

<https://doi.org/10.17163/abyaups.78.567>

# **Análisis multitemporal del cambio de uso y ocupación del suelo en el tramo del Qhapac Ñan Achupallas-Ingapirca**

---

Estefanía C. Avilés-Sacoto  
Universidad Politécnica Salesiana, Quito (Ecuador)  
eaviles@ups.edu.ec  
<https://orcid.org/0000-0001-6434-7810>

Jhonny P. Rodríguez-Ponce  
AGP Geospatial Company  
meister04@hotmail.com  
<https://orcid.org/0000-0001-9932-941X>

## **Introducción**

El Qhapac Ñan, o Camino Inca, fue una importante red de caminos y senderos que conectaba los territorios del imperio incaico en América del Sur (UNESCO, 2014). En Ecuador, el camino se extiende por más de 100 kilómetros, pasando por varias regiones y provincias del Ecuador; según el Ministerio de Cultura y Patrimonio de Ecuador, el Qhapac Ñan en el país fue construido a lo largo de varios siglos, comenzando en el siglo XV y continuando hasta la llegada de los españoles en el siglo XVI (Instituto Nacional de Patrimonio Cultural, 2022).

El Camino del Inca en Ecuador se dividía en dos rutas principales: la ruta del norte, que comenzaba en la ciudad de Quito y se dirigía hacia el norte hacia la región costera; y la ruta del sur, que partía de Cuenca y

se dirigía hacia el sur hasta la frontera con Perú (Instituto Nacional de Patrimonio Cultural, 2022). En la actualidad, varios tramos de sus tramos han sido restaurados y están abiertos al público como atracciones turísticas siendo uno de los tramos más populares es el que conecta las ruinas de Ingapirca con Achupallas. Este tramo, que se extiende por unos 40 kilómetros, cuenta con varios sitios arqueológicos y hermosos paisajes andinos (Instituto Nacional de Patrimonio Cultural, 2022). Achupallas-Ingapirca tiene la particularidad que atraviesa un importante parque nacional del Ecuador, el Parque Nacional Sangay, que fue declarado como patrimonio natural de la humanidad en 1983.

El Parque Nacional Sangay recorre cuatro provincias del Ecuador: Cañar, Chimborazo, Tungurahua y Morona Santiago, con una extensión de 502 105 hectáreas (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2016).

Este parque cuenta con diversos tipos de ecosistemas como bosques, páramos, lagunas, ríos y volcanes; alberga a más de 3000 especies de plantas de las cuales 586 son únicas del área (250 son orquídeas), a 150 especies de mamíferos, 400 especies de aves, 90 especies de anfibios, 26 especies de reptiles y 17 especies de peces (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2016).

Con respecto a aspectos culturales, existen vestigios preincaicos y precolombinos en el mismo, que muestran que esta zona estuvo habitada por comunidades guamboyas, canelos y macas, así como por puruháes y en la actualidad kichwas (UNESCO, 1972).

El sistema vial andino Qhapac Ñan cruza al sur de la zona de Achupallas e ingresa al parque, pasando por la laguna de Culebrillas, para luego salir de sus límites hacia las ruinas de Ingapirca. Es uno de los principales atractivos turísticos del parque, aunque desde hace años es objeto de investigaciones por la búsqueda de oro que poblaciones incas pudieron haber dejado a lo largo de este trayecto.

A pesar de su riqueza biológica y cultural, el Parque Nacional Sangay está amenazado por el avance de la frontera agrícola y ganadera, que

ha provocado la pérdida del ecosistema de páramo y de la vegetación herbácea y su sustitución por pastos para el consumo del ganado de las poblaciones que viven cerca de los límites del parque.

Según el arqueólogo ecuatoriano Oswaldo Rojas, el Qhapac Ñan en Ecuador no solo era una importante vía de comunicación y transporte, sino también un símbolo de la unidad y cohesión del imperio incaico. En un artículo publicado en la revista científica *Arqueología y Sociedad*, Rojas destaca la importancia del camino como herramienta para la integración de las diferentes regiones y culturas del imperio incaico, por lo que se puede afirmar que el Qhapac Ñan en Ecuador es una importante obra de ingeniería y un valioso patrimonio cultural que debe ser conservado y puesto en valor (UNESCO, 2014).

## **Materiales y metodología**

El estudio comenzó con una aproximación al principal problema que enfrenta el área protegida del Parque Nacional, que es la pérdida de páramo por el cambio de uso de suelo y el avance de la frontera agrícola y ganadera, y continuó con la delimitación efectiva del área de estudio a través del uso de información secundaria (cartografía) que corresponde al Parque Nacional Sangay en la zona de Achupallas-Ingapirca en la provincia de Cañar en el sur de Ecuador.

La ruta del estudio se encuentra ubicada entre las parroquias de Achupallas en la provincia de Chimborazo y el Tambo e Ingapirca en la provincia de Cañar; con una extensión aproximada de 40 kilómetros, como se muestra en la figura 1.

Para definir la ruta, se obtuvo información secundaria del Ministerio de Cultura, a través del portal del Sistema Nacional de Información-SNI. Esta información referencial sirvió como base para poder entender cómo se encontraba distribuida la ruta entre las zonas pobladas de Ingapirca en Cañar y Achupallas en Chimborazo (Instituto Nacional de Patrimonio Cultural, 2022).

A través del uso de imágenes de muy alta resolución (0.5 m) existentes en tapices de acceso gratuito como son Bing, Esri y Google, dentro de la plataforma ArcGis; se ajustó la georreferencia del trayecto para tener una ruta más ajustada a la realidad.

El mapa del área de estudio está presentado en la siguiente figura.

