



HIDRÁULICA FLUVIAL: PROCESOS DE EROSIÓN Y SEDIMENTACIÓN, OBRAS DE CONTROL Y GESTIÓN DE RÍOS
Hector Daniel Farias, José Daniel Brea, Carlos Marcelo García (Editores)

Memorias del *Quinto Simposio Regional sobre HIDRÁULICA DE RÍOS*
Santiago del Estero, Argentina. 2-4 Noviembre de 2011
ISBN 978-987-1780-05-1 (Libro + CD-ROM)

USO DE IMÁGENES PARA CARACTERIZAR LA COBERTURA VEGETAL EN LA PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS

Martín Alejandro Irigoyen, Pablo Spalletti y Daniel Brea

Instituto Nacional del Agua (INA), Laboratorio de Hidráulica
E-mail: mirigoyen@ina.gov.ar

RESUMEN

Con el objeto de mejorar la estimación de la generación de sedimentos, se ha desarrollado una metodología de interpretación de imágenes satelitales que permite obtener una distribución espacial del parámetro de cobertura vegetal y uso del suelo "X", del método de Gavrilovic. Mediante esta metodología es posible clasificar la vegetación del terreno a partir de una combinación de bandas de imágenes LANDSAT 5 y de Google Earth. En este trabajo se presentan los resultados de producción media anual de sedimentos para dos cuencas de Argentina, empleando esta metodología. También se presentan consideraciones sobre la aplicación del método de Gavrilovic en cuencas en las que la precipitación nival modifica la producción de sedimentos.

ABSTRACT

In order to improve the estimation of sediment yield, a satellite imagery interpretation which leads to obtain a spatial distribution of land cover and soil usage parameter "X" in the Gavrilovic method was developed. With this methodology is possible to classify vegetal cover using a LANDSAT 5 band combination and Google Earth images. In this work, the results of average annual sediment production are showed for two basins in Argentina, using this methodology. Also, several ideas for the application of the Gavrilovic method in basins in which snow fall modifies soil loss and sediment yield, are presented.

INTRODUCCIÓN

En el marco del Proyecto de Gestión de Embalses de la República Argentina, realizado a través de un convenio entre la Universidad Nacional de La Plata y la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, se ha estudiado la tasa de producción anual de sedimentos en 6 cuencas de aporte a embalses proyectados del país, utilizando el método de Gavrilovic (Spalletti et al., 2000). Esta formulación ha sido aplicada con éxito para la estimación de la producción de sedimentos en cuencas de montaña de Argentina (Brea et al., 2006).

La tasa anual de producción de sedimentos depende, en gran medida, del tipo de cobertura vegetal del terreno. Esta característica es considerada en la fórmula de dicho autor a través del parámetro “X” de cobertura vegetal y uso del suelo. Este coeficiente se adopta, en general, en función de mapas de cobertura vegetal que muchas veces no han sido trazados específicamente para este propósito o presentan un grado de definición insuficiente.

Sin embargo es posible disponer fácilmente de imágenes satelitales actualizadas de gran parte del territorio nacional en las que la característica analizada puede distinguirse con cierto detalle.

Por otra parte el método de Gavrilovic no considera en forma directa la influencia de las precipitaciones en forma de nieve en la estimación de la producción de sedimentos, aunque en realidad estas pueden influir de manera significativa especialmente en zonas de montaña.

UTILIZACIÓN DE IMÁGENES LANDSAT EN LA ESTIMACIÓN DEL PARÁMETRO X DE COBERTURA VEGETAL

Existe una gran variedad de imágenes satelitales que brindan distinto tipo de información, en función de los propósitos específicos con los que fue construido cada satélite.

En particular las imágenes LANDSAT 5 han sido utilizadas como información de base en el estudio regional de procesos de generación de sedimentos y de uso del suelo.

Las imágenes LANDSAT 5 contienen 7 bandas, cada una de ellas representa un rango determinado de longitudes de onda. Combinando una serie determinada de bandas mediante la utilización de un sistema de información geográfica (GIS) pueden resaltarse distintas propiedades del terreno. A continuación se presenta una lista de combinaciones de banda extraídas de la bibliografía que destacan las características de cobertura vegetal, humedad y densidad del suelo (Petley et al., 2002), (Okin et al., 2003), (Milevski, 2008), (Elliott et al., 2004):

1. Combinación L5 RGB 3, 2, 1: Color verdadero. Se emplea para el estudio de hábitats acuáticos.
2. Combinación L5 RGB 4, 3, 2: Permite distinguir claramente los límites de los cuerpos de agua y diferentes tipos de vegetación.

