

Análisis comparativo de las metodologías de los sistemas de clasificación de la cobertura de la Tierra LCCS y CORINE, para mapeo de coberturas terrestres

Elena Posada*
H. Cristina Salvatierra**

Recibido el 24 de febrero de 2017; aceptado el 12 de marzo de 2017

Abstract

The mapping of land use and cover in different Latin American countries has been developed following various classification systems, information sources, scales and methods of processing multiple sources of data and images. For example, in Colombia the national land cover map was prepared by adapting the Corine Land Cover-CLC methodology of the European Union; in Argentina, the Land Cover Classification System (LCCS) of the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) was applied for the elaboration of the national land cover map.

Based on the above mentioned, it was proposed to carry out a comparative analysis of this two methodologies, in order to evaluate the possibility of building in the near future a standardized methodology for mapping the land cover at the regional level. The proposal is based on the United Nations Global Management of Geospatial Information of the Americas (UN-GGIM: Americas) initiative focused on the need for standardization thematic mapping, in order to achieve greater ability to synthesize and understand the nature, distribution, state, quality and dynamics of changes that over time occur in the natural resources of the region.

During the research, a comprehensive analysis of information, studies, cartography, images, and existing standards was carried out and a state of art document was prepared. Fieldwork was carried out in two pilot areas, in order to familiarize with the landscapes and land cover of Colombia and Argentina. Landsat images were acquired for these pilot areas, radiometric and geometric adjustments and improvements were made, and images were examined and interpretation patterns were extracted for each mapping unit. Finally, a comparative analysis of the legends of

* Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica (CIAF), Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), correo electrónico: eposada@igac.gov.co

** Facultad de Ingeniería, Instituto de Geotecnologías (IGEO), Universidad Juan Agustín Maza (UMaza), Mendoza, Argentina, correo electrónico: salvatierra.cristina@gmail.com

each classification system was elaborated. It was concluded that both methodologies, although implemented in different geographical environments, are complementary solutions for the mapping of land cover and use. Each system offers different levels of disaggregation with more or less incorporation of biophysical variables, allowing a wide spectrum of thematic applications.

Key words: *classification systems, land cover, remote sensing; satellite images.*

Resumen

El mapeo de la cobertura terrestre en diferentes países de América Latina ha sido desarrollado siguiendo diversos sistemas de clasificación, fuentes de información, escalas y métodos de procesamiento de múltiples fuentes de datos e imágenes. Por ejemplo, en Colombia el Mapa Nacional de Cobertura de la Tierra se elaboró mediante adaptación de la metodología Corine Land Cover-CLC de la Unión Europea; en Argentina, para elaboración del Mapa Nacional de Cobertura de la Tierra, se aplicó sistema de clasificación Land Cover Classification System (LCCS) de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

Con base en lo anterior, se propuso realizar un análisis comparativo de las dos metodologías anteriormente mencionadas, con el fin de evaluar la posibilidad de construir en un futuro cercano una metodología estandarizada del mapa de cobertura de la tierra a nivel regional. La propuesta se enmarca en la iniciativa de las Naciones Unidas sobre Gestión Global de la Información Geoespacial de las Américas (UN-GGIM: Américas) sobre la necesidad de normalización de cartografía temática, con el fin de lograr mayor habilidad para sintetizar y comprender la naturaleza, distribución, estado, calidad y dinámica de cambios que a través del tiempo ocurren en los recursos naturales de la región.

Durante el desarrollo de la investigación se realizó un análisis exhaustivo de información: estudios, cartografía, imágenes, y estándares existentes y se elaboró un documento sobre el estado del arte. Se realizó el trabajo de campo en dos áreas piloto con el fin de familiarización con los paisajes y coberturas terrestres propias para Colombia y Argentina. Se adquirieron imágenes Landsat para estas áreas piloto, se realizaron los ajustes y mejoramientos radiométricos y geométricos, examinándose las imágenes, se extrajeron los patrones de interpretación para cada unidad de mapeo. Finalmente, se realizó un análisis comparativo de las leyendas de cada sistema de clasificación, concluyendo que ambas metodologías, aunque implementadas en diferentes ambientes geográficos, son soluciones complementarias para el mapeo de la cobertura y uso de la tierra. Cada sistema ofrece niveles de desagregación diferentes con mayor o menor incorporación de variables biofísicas, lo que permite un amplio espectro de aplicaciones temáticas.

Palabras clave: *sistemas de clasificación, cobertura de la tierra, sensores remotos, imágenes satelitales.*

Introducción

Desde hace muchas décadas atrás, específicamente desde el inicio de la cartografía de la cobertura de la Tierra, a través de productos derivados de sensores remotos, uno de los principales retos para los países en vías de desarrollo es la generación de información precisa y estandarizada tanto de las coberturas terrestres, como de una base histórica del uso del suelo (Jensen, 2000; IGAC, 2005; Caviglia-Harris y Harris, 2008; Rashed y Jürgens, 2010; Lillesand; Kiefer y Chipman, 2015; Salvatierra, 2015; Giri, 2016, etc.). Para poder realizar una óptima regulación del uso de los recursos con el objetivo de garantizar su disponibilidad para las futuras generaciones, es necesario contar con la información del estado del uso de la tierra lo cual se manifiesta directamente en la cobertura de la tierra. Una de las formas de diagnóstico del estado de las coberturas tanto naturales como antropizadas a través de cartografía temática actualizada y monitoreada en diferentes escalas de mapeo.

En este contexto a nivel mundial, la FAO ha venido realizando esfuerzos creando un Sistema de Clasificación de la Cobertura de la Tierra (LCCS) aplicable a cualquier región geográfica del mundo, para diferentes usuarios, comparable y compatible a diferentes escalas, permitiendo el cruce de referencias de mapas locales y regionales con mapas continentales y globales (Di Gregorio y Jansen, 1998, 2005; Guerra-Cerezo, 2006; Harold, Hubald y Di Gregorio, 2009; INTA, 2010; Shimabukuro, 2016). Este es un sistema de clasificación comprensivo, estandarizado a priori, diseñado para satisfacer requerimientos específicos de los usuarios y creado para ejercicios de mapeo independientemente de la escala o medidas utilizadas.

Este sistema ha sido empleado en diferentes iniciativas a través del mundo, especialmente en un proyecto conocido como Africover (Di Gregorio, 2005) que establece una base de datos georreferenciada de la cobertura de la Tierra y un referente geográfico para toda África que incluye toponimia, caminos e hidrografía a una escala 1: 200,000. El propósito que perseguía era reforzar las habilidades nacionales y sub-regionales para el establecimiento, actualización y uso de la información geográfica, necesaria para los tomadores de decisiones, planeación y manejo de los recursos naturales en países africanos (FAO, 2005). Igualmente, ha sido aplicado exitosamente en países como Australia (Pereira *et al.*, 2013), España (García-Haro *et al.*, 2009), Argentina (Morales *et al.*, 2007), Bolivia (FAO, 2005), Uruguay (Bernardi, 2016) y más de 70 países del mundo, donde se ha comparado incluso con otras metodologías.

