



Factibilidad del uso de bases de datos climáticos para seguros de índice en América Latina

Publicación 2.0.0

IRI, Earth Institute, Columbia University

07 de December de 2015

1. Texto Preliminar	1
1.1. Fuentes de Financiamiento	1
2. Factibilidad del uso de bases de datos climáticos para seguros de índice en América Latina	3
2.1. Presentación	3
2.2. Productos climatológicos en América Latina	3
2.3. Productos climatológicos operativos en América Latina	8
2.4. Datos en cuadrícula interpolados de estaciones pluviométricas	8
2.5. Combinación de estimaciones satelitales con observaciones pluviométricas	10
2.6. Productos de estimaciones satelitales de precipitaciones	13
2.7. Índices de Vegetación Satelitales	18
2.8. Productos de estimación de la humedad de la Tierra	18
2.9. Conclusión	20
3. Recursos adicionales	23
4. Referencias	25

Texto Preliminar

Si tiene alguna pregunta por favor contactar a: Daniel Osgood (deo@iri.columbia.edu)



1.1 Fuentes de Financiamiento

Este reporte es producto de un proyecto del verano 2015 de la Maestría en Clima y Sociedad de la Universidad de Columbia. Estos materiales fueron contruidos a partir de un conjunto mayor de materiales educacionales. Los materiales han sido desarrollados gracias a generoso apoyo del pueblo Americano a traves de la Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID, por sus siglas en inglés). Las fuentes de financiamiento incluyen a la Fundación Syngenta, Oxfam America, la Fundación Rockefeller y Organización Internacional del Trabajo de las Naciones Unidas (OIT) Fondo de Innovación en Microseguros. Adicionalmente, los materiales educacionales han sido financiados por el CGIAR Programa de Investigación sobre Cambio Climatico, Agricultura y Seguridad Alimentaria (CCAFS, por sus siglas en inglés), que es una asociación estratégica de CGIAR y Future Earth.

Estos materiales han sido apoyados por USAID y ejecutado por el Programa conjunto de NASA / USAID SERVIR bajo el contrato NNH12AA54C. La Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de EE. UU. (NOAA, por sus siglas en inglés), quienes brindaron su apoyo en virtud de un acuerdo de cooperación NA050AR431104. Fuentes de financiación adicionales incluyen acuerdos de cooperación de la Fundación Nacional de Ciencia de Estados Unidos NSF-SES 0345840 y NSF-SES 0951516 con el Centro para la Investigación sobre Decisiones Ambientales (CRED, por sus siglas en inglés). El apoyo también llegó desde el Instituto de la Tierra, y el Centro de Estadística Aplicada en la Universidad de Columbia. Algunos materiales utilizan la información proporcionada por la biblioteca de datos IRI y la herramienta Tiempo Índice Seguro Educativo (WIIET, por sus siglas en inglés), financiado en parte por el Banco Mundial Agrícola de Gestión de Riesgos (ARMT), y todos los países del Programa ACP de productos básicos agrícolas de la UE (AAACP). Agradecemos la retroalimentación de los socios y partes interesadas del proyecto, en particular la Sociedad de Socorro de Tigray (REST), Institut Pertanian Bogor (IPB) y Desarrollo Rural Dominicana Económico (Fundación REDDOM). Además, agradecemos el trabajo de los estudiantes de la Maestría en Arte en Clima y Sociedad de la Universidad de Columbia. El contenido de los documentos educativos son responsabilidad del IRI y no reflejan necesariamente las opiniones de los financiadores y socios aquí reconocidos.

Factibilidad del uso de bases de datos climáticos para seguros de índice en América Latina

El objetivo de este reporte es explorar la factibilidad del uso de productos climatológicos, tanto satelitales como basados en estaciones meteorológicas, en seguros de índice en América Latina. Así mismo, busca analizar su aplicabilidad y describir sus características específicas que puedan afectar su uso en un contexto de aseguramiento.

2.1 Presentación

Para diseñar un seguro de índice climático se necesitan tanto medidas actuales, como observaciones históricas del nivel de precipitación en una región. Inicialmente, las redes de estaciones pluviométricas eran la base de la mayoría de los programas pilotos para este tipo de seguros. Es por esto que en este reporte se exploran estas redes a lo largo de América Latina, desde México hasta Chile. Sin embargo, su distribución en esta región tiende a ser muy dispersa y desigual, con la mayoría de las estaciones ubicadas en ciudades, pueblos y aeropuertos, y no en tierras agrícolas. Esta limitación impide la escalabilidad del seguro ya que éste sólo puede realizarse en lugares donde se cuenten con mediciones actuales e históricas. Para superar esta barrera, se pueden usar datos satelitales que cuentan con periodos largos de observaciones y cubren la totalidad del planeta.

Existen varios tipos de productos derivados de observaciones satelitales, todos ellos con sus fortalezas y debilidades. Este reporte se enfoca en tres categorías: estimaciones satelitales de lluvia, combinaciones de estimaciones satelitales con estaciones pluviométricas y estimaciones de la abundancia vegetativa.

Los satélites han permitido la expansión de los seguros de índice a lo largo del planeta. Sin embargo, sus observaciones pueden diferir con las mediciones terrestres, por lo que no pueden ser aplicadas indiscriminadamente sobre cualquier superficie. Este reporte busca evaluar la factibilidad del uso de bases de datos en los seguros climatológicos. Cada producto puede aportar información nueva acerca de las condiciones de la tierra. Por ejemplo, un índice de vegetación puede identificar aquellas locaciones en las que las estimaciones de lluvia satelitales estén capturando de manera correcta (o incorrecta) los años de pérdidas agrícolas por causa de un choque climático.

2.2 Productos climatológicos en América Latina

En este reporte se analizan dos tipos de información espacial: 1) observaciones en estaciones meteorológicas; 2) datos en cuadrícula en un rango de tamaños de píxeles. Los datos en cuadrícula pueden ser divididos en tres categorías: estimaciones satelitales, combinación de estimaciones satelitales con estaciones pluviométricas y datos interpolados de estaciones meteorológicas.

Un factor clave de los productos climatológicos para su uso en los seguros de índice es la frecuencia temporal de las observaciones. Las observaciones pluviométricas actuales se utilizan para el cálculo de los pagos, y las series históricas son necesarias para diseñar el seguro y calcular su precio. Por esto, resulta importante contar con un historial

significativo de observaciones (en general se recomiendan mínimo 15 años), así como tener la certeza de que los productos continuarán operando en el futuro. Aquellos productos climatológicos que no se encuentran en operación no pueden ser usados para calcular los pagos de los seguros, pero resultan valiosos para compararlos con las observaciones de los productos activos. Es por esto que el reporte incluye un lista de los productos climatológicos inactivos. Otros factores importantes de los productos para su uso en los seguros son la resolución espacial y la exactitud de sus mediciones.

Históricamente, las redes de estaciones pluviométricas actuaron como la base de la mayor parte de los programas pilotos de este tipo de seguros, debido a su relación directa con las condiciones en terreno. Éstas estaciones resultan una buena fuente de información cuando su ubicación coincide con la región que se busca asegurar. Sin embargo, en los países en desarrollo, la distribución de las estaciones pluviométricas tiende a ser dispersa y desigual. Esto dificulta su uso en proyectos de aseguramiento a gran escala. Además, las estaciones pluviométricas dependen del mantenimiento manual, lo que puede resultar en errores de medición como la falta de datos o la manipulación de los mismos. Esto puede afectar la calidad de las series de tiempo.

La lluvia puede variar significativamente en escalas pequeñas, en particular en regiones con características geográficas y climatológicas muy complejas. Por esto, es importante contar con información que refleje la realidad de la tierra de la mejor manera posible en el área de aseguramiento, para poder reducir la probabilidad del riesgo de base [#1]. Si la resolución de los datos meteorológicos es muy gruesa, se puede perder la variabilidad local al agregar la información, y dificultar el diseño del índice. Por otro lado, si la resolución es muy fina, se puede perder el impacto de un evento regional. Es por esto que resulta crucial encontrar el balance entre estas características para poder contar con un índice exacto y confiable.

..[#1] El riesgo de base en un seguro de índice ocurre cuando algún pago se realiza sin que el evento meteorológico haya sucedido; o cuando el evento ocurre sin que se realice ningún pago. Ambos tipos de riesgos son significativos y pueden afectar al seguro.

2.2.1 Estaciones pluviométricos

Un problema predominante cuando se usan productos pluviométricos en los seguros con base en índice, es la distribución de las estaciones. En América Latina y otros países en desarrollo, ésta es muy dispersa y tiende a concentrarse en ciudades y aeropuertos y no en tierras agrícolas donde las medidas son más útiles. Además, aún si se instalaran suficientes estaciones para resolver este problema, no se contaría con la información histórica necesaria para contribuir al diseño y el cálculo de los precios de los seguros.