**Figura 1**  
*Área de estudio*



Una vez obtenido el trazado final, se realizó una categorización del nivel de posible afectación existente en la ruta. Esta afectación se ajustó a tres niveles, que son:

- Afectación baja: trayecto que se encuentra sobre vegetación natural, como son pajonales, vegetación herbácea o de páramo, las cuales no hacen una presión muy fuerte sobre los vestigios de la ruta. Se definió un área buffer de 50 metros alrededor del vector.
- Afectación media: zona que se encuentra sobre zonas agrícolas o áreas urbanas no consolidadas, y que realizan mayor presión que la vegetación natural. Se estableció un buffer de 200 metros sobre la ruta.
- Afectación alta: existe una fuerte presión sobre los vestigios de la ruta, se ubica en zonas pobladas más densas y con mayor actividad agrícola. Se definió un buffer de 500 metros.

### Figura 2

*Niveles de afectación en zona de estudio*



A partir de este análisis, se ejecutó el área buffer o de amortiguamiento, con base en el nivel de intervención y afectación existente, como se indica en la siguiente tabla:

**Tabla 1**

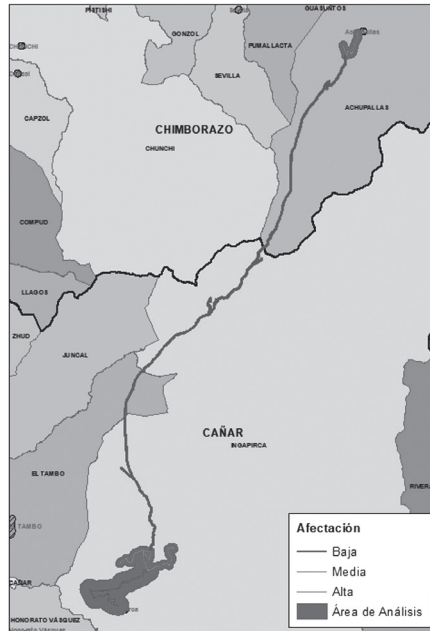
*Definición de afectación de segmentos*

Nivel	Segmento (km)	Buffer (m)
Afectación baja	35.21	50
Afectación media	9.24	200
Afectación alta	6.47	500

Con esta categorización se estableció un área total de análisis de 1167.81 hectáreas, como se observa a continuación:

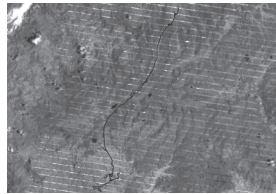
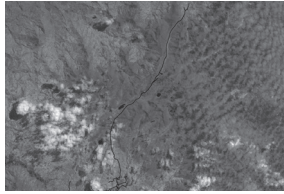
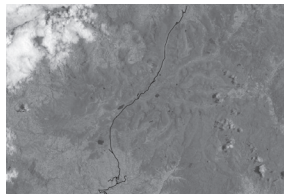
**Figura 3**

*Área de análisis para uso de suelo*



Para la generación de cartografía de uso y cobertura del suelo y análisis multitemporal, se buscaron imágenes satelitales de media resolución en 2006, 2014 y 2022. En la actualidad existen varias agencias gubernamentales y privadas que generan datos e imágenes satelitales que pueden ser aprovechadas para estudios y análisis de los cambios en el uso del suelo en cualquier lugar del planeta. Así pues, se accedió a información disponible en el portal de la NASA, la cual cuenta con varias misiones, entre ellas Landsat, que posee un catálogo de imágenes que cumplen con el requisito de multitemporalidad para este estudio. Se han utilizado imágenes de los sensores Landsat 7 y Landsat 8, como se observa a continuación, ambos sensores presentan imágenes con un tamaño de pixel de 30 cm (Earth Explorer USGS, 2022).

**Tabla 2***Imágenes satelitales utilizadas en el estudio*

Años	Sensor	Fecha	%
2006	Landsat 7	16/10/2006	
2014	Landsat 8	26/07/2014	
2022	Landsat 8	13/11/2022	

Para la generación de información temática de cobertura y uso de la tierra, la metodología se fundamenta en la interpretación interdependiente de productos de sensores remotos, apoyados de información secundaria de otras disciplinas como: suelo, clima, ecología, entre otras, a través de Sistemas de Información Geográfica.

Las etapas para el desarrollo del mapa de uso de suelo fueron las siguientes:

- Recopilación de información secundaria e insumos.
- Definición de la leyenda temática.
- Procesamiento digital.
- Levantamiento de Información de campo.
- Interpretación y codificación de unidades.
- Validación de datos.
- Control de calidad geográfica.

Previa a la generación del mapa de uso de suelo, fue necesaria la recopilación de datos que puedan ayudar a tener una visión general del área de estudio, para esto se recopilaron los siguientes datos:

- Ruta Qhapac Ñan del Ministerio de Cultura y Patrimonio de Ecuador.
- División político administrativa CONALI-2019.
- Mapa de uso de suelo escala 1:25000 levantado por el MAG-SIGTierras
- Tapices satelitales de uso libre de Google, Esri y Bing.
- Posterior a esto, se estableció la leyenda temática.

Según la FAO, el uso del suelo se caracteriza por los arreglos, actividades e insumos que las personas realizan en un determinado tipo de cobertura del suelo para producirlo, cambiarlo o mantenerlo. De esta manera, la definición del uso de la tierra establece un vínculo directo entre la cobertura de la tierra y las acciones de las personas en su entorno. Para este fin, se trabajó con un primer nivel general que corresponde a las coberturas definidas por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (siglas en inglés IPCC), adaptado para Ecuador por CLIRSEN, MAGAP y MAE para el nivel I.

