

Análisis de parámetros morfométricos y su relación con condiciones de vulnerabilidad en la ecorregión de las Yungas, Argentina

Serafini, M. C.; Fea, Maurizio; Di Franco, L. A.; Cuello, A. R.; Antes, M. A.; Villanueva, S. N.; Sione, W. F.; González, F. C.; y Redondo, F. V.

Resumen:

A principios del siglo XX, el sector continental argentino (2.791.810 km²) se encontraba cubierto por, aproximadamente, 100 millones de hectáreas de bosques nativos, superficie que se redujo a 33 millones a finales del mismo; incrementándose en forma notoria la tasa anual de deforestación en los últimos 30 años. Parte de esa superficie forestal se desarrolla en las provincias de Salta y Jujuy, con alrededor de 5 millones de hectáreas que representan ecosistemas ambientalmente críticos para el mantenimiento de la biodiversidad regional. Los datos obtenidos a partir de los sensores remotos resultan un aporte significativo para la evaluación de los cambios producidos en estos ambientes. El presente trabajo se enmarca en el Proyecto denominado "Evaluación de cambios en áreas de monte nativo y su relación con situaciones de vulnerabilidad ambiental en la ecorregión de Selvas subtropicales andinas (Yungas) mediante la fusión de datos Radar – Ópticos" y tiene como principal objetivo generar insumos temáticos que serán utilizados en la elaboración de indicadores ambientales relacionados con la vulnerabilidad ambiental en esta ecorregión. La zona seleccionada corresponde al departamento Ledesma de la provincia de Jujuy, una de las dos Áreas pilotos definidas para llevar a cabo este estudio. Mediante imágenes de la Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), disponibles gratuitamente en la web, fueron definidos parámetros geomorfológicos que permitieron establecer el comportamiento de determinadas variables. Los resultados obtenidos corresponden a diferentes capas temáticas relacionadas con parámetros como: Sombreado analítico, pendiente, aspecto, zona de captación, Índice de humedad, Factor LS, limitación de subcuencas y red hídrica secundaria, los que

a partir de su integración en un Sistema de Información Geográfica permitirán contribuir en la elaboración de indicadores relacionados con la vulnerabilidad ambiental en la zona bajo estudio.

Palabras clave: Yungas - parámetros geomorfológicos – teledetección – SIG -vulnerabilidad

Abstract:

In the early twentieth century, the continental sector of Argentina (2,791,810 km²) was covered by about 100 million hectares of native forest area. This area was reduced to 33 million by the end of the century. Over the last 30 years the annual deforestation has noticeably increased. Part of the forest area is in Salta and Jujuy provinces, with about 5 million hectares representing critical environmental ecosystems for the regional biodiversity maintenance. The remote sensor data are a significant contribution for environment change evaluation. This work belongs to the Project: "Evaluation of changes in native forest areas and their relation with environmental vulnerabilities in subtropical Andean Forest ecoregion (Yungas) using radar – optical data fusion". The aim of this study was to generate thematic inputs in order to use them for the development of environmental indicators related to the environmental vulnerability in this ecoregion. The selected area belongs to Ledesma department (Jujuy province) and is one of the two selected study sites to carry out this work. Geomorphological parameters were defined using Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) images, which are freely available in the web. These parameters were useful to settle down certain variable behaviour. These results correspond to different thematic layers related to parameters such as analytical shading, slope, aspect, catchment area, moisture index, LS factor, watersheds delimitation and secondary hydric network. The integration of these parameters into a GIS system will contribute to the development of indicators related to environmental vulnerability in the under study area.