3. Combinación L5 RGB 4, 5, 3: Similar a la anterior combinación. También permite apreciar los diferentes contenidos de humedad del suelo.
4. Combinación L5 RGB 7, 4, 2: Muestra las mismas características que la combinación RGB 4, 5, 3, sólo que la vegetación aparece en color verde.
5. Combinación L5 RGB 5, 4, 1: Se utiliza para distinguir distintos cultivos.
6. Combinación L5 RGB 4, 5, 7: Empleada para detectar procesos de remoción en masa. Muestra el suelo suelto en colores celeste o azul, dependiendo del contenido de humedad y la incidencia de la luz. El rojo intenso permite identificar áreas boscosas y el rosa brillante o naranja, zonas de cultivo.
7. Combinación L5 RGB 5, 4, 2: También se utiliza para identificar deslizamientos. El suelo suelto se muestra en tonos azules cada vez más oscuros según el contenido de humedad. La vegetación es verde brillante y el suelo seco y suelto se representa en tonos marrones. Los aluviones de grava aparecen en color rosa claro y el agua en azul oscuro.
8. Combinación L5 RGB 7, 5, 2: Idem anterior, identifica también cuerpos de agua
9. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): $(b4-b3)/(b4+b3)$, permite diferenciar áreas con y sin cobertura vegetal.

Resulta necesario determinar cuál es la combinación de bandas más favorable para distinguir los distintos tipos de vegetación y uso del suelo, y en definitiva, el parámetro "X". En este sentido se han evaluado varias de las combinaciones recomendadas para una imagen de prueba del noroeste argentino (Path 231 - Row 77, del 10/09/2009), que se caracteriza por presentar gran diversidad de vegetación y presencia de zonas de cultivo.

El proceso de selección propuesto constó de dos etapas. En la primera se construyeron todas las combinaciones de bandas a evaluar, en un archivo GIS con un sistema de coordenadas definido. Se obtuvieron así, imágenes de la misma zona con una coloración diferente en cada caso. Por otra parte, se ubicaron sobre la imagen analizada, puntos de vegetación característica, identificando sus posiciones geográficas (ver Figura 1). Con estos valores, se localizaron los puntos en el programa Google Earth y se capturaron fotografías satelitales de mayor precisión. Las fotografías obtenidas con el Google Earth presentan un grado de detalle en general muy superior al de las imágenes LANDSAT 5, por lo que en aquellas es más fácil distinguir el tipo de cobertura vegetal con la precisión necesaria a los fines de este estudio.

