

VIABILIDAD DE IMÁGENES LANDSAT (ETM+ Y OLI) PARA LA DETERMINACIÓN DE CONFLICTOS DE USO DE LA TIERRA EN EL CANTÓN PORTOVIEJO, ECUADOR

Francisco D. Cabrera-Torres¹, María J. López-García²

¹ LUTOPSA S.A., Departamento de Geomática, Pio Valdivieso E5-33 e Isla Seymour, 170111, Quito-Ecuador.
franchesco_c7@hotmail.com

² Universitat de València, Departament de Geografia, Av. Blasco Ibañez 28, 46080, Valencia-España.
María.j.Lopez@uv.es

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es analizar la viabilidad de imágenes Landsat para la obtención de cartografía referente a cobertura y uso de las tierras a diferentes escalas espaciales, de cara a determinar los conflictos de uso, útiles en la gestión territorial.

El área de estudio elegida corresponde al cantón Portoviejo, ubicado en la región Costa del Ecuador, el cual posee una superficie de 961 km² aproximadamente y una población de 280.000 habitantes. Los usos predominantes son de tipo forestal y agrícola, estos últimos se extienden en los valles fluviales de los ríos Portoviejo, Chico, La Tranca y Mancha Grande.

Se han aplicado técnicas de clasificación digital utilizando imágenes Landsat ETM+ y OLI, con diferentes niveles de procesamiento (cuentas digitales, ρ_{SUP} «COST» según modelo de Chávez, ρ_{SUP} «fusión de imágenes» haciendo uso de la banda pancromática y ρ_{SUP} «LEDAPS»), y leyendas temáticas definidas a diferentes escalas (1:25.000, 1:50.000 y 1:100.000).

La evaluación de resultados determinó que el producto óptimo fue derivado del clasificador de redes neuronales, mediante el uso de imágenes de ρ_{SUP} «LEDAPS» del sensor OLI, para una escala 1:100.000. Mediante la comparación de este producto con el mapa de Capacidad de Uso de las Tierras (basado en la metodología de Klingebiel y Montgomery) se generó el mapa de Conflictos de Uso, donde se evidencia que un 55% de las tierras del cantón están utilizadas de forma correcta.

Palabras clave: Landsat; Cobertura y uso de las tierras; Conflictos de Uso de las Tierras; Ledaps; Teledetección.

ABSTRACT

The aim of this paper is to assess the feasibility of using Landsat images to obtain coverage and land use maps at different spatial scales, to determine conflicting uses, information that is valuable in land management.

The zone of study is the canton Portoviejo, located in the coastal region of Ecuador, which has an area of 961 km² and a population of 280.000 inhabitants. Its predominant uses are forestry and agriculture, the latter occupying the valleys of the rivers Portoviejo, Chico, La Tranca and Mancha Grande.

We have applied image classification techniques using Landsat ETM+ and OLI with different levels of processing (digital accounts, ρ_{SUP} «COST» according to Chavez model, ρ_{SUP} «image fusion» using panchromatic band and ρ_{SUP} «LEDAPS») and several thematic legends at different scales (1:25.000, 1:50.000 and 1:100.000).

Optimal product was derived from the neural network classifier, using images of ρ_{SUP} «LEDAPS» from OLI sensor, for a scale of 1:100.000. A conflicting land use map was generated by confronting this product with the capacity of land use (based on the methodology Klingebiel and Montgomery). The results suggest that 55% of the lands of the canton are used correctly.

Keywords: Landsat; Coverage and land use; Conflicts of land use; Ledaps; Remote sensing.

1. INTRODUCCIÓN

Desde sus inicios en los años 70s, el proyecto Landsat, concebido para la cartografía y evaluación de los recursos naturales, puede considerarse el más fructífero de la teledetección espacial para aplicaciones civiles. El uso de las imágenes multispectrales de los sensores MSS, TM y ETM en la temática de cobertura y uso de las tierras queda patente por el gran número de trabajos ejecutados durante más de cuatro décadas, destacando en Europa su utilización en el Proyecto CORINE – *Land Cover* «Cobertura de la Tierra» (EEA, 2015). Recientemente, la liberación del archivo histórico de imágenes Landsat por el USGS y el desarrollo de productos pre-procesados incrementan, sin duda, sus posibilidades de aplicación.

Una de los grandes interrogantes cuando se trabaja con teledetección es definir la escala cartográfica que tendrán los productos derivados a partir de las imágenes. Específicamente las imágenes Landsat de resolución espacial 30 m presentan su máximo potencial para escala 1:100.000 [Lencinas y Siebert, 2009], sin embargo son escasos los documentos que ponen de manifiesto las precisiones alcanzadas a diferentes escalas.

Para extraer cartografía temática a partir de imágenes multispectrales, con frecuencia se utilizan dos técnicas complementarias, la primera basada en un análisis cuantitativo y la segunda en una interpretación visual [Richards y Jia, 2006]. El primer caso trata de la aplicación de clasificaciones digitales que engloban tres fases: entrenamiento, asignación [Chuvieco, 2010] y verificación [Congalton, 1991].

