

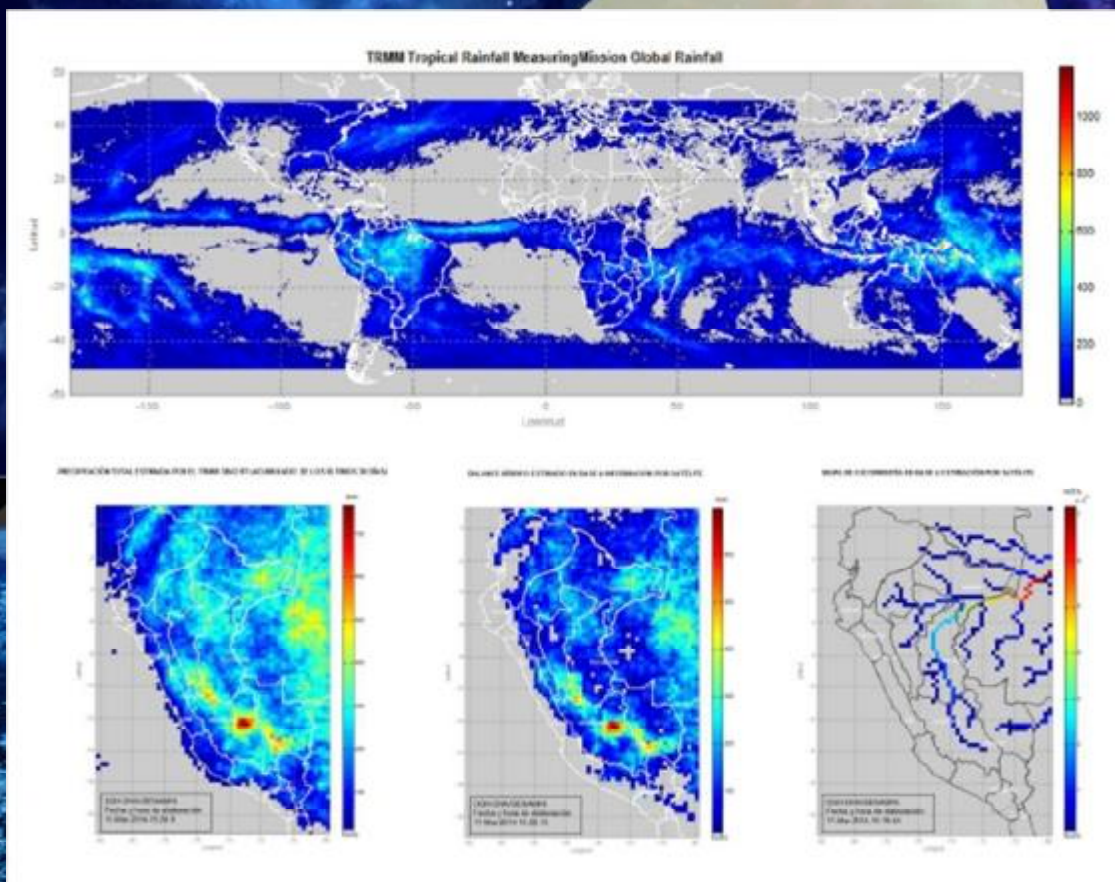


PERÚ

Ministerio del Ambiente

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI

GUÍA SINTÉTICA PARA LA ELABORACIÓN DE LOS MAPAS DIARIOS DE ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL A NIVEL NACIONAL BASADO EN PRODUCTOS SATELITALES - TRMM-ESCOR





PERSONAL DIRECTIVO

Ing. Amelia Díaz Pablo
Presidente Ejecutivo del SENAMHI

Ing. Esequiel Villegas Paredes
Director Científico del SENAMHI

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

PhD. Waldo Lavado Casimiro
Director de Hidrología Aplicada del SENAMHI

REVISOR DEL ESTUDIO

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

RESPONSABLE DEL ESTUDIO

Ing. Oscar Felipe Obando

Ing. Ever Risco Sence

Bach. Jesús Sosa Sarmiento

Lima-Perú
Diciembre - 2015

INDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	OBJETIVO	1
III.	ALCANCE	1
IV.	PRODUCTOS SATELITALES DE ESTIMACIÓN DE PRECIPITACIÓN.....	2
	4.1 SATÉLITE TRMM	2
	4.2 Precipitation Estimation from Remote Sensing Information using Artificial Neural Network – PERSIANN	6
	4.3 PERSIANN Cloud Classification System (CCS)	8
	4.4 Climate Prediction Center Morphing Method CMORPH.....	9
V.	MANIPULACIÓN DEL TRMM-ESCOR	12

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de los satélites de monitoreo ambiental y en particular los satélites meteorológicos ha venido evolucionando aceleradamente para el monitoreo de la atmósfera, el océano y los continentes. La mejora de la resolución espacial y temporal de las estimaciones de lluvia por satélite está permitiendo una mejora en el monitoreo y la Vigilancia hidrológica para la prevención de eventos extremos en cuencas no instrumentadas. Las aplicaciones hidrológicas del sensoramiento remoto a escala global es cada vez un recurso rutinario que usan los servicios hidrometeorológicos nacionales para la vigilancia de los Eventos hidrometeorológico extremos. El SENAMHI no es ajeno a esto avance y es por ello que la Dirección General de Hidrología y Recursos Hídricos, a través de su Subdirección de Hidrología Aplicada viene utilizando información satelital para la elaboración de diversos productos de monitoreo, como es el uso de la información de los productos del TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission), los cuales proporcionan estimaciones de lluvia en tiempo real.

Con el objetivo de aportar a la mejora del monitoreo de lluvias y del escurrimiento superficial que realizan las Direcciones Regionales del SENAMHI; la Dirección de Hidrología Aplicada, en el marco de la Meta de Elaboración de Guías, Protocolos, Manuales, ha elaborado un programa computacional en código Matlab denominado TRMM-ESCOR que permite manipular la información satelital del TRMM para obtener los mapas nacionales de Precipitaciones para diferentes acumulaciones, así como el Balance Hídrico superficial utilizando datos de evapotranspiración diaria obtenida por sensoramiento remoto convirtiendo finalmente la escorrentía acumulada del Balance hídrico superficial en caudales en cauces de los ríos.

