

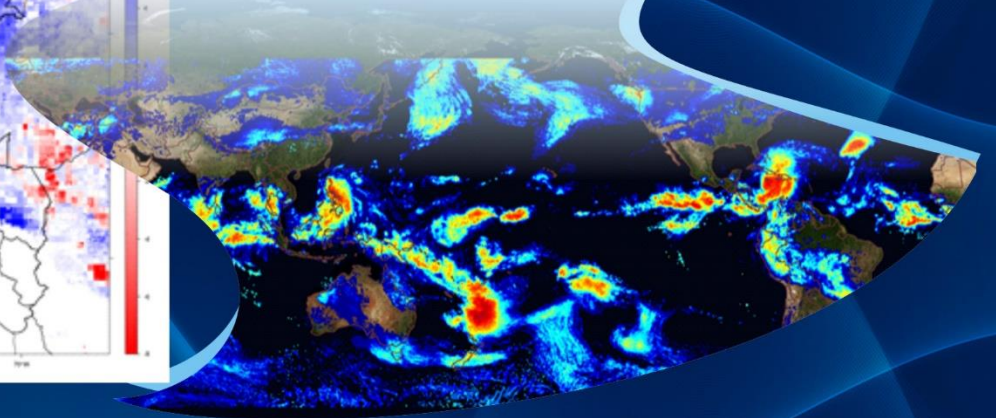
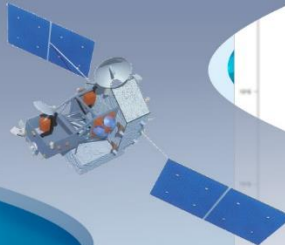
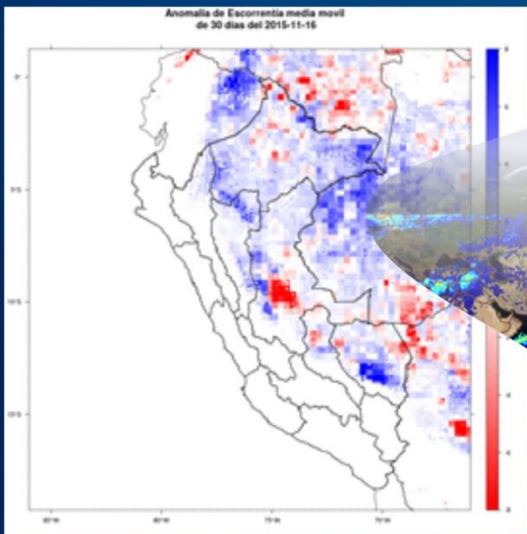
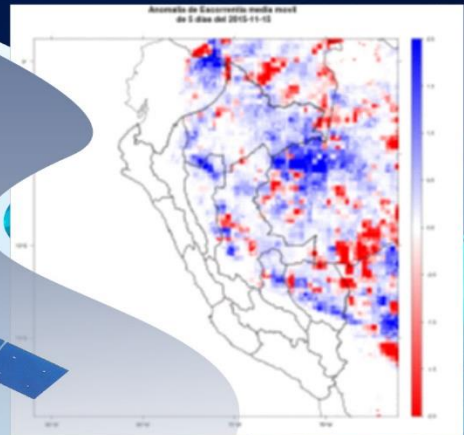
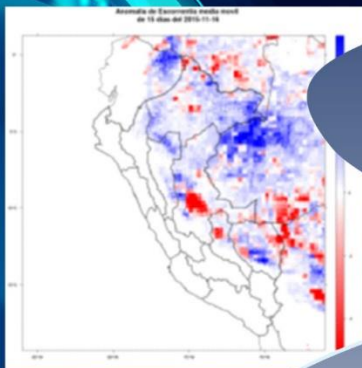
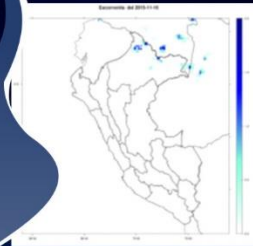


PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Servicio Nacional de
Meteorología e Hidrología
del Perú - SENAMHI

SISTEMAS DE SEGUIMIENTO DE LA ESCORRENTIA A NIVEL NACIONAL



2015





PERSONAL DIRECTIVO

Ing. Amelia Díaz Pabló
Presidente Ejecutivo del SENAMHI

Ing. Esequiel Villegas Paredes
Director Científico del SENAMHI

Ing. Oscar G. Felipe Ovando
Director de Hidrología y Recursos Hídricos del SENAMHI

PhD. Waldo Lavado Casimiro
Director de Hidrología Aplicada del SENAMHI

REVISOR DEL ESTUDIO

PhD. Waldo Lavado Casimiro
Director de Hidrología Aplicada del SENAMHI

RESPONSABLE DEL ESTUDIO

César Luis Aybar Camacho
Especialista en Hidrología del SENAMHI

Lima-Perú
Noviembre 2015

ÍNDICE

RESUMEN	5
I. ASPECTOS GENERALES	6
1.1 Introducción	6
1.2 Justificación	6
1.3 Objetivos	6
1.3.1 Objetivos Generales	6
1.3.2 Objetivos Específicos	6
II. ZONA DE ESTUDIO	7
III. CONSTRUCCION DE LA BASE DE DATOS A UTILIZAR	9
3.1 Modelo Digital de Elevación (MDE)	9
3.2 Datos de Cobertura del Suelo	10
3.3 Datos Tipos de Suelo	11
3.4 Estimación de Precipitación por Satélite	12
IV. METODOLOGIA	15
V. RESULTADOS	19
VI. BIBLIOGRAFIA	24

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Área considerada para la realización del estudio.....	8
Figura 2: Portal de descarga del MDE utilizado	9
Figura 3: Portal de descarga de la información del GlobalLand30	10
Figura 4: Pasos seguidos para la obtención de la información	10
Figura 5: Uso de suelo para el área de estudio.....	11
Figura 6: % Porcentaje de arcilla, limo y arena respectivamente para el ámbito de estudio.....	12
Figura 7: Instrumentos a bordo del satélite TRMM: radar meteorológico (PR), sensor para escáner de radiación visible e infrarrojo (VIRS), sensor de microondas pasivo (TMI), sensor de imágenes de relámpagos (LIS) y un sistema de energía radiante de la superficie terrestre que emplea una base de datos de imágenes de nubes de altísima resolución.	13
Figura 8: Lluvia acumulada diaria para el ámbito de estudio	14
Figura 9: Diagrama conceptual de la metodología a seguir.....	15
Figura 10: A la derecha la clasificación de textura del suelo siguiendo el triángulo textural USDA, a la izquierda la reclasificación de esta información en los 4 grandes grupos.	15
Figura 11: Mapa de CN para todo el ámbito de estudio	17

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Bandas del espectro electromagnético para la estimación de la lluvia de satélite: sensor y satélite en el espectro visible e infrarrojo (color celeste claro), sensor y satélite en el espectro de ondas microondas pasivas (color azul claro) y microondas activas (color azul).	12
Tabla 2. Curva de Número para distintas condiciones de uso y tipo de suelo.	16

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo principal generar un sistema de seguimiento a nivel nacional y a paso diario de la escorrentía basado en la ecuación empírica del número de curva (CN), lluvia antecedente (INPA) y estimación de precipitación por satélite. El presente documento trata de contemplar los pasos seguidos para la generación de este sistema, elaborado en el lenguaje interpretativo R; los códigos abordan desde la descarga de la información hasta la generación de gráficos de la escorrentía del mismo día, como también de la anomalía bajo una ventana móvil de 30, 15 y 5 días, este sistema se actualiza automáticamente cada día a las 10:00 horas.

I. ASPECTOS GENERALES

1.1 Introducción

La escorrentía o escurrimiento es la lámina de agua que circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje, es decir la altura en milímetros del agua de lluvia escurrida y extendida. Normalmente se considera como la precipitación menos la evapotranspiración real y la infiltración del sistema suelo. Durante un episodio de lluvia, pueden producirse dos tipos de escorrentía superficial.

En los últimos años producto de la mayor cantidad de datos provenientes de sensoramiento remoto, ha posibilitado una mayor diversas investigaciones que busca estudiar el comportamiento de la escorrentía espacial y temporalmente a través de técnicas de sensoramiento remoto y SIG , estas principalmente abordan grandes extensiones de terreno, cuyo interés principal es el de predecir posibles áreas de inundación basada en la detección de anomalías de escorrentía y superación de umbrales críticos.

A nivel nacional, se han encontrado estudios orientados a la estimación de escorrentía pero solo a escala de cuenca con el fin de poder entender mejor la variabilidad del ciclo hidrológico y ocurrencia de crecidas.

1.2 Justificación

El estudio del proceso de escorrentía se justifica por la necesidad de estimar la cantidad de agua que alcanza rápidamente el cauce fluvial. La escorrentía es el elemento más importante de la predicción de crecidas, inundaciones y estimación de la erosión, las condiciones físicas en la cuenca hidrológica son las que determinan la proporción de lluvia que se transforma en escorrentía.