**Tabla 3**  
*Leyenda IPCC*

IPCC Classes considered FOR THE CHANGE DETECTION		LCCS LEGEND USED IN THE CCI-LC MAPS	
1. Agriculture		10,11,12	Rainfed cropland
		20	Irrigated cropland
		30	Mosaic cropland (>50%) / natural vegetation (tree, shrub, herbaceous cover) (<50%)
		40	Mosaic natural vegetation (tree, shrub, herbaceous cover) (>50%) / cropland (< 50%)
2. Forest		50	Tree cover, broadleaved, evergreen, closed to open (>15%)
		60, 61, 62	Tree cover, broadleaved, deciduous, closed to open (> 15%)
		70, 71, 72	Tree cover, needleleaved, evergreen, closed to open (> 15%)
		80, 81, 82	Tree cover, needleleaved, deciduous, closed to open (> 15%)
		SO	Tree cover, mixed leaf type (broadleaved and needleleaved)
		100	Mosaic tree and shrub (>50%) / herbaceous cover (< 50%)
		160	Tree cover, flooded, fresh or brackish water
3. Grassland		110	Mosaic herbaceous cover (>50%) / tree and shrub (<50%)
		130	Grassland
4. Wetland		180	Shrub or herbaceous cover, flooded, fresh-saline or brackish water
5. Settlement		190	Urban
6. Other	Shrubland	120,121,122	Shrubland
	Sparse vegetation	140	Lichens and mosses
		150,151,152, 153	Sparse vegetation (tree, shrub, herbaceous cover)
	Bare area	200, 201, 202	Bare areas
Water	210	Water	

La catalogación se basó en las categorías de IPCC, que está acorde a la escala de trabajo y el nivel de detalle al que se requiere. Además, la categorización inicial se basó en el Catálogo Nacional de Objetos Geográficos, versión 2.0, generado por la CONAGE; y también en el catálogo de objetos del Instituto Geográfico Militar, el cual, a su vez, toma como referencia las normas ISO/TS 19110:2005, Geographic Information-Methodology for feature cataloguing; e ISO 19126:2009, Geographic Information-Feature Concept Dictionaries and Registers; las cuales facilitan el almacenamiento, procesamiento, disponibilidad, intercambio, actualización y difusión de la información.

Después se procedió con el procesamiento digital de las imágenes satelitales (Chuvieco, 2010), los datos de las imágenes satelitales pueden poseer distorsiones geométricas y radiométricas. Por ello, los datos registrados por el sensor se ven muy afectados por las condiciones atmosféricas, el ángulo de captura de datos del sensor y el momento en que se recopilan los datos. Estas distorsiones deben corregirse antes de que pueda usarse como base para la interpretación y clasificación de la cobertura terrestre, durante la etapa de procesamiento previo de la imagen.

Este proceso tiene como objetivo corregir los datos de imagen distorsionados o degradados para crear una representación más confiable de la escena original. El preprocesamiento de imágenes consta de dos etapas:

- Correcciones radiométricas y atmosféricas.
- Correcciones geométricas.

Estos procedimientos se realizaron en módulos ATCOR y OrthoEngine, de Catalyst (antes PCI Geomatic).

La corrección radiométrica se encarga de homogenizar el píxel en relación con la pila de imágenes a utilizar en el estudio.

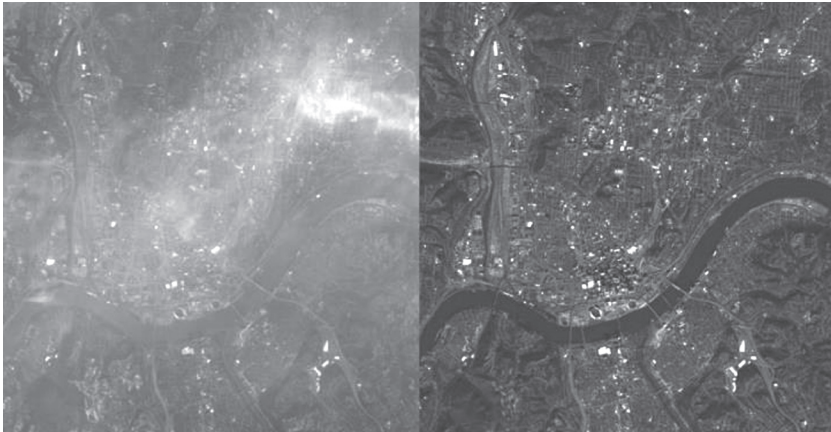
Para utilizar de forma fiable la información obtenida con tecnología satelital, es necesario eliminar o disminuir los efectos perturbadores que se asocian con la información espectral que captan los sensores a bordo de las plataformas espaciales.

La corrección atmosférica trata de evaluar y eliminar las distorsiones que la atmósfera introduce en los valores de radiancia que llegan al sensor desde la superficie terrestre.

Las imágenes Spot adquiridas ya han sido objeto de un tratamiento digital de los píxeles, sobre el que se han efectuado correcciones tanto atmosféricas como radiométricas, lo que da como resultado un producto limpio para ser procesado.

#### **Figura 4**

*Ejemplo de corrección radiométrica de imagen satelital*



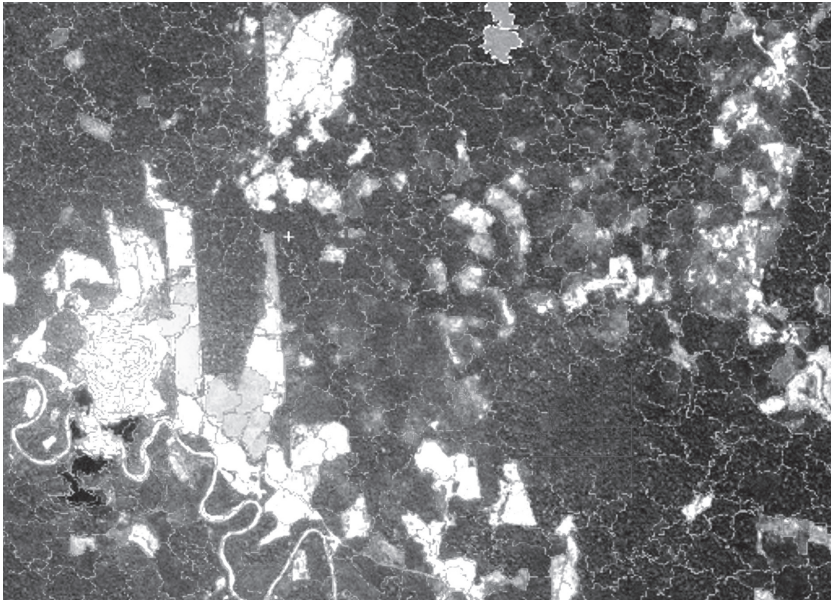
La corrección geométrica realiza la ortorrectificación geométrica en función del sistema de coordenadas propuesto para el estudio, así como el Datum. Las imágenes cuentan con una ortorrectificación previa, que la Nasa realiza utilizando el Modelo de Elevación SRTM, por lo que, debido al tamaño en píxeles de las escenas, no ha sido necesario realizar su ajuste geométrico.