De acuerdo a lo establecido por la FAO, un sistema de clasificación debe ser independiente de la escala e independiente de su fuente, lo que implica que es independiente de los recursos utilizados para recolectar la información, ya sean que se utilizaron imágenes de satélite, fotografías aéreas, levantamiento en campo o una combinación de fuentes. En comparación con la leyenda CORINE, esta está diseñada para realizar cartografía a escala 1:100,000 con imágenes Landsat, lo cual la limita a un tipo de producto con determinada resolución que no permitiría su comparación

con otras fuentes. Aunque no cumple con algunos de los supuestos propuestos por la FAO, ha sido un ejercicio realizado para adaptarse a las condiciones nacionales y que ha incluido su desarrollo junto con diferentes entidades para tratar de abordar las diferentes necesidades de cada sector.

Por otro lado, el proyecto Corine Land Cover (CLC, 2000), que fue desarrollado en Europa, definió una metodología específica para realizar el inventario de la cobertura de la Tierra y su base de datos constituye un soporte a la toma de decisiones en políticas relacionadas con el medio ambiente y el ordenamiento territorial, validada por la Unión Europea. La base de datos Corine Land Cover es una base de datos cartográfica, donde las unidades cartográficas de usos del suelo se definen en función de componentes. La interpretación asistida por ordenador complementada con la utilización de mapas temáticos exógenos tiene un papel fundamental en esta metodología (Rodríguez H., 2014). La escala cartográfica es de 1:100,000, el sistema geodésico de referencia es WGS 84 y el Sistema cartográfico de representación es UTM (IGAC, 2008). La extracción de la información sobre las coberturas terrestres se realizó principalmente a partir de las imágenes Landsat TM en el año 1990 y 2000, e imágenes SPOT 4 en el año 2006. La unidad mínima cartografiable es de 25 hectáreas, y en el caso de cambios en la ocupación del suelo es de 5ha. La clasificación jerárquica es tres niveles con 44 clases de coberturas y usos del suelo.

CORINE es igualmente jerárquica y la limitación en su especificación de las coberturas dependerá de los insumos de apoyo y la verificación de campo, llegando hasta el nivel seis de jerarquía y es más aproximada a los tipos de cobertura particulares presentes en Colombia, tratando de abordar la mayor cantidad de coberturas (IGNE, 2016). En Argentina hay pocos antecedentes con el uso de este sistema, aunque se han encontrado algunos trabajos relacionados más específicamente a la detección de aspectos de contaminación (Massone *et al.*, 2011).

LCCS está diseñado para mapear a una variedad de escalas, desde pequeñas a grandes, dado que contiene un gran número de clases y el énfasis está en un conjunto de clasificadores en lugar de sólo un nombre, lo cual permite una fácil correlación. Mucha de la discriminación de las coberturas tiene un nivel de detalle elevado que no es posible de observar con imágenes Landsat y que solo se logra con información secundaria y conocimiento específico de la zona (FAO, 2005). Este sistema también hace un esfuerzo por reunir los intereses de múltiples usuarios y en llenar los requerimientos para diferentes disciplinas, lográndolo debido a que el número potencial de re combinaciones de clasificadores es extremadamente extenso, pero éste respeta el concepto de múltiples usuarios, cada cual con sus necesidades específicas. De igual manera CORINE fue elaborado con el apoyo de diferentes entidades que complementaron la leyenda y por eso puede ocurrir que para ciertos tipos de cobertura pueden faltar elementos en la clasificación, como por ejemplo los bosques desde un enfoque más biológico.

CORINE dentro de sus reglas considera una unidad de mapeo mínima de 25ha, para considerarla como una clase, las coberturas de menor tamaño deben ser incluidas en otra clase más grande, lo que limita la escala a la que puede ser aplicada la clasificación (1:100,000). En cambio la leyenda de la FAO al ser independiente de la escala no tiene este tipo de reglas (EEA, 2007).

El sistema de CORINE presenta muchas similitudes con el LCCS; ambos son jerárquicos y sus niveles mayores son similares, ambos diferencian clasificadores. CORINE resulta de una posición práctica pero con un acercamiento empírico de la clasificación de imágenes satelitales por foto interpretación, apoyado por unos lineamientos amplios con casos particulares para garantizar la mejor estandarización.

Existen vacíos entre la leyenda de CORINE y la LCCS en donde se ha buscado su homologación, sin embargo esto no parece ser posible a niveles más detallados aunque CORINE es considerada como una versión de la LCCS europea. Ambas metodologías son basadas en comparaciones de mapas existentes de cobertura con imágenes satelitales recientes, lo que conlleva que a una escala 1:100,000 se obtengan resultados muy similares.

Si analizamos estos dos sistemas de clasificación en relación a su implementación en los países que intervinieron en este estudio podemos observar en el caso particular de Colombia, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi en conjunto con varias entidades nacionales (IGAC, 2005), han liderado el proyecto piloto para desarrollo e implementación de una metodología estandarizada para el mapeo de cobertura de la Tierra, empleando la metodología, adoptada para las condiciones del país, de CORINE (Coordination of Information on the Environment) LANDCOVER de la Unión Europea, resultando en el inventario y monitoreo de la cubierta biofísica (cobertura) de la superficie de la tierra a partir de la interpretación visual de imágenes de satélite asistida por computador y la generación de una base de datos geográfica (EEA, 2010).

De otro lado, en Argentina existe la experiencia en la generación de cartografía mediante el Sistema de Clasificación de la Cobertura de la Tierra (LCCS) desarrollado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medioambiente (UNEP) con el objetivo de satisfacer las necesidades de un acceso mejorado a información confiable y estandarizada de la cobertura de la Tierra y cambios que en ella ocurren. Sin embargo el sistema CORINE no ha tenido la misma repercusión (INTA, 2010; Morales *et al.*, 2007).

Adicionalmente, vale la pena resaltar que un factor crítico en la implementación de un sistema de clasificación de la cobertura de la tierra en proyectos nacionales es la factibilidad de que sea común o estándar y armonizado y que provea una base confiable para la interacción entre las actividades cada vez más crecientes en la cartografía y monitoreo de la cobertura de la Tierra tanto a nivel nacional, regional y global.

Tabla 1
Resumen comparativo de los principales parámetros metodológicos
usados en Colombia y Argentina

<i>Parámetros metodológicos</i>	<i>Colombia</i>	<i>Argentina</i>
Origen metodología	CLC Corine Land Cover Europa	LCSC Land cover system classification-FAO
Tipo mapa	Digital	Digital
Periodo elaboración	2000-2002 (I) y 2005-2009 (II)	2006-2009
Sistema de proyección	Magna-SIRGAS	POSGAR94
Escala de trabajo	1:100,000	1:250,000
Cubrimiento km ²	1,142,000 (total del país)	2,700,758 (total del país)
Fuente primaria de información	Aprox. 55 imágenes Landsat TM 7 (I periodo), SPOT 5 (II periodo)	150 imágenes Landsat TM 7, MODIS-Terra
Fuente secundaria de información	Fotografía aérea, informes y cartografía de los estudios anteriores	Datos de campo, informes y cartografía de los estudios anteriores
Método de Extracción información	Interpretación visual imágenes de la pantalla del computador	Interpretación visual imágenes de la pantalla del computador
Unidad mínima cartografiable	25ha (territorios artificializados-5ha)	600ha (lagos, lagunas, y ambientes urbanos-300ha)
Nivel jerárquico de la leyenda	5 clases-I nivel, 15 clases-II nivel, 50 clases-III nivel, 36 clases-entre la suma del IV, V y VI niveles	7 clases-I nivel, 5 clases-II nivel, 26 clases-III nivel
Exactitud temática por categoría	>= 85%	>= 85%
Consulta del mapa digital en línea	< http://geoportal.igac.gov.co/ssigl2.0/visor/ >	No disponible

Fuente: Elaboración propia.