Conociendo la cantidad de agua esperada en forma de escorrentía, pueden utilizarse otras herramientas, como el hidrograma unitario, para calcular el caudal o gasto correspondiente que se descargará en el cauce.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivos Generales

Estimar la relación precipitación-escorrentía a paso diario a nivel nacional basado en mediciones de precipitación por satélite.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Calcular el Número de Curva para diferentes condiciones de suelo.
- Evaluar la calidad de los datos de satélite en la generación de información hidrometeorológica espacializada.

- Definir el estado antecedente de humedad del suelo en el Perú, sobre una base edafoclimática consistente.

II. ZONA DE ESTUDIO

El área de estudio (el Perú y áreas contiguas) se encuentra en la zona intertropical de Sudamérica comprendida entre la Línea del Ecuador y el Trópico de Capricornio. Cubre un área de 1 285 215 km², limita al norte con Ecuador y Colombia, al este con Brasil, al sureste con Bolivia, al sur con Chile y al oeste con el océano Pacífico.

Su geología se encuentra determinada por la interacción de dos placas tectónicas: la Sudamericana al este, donde se halla todo su territorio continental, y la de Nazca debajo del océano Pacífico. Ambas comparten un límite convergente de subducción, producto de esta subducción, se formó hacia el Jurásico la elevación de la cordillera de los Andes. La cordillera de los Andes divide al país en tres regiones fisiográficas mayores: costa, sierra y selva.

La costa peruana es una franja desértica y llana que corre paralela al litoral, su ancho alcanza un máximo de 180 km en el desierto de Sechura. Desde la latitud 6 OS hasta la frontera con Chile se extiende el sector peruano del desierto del Pacífico el cual se encuentra atravesado por valles originados por ríos cortos de régimen estacional.

La sierra está conformada por un sistema de cordilleras. Estas montañas corren alineadas en cadenas paralelas: tres en el norte, tres en el centro y dos en el sur. Los andes del norte confluyen con los del centro en el nudo de Pasco, mientras que los del centro confluyen con los del sur en el nudo de Vilcanota a la altura del Cuzco. Los andes del norte son más bajos y más húmedos que el promedio, en ellos se encuentra el abra de Porculla, que con 2145 msnm es el punto más bajo de la cordillera andina. Los andes del centro son los más altos y empinados, es aquí donde se encuentra el pico más alto del país, el nevado Huascarán, con 6768 msnm. Los andes del sur son de mayor espesor que los del norte y centro.

La selva, ubicada hacia el este, es una vasta región llana cubierta por vegetación. Constituye casi el 60 % de la superficie del país. Se aprecian dos regiones distintas: selva alta y selva baja. La selva alta se ubica en todo el flanco oriental de los andes. Su altura varía entre los 3500 y 800 msnm. Abarca desde la zona fronteriza septentrional hasta el extremo sur del país. El relieve de esta zona es variado, al ser la salida de las fuertes pendientes los andes y el ingreso a la región plana y natural de la selva.

La selva baja o bosque tropical amazónico se ubica entre los 800 y los 80 msnm, en esta zona se encuentran los ríos más extensos y navegables como es el caso del Amazonas, que pasa por la ciudad de Iquitos.

A diferencia de otros países ecuatoriales, el Perú no presenta un clima exclusivamente tropical; la influencia de los Andes y la corriente de Humboldt conceden una gran

diversidad climática al territorio peruano. La costa central y sur del país presentan un clima subtropical árido o desértico, con una temperatura promedio de 18 °C y precipitaciones anuales de 150 mm, por acción del mar frío de Humboldt. En cambio, la costa norte posee un clima árido tropical, debido al mar tropical, con una temperatura promedio por encima de los 24 °C y lluvias durante el verano. Cuando hay ocurrencia del fenómeno de El Niño, la temperatura promedio de toda la costa se eleva (con máximas mayores a 30 °C) y las lluvias se incrementan de manera significativa en la costa norte y central.

En la sierra se observan los siguientes climas: clima templado sub-húmedo, en áreas entre los 1000 y los 3000 msnm, con temperaturas alrededor de los 20 °C y precipitaciones entre los 500 y 1200 mm al año; clima frío entre los 3000 y 4000 msnm, con temperaturas anuales promedio de 12 °C y heladas durante el invierno; clima frígido o de puna, en áreas entre los 4000 y 5000 msnm, con una temperatura promedio de 6 °C y precipitaciones anuales de 700 mm; y clima de nieve o gélido en zonas por encima de los 5000 msnm, con temperaturas debajo de los 0 °C y nevadas. En la selva hay dos tipos de clima: clima semitropical muy húmedo en la selva alta, con precipitaciones mayores a los 2000 mm al año y temperaturas promedio alrededor de los 22 °C; y el clima tropical húmedo en la selva baja, con precipitaciones que oscilan los 2000 mm al año y temperaturas promedio de 27 °C.

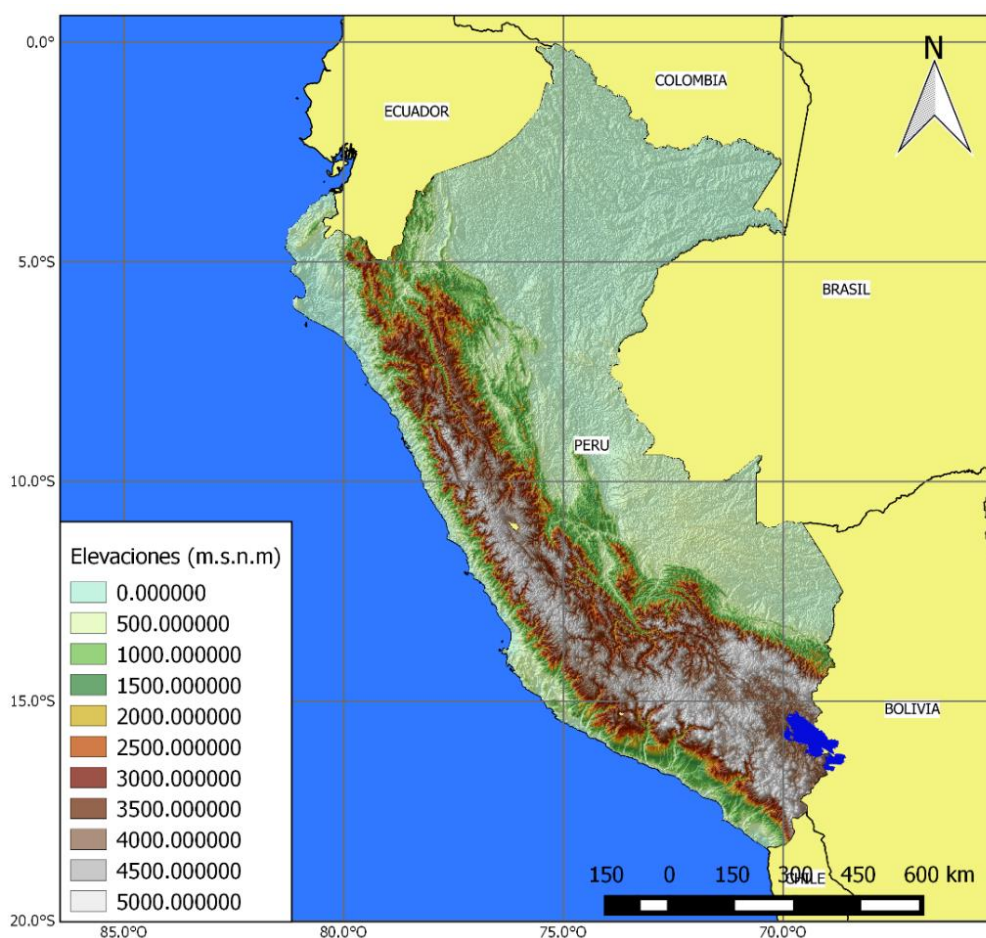


Figura 1: Área considerada para la realización del estudio

III. CONSTRUCCION DE LA BASE DE DATOS A UTILIZAR

3.1 Modelo Digital de Elevación (MDE)

El conocimiento del factor topográfico es un insumo básico para comprender gran parte de los procesos ocurridos en la superficie de la tierra, en nuestra área de estudio y en el Perú en general se cuenta con tres productos que brindan información altimétrica de libre acceso, la carta nacional del IGN a la escala 1:100 000, el MDE a partir de un sistema interferométrico Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), y el MDE a partir del sistema estereoscópico Advance Space Borne Thermal Emisión and Reflection Radiometer (ASTER). A pesar de que la información altimétrica expuesta presenta rangos de precisiones conocidos, son muchos los autores que señalan que esta dependerá finalmente de las condiciones locales presentes en el área de estudio (Kiamehr and Sjoberg, 2005; Schumann et al., 2008; Nikolakopoulos et al., 2006).