No todas las agencias meteorológicas tienen información pluviométrica disponible en línea, aunque en la mayoría de ellas se puede solicitar a cierto precio. NOAA cuenta con una base de datos en línea, en la cual se puede ordenar información de algunas de las estaciones activas de un número considerable de países. (Para obtener los enlaces de las agencias meteorológicas de los diferentes países, referirse a los Recursos Adicionales).

2.2.2 Productos climatológicos en cuadrícula

En este reporte se presentan tres tipos de productos climatológicos en cuadrícula: 1) estimaciones satelitales; 2) combinaciones de estimaciones satelitales con estaciones pluviométricas; 3) datos interpolados de estaciones meteorológicas.

La Tabla 2.1 muestra los productos climatológicos en cuadrícula que se encuentran en operación actualmente, y que este reporte considera útiles para los esquemas de aseguramiento por índice. En las Secciones 2.4 – 2.8 se presenta un análisis detallado de cada uno de ellos.

En la Tabla 2.2 se observa una lista histórica de productos climatológicos que pueden ser utilizados para validar los índices desarrollados con productos que se encuentran en operación actualmente. Una vez más, cabe recalcar la importancia de comparar las variables climáticas medidas por diferentes sensores, para poder obtener la medida más exacta de los fenómenos que ocurren en la tierra. A pesar de que estos productos ya no se encuentran en operación, resultan útiles para entender y confirmar los fenómenos ambientales.

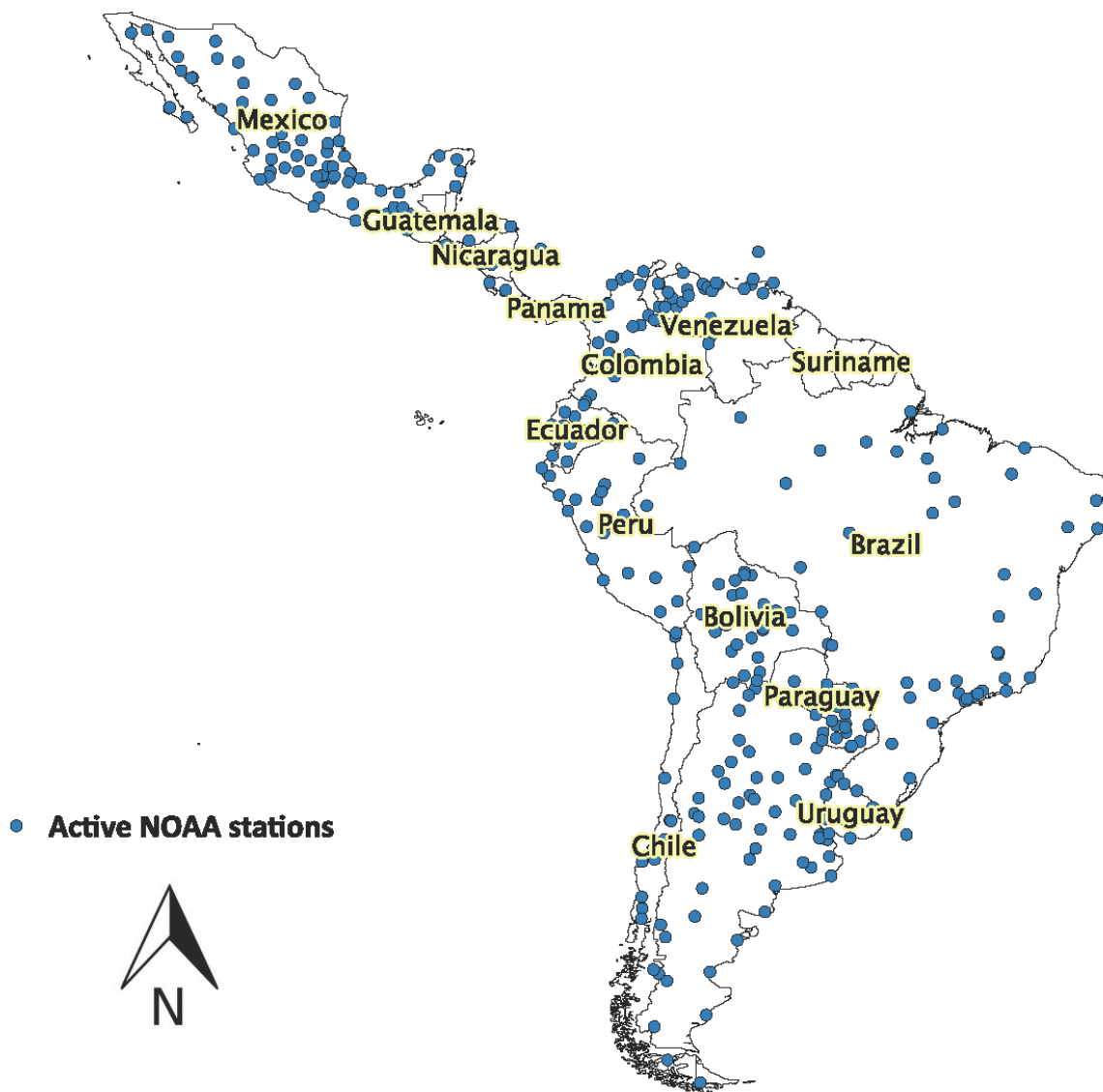


Figura 2.1: Estaciones meteorológicas activas en América Latina disponibles en NOAA

Tabla 2.1: Productos climatológicos en cuadrícula operativos

Sigla	Pro- duc- tor	Descripcion	Ini- cio	Resolu- cion Temporal	Tiempo de Re- porte	Cobertura	Resolu- cion Espa- cial
NOAA NCEP CPC PRECL	NOAA- CPC	Precipitaciones en cuadrícula interpoladas de estaciones meteorológicas	1948	Mensual	1 mes	Global	0.5 grados (~50 km)
NOAA NCEP CPC UNI- FIED_PRCP	NOAA- CPC	Precipitaciones en cuadrícula interpoladas de estaciones meteorológicas	1979	Diario	1 día	Global	0.5 grados (~50 km)
CAMS-OPI	NOAA- CPC	Combinación de estimaciones satelitales y estaciones meteorológicas	1979	Mensual	1 mes	Global	2.5 grados (~250 km)
CHIRPS v2p0	UCSB	Combinación de estimaciones satelitales y estaciones meteorológicas	1981	Diario	3 weeks	50S-50N / todas las longitudes	0.05 grados (~5 km)
GPM	NA- SA	Estimaciones satelitales de precipitaciones	2014	30 minutos, Diario	6 horas	90S-90N / todas las longitudes	0.1 grado (~10 km)
CMORPH	NOAA- CPC	Estimaciones satelitales de precipitaciones	2002	30 minutos, 3-hourly, Diario	24 horas	60N-60S / todas las longitudes	0.25 grados (~25 km)
CMAP - Monthly	NOAA- CPC	Combinación de estimaciones satelitales y estaciones meteorológicas	1979	Mensual	2 meses	Global	2.5 grados (~250 km)
GPCP V2p2	NA- SA	Combinación de estimaciones satelitales y estaciones meteorológicas	1979	Mensual	5 meses	Global	2.5 grados (~250 km)
CHIRP v1p0	UCSB	Estimaciones satelitales de precipitaciones	1981	Dekadal	2 días	50S-50N / todas las longitudes	0.05 grados (~5 km)
GPCP V1DD V1p2	NA- SA	Estimaciones satelitales de precipitaciones	1996	Diario	2 meses	Global	1 grado (~100 km)
EVI MODIS	NA- SA	Estimaciones satelitales de la abundancia de vegetación	2000	16 días	15 días	Global	250 m
NDVI MODIS	NA- SA	Estimaciones satelitales de la salud de la vegetación	2000	16 días	15 días	Global	250 m
ESA CCI SM	ESA	Estimaciones satelitales de humedad de la tierra	2014	Diario	no en línea	Global	0.25 grados (~25 km)
GMSM	NOAA- CPC	Estimaciones de humedad de la tierra en base a modelo hidrológico	1948	Mensual	1 mes	Global	0.5 grados (~50 km)