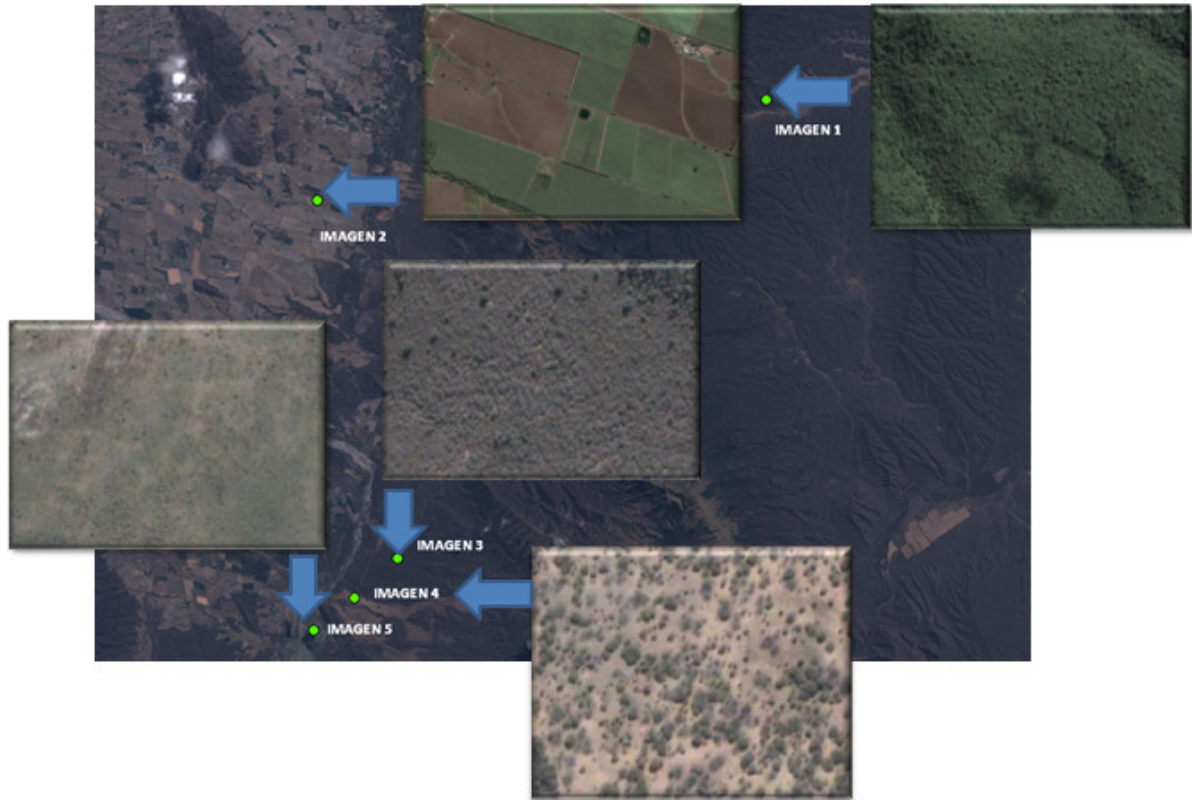


Figura 1.- Ubicación de imágenes Google Earth

Luego se verifica que en cada combinación de bandas puedan diferenciarse entre sí, los distintos tipos de coberturas asociados a los puntos de control. Si esto no sucede, es decir, si en la combinación propuesta no se aprecian diferencias de coloración entre dichas porciones del terreno, la combinación se descarta.

De esta forma se encontró que las combinaciones de RGB 753, 321 y 457, en principio, resultaron más adecuadas.

La segunda etapa del proceso de selección tiene que ver con el sistema de clasificación en sí mismo. Consiste en emplear el “módulo de clasificación asistida” del GIS para obtener un archivo raster en el que cada celda tenga como atributo un tipo de cobertura vegetal.

Para ello, en cada combinación evaluada, se identificó una serie de “polígonos de muestra” dentro de los cuales la cobertura vegetal es homogénea. Dicha serie constituye la tabla de tipos de vegetación que empleará el sistema para decidir qué clase corresponde a cada celda (ver Figura 2).

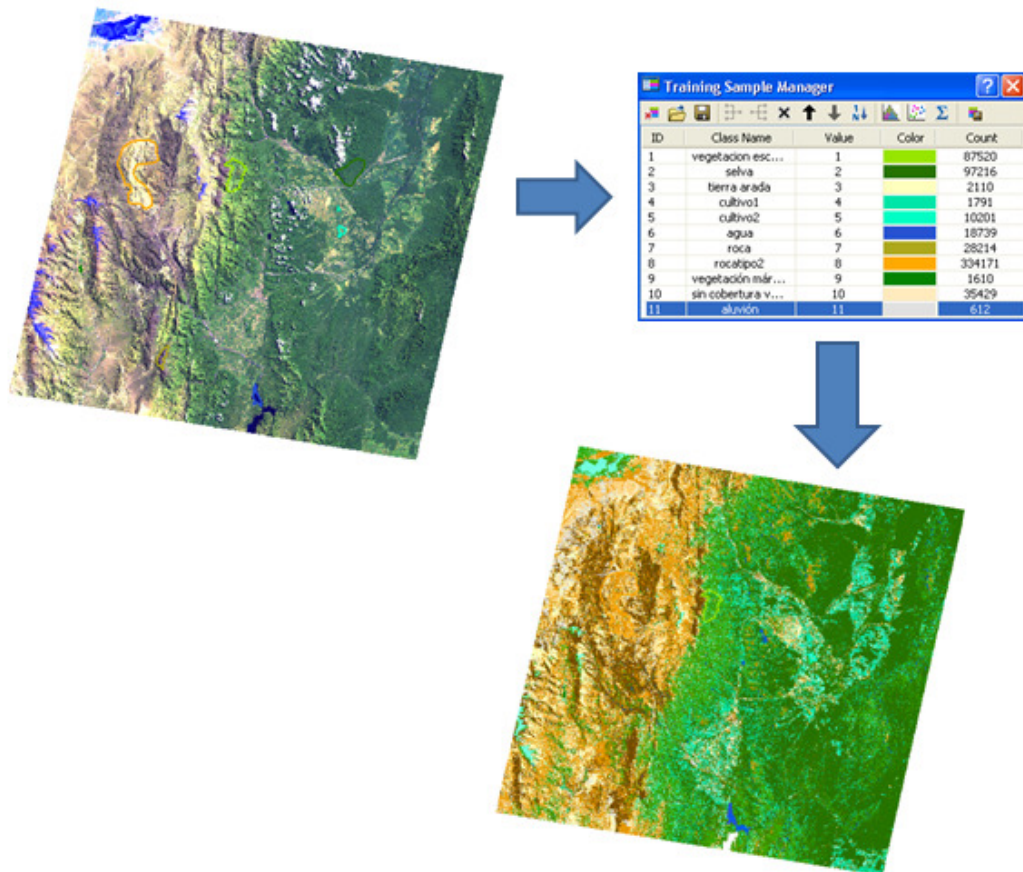


Figura 2.-Proceso de clasificación de imágenes

La asignación precedente se realizó de acuerdo a la similitud que existe entre la distribución de bandas de los polígonos de muestra y cada porción de la imagen.

La cantidad de polígonos adoptados debe ser suficientemente grande para que todos los tipos de cobertura vegetal de interés estén representados en la clasificación, y por otro lado no debe ser excesiva de manera que no se produzcan errores considerables en la asignación del tipo de vegetación.

EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Finalmente se compararon las clasificaciones realizadas para cada combinación preseleccionada, determinando las diferencias entre ellas y, fundamentalmente, encontrando errores de clasificación. A modo de ejemplo en la Figura 3 se presenta la clasificación correspondiente a la combinación de bandas RGB 457, en la que se observa que se asigna la categoría cultivo a una región que en la realidad presenta vegetación natural densa.

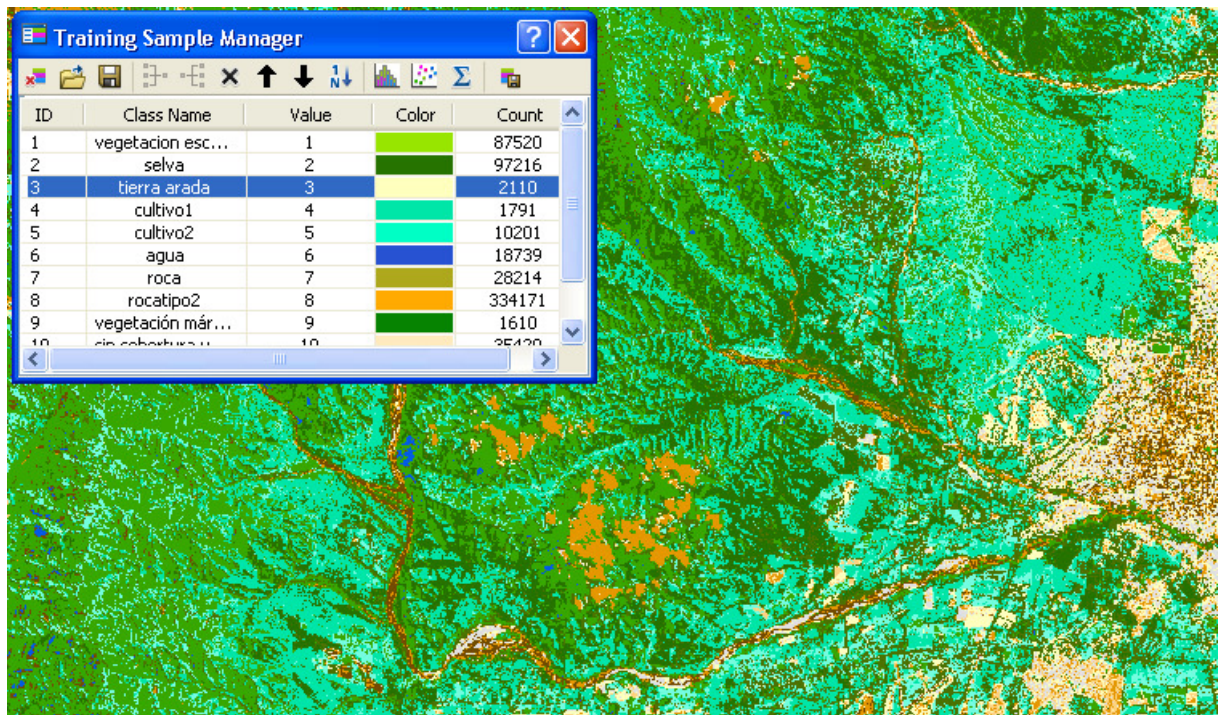


Figura 3.- Errores de clasificación RGB 457

De dicha comparación surgió la RGB 752 como la combinación de bandas más favorable. El paso siguiente para obtener la distribución espacial de la cobertura vegetal consiste en adoptar los valores del parámetro “X” para cada clase de la tabla de clasificación.

Una vez más resultan útiles las fotografías de mayor acercamiento obtenidas con Google Earth. En este caso dichas imágenes se localizan en el interior de los polígonos de muestra empleados en la clasificación. Dado que la cobertura vegetal dentro de estas porciones del terreno es homogénea, la fotografía también se considera representativa de la clase correspondiente y, por lo tanto, puede emplearse para adoptar el valor de “X” a partir de los valores recomendados por los autores del método de estimación de la tasa de producción de sedimentos. De esta forma se asigna el valor del parámetro de cobertura vegetal de Gavrilovic como atributo de cada clase.

En la Figura 4 se muestran los resultados obtenidos para la cuenca de la presa de El Bolsón, en la Provincia de Catamarca.

Con esta distribución del parámetro de cobertura vegetal, se estimó la tasa de producción anual de sedimentos para la cuenca de El Bolsón en 0,44 millones de toneladas al año.

