



APORTE DE LA TELEDETECCIÓN PARA CONTENIDOS CURRICULARES RELACIONADOS CON EL AGUA EN SAN JUAN

González Lahoz, María de los Ángeles - Cardús Monserrat, Adriana – Ruiz, María del Carmen

Instituto de Geografía Aplicada - Facultad de Filosofía, Humanidades y Artes -Universidad Nacional de San Juan. E-mail: gonzalezlahoz@gmail.com

Resumen:

Los contenidos curriculares en relación con el recurso hídrico expresados en el diseño jurisdiccional de la provincia de San Juan, en especial en el ciclo orientado del nivel medio, incluyen el análisis de problemáticas ambientales locales y con ello, el estudio de casos representativos de situaciones de escasez o exceso de agua en el territorio provincial. El valor de los recursos naturales y en particular el recurso hídrico, las fuentes de agua en relación con las precipitaciones níveas y su escasez son algunos de los contenidos que pueden ser trabajados mediante la incorporación de información satelital en actividades de enseñanza y aprendizaje. Con el fin de propiciar su uso como material didáctico, el objetivo propuesto fue realizar el tratamiento visual y digital de imágenes satelitales para el análisis de la superficie cubierta con nieve en la cuenca del río Los Patos, principal afluente del río San Juan, en dos años hidrológicos extremos: 1986 y 2014. Para ello se aplicó el índice de nieve de diferencia normalizada y se calcularon valores aproximados de la superficie cubierta con nieve, arrojando 8.721 km² en el año 1986 y 1.745 km² en 2014, ratificando con datos de caudales los extremos hídricos de los años seleccionados. Se generaron imágenes compuestas en falso color para la identificación mediante criterios de análisis visual de las distintas cubiertas terrestres y en especial la nieve. Con los resultados obtenidos, los docentes podrán hacer efectivo el uso de imágenes satelitales y a partir de su análisis indagar cuándo (estación del año: invierno), cómo (mecanismos del ciclo del agua: precipitación sólida y fusión), dónde (localización: cordillera) se origina la mayor parte del recurso hídrico en la provincia y cuánto (superficie de nieve), en relación con los años de escasez del recurso hídrico.

Palabras clave: Percepción remota - Recurso hídrico - Recurso didáctico

CONTRIBUTION OF REMOTE SENSING IN HIGH SCHOOL CURRICULAR CONTENTS RELATED TO WATER IN SAN JUAN

Abstract

The contents in relation to the water resource expressed in the high school jurisdictional design in San Juan province, especially in the oriented cycle of the middle level, include the analysis of local environmental problems and with it, the study of representative cases of scarcity situations or excess of water in the provincial territory. The value of natural resources and in particular water resources, water sources in relation to snow and its scarcity are some of the contents that can be worked through the incorporation of satellite information in teaching and learning activities. In order to promote its use as teaching material, the proposed objective was to process satellite images visually and digitally to analyse the surface covered with snow in the Los Patos river basin, the main tributary of the San Juan River, in two extreme hydrological years: 1986 and 2014. For this, the standardized snow difference index was applied and approximate values of the surface covered with snow were

Recibido: mayo de 2018

Aceptado: septiembre de 2018

calculated, yielding 8,721 km² in the year 1986 and 1,745 km² in 2014, confirming with flow data the extreme information of the selected years. Composite images in false color were generated to identify the different terrestrial decks and especially snow through a visual criteria. With the results obtained, the teachers will be able to make effective use of satellite images, and from their analysis to investigate when (season of the year: winter), how (mechanisms of the water cycle: solid precipitation and fusion), where (location: mountain range) most of the water resource originates in the province and how much (snow surface).

Keywords: Remote sensing – Hidric resource - Teaching resource

Introducción

Marco institucional

Se presentan resultados parciales de un proyecto de desarrollo tecnológico y social (PDTs - UNSJ), desarrollado durante los años 2016 y 2017 en la provincia de San Juan. Como parte de los objetivos del proyecto mencionado se planteó la elaboración de documentos dirigidos a la implementación de los diseños curriculares jurisdiccionales y para el caso de la temática del agua en San Juan se contemplaron situaciones de contraste, por escasez o exceso hídrico.

Su aplicación está destinada a docentes del nivel de educación secundaria, en especial el ciclo orientado en ciencias sociales y humanidades; tanto en el espacio Geografía de San Juan correspondiente a la formación específica como en el espacio de definición jurisdiccional denominado El agua en San Juan. Algunos contenidos expresados en el Diseño Curricular Jurisdiccional del Ministerio de Educación de la provincia de San Juan (Resolución 1820-ME- 2017) que se consideran propicios para el abordaje con documentos teledetectados consideran el valor de los recursos naturales, en particular el recurso hídrico, las fuentes de agua en relación con las precipitaciones niveas y su escasez. (figura N° 1)