Si bien se pudo trabajar con cualquiera de los datos antes expuestos, se optó finalmente por utilizar el producto SRTM debido a su mayor precisión en terrenos escarpados y mayor aplicación en investigaciones hidrológicas. (Satge et al., 2015; Ludwig and Schneider, 2006).

El MDE SRTM 4.1 fue obtenido a través del enlace <http://srtm.csi.cgiar.org> (ver Figura 2), esta versión incorpora los métodos de interpolación--- descritos por reuter et.al(2007) para la complementación de las zonas sin información, se descargado en un formato raster GeoTIFF a partir de mosaicos provistos de 5° x 5°, los cuales fueron adaptados en un a una sola imagen.

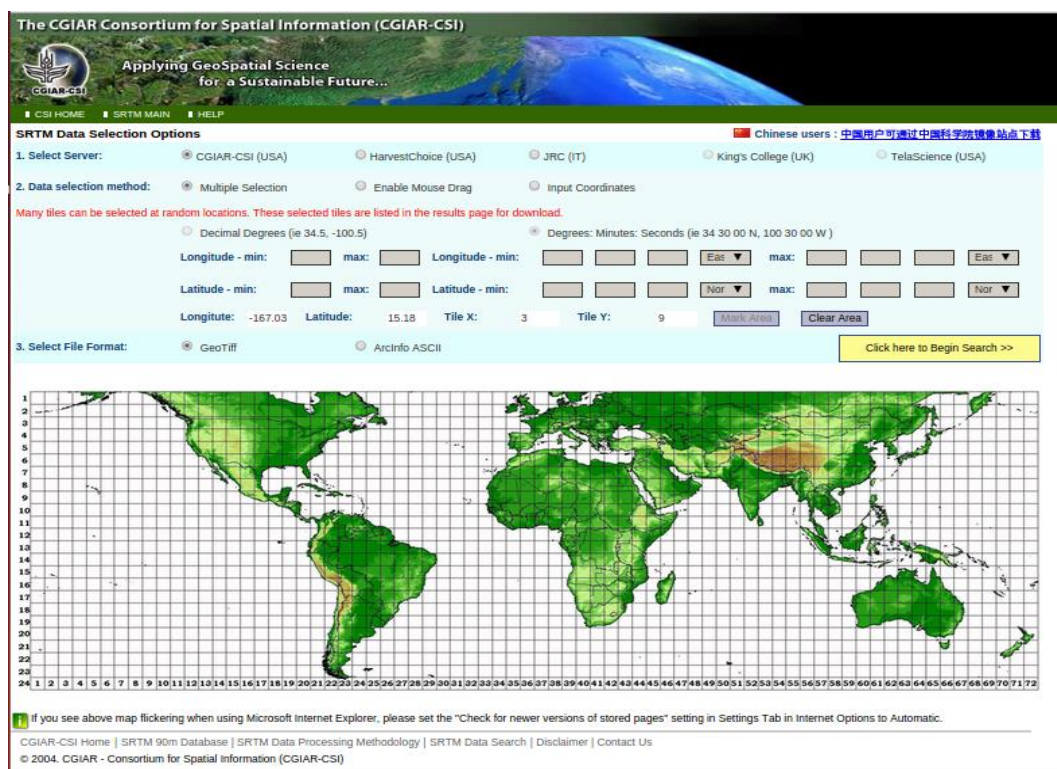


Figura 2: Portal de descarga del MDE utilizado

3.2 Datos de Cobertura del Suelo

La información de cobertura fue obtenida del GlobalLand30, los datos fueron obtenidos del <http://www.globallandcover.com/GLC30Download/index.aspx> descargados en un formato raster GeoTIFF a partir de mosaicos provistos de 5° x 6°.

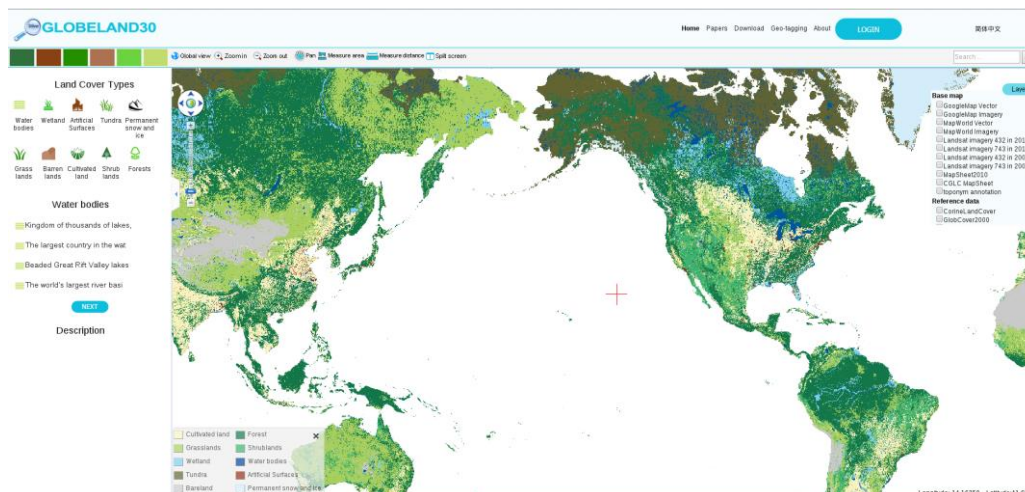


Figura 3: Portal de descarga de la información del GlobalLand30

GlobeLand30 cubre el área entre los 80° N y 80° S, y los mosaicos se organizan por dos métodos. Los mosaicos de datos de tamaño de 5° (latitud) x 6° (longitud) ubicados entre los 60° N y 60° S, y el de tamaño de 5° (latitud) x 12° (longitud) dentro de los 60° a 80° de latitud norte y sur. Los pasos para la obtención del GlobalLand30 se puede descargar en <http://globallandcover.com/document/globemapsheet.zip> (ver Figura 4). El sistema ofrece la descarga gratuita en línea para las instituciones de investigación y organizaciones de bienestar público.