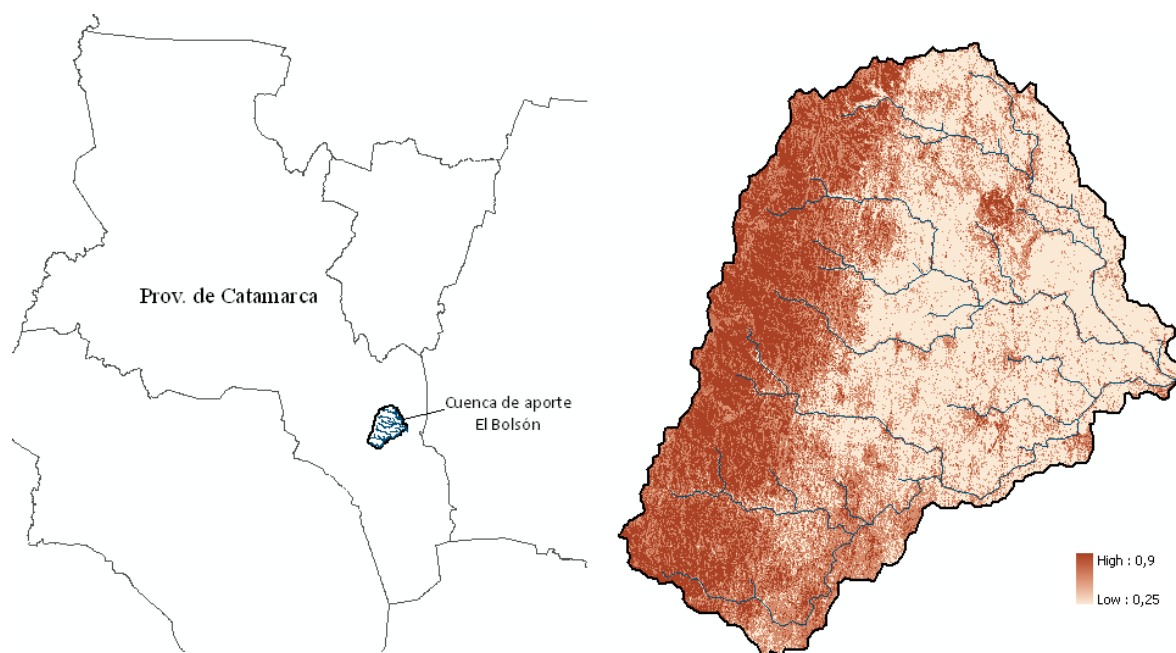


Figura 4.-Parámetro X para la cuenca de El Bolsón (Catamarca)

CONSIDERACIONES SOBRE LA NIEVE

En el análisis de la producción de sedimentos en una cuenca se utilizan valores de precipitación media anual, elaborados en base a un mapa de curvas isohietas. Dichas precipitaciones totales eventualmente incluyen el agua caída en forma de nieve. Esta última introduce dos variantes que deben ser tenidas en cuenta realizando ciertas consideraciones. En primer término, las nevadas no producen el efecto erosivo asociado al impacto de las gotas en el terreno, y por otra parte, la capa de nieve protege al suelo sobre el que se deposita de la acción erosiva de las precipitaciones que pudieran suceder.

Una primera aproximación realizada para considerar este efecto consistió en trabajar con una distribución espacial de una “precipitación efectiva” que surge como la diferencia entre la precipitación total y la precipitación nival. Para poder efectuar este análisis, se ha confeccionado un mapa de nieve caída en mm de agua equivalente (medio anual), en base a las mediciones realizadas por EVARSA en 7 estaciones ubicadas en las provincias de Mendoza, San Juan y Neuquen (ver Tabla 1), y con datos registrados en 6 estaciones chilenas, entre los años 2006 y 2010.

Tabla 1.-Precipitaciones nivales medias anuales

Estación	Precip. Nival Media [mm eq]
Teatinos	530
Toscas	308
Laguna Diamante	470
Laguna Atuel	1176
Valle Hermoso	808
Pehuenche	1278
Varvarco	1185

En la Figura 5 se presenta, a la izquierda, un mapa de curvas de igual precipitación nival correspondiente a las mediciones del año 2008, en el que la caída de nieve registrada se aproxima más a los valores medios (EVARSA 2008), y a la derecha, el mapa de precipitaciones nivales obtenido a partir de una interpolación de los valores medios anuales de nieve precipitada, en mm de agua equivalentes, correspondientes a las estaciones de medición de nieve argentinas y chilenas (EVARSA 2010).