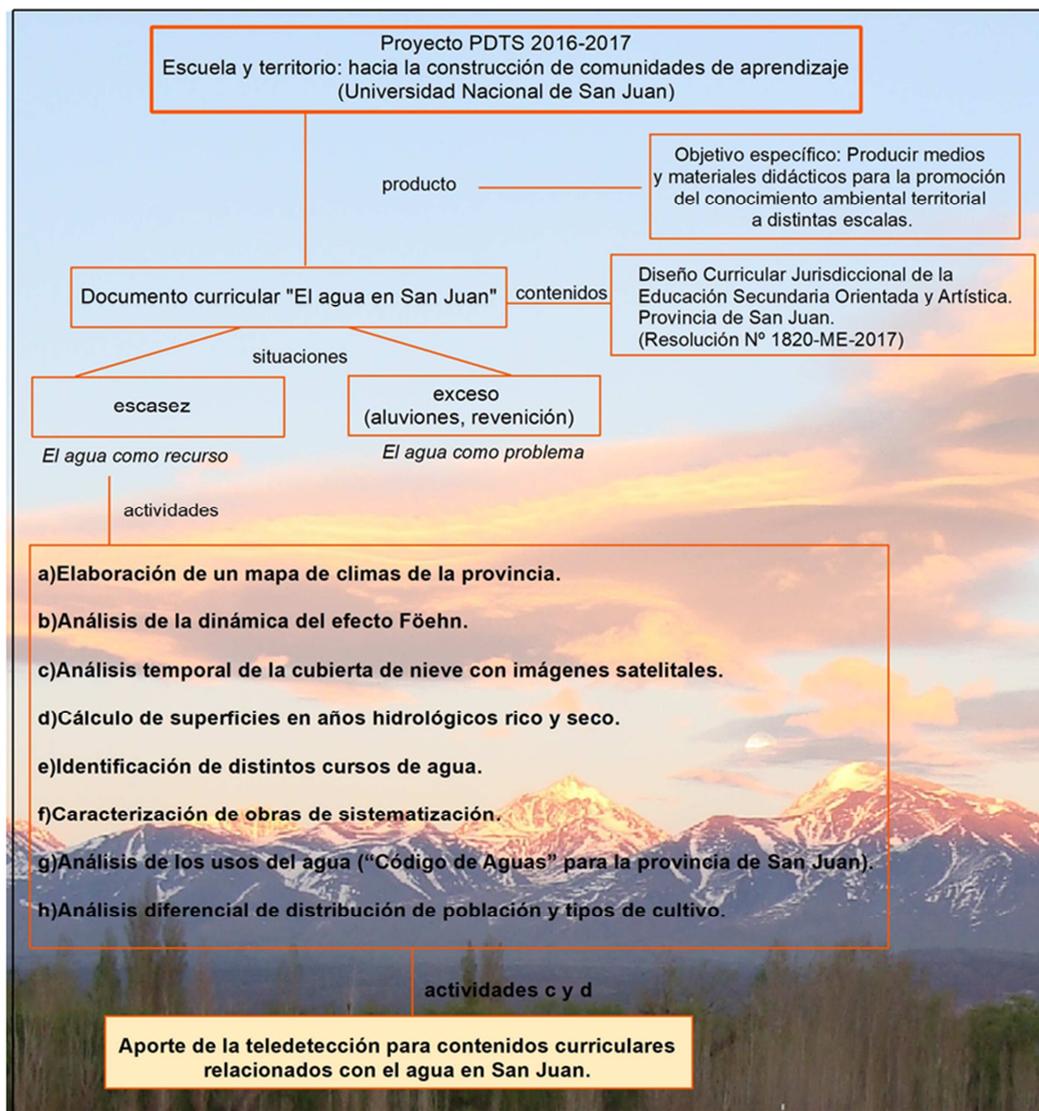
El objetivo de este trabajo es realizar el tratamiento de imágenes satelitales que, entendidas como recursos didácticos, permitan analizar la superficie cubierta con nieve en la cuenca del río Los Patos, principal afluente del río San Juan, en dos años hidrológicos extremos: 1986 y 2014.

Se pone el énfasis en estimular la elaboración y uso de materiales didácticos para la comprensión del territorio local, basados en la información de origen satelital mediante un análisis visual y digital que favorece la incorporación del trabajo en gabinete con TICs.

La incorporación de imágenes satelitales se justifica por tratarse de un modelo icónico semejante a la realidad que muestra las situaciones hídricas de la provincia de San Juan, favorece la sensibilización y comprensión de realidades ambientales locales que deben ser descubiertas y re-significadas.

La observación de la Tierra desde el espacio ha experimentado en los últimos años un vertiginoso desarrollo, llegando a ser un aliado cada vez más imprescindible en el seguimiento de procesos ambientales (...) Como en otras nuevas tecnologías, resulta clave realizar un importante esfuerzo en la educación y formación continuada. (Chuvienco, 2010, p.13)

Figura Nº 1. Marco institucional



Fuente: elaboración propia en base a Documento curricular "el agua en San Juan"

Tratamiento digital de imágenes

Las imágenes satelitales son una forma de representación del territorio; se obtienen a partir de un sensor ubicado en una plataforma espacial que detecta la energía reflejada por los elementos u objetos que componen la superficie terrestre en cada banda del espectro electromagnético y la registra en forma de valores numéricos denominados niveles

digitales (ND) para cada pixel o porción del territorio. En base a la matriz de datos digital se pueden realizar operaciones algebraicas en un análisis digital o bien utilizar los criterios de interpretación visual en imágenes compuestas.