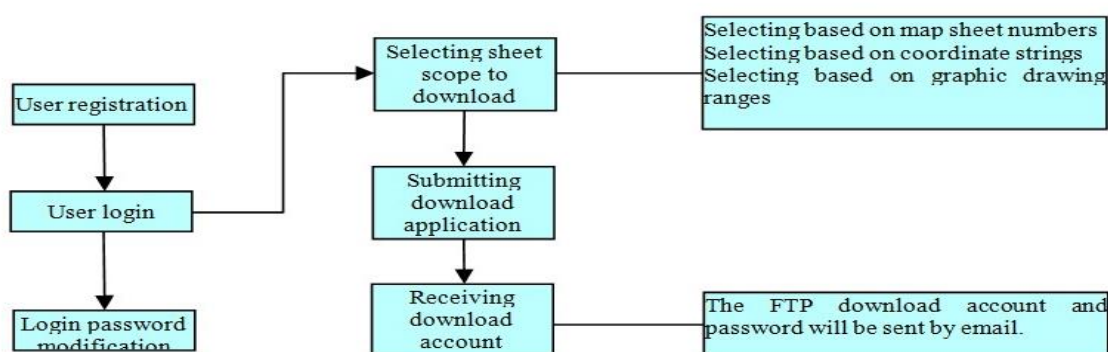


Figura 4: Pasos seguidos para la obtención de la información

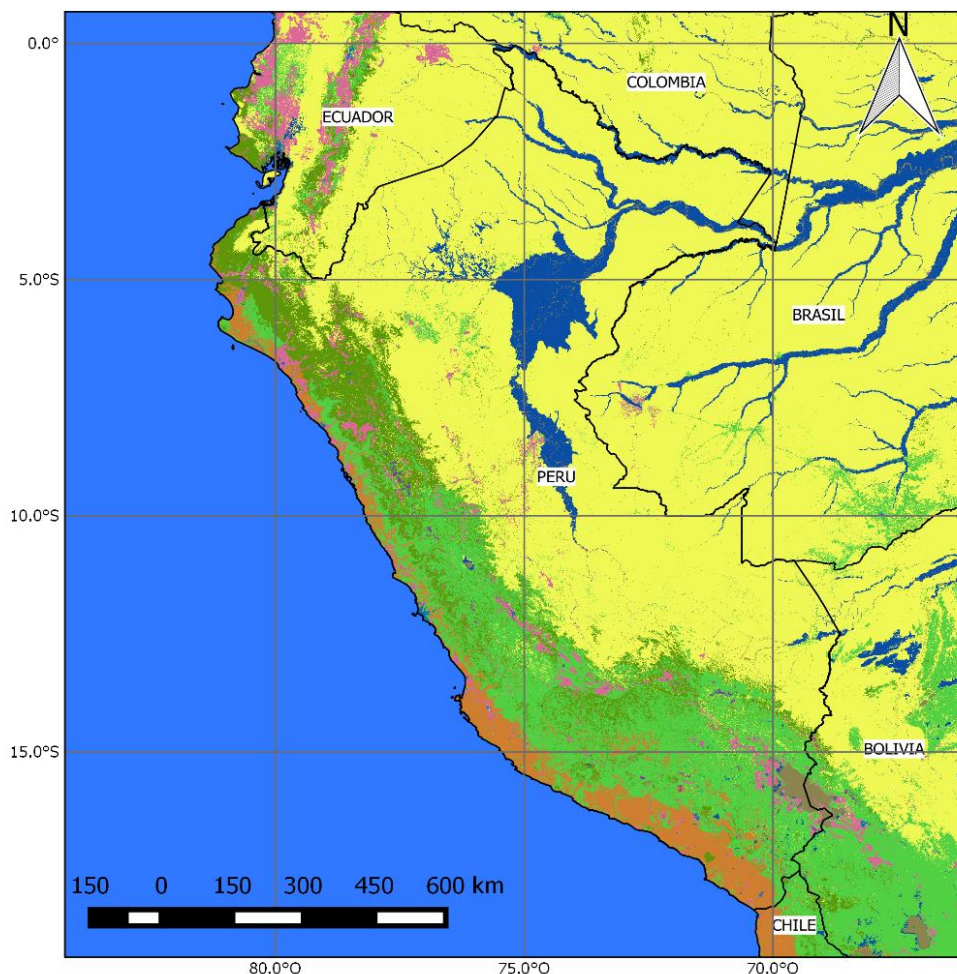


Figura 5: Uso de suelo para el área de estudio

3.3 Datos Tipos de Suelo

Los datos de tipo de suelo es quizás la información más complicada de obtener debido a su alto costo y excesivo trabajo de campo necesario. Para el presente estudio se utilizó la información provista por el SoilGrids1km esta es una colección de mapas sobre propiedades y clase de suelos actualizable del mundo con una resolución relativamente gruesa de 1 km. (Véase para más detalle página web).

Los datos WorlSoil1km pueden obtenerse del siguiente <http://soilgrids.org> o vía FTP <ftp://ftp.soilgrids.org/>, estos datos se obtienen en formato raster GeoTIFF a partir de mosaicos provistos de 10 x 10°.

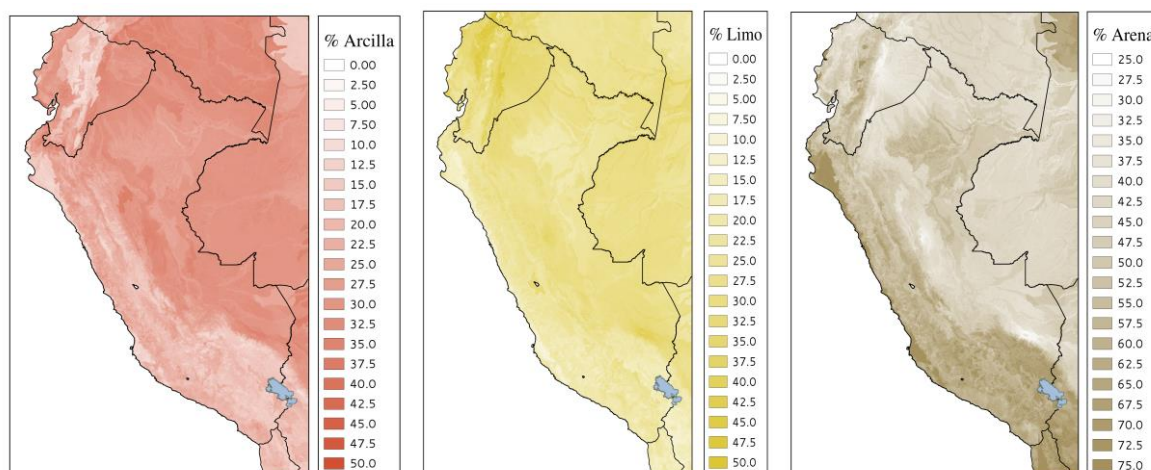


Figura 6: % Porcentaje de arcilla, limo y arena respectivamente para el ámbito de estudio

3.4 Estimación de Precipitación por Satélite

En la actualidad existen sensores acoplados en satélites meteorológicos que permiten estimar la precipitación por medio de la lectura en cinco bandas del espectro electromagnético (Tabla 1) y diversas técnicas que están en constantemente avance hacia técnicas más directas basadas físicamente.

Tabla 1: Bandas del espectro electromagnético para la estimación de la lluvia de satélite: sensor y satélite en el espectro visible e infrarrojo (color celeste claro), sensor y satélite en el espectro de ondas microondas pasivas (color azul claro) y microondas activas (color azul).

Bandas del Espectro	Símbolo	Longitudes de onda	Sensor	Satélite
Ultra-Violeta	UV	0.01-0.38 μ		
Visible	VIS	0.38-0.78 μ		
Infrarrojo Cercano	NIR	0.78-1.30 μ	SEVIRI	METEOSAT
Infrarrojo de Onda Corta	SWIR	1.30-3.00 μ	AVHRR	NOAA+MetOp
Infrarrojo de Onda Media	MWIR	3.00-6.00 μ	VIRS	TRMM
Infrarrojo Térmico	TIR	6.00-15.0 μ		
Infrarrojo Lejano	FIR	15 μ – 1mm	SSM/I	DMSP
Onda submilimétrica	Sub-mm		AMSR-E	NASA's Aqua
Microondas Pasivas	MWP	1mm-30 cm	AMSU-A	NASA's Aqua
			ASCAT	MetOp
			TMI	TRMM
Microondas Activas	MWP	1mm-30 cm	PR	TRMM

- **Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)**

En 1997 entra en órbita el satélite TRMM “Tropical Rainfall Measuring Mission” (Ver Figura 2) que es una misión espacial entre la NASA (USA) y la Agencia de Exploración Aeroespacial de Japón (JAXA) para monitorear y estudiar lluvias tropicales. Es un satélite de baja órbita no polar, concentrada en los Trópicos, lleva un radar que transmite en una longitud de microonda activas y radiómetro de microondas con escáner de radiación visible e infrarrojo, cuya

resolución vertical va desde aproximadamente 1 km para a los radiómetros en el espectro visible e infrarrojo, hasta unos 10 km para los radiómetros de microondas y 250 m en el caso del radar. La utilización de radares ha permitido mejorar la exactitud de las estimaciones de lluvia respecto de las anteriormente efectuadas desde el espacio (OMM, 2011).

Uno de los instrumentos a bordo del satélite TRMM es el sensor para imágenes de relámpagos. Al respecto, evaluar datos de relámpagos, permite identificar mejor los fenómenos convectivos y por lo tanto mayor probabilidad de aparición de una fuerte lluvia convectiva.

La Organización Meteorológica Mundial (2011) indica que la órbita de baja inclinación utilizada por el TRMM permite obtener muestras a lo largo de una serie completa de horas de paso por el Ecuador en períodos de 24 horas en el transcurso de un mes. No sucede así con los satélites en órbita polar, cuyas horas de paso por el Ecuador son siempre las mismas. Por ello, el ciclo diurno característico en los Trópicos, podría acrecentar los errores derivados del muestreo.

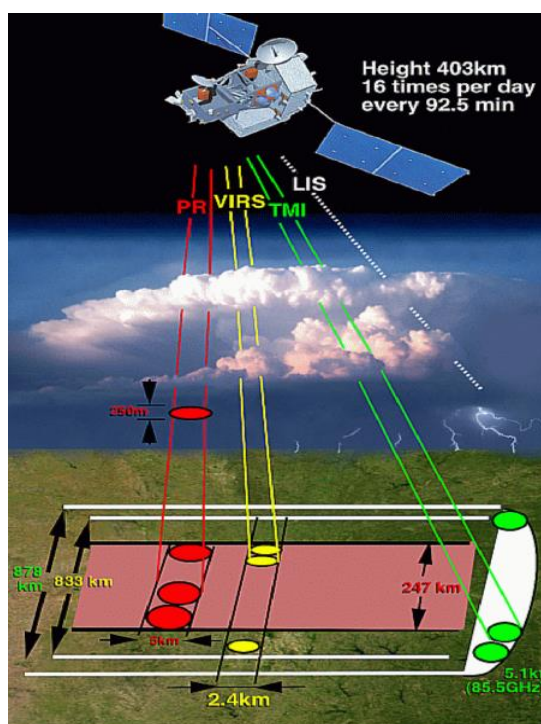


Figura 7: Instrumentos a bordo del satélite TRMM: radar meteorológico (PR), sensor para escáner de radiación visible e infrarrojo (VIRS), sensor de microondas pasivo (TMI), sensor de imágenes de relámpagos (LIS) y un sistema de energía radiante de la superficie terrestre que emplea una base de datos de imágenes de nubes de altísima resolución.