Dada la diversidad de métodos de extracción de información y la importancia de este tema, la evaluación de diferentes metodologías de mapeo de cobertura de la Tierra es un aspecto interesante de abordar y que permite contribuir al conocimiento técnico y científico de las herramientas geoespaciales de última generación disponibles con el fin de mejorar la ejecución y la toma de decisiones relacionadas con el territorio, y así mismo contribuir a las infraestructuras de datos espaciales (IDE's) de los dos países participantes en este proyecto: Colombia y Argentina.

En la Tabla 1 se presenta un resumen comparativo de los principales parámetros metodológicos usados en Colombia y Argentina para elaboración de los mapas de cobertura de la Tierra a partir de los sistemas de clasificación CLC y LCSC respectivamente, pero adaptando a las condiciones propias de cada país.

Materiales y métodos

Área pilotos

El área de estudio para Colombia se encuentra ubicada en las proximidades a la ciudad de Bogotá, al suroccidente de la jurisdicción de la Corporación Autónoma de Cundinamarca-CAR (Figura 1). Se caracteriza por su amplia variación bioclimática, representada por cinco diferentes pisos climáticos: cálido, extremadamente frío, frío, muy frío y templado; y por diferentes zonas de vida según la clasificación de Holdridge entre bosque seco tropical (bs-T) y bosque húmedo pre montano (bh-Pm), con alturas entre 0 y 2,000msnm. Las coberturas presentes en el área son afloramientos rocosos, pastos manejados, pastos naturales, pasto enmalezado, cultivos de tierra fría y templada, vegetación secundaria, relictos de bosque naturales, plantaciones forestales, áreas industriales, zonas recreativas, zona urbana, estanque piscícola, entre otros. Entre los usos del suelo se destacan el uso silvícola, pastoril, agrícola, infraestructura urbana y minero.

El área de estudio para Argentina se localiza en las proximidades con la ciudad de Mendoza. El área de estudio seleccionada fue la cuenca del Río Mendoza (Figura 2), en donde se hacen presente los cerros Aconcagua de 6,959m. de altura y el Tupungato de 6,635m; ambas cumbres permanecen cubiertas por nieves eternas. Una parte del área se encuentra inserta dentro del corredor biológico de humedales del centro oeste argentino, específicamente cruzando las orillas de las lagunas de Guanacache. El factor altitud contribuye a la existencia de grandes diferencias climáticas ya que desde el este al oeste en un distancia aproximada de 180km se pasa de 600 a 6,000msnm. En términos generales se puede afirmar que en la zona baja de la cuenca el clima es principalmente árido, en la zona precordillerana, semiárido y en las zonas altas, húmedo. La vegetación es muy escasa y de tipo xerofítico y se caracteriza por tener árboles bajos y arbustos y la ausencia de árboles son elementos frecuentes en el

paisaje mendocino silvestre. La vegetación implantada está constituida por árboles frutales, álamos, moreras, fresnos, plátanos, arces y vides. Los mismos se encuentran en todos los oasis de la provincia irrigados por las típicas acequias y canales de riego. En la región andina, paralela a la cordillera, se encuentran plantas gramíneas y arbustos. La zona subandina y provincia del monte se caracteriza por la vegetación arbustiva. En el sur mendocino, que incluye toda la zona de la Payunia, predomina la estepa arbustiva y se observa juncos y gramíneas, chilcas, jume y otros. En la región cordillerana se encuentran plantas gramíneas y arbustos de hojas apretadas, que le permiten resistir las bajas temperaturas. Hacia la llanura se encuentran árboles de hasta 20 metros de altura, con predominio de vegetación arbustiva. Hacia el sur se encuentran pastos y arbustos característicos de zonas esteparias y hacia el este prevalecen los espinales.

Materiales

Las imágenes utilizadas para los dos países fueron Landsat 8 (2014) y se han descargado de la página del Servicio Geológico de Estados Unidos, Geoportal EarthExplorer. Siendo la resolución espacial de las imágenes Landsat 8 de 30m, son apropiados para escala de trabajo predeterminada de 1:100,000. De apoyo para interpretación se revisaron y se utilizaron las imágenes de mayor resolución existentes en las instituciones, junto con los demás datos auxiliares (Figura 3).

Método

La metodología utilizada (Figura 4) comprende:

1. Fase de consenso entre las instituciones participantes. En esta fase se consensuó la realización de dos talleres (uno en Colombia y otro en Argentina) con objeto de establecer una única metodología de trabajo que fuera factible de comparación; las salidas de campo a realizar y los productos finales de difusión.
2. Adaptación e implementación de los sistemas de clasificación a utilizar. En Colombia se adaptó el sistema de Clasificación CORINE Land Cover, particularmente en las principales instituciones nacionales productoras de información Geográfica, entre ellas IGAC e IDEAM (IGAC, 2010; IDEAM, 2010), a las condiciones específicas del país con objeto de realizar el inventario y monitoreo quinquenal de la cobertura de la Tierra a escala 1:100,000 con base interpretación visual de las imágenes satelitales de mediana resolución y con el apoyo de uso información secundaria y comprobación de campo.



Figura 2. Cuenca del río Mendoza.
Fuente: Adaptado de Martínez (2010) en base a datos del “Atlas digital de cuencas y regiones hídricas superficiales de la República Argentina” y vista del área del mosaico Landsat de Google Earth.

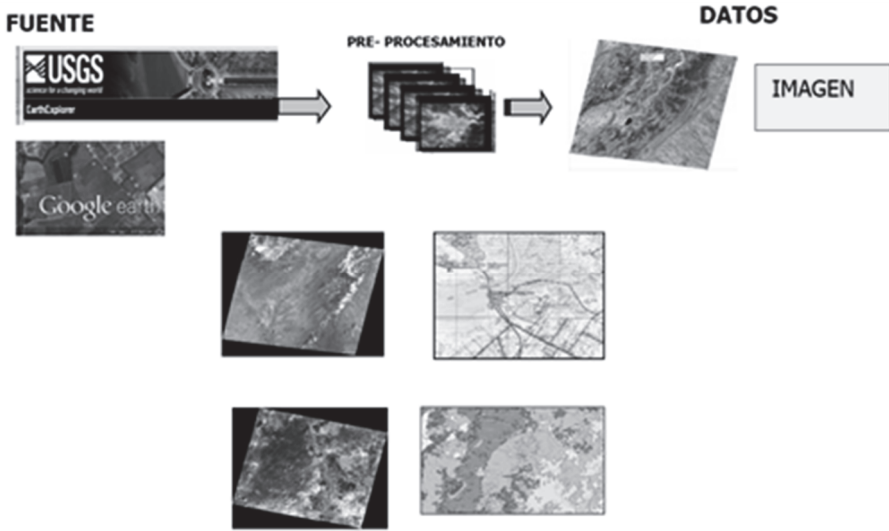


Figura 3. Esquema de la adquisición de datos.

