



**JIDeTEV**  
Jornadas de Investigación y Desarrollo Tecnológico  
Extensión, Vinculación y Muestra de la Producción



## **Clasificación semiautomática de usos de suelo en cuencas de Misiones mediante Sistemas de Información Geográfica.**

MATTES, Germán; ARROYO, Emmanuel A.; FERNANDEZ, José Javier. <sup>a</sup>

<sup>a</sup> *Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.*  
e-mails: [gmattes.277@gmail.com](mailto:gmattes.277@gmail.com), [ing.arroyoemmanuel@gmail.com](mailto:ing.arroyoemmanuel@gmail.com), [josefernandez.24@gmail.com](mailto:josefernandez.24@gmail.com).

---

### **Resumen**

Debido a las buenas condiciones hidro-ambientales autóctonas de la región serrana de Misiones, la misma se ha visto relegada de las investigaciones científicas tendientes al estudio y descripción de la dinámica del escurrimiento y el impacto de las acciones antrópicas sobre el mismo. Sin embargo, los marcados cambios en las condiciones hidro-ambientales de la región en las últimas décadas, han evidenciado la necesidad de comenzar con el estudio científico de los recursos hídricos en una región con características hidrológicas diferentes a la del resto del país. El presente trabajo, se focaliza en analizar la factibilidad de utilizar la Clasificación Semiautomática de Suelos mediante software de sistemas de información geográfica y respectivo complemento para clasificar y cuantificar los diferentes usos que se le da al suelo en un área en estudio, específicamente una cuenca hidrográfica de la ciudad de Oberá Misiones. Mediante la constitución y calibración de firmas espectrales para cada uso de suelo a discretizar, se pretende comparar la clasificación obtenida con esta herramienta y la ocupación real del terreno tanto en zonas urbanas como rurales. Se estipula que las firmas calibradas serán una herramienta que facilitará las tareas de análisis inicial para todos los trabajos del campo de la Hidráulica.

**Palabras Clave** – Hidrología, Usos de suelo, Clasificación semiautomática, SIG.

### **1 Introducción**

Tradicionalmente la clasificación de los diferentes usos de suelo que se encuentran en un área determinada se realiza de forma manual e independiente para cada proyecto, en base a imágenes satelitales de la zona en estudio. Este procedimiento demanda de una gran cantidad de tiempo, proporcional a la extensión geográfica que se desea abarcar y el nivel de detalle que se busca con la clasificación, haciendo del mismo un proceso arduo.

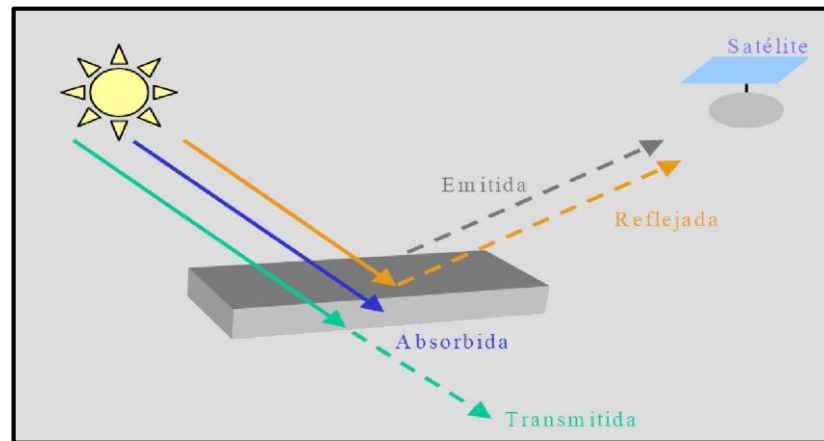
La clasificación semiautomática en cambio, utiliza un conjunto de bandas de espectros de luz capturados por satélites para clasificar los diferentes usos de suelo en función a su espectro de luz y la reflectividad que poseen. Contar con un conjunto de firmas calibradas, permite reducir el tiempo que demanda la clasificación de los usos del suelo, tarea que constituye uno de los puntos de partida para cualquier proyecto o estudio en el campo de la Hidráulica.

La teledetección viene siendo una herramienta de monitoreo remoto desde que se ha implementado la fotografía aérea como medio de seguimiento y análisis de la información geográfica. Actualmente, existen gran cantidad de misiones aeroespaciales compuestas por satélites con el objetivo de monitorear la superficie terrestre, algunos de ellos son los Landsat y Sentinel, que recogen imágenes a partir de la energía emitida y reflejada de las distintas superficies de la Tierra. Estos datos, se registran en diferentes bandas, cada una con diferentes firmas espectrales para luego ser utilizadas en forma independiente o combinada según se requiera.

## 2 Estudio del Estado del Arte.

### 2.1 La teledetección

Es una técnica de recopilación de datos de radiación emitida y reflejada desde la superficie terrestre mediante instrumentos instalados sobre plataformas espaciales, tal como se aprecia en la **Fig. 1**. Dichos datos, provenientes de la interacción electromagnética entre el terreno y un sensor, es procesada y enviada a las estaciones en Tierra para su interpretación y uso.