- **TRMMM 3B42RT**

El TRMM 3B42RT es un algoritmo basado en la fusión de datos HQ/VAR esta es la tercera etapa de un sistema para producir el "TRMM y Otros Datos" a tiempo real. El sistema fue desarrollado para aplicar nuevos conceptos en la

fusión de las estimaciones cuasi-globales de precipitación y tomar ventaja de la creciente disponibilidad de conjuntos de datos de satélite de entrada en tiempo real. El sistema en su conjunto se conoce como el Multi-Satellite Precipitation Analysis (MPA-RT). Las estimaciones se publican en la web cerca de las 6 horas después del tiempo de observación, aunque las cuestiones de procesamiento pueden retrasar o prevenir este horario.

Cada archivo comienza con una cabecera que es una fila de 2 bytes entero de longitud, o 2880 bytes. La resolución del producto se distribuye a una resolución de 0,25 lat/long, que aumenta más rápidamente hacia el este (desde el Meridiano de Greenwich) y luego hacia el sur (desde el extremo norte). Bordes de la caja de cuadrícula son en múltiplos de 0,25 grados. Los campos de datos se escriben como datos binarios en orden de bytes big-endian. Los campos de datos son:

- ❖ Precipitación (2-byte entero).
- ❖ Precipitación _error (2 bytes entero).
- ❖ Fuente (número entero de 1 byte, -1, 0, 100 soporte para ninguno, HQ, VAR).

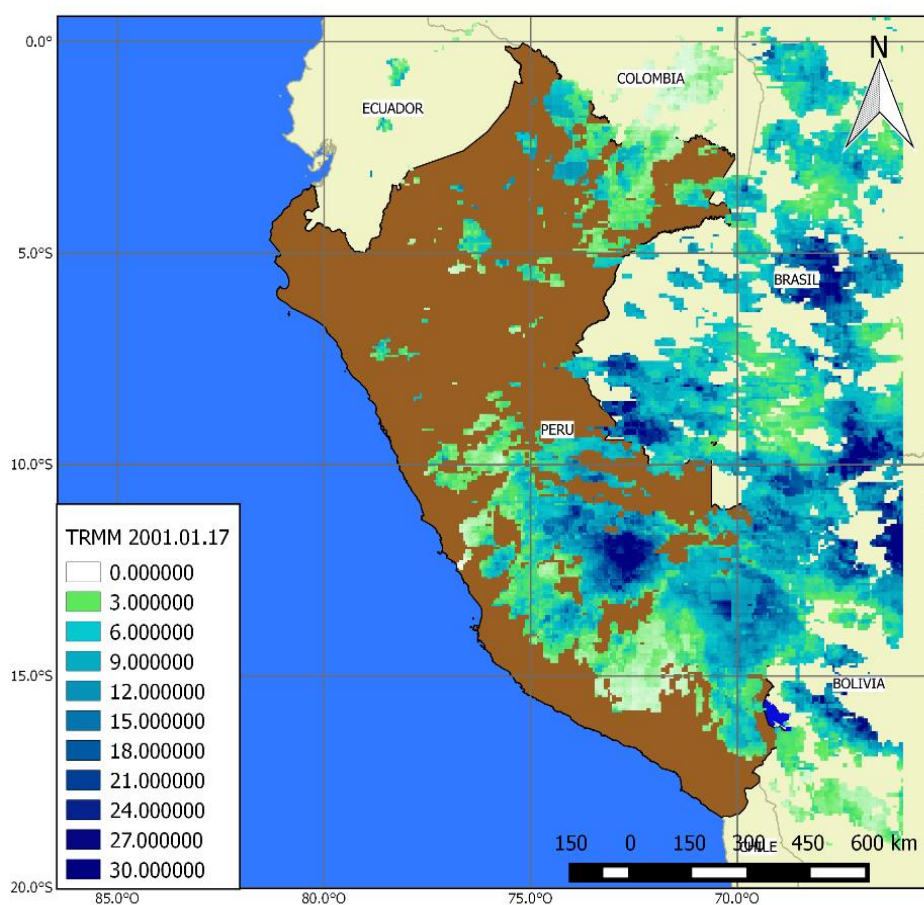


Figura 8: Lluvia acumulada diaria para el ámbito de estudio

IV. METODOLOGIA

El diagrama conceptual de la metodología planteada para el seguimiento de la escorrentía a nivel nacional puede observarse en la Figura 9.

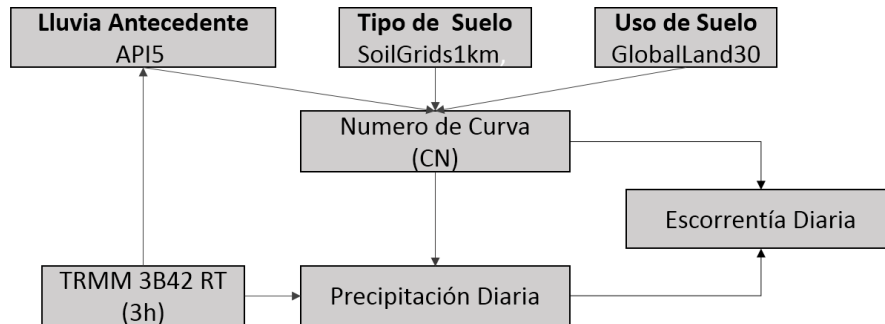


Figura 9: Diagrama conceptual de la metodología a seguir.

Para estimar el valor del número de curva (CN) necesitamos información espacializada referente a grupo de suelo hidrológico, uso de la tierra / cubierta y las condiciones hidrológicas, los dos factores anteriores son los de la mayor importancia en la determinación de su valor.

Un grupo hidrológico de suelo se define como el conjunto de suelos que se pueden agrupar en una misma categoría por poseer una capacidad similar de producir escorrentía, para estimar este parámetro nosotros utilizamos los porcentajes promedio de arena, limo y arcilla (Figura 6), luego mediante el triángulo textual de la clasificación USDA se logra clasificar en 12 clases texturales (Apéndice I), la obtención de los grupos hidrológicos del suelo se realiza mediante reclasificación de las 12 clases a cuatro clases A,B,C y D (ver Figura 10 y Apéndice I).El CN finalmente se obtiene mediante la información de uso de suelo y grupos hidrológicos siguiendo la Tabla 2.

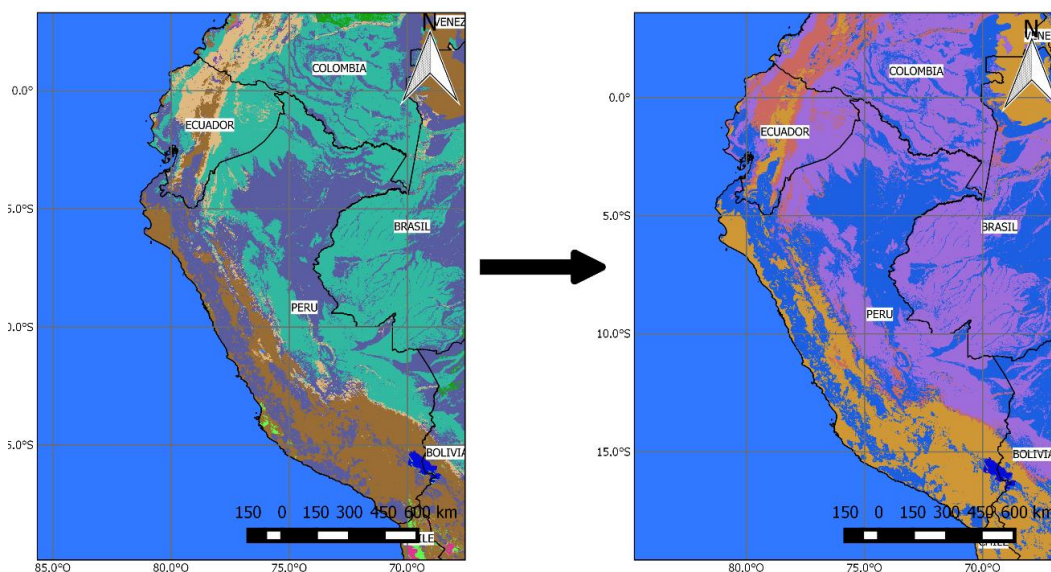


Figura 10: A la derecha la clasificación de textura del suelo siguiendo el triángulo textual USDA, a la izquierda la reclasificación de esta información en los 4 grandes grupos.

Tabla 2. Curva de Número para distintas condiciones de uso y tipo de suelo.