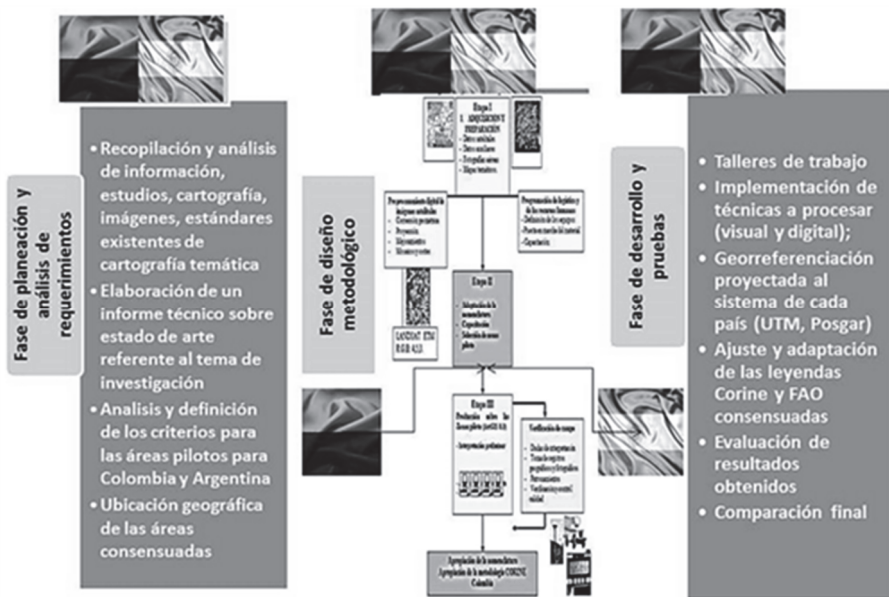


Figura 4. Esquema metodológico Corine Land Cover, Colombia. Fuente: Informe técnico proyecto, 2007.

Argentina tomó esta adaptación elaborada por Colombia y realizó los ajustes pertinentes. De esta doble adaptación se observó que de un total de 44 categorías temáticas de coberturas y usos de la Tierra presentes en el sistema de clasificación CORINE UE, la leyenda ajustada para Colombia obtuvo 82 categorías y para Argentina un total de 38.

Adquisición y preparación de la información: para generar la información de coberturas de la Tierra se emplean las imágenes de mediana resolución (Landsat, Spot) disponibles del Banco Nacional de Imágenes administrado por el IGAC; y otras descargadas gratuitamente desde Internet, a partir de la página EarthExplorer de USGS (EarthExplorer, 2016). Una vez que se cuenta con las imágenes de satélite, se procede a ortorectificarlas, proceso que consiste en la transformación de la imagen satelital en una proyección ortogonal para eliminar la inclinación de los elementos por efecto del relieve. En este proceso se utilizó el modelo SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) de 30m.

En la extracción de información a partir de imágenes de mediana resolución es necesario apoyarse con información secundaria, así como: imágenes o fotografías con mayor resolución espacial, cartografía básica, mapas temáticos existentes, información estadística, datos de censos o inventarios de diferentes tipos de uso y ocupación del territorio, entre otros.

Interpretación de imágenes: la interpretación de las imágenes de satélite se realiza inicialmente a través de la visualización en computador, empleando el software ArcGis. Cada intérprete cuenta con una licencia del software, con una configuración para delinear las diferentes unidades de mapeo. El procesamiento digital de las imágenes: mejoramientos geométricos, radiométricos y espectrales, corte, proyección, se realizó con el software ERDAS.

Verificación de campo: el trabajo de campo tiene por objeto la aclaración de dudas generadas en el proceso de interpretación de imágenes. Para la verificación de campo se seleccionan zonas piloto teniendo en cuenta la diversidad de coberturas de la Tierra y la toma representativa de diferentes sectores del área de estudio. La metodología Corine establece las siguientes características para la selección de zonas piloto:

- Ser representativas de la región biogeográfica en la que se encuentra la zona piloto, y de ser posible que en él se encuentren todas las unidades de paisaje de la región biogeográfica.
- Contar con buenas posibilidades de acceso y garantizar la seguridad de los intérpretes y acompañantes para el control de campo.

Control de calidad: el control de calidad hace referencia a un proceso de revisión y corrección continuo y sistemático de seguimiento del avance de las diferentes actividades que se deben adelantar en cada una de las etapas del proceso, con el propósito de garantizar la calidad geométrica, temática y topológica de la base de datos del proyecto.

La metodología desarrollada para el proceso de control de calidad temática comprende dos procedimientos que se aplican para la revisión y corrección de las planchas interpretadas. El primer procedimiento comprende la revisión de la plancha interpretada en formato análogo a partir de la observación de la imagen Landsat respectiva, dispuesta en formato impreso, con apoyo de las fotografías aéreas más recientes existentes para la zona interpretada. Como producto de este procedimiento se entrega al intérprete la plancha impresa en acetato con las observaciones y correcciones sugeridas por responsable de control de calidad.

El segundo procedimiento comprende a la imagen Landsat. De esta revisión, el responsable del control de calidad elabora una capa de información de puntos (en formato shape), conteniendo los comentarios y observaciones a la interpretación, así como los ajustes que se consideren requeridos para las unidades incorrectamente interpretadas. La revisión digital en pantalla de las interpretaciones facilita el proceso general de control de calidad establecido en el proyecto.

Generación de la capa temática escala 1:100,000: con la información generada por cada intérprete, se obtienen coberturas o shapefiles, las cuales contienen los atributos y códigos definidos en la nomenclatura Corine; las coberturas se ensamblan en una base de datos geográfica (geodatabase), la cual permite estandarizar y articular los objetos bajo un esquema único, garantizando la portabilidad, interoperabilidad y la generación de reportes de información.

Leyenda Corine Land Cover adaptada para Colombia: es un sistema jerárquico, constituida por 82 clases y organizado en tres niveles, aunque algunas clases se subdividen hasta seis niveles. Las unidades cartográficas de cada cobertura se separan con base en criterios fisonómicos de altura y densidad, definidos y aplicables a todas las unidades consideradas para un grupo de coberturas del mismo tipo (Tabla 2). De esta manera, se garantiza que sea posible la inclusión de nuevas unidades o la definición de nuevos niveles de unidades para estudios más detallados, permitiendo su ubicación y definición rápidamente (IDEAM, 2010).