El paso final fue la realización de la clasificación de las imágenes satelitales. A través de la plataforma Catalyst (antes PCI Geomatics), se utilizó la herramienta Object Analyst, la cual cuenta con una función ba-

sada en Machine Learning para el análisis de imágenes basado en objetos (OBIA), que permite segmentar los píxeles de una imagen en objetos para su clasificación y análisis (Catalyst, 2021). Este tipo de análisis difiere del enfoque tradicional basado en agrupación de píxeles similares, y centra su análisis en la interpretación de objetos previamente segmentados, como se muestra en el siguiente ejemplo

**Figura 5**

*Clasificación basada en objetos a través de programa especializado*



En la figura 5 se puede apreciar la segmentación la imagen y la selección de áreas de entrenamiento en la clasificación basada en objetos.

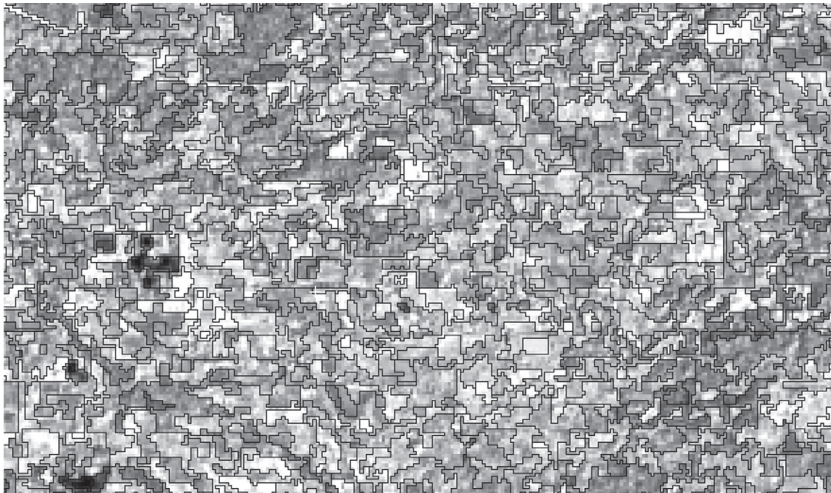
Object Analyst está diseñado principalmente para su uso con imágenes de muy alta resolución (VHR); sin embargo, se puede usar Object Analyst con cualquier imagen que cumpla con los criterios necesarios. Es decir, se pueden utilizar imágenes de alta, o media resolución.

Al trabajar con objetos, la interpretación visual humana de las imágenes se puede aumentar para hacer gran parte del trabajo preliminar en la creación y determinación de formas, tamaños, texturas, entre otros. Estas características son aprovechadas por la herramienta de clasificación basada en objetos de Catalyst, proporcionando el siguiente flujo de procesos:

Segmentación: la primera tarea para realizar una clasificación basada en objetos es dividir una escena en regiones homogéneas o segmentos. Al trabajar con objetos, que se extraen a través de un proceso de segmentación, el análisis puede simplificarse y hacerse más sofisticado. Es decir, al utilizar objetos, se puede incrementar la interpretación humano-visual de las imágenes utilizando el software para hacer gran parte del trabajo preliminar en la creación y determinación de formas, tamaños, texturas, entre otros, como se muestra a continuación:

**Figura 6**

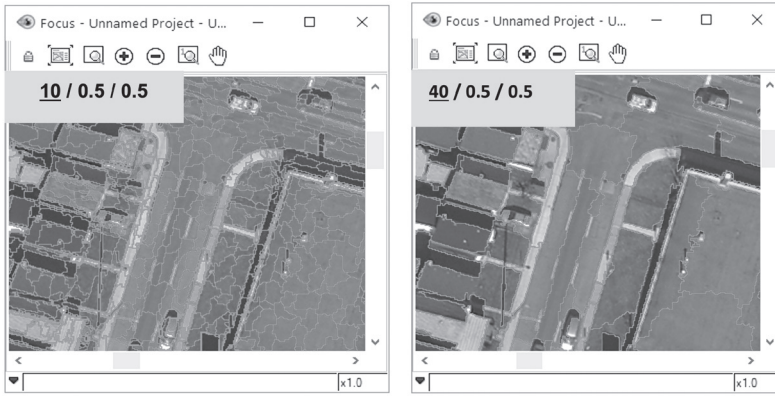
*Segmentación basada en objetos a través de software especializado*



Como se observa en la figura 6, hay una capa vectorial de los objetos segmentados sobre una imagen satelital. La segmentación basa su proceso en tres características principales:

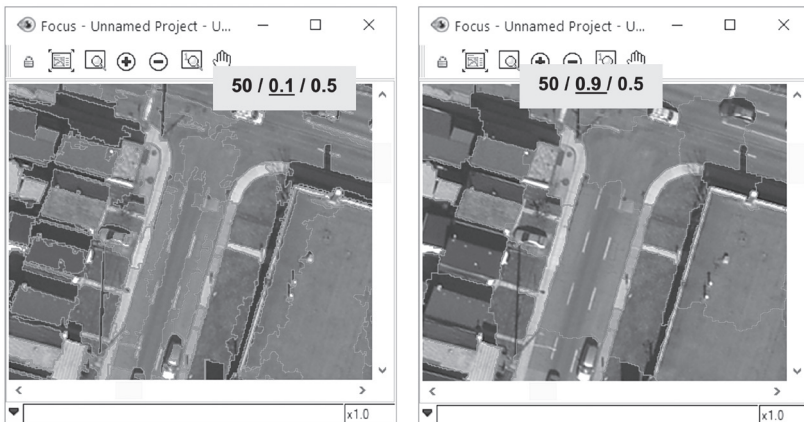
*Escala*: determina el tamaño de los objetos, el cual varía con base en la resolución de la imagen.

