramo del municipio Rangel forma parte de las siguientes unidades ecológicas establecidas por Ataroff y Sarmiento (2003):

- **Páramo Altiano.** Entre los 4.000 a 4.800 msnm, en vertientes secas y los 4.300 a 4.800 msnm, en vertientes húmedas. Heladas copiosas todo el año. Ecosistema desértico con baja cobertura vegetal, con un estrato bajo dominado por arbustos y plantas en cojín menores de 40 cm, y un estrato alto (a veces ausente) entre 3 y 4 m, dominado por las especies de rosetas gigantes: *Coespeletia timotensis* y *Coespeletia spicata*.
- **Páramo Andino.** Entre los 2.700 a 4.000 msnm, en vertientes secas y los 3.000 a 4.300 msnm, en vertientes húmedas. Heladas restringidas a la época de sequía. La vegetación es un mosaico de comunidades arbustivas y herbáceas, dominado por rosetas y arbustos (estrato superior: 50-150 cm), arbustos y hierbas (estrato intermedio: 20-50 cm), y cojines y hierbas (estrato inferior ≤ 20 cm). Especies indicadoras: *Espeletia schultzei*, *Espeletia batata*, *Chaetolepis alpestris*, *Hypericum laricifolium*, *Geranium multiceps*.
- **Bosques Subpararameros.** Importantes en el límite inferior del páramo, en vertientes secas, desde los 2.600 hasta los 3.000 msnm. Existen dos tipos: **a)** El Subpáramo: bosque bajo o arbustal entre 3 y 5 m, con especies indicadoras como *Escallonia floribunda*, *Berberis discolor*, *Hypericum sp.*, *Dodonaea viscosa*; y **b)** El Alisal: bosque con dosel de 15 m, dominado por *Alnus acuminata* y *Espeletia neriifolia*.

De las especies señaladas en el Libro Rojo de la Fauna Venezolana (Rodríguez y Rojas-Suárez, 2008), destacan para las áreas del páramo andino

merideño, en peligro crítico: *Atelopus mucubajiensis* (sapito amarillo de Mucubají), *Atelopus piñangoi* (sapito verdirrojo de Piñango) y *Vultur gryphus* (cóndor andino); en peligro: *Tremarctos ornatus* (oso frontino), *Odocoileus lasiotis* (venado cola blanca de páramo) y *Hapalopsittaca amazonina* (perico multicolor); y vulnerables: *Mazama bricenii* (locha o venado matacán), *Leopardus tigrinus* (cunaguaro) y *Merganetta armata* (pato de torrentes).

La situación ambiental de los páramos de Venezuela está sometida a una dinámica compleja de interrelaciones a saber (Salas-Bourgoin *et al.*, 2011): **a)** son fuente primaria de los recursos hídricos que sustentan el desarrollo regional; **b)** poseen condiciones agroecológicas únicas para la producción de rubros importantes para la seguridad alimentaria; y **c)** albergan condiciones paisajísticas sobresalientes para el sector turístico.

En el municipio Rangel predomina el uso agrícola (agricultura hortícola y de tubérculos) con diferentes niveles de intensidad, en función de la topografía del terreno, la cercanía a los centros poblados y la accesibilidad. Para el año 2015, el Ministerio para la Agricultura y Tierras consideraba una superficie bajo uso agrícola en este municipio de 5.607,00 ha (MAT, 2017). Los principales rubros cultivados son papa, zanahoria, calabacín, cebollín, repollo, lechuga, coliflor, brócoli y ajo, este último, contraproducente por su elevada exigencia de agua para riego y de agroquímicos.

Las áreas con pendientes menos pronunciadas, como las terrazas y conos de los valles aluvionales intramontanos, y los abanicos aluviales del piedemonte, constituyen áreas predilectas para el uso agrícola, siendo cultivadas de manera intensiva, con dotación de sistemas de riego y uso de agroquímicos. Según Pineda *et al.* (2007), los cursos de agua del complejo de humedales de la cuenca alta del río Chama, constituyen la fuente de suministro para 39 sistemas de riego ubicados en el municipio Rangel, cubriendo una superficie

cercana a las 2.250 ha, en beneficio de más de 1.000 pequeños y medianos productores.

En segundo orden se ubican usos como la ganadería (semi-intensiva y extensiva), residencial, turístico y comercial. Como consecuencia de la escasez y los elevados costos de los insumos agrícolas, que en la última década han afectado fuertemente al sector agrícola del país, áreas previamente destinadas a la siembra de cultivos anuales, fueron convertidas en potreros para la práctica de la ganadería semi-intensiva como fuente de comercialización de lácteos (leche, natillas, cuajadas y quesos ahumados).