**Fig. 1.** Fundamentos de la teledetección satelital, extraído del *Manual de Teledetección [1]*.

En Argentina, esta vigente en programa espacial Copernicus, dentro del cual se encuentran funcionando los satélites Sentinel. Estos satélites proporcionan imágenes que son de acceso libre y gratuito para el público en general, con el fin de fomentar su uso masivo y el de sus productos derivados. La información que brindan es la siguiente:

2.1.1 Sentinel-1: Proporciona imágenes de radar terrestre y oceánico.

2.1.2 Sentinel-2: brinda imágenes ópticas terrestres, las cuales están disponibles como productos de nivel 1C (corregidos radiométrica y geoméricamente) y nivel 2A (corregidos atmosféricamente).

2.1.3 Sentinel-3: proveen servicios globales de vigilancia terrestre y oceánica.

2.1.4 Sentinel-4 y 5: proporcionan datos para la vigilancia de la composición atmosférica.

2.1.5 Sentinel-6: proporcionan datos de altimetría de precisión.

### 2.2 Satélite Sentinel-2.

El satélite Sentinel-2 tiene como objetivo obtener imágenes que ayuden a observar los cambios en la superficie terrestre. Posee un escáner multi-espectral que capta información tanto en el espectro de luz visible como infrarrojo, lo cual permite monitorear cambios en el suelo y la vegetación con una resolución de hasta 10m. Los productos que ofrece ya cuentan con las correcciones atmosféricas se clasifican en 2 categorías:

**Tabla 1.** Tipos de productos Sentinel, extraídos del *Manual de usuario del Sentinel-2* [2].

Nivel	Descripción de alto nivel	Producción y distribución	Volumen de datos
<b>Nivel-1B</b>	Radiación en la parte superior de la atmósfera en la geometría del sensor.	Generación sistemática y distribución en línea	~27MB (cada 25x 25km <sup>2</sup> )
Nivel-1C	Reflectancias en la parte superior de la atmósfera en geometría cartográfica	Generación sistemática y distribución en línea	~600MB (cada 100x 100km <sup>2</sup> )
<b>Nivel-2A</b>	Reflectancias del fondo de la atmósfera en geometría cartográfica	Sistemático y del lado del usuario (usando Sentinel-2 Toolbox)	~800MB (cada 100x 100km <sup>2</sup> )

### 2.3 Complemento de Clasificación Semiautomática.

El complemento de clasificación semiautomática (SCP) permite la clasificación supervisada de imágenes obtenidas por teledetección, proporcionando herramientas para la descarga, el pre procesamiento y el pos procesamiento de las mismas.

Dicho complemento de clasificación semiautomática (SCP) permite la clasificación supervisada de imágenes de teledetección, proporcionando herramientas para la descarga, el pre procesamiento y el pos procesamiento de imágenes. La búsqueda y descarga está disponible para imágenes ASTER, GOES, Landsat, MODIS, Sentinel-1, Sentinel-2 y Sentinel-3 y tiene además varios algoritmos disponibles para la clasificación de la cobertura del suelo.

## 3 Procedimientos metodológicos

### 3.1 Configuración inicial de las imágenes satelitales.

Para que el complemento SCP pueda analizar la composición de la cobertura de suelo, primeramente es necesario cargar un conjunto de imágenes satelitales, cada una de ellas capturada para una longitud de onda específica dentro del espectro de luz. El satélite utilizado es el Sentinel-2, del cual se toman las imágenes del área que se pretende estudiar en las bandas correspondientes a la clasificación a realizar. En este trabajo se utilizaron las bandas 02, 03, 04 y 08 que presentan las siguientes características:

**Tabla 2.** Características de bandas espectrales.

Banda	Resolución	Longitud de onda central	Descripción
B02	10m	490 nm	Azul
B03	10m	560 nm	Verde
B04	10m	665 nm	Rojo
B08	10m	842 nm	Visible e infrarrojo cercano (VNIR)

Estas imágenes, se añaden como capas del tipo Raster en el software de GIS, para este trabajo se utilizó el software libre QGIS v3.XX para operar luego con las mismas. Para poder visualizar las imágenes en color, es necesario hacer una combinación de 3 bandas denominada como imagen de color compuesta que puede mostrar tanto imágenes en color real como en falso color. El orden en que se realice la composición permitirá delimitar con mayor facilidad ciertas cubiertas. Las composiciones que se configuren dependerán del interés específico que se tenga en su aplicación.

\*Autor en correspondencia.

### 3.1.1 *Infrarrojo.*

Esta combinación de bandas permite una buena sensibilidad a la vegetación verde (representada en tonos de rojo), muestra en forma clara los caminos y masas de agua. Su combinación de bandas en Sentinel-2 es 8, 4, 3. Dentro de las composiciones en falso color, las tonalidades más habituales son las siguientes:

- Rojo: indica una vegetación sana y bien desarrollada.
- Rosa: áreas vegetales menos densa o con vegetación menos desarrollada.
- Blanco: áreas con escasa o nula vegetación.
- Azul oscuro o negro: indica presencia de cuerpos de agua.
- Marrón: vegetación arbustiva muy variable.
- Beige o dorado: zonas de transición, prados secos asociados a matorral ralo.