II. OBJETIVO

Elaborar un Manual Técnico para la manipulación del programa TRMM-ESCOR para su uso operacional en el Monitoreo Hidrológico de la Escorrentía superficial a nivel nacional.

III. ALCANCE

Las salidas del programa TRMM-ESCOR proporciona mapas nacionales de precipitación acumulada de los últimos 30 días, evapotranspiración acumulada de los últimos 30 días, Balance Hídrico acumulado de los últimos 30 días y Escorrentía superficial acumulada de los últimos 30 días. El programa desarrollado tiene la capacidad de conexión directa al link de descarga de los datos satelitales.

IV. PRODUCTOS SATELITALES DE ESTIMACIÓN DE PRECIPITACIÓN

4.1 SATÉLITE TRMM

El satélite TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) fue lanzado al espacio en el año 1997 en una misión conjunta entre la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) y el JAXA (*Japan Aerospace and Exploration Agency*). El satélite TRMM fue el primer satélite con el objetivo específico de monitorear la precipitación tropical (Kummerow et al., 2000).

La órbita del satélite TRMM es de una órbita polar con una inclinación de 35° y con una altitud de 403 km (a partir del 2001) con un período de 92,5 minutos (cerca de 16 veces por día). Con esta órbita se consiguen resoluciones espaciales detalladas para capturar la variación del ciclo diurno de la lluvia tropical.

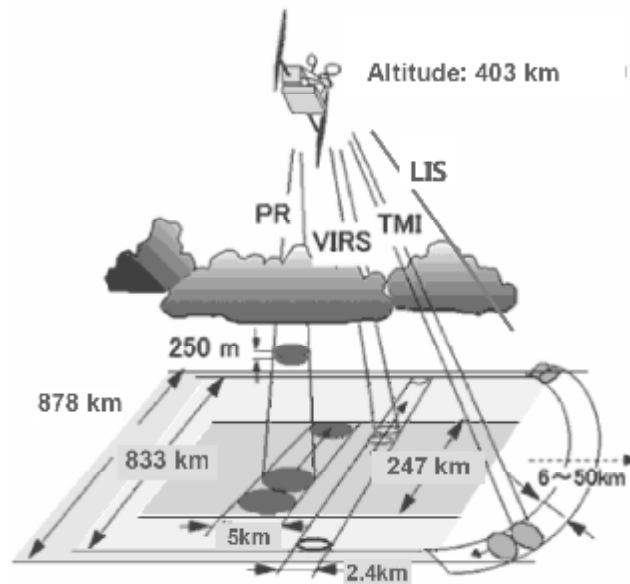


Figura 4.1. Representación esquemática del satélite TRMM y de los sensores que tiene a bordo.

Fuente: NASA (2011), Collischonn (2006).

A bordo del satélite TRMM existen diferentes sensores, para diferentes bandas espectrales. La 1 muestra los sensores a bordo del satélite y sus características son descritas a continuación:

- **TMI (*TRMM Microwave Imager*):** De imágenes microondas, es el principal sensor del satélite. El sensor cubre un área de vista de la superficie de la tierra (resolución espacial) que varía de 6 – 50 km, con un barrido de 878 km. Sirve para cuantificar el vapor de agua, agua precipitable y la intensidad de lluvia en la atmosfera por medio de la intensidad de radiación de la temperatura de brillo. El antecesor de TMI fue el SSM/I (sensor de microonda) operado por el satélite DMSP desde 1987 (TRMM, 2010; Joyce; 2001; Huffman et al. 2007).
- **PR (*Precipitation Radar*):** Este radar de precipitación construido por el JAXA es el primer radar a bordo de un satélite. Se diferencia de los otros sensores por ser activo, es decir, emite una radiación en longitud de onda de microondas, y mide la intensidad de la señal que retorna (reflexión) de las capas de la atmosfera. El radar cubre un área de vista de la superficie de la tierra de 5 Km (resolución horizontal) y resolución vertical de 250m. Este instrumento es capaz de producir imágenes tridimensionales (ver Figura 3) de la estructura de la tormenta, tipo de lluvia, profundidad de la tormenta y detecta razonablemente las tasas bajas de lluvia hasta del orden de $0,7 \text{ mm.h}^{-1}$ (TRMM, 2010; Huffman et al. 2007).
- **VIRS (*Visible and Infrared Radiometer System*):** Este radiómetro cubre un área de vista de superficie de la tierra de 2,4 km (resolución horizontal). Las imágenes de esta banda son capaces de delimitar las áreas de nubes gruesas con mayor probabilidad de precipitar. Además, es útil como referencia para otras medidas realizadas por los satélites POES y GOES (TRMM, 2010; Huffman et al. 2007).
- **TMPA**
TMPA es una estimación de lluvia basada en la información de varios satélites, entre ellos incluido el satélite TRMM. El TMPA acrónimo se refiere multisatélite TRMM Análisis Precipitación (Huffman et al. 2007). El TMPA genera dos tipos principales de productos: estimaciones en tiempo real (llamado RT - Tiempo Real) y estimados corregidos en base a los datos de pluviómetros (llamada Research). Los productos cuentan con campos globales de lluvia entre las latitudes 50° N a 50° S con una resolución espacial de $0.25 \times 0.25^\circ$.

Los productos TMPA se basan en dos informaciones principales. La primera fuente de datos es imágenes de microondas obtenidos por los satélites de

órbita polar y otras imágenes que están en la banda infrarroja (longitud de onda de cerca de 10,7 μ M) obtenida por los sensores a bordo de satélites geoestacionarios. Además de considerar, correcciones de estaciones terrenas en la base de datos GPCP (*Global Project Climatological Precipitation*) y CAMS (*Climate Assessment and Monitoring System*).