No obstante, los patrones de pastoreo de la ganadería extensiva han perdurado más como una actividad arraigada a la tradición que, por su ocasional ventaja económica, conlleva a efectos como la erosión en laderas (pie de vaca) y la compactación de los suelos en áreas de alta fragilidad de los humedales de los fondos de valle.

Por su parte, los usos residencial, turístico y comercial coinciden con el patrón de crecimiento demográfico concentrado del centro poblado de Mucuchíes y comunidades conexas como El Royal, Mixteque, Mocao, La Toma y Misintá, demandando para tales fines tierras en áreas con pendiente suave que inevitablemente comprometen la disponibilidad de tierras con mejor aptitud agrícola, e incrementan la presión en áreas de mayor pendiente para el desarrollo de cultivos, en detrimento de los ecosistemas de la zona.

4. Materiales y métodos

La investigación parte del diseño de un sistema de indicadores para monitorear y evaluar la gestión del Plan de Acción para la Conservación del Páramo Andino Venezolano. De acuerdo a los objetivos del plan, orientados fundamentalmente a la conservación de la región natural páramo andino,

dentro del sistema de indicadores se seleccionó al indicador ‘cobertura vegetal de páramo andino intervenida’, que además de conferir operatividad al sistema, permitió monitorear los cambios de la cobertura vegetal de páramo en determinados períodos de tiempo.

De este modo, la metodología se centra en la identificación de los cambios de la cobertura vegetal a través del análisis multitemporal, haciendo la interpretación de tres (3) imágenes de satélite de los años 2006, 2012 y 2016, que abarcan al municipio Rangel, como área altamente representativa de las características socioambientales del páramo andino venezolano (FIGURA 2).

Para el análisis fue necesario disponer del material cartográfico base, conformado por mapas topográficos a escala 1:100.000 (MARNR, 1977) y por imágenes Landsat correspondientes al área objeto de estudio, obtenidas a través de la página del Servicio Geológico de los Estados Unidos (U.S. Geological Survey, 2016), en particular, dos imágenes captadas por el sensor Landsat 7 durante los años 2006 y 2012, y una imagen captada por el sensor Landsat 8 durante el año 2016 (FIGURA 3).

Utilizando el software QGIS versión 3.4 se digitalizaron los elementos cartográficos necesarios del mapa base, destacando el polígono que delimita el área de estudio, curvas de nivel índice, hidrografía, vialidad y centros poblados.

Luego se procedió al tratamiento de las imágenes satelitales de la misma área mediante el software ERDAS IMAGINE 2013, para aplicar una Clasificación No Supervisada, permitiendo la unión de las bandas espectrales de cada imagen, de manera de clasificar las coberturas de la tierra, considerando las siguientes clases resaltantes: a) Páramo Andino (todos los ecosistemas de la región natural páramo andino); b) Selva Nublada Montano Alta; c) Bosque Siempreverde Seco Montano Alto y d) Áreas intervenidas.

FIGURA 2. Secuencia metodológica seguida para el análisis multitemporal de los cambios de cobertura vegetal de páramo en el período 2006-2012-2016.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