**Figura 7**  
*Segmentación de imágenes*



*Forma*: determina la forma con base en la respuesta espectral de la imagen.

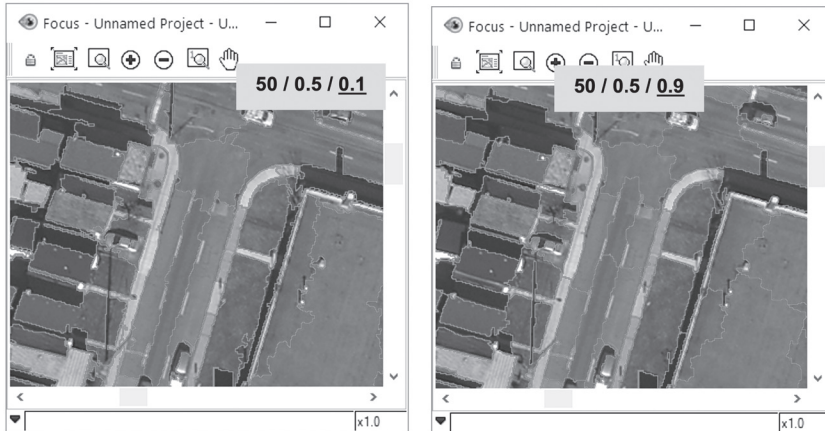
**Figura 8**  
*Determinación de formas*



Compacidad: determina los límites del objeto.

### Figura 9

#### *Determinación de compacidad*



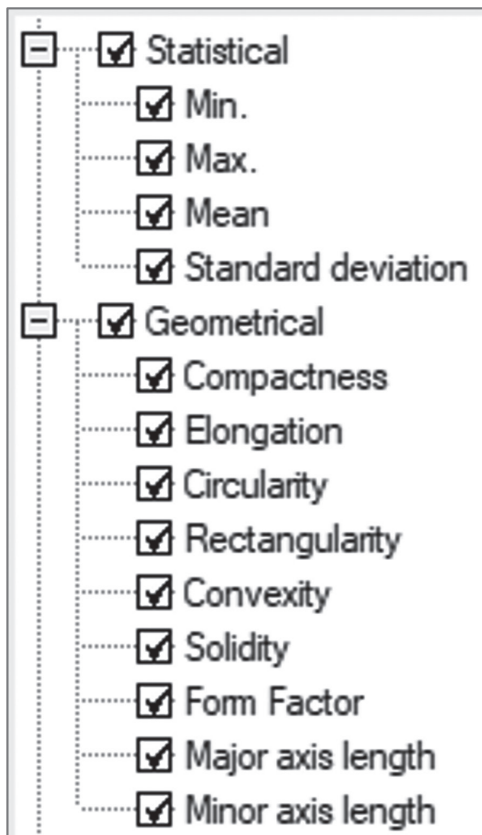
Cálculo de atributos: Object Analyst utiliza por defecto las mismas bandas multispectrales del ráster y el mismo archivo de vector segmentado como se especifica arriba para calcular varios atributos, en términos de estadísticas, parámetros geométricos, índices de vegetación, para cada objeto generado (segmento de polígono), como se muestra en la siguiente ilustración.

Sitios de entrenamiento: antes de realizar una clasificación o una evaluación de precisión, es necesario contar con datos reales.

En teledetección, la verdad del terreno se refiere a la información recopilada en el lugar, como son todos los puntos de campo levantados; o con datos secundarios, como imágenes satelitales con una mejor resolución en las temporalidades en estudio.

**Figura 10**

*Cálculos de atributos a través de software especializado*



Con esta información fue posible calibrar los datos de teledetección directamente en el software en el modelo de segmentación, lo que ayudó a clasificar las unidades de uso de suelo de una manera más precisa y supervisada, como se muestra en la figura 11.

**Figura 11***Edición de sitios de entrenamiento a través de software especializado*

Training layer: OBIA.pix:3. OBIA\_500505: Training Load...

Training field: Training Create...

Add Class Remove Class

Class Name	Color	Training Count	Accuracy Count
CLOUDS		10	4
SHADOWS		11	4
FOREST		39	24
SETTLEMENT		11	6
OTHER		12	5
AGRICULTURE		20	12
WATER		9	7

Assign Unassign Reset Class

Sample type:  Training  Accuracy assesment

+ Class Outliers

Close

Con estos pasos previos se puede realizar una clasificación supervisada, y saber que los datos reales actuaron como un conjunto de entrenamiento utilizado por el algoritmo de aprendizaje (aprendizaje automático) para generar un modelo de clasificación inicial.

Clasificación supervisada: se encarga de agrupar los segmentos relevantes generados anteriormente en cada una de las clases creadas a través del proceso de aprendizaje y creación de un modelo de clasificación, que se utiliza para predecir la pertenencia de los objetos a la unidad de uso de suelo correspondiente, como se muestra a continuación.