Los sensores de microondas pasivos utilizados por TMPA son:

- SSM / I (Sensor espacial Microwave / Imager), AMSR -E (Advanced Microwave Scanning Radiometer) del satélite AQUA,
- TMI (TRMM Microwave Imager) del satélite TRMM,
- AMSU (Advanced Microwave Sounding Unidad) NOAA
- MHS (Microondas Sounders de humedad) de la NOAA.

Todos ellos se convierten en la estimación de las precipitaciones TSDI (*TRMM Science Data and Information System*) con la versión del algoritmo GPROF (Kummerow et al., 1996). En caso de lluvia la estimación AMSU, la estimación es convertido por NESDIS (National Environmental Satellite Data and Information Service) con el algoritmo propuesto por Weng et al. (2003) con algunas modificaciones (Huffman et al 2007; Villa et al. 2007).

Los productos finales "*research*" del TMPA se nombran 3B43 y 3B42, y están elaborados en cuatro etapas que se indican a continuación (Ver Figura 3):

Se calculan estimaciones de precipitación de microondas de todas las fuentes de sensores satelitales. Estas estimaciones se ajustan a las lluvias estimadas junto con TMI (Microwave Imager) y PR (Precipitación Radar) del satélite TRMM. El producto final de esta etapa de precipitación se estima en la escala espacial de 0.25° x 0.25°.

- Las tasas de precipitación se calculan a partir de las temperaturas de brillo por CPC - IR y se combinan con la precipitación estimada a partir de la estimación de las microondas de la etapa anterior. El producto final de este paso es estimar la lluvia IR-microonda cada 3 horas y a la escala espacial de 0.25° x 0.25°.

En esta etapa se fusionan las estimaciones de microondas (primera etapa) e IR-microondas (segunda etapa). El resultado de esta combinación es poblar la estimación basada en los campos de microondas y en áreas donde carecen de información (fallas) se completan con las estimaciones de IR-microondas. El producto final de esta etapa es un producto resultante de la combinación de IR-microondas y microondas a una escala espacial de 0.25 x 0.25 ° cada 3 horas.

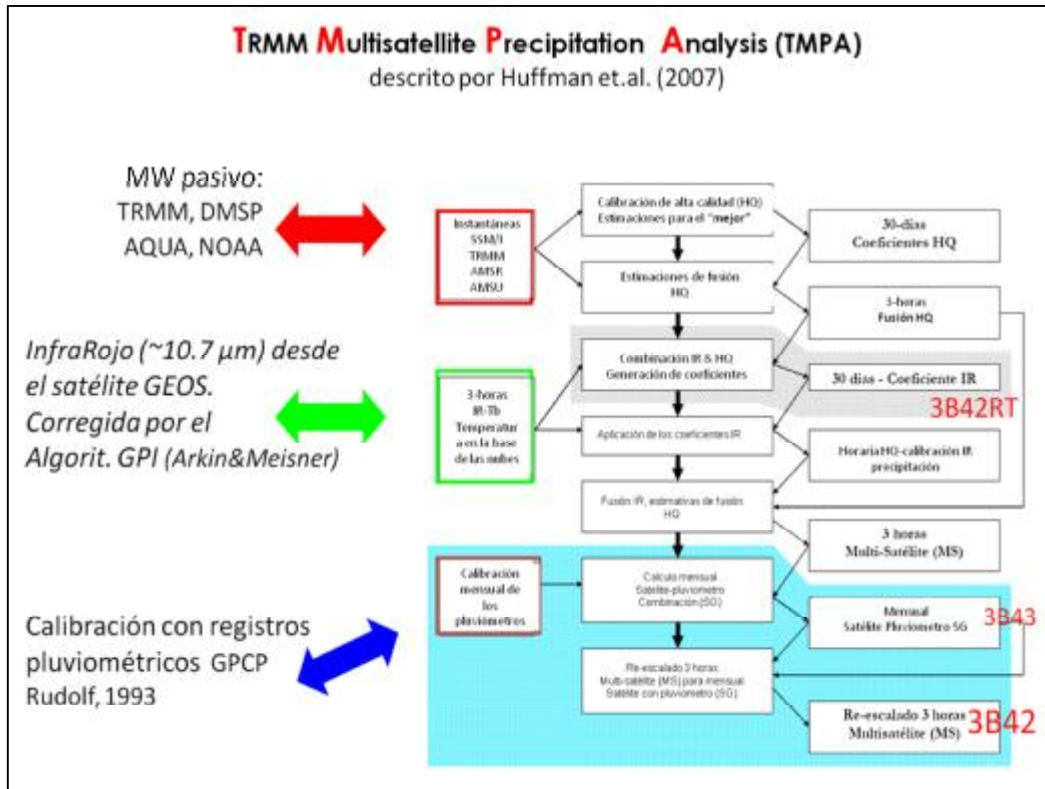


Figura 4.2. Etapas de elaboración de los productos "research" del TMPA.

Por último, una base de datos pluviométricos se integra a todo este proceso. Las estimaciones de la tercera etapa (fusionado microondas y IR- microondas) en 3 horas se agregan a un calendario mensual para la creación del producto multisatélite (MS). El producto MS y las estaciones de pluviómetros (GPCP) se combinan (Huffman et al., 1997) para crear precipitación mensual SG resultando el producto 3B43. El siguiente paso es generar un campo en la relación SG/MS sobre píxeles de 0.25 x 0.25 ° y re-escalarlo cada 3 horas produciendo el producto 3B42 versión 6, el algoritmo se describe con más detalle (Huffman et al., 1997).