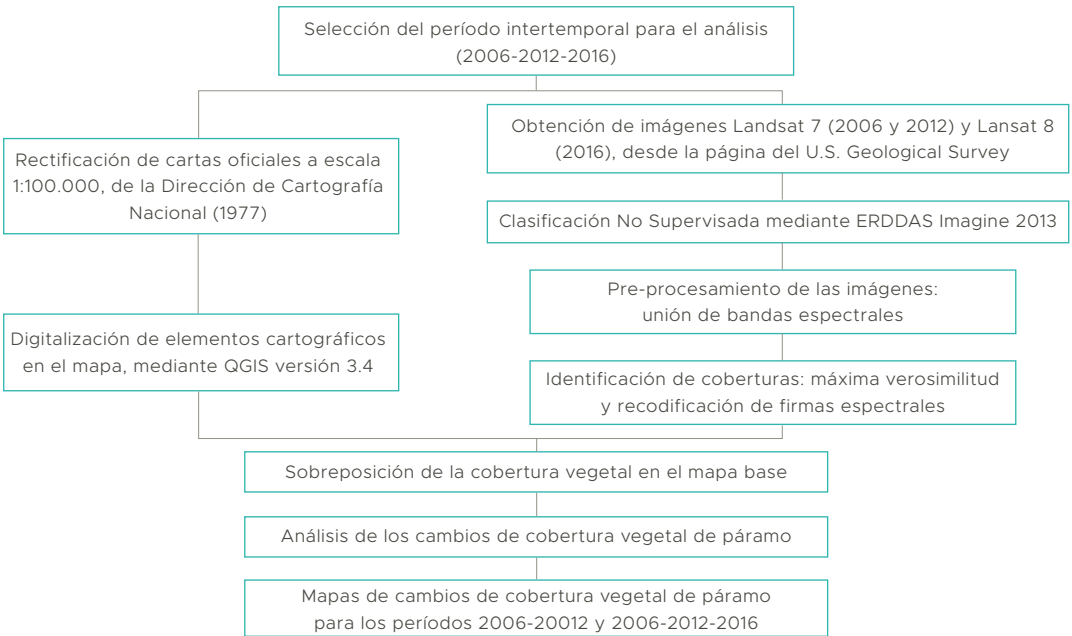
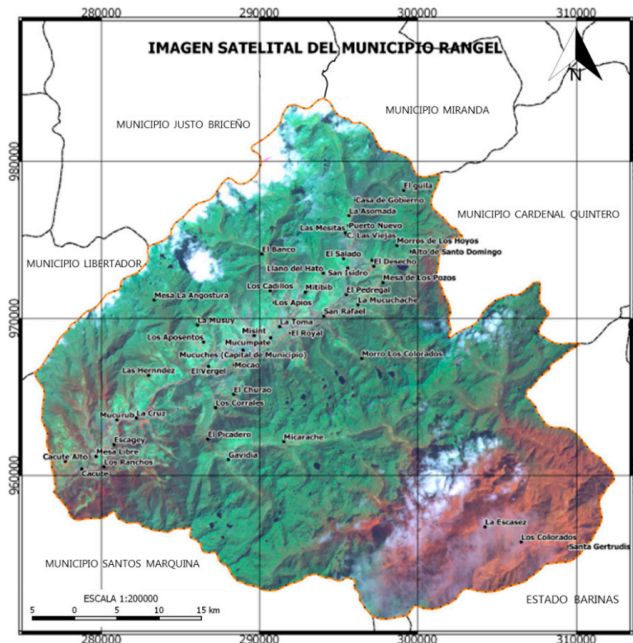


FIGURA 3. Imagen Landsat 8 (2016) del área de estudio.

FUENTE: ADAPTADA DE U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 2016



La asignación de los píxeles a las clases seleccionadas se llevó a cabo mediante el criterio de decisión de la máxima verosimilitud usando el software ERDAS IMAGINE 2013, para posteriormente proceder a evaluar las estadísticas de entrenamiento de las firmas espectrales resultantes de las coberturas de la tierra, siguiendo el método estadístico de separabilidad mediante la función de divergencia transformada. Así, a las firmas espectrales de una misma clase informacional se les aplicó una recodificación que permitió ordenar y eliminar la redundancia de clases, uniendo polígonos cercanos con características comunes.

El significado temático de las clases obtenidas respondió a criterios de sistematización fisiográfico-florísticos de las unidades ecológicas que representan, siendo el número de las mismas inferior a las complejas asociaciones vegetales que a nivel de detalle, existen en la realidad. Este es el caso de las unidades ecológicas de bosques subparameros, páramo andino y páramo altiandino, las cuales quedaron comprendidas en la clase denominada Páramo Andino (sin intervención y con intervención).

En este sentido, el análisis del indicador ‘cobertura vegetal de páramo andino intervenida’, se realizó observando la extensión de la vegetación de las mencionadas unidades ecológicas de manera integral, debido a la complejidad para diferenciar los límites precisos (ecotonos) entre estas, lo cual

no afecta el estudio, ya que está orientado a la determinación de la superficie intervenida como un todo en las zonas de páramo.

Así mismo, el análisis de la cobertura vegetal se hizo mediante observación directa en pantalla de la imagen más antigua (captada en el año 2006), replicando el procedimiento para las imágenes de los años 2012 y 2016, obteniendo los mapas de cambios de cobertura vegetal para los períodos 2006-2012 y 2006-2012-2016, además de su respectiva valoración en términos porcentuales (%) y de superficie (ha).

Para confirmar la información obtenida se validó la cartografía y las coberturas de las imágenes en función del conocimiento previo del área de estudio, y de la realización de salidas de campo hacia sectores con dominancia de usos agrícola y residencial, entre los que destacan: Misintá, La Toma, San Rafael, Mixteque, Mocoa y Gavidia.

5. Resultados y discusión

La interpretación de la imagen Landsat 7 del año 2006 arrojó que la superficie intervenida de la región natural páramo andino era de 13.094,47 ha, incluyendo como superficie intervenida los siguientes usos de la tierra: residencial, carreteras, agricultura, ganadería y barbechos (áreas cultivables en descanso). Esto indica un 17,91% de intervención con respecto a la superficie total del municipio Rangel (73.055,41 ha), (TABLA 2; FIGURA 4).