### 3.1.2 *Usos agrícolas.*

Permite una buena detección de las zonas de uso agrícola, las cuales se visualizan en un verde brillante. Su combinación de bandas en Sentinel-2 es 11, 8A, 2.

### 3.1.3 *Vegetación vigorosa.*

Imagen muy utilizada en la detección de vegetación en un estado saludable. La combinación utilizada en Sentinel-2 es 8A, 11, 2.

### 3.1.4 *Zonas urbanas.*

Las zonas urbanas en la composición de bandas específica, se visualizan en tonos magenta, mientras que las áreas de pastos aparecen en tonos de verdes claros y de verde oliva a verde brillante se indican las áreas forestales. La composición de bandas para Sentinel-2 es 12, 11, 4.

### 3.1.5 *Color natural.*

En esta composición se ven involucradas las 3 bandas visibles, asignándoles a cada una de ellas su verdadero color, resultando en una aproximación a los colores naturales de la escena. Se genera a partir de la combinación 4, 3, 2 en Sentinel-2.

### 3.1.6 *Análisis de vegetación.*

Se utiliza esta combinación con gran frecuencia para realizar análisis sobre la vegetación presente en la zona de estudio. Corresponde la combinación 8A, 11, 2 en Sentinel-2.

### 3.1.7 *Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).*

El NDVI es un índice de vegetación que se utiliza para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación con base a la medición de la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja. La obtención de esta composición tiene en Sentinel-2 la forma de  $(B08 - B04)/(B08 + B04)$  (1).

### 3.1.8 Índice Diferencial de Agua Normalizada (NDWI).

El NDWI se utiliza como una medida de la cantidad de agua que posee la vegetación o el nivel de saturación de humedad que posee el suelo. La combinación de bandas que corresponde utilizar para la obtención de este índice es  $(B03 - B11)/(B03 + B11)$  (2) en Sentinel-2.

### 3.1.9 Índice de Vegetación Mejorado (EVI).

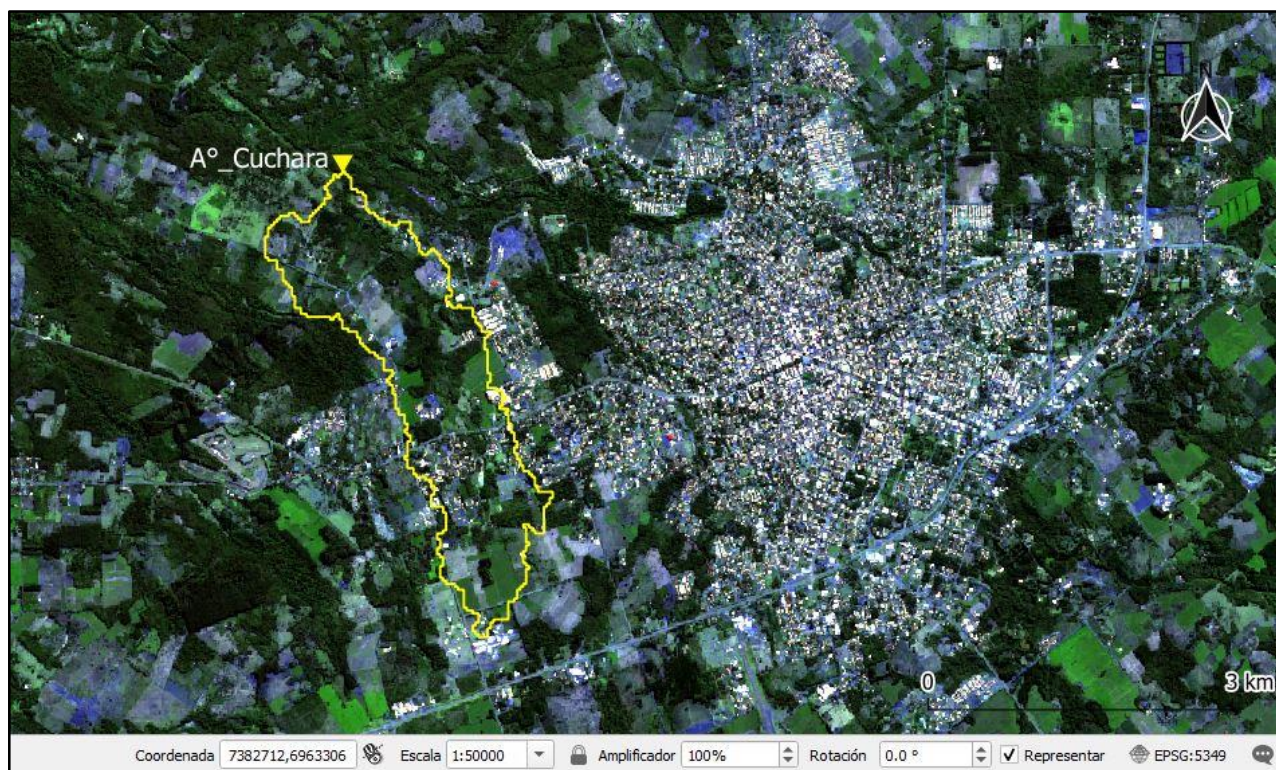
El EVI provee información que permite monitorear el estado de la vegetación en caso de altas densidades de biomasa. En Sentinel-2 puede obtenerse con la siguiente combinación de bandas:  $2.5 * ((B8A - B04)/((B8A + 6 * B04 - 7.5 * B02) + 1))$  (3).