La presente leyenda contiene y define las potenciales unidades de coberturas de la tierra presentes en el territorio nacional, cartográficas a la escala 1:100,000 y que son representativas de la complejidad ambiental y de la dinámica de apropiación y uso del territorio de todas las regiones del país. Asimismo se consideraron los siguientes criterios:

- La unidad mínima cartografiable es de 25 hectáreas, excepto para los territorios artificializados, donde la unidad mínima es de 5 hectáreas.

Tabla 2
Leyenda Corine Land Cover adaptada para Colombia

<i>Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra, Colombia</i>	
1. Territorios artificializados	
1.1. Zonas urbanizadas	
1.1.1. Tejido urbano continuo	
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	
1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	
1.2.1. Zonas industriales o comerciales	
1.2.2. Red vial, ferroviarias y terrenos asociados	
1.2.3. Zonas portuarias	
1.2.4. Aeropuertos	
1.2.5. Obras hidráulicas	
1.3. Zonas de extracción minera y escombreras	
1.3.1. Zonas de extracción minera	
1.3.2. Zonas de disposición de residuos	
1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas	
1.4.1. Zonas verdes urbanas	
1.4.2. Instalaciones recreativas	
2. Territorios agrícolas	
2.1. Cultivos transitorios	
2.1.1. Otros cultivos transitorios	
2.1.2. Cereales	
2.1.3. Oleaginosas y leguminosas	
2.1.4. Hortalizas	
2.1.5. Tubérculos	
2.2. Cultivos permanentes	
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	
2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos	
2.2.1.2. Caña	
2.2.1.3. Plátano y banano	
2.2.1.4. Tabaco	
2.2.1.5. Papaya	
2.2.1.6. Amapola	
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	
2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	
2.2.2.2. Café	
2.2.2.3. Cacao	
2.2.2.4. Viñedos	
2.2.2.5. Coca	
2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	
2.2.3.1. Otros cultivos permanentes arbóreos	
2.2.3.2. Palma de aceite	
2.2.3.3. Cítricos	
2.2.3.4. Mango	

Continuación Tabla 2

2.2.4. Cultivos agroforestales
2.2.5. Cultivos confinados
2.3. Pastos
2.3.1. Pastos limpios
2.3.2. Pastos arbolados
2.3.3. Pastos enmalezados
2.4. Áreas agrícolas heterogéneas
2.4.1. Mosaico de cultivos
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales
2.4.5. Mosaico de cultivos y espacios naturales
3. Bosques y áreas semi-naturales
3.1. Bosques
3.1.1. Bosque denso
3.1.1.1. Bosque denso alto de tierra firme
3.1.1.1.2. Bosque denso alto inundable
3.1.1.2.1. Bosque denso bajo de tierra firme
3.1.1.2.2. Bosque denso bajo inundable
3.1.2. Bosque abierto
3.1.2.1.1. Bosque abierto alto de tierra firme
3.1.2.1.2. Bosque abierto alto inundable
3.1.2.2.1. Bosque abierto bajo de tierra firme
3.1.2.2.2. Bosque abierto bajo inundable
3.1.3. Bosque fragmentado
3.1.4. Bosque de galería y ripario
3.1.5. Plantación forestal
3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva
3.2.1.1. Herbazal denso
3.2.1.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme no arbolado
3.2.1.1.1.2. Herbazal denso de tierra firme arbolado
3.2.1.1.1.3. Herbazal denso de tierra firme con arbustos
3.2.1.1.2.1. Herbazal denso inundable no arbolado
3.2.1.1.2.2. Herbazal denso inundable arbolado
3.2.1.1.2.3. Arracachal
3.2.1.1.2.4. Helechal
3.2.1.2. Herbazal abierto
3.2.1.2.1. Herbazal abierto arenoso
3.2.1.2.2. Herbazal abierto rocoso
3.2.2.1. Arbustal denso
3.2.2.2. Arbustal abierto
3.2.3. Vegetación secundaria o en transición
3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación
3.3.1. Zonas arenosas naturales
3.3.2. Afloramientos rocosos
3.3.3. Tierras desnudas y degradadas

Continuación Tabla 2

3.3.4 Zonas quemadas
3.3.5 Zonas glaciares y nivales
4. Áreas húmedas
4.1. Áreas húmedas continentales
4.1.1. Zonas Pantanosas
4.1.2. Turberas
4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua
4.2. Áreas húmedas costeras
4.2.1. Pantanos costeros
4.2.2. Salitral
4.2.3. Sedimentos expuestos en bajamar
5. Superficies de agua
5.1. Aguas continentales
5.1.1. Ríos (50m)
5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales
5.1.3. Canales
5.1.4. Cuerpos de agua artificiales
5.2. Aguas marítimas
5.2.1. Lagunas costeras
5.2.2. Mares y océanos
5.2.3. Estanques para acuicultura marina

Fuente: (IDEAM, 2010) < <https://www.siac.gov.co/> >.

- La identificación y delimitación de la unidad de cobertura de la Tierra corresponde a la fecha de toma de la imagen de satélite.
- Los niveles 1 y 2 de la leyenda permanecen iguales a los de la leyenda de CORINE Land Cover de Europa.
- Las unidades de la leyenda para la escala 1:100,000 varían desde el nivel 3 hasta el nivel 6 en los diferentes grupos de coberturas, variación que depende del tipo de cobertura.

Resultados

Durante las salidas al campo en ambos países se realizó levantamiento de patrones siguiendo los dos sistemas de clasificación y luego se realizó una comparación de lo obtenido en la clasificación de la imagen con la leyenda CORINE Land Cover y su equivalencia según la leyenda de la FAO para realizar la evaluación y comparación con base en un caso específico.

Para poder facilitar la comparación de resultados, ambas instituciones consensuaron utilizar la misma leyenda para los dos sistemas de clasificación, dado que solo un pequeño porcentaje de categorías jerárquicas no estaban presentes (específicamente fue el caso de Argentina, donde no existen ciertas categorías de vegetación natural

tipo boscosa, infraestructura, coberturas hídricas, etc.). La comparación entre las leyendas de ambos países puede ser observada de manera detallada en la Tabla 3.

Tabla 3
Comparación de la leyenda obtenida para Colombia y Argentina

<i>CORINE Land Cover</i>	<i>FAO</i>
1.0 Territorios artificializados	(Áreas urbanas A4-A13) código 5003-9
0001.1.0 Zonas urbanizadas	No vegetado
0000001.1.1 Tejido urbano continuo	Terrestre Superficies artificiales y áreas asociadas Construidas No lineal Áreas urbanas Alta, media o baja densidad
0001.2. Zonas industriales o comerciales y 000redes de comunicación	(Áreas industriales escasas y otras A4A12A17) código 5003-16
0000001.2.1. Zonas industriales o 0000000000 comerciales	Construidas No lineal Industrial Alta, media o baja densidad Aleatorio
2. Territorios Agrícolas	(Monocultivos herbáceos grandes o medianos continuos A3B1XXC1) código 11220
0002.3. Pastos	Principalmente con vegetación
000000 2.3.1. Pastos limpios	Terrestre Áreas terrestres cultivadas y manejadas.
000000 2.3.3. Pastos enmalezados	(Herbáceas cerradas medianas a altas A5A10B4-B15) código 20030-12763 Principalmente con vegetación Terrestre Natural y seminatural
0002.4. Áreas agrícolas heterogéneas	Principalmente con vegetación
000000 2.4.1. Mosaico de cultivos	Terrestre
000000 2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	Áreas terrestres cultivadas y manejadas
000000 2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y 000000 espacios naturales	Arbustos, herbáceas, gramínoideas, no gramínoideas, altos, medios o pequeños, múltiples o simples, continuos, agregados o aleatorios
000000 2.4.4. Mosaico de pastos con 0000000000 espacios naturales	