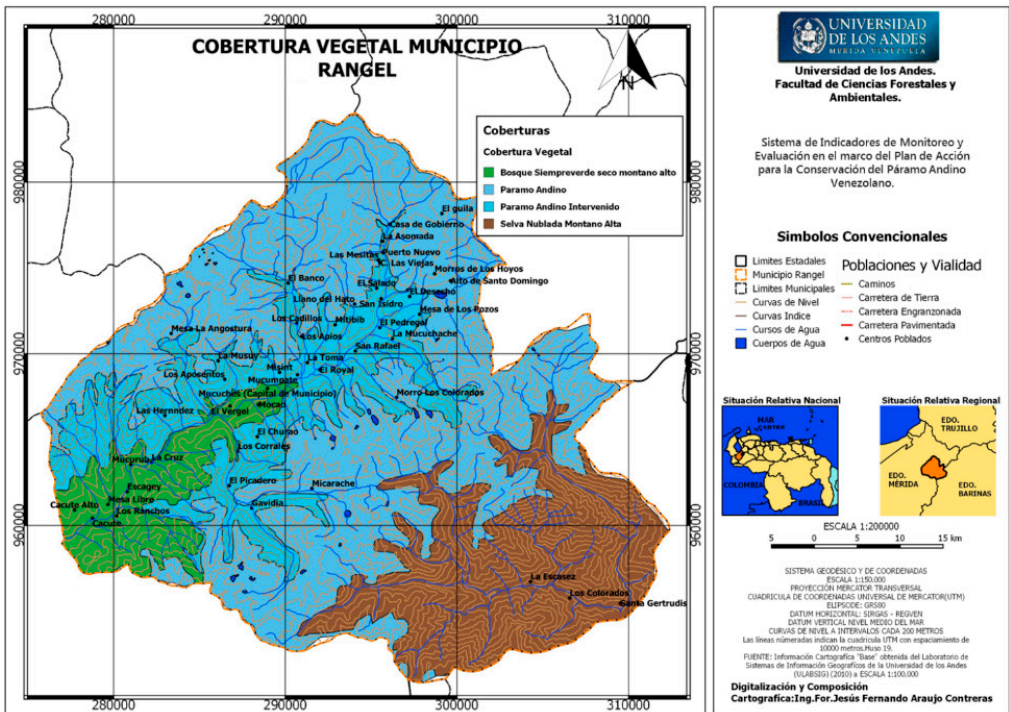
TABLA 2. Valores de la cobertura vegetal en el municipio Rangel para el año 2006.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Clases de coberturas	Superficie (ha)	Cobertura (%)
Bosque siempreverde seco montano alto	6.257,04	8,56
Páramo andino	37.500,04	51,33
Páramo andino intervenido	13.084,47	17,91
Selva nublada montano alta	16.213,87	22,19
Superficie total	73.055,42	100

FIGURA 4. Mapa de la cobertura vegetal del área de estudio para el año 2006.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



Seguidamente, interpretando la imagen Landsat 7 del año 2012 y comparándola con la anterior del año 2006, se evidenció un aumento sostenido de la expansión de las áreas intervenidas de 452,21 ha, incrementando de 13.084,47 ha a 13.536,68 ha, lo que significa una pérdida de cobertura vegetal de páramo de 75,37 ha/año (TABLA 3; FIGURA 5).

Destaca el hecho de que el incremento de la intervención de la ecoregión páramo andino en el municipio Rangel para el período 2006-2012, ocurre en un momento en el cual la actividad agrícola aún mantenía ciertas condiciones favorables para la producción, lo que estimulaba a los productores a intervenir mayor cantidad de áreas para su aprovechamiento, especialmente si se compara con el siguiente periodo 2012-2016 (TABLA 4 y 5).

Interpretando la imagen captada por el sensor Landsat 8 del año 2016, se observa un aumento de superficie de páramo intervenido menos intenso con respecto al período anterior, pasando de 13.536,68 ha a 13.588,27 ha de páramo intervenido, con un leve incremento de 52 ha, es decir, 13 ha/año para el período 2012-2016, lo que no implica una disminución del proceso de afectación de la región natural páramo andino, pero si una considerable reducción en la tendencia de extensión de la frontera agrícola sobre las áreas naturales, respecto al período previamente analizado (TABLA 4; FIGURA 6).