Keywords: Yungas - geomorphological parameters - Remote sensing - GIS-vulnerability

Serafini, M. C. (proditel@unlu.edu.ar), PRODITEL- Dpto. de Ciencias Básicas – UNLu; **Fea, Maurizio** (maufea@gmail.com), Asociación Geofísica Italiana – AGI; **Di Franco, L. A.** (difranco_leo@yahoo.com.ar), PRODITEL- Dpto. de Ciencias Básicas – UNLu; **Cuello, A. R.** (cuello@terra.com.ar), PRODITEL- Dpto. de Ciencias Básicas – UNLu, C.S.R - Fuerza Aérea Argentina; **Antes, M. A.** (selperargentina@gmail.com), PRODITEL- Dpto. de Ciencias

Básicas – UNLu, C.S.R - Fuerza Aérea Argentina; **Villanueva, S. N.** (solangevillanueva@gmail.com), PRODITEL- Dpto. de Ciencias Básicas – UNLu; **Sione, W. F.** (wsione@gmail.com), PRODITEL- Dpto. de Ciencias Básicas – UNLu, CEREGEO - UADER – CEREGEO; **González, F. C.**, (franciscagnzlmrtn5@gmail.com), Dpto. de Geología - UNS; **Redondo, F. V.** (fredondo@fibertel.com.ar), PRODITEL- Dpto. de Ciencias Básicas – UNLu, C.S.R - Fuerza Aérea Argentina

INTRODUCCIÓN

Entre los problemas ambientales que causan mayor preocupación a nivel mundial merecen citarse los que se relacionan con la degradación de las tierras. En Argentina son diversas las actividades que se desarrollan en este sentido y colocan en situación de severo riesgo a ambientes naturales, generando conflictos socio-ambientales de diversa magnitud; entre otras, la minería a cielo abierto (Donadio, et al. 2009), la introducción de especies exóticas y la incorporación de extensas áreas de monte nativo a la actividad agrícola (Paruelo, et al. 2005).

En los últimos años, la sobreexplotación de los recursos forestales muestra un acelerado incremento; esta situación se presenta en la mayor parte de los montes nativos de nuestro país donde se vienen implementando acciones tendientes a aumentar la productividad, las que han generado situaciones problemáticas de transformación de sus espacios, así como de un aprovechamiento irracional de los recursos naturales. En el caso particular de la Selva Tucumano-Oranense, también denominada Yungas, el impacto antrópico ha favorecido la fragmentación del paisaje a partir del avance de la frontera agropecuaria, afectando en forma negativa la biodiversidad de dicho ecosistema, dando origen a condiciones de vulnerabilidad ambiental.

La vulnerabilidad, en términos generales, es la relación entre una condición, susceptible de recibir daño, en referencia a otra, condición no dañada, donde se manifiesta el orden, el peligro y el riesgo (Macias, 1999). La vulnerabilidad ambiental es un concepto que se relaciona con la susceptibilidad o predisposición intrínseca del medio y los recursos naturales a sufrir un daño o una pérdida, siendo estos elementos físicos o biológicos (Gaspari, et al; 2011).

El análisis conjunto de factores que permiten definir situaciones de vulnerabilidad ambiental se ha facilitado con la introducción de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), herramienta ideal para el análisis de parámetros con un alto grado de variabilidad espacial.

Desde la puesta en órbita de los primeros satélites, hasta el presente, el desarrollo de las tecnologías espaciales ha evolucionado de manera continua; las imágenes o productos elaborados a partir de datos aportados por los satélites de observación terrestre se encuentran disponibles en diferentes servidores y suponen

una fuente de datos para los SIG (Buzai, G., 2000).

Su aplicación a los recursos hídricos y en particular al manejo de cuencas, resulta una herramienta indispensable para conocer el ambiente y de esta manera hacer un uso sustentable del mismo. Un ejemplo de ello lo configuran los parámetros geomorfológicos derivados de imágenes topográficas que permiten establecer el comportamiento de determinadas variables y ser incluidos en modelos más complejos como la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE), entre otros (Di Franco, et al; 2012).

Las imágenes de la Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), disponibles gratuitamente en la web, favorecen la extracción de estos parámetros brindando información topográfica del área (NASA, 2005).

El presente trabajo se enmarca en el Proyecto denominado “Evaluación de cambios en áreas de monte nativo y su relación con situaciones de vulnerabilidad ambiental en la ecorregión de Selvas subtropicales andinas (Yungas) mediante la fusión de datos Radar – Ópticos” y tiene como principal objetivo generar insumos temáticos que serán utilizados en la elaboración de indicadores ambientales relacionados con la vulnerabilidad ambiental en esta ecorregión.