El procesamiento digital se realiza mediante tres etapas. El pre-procesamiento tiene como finalidad eliminar o disminuir las distorsiones producidas durante la captación de la imagen, de manera tal de reducir sus efectos en el análisis de los datos, tales como la re-proyección y la conversión a reflectancia. Las imágenes corregidas son procesadas, pudiendo aplicarse distintos procedimientos: composición a color con realce que facilita la interpretación visual y transformaciones especiales mediante las cuales se extrae información temática de interés. (Matteucci y Buzai, 1998).

Comportamiento espectral en las imágenes satelitales

El índice de nieve de diferencia normalizada (NDSI) se fundamenta en el comportamiento espectral de la nieve, con una elevada reflectividad en el espectro visible y menor en el infrarrojo de onda corta (SWIR); por ello se utilizan la banda verde del visible y del infrarrojo de onda corta, con el objetivo de discriminar la superficie cubierta con nieve. (Salcedo, 2011).

Por otro lado y a partir de la información multi-espectral que generan la mayor parte de los sensores, pueden obtenerse distintas composiciones a color. “Se aplica los colores primarios a tres bandas captadas por el sensor, en el orden y criterio que se estime más oportuno” (Chuvieco, 1990, p.159).

Considerando el uso de este material en el aula, se entiende el análisis visual de imágenes satelitales como una “técnica destinada a diferenciar, reconocer e identificar objetos o fenómenos en una imagen e interpretar su significado” (Marlenko, 2003). Esto implica adquirir habilidades para discriminar o diferenciar distintas cubiertas terrestres: agua (cuerpos y cursos de agua naturales, reservorios, embalses), diferentes tipos de vegetación (natural o cultivada), construcciones realizadas por el hombre (edificaciones, vías de comunicación, presas, etc.), formas del relieve (geoformas), entre otras. Para realizar dicho análisis, se utilizan diversos criterios de interpretación visual propuestos por Chuvieco (2010):

- Color: Algunas imágenes se encuentran en color real, con los mismos colores que percibimos los objetos a través de nuestros ojos. Otras imágenes se confeccionan en falso color: cuando para su elaboración se utiliza información de un tipo de radiación que no es visible al ojo humano (ej. infrarrojo); como el sensor sí puede captarlo, se logra que sea visible mediante un procedimiento que le da a los elementos un color que no es real. Es muy

útil porque ayuda a destacar determinados elementos del terreno con la finalidad de facilitar el análisis visual.

- Textura: Siguiendo a Chuvieco:

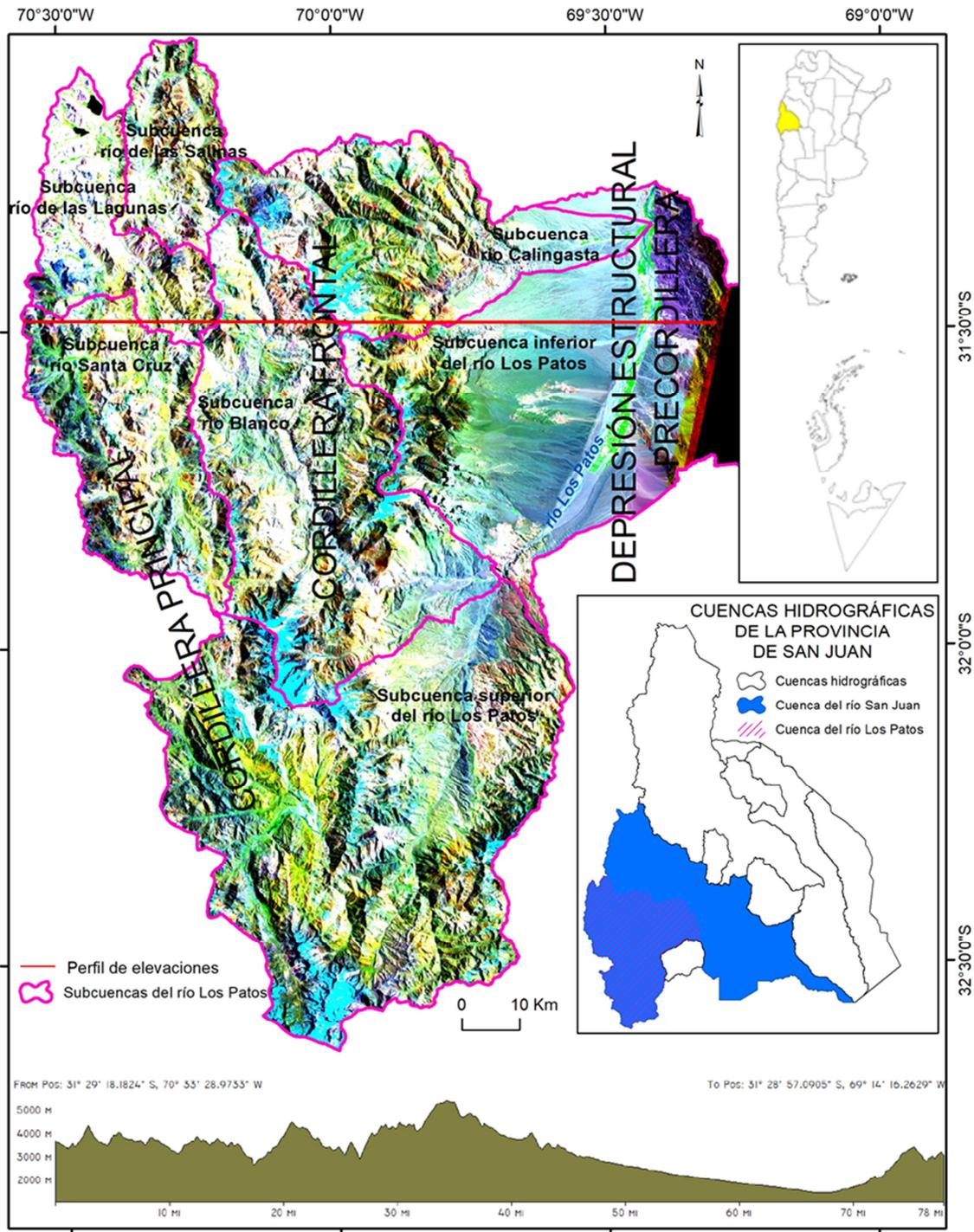
Esa variable hace referencia a la heterogeneidad espacial de una determinada cubierta, en definitiva al contraste espacial entre los elementos que la componen. Visualmente se manifiesta como la rugosidad o suavidad de los tonos de gris. Cuanto más similares sean, la tonalidad será más homogénea en el interior de la cubierta, y la textura será más lisa. Por el contrario, existe una alta heterogeneidad en los niveles de gris de esa cubierta aparecerá como muy rugosa, con textura grosera” (2010, p. 196)