## 3.2 Zona de Estudio.

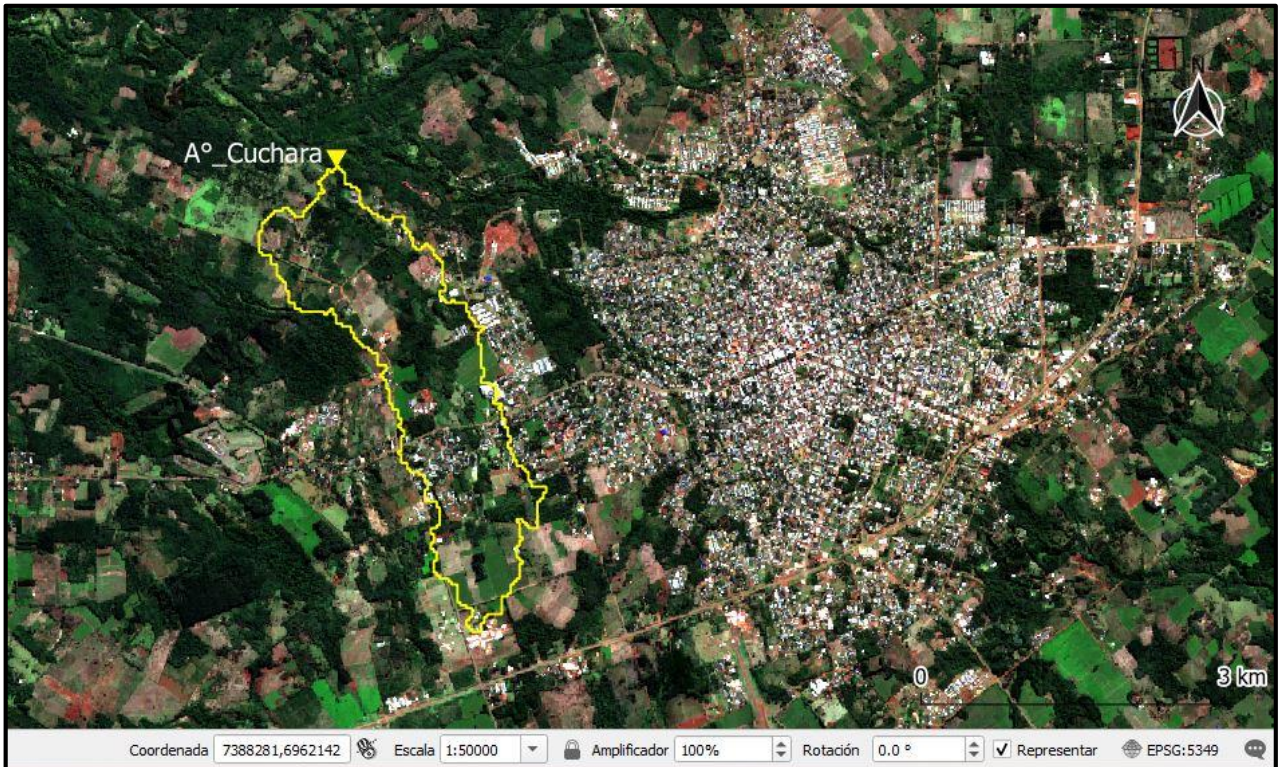
La cuenca de estudio corresponde al A° Cuchara, ubicado en el entorno de la ciudad de Oberá, cabecera del departamento de mismo nombre, provincia de Misiones, Argentina. Descarga sus aguas al A° Encantado, cuya desembocadura fue establecida como sección de control para el trazado de la cuenca. Esta tarea se realizó mediante el software QGIS 3.14.1, utilizando modelos de elevación del terreno y un conjunto de herramientas de procesamiento que ofrece el programa.