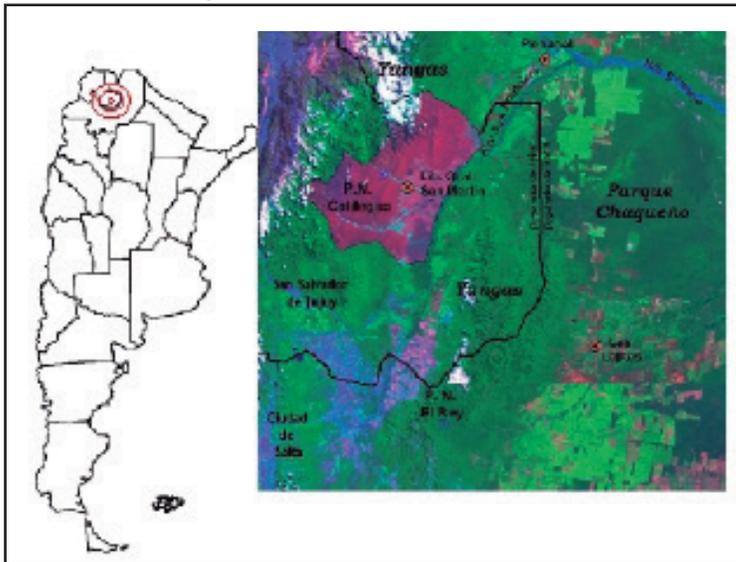
MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La zona seleccionada para llevar a cabo este estudio comprende el departamento Ledesma, uno de los 16 departamentos de la provincia de Jujuy; corresponde a una de las dos Áreas Pilotos definidas para llevar a cabo el Proyecto marco. Este departamento se encuentra situado al este de la provincia de Jujuy, sus coordenadas geográficas lo ubican entre los 63°30' y los 65°20' de longitud oeste y los 23°45' y 24°00' de latitud sur. Posee una superficie de 3.249 km², limita al norte con la provincia de Salta, los departamentos Tilcara y Valle Grande, al este con el departamento Santa Bárbara, al sur con el departamento San Pedro y al oeste con los departamentos Doctor Manuel Belgrano y Tumbaya. Pertenece a la ecorregión de las Yungas, también llamadas Selvas Subtropicales de Montaña o Selva Tucumano-oranense; está definida por una franja de aproximadamente 700 km de longitud norte-sur y 50 km de ancho, que se extiende a lo largo de las lade-

ras orientales de las montañas del norte del país, en las provincias de Salta, Jujuy, Tucumán y Catamarca (Figura 1). Abarcan las laderas y valles, con alturas que van de 400 msnm, al este hasta los 3.000 msnm, al oeste. Aunque sólo representan el 2% del territorio nacional, junto con la Selva Misionera constituyen los ambientes de mayor riqueza de especies y recursos naturales de nuestro país. En conjunto, albergan alrededor del 50% de la biodiversidad de Argentina. Las serranías que la circundan son: Calilegua y Santa Bárbara. El clima, subtropical con estación seca, está caracterizado por un régimen térmico altamente influenciado por el relieve, afectándolo fundamentalmente, la latitud y altitud; la temperatura media anual es de 21,5° C, siendo enero el mes más cálido, con temperatura máxima de 28,2 °C y julio el mes más frío con 13,5 °C.

Figura 1: Ubicación del área de estudio



Fuente: Elaboración propia

Materiales y Métodos

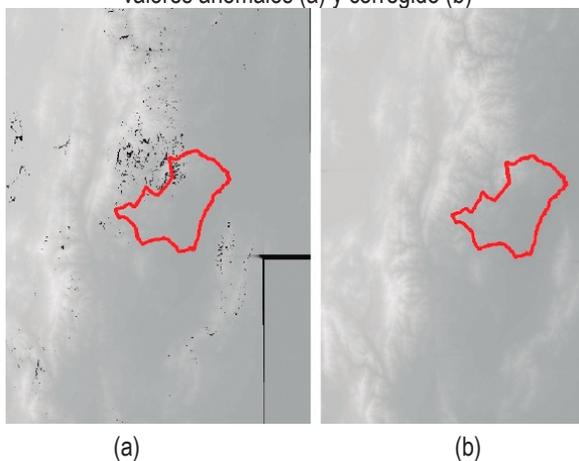
Para la realización de este trabajo se utilizaron dos imágenes correspondientes a la Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), Path and Row 231/076 y 231/077 de fecha febrero de 2000. Estas imágenes son generadas a partir de datos radar en banda C con una longitud de onda de 5,6 cm. La descarga de los datos se realizó a partir de la web de la Universidad de Maryland; el tipo de SRTM