Las cuatro etapas anteriores son los pasos de la estimación de lluvia para los productos de 3 horas (3B42) y para la precipitación mensual (3B43). La gran ventaja es que el algoritmo proporciona soluciones en alta resolución cubriendo de 50° S a 50° N. Por otro lado, el algoritmo es complejo y la cantidad de datos necesarios para generar el producto toma tiempo en su proceso, de forma que los datos no son disponible casi inmediatamente. Para llenar este vacío se elaboró un producto alternativo, siendo experimental y que está disponible casi en tiempo real llamado 3B42RT (Huffman et al., 1997).

El producto 3B42RT es experimental a escala temporal de 3 horas y a escala espacial de 0.25°. La composición de este producto sigue los pasos de la estimación del producto "research", con la diferencia de que las calibraciones realizadas para la estimación de la precipitación por microondas sólo se hace con TMI (Microwave Imager) y no con el PR (radar de precipitación) porque PR no está disponible en tiempo real (Huffman et al., 2007, Vila et al., 2009). Además de que el producto 3B42RT no considera pluviómetros para su corrección (la cuarta etapa no se tiene en cuenta).

Los datos de los productos TMPA están disponibles como archivos que se pueden acceder a través de Internet y contiene una serie dimensionada de lluvia de 1440 x 440 píxeles para cada escala de tiempo de 3 horas (o mensual, según sea el caso) la escala espacial es de 0.25 ° x 0.25 °. La Tabla 1 muestra los productos de precipitaciones TMPA, el 3B42 está disponible desde el 1 de enero de 1998. Los datos del producto 3B42RT están disponibles desde el 1 de octubre de 2008 en la página web de TOVAS <http://disc2.nascom.nasa.gov/Giovanni/tovas/>, para usuarios que requieren precipitación diaria se encuentra el 3B42RT derived , productos 3B40RT (HQ) y 3B41RT son estimaciones de lluvia basadas en las imágenes de microondas y rayos infrarrojos , respectivamente.

Tabla 1. Productos de precipitación del TMPA.

Producto	Descripción	Data Inicial
3B42	Lluvia cada 3 horas con combinación de múltiples fuentes de sensores de satélite	ene-98
3B42 derived	diaria acumulado de 0 UTC a 24UTC	ene-98
3B43	mensual con combinación de otras fuentes de sensores	ene-98
3B42RT	Producto experimental. cada 3horas	oct-08
3B42RT derived	Producto experimental lluvia acumulado 0 UTC a 24UTC	oct-08
3B40RT (HQ)	Producto experimental con base en microonda intermedia de 3-hr 0.25°x0.25°	oct-08
3B41RT	Producto experimental con base en infrarojo IR de 3 horas cada 0.25°x0.25°	oct-08

Fuente: TRMM (2010), <http://disc2.nascom.nasa.gov/Giovanni/tovas/> (2011).

4.2 Precipitation Estimation from Remote Sensing Information using Artificial Neural Network – PERSIANN

El desarrollo de la estimación de precipitación desde información de satélite usando redes neuronales artificiales está basada en tasas instantáneas de precipitación de los sensores de microonda para ajustar la función de mapeo de la imagen infrarrojo (IR) del

satélite GEO y tasa de lluvia. Las características de entrada de PERSIANN son extraídas desde la textura de la imagen local de onda larga de IR (10.2-11.2 μm) de GEO satélite. La función de mapeo de ANN usando onda larga (10.2-11.2 μm) IR para el mapeo de la lluvia es implementada por:

1. La extracción local de la textura de la imagen, en términos de calcular la media y varianza del brillo de temperatura del IR cercano.
2. Clasificación de la característica extraída.
3. Mapeo multivariado de textura de clasificación para la tasa de lluvia superficial.

Una característica de entrenamiento adaptativo facilita la actualización de los parámetros de las redes siempre que las estimaciones independientes de lluvias están disponibles (Hsu et al., 1997; Sorooshian et al., 2000).

Los parámetros de PERSIANN se actualizan constantemente cuando las precipitaciones basadas en PMW están disponibles (Ferraro y Marks, 1995; Hsu et al., 1997; Janowiak et al. 2001). El algoritmo PERSIANN estima intensidad de lluvia en cada pixel de $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ cada 30 minutos. La precipitación estimada se integra a diferentes escalas espaciales y temporales, tales como: de seis horas, diarias, mensuales, etc.

En la operación de PERSIANN, dos algoritmos se ejecutan en PERSIANN en paralelo: uno se ejecuta en el modo de simulación y el otro en el modo de actualización. El modo simulación genera la intensidad de lluvia en la superficie de resolución $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ en cada 30 minutos de las imágenes infrarrojas de satélite GEO, mientras que el método de actualización continuamente ajusta la función de asignación de parámetros PERSIANN basado en el error de ajuste de cualquier pixel para todo PMW de estimación de lluvia instantánea disponible. El modo de simulación genera la intensidad de lluvia regular, y la el modo actualización mejora la calidad del producto. La precisión del producto final, sin embargo, depende muchos factores como: la eficacia de la función de detección y el sistema de clasificación. La descripción de operación de PERSIANN se puede apreciar en la siguiente figura.

Imágenes IR son proporcionada por los satélites GEO, tales como GOES-8, el GOES-10, GMS-5, y METEOSAT-6 y 7 (Janowiak et al., 2001), mientras que la precipitación PMW se calcula a partir de la información proporcionada por los satélites TRMM, NOAA-15, -16, -17, DMSP F-13, F-14 y F-15 (Ferraro y Marks, 1995; Kummerow et al., 1998) que se utiliza para entrenar a los parámetros de asignación de PERSIANN.