Las unidades cartográficas de cobertura y uso de las tierras, sumadas a las variables del medio físico (geomorfología, suelos, clima, etc.) suelen quedar fuera del alcance de los encargados de la planificación territorial, ya sea por la dificultad de su lectura o por la necesidad imperiosa de solucionar problemas de gestión. Por ende se requiere contar con productos de síntesis útiles para el planificador [Sánchez *et al.*, 1984], entre los que se destaca la cartografía de Conflictos de Uso de las Tierras. Esta cartografía representa la discrepancia entre el uso actual de las tierras y la vocación de las mismas [Rossiter, 1996], expresada mediante la Capacidad de Uso de las Tierras (CUT). La teledetección coadyuva a la obtención de este producto ya que permite la actualización de variables dinámicas, especialmente la cobertura vegetal.

Este trabajo tiene como objetivo general analizar la viabilidad de las imágenes Landsat para generar cartografía de cobertura y uso de las tierras, y la determinación de Conflictos de Uso en el cantón Portoviejo (Ecuador). Se han aplicado varios clasificadores digitales utilizando diferentes escalas de trabajo e imágenes Landsat con diferentes niveles de procesado, a fin de determinar cuál es el producto óptimo. La bondad del método se ha establecido a partir de observaciones verdad – terreno. Posteriormente se elaboró una cartografía de CUT en base a la categorización presentada por Klingebiel y Montgomery. Para finalizar se confrontó este mapa con la cartografía de cobertura permitiendo establecer el producto de síntesis de Conflictos de Uso.

La elección de la zona de estudio fue en base a tres razones, la primera radica en la actividad económica del cantón, la cual se centra en la agricultura y ganadería, pese a que los suelos predominantes son los inceptisoles (pobre desarrollo). La segunda razón se basa en que el actual Gobierno de la República del Ecuador viene trabajando en alcanzar el “*buen vivir*”, lo cual se puede lograr dando un soporte adecuado sobre todo en aquellas áreas donde no existe un correcto uso de las tierras, y en último lugar, es por la disponibilidad de información (imágenes satelitales y cartografía temática).

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cobertura y uso de las tierras

Estos dos términos son altamente similares y su importancia es notoria al momento de realizar planificación y/o modelación [Townshend, 1992]. Según la FAO (2005) el primer término significa “*la cobertura biofísica que se observa sobre la superficie de la Tierra*” y el segundo lo define como “*los arreglos, actividades e insumos que el hombre emprende en un cierto tipo de cobertura de la tierra para producir, cambiarla o mantenerla*”.

Estas variables son incorporadas en una leyenda, la cual define de una manera clara cada una de las clases y sus relaciones para un área específica. Además presenta una alta dependencia con la escala y con el tipo de datos (fotografías aéreas o imágenes satelitales).

2.2 Imágenes satelitales

Diversas son las plataformas que incorporan sensores para captar información de la superficie terrestre, sin embargo la presente comunicación se centrará en analizar los datos obtenidos de la serie Landsat, misma que está gestionada por la NASA y la USGS, y una de sus ventajas es su base de datos histórica [IGAC, 2013].

Adquirir y/o descargar datos capturados por los sensores requiere una serie de procesos para eliminar anomalías existentes, permitiendo disponer de datos en la forma más cercana posible a una adquisición idónea [Chuvieco, 2010]. A manera de ejemplo se puede citar el daño permanente ocurrido a partir del 31 de mayo de 2003 en el SLC «Sistema Corrector de Líneas» del Landsat 7, a partir del cual se siguen generando múltiples investigaciones orientadas a mitigar este desperfecto [Saldarriaga, 2014].

El nivel de procesamiento de la imagen adquirida estará siempre en función de los objetivos del trabajo. En ocasiones se puede utilizar únicamente las cuentas digitales, y en otras, es necesario la obtención de valores de reflectividad, la cual nace de la relación entre la energía reflejada por cualquier material y la energía incidente, siendo de carácter adimensional [Sobrino *et al.*, 2000]. Cabe destacar que métodos como el realizado por Chávez (1996) permite la obtención de dichos valores a partir de los datos de la propia imagen.

Por otro lado la NASA administra en la actualidad el proyecto LEDAPS, basado en la utilización de imágenes Landsat para la obtención de valores de reflectividad de superficie, con la finalidad de facilitar estudios de detección de cambios, sin embargo soporta múltiples usos [Masek *et al.*, 2006].

2.3 Clasificaciones digitales

Las clasificaciones digitales son utilizadas como una alternativa a la interpretación visual, donde se compendian los datos proporcionados por las bandas espectrales de una imagen, generando una escena denominada como “*mapa temático*” [Sobrino *et al.*, 2000].

Una división tradicional se basa en el tipo de aprendizaje, subyaciendo el método supervisado y no supervisado, en el primero se definen las muestras de entrenamiento por parte del analista, siendo determinante durante el proceso; Jensen (1996) propone que el tamaño fluctúe entre 10 veces el número de bandas espectrales y 100 veces. El segundo método se basa en un proceso automático que divide la imagen en regiones.

El método supervisado presenta clasificadores paramétricos (mínima distancia, distancia de mahalanobis, etc.) y no paramétricos (redes neuronales, paralelepípedo, etc.), los primeros consideran que las funciones discriminantes sigan una distribución normal multidimensional, caso contrario los segundos trabajan bajo estimaciones directas [García, 2014].