correspondió al Unfilledfinished_B, que presentaba algunos valores anómalos que fueron corregidos mediante el proceso de interpolación (Sanders, 2007; Verdin, et al, 2007). El SRTM tiene una resolución espacial de 90 metros, radiométrica de 16 bit y formato geotiff (Farr, 2007).

Para poder realizar la delimitación de la cuenca del río San Francisco, principal curso del departamento de Ledesma, que recibe varios afluentes por su margen izquierda, entre otros el Negro, el Ledesma, el San Lorenzo y el de Las Piedras y por su margen derecha, los ríos del Medio, de las Conchas y Santa Rita, fue necesario generar un mosaico a partir de las dos escenas adquiridas ya que el área comprendida por la misma excedía las imágenes individuales; este mosaico fue generado mediante el empleo de la herramienta Mosaic Tools, del ERDAS.

Una vez obtenido el mosaico satelital se procedió a la delimitación de la cuenca mediante el empleo de la herramienta de Hidrología con el software ARCGIS 10.1. El procedimiento para la delimitación incluyó la corrección de los valores anómalos presentes en el SRTM, identificados con el valor -32768. Este procedimiento se realizó con la herramienta Fill Skins. Además de corregir estos valores permite completar aquellos lugares denominados sumideros en donde el escurrimiento presenta incongruencias. En la Figura 2 se puede observar el mosaico generado, con valores anómalos (a) y el mosaico obtenido luego de la interpolación y corrección a través de la herramienta Fill skins (b).

Figura 2: Mosaico SRTM con huecos, presencia de valores anómalos (a) y corregido (b)

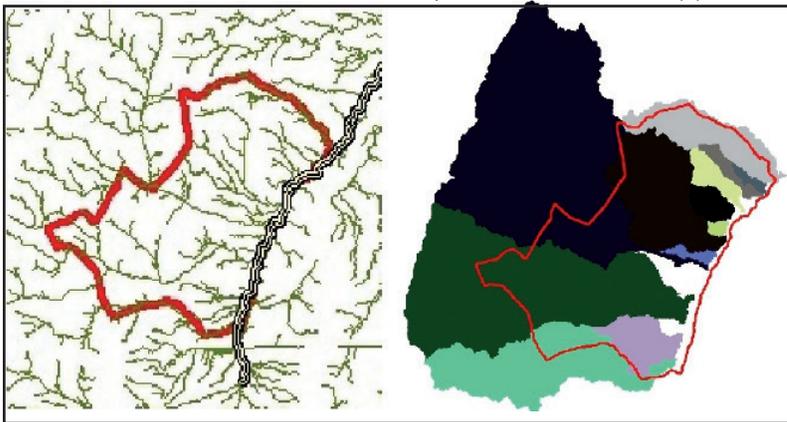


Fuente: Elaboración propia

El paso siguiente consistió en la obtención de la capa temática denominada Flow direction que crea un raster de dirección de flujo desde cada celda hasta su vecina. En esta nueva capa raster el valor asignado a la celda puede contener ocho valores que corresponden a la dirección de flujo. La capa Flow accumulation, que crea un raster de flujo acumulado a partir de la cantidad de celdas que aportan a ella, en conjunto con la capa Flow direction, configuran los principales insumos para calcular los parámetros.