- Contexto espacial: Hace referencia a “la localización de las cubiertas de interés en relación con elementos vecinos de la imagen” (Chuvieco, 2010, p. 200).

Área de estudio

El área de estudio se localiza al suroeste de la provincia de San Juan, entre los 31° y 32° 30´ de latitud sur y entre los 69° y 70° 30´ de longitud oeste en el departamento Calingasta; limita con Chile al oeste y la provincia de Mendoza al sur. En el perfil de elevaciones se observa en sentido oeste-este la Cordillera Principal con una altitud máxima de 4.500 msnm, la Cordillera Frontal con las mayores cotas en torno a 5.500 msnm, la depresión estructural o valle longitudinal alcanza una altura de 1.000 msnm, donde se emplazan los oasis en ambos márgenes del río Los Patos y la precordillera occidental con máximas alturas de 3.500 msnm. (figura N° 2)

Figura Nº2. Localización del área de estudio



Fuente: Programa Cuencas Hidrográficas Año 2017 UNSJ-FFHA-IGA MDE-Ar, Instituto Geográfico Nacional

Metodología

Se utilizaron imágenes de los sensores TM de Landsat 5 y OLI de Landsat 8, (path: 233 y row: 082) que brinda el servicio Geológico de Estados Unidos (USGS); se seleccionaron los inviernos de 1986 y 2014 por tratarse de años hidrológicos rico y seco, respectivamente. Los datos de caudales medios del río San Juan correspondientes a meses de verano de los mencionados años se obtuvieron del Departamento de Hidráulica de la provincia de San Juan. La delimitación de la cuenca hidrográfica del río Los Patos en formato shapefile fue provista por el Programa Cuencas Hidrográficas que se ejecuta en el Instituto de Geografía Aplicada (IGA, FFHA, UNSJ).

Se efectuó la re-proyección para ajustar las imágenes al sistema de referencia y de coordenadas oficial de la República Argentina (POSGAR 2007, Gauss-Krüger faja 2) para el posterior recorte espacial del área de estudio.

Se realizó el pre-procesamiento, convirtiendo los niveles digitales a valores de reflectancia de las bandas verde (Visible) e infrarrojo de onda corta (SWIR). Con ellos se calculó el índice de nieve de diferencia normalizada (se mide entre -1 y 1), aplicando la ecuación $NDSI = \frac{Verde-SWIR}{Verde+SWIR}$. Posteriormente se realizó una reclasificación con los valores $> 0,48$ (Abisko et. al. 2006, en Salcedo, 2011) para identificar las áreas cubiertas con nieve a las que se les asignó valor 1 y se calculó su superficie en la cuenca del río Los Patos para los años seleccionados.