Clasificación de coberturas IGBP		CN para diferentes HSG (ABCD)				Condición Hidrológica (Baja/Intermedia /Alta)
ID	Contenido	A	B	C	D	
0	Water Bodies	NA	NA	NA	NA	NA
1	Evergreen needles	34	60	73	79	Fair
2	Evergreen broadleaf	30	58	71	77	Fair
3	Deciduous needle leaf	40	64	77	83	Fair
4	Deciduous broadleaf	42	66	79	85	Fair
5	Mixed Forest	38	62	75	81	Fair
6	Closed shrublands	45	65	75	80	Fair
7	Open shrublands	49	69	79	84	Fair
8	Woody savannas	61	71	81	89	Fair
9	Savannas	72	80	87	93	Fair
10	Grasslands	49	69	79	84	Fair
11	Permanent Wetlands	30	58	71	78	Fair
12	Croplands	67	78	85	89	Fair
13	Urban and built-up	80	85	90	95	Fair
14	Cropland/ natural vegetation mosaic	52	69	79	84	Fair
15	Permanent snow and ice	NA	NA	NA	NA	NA
16	Barren or sparsely vegetated	72	82	83	87	Fair
17	Missing data	NA	NA	NA	NA	NA

Modificado de Y.Hong (2008)

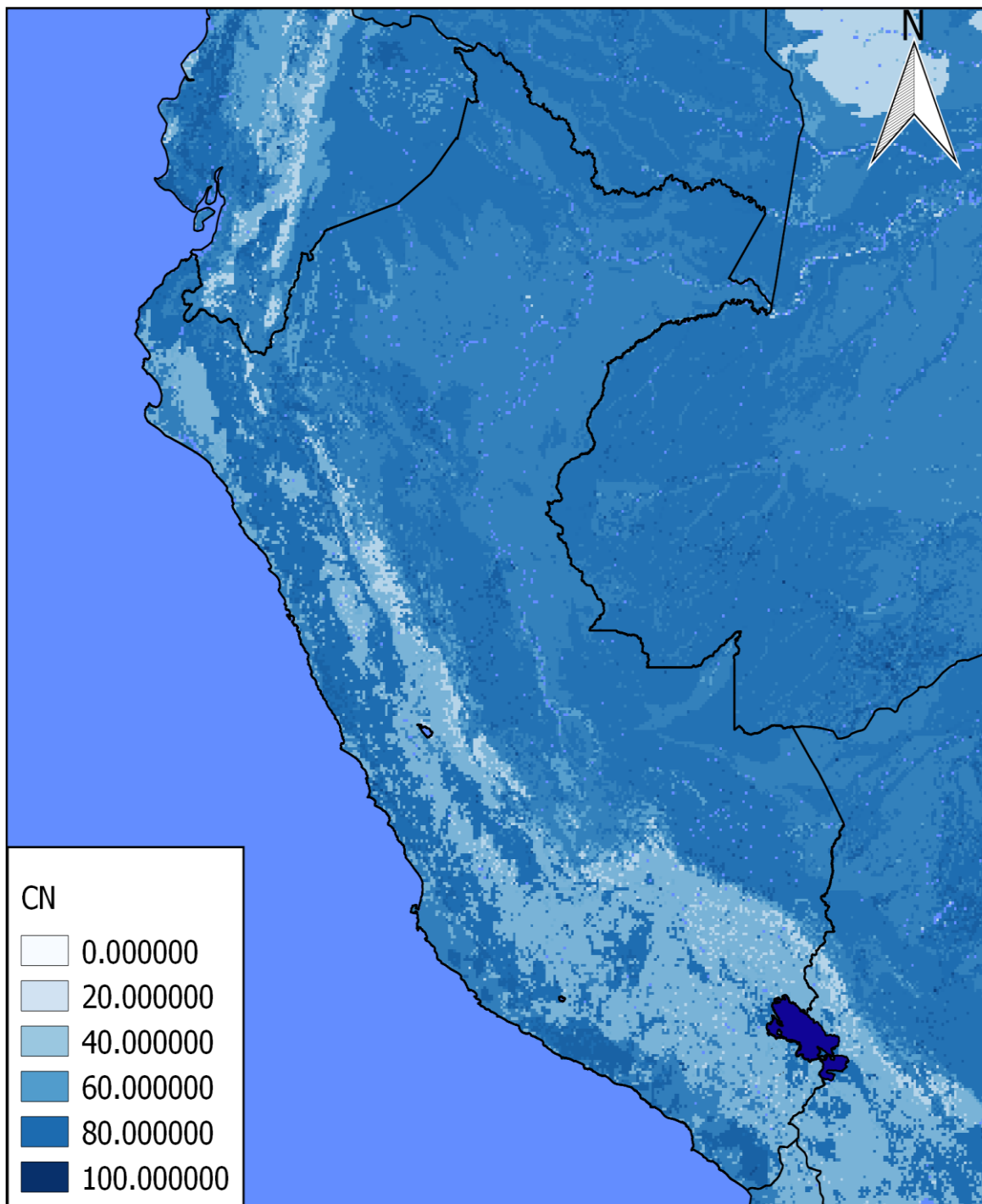


Figura 11: Mapa de CN para todo el ámbito de estudio

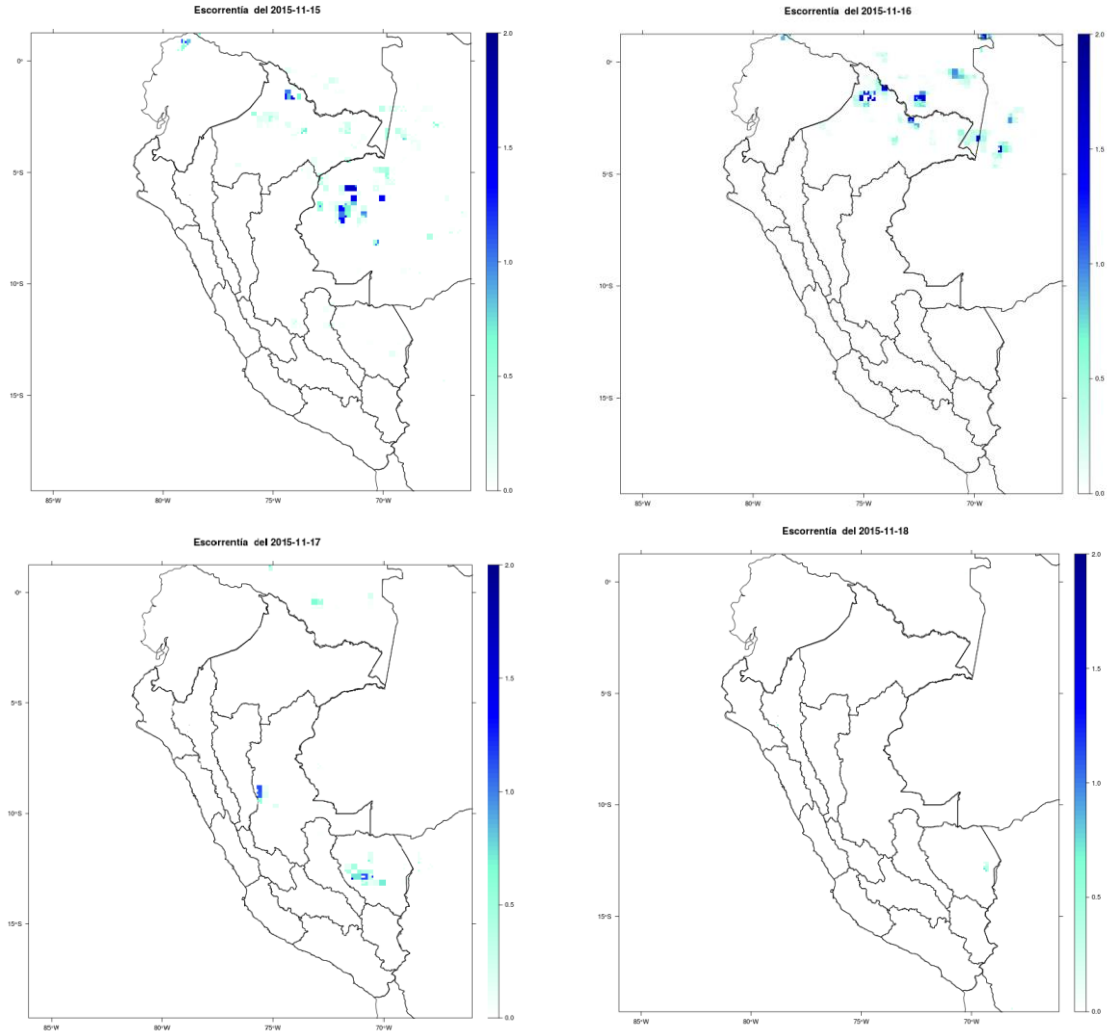
La condición de humedad antecedente del suelo se estima mediante el índice normalizado de precipitación antecedente (INPA) este índice nos da información del desarrollo de la humedad almacenada dentro de una cuenca de drenaje antes de una tormenta. Heggen en el 2001 define el INPA como:

$$IAPN = \frac{\sum_{t=-i}^{t=-1} P_t k^{-t}}{\bar{P} \sum_{t=-i}^{t=-1} k^{-t}}$$