Tabla 2.2: Productos climatológicos en cuadrícula históricos

Sigla	Produc- tor	Descripción	Periodo de registro	Resolu- cion Tempo- ral	Cobertura	Reso- lucion Espa- cial
NOAA NCEP CPC REGIONAL SA daily gridded prep	NOAA- CPC	Precipitaciones en cuadrícula interpoladas de estaciones meteorológicas	2 ene 2000 - 15 ene 2012	Diario	Norte America: 10N-60N / 140W-60W	0.25 grados (~25 km)
TRMM	NASA	Estimaciones satelitales de precipitaciones	1998 - 2013	Diario	50N - 50S / todas las longitudes	0.25 grados (~25 km)
VASCLimO	German Weather Service	Precipitaciones en cuadrícula interpoladas de estaciones meteorológicas	ene 1951 - dic 2000	Mensual	Global	0.5 grados (~50 km)
CRU TS3p21	Univer- sity of East Anglia	Precipitaciones en cuadrícula interpoladas de estaciones meteorológicas	ene 1901 - dic 2012	Mensual	Global	0.5 grados (~50 km)
UNAM gridded	UNAM	Precipitaciones en cuadrícula interpoladas de estaciones meteorológicas	1901 - 2002	Mensual	USA / Mexico / America Central	0.5 grados (~50 km)
WCRP GCOS GPCC FDP	WCRP	Precipitaciones en cuadrícula interpoladas de estaciones meteorológicas	ene 1901 - dic 2012	Mensual	Global	0.5 grados (~50 km)
NOAA NCEP CPC REGIONAL SA daily gridded prep	NOAA- CPC	Precipitaciones en cuadrícula interpoladas de estaciones meteorológicas	1 ene 2000 - 15 ene 2012	Diario	Sudamerica: 60S-15N / 90W-30W	1 grado (~100 km)
PSD	NOAA- ESRL	Precipitaciones en cuadrícula interpoladas de estaciones meteorológicas	ene 1940 - ene 2011	Diario	Sudmerica: 60S-15N / 85W-30W	1 grado (~100 km)
CAMS	NOAA- CPC	Precipitaciones en cuadrícula interpoladas de estaciones meteorológicas	ene 1950 - Mar 2001	Mensual	Global	2 grados (~200 km)
CMAP - Pentad	NOAA- CPC	Combinación de estimaciones satelitales y estaciones meteorológicas	ene 1979 - May 2013	Pentad	Global	2.5 grados (~250 km)
ESA CCI SM (previous version)	ESA	Estimaciones satelitales de humedad de la tierra	1 ene 1978 - 31 dic 2013	Diario	Global	0.25 grados (~25 km)
GIMMS NDVI AVHRR	UMD	Estimaciones satelitales de la salud de la vegetación	Jul 1981 - dic 2006	16 dias	Global	0.07 grados (~7 km)

2.3 Productos climatológicos operativos en América Latina

Los productos de aseguramiento de índice climatológicos requieren productos climatológicos confiables: se necesita información histórica para construir los índices y desarrollar comparaciones, así como datos actuales para el cálculo de los pagos. Para ello, es necesario contar con un producto que se encuentre en operación en las áreas que se quieren asegurar. Resulta fundamental que los años que el producto reconoce como “malos”, es decir aquellos en los que ocurren eventos climatológicos significativos, sean similares a los años “malos” que afecten el sustento de los productores.

Todos los productos tienen sus fortalezas y debilidades al ser usados en los seguros de índice. En esta sección se muestra un análisis basado en las siguientes preguntas:

- ¿La resolución espacial del producto resulta apropiada para ser usada en un seguro de índice?
- ¿El producto cuenta con cobertura en la región de interés?
- ¿La resolución temporal resulta conveniente para el seguro?
- ¿La serie de datos histórica resulta suficientemente larga como para ser utilizada en un seguro de índice?
- ¿Qué tan exactas son las medidas?
- ¿Qué tipo de sesgos afectan el producto?

2.4 Datos en cuadrícula interpolados de estaciones pluviométricas

2.4.1 Precipitation Reconstruction over Land (PRECL)

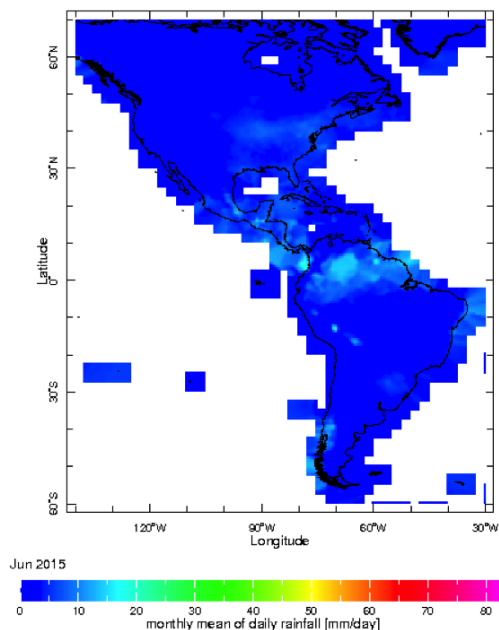


Figura 2.2: *Precipitation Reconstruction over Land (PRECL)*

<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/NOAA/NCEP/CPC/PRECL/v1p0/deg0p5/rain/>

Precipitation Reconstruction over Land (PRECL) es una base de datos mensual, a nivel global, con una resolución de 0.5 grados (~50 km). Se deriva de observaciones pluviométricas de más de 17,000 estaciones, recolectadas de las bases de datos de Global Historical Climatology Network (GHCN), version 2, y de Climate Anomaly Monitoring System (CAMS). La serie comienza en enero de 1948.

Para determinar el procedimiento de análisis mas apto y objetivo para realizar la cuadrícula, se compararon los análisis generados por cuatro técnicas publicadas [Cressman, Barnes, Shepard y el método de interpolación óptima (OI) de Gandin]. La evaluación mostró que se obtienen mejores resultados cuando se interpolan anomalías en vez de las precipitaciones totales, y que el análisis OI resulta ser el más exacto y estable de los cuatro algoritmos. Por esto, se eligió esa técnica para crear las cuadrículas mensuales de precipitación a nivel global para los 53 años comprendidos entre 1948 y el año 2000.

2.4.2 CPC Unified Gauge-Based Analysis of Global Daily Precipitation

CPC Unified Gauge-Based Analysis of Global Daily Precipitation es una base de datos cuadriculada (con resolución de 0.5 grados) que se encuentra disponible desde 1979. Utiliza la técnica OI (optimal interpolation) para obtener la cuadrícula a partir de las observaciones de las estaciones.

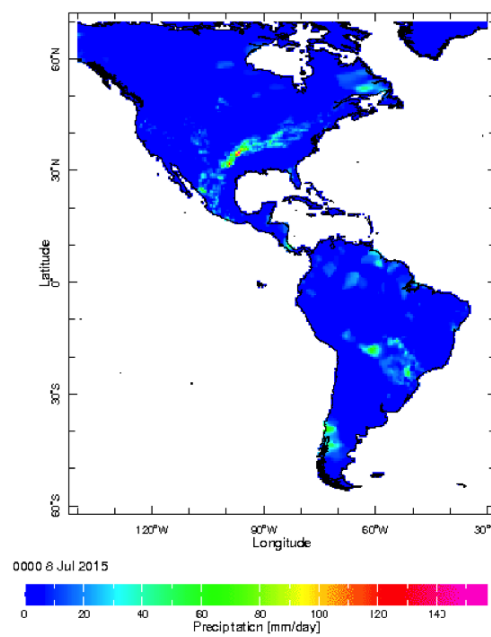


Figura 2.3: *CPC Unified Gauge-Based Analysis of Global Daily Precipitation*

http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/NOAA/NCEP/CPC/UNIFIED_PRCP/GAUGE_BASED/GLOBAL

Para definir el valor de la celda analizada, la técnica OI modifica una primera conjetura con la media ponderada de las diferencias entre las observaciones y las primeras conjeturas de las estaciones que se encuentran dentro de cierta distancia de búsqueda. El coeficiente ponderado se determina a partir de la estructura de las varianzas y covarianzas de los campos de precipitación objetivo.

El análisis de precipitación diaria se realiza en tres pasos. Primero, los campos analizados de precipitación climatológica diaria son definidos a partir de observaciones pluviométricas históricas recolectadas en CPC. Después, se calculan campos con los ratios entre la precipitación diaria y la climatológica, interpolando los valores en las locaciones pluviométricas por medio de la técnica OI. Finalmente, la precipitación diaria se define multiplicando los valores de la climatología diaria con los del ratio diario. Por medio de la interpolación del ratio de la precipitación diaria climatológica, en vez de la precipitación total, la técnica OI permite representar de mejor manera la distribución espacial de la precipitación, en particular en regiones con efectos orográficos considerables.