Continuación Tabla 3

Bosques y áreas seminaturales	(Árboles siempreverdes
0003.1. Bosques	A3A10B2XXD1E1-E4 o desiduos
000000 3.1.1. Bosque denso	A3A10B2XXD1E2-E4) código 20089-
000000 3.1.3. Bosque fragmentado	15048
	Principalmente con vegetación
	Terrestre
	Natural y seminatural
000000 3.1.3.1. Con pastos y cultivos	(Bosques fragmentados deciduos o
	siempreverdes A3A11B2C2D1E1-A13E4)
	código 20145-6011
000000 3.1.3.2. Con vegetación secundaria	En este caso se puede especificar el
	porcentaje de cobertura ya que la clasificación
	de “fragmentado” es un atributo de la
	distribución espacial que puede ser incluido
	por aparte
000000 3.1.4. Bosques de galería o ripario	(Bosques fragmentados deciduos o
	siempreverdes con un estrato herbáceo
	A3A11B2C2D1E1F2F4F7G4-F9) código
	20913-15058
000000 3.1.5. Plantaciones forestales	Incluyendo los pastos y cultivos como
	herbáceos pero pueden ser arbustos o árboles,
	en el caso de la vegetación secundaria, se
	incluye como árboles y quedaría como:
	(Bosques fragmentados deciduos o
	siempreverdes con emergentes
	A3A11B2C2D1E1F2 F5F10G2) código
	20917
	Estos bosques pueden ser clasificados como
	terrestres o inundables dependiendo de la
	zona pero no se cuenta con una
	clasificación específica para dicha cober-
	tura (Áreas en zonas regularmente inunda-
	bles A3A12B2C2-B5) Código 40041-4750
	(Árboles siempreverdes aciculados
	A3A10B2XXD2E1) código 20092
0003.2. Áreas con vegetación herbácea y/o	Principalmente con vegetación
000000 arbustiva	Terrestre
000000 3.2.1. Herbazal	Natural y seminatural
	(Vegetación herbácea cerrada A2A10)
000000 3.2.1.1. Densos	código 20025
000000 3.2.1.2. abiertos	(Vegetación herbácea abierta A2A11-A13)
000000 3.2.2. Arbustal	código 20037

Continuación Tabla 3

000000 000003.2.2.1. Denso	(Arbustales cerrados A4A10) código
000000 000003.2.2.2. Abierto	20017
000000 3.2.3. Vegetación secundaria o en	(Arbustales abiertos A4A11) código 20021
000000 transición	Si se incluye la altura de la vegetación el número de modificadores aumenta
	No existe una clasificación por edad del bosque o grado de intervención.
0003.3. Áreas abiertas sin o con poca vegetación	Principalmente sin vegetación Terrestres
000000 3.3.3. Tierras desnudas o degradadas	Suelos desnudos (B16) código 0011
5. Superficies de agua	Principalmente sin vegetación
0005.1. Continentales	Acuático o regularmente inundada
	Cuerpos de agua artificiales, nieve y hielo
000000 5.1.4. Cuerpos de agua artificiales.	(A1) código 7001

La cartografía resultante para el caso colombiano se observa en la Figuras 5, presentando un mapa de Cobertura de la Tierra según Corine Land Cover adaptación Colombia. El área piloto está caracterizada por 31 unidades de mapeo distribuidos entre grandes grupos de territorios artificializados, territorios agrícolas, bosques y áreas seminaturales, áreas húmedas, y superficies de agua.

En la Figura 6 se presenta el mapa de cobertura de la tierra aplicando la metodología Corine Land Cover en el área piloto en Argentina. En total fueron mapeados 30 unidades cartográficas, caracterizando a escala 1:100, 000 las distintas coberturas terrestres del paisaje semiárido y montañoso de la provincia Mendoza.

Conclusiones

El LCCS está definido, haciendo una diferenciación a través del uso de clasificadores puros de la cobertura de la tierra, cada uno ordenado de un nivel general a uno más específico y otro nivel de atributos medioambientales (por ejemplo, Clima, Forma de la Tierra o Geomorfología, Geología, etc.) y atributos técnicos específicos (por ejemplo Aspecto Florístico para Vegetación (Semi) Natural).

El sistema de clasificación Corine Land Cover trabaja con cinco clases principales, que se van subdividiendo en otros tipos de cobertura más específica, siendo un sistema de clasificación jerárquica, al igual que el LCCS, es decir la diferencia entre una clase de cobertura de la tierra (a un nivel más general) y una subdivisión adicional de ella, está dado a través de la adición de nuevos clasificadores. Cuanto más clasificadores se usan, mayor el detalle de la clase de cobertura de la tierra definida.