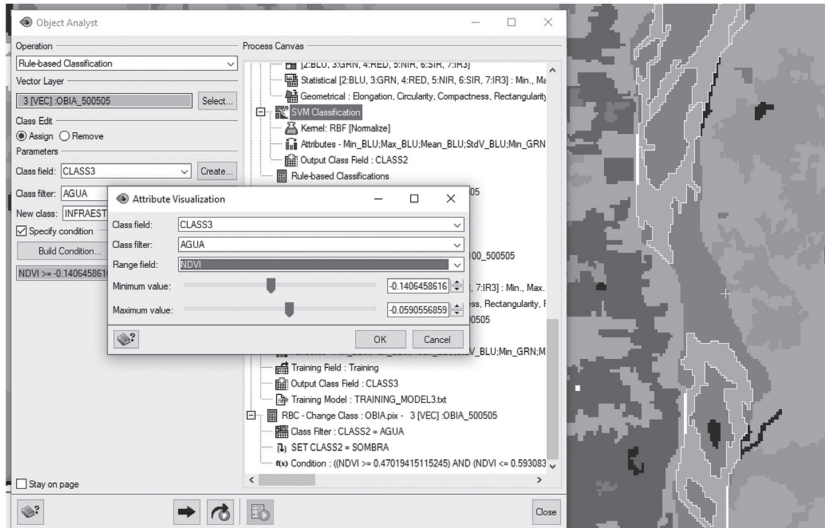
**Figura 12**

*Clasificación basada en objetos a través de software especializado*



Edición de clasificación posterior: una vez que se ha realizado la clasificación, existe la posibilidad de que algunas unidades hayan sido clasificadas erróneamente, razón por la cual es necesario realizar un proceso de edición. En esta actividad se realizó un filtro de control de calidad por parte del especialista, el cual consiste en realizar algunas ediciones de aspectos de interpretación de la clasificación. Las modificaciones realizadas incluyeron los siguientes procesos: combinar dos o más polígonos o dividirlos, a través de ediciones automáticas o interactivas; adición de nuevas clases; eliminación de las existentes; y reasignación del objeto u objetos de una clase.

**Figura 13**  
*Edición de clasificación de puestos*



Evaluación de precisión: el paso final para la elaboración de la cartografía fue la evaluación de la precisión global de la clasificación supervisada. Esta operación consiste en comparar un campo de referencia, generado al editar sitios de entrenamiento versus el campo de clasificación generado al ejecutar una clasificación.

Uno de los métodos más utilizados para validar mapas de uso del suelo es el índice de precisión Kappa, que se utilizó en este estudio con la ayuda del software Catalyst de PCI Geomatics.

Para este estudio se obtuvo un índice kappa promedio de 0.80:

**Figura 14**  
Ejemplo de análisis de precisión con índice Kappa

The screenshot shows an 'Accuracy Assessment Report' window. It contains an 'Export Report...' button and a table of 'Accuracy Statistics'. The overall accuracy is 84.650% with a 95% confidence interval of 81.840% to 87.452%. The overall kappa statistic is 0.804. The table below shows the accuracy for three classes: BOQUE NATIVO, VEGETACION HERBACEA, and CUERPO AGUA NATURAL.

Class Name	Producer's Accuracy	95% Confidence Interval	User's Accuracy	95% Confidence Interval	Kappa Statistic
BOQUE NATIVO	48.837%	( 32.734% 64.941%)	63.636%	( 45.708% 81.564%)	0.6115
VEGETACION HERBACEA	64.000%	( 43.184% 84.816%)	69.565%	( 48.586% 90.544%)	0.6839
CUERPO AGUA NATURAL	100.000%	( 97.727% 100.000%)	100.000%	( 97.727% 100.000%)	1.0000

Una vez finalizada esta actividad, se realizó un control de calidad topológico sobre el archivo vectorial con el fin de generar la cartografía final de usos del suelo.

Homologación de base de datos: con base en el catálogo de objetos definido, se realizó la catalogación de la base de datos homologando cada campo a la leyenda propuesta.

**Figura 15**  
Catalogación de base de datos

The screenshot shows a data table with 17 rows and 13 columns. The columns are: objectid, SHAPE, GlobalID, CreationDate, EditDate, Editor, N° MUESTRA, PUNTO GPS, COORDENADA X, COORDENADA Y, COORDENADA Z, LOCALIDAD, and U. The data represents various points with their respective attributes.

objectid	SHAPE	GlobalID	CreationDate	EditDate	Editor	N° MUESTRA	PUNTO GPS	COORDENADA X	COORDENADA Y	COORDENADA Z	LOCALIDAD	U
3	Point	(BEF815D5-41C2-4034-A108-3A3FEAB2A631)	1/2/2023 16:75:34	3/2/2023 19:23:26	AGPSIG-0003	20	61	173725	42810		<Null>	MJ
4	Point	(4380582D-CD43-4C11-9A9B-0E19DA78D676)	1/2/2023 16:75:40	3/2/2023 19:23:33	AGPSIG-0003	21	62	174225	41788		Pimampiro	Ag
5	Point	(3884E489-AB1E-419F-B841-E917F9F48BD4)	1/2/2023 16:75:45	3/2/2023 19:23:44	AGPSIG-0003	22	63	174366	41007		ruta del vertigo	agp
6	Point	(38918978-A512-413D-A011-E7D0784C595C)	1/2/2023 16:75:49	3/2/2023 19:23:49	AGPSIG-0003	23	65	174588	41246		<Null>	agp
7	Point	(43EC390-7879-4827-B461-C76C42C4FC5C)	1/2/2023 16:75:52	3/2/2023 19:23:55	AGPSIG-0003	24	68	174569	41437		1813 Ruta del vertigo	Mz
8	Point	(BE7FFA6D-D3A8-415D-ACD3-0841D30809FE)	1/2/2023 16:75:55	3/2/2023 19:24:00	AGPSIG-0003	25	76	174452	40213		Chuga	litt
9	Point	(50F7DED3-E777-49DF-8A0F-1570FDE621F)	1/2/2023 16:75:58	3/2/2023 19:24:07	AGPSIG-0003	26	81	173021	36570		2148 El Carmelo	ru
10	Point	(2618A5EA-DAB9-4A6C-9455-3074D2F3461F)	1/2/2023 16:80:01	3/2/2023 19:24:13	AGPSIG-0003	27	82	172924	36330		2186 El Carmelo	Du
11	Point	(5A86A984-9441-4028-9772-36A5F060958A)	1/2/2023 16:80:04	3/2/2023 19:24:23	AGPSIG-0003	28	83	172929	36087		2207 El Carmelo	du
12	Point	(CDFE9999-C274-4E3E-AC23-3FE5B959D4CF)	1/2/2023 16:80:07	3/2/2023 19:24:28	AGPSIG-0003	29	84	172738	36071		2197 San José	du
13	Point	(86847ADD-8E5E-4036-AF08-B620E7291974)	1/2/2023 16:80:10	3/2/2023 19:24:34	AGPSIG-0003	30	86	172656	33163		2406 San José	Gri
14	Point	(80F1DECC-7CE8-4A36-A98A-97D5F4850D3D)	1/2/2023 16:80:14	3/2/2023 19:24:41	AGPSIG-0003	31	87	173354	32574		2556 San José	Toi
15	Point	(E8D15C04-94F8-47AC-99F2-AE54E90D30D0)	1/2/2023 16:80:19	3/2/2023 19:24:47	AGPSIG-0003	32	88	173386	32351		2582 san antonio	gri
16	Point	(96EECA78-2A5E-4C10-832D-87C8CFE19D98)	1/2/2023 16:80:23	3/2/2023 19:24:52	AGPSIG-0003	33	89	173505	32142		2615 San Antonio	Tai
17	Point	(4865CF3E-F236-48E1-8A01-7ABE99D98A88)	1/2/2023 16:80:27	3/2/2023 19:25:00	AGPSIG-0003	34	94	172963	30759		4723 shamshipamba	cla