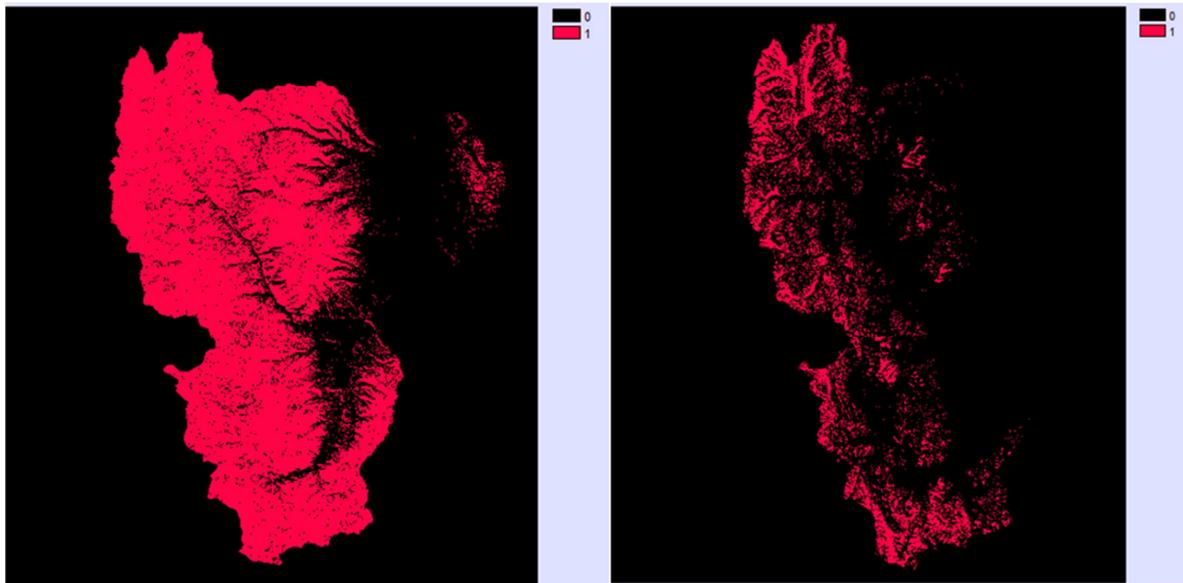
En una primera aproximación, se calcularon los 2/3 de los caudales medios mensuales de diciembre del río San Juan correspondientes al río Los Patos y se compararon con la extensión cubierta con nieve en la cuenca de dicho río.

Se utilizaron el resto de las bandas reflectivas para lograr diversas composiciones en falso color con realce lineal, en color natural A(V)V(R)R(IRC) y en falso color: A(SWIR)V(SWIR)R(A), A(A)V(SWIR)R(R) y A(A)V(IRC)R(SWIR). Esta última, que asigna la banda azul del visible en el azul e infrarrojo cercano en el verde y destaca la nieve en color cian, se utilizó para el análisis visual por considerarse la más apropiada para el uso didáctico.

Resultados

La superficie cubierta con nieve calculada en la imagen reclasificada a partir del NDSI arrojó una extensión de 8.721 km² en 1986, caracterizado como un año hidrológico rico, mientras que en 2014 el valor fue de 1.745 km². Cabe destacar que la cuantificación de la extensión de nieve es aproximada y puede contener errores por comisión y omisión debido al efecto de las sombras. (figura N° 3)

Figura Nº 3. Comparación de la superficie cubierta de nieve (NDSI > 0,48) en los años 1986 y 2014



Fuente: elaboración propia en base a imágenes Landsat 5 y 8. (Landsat de USGS/NASA)

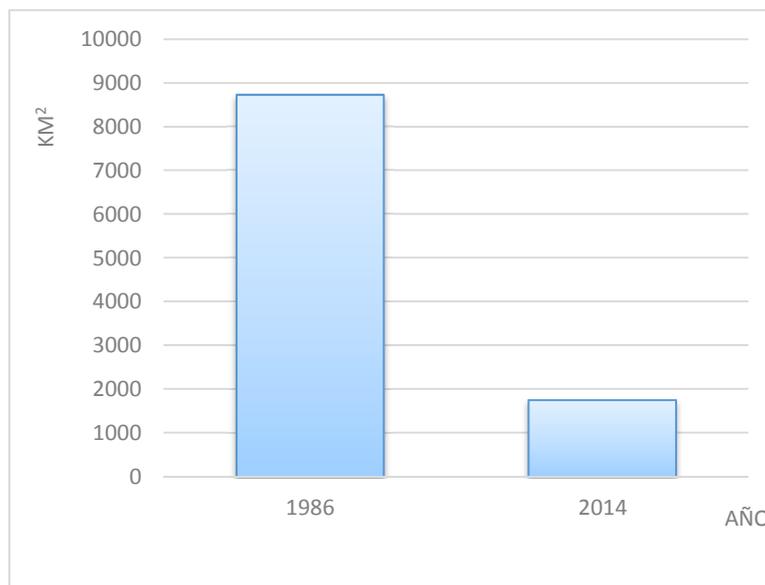
La cantidad de nieve que cubre la zona de estudio se relaciona con el caudal del río San Juan, principal fuente de agua de la provincia. Teniendo en cuenta que el río Los Patos aporta los 2/3 del caudal del río San Juan se observa una disminución del 90 % entre los años analizados, siendo de 124,66 hm³ para 1986 y 11,4 hm³ para 2014; mientras que la superficie de nieve muestra un porcentaje de diferencia entre ambos años de – 80 %. (tabla Nº 1 y figuras Nº 4 y 5)