Sin desmeritar los esfuerzos institucionales y comunitarios dirigidos a la protección del ambiente, entre los factores que contribuyeron con la reducción de la presión sobre los ecosistemas naturales en el período 2012-2016, deben considerarse:

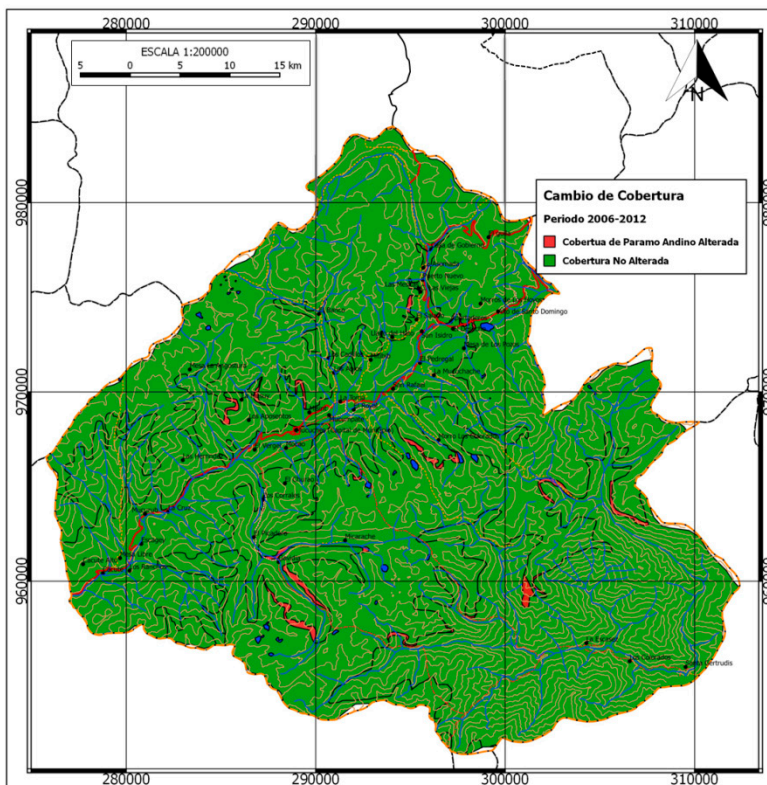
TABLA 3. Valores de la cobertura vegetal en el municipio Rangel para el año 2012.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Clases de coberturas	Superficie (ha)	Cobertura (%)
Bosque siempreverde seco montano alto	6.223,3	8,52
Páramo andino	36.905,28	50,52
Páramo andino intervenido	13.536,68	18,53
Selva nublada montano alta	16.390,16	22,44
Superficie total	73.055,42	100

FIGURA 5. Cambios de la cobertura vegetal de páramo en el municipio Rangel para el periodo 2006-2012. El color rojo indica el incremento de la superficie intervenida

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



- Escasez e incremento en el costo de los insumos agrícolas. Hasta mediados del año 2010, la empresa Agroisleña CA operaba en la zona y representaba la principal casa comercial para abastecer la demanda local de semillas, fertilizantes y pesticidas, en contraste con la

empresa estatal Agopatria, que sustituyó a la primera sin sostener dicha demanda, obligando a un limitado grupo de medianos agricultores, a obtener los insumos a mayor costo desde fuentes como el comercio informal y las importaciones.

TABLA 4. Valores de la cobertura vegetal en el municipio Rangel para el año 2016.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Clase de cobertura	Superficie (ha)	% Cobertura
Bosque siempreverde seco montano alto	6.222,15	8,52
Páramo andino	36.605,05	50,11
Páramo andino intervenido	13.588,27	18,60
Selva nublada montano alta	16.639,95	22,78
Superficie total	73.055,42	100

TABLA 5. Resumen de los valores de coberturas en el área de estudio para el período 2006-2016.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Clase de cobertura	Superficie (ha)			Variación (2006-2016)
	(2006)	(2012)	(2016)	
Bosque siempreverde seco montano alto	6.257,04	6.223,30	6.222,15	Disminuyó 34,89 ha
Páramo andino	37.500,04	36.905,28	36.605,05	Disminuyó 894,99 ha
Páramo andino intervenido	13.084,47	13.536,68	13.588,27	Aumentó 503,80 ha
Selva nublada montano alta	16.213,87	16.390,16	16.639,95	Aumentó 426,08 ha
Total	73.055,42	73.055,42	73.055,42	-----

- Emigración de los agricultores, fundamentalmente jóvenes. A finales del año 2015 y principios de 2016 surgió un intenso y constante movimiento de venezolanos al exterior, provenientes de todos los estratos sociales. Según el informe del Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas (United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2017), en el año 2015 se estimó alrededor de 1.404.448 venezolanos viviendo en el exterior, cerca del 30% de incremento con relación al año 2000, cuando se estimó un total de 1.013.663 inmigrantes venezolanos en el mundo.
- Control de precios y obstáculos para la distribución de la producción. El control estatal de precios y los obstáculos presentados por los organismos de seguridad para la comercialización de los productos, han generado un fuerte desestimulo al sector agrícola en la