Para definir los límites topográficos de la cuenca bajo estudio se utilizó la herramienta Cuenca hidrográfica, ésta genera una capa raster que posteriormente se convierte a formato vectorial. Mediante la utilización de estas capas raster se extrajo la red hídrica principal y secundaria. Una vez identificada la cuenca principal se procedió a la delimitación de las diferentes subcuencas utilizando como punto de afogue la unión de los diferentes tributarios con el cauce principal. En la Figura 3 se puede observar la red hídrica principal y secundaria (a) y la delimitación de las diferentes subcuencas dentro del departamento de Ledesma (b).

Figura 3: Red hídrica principal y secundaria (a) y delimitación de las diferentes subcuencas dentro del departamento de Ledesma (b)



(a)

(b)

Fuente: Elaboración propia

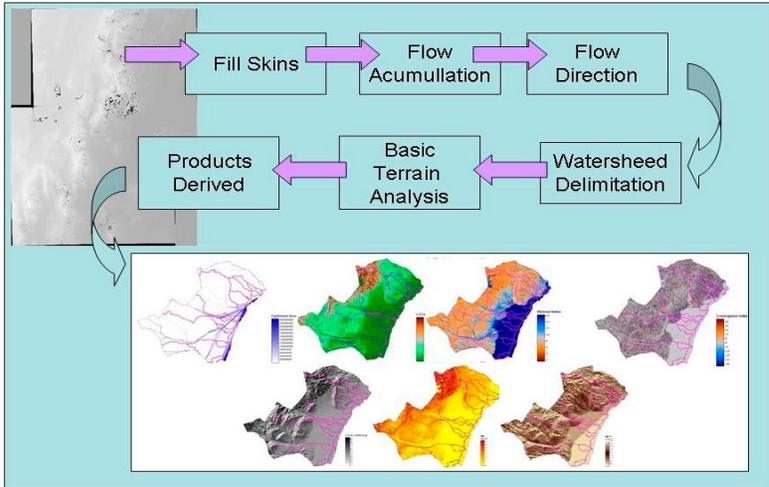
Una vez completados los pasos metodológicos tendientes a delimitar las cuencas y subcuencas del área de estudio, se procedió con la segunda etapa del trabajo que consistió en seleccionar los parámetros morfológicos para describirla, utilizando los criterios de la hidrología superficial. Esta etapa se realizó con el pro-

grama SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses) un software enmarcado en Free Open Source Software (FOSS), desarrollado por el Departamento de Geografía Física de Gottingen, Alemania. La herramienta seleccionada fue Basics Terrain Analysis que permitió escoger siete entre los once parámetros morfométricos disponibles. Los parámetros seleccionados fueron:

- Factor LS: factor de inclinación de la pendiente (S) y de su longitud (L), muy utilizado en la Ecuación Universal de Perdida de Suelo (USLE) y en la Ecuación Universal de Perdida de Suelo Revisada (RUSLE). Es un parámetro adecuado para evaluar el riesgo de erosión a escala de cuenca.
- Índice de humedad topográfica: se utiliza para describir patrones espaciales de humedad en una región. Se calcula a partir de la pendiente, siendo húmedas aquellas zonas donde las pendientes son bajas y sus áreas de contribución grandes, y las secas corresponden a mayor pendiente y menor área de contribución.
- Índice de convergencia: Es un indicador de la configuración o forma del terreno siendo las áreas cóncavas las que concentran el drenaje superficial mientras que las convexas diluyen el drenaje hacia celdas vecinas.
- Zona de captación: es el área geográfica donde el agua superficial drena hacia un punto determinado.
- Sombreado analítico: es una simulación de sombreado basada en valores de iluminación solar sobre la superficie terrestre con propósitos cartográficos. El efecto visual está dado por la diferenciación en los tonos de la imagen resultado.
- Pendiente: definida como el ángulo existente entre el vector normal a la superficie en ese punto y la vertical.
- Aspecto: se puede definir como la dirección de la pendiente y se mide en grados (0° a 360°) en tanto que las zonas planas poseen un valor de -1.

En la Figura 4 se plantea el esquema metodológico que incluye los principales pasos realizados para la obtención de los parámetros definidos para este estudio, los que posteriormente serán integrados en un SIG desarrollado *ad hoc*.