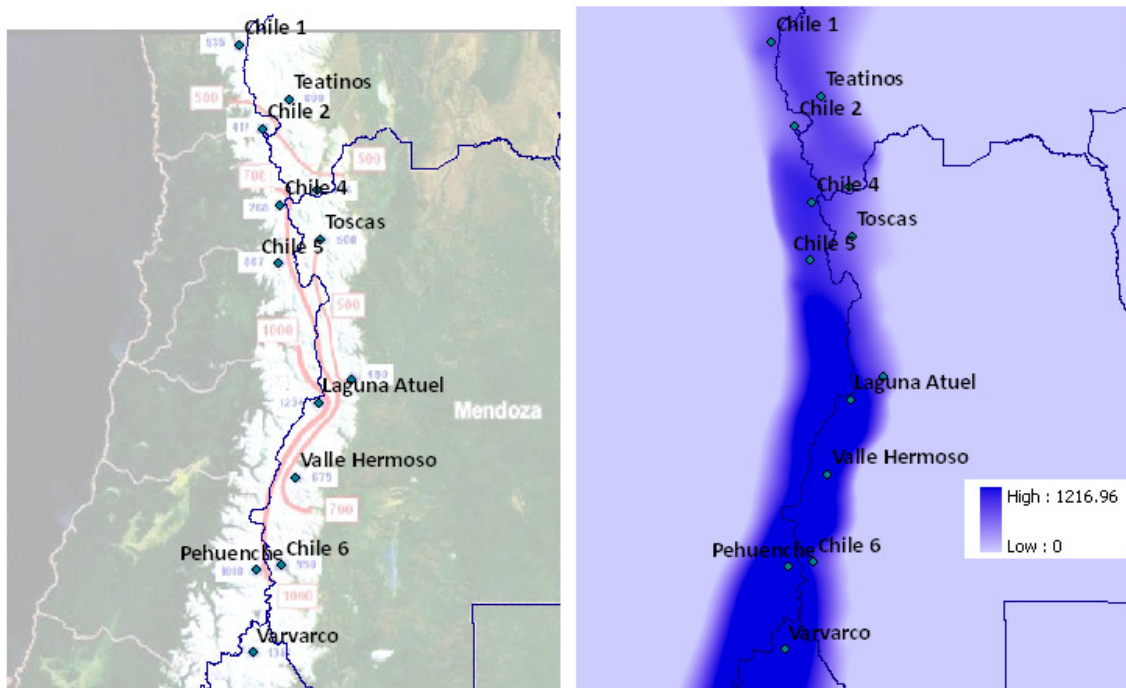


Figura 5.- Precipitaciones nivales año 2008 (izq.) - Mapa de precipitaciones nivales medias anuales (der.)

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA CONSIDERANDO LA PRECIPITACIÓN NIVAL

En el embalse del aprovechamiento El Carrizal (Mendoza) se han realizado relevamientos batimétricos que permiten calcular el volumen de material depositado a lo largo del tiempo, y la tasa de aporte de material sólido media anual (EVARSA 2006).

La estimación de la producción de sedimentos en la cuenca de aporte a la presa El Carrizal se efectuó mediante la metodología de Gavrilovic, sin considerar el efecto de la nieve y teniendo en cuenta la precipitación nival. Comparando los resultados obtenidos con la evolución temporal de las batimetrías del embalse, pudo evaluarse la aptitud de las modificaciones propuestas.

En la Figura 6 se presentan los mapas de producción de sedimentos por unidad de superficie para la cuenca del aprovechamiento El Carrizal considerando la precipitación total (izquierda) y la diferencia de la precipitación total y la nival (derecha).

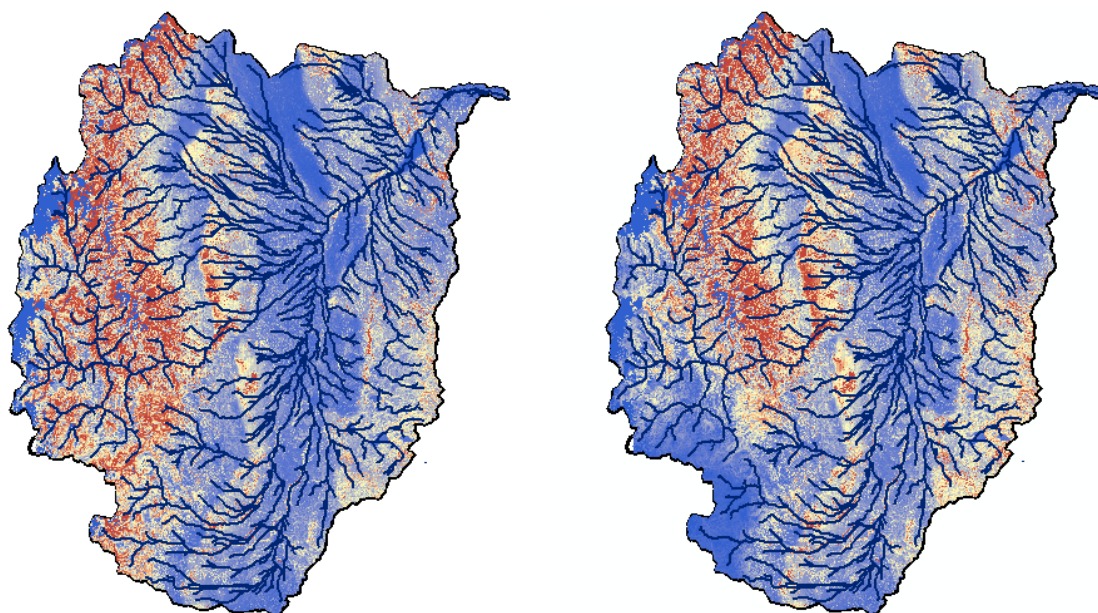


Figura 6.- Mapa de producción de sedimentos para la cuenca de El Carrizal

Como resultado de este análisis los valores estimados de producción de sedimentos de la cuenca por erosión superficial son los que se presentan en la Tabla 2. Para las tasas de colmatación de los depósitos se adoptó un esponjamiento de 1.43 (EVARSA 2006).