## 3.3 Creación de firmas espectrales.

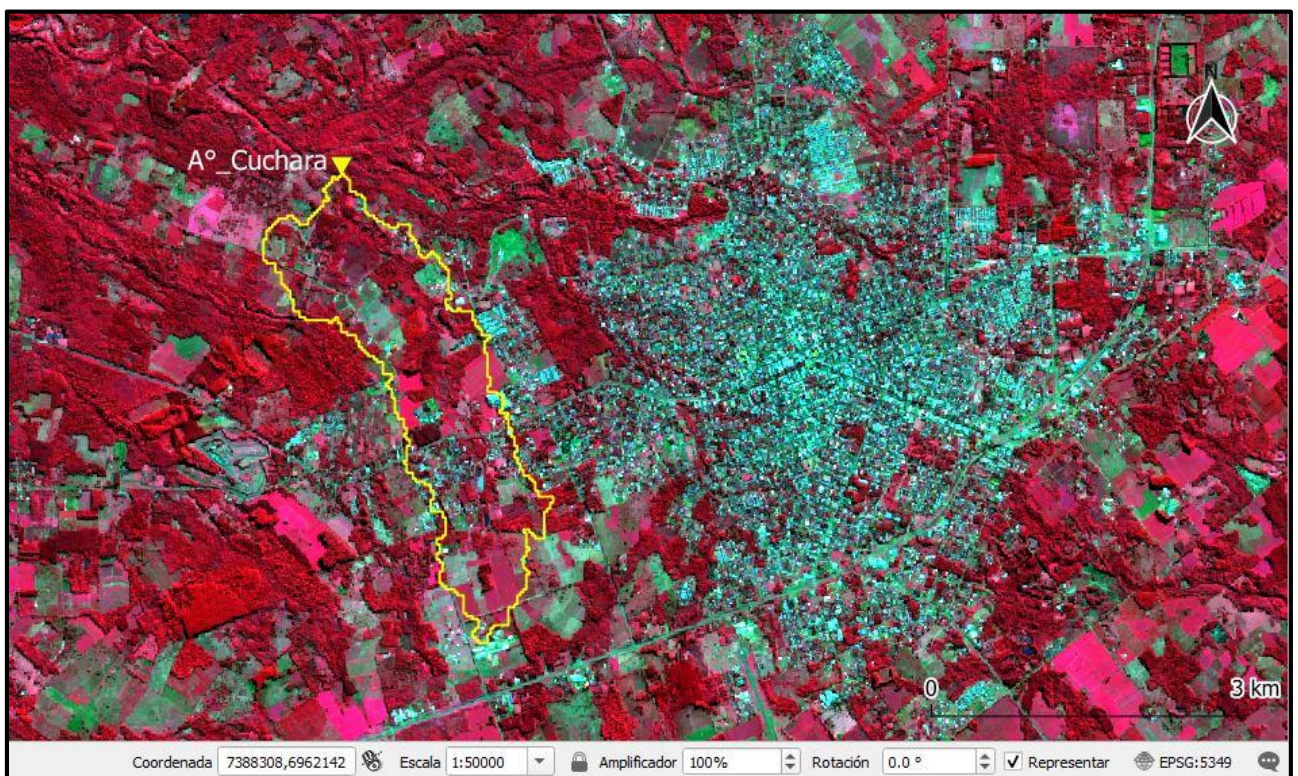
Una vez cargadas las imágenes satelitales de las diferentes bandas espectrales, se procedió a definir las combinaciones de estas que serían necesarias para la clasificación. Se establecieron 3 combinaciones, las cuales se pueden apreciar en las Figuras 2, 3 y 4.



**Fig. 2.** Combinación de bandas B02-B03-B04. Cuenca del A° Cuchara, Oberá.



**Fig. 3.** Combinación de bandas B04-B03-B02. Cuenca del A° Cuchara, Oberá.



**Fig. 4.** Combinación de bandas B08-B04-B03. Cuenca del A° Cuchara, Oberá.

Utilizando la visualización de cada una de estas combinaciones y las herramientas del complemento de Clasificación Semiautomática se delimitaron áreas con la misma correspondencia de uso de suelo alrededor de la cuenca de estudio y se les asignaron una *Clase Maestra* (MC), una *Clase* (C) y un número de identificación (ID). Estas áreas, son llamadas áreas de entrenamiento y permiten asociar cada uno de los usos de suelo con una firma espectral. Se utilizaron los usos de suelo propuestos por *Ven Te Chow* [3].

**Tabla 3.** Usos del suelo, extraídos del *Ven Te Chow* [3].

Descripción del uso de la tierra	Grupo hidrológico del suelo			
	A	B	C	D
Tierra cultivada <sup>1</sup> : sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
con tratamientos de conservación	62	71	78	81
Pastizales: condiciones pobres	68	79	86	89
condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos: condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas,	45	66	77	83
cubierta buena <sup>2</sup>	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.				
óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más	39	61	74	80
condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75%	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Residencial <sup>3</sup> :				
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable <sup>4</sup>			
1/8 acre o menos	65	77	85	90
1/4 acre	38	61	75	83
1/3 acre	30	57	72	81
1/2 acre	25	54	70	80
1 acre	20	51	68	79
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc. <sup>5</sup>	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados <sup>5</sup>	98	98	98	98
grava	76	85	89	91
tierra	72	82	87	89

1 Para una descripción más detallada de los números de curva para usos agrícolas de la tierra, remitirse a Soil Conservation Service, 1972, Cap. 9  
2 Una buena cubierta está protegida del pastizaje, y los desechos del retiro de la cubierta del suelo.  
3 Los números de curva se calculan suponiendo que la escorrentía desde las casas y de los accesos se dirige hacia la calle, con un mínimo del agua del techo dirigida hacia el césped donde puede ocurrir infiltración adicional.  
4 Las áreas permeables restantes (césped) se consideran como pastizales en buena condición para estos números de curva.  
5 En algunos países con climas más cálidos se puede utilizar 95 como número de curva.