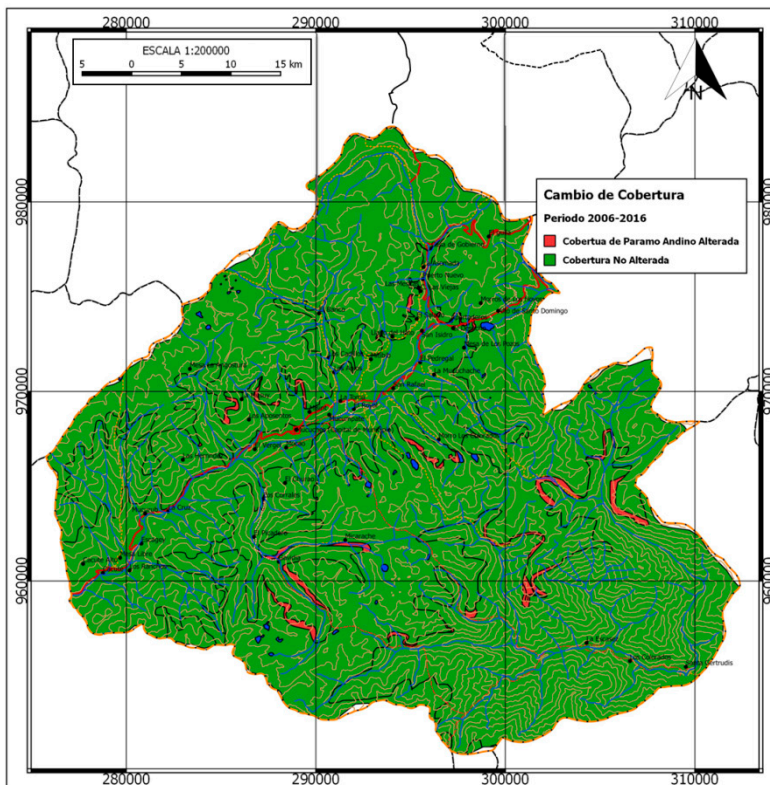
región andina venezolana, conllevando a un decrecimiento en la producción.

Tapia *et al.* (2017), afirman que sectores productivos, empresariales y académicos vinculados con la agricultura, coinciden en que los principales factores que contribuyen a la inseguridad alimentaria en Venezuela son: inseguridad jurídica (bienes y personas); políticas de precios que no cubren costos de producción; el control de cambio; el control de precios; y la política de importaciones con un tipo de cambio sobrevaluado.

Considerando los 10 años del período en estudio (2006-2016), la intervención de superficie de páramo andino representó un total de 503,80 ha, a lo que pueden sumarse 34,89 ha de superficie intervenida de bosque siempreverde seco montano alto en el límite transicional entre las unidades ecológicas subpáramo y páramo en las vertientes secas, siendo muy probable que este tipo de ecosistema adquiera matices de páramo al momento

FIGURA 6. Cambios de la cobertura vegetal de páramo en el municipio Rangel para el periodo 2006-2012-2016. El color rojo indica el incremento de la superficie intervenida.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



de dejar la tierra en descanso (colonización con especies arbustivas parameras o ‘paramización’).

De este modo, se determinó que el área total de afectación de la cobertura vegetal del páramo andino en el municipio Rangel del estado Mérida, debido a causas antrópicas, para el período intertemporal analizado (2006-2012-2016) es de 538,69 ha, lo que equivale a una extensión anual promedio de áreas para uso agrícola de 53,87 ha (TABLA 5).

Adicionalmente se identificó un aumento gradual sostenido de la cobertura vegetal de selva nublada montano alta de 426,08 ha, equivalente a 42,61 ha/año, específicamente en el ecotono de este ecosistema y el páramo, hacia las vertientes sureste de las sierras Nevada y de Santo Domingo,

dentro de los límites del municipio Rangel, en áreas no afectadas por las actividades antrópicas, siendo un reflejo del avance altitudinal de los bosques andinos, posiblemente como consecuencia del calentamiento del planeta, hipótesis que constituye un factor medible de gran interés, no considerado tácitamente dentro de las medidas y líneas del Plan de Acción para la Conservación del Páramo Andino Venezolano.

Investigaciones basadas en el análisis multitemporal de la cobertura vegetal de los páramos y su condición frente al cambio climático, utilizando sensores remotos, como los estudios de Jiménez Sánchez (2017) en el Páramo Rabanal-Río Bogotá, Colombia, y de López *et al.* (2017) en el Parque

Nacional Cotopaxi, Ecuador, podrían sustentar metodológicamente la comprobación de la anterior hipótesis.