2.5 Combinación de estimaciones satelitales con observaciones pluviométricas

2.5.1 Climate Anomaly Monitoring System-Outgoing longwave radiation Precipitation Index (CAMS_OPI)

The CAMS_OPI (Climate Anomaly Monitoring System (CAMS) and OLR Precipitation Index (OPI)) es una técnica de estimación de precipitación que produce un análisis de precipitación mensual a nivel global, en tiempo real, con una resolución de 2.5 grados, que se encuentra disponible desde 1979. Para producirlo, se combinan las observaciones pluviométricas (datos de CAMS) con las estimaciones del algoritmo satelital (OPI).

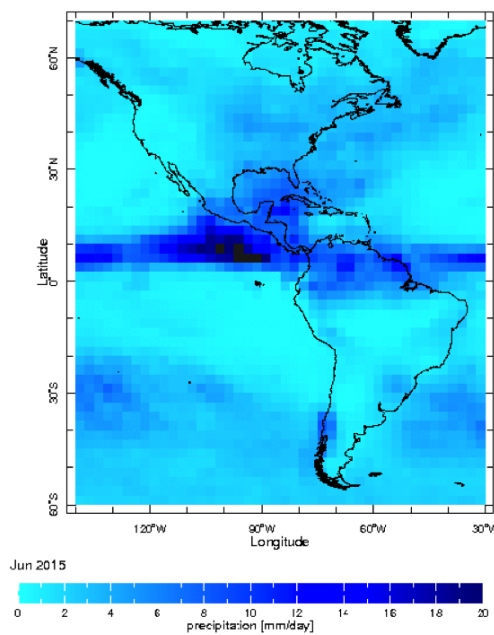


Figura 2.4: *Climate Anomaly Monitoring System-Outgoing longwave radiation Precipitation Index (CAMS_OPI)*
http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCEP/.CPC/.CAMS_OPI/.v0208/.satellite/.prcp/

El método para combinar los datos consta de dos pasos. Primero, el error aleatorio se reduce combinando linealmente las estimaciones satelitales por medio del método de máxima verosimilitud, en el cual los coeficientes de la combinación lineal son inversamente proporcionales al cuadrado del error aleatorio local de cada fuentes individual. A nivel global, el error aleatorio se define para cada periodo en el tiempo y cada locación, a través de la comparación la fuente de los datos con el análisis de las observaciones pluviométricas de las áreas de alrededor. El sesgo se reduce en el segundo paso, cuando las fuentes de datos se combinan. Para esto se utiliza la técnica de mezcla de Reynolds (1988). En esta etapa el resultado del primer paso se utiliza para darle forma al campo de precipitación, mientras que las observaciones pluviométricas restringen la amplitud.

2.5.2 Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS V2.0)

Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS) es una base de datos pluviométrica, cuasi global, de más de 30 años. Se expande de 50°S a 50°N y a lo largo de todas las longitudes, y comprende desde 1981 hasta la fecha. Incorpora imágenes satelitales con resolución de 0.05 grados a los datos obtenidos en estaciones in-

situ, para crear series históricas de cuadrículas pluviométricas que permiten analizar tendencias y monitorear sequías estacionales.

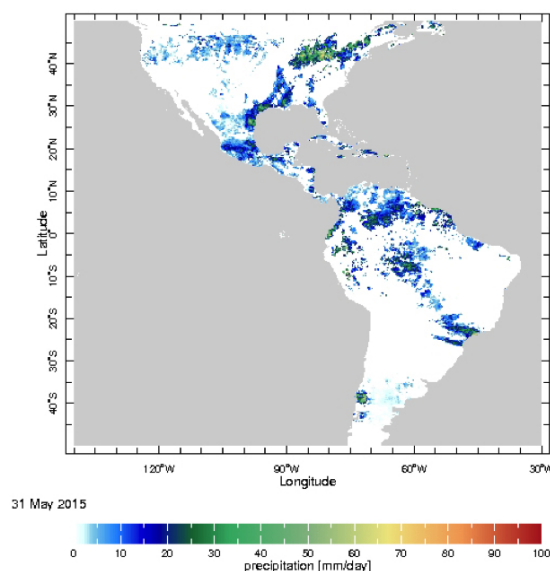


Figura 2.5: *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS)*

<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.UCSB/.CHIRPS/.v2p0/.daily/.global/>

CHIRPS se calcula en dos pasos. Primero, se estiman las precipitaciones infrarrojas (IRP) a partir de datos satelitales, por medio del cálculo del porcentaje del tiempo que las observaciones IR muestran nubes superiores frías ($<235^{\circ}\text{K}$). Ese porcentaje se convierte a milímetros de precipitación a través de regresiones locales previamente determinadas con precipitación de TRMM 3B42. Posteriormente, estos valores se dividen entre sus medias IRP de largo plazo (1981-2012). El porcentaje de IRP normal diario se multiplica por su CHPCLim correspondiente para producir una estimación cuadriculada insesgada, con unidades en milímetros por día llamada (CHIRP). La segunda parte del proceso es sumar las observaciones de las estaciones para obtener el producto CHIRP final. Para mezclar cada CHIRP con la información de las estaciones, se utilizan las cinco estaciones más cercanas con las que se calcula y ajusta el ratio CHIRP. A cada una de las cinco se le asigna un peso proporcional al cuadrado de su correlación esperada; después, los cinco pesos se escalan para sumar 1 y se utilizan para agregar la información de las estaciones en un único ratio que puede ser utilizado para ajustar las estimaciones CHIRP.

CHIRPS generalmente se utiliza en la identificación de tendencias de precipitación en periodos largos de tiempo, para proporcionar contexto espacial de sequías, o para realizar evaluaciones cuantitativas a lo largo de los puntos de recolección. **No se recomienda el uso de píxeles individuales para identificar niveles precisos de precipitación, sin llevar a cabo un estudio de campo que provea suficiente evidencia de la correlación de los datos climáticos con las pérdidas en el campo.**

El desempeño de CHIRPS es superior en áreas que cuentan con redes de estaciones de apoyo en la región. Sus resultados en áreas sin información de estaciones es mixto. CHIRPS está diseñado para medir sequías agroclimáticas. El producto también tendrá un desempeño mixto si se utiliza para cuantificar inundaciones, en particular en intervalos cortos de tiempo. En algunos casos cuando faltan valores por razones de cobertura satelital incompleta, CHIRPS usa un modelo climático de reanálisis para rellenar las brechas de datos.

2.5.3 CPC Merged Analysis of Precipitation (CMAP)

The CPC Merged Analysis of Precipitation (CMAP) es una técnica que produce un análisis mensual y en péntadas de la precipitación a nivel global. En ésta, las observaciones pluviométricas se combinan con las estimaciones de varios

algoritmos que utilizan información satelital (infrarrojas y microondas). El análisis se encuentra en una cuadrícula de 2.5 x 2.5 grados y existe desde 1979.

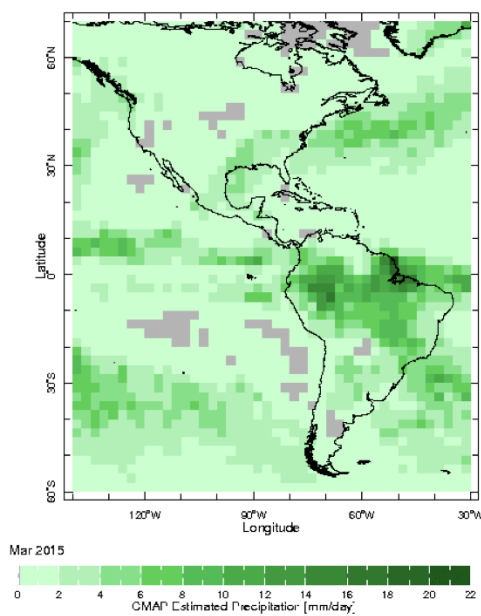


Figura 2.6: CPC Merged Analysis of Precipitation (CMAP)

http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/NOAA/NCEP/CPC/Merged_Analysis/monthly/v1504/ver2/prcp_est/

Cabe recalcar que la información utilizada para este producto no es uniforme a lo largo del periodo que contempla.

La técnica para combinar los datos se describe a fondo en Xie y Arkin (1997). En resumen, el método se divide en dos etapas. Primero se reduce el error por medio de una combinación lineal de las estimaciones satelitales utilizando el método de máxima verosimilitud, en el cual los coeficientes de la combinación lineal son inversamente proporcionales al cuadrado de los errores aleatorios locales de las fuentes de datos individuales. A nivel global, sobre la tierra, el error aleatorio se define para cada periodo y para celda de la cuadrícula comparando la fuente de datos con el análisis de las mediciones pluviométricas de los alrededores. En el océano, el error aleatorio se define comparando las fuentes de datos con las observaciones pluviométricas en los atolones del Pacífico. El sesgo se reduce en una segunda etapa utilizando la técnica de mezcla de Reynolds (1988). Para esto, se usa el resultado de la primera etapa para darle forma al campo de precipitación, mientras que las observaciones pluviométricas restringen la amplitud.