Es aconsejable que todo producto sea sometido a una evaluación de los resultados para garantizar la fiabilidad del mismo. Congalton (1991) propone la elaboración de muestras de testeo (diferentes a las muestras de entrenamiento) para este propósito, considerando que su dimensión debe ser mínimo de 50 *píxeles* por cada categoría. A partir de esto nacen diferentes métricas de evaluación, siendo la más común la matriz de error.

2.4 Capacidad y conflictos de uso de las tierras

Klingebiel y Montgomery (1961) mencionan que la CUT es una evaluación basada en el principio de la máxima intensidad de uso soportable, sin causar deterioro físico del suelo. Estos investigadores diseñaron una metodología flexible a diferentes condiciones físico – ambientales locales, por ende es la más utilizada hasta la actualidad.

La mencionada propuesta nace del análisis de las variables: geomorfología, suelos y clima, y deriva clases agrupadas dependiendo de las limitaciones, siendo la clase I aquella que es apta para cultivos con limitaciones nulas y la clase VIII presenta una vocación para usos de tipo conservación y protección [IEE, 2012a].

Los Conflictos de Uso de las Tierras hace referencia a situaciones donde las clases de CUT no son aprovechadas de acuerdo a su vocación (Rossiter, 1996). Este producto tiene por finalidad la toma de decisiones encaminadas a un desarrollo sostenible, disminuyendo el uso inadecuado de tierras [IGAC-CORPOICA, 2002].

3. ÁREA DE ESTUDIO

El cantón Portoviejo está ubicado al Oeste del Ecuador Continental, en la provincia de Manabí (Figura 1), se encuentra delimitada por las coordenadas 80°34'52,4" W, 0°47'38,9" S y 80°0'39,3" W, 1°11'41,9" S, cubre una extensión de 962,11 km², y actualmente cuenta con 280.000 habitantes aproximadamente.

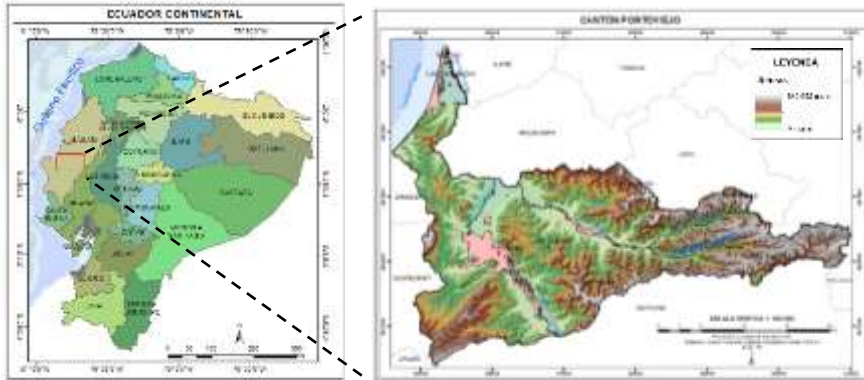


Figura 1. Ubicación geográfica del cantón Portoviejo. Fuente: Elaboración propia en base a información libre.

Los afluentes principales del cantón son los ríos Portoviejo, Chico, La Tranca y Mancha Grande, siendo en sus valles donde se concentra la mayor cantidad de actividad agrícola. El rango altitudinal fluctúa entre 0 y 640 m.s.n.m., la temperatura entre 23 y 26° C, correspondiendo a una zona cálida, y las precipitaciones medias anuales van de los 300 a 1000 mm (IEE, 2012b).

Geomorfológicamente el cantón se subdivide en dos zonas, al Este se encuentran los relieves estructurales, con pendientes superiores al 12%, y al Oeste los relieves colinados terciarios, con pendientes inferiores al 40%. Los suelos predominantes dentro del cantón son inceptisoles, lo que quiere decir que tienen una evolución incipiente de desarrollo pedogenético [Jaramillo, 2002].

4. METODOLOGÍA

La información tanto primaria como secundaria utilizada se resume en la *Tabla 1*. Los datos empleados fueron descargados de fuentes oficiales que permiten el uso adecuado de los mismos.

Insumo	Fuente	Escala/Resolución espacial	Fecha del insumo	Formato
Imagen Landsat 7	USGS (GLOVIS)	30 m (PAN 15 m)	27/03/2011	GeoTiff
Imagen Landsat 8	USGS (GLOVIS)	30 m (PAN 15 m)	02/08/2014	GeoTiff
Imagen Landsat 7 psup	USGS (Earth Explorer)	30 m (PAN 15 m)	27/03/2011	GeoTiff
Imagen Landsat 8 psup	USGS (Earth Explorer)	30 m (PAN 15 m)	02/08/2014	GeoTiff
Cartografía Base	IGM	1:50.000	14/01/2013	Shp
Cobertura y uso de la tierra	IEE	1:25.000	--/12/2012	Jpg
Geopedología	IEE	1:25.000	--/12/2012	Gdb
Límites administrativos	INEC (SNI)	1:50.000	--/12/2012	Shp

Tabla 1. Compendio de información primaria y secundaria. Fuente: Elaboración propia.