Finalmente, simplificando los datos referidos a la afectación antrópica de las áreas de páramo andino, concibiendo un indicador que demuestre la operativización del sistema de monitoreo y evaluación del citado Plan, mediante el análisis multitemporal de coberturas dentro del municipio Rangel del estado Mérida, se obtuvo la siguiente caracterización del indicador 'cobertura vegetal de páramo andino intervenida' (Tabla 6):

6. Conclusiones

En líneas generales, el análisis multitemporal del proceso de afectación del páramo andino para el período 2006-2016, permitió determinar que la intervención de esta región natural representó un total de 538,69 ha, lo que equivale a una extensión de áreas incorporadas principalmente al uso agrícola de 53,87 ha/año.

En el lapso comprendido entre los años 2006 y 2012, se presentó una considerable ampliación de la frontera agrícola con la consiguiente afectación de la superficie de los ecosistemas de páramo en el municipio Rangel. Entre los años 2012 y 2016, hubo una disminución en la tendencia del avance de la frontera agrícola sobre la superficie de páramo, debido a factores como el encarecimiento y la escasez de insumos agrícolas, el control de precios por parte del gobierno central, la emigración de jóvenes agricultores, los recurrentes obstáculos sobre las cadenas de distribución y comercialización de productos, entre otros asociados a la crisis económica nacional, no ajenos al sector agrícola.

El análisis multitemporal también permitió obtener el valor de línea base del indicador 'cobertura vegetal de páramo andino intervenida', correspondiente a 13.588,27 ha para el año 2016, ejemplificando la aplicación del sistema de indica-

dores para el monitoreo y evaluación del Plan de Acción para la Conservación del Páramo Andino.

Por su parte, la cobertura representada por la selva nublada montano alta en las zonas de ecotono entre páramo y bosques andinos, hacia las vertientes sureste de las Sierras Nevada y de Santo Domingo, dentro de los límites del municipio Rangel, presentó un aumento de 426,08 ha en los 10 años que comprendió el análisis multitemporal, es decir, 42,61 ha/año, reflejando el avance altitudinal de los bosques andinos, posiblemente como efecto del calentamiento del planeta, en áreas no afectadas antrópicamente, lo cual puede ser perfectamente considerado como un indicador adicional (avance altitudinal de los bosques andinos) para aportar datos de interés a la gestión del citado Plan.

En síntesis, se identificaron elementos clave que permiten comprender la impostergable necesidad de proteger la región natural páramo andino, considerando su relevancia como ambiente generador de múltiples beneficios que sustentan la calidad de vida de la población y dando pertinencia a la oportuna implementación del Plan de Acción para la Conservación del Páramo Andino Venezolano, ciertamente dentro de un Estado que promueva garantías de derecho, estabilidad política y socioeconómica, y coherencia institucional para concretar acciones de ordenación del territorio y de gestión sostenible de los recursos naturales.