2.5.4 Global Precipitation Climatology Project (GPCP V2.2)

GPCP es una base de datos cuadriculadas de precipitación mensual, a nivel global. Se produce en dos pasos en los cuales se mezclan estimaciones multi-satelitales (MS) con mediciones pluviométricas. El análisis se encuentra disponible desde 1979 en una cuadrícula de 2.5 x 2.5 grados de latitud/longitud.

Primero, para cada celda de la cuadrícula con menos de 65 % de agua, se calculan los promedios de las mediciones pluviométricas y las estimaciones MS, ponderando por el número de medidores. Después, se calcula el ratio entre los promedios ponderados de las mediciones y los promedios ponderados, controlando que el ratio máximo no sea mayor a dos para los promedios ponderados de las MS en el rango de [0,7]mm/d, 1.25 por encima de 17mm/d, y reducido linealmente entre artefactos reprimidos. Cuando el ratio excede el límite, se calcula un ajuste aditivo topado en 1.7mm/d en el promedio ponderado de las MS igual a cero, y linealmente reducido a cero en 7 mm/d. Esto se hace con el objetivo de tomar en cuenta que las MS pueden no considerar la precipitación leve.

En cada celda, haya sido ajustada o no, la medición ajustada por MS resulta del producto de la MS y el ratio, sumándole el ajuste aditivo. Los errores aleatorios estimados, tanto para las mediciones pluviométricas como para las mediciones

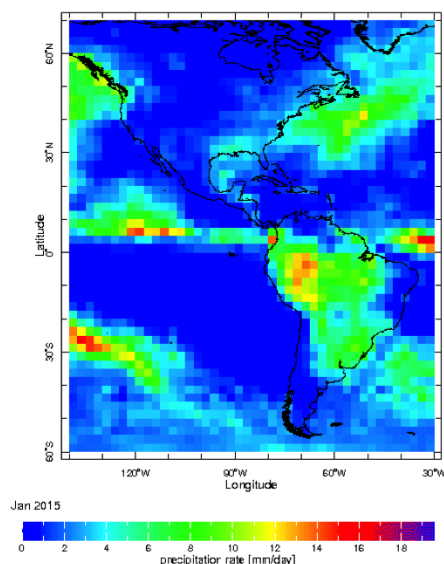


Figura 2.7: *Global Precipitation Climatology Project (GPCP)*
<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NASA/.GPCP/.V2p2/.satellite-gauge/.prcp/>

ajustadas por MS, se recalculan utilizando el promedio simple entre ambos, mismo que se utiliza como la estimación de la precipitación para ambos cálculos. Con este paso se busca prevenir la inconsistencia en resultados que puede darse cuando los errores aleatorios se calculan utilizando valores de precipitación que no se encuentran cerca el uno del otro.

En un segundo paso, las mediciones pluviométricas ajustadas por MS se combinan por medio de un promedio ponderado, en donde los pesos se recalculan como el inverso de la varianza de los errores (estimados), para formar el producto final.

2.6 Productos de estimaciones satelitales de precipitaciones

2.6.1 Climate Hazards Group InfraRed Precipitation (CHIRP)

Climate Hazards Group InfraRed Precipitation (CHIRP) es una base de datos pluviométrica cuasi global de más de 30 años, que se obtiene cada década. Se extiende a lo largo de 50°S–50°N y todas las longitudes, y comienza desde 1981. Utiliza imágenes satelitales con resolución de 0.05° para crear cuadrículas históricas de valores pluviométricos que permite analizar tendencias y monitorear las sequías estacionales.

Para calcular el CHIRP se estiman las IRP a partir de datos satelitales, por medio del cálculo del porcentaje del tiempo que las observaciones IR muestran nubes superiores frías (<235°K). Este porcentaje se convierte a mililitros de precipitación a través de regresiones locales previamente determinadas con precipitación de TRMM 3B42. Posteriormente, estos valores se dividen entre sus medias IRP de largo plazo (1981-2012). El porcentaje de IRP normal de cada década se multiplica por su CHPClim correspondiente para producir una estimación cuadriculada insesgada, con unidades en milímetros por día.

2.6.2 CPC Morphing Technique (CMORPH)

CMORPH es una base de datos de precipitación cuadriculada global, con una alta resolución temporal y espacial, de 30 minutos y 8 Km respectivamente. Ésta comienza en Diciembre del 2002.

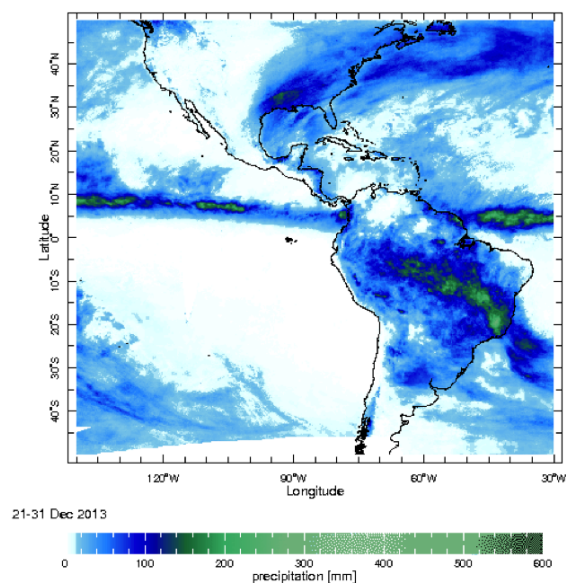


Figura 2.8: *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation (CHIRP)*
<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/UCSB/CHIRP/v1p0/dekad/prec/>

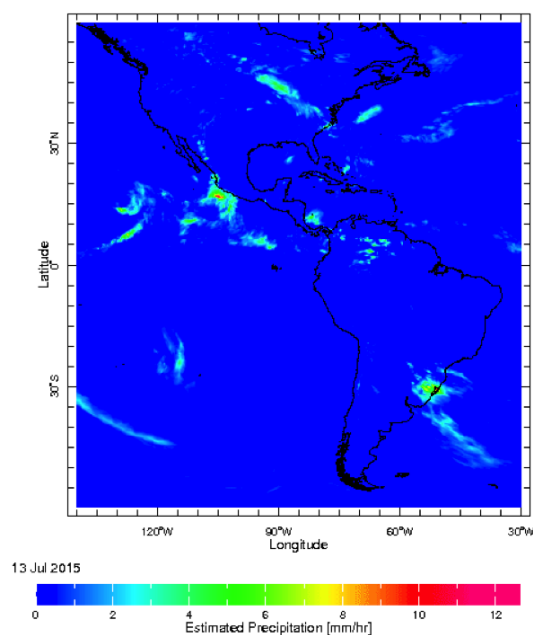


Figura 2.9: *CPC Morphing Technique (CMORPH)*

La técnica mórfica utiliza estimaciones de precipitación derivadas exclusivamente de observaciones de satélites de microondas de órbita baja, cuyas características son transportadas por medio de información de propagación espacial que es obtenida en su totalidad de datos IR de satélites geoestacionarios.

Incorpora estimaciones de precipitación derivadas de las microondas pasivas a bordo de el DMSP 13, 14 y 15 (SSM/I), el NOAA-15, 16, 17 y 18 (AMSU-B), y el AMSR-E y el TMI a bordo de la astronave Aqua y TRMM de la NASA, respectivamente. Estas estimaciones son generadas por algoritmos de Ferraro (1997) para el SSM/I, Ferraro et al. (2000) para el AMSU-B y Kummerow et al. (2001) para el TMI. Cabe resaltar que esta técnica no es un algoritmo de estimación de precipitación, si no un método para combinar las estimaciones de microondas ya existentes.

Los datos infrarrojos se utilizan como un medio para transportar las características de la precipitación derivadas de las microondas, en los periodos en los que las microondas no se encuentran disponibles para alguna ubicación en específico. Se producen matrices con vectores de propagación, calculando correlaciones espaciales rezagadas en imágenes sucesivas de los IR provenientes de los satélites geoestacionarios. Éstas, a su vez, son utilizadas para propagar las estimaciones de precipitación derivadas de las microondas. Este proceso comprende únicamente el movimiento de las características de la precipitación. Para una ubicación dada, la forma e intensidad de la precipitación en los periodos de media hora comprendidos entre los dos escaneos de microondas, se determinan a por medio de una interpolación ponderada en el tiempo entre las características propagadas hacia delante a partir de observaciones de microondas previas, y aquellas propagadas hacia atrás de los escaneos posteriores. A este paso se le conoce como mutación o “morphing” de las características.