Toda la información recopilada fue estandarizada bajo un mismo sistema de coordenadas (WGS84, UTM Zona 17S) y enmarcada en un mismo espacio geográfico. Cabe destacar que la selección de imágenes se realizó evitando al máximo la presencia de nubes, siendo una tarea compleja debido a que el cantón se ubica en la Zona de Convergencia Intertropical [Vargas, 2002]. Posterior a esto se definieron tres leyendas temáticas para las diferentes escalas de trabajo (1:25.000, 1:50.000 y 1:100.000) tomando como referencia la leyenda elaborada por el IEE (Instituto Espacial Ecuatoriano).

Las imágenes descargadas son de tipo L1T, esto quiere decir que poseen una corrección geométrica basada en puntos de control y modelos digitales del terreno. En base a esto se han derivado varias escenas con distintos niveles de procesamiento: cuentas digitales, ρ_{SUP} «COST» según modelo de Chávez, ρ_{SUP} «fusión de imágenes» y ρ_{SUP} «LEDAPS», las cuales fueron utilizadas en la fase de clasificaciones digitales.

Las imágenes pertenecientes al sensor OLI fueron restauradas mediante una interpolación simple debido al bandeo que presentan las mismas. Además todas las imágenes empleadas fueron enmascaradas en aquellos sitios donde presentan nubes, mediante la máscara presentada por LEDAPS.

Una vez obtenidas las cuatro imágenes del sensor ETM+ y OLI se procede con la fase de extracción de información, esto es, la realización de la cartografía temática a múltiples escalas. Para esto se definen inicialmente las muestras de entrenamiento, las cuales deben representar fidedignamente a cada clase.

Previo a las clasificaciones digitales supervisadas se realizó un análisis de separabilidad espectral (distancia Jeffries-Matusita) y posterior a las mismas se efectuó un análisis post clasificación para evaluar la bondad de cada resultado, haciendo uso de la matriz de confusión. A partir de esto se seleccionó el producto óptimo, el cual se emplea para la derivación de la cartografía de síntesis.

La obtención del mapa de CUT se realizó en base a las clases presentadas por Klingebiel y Montgomery (1961), debido a que en la actualidad poseen amplia difusión mundial y son fácilmente adaptables a condiciones locales [De La Rosa, 2008].

El modelo empleado fue el diseñado por el Programa de Regularización y Administración de Tierras Rurales (PRAT), el cual se basa en la modificación continua de las clases de CUT por cada variable analizada mediante el uso de matrices iterativas de doble entrada. Las variables empleadas son representadas en la *Tabla 2* y las mismas poseen un orden jerárquico. El desarrollo de este proceso puede ser visualizado en Cabrera (2015).

No.	Temática	Variable biofísica
1	Geomorfología	Pendientes
2	Suelos	Profundidad
3		Textura superficial
4		Pedregosidad
5		Drenaje
6		Inundabilidad
7		Fertilidad
8		Salinidad
9	Toxicidad	
10	Clima	Humedad
11		Temperatura

Tabla 2. Variables biofísicas empleadas para la obtención de las CUT. Fuente: Modificado de IEE (2012c).

Por último para determinar los Conflictos de Uso se realizó una comparación entre los mapas de cobertura de las tierras y CUT (*Tabla 3*), dando lugar a tres tipos de zonas: sin conflictos «SinC», subutilizadas «Sub» y sobreutilizadas, en esta última se hizo una discriminación en base al grado de afectación al suelo (alto «SobA», medio «SobM» y bajo «SobB»), siguiendo los lineamientos presentados por IGAC-CORPOICA (2002b).

Cobertura de Tierras	Clases de CUT							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Bosque nativo	SinC	SinC	SinC	SinC	SinC	SinC	SinC	SinC
Cultivo anual	SinC	SinC	SinC	SobB	SobB	SobM	SobA	SobA
Cultivo permanente y semipermanente	SinC	SinC	SinC	SinC	SinC	SobB	SobM	SobA
Pastizal	Sub	Sub	Sub	SinC	SinC	SobM	SobA	SobA
Plantación forestal	Sub	Sub	Sub	SinC	SinC	SinC	SobB	SobM
Vegetación arbustiva	Sub	Sub	Sub	Sub	Sub	Sub	SinC	SinC
Vegetación herbácea	Sub	Sub	Sub	Sub	SinC	SobB	SobM	SobA

Tabla 3. Matriz de decisión para la obtención de Conflictos de Uso de las Tierras. Fuente: Modificado de IGAC-CORPOICA (2002b).

A modo de resumen, en la *Figura 2* se presenta un mapa conceptual que sintetiza la metodología utilizada y expuesta en este apartado, el mismo que puede ser replicado en otras zonas de estudio.