Se trazaron entre 10 y 20 áreas de entrenamiento por cada uso de suelo identificado en la cuenca para establecer una firma promedio. Ya completado esto, se procedió a realizar clasificaciones preliminares sobre la superficie de la cuenca, predefiniendo el tamaño mínimo de cada área de uso de suelo en 10 píxeles, y una similitud entre píxeles de 0.2 (en unidades radiométricas). Se repitió el proceso de agregar áreas de entrenamiento y realizar clasificaciones preliminares para mejorar el conjunto de firmas que definen los diferentes usos de suelo y lograr un buen ajuste en la clasificación semiautomática.

#### 4 Análisis de resultados.

Luego de repetidas iteraciones de generar áreas de entrenamiento y realizar clasificaciones preliminares, se obtuvo la clasificación que se muestran en la Figura 7. Las mismas muestran la discretización por clase de los usos de suelo sobre la cuenca en estudio.

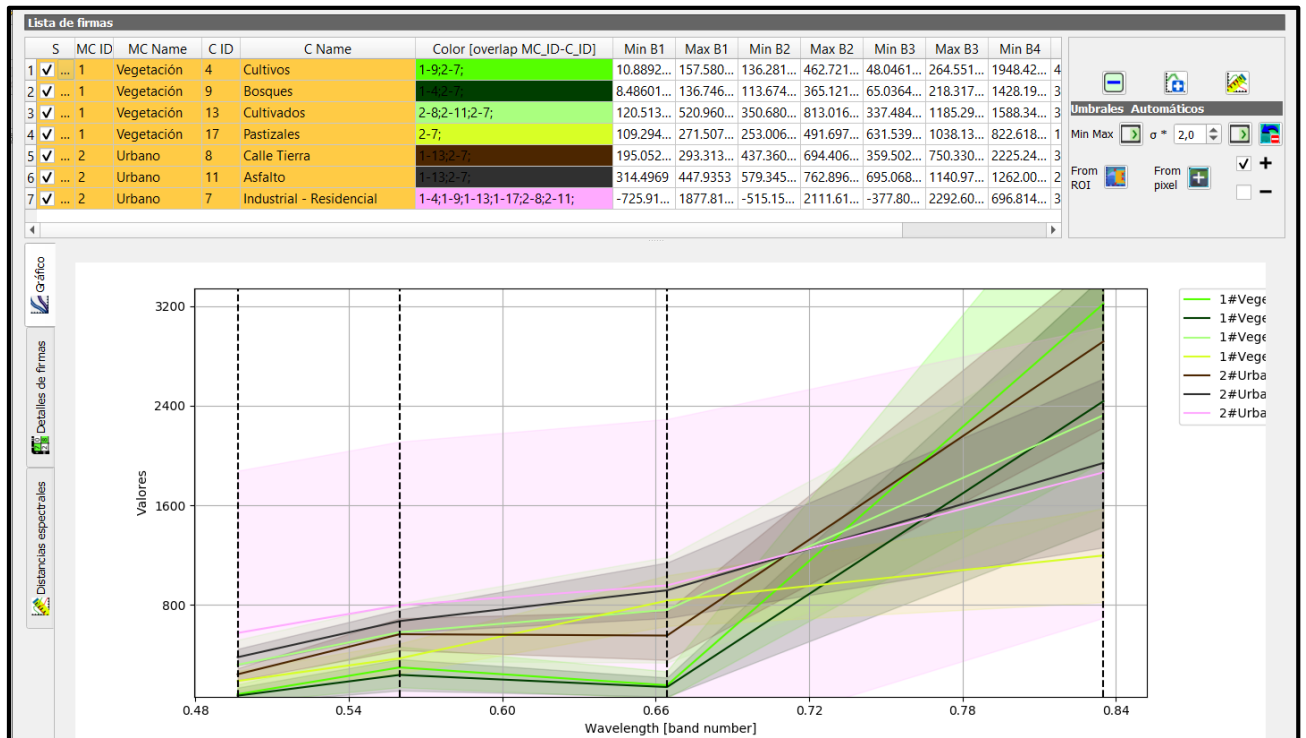


Fig. 5. Gráfico de firmas espectrales sin procesar. Dispersión de 2.0 puntos.