2.6.3 Global Precipitation Climatology Project 1-Degree Daily Combination (GPCP 1DD)

The One-Degree Daily (1DD) precipitation data set es un primer acercamiento para estimar la precipitación diaria global desde Octubre de 1996, a una escala de $1^\circ \times 1^\circ$, derivada estrictamente de observaciones. Se compone del Threshold Matched Precipitation Index (TMPI) disponible para 40° N-S, y Adjusted Sounding-based precipitation estimates (AdSND) para el resto del planeta. Los límites de los datos en 40° N y 40° S no presentan problemas, probablemente porque tanto el TMPI como el AdSND responden a características de las nubes. A pesar de eso, los datos son suavizados en dichos límites.

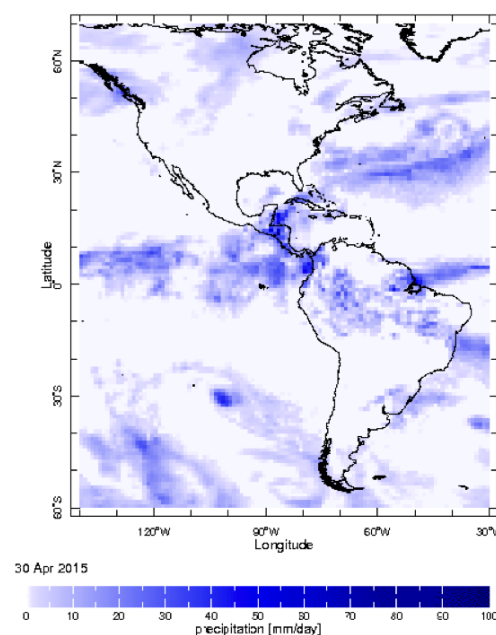


Figura 2.10: Global Precipitation Climatology Project 1-Degree Daily Combination (GPCP 1DD)

<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NASA/.GPCP/.V2p2/.satellite-gauge/.prcp/>

La técnica TMPI utiliza observaciones IR de satélites geoestacionarios. Las temperaturas más frías dadas por los brillos IR se encuentran directamente asociadas con las nubes más altas, que están débilmente relacionadas con incrementos en las tasas de precipitación. Para precisar esta correspondencia, se desarrolló una relación empírica entre el brillo de la temperatura y las tasas de precipitación a partir de los datos recolectados por el Atmospheric Research Programme (GARP) Atlantic Tropical Experiment (GATE). A los brillos de temperaturas que son menores o iguales a 235K, se les asigna una tasa de 3 mm/hora; mientras que a aquellos mayores a 235K se les asigna una tasa de 0 mm/hora. Los histogramas geo-IR para cada imagen global generada cada tres horas, se procesan como estimaciones de precipitación; y los datos leo-GPI ajustados son utilizados para rellenar los hoyos en las imágenes geo-IR individuales generadas cada tres horas. Posteriormente, se promedian todas las imágenes del día para calcular las estimaciones diarias (en una cuadrícula de $1^\circ \times 1^\circ$).

El AdSND se calcula utilizando tanto las estimaciones de TOVS como las de AIRS, y son producidas fuera de los 40° N-S para completas el 1DD global. Se consideró que las estimaciones de Susskind et al. (1997) de TOVS (AIRS) contenían demasiados días de lluvia, por lo que se revisaron calculando el ratio de los días de lluvia de TMPI con respecto a los de TOVS (AIRS) por separado para $39\text{--}40^\circ\text{N}$ y $39\text{--}40^\circ\text{S}$. Después, se utilizó el ratio correspondiente a cada celda sobre la totalidad del hemisferio para reducir la ocurrencia de la precipitación de TOVS (AIRS) reduciendo a cero la (1-ratio) menor de las acumulaciones de lluvia de TOVS (AIRS). Finalmente, se re-escalaron los días de lluvia (diferentes de cero) de TOVS (AIRS) para realizar la suma mensual del producto GPCP basado en mediciones pluviométricas y satelitales.

Nota:

Las estimaciones de precipitación de AIRS y TOVS inferen la precipitación de nubes extensas y profundas. La técnica utiliza el método de regresión múltiple entre las mediciones pluviométricas y varios parámetros satelitales (AIRS y TOVS respectivamente) en relación con el volumen de la nube: la presión en la cima de las nubes, la nubosidad fraccional y los perfiles de humedad relativa. Esta relación puede variar estacionalmente, y dependiendo de la latitud. Además, se desarrollaron relaciones separadas para la tierra y el océano.

2.6.4 Tropical Rainfall Measurement Mission (TRMM)

Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) consiste en un algoritmo llamado 3B42, que produce combinaciones de alta calidad (HQ) de estimaciones de precipitación IR. Estas estimaciones se encuentran en cuadrícula con una resolución temporal de tres horas y a 0.25×0.25 grados de resolución espacial, a lo largo de un cinturón global que se extiende de 50°N a 50°S . La información está disponible desde marzo del año 2000.

Las estimaciones de 3B42 son producidas en 4 etapas: (1) se calibran y combinan las estimaciones de precipitación por microondas; (2) se crean estimaciones de precipitación IR utilizando la precipitación por microondas calibrada; (3) se combinan las estimaciones IR con las microondas; y (4) se re-escala a datos mensuales.

Nota: La Misión de Precipitación Global (GPM) es un nuevo producto de precipitación satelital de la NASA; es una base de datos cuadrículada global (65°N – 65°S) a 0.1 grados de resolución con información cada 30 minutos desde Marzo del 2014.

La constelación de satélites GPM observa precipitación a lo largo de todo el planeta cada 2-3 horas. El satélite principal mide la lluvia y la nieve utilizando dos instrumentos científicos: el Microondas de Imágenes GPM (GMI) y el Radar de Precipitación de Frecuencia Dual (DPR). El GMI captura la intensidad y los patrones horizontales de la precipitación, mientras que el DPR ofrece una visión de la estructura tridimensional de las partículas de la precipitación. En conjunto ambos productos proveen una base de datos de medidas que puede ser comparadas y combinada con las observaciones de microondas de otros satélites para crear una base de datos global.

El GMI utiliza 13 canales de microondas para observar la energía de los diferentes tipos de precipitaciones a través de las nubes, para poder detectar desde lluvia muy ligera hasta lluvia muy pesada, incluyendo nieve.

El DPR ofrece información tridimensional de las partículas de precipitación, que se deriva de la energía que éstas reflejan a diferentes alturas dentro del sistema de nubes. Las dos frecuencias del DPR también permiten al radar inferir los tamaños de las partículas y proveen de información acerca de las características físicas de una tormenta. El objetivo de GPM es aportar en el legado de TRMM por medio de la provisión de una estandarización de las medidas de

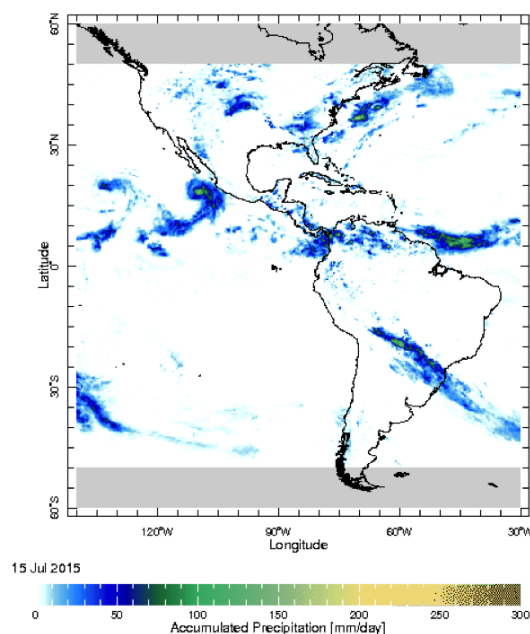


Figura 2.11: *Tropical Rainfall Measurement Mission (TRMM)*
http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NASA/.GES-DAAC/.TRMM_L3/.TRMM_3B42RT/.v7/

precipitación (lluvia y nieve), utilizando tanto radares como radiómetros, además de combinar las medidas de varios satélites que se encuentran en operación. El sistema de observación principal del GPM, mismo que fue lanzado en febrero del 2014, mejora el éxito obtenido por las medidas de lluvia de TRMM al incrementar la habilidad de captar lluvia ligera y nieve, gracias a su diseño que incorpora sensores pasivos y activos.

2.6.5 Ejemplos fuera de América Latina: TAMSAT y ARC2

Cabe resaltar dos productos satelitales que son utilizados ampliamente: TAMSAT y ARC2; aunque únicamente cubren el continente africano por lo que no pueden ser utilizados en América Latina.