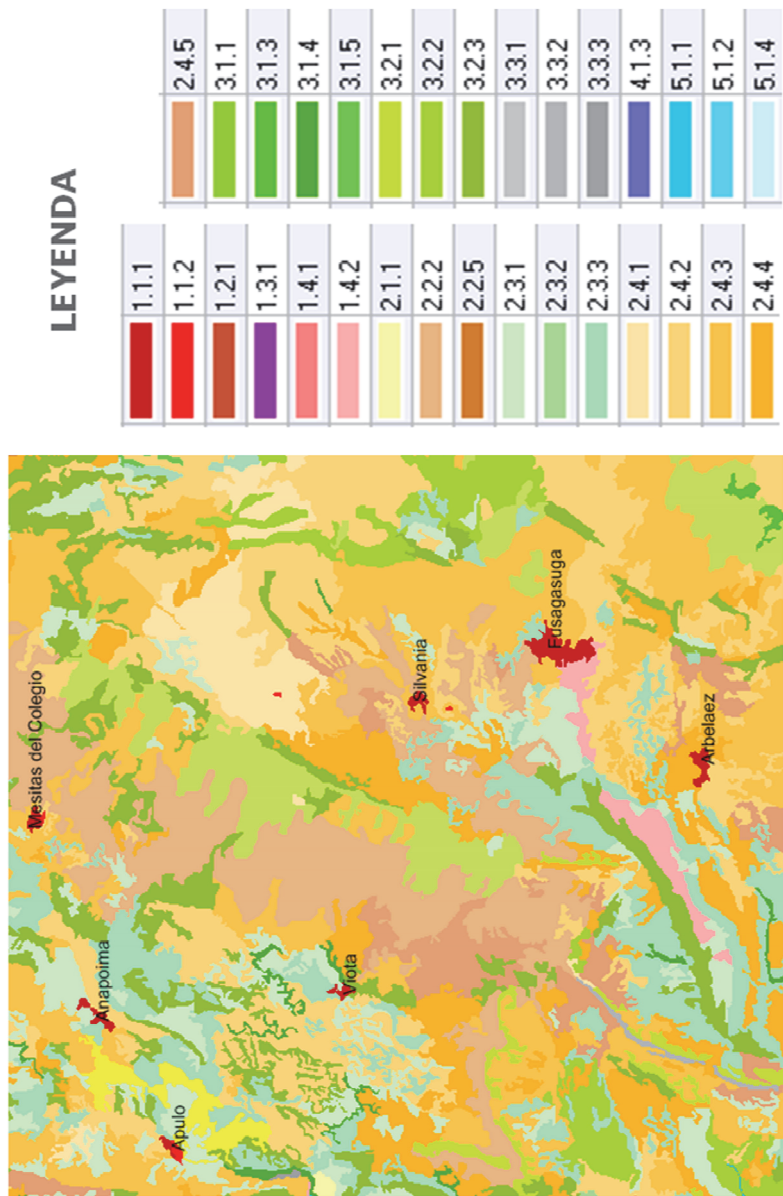


Figura 5. Mapa de cobertura y usos del suelo según Sistema FAO, Colombia. Elaboración propia.

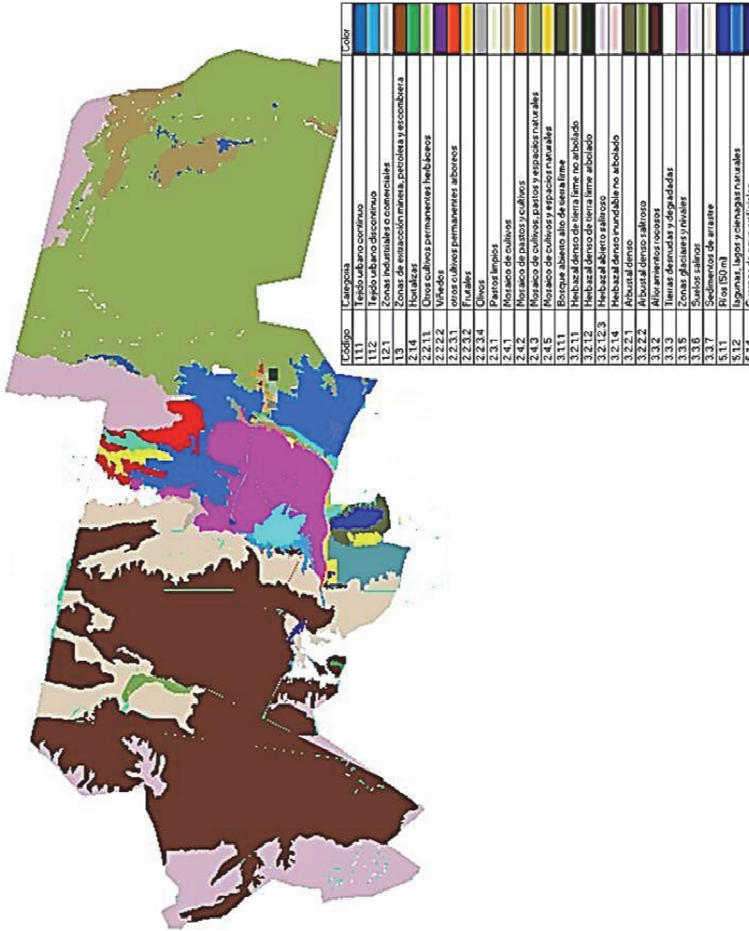


Figura 6. Mapa de cobertura de tierra del área piloto, Caso Argentina, según Sistema CORINE Land Cover. Elaboración propia.

Una de las grandes diferencias de clasificación que diferencia estos dos sistemas, es que el LCCS incluye elementos como el clima, la geología y geoforma que influyen la cobertura de la tierra, pero no son elementos inherentes a ella. En esto Corine Land Cover no lo considera ya que se limita a trabajar solo atributos de cobertura para diferenciar entre clases aunque pueda considerar otros aspectos adicionales a la cobertura para algunas clases.

Otra de las diferencias es que LCCS es un sistema independiente de la escala y del insumo para cartografiarlo, puede aplicarse a escala pequeña o grande y va a depender del número de clasificadores usados y del insumo para obtener el mapa. CORINE está diseñado para escala 1:100.000, partiendo de la clasificación manual con imágenes Landsat, aunque se ha desarrollado más detalle complementando con insumos de mayor resolución, información secundaria y trabajo de campo.

En este sentido, al realizar la clasificación de una imagen satelital para obtener un mapa de cobertura de la tierra, la metodología de la FAO no cuenta con unos supuestos para delimitar áreas, definir unidades mínimas cartografiables y formas para digitalizar o clasificar, deja libre la posibilidad de obtener un mapa a través de diferentes técnicas y brinda la leyenda. CORINE es una metodología tanto para clasificar como para definir la leyenda, con unas reglas claras establecidas.

EL LCCS es un sistema de clasificación *a priori* donde las clases están pre-definidas para que puedan ser incluidas. La ventaja principal de este tipo de sistema consiste en ser la forma más efectiva de producir estandarización de los resultados de la clasificación entre la comunidad de usuarios. La desventaja es que se requiere un enorme número de clases predefinidas para ser capaz de describir de manera consistente cualquier cobertura de la tierra alrededor del mundo. Este enorme número de clases pueden complicar la obtención de una leyenda, asimismo es tan amplio que puede ser aplicado a escala mundial pero no incluye detalles para tipos de cobertura específicos de cada país. CORINE se ha trabajado para ser aplicado a las condiciones de Colombia, siendo un sistema que busca abarcar la necesidad de varios sectores involucrados y en sus niveles mayores, es comparable con otros países.

Ambas metodologías son un apoyo para la solución de problemas en estandarización de las leyendas de cobertura y que puede ser aplicada en diferentes sectores, la leyenda de la FAO ofrece soluciones a nivel mundial y CORINE ha sido un apoyo a nivel nacional especialmente para hablar un lenguaje de cobertura en común y el cual permite incluir mayor detalle en las clases a medida que se tiene mayor y mejor información.

Como conclusión final mencionaremos:

1. El LCCS y CORINE Land Cover, aunque desarrollados en diferentes ambientes, son soluciones complementarias para el mapeo de la cobertura de la tierra;

2. Cada sistema ofrece niveles de desagregación diferentes con mayor o menor incorporación de variables biofísicas;
3. Cada uno tiene ventajas diferentes acorde a las necesidades: CORINE es muy eficiente en grandes áreas de trabajo con mayor énfasis en aspectos propios de la vegetación en cambio LCCS-FAO permite incorporar un número limitado de variables biofísicas a interpretar lo que provoca que las coberturas vegetales no tengan tanto detalle como con el sistema Corine Land Cover.

Finalmente, dado que la cartografía de cobertura de la Tierra se considera como un de los Datos Fundamentales dentro Infraestructura de Datos Espaciales (IDE), se recomienda desarrollar una propuesta metodológica de armonización de esta temática con el fin de desarrollar un nuevo estándar geográfico y discutirla en el ámbito de UN-GGIM: Américas.