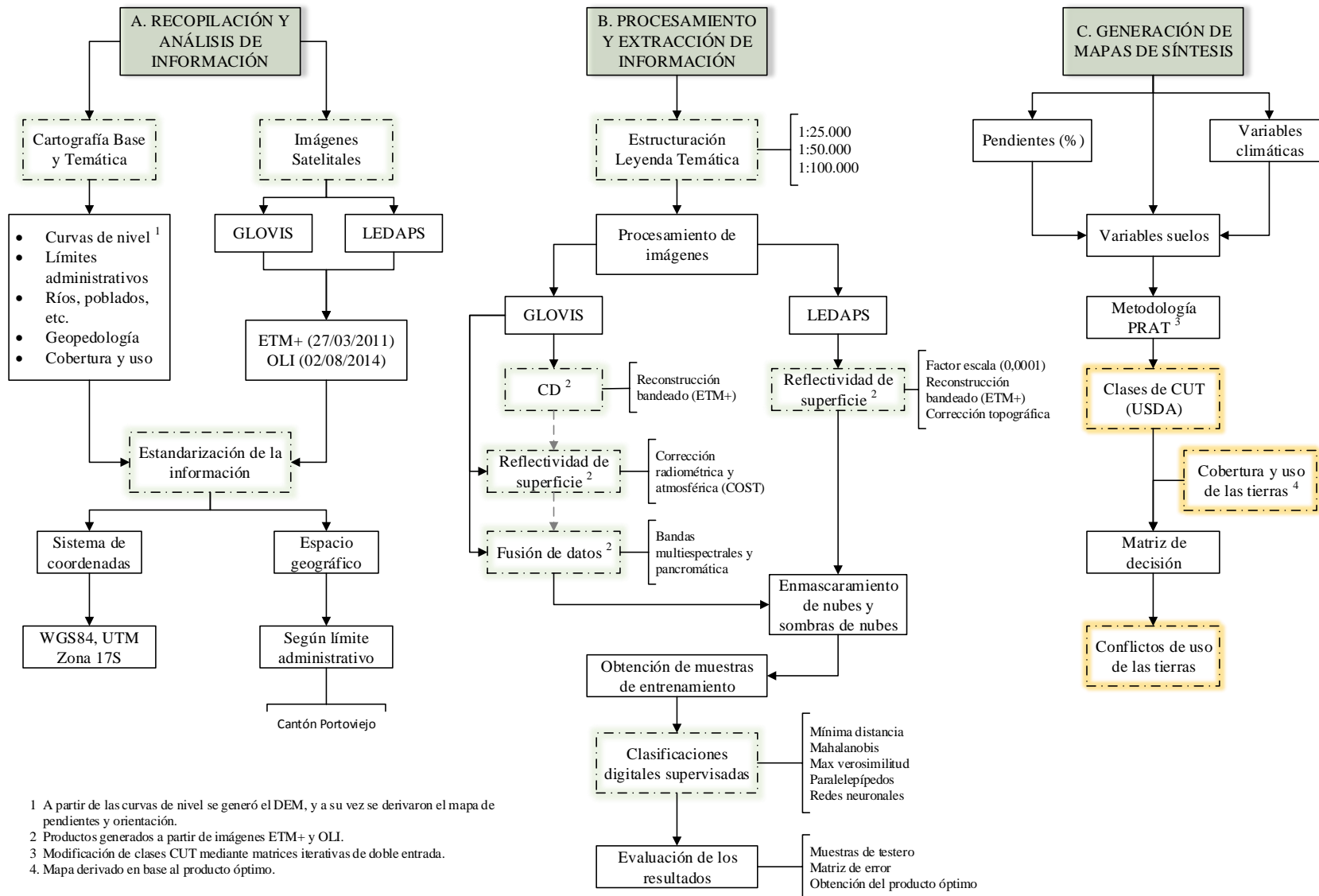


Figura 2. Mapa conceptual de la metodología del trabajo. Fuente: Elaboración propia.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una de las técnicas aplicadas sobre las imágenes ETM+ SLC-off es la corrección del bandeo, la cual fue llevada a cabo mediante una interpolación simple, la cual presenta los mejores resultados debido a la alta presencia de nubes dentro de la zona.

Una característica en común de las imágenes utilizadas es que la banda azul representa las reflectividades más bajas y el infrarrojo cercano las más altas, pudiendo deberse el primer caso a la dispersión atmosférica y el segundo a que existe una alta cantidad de vegetación.

Los productos obtenidos a partir de las imágenes provenientes del visualizador GLOVIS son las CD, ρ_{sup} mediante el método COST y por último la ρ_{sup} a partir de la fusión de datos, esta última fue realizada entre las bandas multispectrales y la banda pancromática mediante la técnica Gram-Schmidt debido a que dio un ERGAS de 3,5.

Una vez definidas las muestras de entrenamiento y los productos tanto de LEDAPS como de GLOVIS se realizó un análisis de separabilidad espectral (Jeffries-Matusita), donde los resultados son presentados en la *Tabla 4*. Las cifras presentadas son porcentajes derivados de aquellos pares de clases que poseen un valor superior a 1,8, evidenciándose una buena separación espectral en los cuatro productos de la imagen OLI para escalas 1:50.000 y 1:100.000.