TAMSAT, University of Reading

TAMSAT es una estimación satelital de lluvia que utiliza un canal IR de 10.8 micrómetros del satélite geoestacionario METEOSAT, que se calibra localmente con datos pluviométricos históricos para producir estimaciones por medio de una relación lineal simple. El producto final no se combina con los datos pluviométricos. El producto principal del TAMSAT una suma de la lluvia en periodos de 10 días, que también se encuentra desagregada diariamente desde hace 30 años. TAMSAT es uno de los métodos más simples que se utilizan para la obtención de lluvia por vía remota, aunque generalmente su desempeño es tan bueno como el de otros métodos más complejos.

ARC2, NOAA

The Africa Rainfall Climatology Version 2 (ARC2) es un producto de el Climate Prediction Center at NOAA Centro que combina mediciones pluviométricas, datos IR geoestacionarios, SSM/I de microondas de órbita polar y datos satelitales de AMSU-B. Éste ofrece estimaciones de precipitación diarias y cuenta con datos de 30 años product issued by the combines gauge data, geostationary IR data, and polar-orbiting microwave SSM/I and AMSU-B satellite data. These are daily precipitation estimates with a 30-year record.

2.7 Índices de Vegetación Satelitales

2.7.1 MODIS NDVI y EVI

Enhanced Vegetation Index (EVI) y Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) son índices de vegetación que ofrecen medidas cuantitativas del número de plantas activas fotosintéticamente en la tierra en un lugar y un tiempo dados. Ambos productos tienen cobertura global con una resolución espacial que puede llegar hasta los 250 m, desde Febrero del año 2000 hasta la fecha. Sus medidas son expedidas dos veces al mes (resolución temporal de 16 días).

El NDVI se calcula como el cociente la diferencia de las bandas casi infrarrojas (NIR) con las bandas rojas de un sensor y la suma de estas dos, según la siguiente fórmula:

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$$

El EVI utiliza un algoritmo similar pero incorpora otros componentes para no verse tan afectado por los colores de la tierra y las sombras, así como para estabilizar los valores del índice a partir de variaciones en los niveles de concentración de aerosoles. El EVI se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$EVI = G * (NIR - Red) / (NIR + C_1 * Red - C_2 * Blue + L)$$

Donde L es el ajuste del pabellón de fondo para corregir los diferenciales no lineales del NIR y la transferencia de radiación roja a través del pabellón; C1 y C2 son los coeficientes de los términos de resistencia del aerosol (el cual utiliza la banda azul para corregir por las influencias de los aerosoles en la banda roja); y G es un factor de ganancia o de escala. Los coeficientes utilizados en el algoritmo de EVI son: L=1, C1=6, C2=7.5 y G=2.5.

Debido a que la vegetación tiene un alto reflejo de NIR y bajo un bajo reflejo rojo, las áreas con vegetación mostrarán valores más altos de NDVI y EVI que las áreas sin vegetales.

La diferencia entre NDVI y EVI radica en que NDVI puede compararse directamente con observaciones de otros sensores como el AVHRR y el SPOT. EVI está diseñado para ser menos sensible al color de la tierra y a las sombras por lo que es más útil que el NDVI en ciertas áreas.

El poder de los índices de vegetación radica en la comparación a través del tiempo. NDVI y EVI son medidas excelentes para evaluar los cambios en la productividad total de las regiones a partir de cambios en la lluvia o en la temperatura. Las medidas son comparables en el espacio y el tiempo siempre y cuando no hayan habido cambios importantes en las áreas cubiertas.

Los índices de vegetación no muestran buenos desempeños en ecosistemas tropicales con muchas nubes y niveles muy altos de lluvia, ya que el instrumento no puede ver a través de las nubes. Por otro lado, cuando la vegetación de una región muestra poca variación entre las estaciones o de un año a otro, los índices no proporcionan mucha información.

2.8 Productos de estimación de la humedad de la Tierra

2.8.1 European Space Agency (ESA) Climate Change Initiative (CCI) Soil Moisture Product

The surface soil moisture dataset, creada por Climate Change Initiative (CCI) of the European Space Agency (ESA) se deriva a partir del uso de instrumentos satelitales de microondas pasivos y activos, que contiene recuperaciones de niveles de humedad de la tierra desde 1978. Su resolución espacial es de 0.25 grados y su cobertura es global. Esto ofrece la oportunidad de generar un producto combinado que incorpore las ventajas tanto de las técnicas de microondas (diferentes longitudes de onda, geometrías, huellas etc.). Los sensores pasivos (radiómetros) tienden a funcionar mejor en regiones con vegetación muy dispersa, mientras que los activos (radares) lo hacen mejor con vegetación moderada. Gracias al uso de tecnología de microondas, se puede realizar la recuperación de la humedad de la tierra, en los primeros centímetros de la capa de la misma, de forma independiente a las condiciones meteorológicas (e.g. nubes).

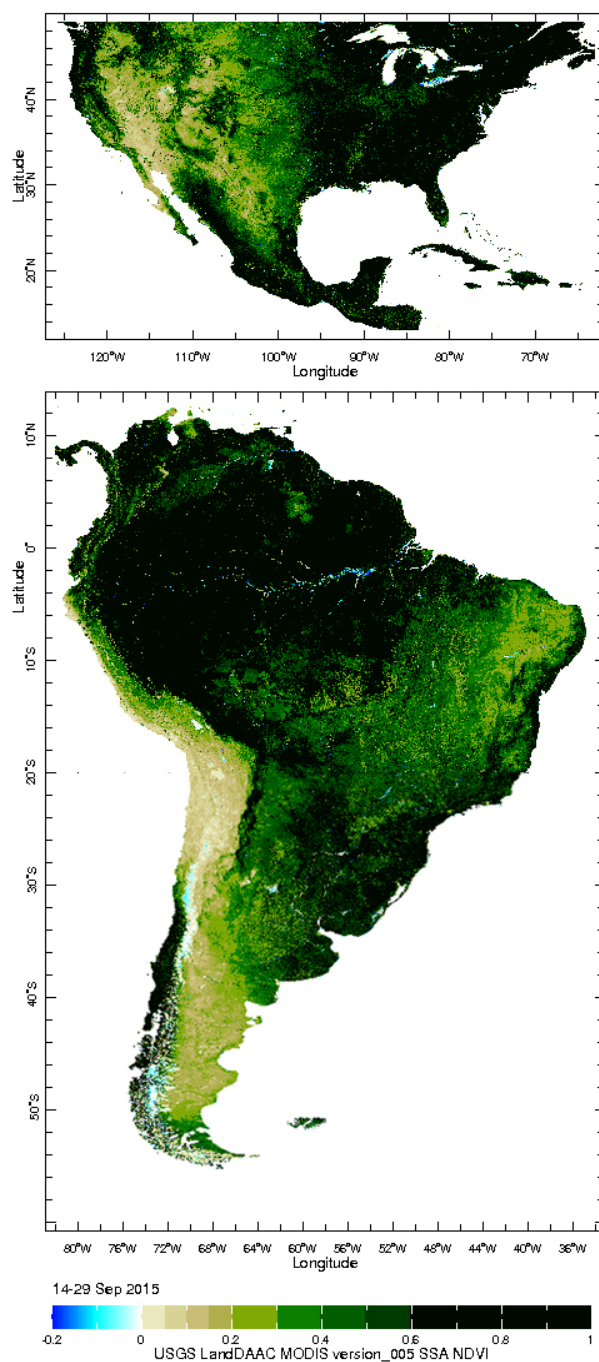


Figura 2.12: *MODIS NDVI y EVI*

<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/USGS/LandDAAC/MODIS/.250m/.16day/.NDVI/>

<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/USGS/LandDAAC/MODIS/.250m/.16day/.EVI/>

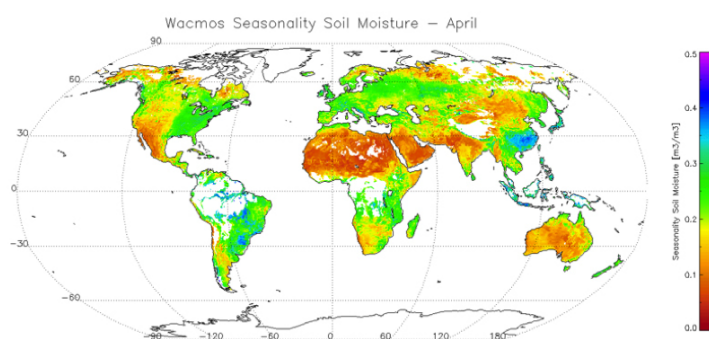


Figura 2.13: *European Space Agency (ESA) Climate Change Initiative (CCI) Soil Moisture Product*

Dentro del CCI, se combinaron varios productos de humedad de la tierra escalándolos a una base de datos global de referencia, obtenida por un modelo de superficie (GLDAS-1-NOAH). Todos los productos fueron mezclados en una sola base de datos pasiva/activa, que se encuentra disponible diariamente a una resolución espacial de 0.25 grados. Si la correlación entre el producto pasivo y el activo excede 0.65, se utiliza el promedio entre ambas medidas. Esta base de datos que comprende varias décadas puede mejorar nuestro entendimiento del papel que la humedad de la tierra juega en los ciclos del agua, carbono y energía.