Validación de unidades de uso de suelo: una vez finalizado el proceso de clasificación de imágenes, se realizó una validación de las unidades tomando como base las imágenes satelitales y se las comparó con tapices de alta resolución en las cuales se pueden visualizar segmentos de imágenes de apoyo para sitios en los que había dudas.

Control de calidad geográfico: el control de calidad actúa como un eje transversal en cada uno de los procesos realizados. Para este caso particular, se realizó un control de cada una de las clasificaciones realizadas teniendo como referencia los siguientes insumos:

- Mapa de uso de suelo escala 1:25000 levantado por el MAG-SIGTierras.
- Tapices satelitales de uso libre de Google, Esri y Bing.

## Resultados

Los resultados para 2006 están representados en la tabla 4.

**Tabla 4**

*Uso y cobertura de suelo para 2006*

Uso de suelo	Área (ha)	%
Mosaico agropecuario	501.28	42.94 %
Pasto	298.66	25.59 %
Páramo	178.42	15.29 %
Vegetación herbácea	89.62	7.68 %
Vegetación arbustiva	58.05	4.97 %
Infraestructura	27.24	2.33 %
Suelo desnudo	10.60	0.91 %
Humedal	3.41	0.29 %
Total	1167.27	100.00 %

El mosaico agrícola ocupa el porcentaje más alto con un área total de 501.28 hectáreas que representa el 42.94 % del área total de la zona de estudio. El páramo y la vegetación herbácea ocupan el 22.97 % del total del área de estudio con un total de 268.04 hectáreas. La infraestructura que representa el camino del Inca en el tramo de análisis tiene un porcentaje del 2.33 % con un área de 27.24 hectáreas.

Para 2014, los resultados se presentan en la tabla 5.

**Tabla 5**

*Uso y cobertura de suelo para 2014*

Uso de suelo	Área (ha)	%
Mosaico agropecuario	524.41	44.93 %
Pasto	299.79	25.68 %
Páramo	164.55	14.10 %
Vegetación herbácea	96.64	8.28 %
Vegetación arbustiva	41.91	3.59 %
Infraestructura	27.24	2.33 %
Suelo desnudo	9.32	0.80 %
Humedal	3.41	0.29 %
Total	1167.27	100.00 %

Se puede observar que el mosaico agrícola es aquel con mayor porcentaje de ocupación con un área total de 524.41 hectáreas que representa el 44.93 % del total del área de estudio. El páramo y la vegetación herbácea ocupan el 22.8 % del área total con 261.19 hectáreas. La infraestructura de análisis sigue manteniendo un porcentaje de área total equivalente al 2.33 % con 27.24 hectáreas.

En la tabla 6 pueden verse los resultados para 2022.

**Tabla 6***Uso y cobertura de suelo para 2022*

Uso de suelo	Área (ha)	%
Mosaico agropecuario	542.71	46.49 %
Pasto	288.63	24.73 %
Páramo	150.30	12.88 %
Vegetación herbácea	106.80	9.15 %
Vegetación arbustiva	38.86	3.33 %
Infraestructura	27.24	2.33 %
Suelo desnudo	9.32	0.80 %
Humedal	3.41	0.29 %
<b>Total</b>	1167.27	100.00 %

El mosaico agrícola ocupa el porcentaje más alto con el 46.49 % del área total estudio con 542.7 hectáreas, mientras que el páramo y la vegetación herbácea ocupan el 22.03 % (257.10 hectáreas). La infraestructura de estudio continúa manteniendo el mismo porcentaje de área, equivalente al 2.33 % y 27.24 hectáreas.

El análisis de la variación de cambio de uso de suelo durante el primer periodo de tiempo 2006-2014 se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla 7***Cambio de uso de suelo del 2006 al 2014*

CUS	2014								
	Humedal	Infraestructura	Mosaico agropecuario	Páramo	Pasto	Suelo desnudo	Vegetación arbustiva	Vegetación herbácea	Total
Humedal	3.41								3.41
Infraestructura		27.24							27.24
Mosaico agropecuario			501.28						501.28
Páramo			4.90	159.99	3.22			10.31	178.42

CUS	2014								
	Humedal	Infraestructura	Mosaico agropecuario	Páramo	Pasto	Suelo desnudo	Vegetación arbustiva	Vegetación herbácea	Total
Pasto			2.08		296.57				298.66
Suelo desnudo				1.19		9.32		0.09	10.60
Vegetación arbustiva			16.14				41.91		58.05
Vegetación herbácea				3.38				86.24	89.62
<b>Total</b>	<b>3.41</b>	<b>27.24</b>	<b>524.41</b>	<b>164.55</b>	<b>299.79</b>	<b>9.32</b>	<b>41.91</b>	<b>96.64</b>	<b>1,167.27</b>

Como se observa en el cuadro anterior, dentro del área de estudio, la unidad de mosaico agropecuario y pastos, son las que están haciendo mayor presión sobre la unidad de páramos, si bien es cierto la pérdida de esta cobertura no ha sido tan agresiva, se debe tener en cuenta que a futuro pueden afectar estas unidades sensibles. Se han perdido un total de 8142 hectáreas debido al avance de estas fronteras.