Imágenes	1:25.000		1:50.000		1:100.000	
	ETM+	OLI	ETM+	OLI	ETM+	OLI
CD	23,69	73,84	41,91	85,71	42,86	89,29
ρ_{sup} (COST)	23,39	73,84	40,95	87,62	46,43	92,86
ρ_{sup} (Fusión)	18,46	72,00	26,67	87,62	39,29	92,86
ρ_{sup} (LEDAPS)	21,85	72,31	41,91	86,67	46,43	92,86

Tabla 4. Porcentaje de pares de clase con distancia Jeffries-Matusita superior a 1,8. Fuente: Elaboración propia.

Posterior a esto se realizó las clasificaciones supervisadas, donde cada uno de los productos fueron evaluados (precisión global «OA» e índice kappa «k») en base a las muestras de testeo, donde el mejor resultado (producto óptimo) es el derivado de la imagen LEDAPS capturada por el sensor OLI, aplicando el clasificador de redes neuronales para una escala 1:100.000 (*Tabla 5*).

Clasificadores	1:25.000				1:50.000				1:100.000			
	ETM+		OLI		ETM+		OLI		ETM+		OLI	
	OA	K	OA	K	OA	K	OA	K	OA	K	OA	K
Paralelepípedo	13,40	0,11	18,74	0,16	26,10	0,21	30,27	0,27	24,55	0,11	22,90	0,10
Mínima distancia	19,46	0,16	32,90	0,28	31,08	0,26	64,04	0,60	39,55	0,31	56,31	0,49
Mahalanobis	24,53	0,20	33,73	0,29	42,86	0,37	63,68	0,60	43,25	0,35	69,39	0,64
Máxima verosimilitud	28,15	0,24	48,90	0,45	51,70	0,47	72,71	0,69	55,89	0,48	76,74	0,72
Redes neuronales	46,91	0,39	62,40	0,57	60,54	0,55	78,95	0,76	61,35	0,51	86,02	0,83

Tabla 5. Evaluación de las clasificaciones digitales en base a las imágenes de ρ_{sup} (LEDAPS). Fuente: Elaboración propia.

Es preciso detallar que el producto óptimo presenta un intervalo de fiabilidad entre el 85,4 y 86,6% para un nivel de significancia del 95%. En la *Figura 3* se exhibe el mapa derivado, en donde se puede observar que adicional a la categoría de cobertura vegetal se ha definido el uso o la actividad que se le da a la tierra, predominando las clases de conservación y protección, y la agrícola.

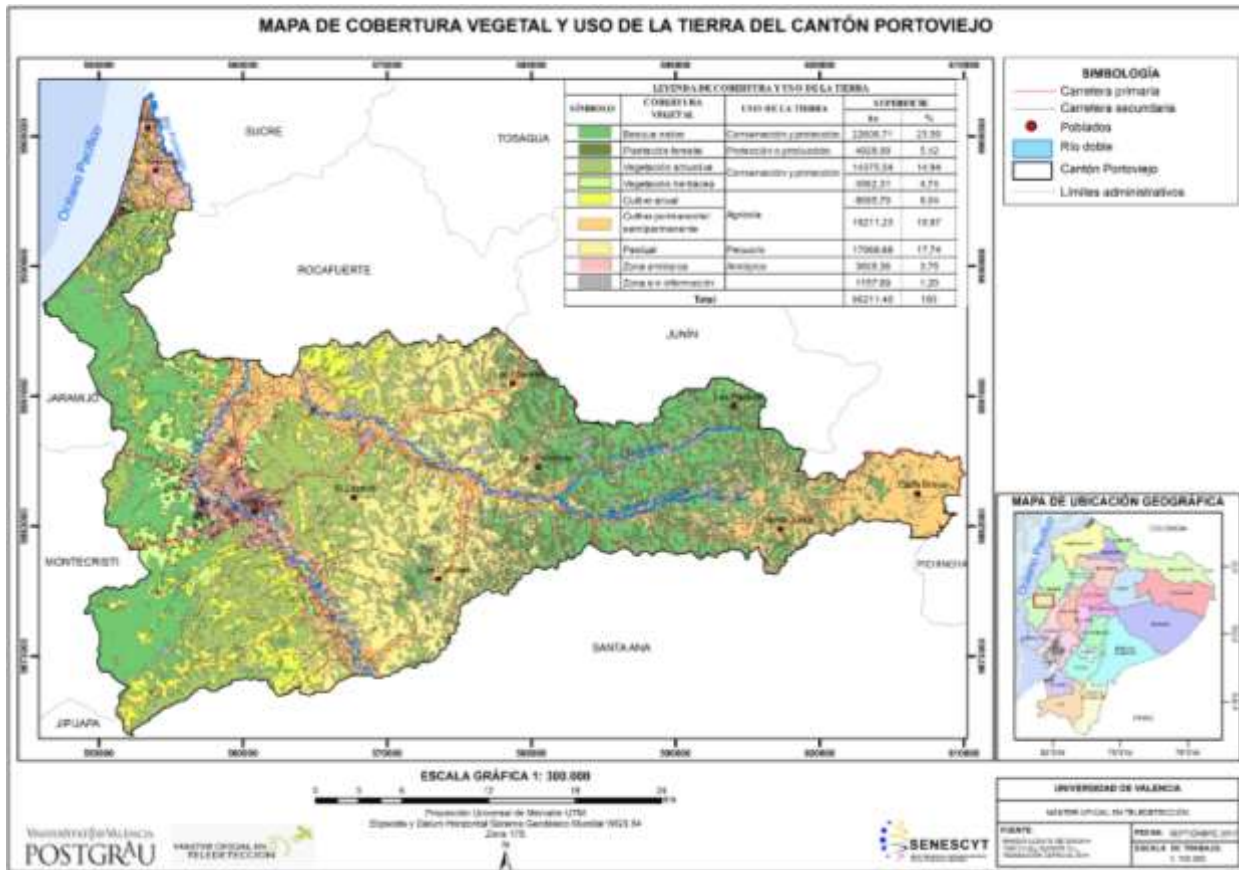


Figura 3. Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra. Fuente: Elaboración propia en base a imagen LEDAPS (sensor OLI).