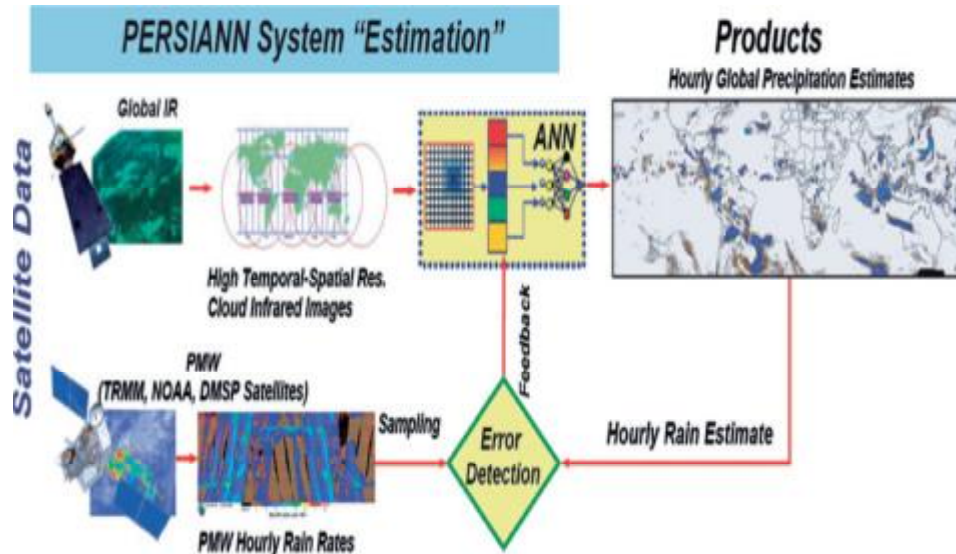


Figura 4.3. Estimación de lluvia mediante el sistema PERSIANN usando información de los satélites GEO y LEO.

4.3 PERSIANN Cloud Classification System (CCS)

Recientemente, el CHRS_UCI desarrolló una nueva versión del PERSIANN, el PERSIANN-CCS "*PERSIANN-Cloud Clasification System*". Que introduce la categorización de las nubes en base a la altura en el tope de la nube, geometría y textura, estimada a partir de imágenes de satélite para obtener intensidades de lluvia de diferentes nubes y resolución espacial de 0.04° (Hong et al., 2004; Hong et al., 2007; Kuo-lin et al., 2010).

PERSIANN-CCS consiste de cuatro pasos importantes:

1. Segmentación de imágenes de nubes IR.
2. Extracción de características desde parches de nubes IR
3. Clasificación de elementos de parche,
4. Estimación de la precipitación.

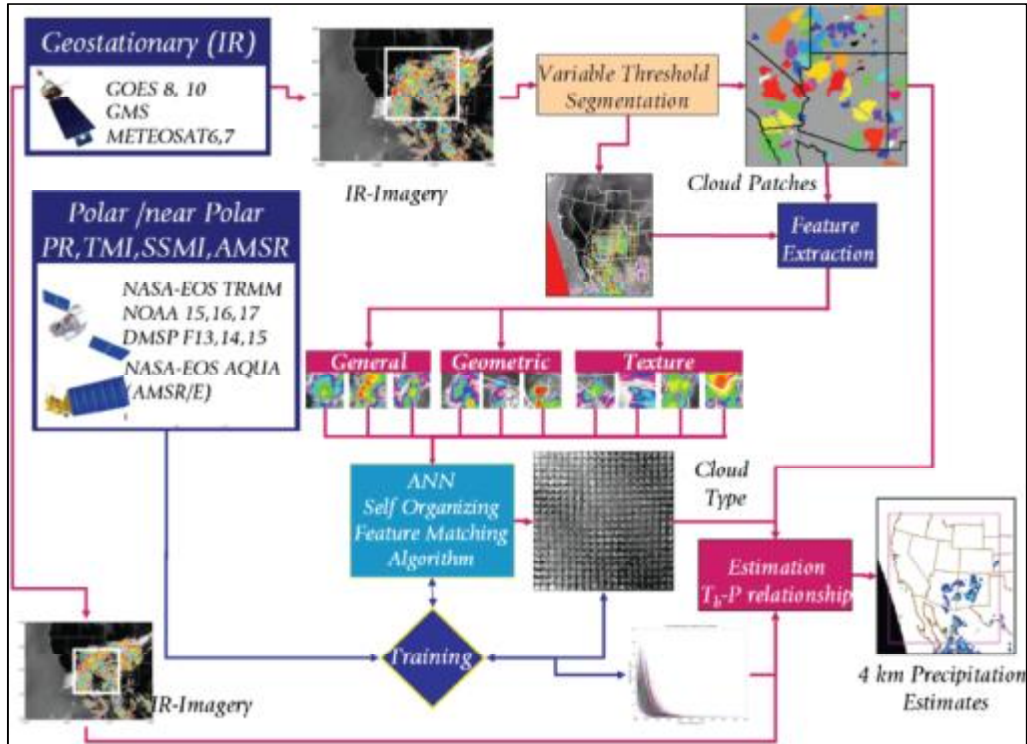


Figura 4.4. Extracción de información, clasificación y estimación de lluvia del algoritmo PERSIANN-CCS.

4.4 Climate Prediction Center Morphing Method CMORPH

CMORPH es un producto que proporciona estimación de lluvia por satélite principalmente de imágenes de sensores de microonda a partir de satélites de órbita polar. Las imágenes de sensores de infrarrojo son usadas por el algoritmo de CMORPH para propagar la velocidad y dirección de las nubes por medio de matrices de propagación. Este producto proporciona estimaciones de lluvia espacial en los meridianos de 60°N hasta 60°S, en escala espacial con grillas de 0.0727°x0.0727° y 0.25°x0.25° en escalas temporales de media hora y 3 horas, disponibles a partir de diciembre de 2002 hasta la actualidad (Joyce et al. 2004).

La resolución espacial de 0.0727° (~8 km en la línea ecuatorial) es concordante con las diferentes resoluciones de los sensores de satélites geoestacionarios (4 km para GOES, 5 km para Meteosat IR y 13 km para los sensores de AMSU-B y SSM/I), adecuada para representar la propagación de los sistemas de nubes en incrementos de media hora. Por otra parte, las estimaciones de lluvia desde imágenes de microonda son obtenidas en combinación de todos los sensores de satélites polares (TMI, SSM/I y AMSU-B) (Joyce et al. 2004).