Tabla 2.-Producción media anual de sedimentos por erosión superficial estimada en El Carrizal

	MEDIDOS	con P_{tot}	con $P_{tot}-P_{nieve}$
Prod. de sedimentos ($hm^3/año$)		2.14	1.69
Tasa de colmatación ($hm^3/año$)	2.6	3.06	2.41
Error (%)		-17.7	7.3

La aplicación de la metodología propuesta implica una reducción del 21% en la estimación de la producción de sedimentos. A su vez, se redujo en un 10% el error de esta aproximación y la ubica por debajo del valor medido, lo cual sería representativo de una estimación compatible con situaciones posibles, dado que el método de Gavrilovic sólo considera en forma directa la producción de sedimentos por erosión superficial y no tiene en cuenta específicamente otros procesos de generación de material, como ser los fenómenos de remoción en masa. De todas formas, en ambos casos, las diferencias obtenidas se encuentran dentro de los errores de cálculo esperables al estimar la producción de sedimentos.

A pesar de que los resultados de producción de sedimentos en la cuenca de El Carrizal no muestran una gran variación al considerar el efecto de la nieve, esto no ocurre en la parte alta, particularmente en la cuenca del aprovechamiento Los Blancos (Figura 7). Allí la influencia de la precipitación nival es importante y hace que la tasa de producción de sedimentos disminuya en un 50% respecto a un cálculo en el que se utilice la precipitación media anual total.

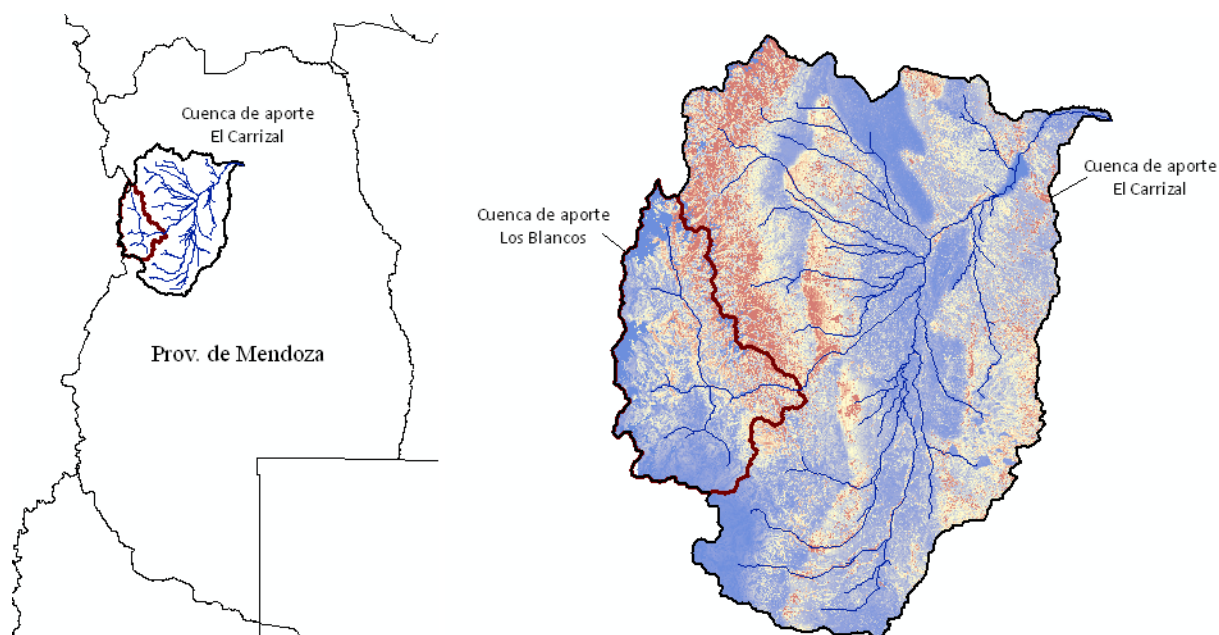


Figura 7.- Ubicación cuencas de El Carrizal y Los Blancos (izq.) y Mapa de prod. de sedimentos considerando nieve (der)

CONCLUSIONES

La utilización de programas GIS para clasificar imágenes satelitales permite diferenciar los diversos tipos de vegetación y uso del suelo del terreno en forma automática.