7. Referencias citadas

- ATAROFF, M. y L. SARMIENTO. 2003. *Diversidad en los Andes de Venezuela. I mapa de unidades ecológicas del estado Mérida*. CD-ROM. Ediciones Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas (ICAE). Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.
- CHUVIECO, E. 1990. *Fundamentos de la teledetección espacial*. Edición Ilustrada. Editorial Rialp. Barcelona, España.
- CORPOANDES. 2010. *Dossier municipal 2010 Rangel*. Oficina de Información y Documentación de la Corporación de Los Andes. Mérida, Venezuela.
- FONSECA, L.; ROMÁN, L. y O. GUERREO. 2009. *Propuesta metodológica para la caracterización sedimentológica y geomorfológica de humedales alto andinos: un caso de estudio en la microcuenca de la quebrada Mixteque en el municipio Rangel, Mérida Venezuela*. Sedimentología y Geomorfología Andina. Grupo de Investigaciones de Cs. de la Tierra – ‘TERRA’. Escuela de Ingeniería Geológica. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.
- GONZÁLEZ, R. 1975. *Algunos factores físicos y socio-económicos y el riego por aspersión en las regiones altas andinas. El caso Mistique, Mucuchíes. Estado Mérida*. Escuela de Geografía. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. Trabajo de ascenso a profesor Agregado.
- HERNÁNDEZ, E. 1993. *Monitoreo y evaluación de logros en proyectos de ordenación de cuencas hidrográficas*. Guía FAO de Conservación N° 24. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma, Italia.
- INPARQUES-ICAE. 2012. *Revisión y actualización del Plan de Ordenamiento y Reglamento de Uso del Parque Nacional Sierra Nevada. Informe final*. Tomo I. Dirección Regional Mérida-Trujillo-Barinas del Instituto Nacional de Parques. Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas. Mérida, Venezuela.
- JIMÉNEZ, B. y G. SÁNCHEZ PUIN. 2017. *Análisis multitemporal de la cobertura de la tierra del páramo Rabanal - río Bogotá y su condición frente a los escenarios de cambio climático, utilizando sistemas de información geográfica*. Universidad Libre, Colombia. Disponible en: <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11259/>. [Consulta: mayo, 2020].
- KOVISARS, L. 1972. Geología de la parte norte-central de los andes venezolanos. *IV Congreso Geológico Venezolano*. Memorias, 2: 817-859. Caracas, Venezuela.
- LÓPEZ, S.; WRIGHT, C. & P. COSTANZA. 2017. “Environmental change in the equatorial Andes: Linking climate, land use, and land cover transformations”. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 8: 291-303.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES (MARNR). 1977. Hojas 5941, 5942, 6041 y 6042. Escala 1:100.000. Dirección de Cartografía Nacional. Caracas, Venezuela.
- MINISTERIO PARA LA AGRICULTURA y TIERRAS (MAT). 2017. *Estadísticas del potencial de producción del estado Mérida por municipios 2002-2017*. Mérida, Venezuela.
- MUÑOZ, D.; RODRÍGUEZ, M. y M. ROMERO. 2009. “Análisis multitemporal de cambios de uso del suelo y coberturas, en la microcuenca Las Minas, corregimiento de La Laguna, municipio de Pasto, departamento de Nariño”. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 26(1): 11-24.
- PIMSTEIN, L.; SEGNIINI, R. y O. GUERRERO. 2013. “Modelo sedimentológico de los depósitos neógenos en la región central andina”. *Revista GEOMINAS*, 41(61): 111-120.

- PINEDA, R.; ZAMBRANO, G.; LAMAS, M.; SULBARÁN, E.; LLAMBÍ, L. y N. MATTIE. 2007. *Complejo de humedales cuenca alta del río Chama – sistema lagunar Santo Cristo*. Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR), Versión 2006-2008. Dirección Regional Mérida-Trujillo-Barinas del Instituto Nacional de Parques. Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas. Mérida, Venezuela.
- RODRÍGUEZ, J. P. y F. ROJAS-SUÁREZ (eds.). 2008. *Libro rojo de la fauna venezolana*. Tercera Edición. Provita y Shell Venezuela, S.A. Caracas, Venezuela.
- SALAS-BOURGOIN, M. A.; MATOS, F.; SULBARÁN, E. y G. Y. CADENA. 2011. *Plan de acción para la conservación del páramo andino*. Proyecto Páramo Andino. Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas. Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.
- SILVA, G. 2010. *Tipos y subtipos climáticos de Venezuela*. Escuela de Geografía. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. Trabajo de ascenso a la categoría de profesor Titular.
- SIERRA, D. 2012. *Diseño e implementación de un Plan de Acción Ambiental (PAA)*. Disponible en: <http://es.slideshare.net/canela205/diseo-e-implementacin-de-un-plan-de-accin-ambiental-13387721>. [Consulta: enero, 2020].
- TAPIA, M.; PUCHE, M.; PIETERS, A.; MARRERO, J.; CLAVIJO, S.; GUTIÉRREZ, A.; MACHADO-ALLISON, C.; RAFFALLI, S.; HERRERA, M.; LANDAETA, M.; OLETTA, J.; COMERMA, J.; SILVA, O.; BARRIOS, M.; ORTIZ, A.; CÓRCEGA, E.; SOTO, E.; PINTO, L.; VARGAS, D. y F. BISBAL. 2017. “Seguridad alimentaria y nutricional en Venezuela. Secuestro agroalimentario de un país: visión y compromiso”. En: *Retos y oportunidades de la seguridad alimentaria y nutricional en las Américas*. pp. 595-636. IANAS Reporte Regional. Caracas, Venezuela.
- UNITED NATIONS. 2017. *Trends in International Migrant Stock: The 2017 revision*. United Nations database. Department of Economic and Social Affairs. Population Division. POP/DB/MIG/Stock/Rev.
- U.S. GEOLOGICAL SURVEY. 2016. *Landsat 7, 2006 y 2012, y Landsat 8, 2016*. Earth Explorer. U.S. Department of the Interior. Disponible en: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (Imágenes satelitales). [Descargadas en fecha 14.11.2016].

Lugar y fecha de finalización del artículo:
Mérida, Venezuela; mayo, 2020.
Revisión y corrección: noviembre, 2020