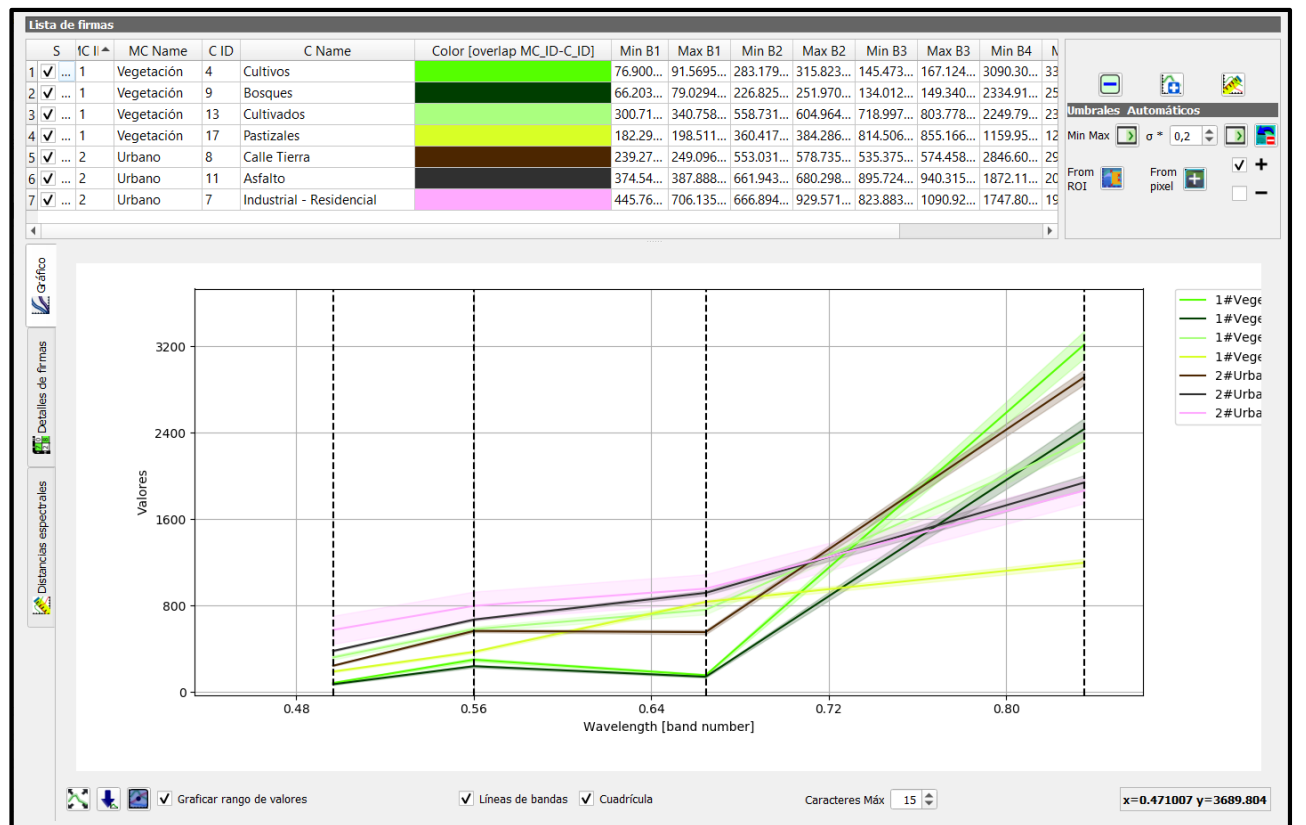
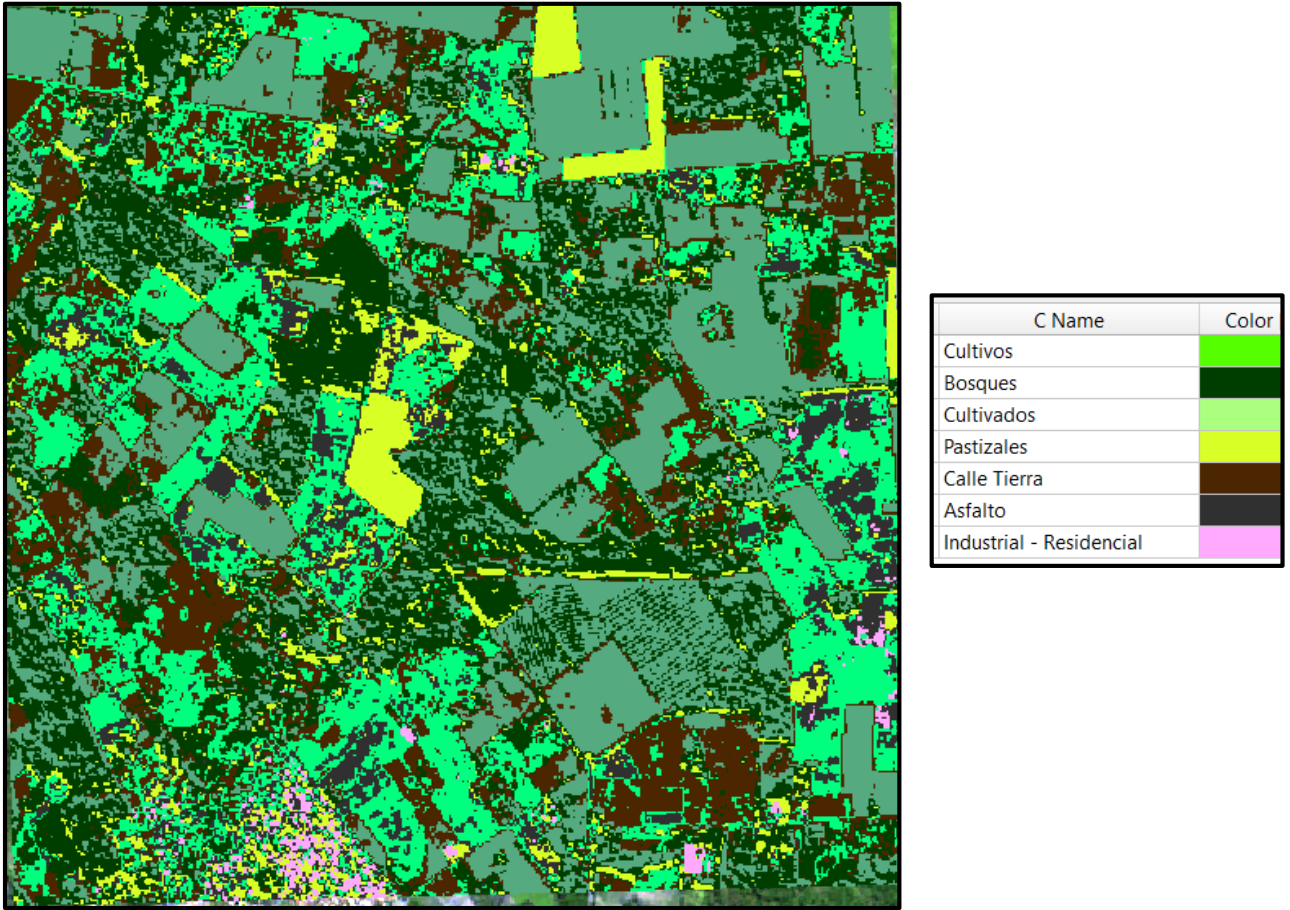