Dado que la clasificación de la cobertura vegetal se realiza específicamente para estimar la tasa de producción de sedimentos, pueden identificarse clases características que resulten de interés.

La combinación de bandas RGB 752 fue la más satisfactoria en los análisis llevados a cabo, a los efectos de obtener el parámetro “X” de cobertura vegetal y uso del suelo, necesario para aplicar el método de Gavrilovic.

Los resultados que se obtienen mediante la metodología propuesta de clasificación de imágenes permiten obtener una mayor discretización del tipo de vegetación.

Es necesario aclarar que la calidad de los resultados dependerá de la cantidad de clases empleadas, de la calidad de las imágenes satelitales (presencia de nubes, vacíos de información) y, fundamentalmente de la elección del valor de “X” para cada tipo de cobertura vegetal.

Se han realizado consideraciones especiales en el manejo de los datos de precipitación y cobertura vegetal para tener en cuenta la influencia de las precipitaciones de nieve en la producción de sedimentos.

La consideración del efecto de la nieve caída en la producción de sedimentos, a través del uso de la diferencia entre precipitaciones totales y nivales, ha mejorado el grado de aproximación de los resultados de generación de sedimentos para la cuenca de El Carrizal, donde pudieron

compararse las estimaciones con valores medidos. Sin embargo los resultados que se obtienen en dicha cuenca, considerando o no la influencia de las precipitaciones son muy similares y la diferencia que existe entre ellos se encuentra dentro de los márgenes de error esperables en la estimación de la tasa de producción anual de sedimentos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brea, J.D., Spalletti, P.D. Jaime, P.R., Loschacoff, C.S. (2007): “*Diseminación y Replicación del Proyecto Bermejo en la Cuenca del Plata: Estudio de sedimentos de la cuenca del río Bermejo. Proyecto Cód. PNUMA N°2233*”, Informe LH 256-04-2007

Spalletti, P.D, Brea J.D. (2006): “Influencia del cambio climático en la producción de sedimentos en la Patagonia argentina”, XXII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Ciudad Guayana, Venezuela. Octubre 2006.

Petley D.N, Crick, W.D.O. and Hart, A.B. (2002). “*The Use of Satellite Imagery in Landslide Studies in High Mountain Areas*”, The Proceedings of the 23rd Asian Conference on Remote Sensing-ACRS 2002, Kathmandu, November 2002.

Okin G.S, Painter, T.H. (2003). “*Effect of Grain Size on Remotely Sensed Spectral Reflectance of Sandy Desert Surfaces*”, Remote Sensing of Enviroments, ELSEVIER 2003.

Milevski Ivica. (2002). “*Estimation of Soil Erosion Risk in the Upper Part of Bregalnika Watershead-Republic of Macedonia, Based on Digital Elevation Model and Satellite Imagery*”, 5th International Conference on Geographic Information Systems (ICGIS-2008), Estambul, Turquía 2008.

Elliott L.J., Mason D.C., Wilkinson M.J., Allainguillaume J., Norris C., Alexander M., Walters R., (2004). “*The role of satellite image-processing for national-scale estimates of gene flow from genetically modified crops: rapeseed in the UK as a model*”, Journal of Applied Ecology, 2004.

EVARSA (2006) “*Estudio De Colmatación del Embalse El Carrizal, Provincia de Mendoza, Informe Final*”, Departamento General de Irrigación, Mayo 2006.

EVARSA (2008) “*Pronóstico de Escurrimientos, Temporada 2008-2009, Ríos San Juan, Mendoza, Tunuyán, Diamante, Atuel, Colorado y Chubut*”, Dirección Nacional de Conservación y Protección de los R.R.H.H., Subsecretaría de R.R.H.H., S.O.P., Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, Septiembre 2008.

EVARSA (2010) “*Pronóstico de Escurrimientos, Temporada 2010-2011, Ríos San Juan, Mendoza, Tunuyán, Diamante, Atuel, Colorado y Chubut*”, Dirección Nacional de Conservación y Protección de los R.R.H.H., Subsecretaría de R.R.H.H., S.O.P., Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, Septiembre 2010.



Instituto de Recursos Hídricos



Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías



Universidad Nacional de Santiago del Estero



Instituto Nacional del Agua



Subsecretaría de Recursos Hídricos



Agencia Nacional de Promoción Cient. y Tec.



Gobierno Prov. de Santiago del Estero



Ministerio de la Producción



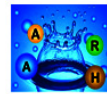
Secretaría del Agua



Secretaría de Desarrollo, Ciencia y Tecnología



Consejo Prof. de la Ingeniería y Arq.



Asociación Argentina de Recursos Hídricos



Asoc. Internacional de Invest. Hidroamb.



Comisión Regional del Río Bermejo



CORPORACION ARGENTINA TECNOLÓGICA S.A. INGENIERIA CIVIL E HIDRÁULICA