Un total de 10.31 hectáreas de páramos se han convertido en vegetación herbácea, lo cual puede deberse a procesos de regeneración espontánea de esta cobertura, que en algún momento pudo perderse por fenómenos naturales, pero no antrópicos.

Con respecto a las variaciones del periodo de tiempo 2014-2022, se presentan los resultados en la siguiente tabla.

**Tabla 8**

*Cambio de uso de suelo del 2014 al 2022*

CUS	2022								
	Humedal	Infraestructura	Mosaico agropecuario	Páramo	Pasto	Suelo desnudo	Vegetación arbustiva	Vegetación herbácea	Total
Humedal	3.41								3.41
Infraestructura		27.24							27.24
Mosaico agropecuario			524.16		0.25				524.41
Páramo			0.41	150.30	2.61			11.24	164.55

CUS	2022								
	Humedal	Infraestructura	Mosaico agropecuario	Páramo	Pasto	Suelo desnudo	Vegetación arbustiva	Vegetación herbácea	Total
Pasto			15.10		284.69				299.79
Suelo desnudo						9.32			9.32
Vegetación arbustiva			3.04				38.86		41.91
Vegetación herbácea					1.08			95.56	96.64
<b>Total</b>	<b>3.41</b>	<b>27.24</b>	<b>542.71</b>	<b>150.30</b>	<b>288.63</b>	<b>9.32</b>	<b>38.86</b>	<b>106.80</b>	<b>1,167.27</b>

Como se observa en el cuadro anterior, las unidades de mosaico agropecuario y pasto, siguen ejerciendo presión sobre las unidades de páramo y vegetación herbácea, donde se han perdido un total de 4.10 hectáreas del total de las coberturas sensibles.

## Discusión

El estudio muestra la factibilidad del uso de imágenes satelitales para estudios territoriales, como ha sido sugerido en otras investigaciones, junto con la utilidad de mapas históricos para evaluar procesos de deforestación y pérdida de cobertura vegetal como lo mencionan Sahagún y Reyes (2018) y Silva y Rubio (2013).

El avance de la frontera agrícola y ganadera sigue representando una de las principales amenazas para la pérdida de cobertura vegetal y de ecosistemas, a pesar de que se les otorgue el estatus de áreas protegidas, como es el caso del Parque Nacional Sangay. Este fenómeno se puso de manifiesto en el estudio realizado por Flórez-Yepes *et al.* (2017), donde se destacan los impactos generados por los cambios en el uso y la cobertura del suelo dentro de las áreas protegidas.

## Conclusiones

El Parque Nacional Sangay ha sufrido procesos de cambio de cobertura y uso de suelo y el avance de la frontera agrícola y ganadera, están desplazando al ecosistema páramo y a la vegetación herbácea.

A través del periodo de estudio hay un decrecimiento de 4.10 hectáreas de páramo y vegetación herbácea, que han sido reemplazadas por pastizales. Hay un considerable avance de la frontera agrícola-ganadera.

A pesar de la declaratoria del Parque Nacional Sangay como área protegida, se evidencia la pérdida de páramo, por lo que se muestra que estas declaraciones no son eficientes en la conservación de ecosistemas y se requiere de la implementación de medidas más restrictivas en el uso de suelo y cobertura vegetal que permitan proteger al páramo comenzando con una actualización de las coberturas en este parque nacional identificadas.

El uso de imágenes satélites y su manejo a través de software específico muestra una aproximación cercana a la realidad encontrada en el campo. Se realizaron visitas al terreno y se pudo observar que las coberturas de suelo obtenidas a partir de la clasificación de las imágenes fueron 100 % coincidentes con aquellas identificadas durante las visitas en campo.

## Referencias bibliográficas

- Catalyst. (2021). Object Analyst Classification. <https://bit.ly/3WDLz77>
- Chuvieco, E. (2010). *Teledetección ambiental*. Ariel.
- Earth Explorer USGS. (2022). Images Landsat 7 and Landsat 8. <https://bit.ly/4cxVFwt>
- Flórez-Yepes, G., Rincon-Santamaría, A., Cardona, P. y Alzate-Alvarez, A. (2017). Análisis multitemporal de las coberturas vegetales en el área de influencia de las minas de oro ubicadas en la parte alta del sector de Maltería en Manizales, Colombia. *Dyna*, 84(201), 95-101.
- Instituto Nacional de Patrimonio Cultural. (2022). Qhapac Ñan Sistema Vial Andino. <https://bit.ly/4dyPfOj>

- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2016). Áreas protegidas del Ecuador, socio estratégico para el desarrollo. <https://bit.ly/4fz921Y>
- Sahagún, F. y Reyes, H. (2018). Impactos por cambio de uso de suelo en las áreas protegidas de la región central de la Sierra Madre Oriental. *Ciencia UAT*, 1(2), 6-21.
- Silva, A. y Rubio, M. (2013). Análisis de cambios de uso del suelo en la delegación Municipal de Ingeniero White. *Revista Colombiana*, 113-146.
- UNESCO. (1972). Convención sobre la proyección del patrimonio mundial, cultural y natural. Paris. <https://es.unesco.org/>
- UNESCO. (1998). Conferencia sobre Políticas Culturales y Desarrollo Sostenible, Estocolmo. <https://es.unesco.org/>
- UNESCO. (2014). Qhapaq Ñan, Andean Road System, Executive summary. <https://bit.ly/4dfHptb>