Figura 4: Esquema metodológico



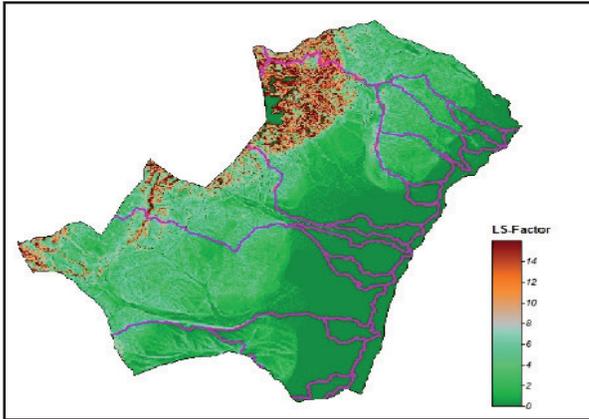
Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS

La metodología aplicada para evaluar los parámetros morfométricos en el área bajo estudio proporcionó como resultados la siguiente caracterización:

Factor LS: Este factor topográfico muestra las zonas con mayor potencial de erosión hídrica, que en la imagen aparecen en colores marrones oscuros mientras que las zonas donde se realiza la deposición del material extraído corresponden a colores verdes oscuros. En función de este parámetro se pueden determinar, en las diferentes subcuencas, las áreas con mayor riesgo de deslizamiento. En estas zonas resulta elemental conservar la cobertura boscosa para minimizar las consecuencias de este tipo de fenómenos (Figura 5).

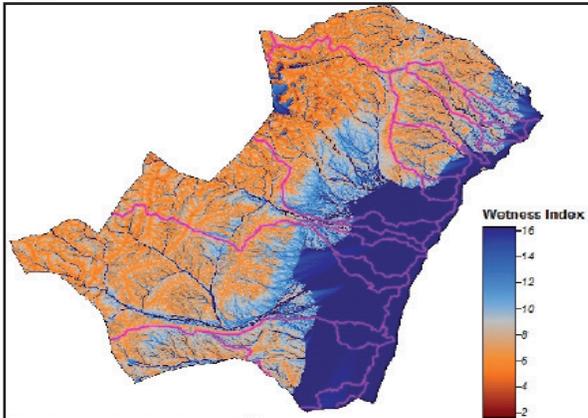
Figura 5: Niveles del Factor topográfico LS



Fuente: Elaboración propia

Índice de humedad topográfica (TWI): Este índice resulta útil para cuantificar el control de la topografía en los procesos hidrológicos e indicar la espacialidad de la humedad del suelo y la saturación de la superficie. En el oeste del departamento, lugar donde las pendientes son máximas, indicadas en colores ocres, el índice presenta los valores de menor potencial de retención de humedad de suelo, mientras que aquellas zonas correspondientes a las áreas planas, indicadas en colores azules, presentan mayores potenciales de retención y saturación (Figura 6).

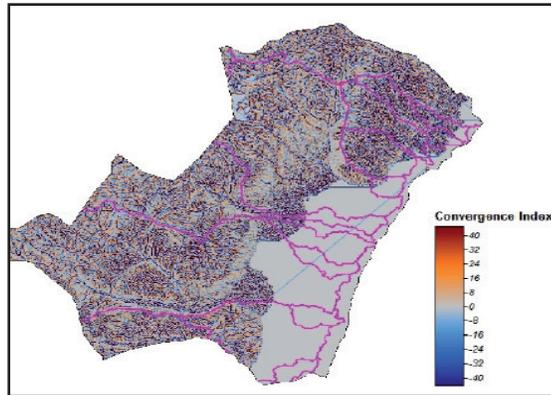
Figura 6: Niveles de Índice de humedad topográfica (TWI)



Fuente: Elaboración propia

Índice de convergencia: Este factor se calculó teniendo en cuenta las celdas adyacentes, su aspecto y su relación con la celda central. Determinó como decrece o crece la celda circundante en relación a la central. La imagen resultante del análisis de este factor permite establecer, para cada subcuenca, las áreas neutras en relación al drenaje superficial (tonos grises) (Figura 7).