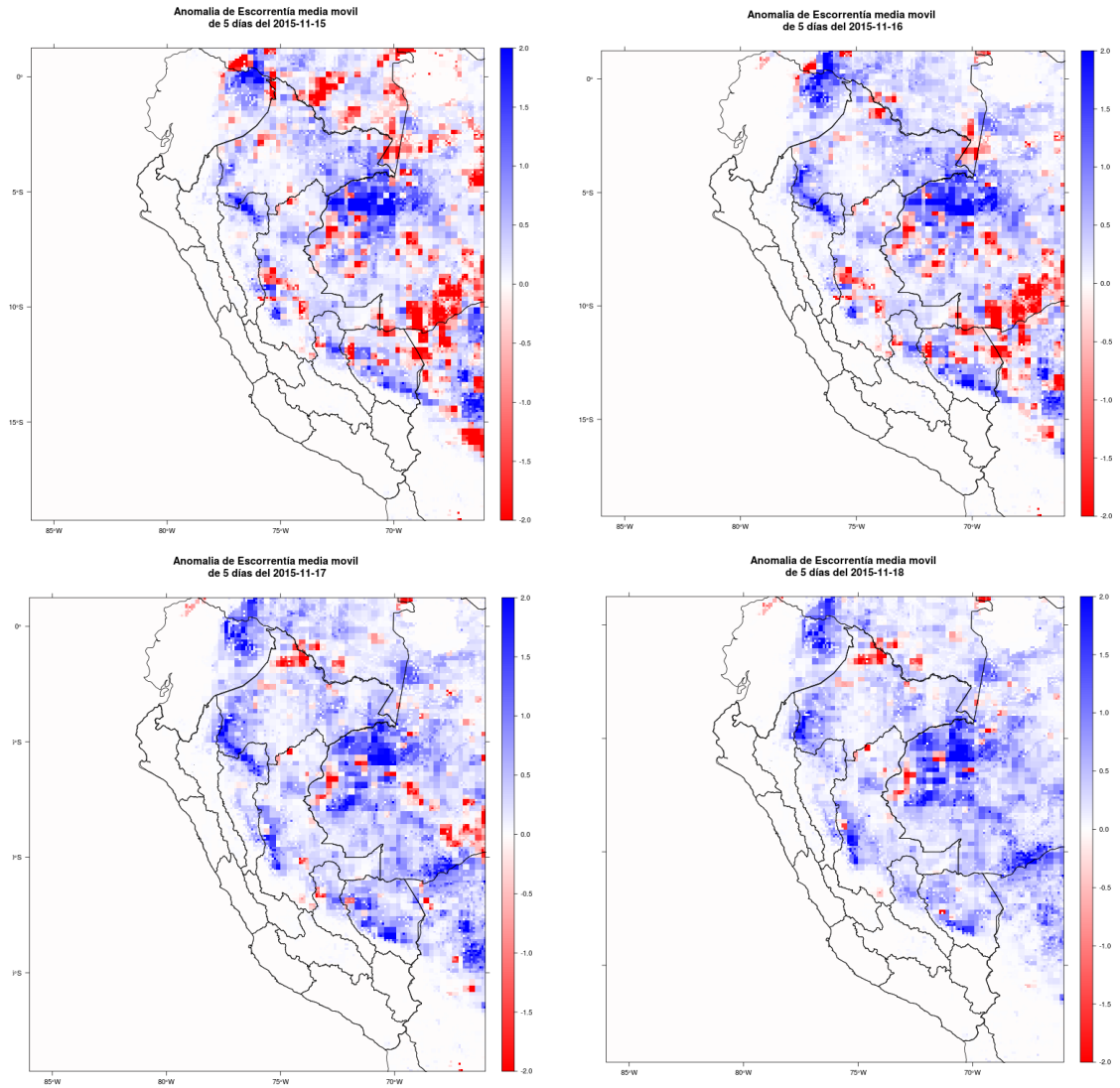
Donde i es el número de días considerados, k es una constante de decaimiento y P_t es la lluvia durante el día. El valor de i se toma generalmente como 5, 7 o 14 días (Viessman & Lewis, 1996). El valor de la constante de decaimiento k oscila entre 0,80 y 0,98 (Viessman & Lewis, 1996), para este estudio se tomó el valor de 0.85.