Las imágenes de infrarrojo muestran sistemas de nubes y movimientos que son usadas para realizar la propagación de las imágenes de microonda con mayor exactitud por su resolución espacial más refinada. El método que utiliza CMORPH para detectar los sistemas de nubes es el CSAV (Cloud System Advection Vector) que consiste en detectar los movimientos de nubes (dirección y velocidad) a partir de imágenes de satélites de órbita geoestacionaria. Finalmente, el método CMORPH estima lluvia con ponderación de propagación efectuada con lluvia derivada de sensores básicamente de microonda, considerando el tiempo (Joyce et al. 2004).

La técnica “Morphing” incorpora estimaciones de lluvia derivadas de sensores de microondas pasivos a bordo de los satélites DMSP-13, 14 y 15 (sensor SSM/I), NOAA-15, 16, 17 y 18 (sensor AMSU-B), Aqua (sensor AMSR-E) y TRMM (sensor TMI). Estas estimaciones son generadas por los algoritmos de Ferraro (1997) para el sensor SSM/I, Ferraro et al. (2000) para el sensor AMSU-B y Kummerow et al. (2001) para el sensor TMI. Esta técnica no es un algoritmo de estimación de la lluvia sino un medio por el que se combina datos de lluvias existentes de sensores de microondas, por tanto se puede incorporar nuevos datos de lluvia de sensores de microondas.

Tabla 2: Características del sensor pasivo de microonda PMW asociado a los satélites usados en CMORPH

Sensor	Spatial resolution (footprint at ~85 GHz) (km)	Observing time (ascending orbit)	Frequencies (GHz)	Altitude (Km)
TMI	4.6 × 6.9	Precessing orbit	10, 19, 21, 37, 85	403 ^a
SSM/I (F-13)	13 × 15	18:11	19, 22, 37, 85	830
SSM/I (F-14)	13 × 15	20:30	19, 22, 37, 85	830
SSM/I (F-15)	13 × 15	21:32	19, 22, 37, 85	830
AMSR-E (Aqua)	6 × 4	13:30	7, 11, 19, 24, 37, 89	705
AMSU-B (N-15)	15 × 15 ^b	18:58	89, 150, 183	830
AMSU-B (N-16)	15 × 15 ^b	13:57	89, 150, 183	830
AMSU-B (N-17)	15 × 15 ^b	22:08	89, 150, 183	830

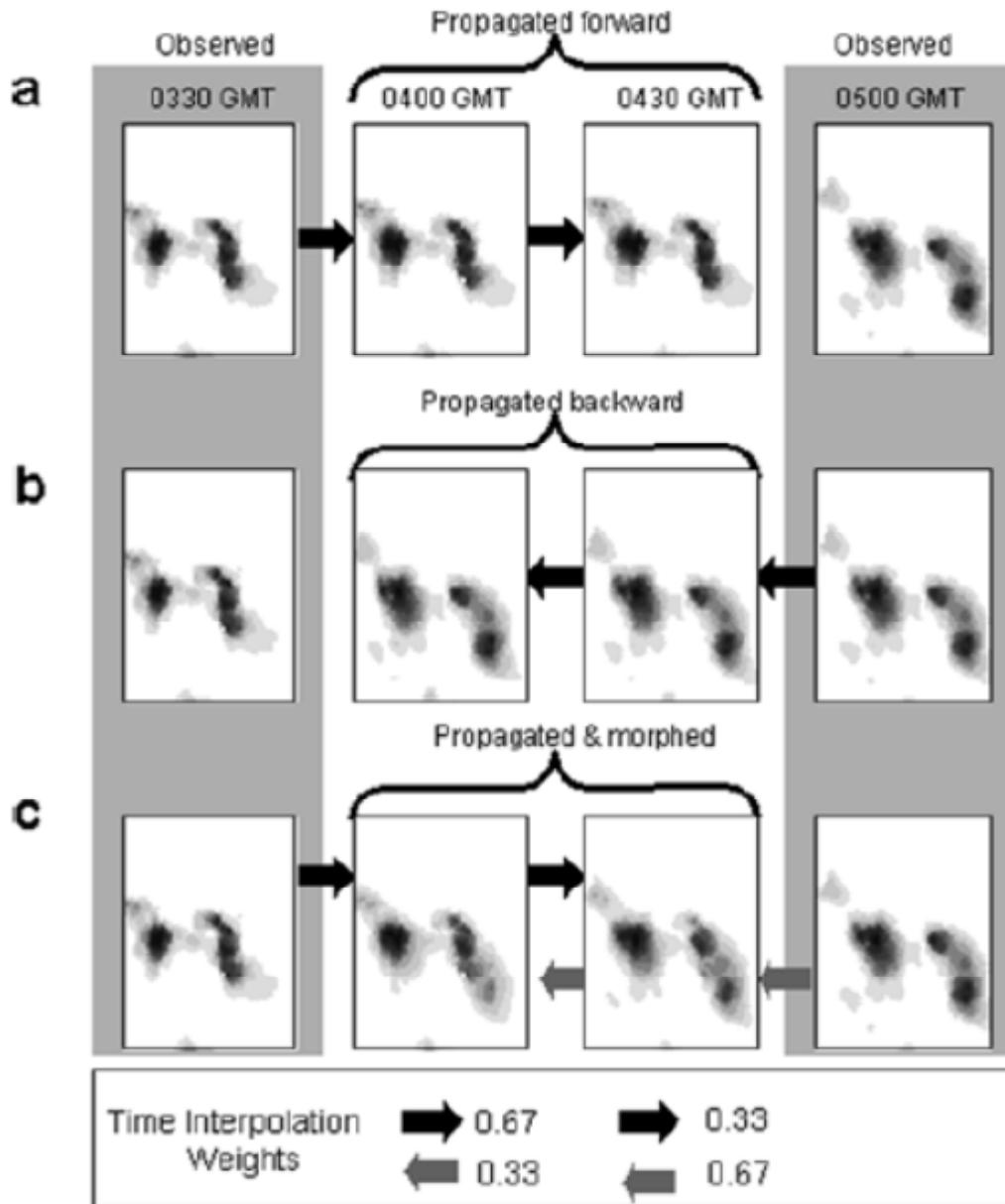
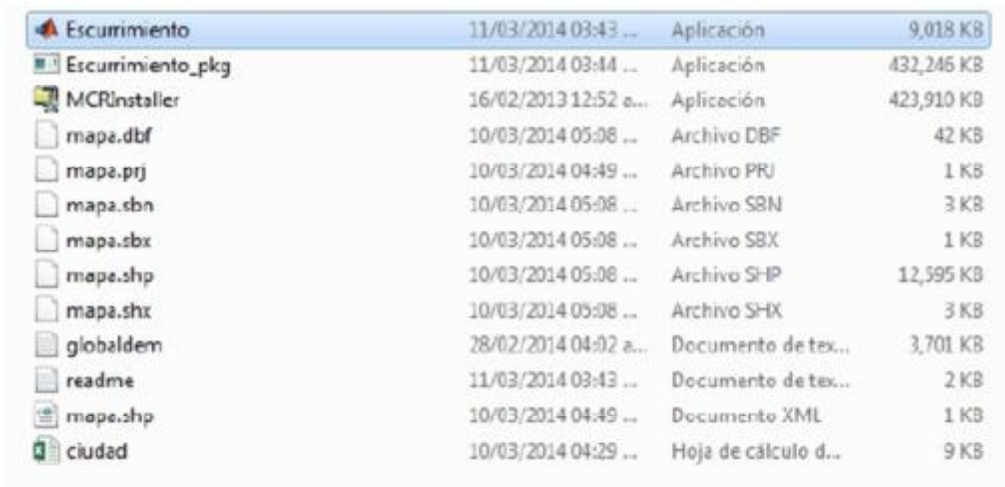