Tabla Nº 1. Variación de caudales y superficie con nieve en la cuenca del río Los Patos

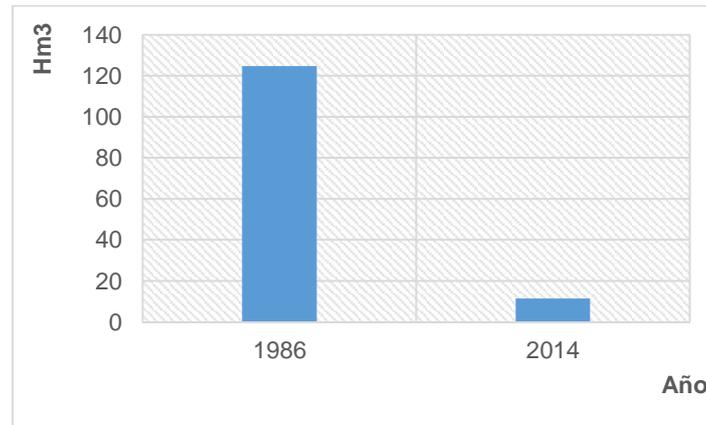
Variables	Río San Juan		Río Los Patos			
	1986	2014	1986	2014	Diferencia entre 1986 y 2014	Porcentaje de diferencia entre 1986 y 2014
Superficie de nieve (Km ²)	---	---	8.721	1.745	6.976	-80 %
Caudal (hm ³)	187,0	17,1	124,66	11,4	113,26	-90 %

Fuente: elaboración propia en base a datos del Departamento de Hidráulica, provincia de San Juan y NDSI

Figura Nº 4. Superficie de nieve en 1986 y 2014



Fuente: NDSI

Figura Nº 5. Caudales en 1986 y 2014

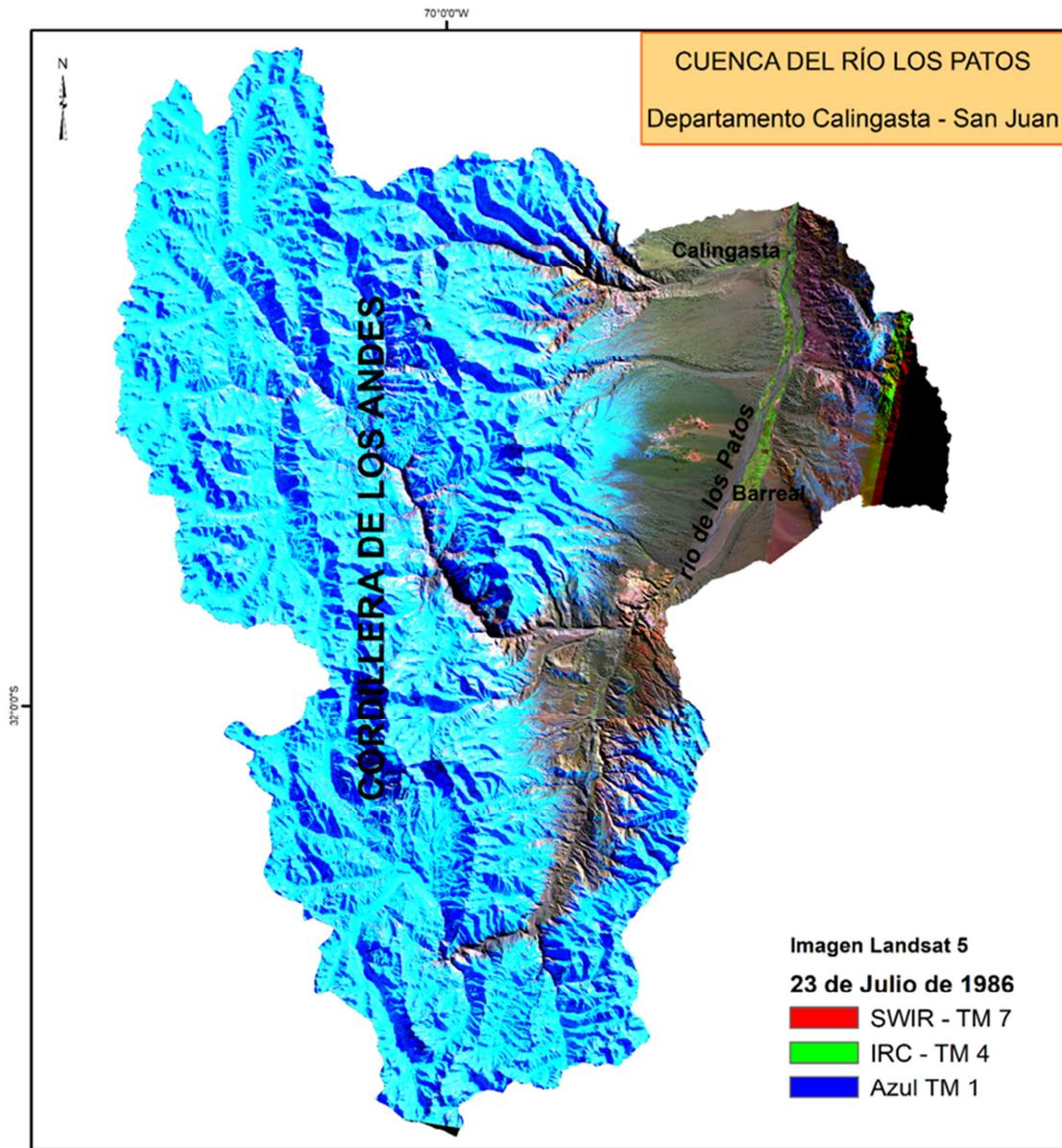
Fuente: Departamento de Hidráulica San Juan