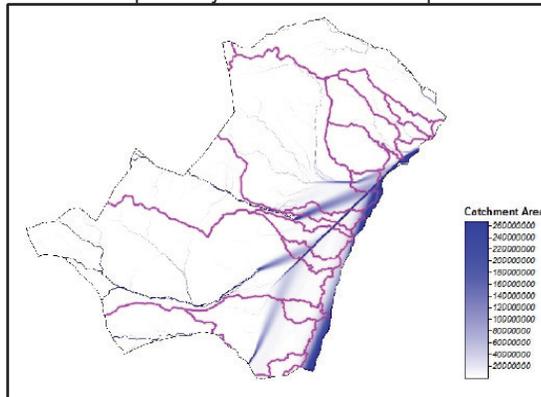
Figura 7: Niveles de Índice de Convergencia



Fuente: Elaboración propia

Zona de captación: En este factor se determina el tamaño del área de aporte en cada subcuenca. Las zonas de color blanco representan el área de captación mientras que las de color azul representan la red hídrica por donde el agua escurre transportando sedimentos (Figura 8).

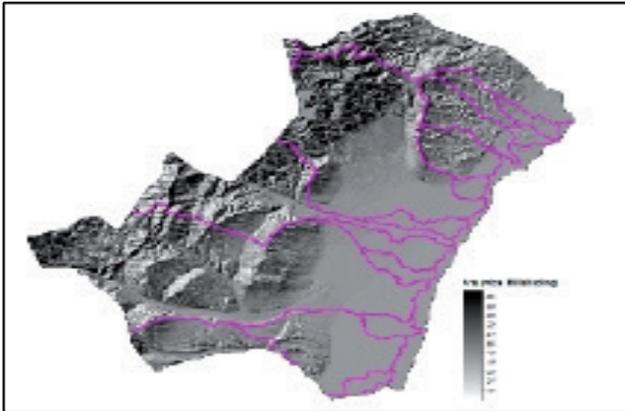
Figura 8: Zona de captación y red hídrica con transporte de sedimentos



Fuente: Elaboración propia

Sombreado analítico: este tipo de raster permite crear mapas que favorecen la interpretación al facilitar la comprensión del relieve, ya que tienen en cuenta como la luz del sol iluminaría la superficie en un punto dado para una posición particular. En este producto se observa que aquellas laderas que resultaron con menor iluminación aparecen en tonos oscuros mientras que las mayores iluminaciones se observan en tonos claros (Figura 9).

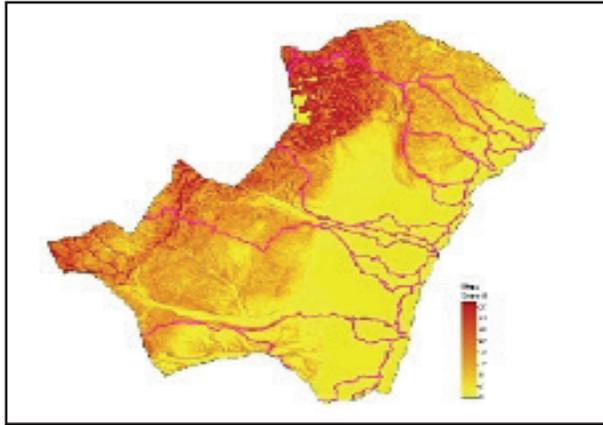
Figura 9: Sombreado analítico



Fuente: Elaboración propia

Pendiente: muestra las áreas de fuerte pendientes en tonos rojizos que indican, en este caso, aquellas zonas críticas con respecto a la pérdida de suelo por erosión hídrica. Como medida de conservación se debe proteger la cubierta boscosa dado que el riesgo de erosión es elevado. Mientras que las zonas de tonos amarillos representan las áreas con menor pendiente y por lo tanto menor factor de erosión (Figura 10).