Figura 4.5: Ejemplo del proceso CMORPH. (a) Propagación hacia adelante en el tiempo. (b) Propagación hacia atrás en el tiempo. (c) Propagado y transformado. Los pesos de interpolación de tiempo son los pesos asignados a las imágenes correspondientes y direcciones de propagación.

5.3. Ejecutar el programa Esgurrimiento.exe que se encuentra en la carpeta “Esgurrimiento”.

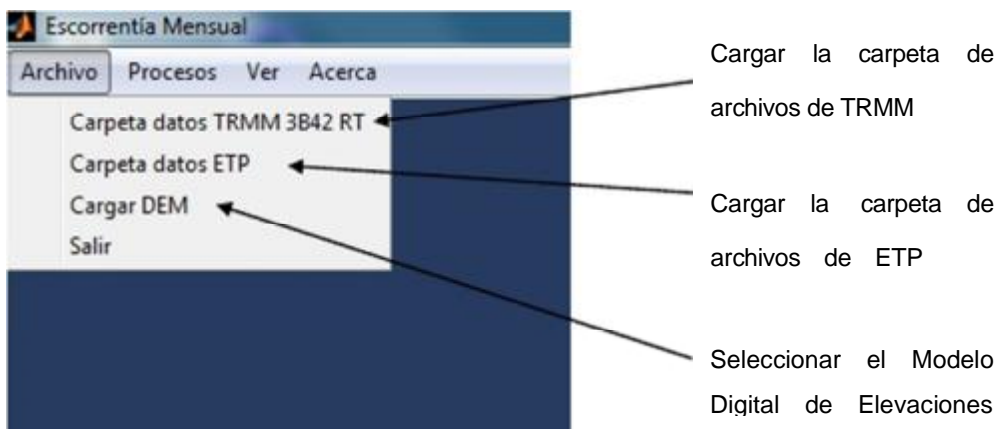


Nombre	Fecha y hora	Extensión	Tamaño
Esgurrimiento	11/03/2014 03:43 ...	Aplicación	9,018 KB
Esgurrimiento_pkg	11/03/2014 03:44 ...	Aplicación	432,246 KB
MCRInstaller	16/02/2013 12:52 a...	Aplicación	423,910 KB
mapa.dbf	10/03/2014 05:08 ...	Archivo DBF	42 KB
mapa.prj	10/03/2014 04:49 ...	Archivo PRJ	1 KB
mapa.sbn	10/03/2014 05:08 ...	Archivo SBN	3 KB
mapa.sbx	10/03/2014 05:08 ...	Archivo SBX	1 KB
mapa.shp	10/03/2014 05:08 ...	Archivo SHP	12,595 KB
mapa.shx	10/03/2014 05:08 ...	Archivo SHX	3 KB
globaldem	28/02/2014 04:02 a...	Documento de tex...	3,701 KB
readme	11/03/2014 03:43 ...	Documento de tex...	2 KB
mapa.shp	10/03/2014 04:49 ...	Documento XML	1 KB
ciudad	10/03/2014 04:29 ...	Hoja de cálculo d...	9 KB

5.4. Una vez iniciado el programa el primer paso es configurar las carpetas de almacenamiento de datos TRMM, ETP y DEM.

Configuración de carpetas:

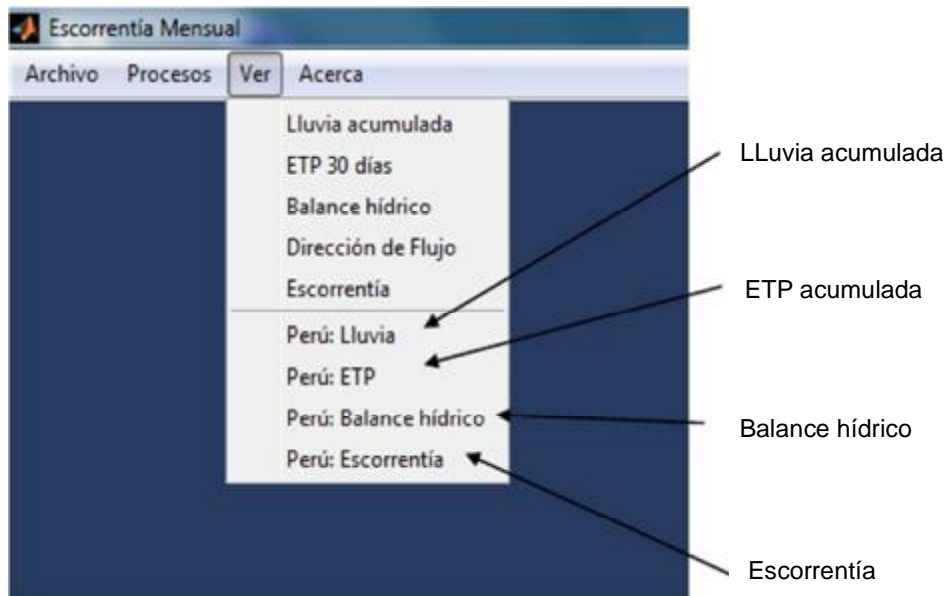
- § *Establecer carpeta de datos TRMM*, seleccionar el menú Archivo /Carpeta datos TRMM 3B42 RT
- § *Establecer carpeta de datos ETP*, seleccionar el menú Archivo /Carpeta datos ETP
- § *Establecer archivo del modelo digital de elevaciones*, seleccionar el menú Archivo/Cargar DEM



5.5. Para realizar los procesos para la obtención del escurrimiento seleccionamos el menú Procesos.

Procesos:

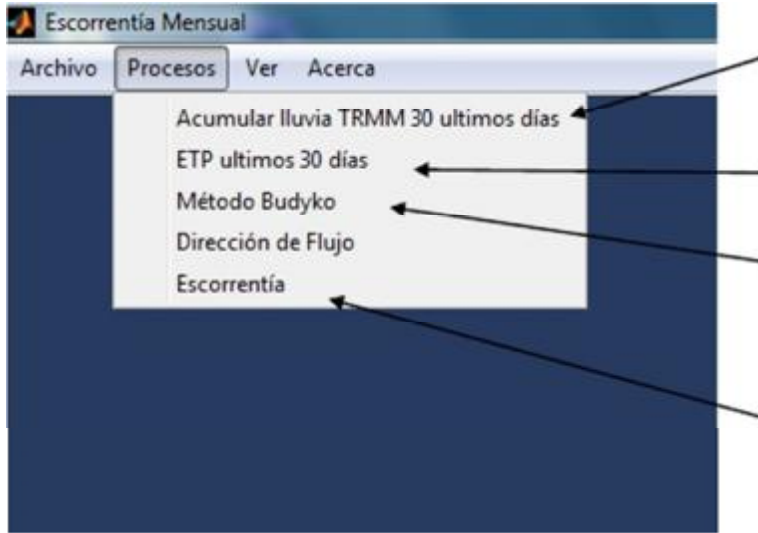
- § *Acumular lluvia de los últimos 30 días*, seleccionar el menú Procesos /Acumular lluvia TRMM 30 últimos días.
- § *Evapotranspiración de los últimos 30 días*, seleccionar el menú procesos /ETP últimos 30 días.
- § *Realizar el balance hídrico*, seleccionar el menú Procesos/Método Budyko
- § *Generar la escorrentía*, seleccionar el menú Procesos/Escorrentía



5.6. Para ver los mapas generados en el proceso seleccionar el menú Ver.

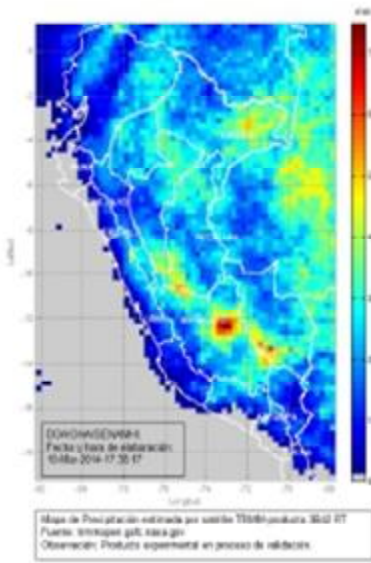
Ver:

- § *Lluvia*, seleccionar el menú Ver /Perú: Lluvia.
- § *Evapotranspiración*, seleccionar el menú Ver/Perú: ETP.
- § *Balance hídrico*, seleccionar el menú Ver/Balance hídrico.
- § *Escorrentía*, seleccionar el menú Ver/Perú: Escorrentía

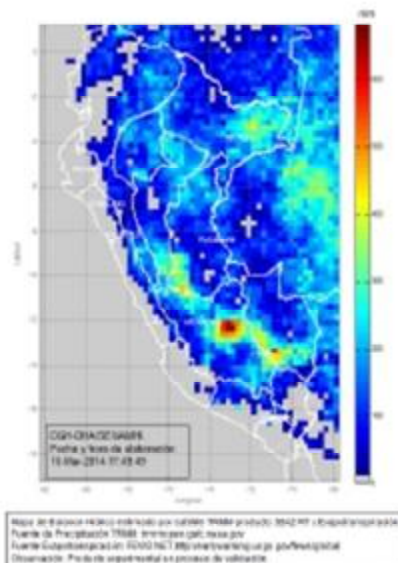


Para el resultado final se puede añadir un título y editar una pequeña descripción para obtener mejor presentación. El resultado de los mapas finales se muestra a continuación:

PRECIPITACIÓN TOTAL, ESTIMADA POR EL TRMM INICIANDO ACUMULADO DE LOS ÚLTIMOS 30 DÍAS



BALANCE HÉRCIDO ESTIMADO EN BASE A INFORMACIÓN POR SATELITE



MAPA DE ESCURRIMIENTO EN BASE A ESTIMACIÓN POR SATELITE