Por otro lado se generó el mapa de CUT en donde existe una predominancia de las clases VII y IV con porcentajes aproximados del 33% y 22% del total de la zona de estudio respectivamente. Cabe mencionar que la clase «No aplicable» representan a ríos y poblados, los mismos que constaban en la cartografía obtenida del geoportal del IEE. La no existencia de la Clase I se debe a que las unidades temáticas no cumplen con las condiciones básicas (pendiente plana, suelo profundo, textura franco o franco limoso, etc.).

Clase	Descripción	Área (ha)	Área (%)
II	Tierras con algunas limitaciones que pueden ser utilizadas para el desarrollo de actividades agropecuarias o forestales, con pendientes menores al 5% donde se requiere prácticas de manejo.	9.135,92	9,50
III	Tierras con severas limitaciones que requieren de prácticas de manejo de suelos y agua, además se reduce la posibilidad de elección de cultivos anuales a desarrollar.	12.032,89	12,51
IV	Tierras con muy severas limitaciones que requieren de tratamiento especial en cuanto a labores de maquinaria o permiten un laboreo ocasional, admiten cultivos siempre y cuando haya prácticas de manejo y conservación.	21.533,56	22,38
V	Tierras que requieren de un tratamiento especial en cuanto a labores con maquinaria, se limita el uso de cultivos intensivos, son aptas sobre todo para pastos o bosques.	1.847,55	1,92
VI	Tierras de pendientes media a fuerte que restringen el uso de maquinaria, son aptas para aprovechamiento forestal y ocasionalmente para pastos.	8.035,00	8,35
VII	Tierras con severas limitaciones para el laboreo especialmente por sus pendientes fuertes, con condiciones favorables para uso forestal de conservación.	32.271,13	33,54
VIII	Tierras destinadas a vegetación arbustiva y/o arbórea con fines de protección, presentan pendientes superiores al 70% que impiden cualquier tipo de actividad.	7.052,66	7,33
---	No aplicable	4.302,69	4,47

Tabla 6. Clases de CUT en el cantón Portoviejo. Fuente: Elaboración propia.

Para finalizar fueron determinados los Conflictos de Uso de las Tierras en base a la matriz de comparación (Tabla 3) entre las cartografías de cobertura de las tierras y CUT. A continuación se presentan las superficies por cada tipo de conflicto y una breve descripción de las categorías.

Categoría		Descripción	Área (ha)	Área (%)
Sin Conflicto		Tierras donde el uso actual concuerda con la CUT, garantizando la sustentabilidad del recurso suelo.	52.876,43	54,96
Subutilizado		Tierras donde el uso actual no corresponde a su potencialidad natural, desarrollando actividades de uso de inferior potencial a la CUT, considerándose como un déficit de productividad.	12.129,94	12,61
Sobreutilizado	Bajo	Tierras en donde el uso actual excede la CUT, originando degradación mínima en el suelo y baja relación beneficio – costo.	4.763,41	4,95
	Medio	Tierras en donde el uso actual excede la CUT, originando degradación media en el suelo y bajos rendimientos de productividad.	8.101,71	8,42
	Alto	Tierras en donde el uso actual excede la CUT, originando degradación alta en el suelo y muy baja productividad.	11.825,34	12,29
Zona sin información		---	1.152,83	1,20
No aplicable		---	5.361,74	5,57

Tabla 7. Categorías de Conflictos de Uso de las Tierras en el cantón Portoviejo. Fuente: Elaboración propia.

En general, se observa que, existe una supremacía de zonas sin conflicto con un 55%, seguido de áreas subutilizadas y sobreutilizadas de grado alto con aproximadamente un 12% cada una. Cabe destacar que las áreas «No aplicable» representan a ríos y poblados, y la «Zona sin información» corresponde a superficies cubiertas por nubes o sombras de nubes, constituyendo estas dos categorías un porcentaje de 6,8% del total de la superficie del cantón.