Bibliografía

- Anderson, J.R.; R. Hardy, J.T. Roach and R.E. Witmer, “A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. A revision of the land 121 use classification system as presented in U.S. Geological Survey Professional Paper 964”, *Geological Survey Circular 671*, 2001, 41 pp.
- Bernardi, R., “Cambios de uso de suelo y degradación de ecosistemas en Uruguay: integración de programas hacia una estrategia nacional de restauración”, 2016, <<https://www.cbd.int/doc/meetings/ecr/ecrws-2016-01/other/ecrws-2016-01-presentation-day-5-sesion-112-en.pdf>>.
- Caviglia-Harris, J.L. and Harris, D.W., “Integrating Survey and Remote Sensing Data to Analyze Land Use at a Fine Scale: Insights from Agricultural Households in the Brazilian Amazon”, *International Regional Science Review*, April, vol. 31, no. 2, 2008, pp. 115-137.
- CLC, “Bases sobre información geográfica de la cobertura de la tierra Corine 1190”, 1990, disponible en <<http://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-1990>>.
- , Image & CORINE Land Cover, 2000, disponible en <<http://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-2000>>.
- , “Bases sobre información geográfica de la cobertura de la tierra Corine” 2006, disponible en <<http://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-2006>>.
- Di Gregorio, A. and L.J.M. Jansen, *Land Cover Classification System (LCCS): Classification Concepts and User Manual*, 1998.
- Di Gregorio, A., and L.J.M. Jansen, *Land Cover Classification System (LCCS): Classification Concepts and User Manual*, 2005.

- EEA, *Land use scenarios for Europe: qualitative and quantitative analysis on a European Environment Agency-EEA, Euroeapan scale (PRELUDE)*, EEA Technical report No 9/2007, disponible en <www.eea.europa.eu/publications/technical_report_2007_9>.
- EEA—European Environment Agency, *State and outlook 2010 land use*, Publication Office, 2010, 52 pp.
- EarthExplorer, *Query and order satellite images, aerial photographs, and cartographic products through the U.S. Geological Survey*, 2016, disponible en <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>.
- FAO, *Land Cover Classification System (LCCS): Classification Concepts and User Manual*, Di Gregorio, A., and L.J.M. Jansen, eds. 2005.
- García-Haro, F.J.; Moreno, A.; Pérez-Hoyos, A.; Gilabert, M.A.; Meliá, J. and Belda, F., *Monitoring of vegetation dynamics and assessing vegetation response to drought in the Iberian Peninsula. Advances in studies on desertification*, Murcia 16-18 September, 2009.
- Giri, Ch.P. *Remote Sensing of Land Use and Land Cover: Principles and Applications*, CRC Press, Taylor and Francis Series, in *Remote Sensing Applications*, Qihao Weng, Series Editor, 2016, 477 pp.
- Guerra-Cerezo, E.A. *Análisis multitemporal de la cobertura y uso de la Tierra a través del sistema LCCS en la cuenca baja del Río Grande-Santa Cruz*, 2006.
- Harold, M., R. Hubald and A. Di Gregorio, “Translating and evaluating land cover legends using the UN Landcover Classification System”, *GOFC-GOLD Report 43*, 2009, disponible en <<https://www.wmo.int/pages/prog/www/wigos/wir/gtos.html>>.
- Image 2000 and Corine Land Cover 2000 Project, disponible en: <<http://image2000.jrc.ec.europa.eu/index.cfm>>.
- IGAC, *Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena-Cauca: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia escala 1:100.000 /IDEAM; IGAC ; CORMAGDALENA-Bogotá*, Imprenta Nacional de Colombia, 2008, 200 pp., disponible en <<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021521/LIBROCORINEFINAL.pdf>>.
- IDEAM, *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia. Escala 1:100,000*, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá, D.C., 2010, 72 pp.
- IGNE, “Ocupación del suelo. Proyecto Corine Land Cover (CLC)”, 2016, disponible en: <<https://www.ign.es/ign/layoutIn/corineLandCover.do>>
- INTA, *Cobertura del suelo de la República Argentina, año 2006-2007 (LCCS-FAO)*. Informe técnico unificado PNECO 1643, 2010, disponible en <<http://inta.gob.ar/documentos/cobertura-del-suelo-de-la-republica-argentina.-ano-2006-2007-lccs-fao>>.

- Jensen, J.R., *Remote sensing of the environment: an earth resource perspective*, Prentice Hall, 2000, 544 pp.
- Lillesand, T.; Kiefer R.W. y Chipman, J. *Remote Sensing and Image Interpretation*, 7th Edition, Hoboken, N.J. John Wiley & Sons, Inc., 2015. 756 pp.
- Massone, H.; Sagua, M.; Tomas, M.; Zelaya, K.; Betancur, T.; Romanelli, A. and Lima, L., “El uso de Corine Land Cover en la identificación de actividades potencialmente contaminantes del agua subterránea. Análisis preliminar en el área Mar del Plata-Balcarce (Argentina)”, *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*, núm. 27, Buenos Aires, 2011, pp. 49-55.
- Morales Poclava, M.; Lizarraga, L.; Elena, H.; Noé, Y.; Mosciaro, J.; Vale, L.; Paoli, H. y Volante, J., “Cobertura de suelo en el noroeste argentino (NOA) mediante Land Cover classification system (LCCS-FAO)”, 2007, disponible en <http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-cobertura_de_suelo_en_el_noa.pdf>.
- Pereira *et al.*, “Essential Biodiversity Variables”, *Science*, no. 339, 2013, pp. 277-278.
- Rodríguez Hernández, C.J. “Proyecto AXILIUM cambios en la cobertura del suelo en la cuenca del río Combeima Tolima, Colombia”, tesis (Especialización en Sistemas de Información Geográfica), Facultad de Ciencias e Ingeniería. Universidad de Manizales, 2014, disponible en <ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/.../browse?...Benavides+Acosta%2C+Héctor+H>.
- Rashed, T. y Jürgens, C., *Remote Sensing and Digital Image processing. Remote Sensing of Urban and Suburban Areas*. Ed. Springer EARSel, 2010, 349 pp.
- Salvatierra, H.C., “Técnicas de interpretación visual de la cobertura y uso de la tierra con metodologías basadas en sistemas de clasificación Corine Land Cover Visual interpretation techniques in coverage and land use methodologies based on Corine Land Cover classification systems”, Conference paper, I Jornadas Internacionales de Investigación, UMaza, Mendoza, Argentina, octubre, 2015.
- Shimabukuro, Y.E.; Valdete, D.; Arai, E.; Freitas, R.M.; Martini, P.R. y Lima, “A. Monitoring land cover in Acre State, western Brazilian Amazonia, using multitemporal remote sensing data”, 2016, available from <https://www.researchgate.net/publication/228675829_Monitoring_land_cover_in_Acre_State_western_Brazilian_Amazonia_using_multitemporal_remote_sensing_data>, accessed Dec 16, 2016.