En la composición seleccionada A(A)V(IRC)R(SWIR) se destaca la cubierta de nieve en color cian por la elevada reflectividad en las bandas azul del visible e infrarrojo cercano; se puede observar la variación de la cubierta de nieve entre ambos años analizados en correspondencia con los valores extraídos del índice. En el invierno de 1986, la nieve cubre completamente la zona de cordillera, que se identifica por una textura grosera y la presencia de sombras que evidencian elevaciones montañosas. Además, se extiende por parte del piedemonte que presenta una textura suave, perteneciente al valle longitudinal (figura Nº 6).

En la imagen de 2014, la nieve sólo cubre de forma parcial la cordillera, quedando visibles las quebradas y valles cordilleranos (figura Nº 7).

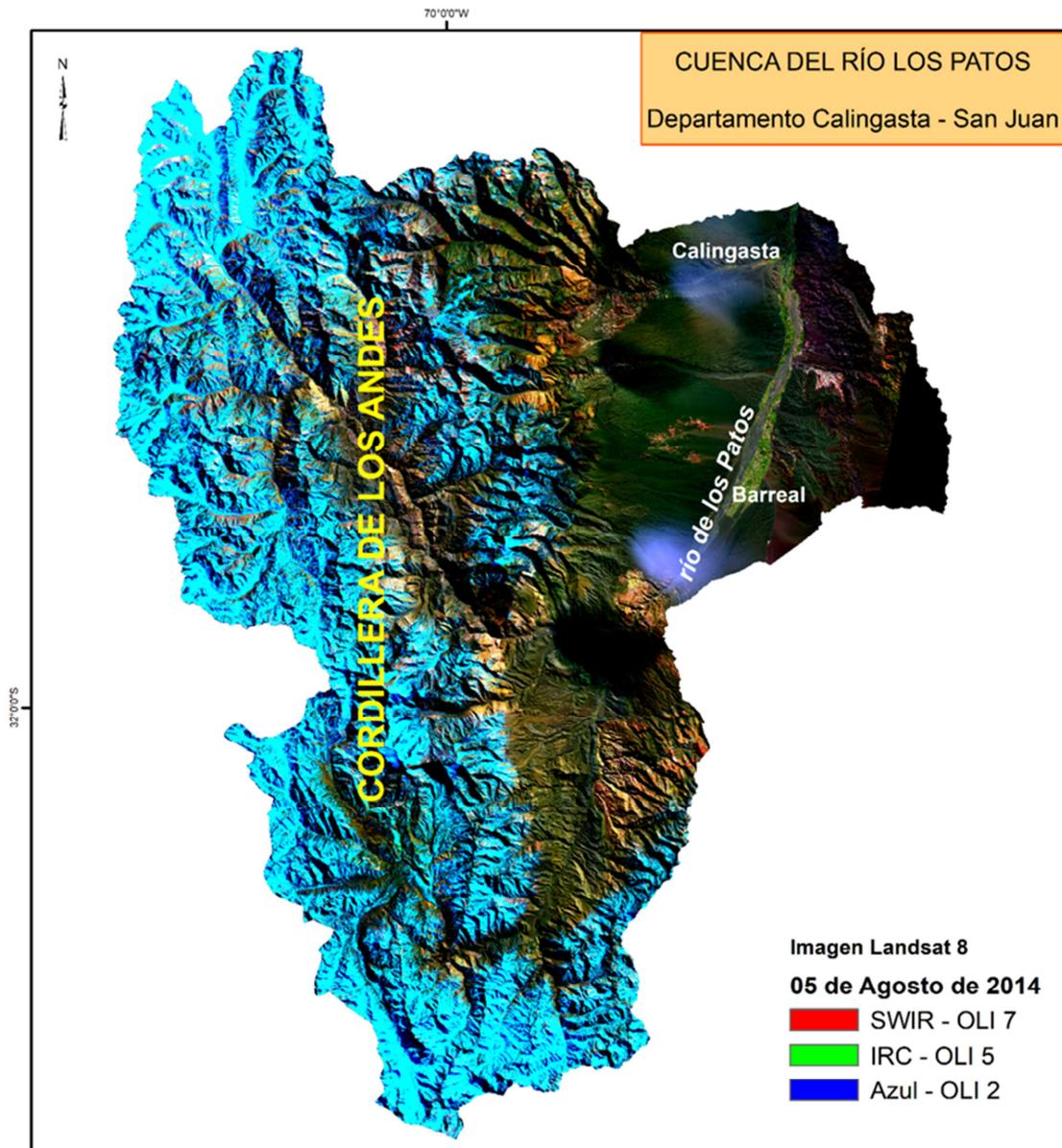
Respecto del contexto espacial, considerando la localización del área de estudio, se puede concluir que la cordillera de la provincia de San Juan, constituye la zona receptora de las precipitaciones níveas durante el invierno.