6. CONCLUSIONES

- A partir de la imagen de ρ_{SUP} «LEDAPS» a escala 1:100.000 se derivó el producto óptimo el cual posee los mejores resultados estadísticos, presentando una alta aceptabilidad en cada una de sus clases. El intervalo de fiabilidad de este producto fluctúa entre 85,4 y 86,6%.
- La cartografía de Capacidad de Uso de las Tierras muestra que un 33,5% de la superficie total del cantón (96.211,4 ha) corresponde a la clase VII caracterizada por relieves estructurales con pendientes fuertes, y suelos de baja fertilidad, apta para coberturas forestales con fines conservacionistas; seguido a esta clase se encuentra la categoría IV que comprende un 22,4%, apta para cultivos pero con severas limitaciones y buenas prácticas de manejo, se localizan al oeste del cantón sobre los relieves colinados terciarios.
- El mapa de Conflictos de Uso de las Tierras refleja que el cantón cuenta con 52.876 ha (55%) de zonas sin conflictos, las mismas que se asientan sobre suelos de tipo inceptisoles y molisoles de pendientes 25 al 40%, asociadas a una cobertura de tipo bosque nativo en su mayoría, sobre las cuales se deben definir políticas inmediatas que eviten la intervención del hombre y conserven su estado actual.
- Las imágenes Landsat son viables para obtener mapas de cobertura y uso de las tierras a escala 1:100.000, presentando una alta fiabilidad, y a partir de esto poder derivar los conflictos de uso, esenciales para derivar planes y programas enfocados a un desarrollo sustentable y sostenible, minimizando las pérdidas del recurso suelo y sus efectos desencadenantes.

7. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado en la Universidad de Valencia gracias al financiamiento de la Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT).

8. BIBLIOGRAFÍA

- Cabrera, F. (2015). *Estudio multiescalar de cobertura de la tierra mediante imágenes Landsat para la determinación de conflictos de uso en el cantón Portoviejo, Ecuador*. 80 pp. TFM, Máster en Teledetección, Universidad de Valencia. Valencia, España.
- Chávez, P. (1996). "Image-based atmospheric corrections: Revisited and improved". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62, pp. 1025-1036.
- Chuvieco, E. (2010). *Teledetección ambiental*. 591 pp. Editorial Planeta. Barcelona, España.
- Congalton, R. (1991). "A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data". *Remote sensing of environment*, 37, pp. 35-46.
- De La Rosa, D. (2008). *Evaluación agro-ecológica de suelos*. 134 pp. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España.
- EEA. (2015). *Corine Land Cover*, European Environmental Agency. Disponible en <http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>, Abril/2016.
- FAO. (2005). *Sistema de clasificación de la cobertura de la tierra*. 226 pp. Roma, Italia. Disponible en http://www.glc.n.org/index_en.jsp, Mayo/2015.
- García, J. (2014). Apuntes de la cátedra de Análisis y Extracción de Información. Máster en Teledetección (2014-2015), Universidad de Valencia. Valencia, España.
- IEE. (2012a). *Memoria técnica de capacidad de uso de las tierras del cantón Portoviejo*. 65 pp. Disponible en <http://www.institutoespacial.gob.ec/geoportal>, Mayo/2015.
- IEE. (2012b). *Memoria técnica de clima e hidrología del cantón Portoviejo*. 28 pp. Disponible en <http://www.institutoespacial.gob.ec/geoportal>, Mayo/2015.
- IGAC-CORPOICA. (2002). *Vocación de uso de las tierras de Colombia. Capítulo IV*. 102 pp. Bogotá, Colombia.
- Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. 619 pp. Medellín, Colombia. Disponible en <http://www.bdigital.unal.edu.co>, Mayo/2015.
- Jensen, J. (1996). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. 316 pp. Editorial Prentice Hall. Michigan, Estados Unidos.
- Klingebiel, A., Montgomery, P. (1961). "Land-Capability Classification. USDA Agriculture Handbook", no. 20.
- Lencinas, J., Siebert, A. (2009). "Relevamiento de bosques con información satelital: Resolución espacial y escala". *Quebracho*, vol. 17, 101-105.
- Masek, J., Vermote, E., Saleous, N., Wolfe, R., Hall, F., et al. (2006). "A Landsat Surface Reflectance Dataset for North America", 1990-2000. *IEEE Geoscience and Remote Sensing*, vol. 3.
- Richards, J., Jia, X. (2006). *Remote sensing digital image analysis*. 453 pp. Editorial Springer. Berlín, Alemania.
- Rossiter, D. (1996). "Evaluación de tierras: éxitos y retos. XIII Congreso Latinoamericano de Ciencia do Solo". Sao Paulo, Brasil.
- Saldarriaga, L. (2014). *Reconstrucción de base de datos Landsat7 ETM+ SLC-off para cuantificar, detectar cambios y cartografiar la cobertura vegetal del valle bajo del río Chira – Perú, durante el período 2005-2014*. 68 pp. TFM, Máster en Teledetección, Universidad de Valencia. Valencia, España.
- Sánchez, J., Rubio, J., Martínez, V. (1984). "Metodología de prescripción de uso: Su aplicación en Benagéber (Valencia)". *I Congreso Español de Geología*, vol. 1, 761-770. Segovia, España.
- Sobrino, J., et al. (2000). *Teledetección*. 467 pp. Servicio de Publicaciones Universidad de Valencia. Valencia, España.

Townshend, J. (1992). *Improved global data for land applications*. 86 pp. IGBP Report No. 20. Estocolmo, Suecia.

Vargas, G. (2002). "La tropicalidad y el análisis geográfico". *Reflexiones*, vol. 81. Costa Rica.