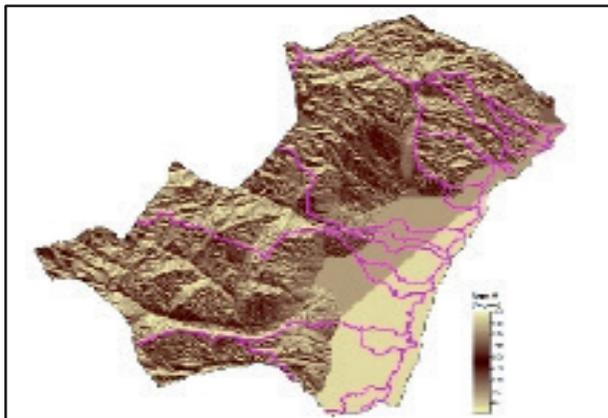
Figura 10: Pendiente



Fuente: Elaboración propia

Aspecto: La dirección de la pendiente muestra la forma de exposición de la superficie. En general las laderas de exposición norte (tonos claros) presentan suelos con menor contenido de humedad que las laderas de exposición sur (tonos oscuros) y por lo tanto menor cobertura vegetal y más bajo contenido de materia orgánica representando suelos más erodables (Figura 11).

Figura 11: Aspecto



Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

Los parámetros de sombreado analítico, pendiente y aspecto describen características del relieve de la cuenca que permiten una mejor visualización de la misma; tanto la pendiente como el aspecto presentan relación con las características morfométricas lineales y el relieve de las diferentes subcuencas.

En base al análisis de los diferentes parámetros seleccionados se pudo establecer el comportamiento hidrológico de la cuenca. El mismo se encuentra íntimamente relacionado con la topografía y con las características fisiográficas.

Los resultados obtenidos en el presente estudio aportan información temática en formato raster; la integración de estas capas en un SIG permitirán realizar un análisis espacial más complejo que conducirá a una adecuada evaluación y diagnóstico de las condiciones que afectan la vulnerabilidad ambiental, estableciendo mejores estrategias de gestión y planificación sustentables en ambientes amenazados.

Una etapa posterior debería incluir información de uso y cobertura de la tierra basándose en datos satelitales.

BIBLIOGRAFÍA

- Buzai, G., (2000): La exploración geodigital. Lugar Editorial S.A., Buenos Aires, Argentina
- Di Franco, L.; Cuello, A. y Serafini, M. C. (2012): "Parametrización de la cuenca hidrográfica del río Luján, Argentina, basada en Geomática", Proceedings XV Simposio SELPER Internacional; Cayena, Guyana Francesa
- Donadio, E. (2009): "Ecólogos y mega-minería, reflexiones sobre por qué y cómo involucrarse en el conflicto minero-ambiental"; Ecología Austral, 19(3), págs. 247-254
- Farr, T. G. (2007): "The Shuttle Radar Topography Mission"; Geophys, 45, RG2004, DOI:10.1029/2005 RG000183, págs. 21- 22.

- Gaspari, F. J.; Rodríguez Vagaría, A. M.; Delgado, M. I.; Senisterra, G.E y G.A. Denegri (2011): “Environmental vulnerability in rangeland watersheds, using a GIS Multequina, ISSN 0327-9375, 20, págs. 3-13
- Macias, J. M. (1999): “Desastres y protección civil. Problemas sociales, políticos y organizacionales”. Centro de Investigaciones y Estudios Sociales en Antropología Social”. Dirección General de Protección Civil del Gobierno del Distrito Federal, México. pág. 101
- NASA (2005): Shuttle Radar Topography Mission: Instruments. <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/instr.htm> (Version 06 August 2008)
- Paruelo, J.M.; Guerschman, J. P. y S. Verón (2005): “Expansión agrícola y cambios en el uso del suelo”; Ciencia Hoy 15, págs. 14-23
- Sanders, B. F. (2007): “Evaluation of on-line DEMs for flood inundation modeling”; Advances in Water Resources; V. 30, págs. 1831 – 1843
- Verdin, K.L.; Godt, J.W.; Funk, C.; Pedreros, D.; Worstell, B. y J. Verdin (2007): “Development of a global slope dataset for estimation of landslide occurrence resulting from earthquakes”; Colorado, U.S. Geological Survey, Open-File Report 2007-1188, pág. 25

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) por el aporte recibido para el desarrollo del presente trabajo.