Figura Nº 6. Composición en falso color (1986)



Fuente: elaboración propia. (Landsat de USGS/NASA)

Figura Nº 7. Composición en falso color (2014)



Fuente: elaboración propia. (Landsat de USGS/NASA)

Estos resultados son útiles para las actividades que se sugieren en el documento curricular antes mencionado, orientado al análisis del recorrido anual del agua en San Juan para responder ¿dónde? (localización: cordillera), ¿cuándo? (estación del año: invierno) y ¿cómo? (mecanismos del ciclo del agua: condensación, precipitación sólida y fusión) se origina y se distribuye naturalmente el agua en la provincia, evidenciando la relación entre las estaciones del año, los procesos del ciclo del agua y sus resultados.

a) Elaboración de un mapa de climas de la provincia.

b) Análisis de la dinámica del efecto Föhn.

Con estas actividades se espera obtener conclusiones acerca de la distribución de las precipitaciones, con énfasis en las nievas de cordillera y su relación con el fenómeno local Zonda.

c) Análisis temporal de la cubierta de nieve con imágenes satelitales.

d) Cálculo de superficies en año hidrológico rico y pobre.

Las actividades anteriores se refieren al tratamiento digital y visual de imágenes satelitales para el análisis la superficie cubierta con nieve en dos años hidrológicos extremos: 1986 y 2014, respondiendo al objetivo de este trabajo.

e) Identificación de distintos cursos de agua.

f) Caracterización de obras de sistematización.

g) Análisis de los usos del agua (“Código de Aguas” para la provincia de San Juan).

h) Análisis diferencial de distribución de población y tipos de cultivo.

Conclusiones

El índice y la reclasificación resultaron procedimientos adecuados para la obtención de valores aproximados de la superficie cubierta con nieve en la cuenca del río Los Patos y su comparación anual, ratificando con los datos de caudales los extremos hídricos de los años 1986 y 2014.

Las sombras producidas por la montaña generan errores por comisión al aplicar el índice de nieve con el sensor TM, mientras que en las imágenes del sensor OLI se observaron errores por omisión, por lo que resulta necesario hacer las correcciones topográficas pertinentes.

La información temática extraída del análisis digital se corresponde con la identificada mediante el análisis visual de las imágenes compuestas que, mediante criterios tales como el color principalmente y el contexto espacial, se consideran más adecuadas para su uso como recurso didáctico por tratarse de un modelo icónico.

Con los resultados obtenidos, los docentes podrán hacer efectivo el uso de imágenes satelitales y a partir de su análisis indagar cuándo, cómo, cuánto y dónde se origina la mayor parte del recurso hídrico en la provincia.

Las respuestas a estas preguntas permitirán obtener conclusiones acerca del aprovechamiento del río San Juan que es alimentado principalmente por el aporte del río Los Patos debido a la fusión de nieve en alta cordillera y está sujeto a variaciones anuales y cíclicas en sus caudales. A su vez, los períodos con escasas nevadas son los que, con sus

consecuencias, ponen en evidencia la necesidad de almacenar agua para garantizar el sostenimiento de las actividades en los oasis agroproductivos.

Agradecimientos:

Queremos agradecer a la Universidad Nacional de San Juan por la financiación del PDTs “Escuela y territorio: hacia la construcción de comunidades de aprendizaje” (2016-2017).

Referencias bibliográficas:

Chuvieco, E. (1990). *Fundamentos de teledetección espacial*. Madrid: Ediciones RIALP S.A..

Chuvieco, E. (2010). *Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio*. Barcelona: Ariel Ciencia.

Ministerio de Educación. Gobierno de la provincia de San Juan. (2017). Diseño Curricular Jurisdiccional de la Educación Secundaria Orientada y Artística. Resolución N° 1820-ME- 2017. San Juan, Argentina.

Marlenko, N. (2003). Interpretación visual. En: Navone, S. (coord.), *Sensores remotos aplicados al estudio de los recursos naturales* (pp. 63-79). Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.

Matteucci, S. y Buzai, G. (1998). *Sistemas ambientales complejos: herramientas de análisis espacial*. Buenos Aires: Editorial Universitaria de Buenos Aires.

Salcedo, A. (2011). Estimación de área cubierta de nieve en cuencas con elevado aporte de fusión utilizando datos ERS-2. Tesis de magister en Aplicaciones Espaciales de alerta y respuesta temprana a emergencias. Facultad de Matemática, Astronomía y Física y el Instituto de Altos Estudios Espaciales Mario Gulich. Universidad Nacional de Córdoba. 110 p (Inédito)

<http://www.hidraulica.sanjuan.gov.ar/datos%20y%20estadisticas/km101.html#>

<http://www.hidraulica.sanjuan.gov.ar/datos%20y%20estadisticas/km43.html>