V. RESULTADOS

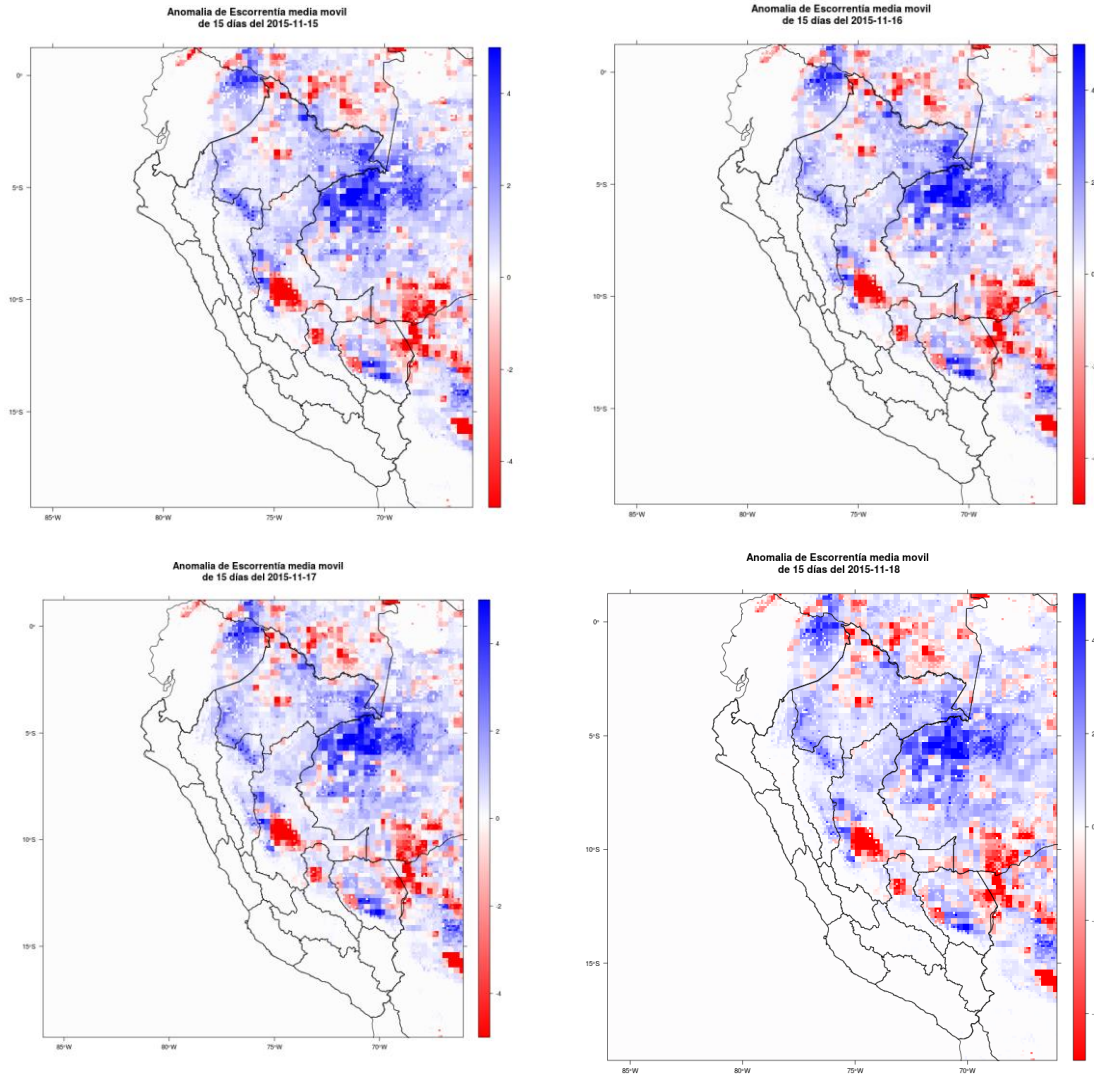
ESCORRENTÍA DIARIA ESTIMADA



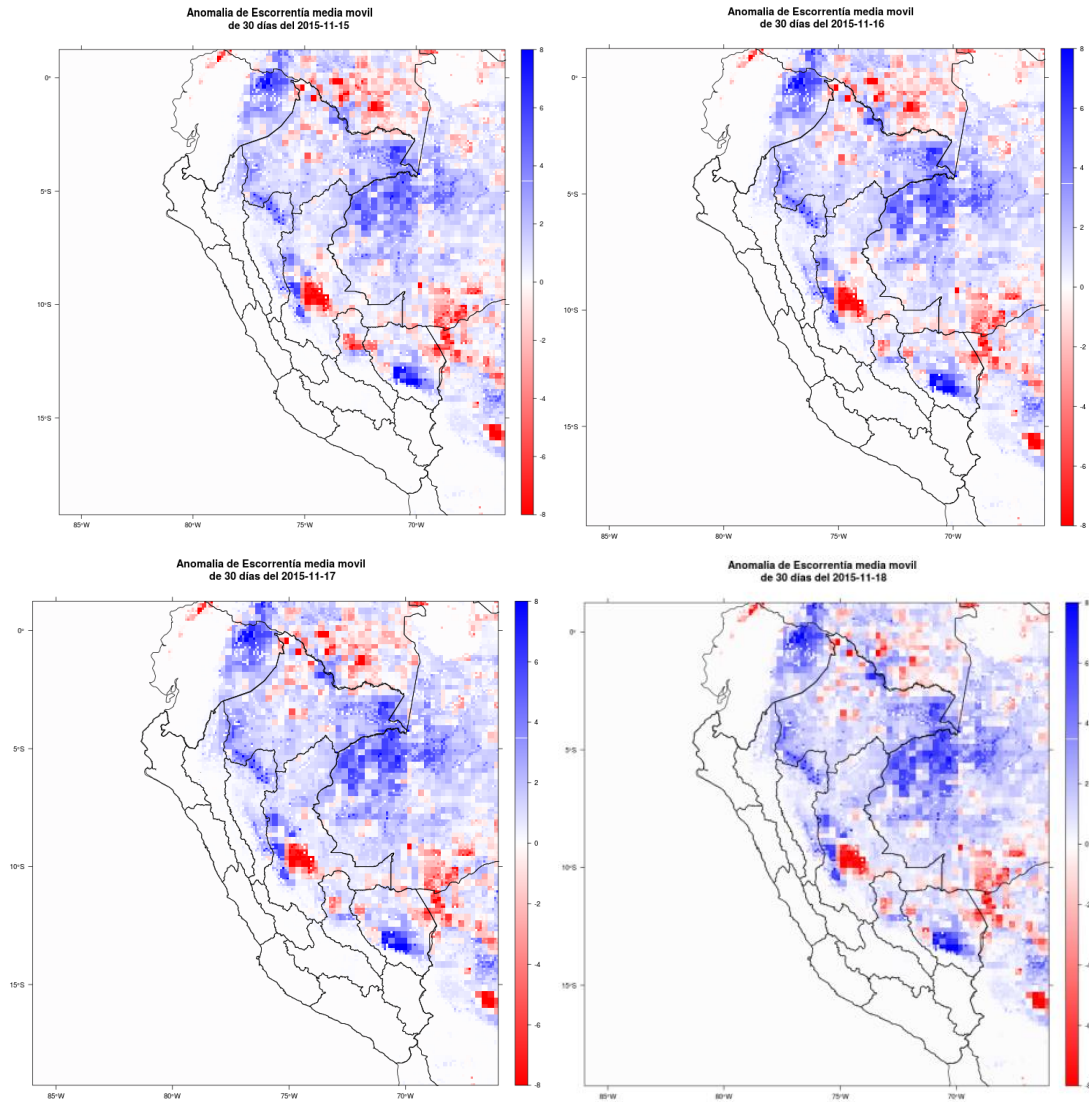
ANOMALIA CON MEDIA MOVIL CADA 5 DIAS



ANOMALIA CON MEDIA MOVIL CADA 15 DIAS



ANOMALIA CON MEDIA MOVIL CADA 30 DIAS



ANEXOS

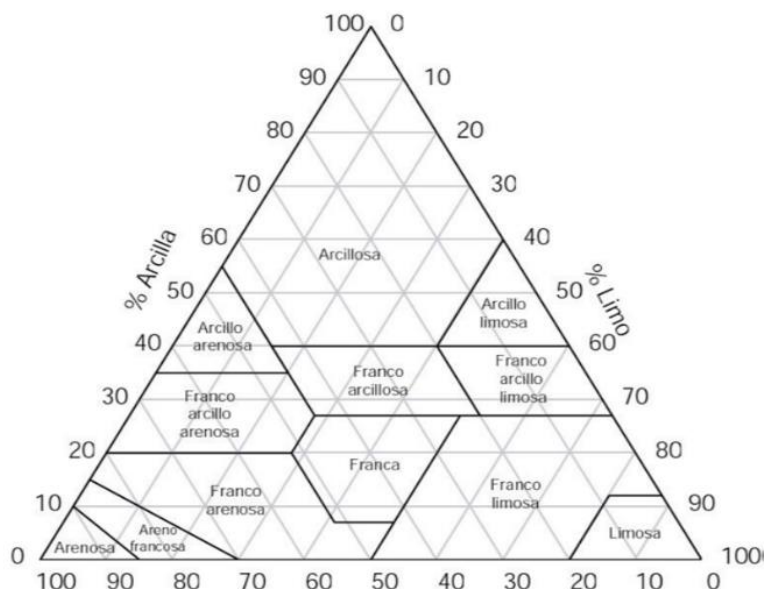


Figura 12: Clasificación de clases texturales por la metodología USDA

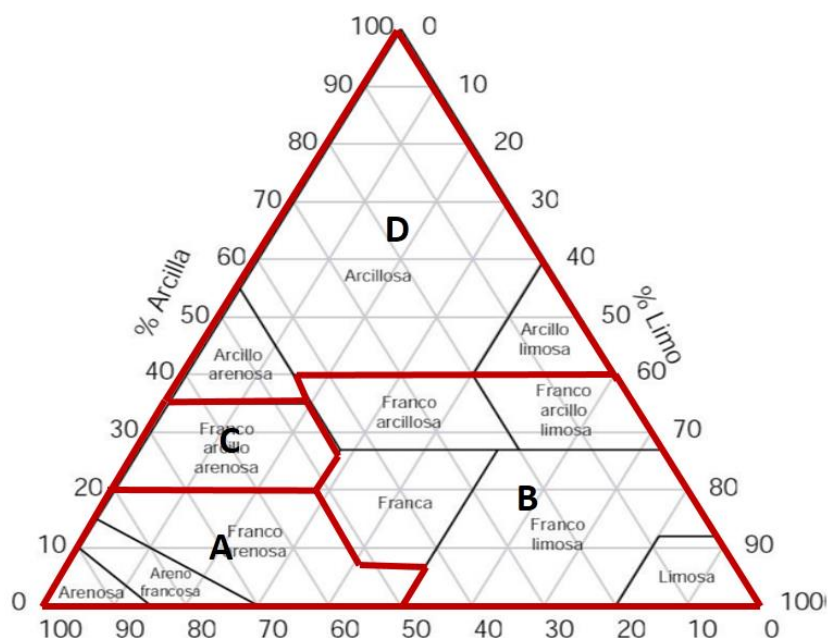


Figura 13: Grupos hidrológicos en línea roja

VI. BIBLIOGRAFIA

- Chen, J., Chen, J., Liao, A., Cao, X., Chen, L., Chen, X., He, C., Han, G., Peng, S., Lu, M., et al. (2015). Global land cover mapping at 30m resolution: A pok-based operational approach. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 103:7-27.
- Kiamehr, R. and Sjöberg, L. (2005). Effect of the SRTM global DEM on the determination of a high resolution geoid model: a case study in iran. *Journal of Geodesy*, 79(9):540-551.
- Heggen, R. J. (2001). Normalized antecedent precipitation index. *Journal of hydrologic Engineering*, 6(5), 377-381.
- Ludwig, R. and Schneider, P. (2006). Validation of digital elevation models from SRTM X-SAR for applications in hydrologic modeling. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 60(5):339-358.
- Nikolakopoulos, K. G., Kamaratakis, E. K., and Chrysoulakis, N. (2006). SRTM vs ASTER elevation products. Comparison for two regions in Crete, Greece. *International Journal of remote sensing*, 27(21):4819-4838.
- Reuter, H. I., Nelson, A., and Jarvis, A. (2007). An evaluation of void-filling interpolation methods for SRTM data. *International Journal of Geographical Information Science*, 21(9):983-1008.
- Satgé, F., Bonnet, M.-P., Timouk, F., Calmant, S., Pillco, R., Molina, J., Lavado-Casimiro, W., Arsen, A., Crétaux, J., and Garnier, J. (2015). Accuracy assessment of SRTM v4 and ASTER GDEM v2 over the altiplano watershed using Icesat/Glas data. *International Journal of Remote Sensing*, 36(2):465-488.
- Schumann, G., Matgen, P., Cutler, M., Black, A., Hoffmann, L., and Pfister, L. (2008). Comparison of remotely sensed water stages from Lidar, topographic contours and SRTM. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 63(3):283-296.
- Viessman, W and Lewis, G., (1996) "Introduction to Hydrology, 4th Edition ", Harper Collins College Publishers, New York