Fig. 6. Gráfico de firmas espectrales procesadas. Dispersión corregida a 0.2 puntos.





**Fig. 7.** Clasificación de usos de suelos con corrección de la dispersión de las firmas.

Dicha clasificación por Clase, se corresponde con las firmas espectrales que se muestran en la Figura 5 (sin corregir) y la Figura 6 (con la dispersión corregida). Esta corrección se realiza para eliminar la superposición de firmas al momento de la clasificación, lo cual puede observarse en la columna “Color [Overlap MC\_ID-C\_ID]” de las figuras antes mencionadas.

Puede observarse que no se alcanza un buen ajuste en la clasificación, pese a que se generaron para algunos usos, más de 30 áreas de entrenamiento. Se observó que áreas que correspondían a un determinado uso, eran computadas con otro de características muy diferentes. Esto sugiere la posibilidad de que exista una definición inexacta por parte del software de las firmas que caracterizan a cada uno.

Además, la resolución de las imágenes satelitales utilizadas para llevar adelante la clasificación, no permite discriminar con claridad ciertos elementos de pequeña dimensión como lo son los caminos, lo que conllevó a que su clasificación semiautomática con el complemento se viera limitada y no alcanzase el resultado esperado en zonas urbanas. Para caminos de mayor categoría como las avenidas y rutas, se pudo alcanzar un mejor resultado.

## 5 Conclusiones.

El complemento para realizar la clasificación de usos del suelo de manera semiautomática, demostró ser de gran ayuda para reducir el tiempo que lleva la tarea de clasificar los usos de suelo en grandes extensiones de territorio. No obstante, demanda de un tiempo considerable en lo que respecta a la calibración de las firmas espectrales para lograr una buena clasificación. No es recomendable por lo tanto para trabajos menores a 50km<sup>2</sup>.

Su implementación para clasificar usos de suelo con características muy similares no arroja resultados satisfactorios dado que las firmas espectrales se superponen. De igual manera, generar una clasificación que incluya gran cantidad de clases puede conducir a resultados poco precisos y ser una base de poco valor para otros estudios.

En cuanto a las próximas tareas a realizarse sobre la línea de esta investigación, se prevee continuar el trabajo con el complemento de clasificación semiautomática con menor cantidad de clases de usos de suelo, buscando con esto reducir la superposición de las firmas espectrales de cada uno. Por otra parte, se iniciará con la siguiente etapa de la investigación que consiste en la construcción de un modelo hidráulico digital de la cuenca para evaluar el escurrimiento de aguas pluviales sobre ella bajo diferentes escenarios de aplicación de técnicas de Desarrollo de bajo Impacto.

## 6 Referencias.

- [1] “Manual de Teledetección”, Proyecto de Bosques Nativos y Áreas Protegidas, Ministerio de Salud y Ambiente de la Nación, Argentina, 2004.
- [2] Sentinel-2: User Handbook, Edición 1 – Rev 2, ESA, París, Francia, 2015.
- [3] Ven Te Chow, “Método SCS para abstracciones”, Hidrología Aplicada, 1ra edición, traducido en Santa Fé de Bogotá, Colombia: NOMOS S.A, 2020, Capítulo 5.5, Tabla 5.5.2, Pág.: 154.
- [4] Centro Nacional de Información Geográfica, “Instituto Geográfico Nacional - Teledetección”, Madrid, España, Pág.: 1-3. [Online]. Disponible: <https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/OBS-Teledeteccion.pdf>