2.8.2 Global Monthly High Resolution Soil Moisture (GMSM)

El GSM es una base de datos mensual a nivel global que comienza desde 1948 con una resolución espacial de 0.5 grados. La humedad de la tierra se estima por medio de un modelo hidrológico de una capa (Huang et al., 1996; van den Dool et al, 2003). El modelo utiliza observaciones de precipitación (NOAA NCEP CPC PRECL) y temperatura (CPC Global Land Surface Air Temperature Analysis) para calcular la humedad de la tierra, la evaporación y el nivel de fuga. La evaporación potencial se estima a partir de la temperatura observada. Los parámetros del modelo se mantienen constantes a lo largo del espacio (basados en datos de observaciones de niveles de fuga en Oklahoma).

2.9 Conclusión

Para crear contratos robustos para los seguros de índice, se necesita información en tiempo real así como bases de datos históricas que permitan formar un índice confiable. También resulta importante utilizar productos con la suficiente resolución, espacial y temporal, para representar las áreas aseguradas. En nuestra experiencia, el producto satelital más apropiado para el diseño de un índice tiene más de 15 años de información histórica, con una medidas frecuentes en el tiempo (diarias, cada década), y a una resolución espacial moderada (menos de 10 Km). Las bases de datos que no cuentan con todas estas características no son apropiadas para el diseño de índices, sin embargo pueden ser utilizadas para comparaciones y validaciones que fortalezcan el entendimiento de las estaciones con eventos meteorológicos extremos.

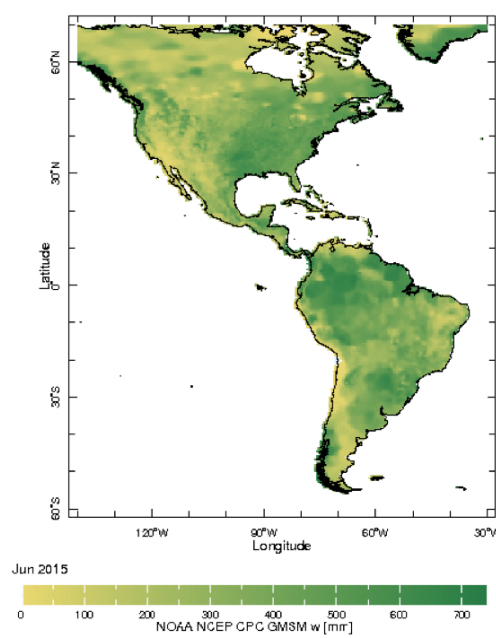


Figura 2.14: *Global Monthly High Resolution Soil Moisture (GMSM)*
<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCEP/.CPC/.GMSM/.w/>

Recursos adicionales

En la siguiente tabla se muestran las direcciones web para las bases de datos que se describen en este reporte. Si se encuentran disponibles en la librería de datos del IRI, se proporciona la dirección web de dicho sitio.

Tabla 3.1: Recursos de productos de datos climáticos

CAMS
http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCEP/.CPC/.CAM5/.mean/.prcp/
CAMS-OPI
http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCEP/.CPC/.CAM5_OPI/.v0208/.satellite/.prcp/
CHIRP v1p0
http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.UCSB/.CHIRP/.v1p0/.dekad/.prcp/
CHIRPS v2p0
http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.UCSB/.CHIRPS/.v2p0/.daily/.global/
CMAP - Monthly
http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCEP/.CPC/.Merged_Analysis/.monthly/.v1504/.ver2/.prcp_est/
CMAP - Pentad
http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCEP/.CPC/.Merged_Analysis/.pentad/.v1306/.ver2/.prcp_est/#info
CMORPH
http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/janowiak/cmorph_description.html
CRU TS3p21
http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.UEA/.CRU/.TS3p21/.monthly/.pre/
ESA CCI SM
Not online yet
ESA CCI SM (previous version)
http://www.esa-soilmoisture-cci.org/
EVI MODIS
http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.USGS/.LandDAAC/.MODIS/.250m/.16day/.EVI/
GIMMS NDVI AVHRR
http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.UMD/.GLCF/.GIMMS/.NDVIG/.global/.ndvi/#info
GMSM
http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCEP/.CPC/.GMSM/.w/
GPCP V1DD V1p2
http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NASA/.GPCP/.V1DD/.V1p2/.prcp/#info
GPCP V2p2
http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NASA/.GPCP/.V2p2/.satellite-gauge/.prcp/
GPM
http://pmm.nasa.gov/data-access/downloads/gpm/
Continúa en la página siguiente

Tabla 3.1 – proviene de la página anterior

CAMS
NDVI MODIS
http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.USGS/.LandDAAC/.MODIS/.250m/.16day/.NDVI/
NOAA NCEP CPC PRECL
http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCEP/.CPC/.PRECL/.v1p0/.deg0p5/.rain/
NOAA NCEP CPC REGIONAL daily gridded prcp
http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCEP/.CPC/.REGIONAL/.US_Mexico/.daily/.gridded/.realtime/.prcp/
NOAA NCEP CPC UNIFIED_PRCP
http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCEP/.CPC/.UNIFIED_PRCP/.GAUGE_BASED/.GLOBAL/.v1p0/
PSD
http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.ESRL/.PSD/.SA23/.1p0/.precip/#info
TRMM
http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NASA/.GES-DAAC/.TRMM_L3/.TRMM_3B42RT/.v7/
UNAM gridded
http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.UNAM/.gridded/.monthly/.v0705/.prcp/
VASCLimO
http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.DEKLIM/.VASCLimO/.PrcpClim/.Resolution-0p5x0p5/.prcp/#info
WCRP GCOS GPCC FDP
http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.WCRP/.GCOS/.GPCC/.FDP/.version6/.0p5/.prcp/#info

A continuación se presentan las direcciones web para las agencias meteorológicas de los países latinoamericanos del reporte. Además, se indica si existe la disponibilidad en línea de la información meteorológica.

Tabla 3.2: Agencias de meteorología en América Latina

Pais	Web	Disponibilidad en Linea
Argentina	http://www.smn.gov.ar/	No
Bolivia	http://www.senamhi.gob.bo/sismet/index.php	Si (estacion por separado, no para descargar)
Brasil	http://www.inmet.gov.br/portal/	Si (cada estacion)
Chile	http://www.meteochile.gob.cl/ http://www.meteochile.gob.cl/climatologia.php	Si (cada estacion y mes por separado)
Colombia	http://www.ideam.gov.co/	Disponible bajo solicitud
Costa Rica	http://www.imn.ac.cr/	No
Cuba	http://www.insmet.cu	No
Republica Dominicana	http://www.onamet.gov.do/	No
Ecuador	http://www.serviciometeorologico.gob.ec/	No
El Salvador	http://www.snet.gob.sv/ver/meteorologia	No
Guatemala	http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia.html	Si (cada estacion)
Haiti	http://www.meteo-haiti.gouv.ht/	No
Honduras	http://www.smn.gob.hn/	No
Mexico	http://smn.cna.gob.mx/	No
Nicaragua	http://www.ineter.gob.ni/	No
Panama	http://www.hidromet.com.pa/index.php	No
Paraguay	http://www.meteorologia.gov.py/	No
Peru	http://www.senamhi.gob.pe/	Si (cada estacion y mes por separado)
Uruguay	http://www.meteorologia.com.uy/	No
Venezuela	http://www.inameh.gob.ve/	No

Referencias

- Adler, R. F., G. J. Huffman, A. Chang, R. Ferraro, P. Xie, J. Janowiak, B. Rudolf, U. Schneider, S. Curtis, D. Bolvin, A. Gruber, J. Susskind, P. Arkin, E. J. Nelkin, 2003: The Version-2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) Monthly Precipitation Analysis (1979-Present). *J. Hydrometeor.* 4(6), 1147-1167.
- Beck, C., J. Grieser and B. Rudolf (2005): A New Monthly Precipitation Climatology for the Global Land Areas for the Period 1951 to 2000. DWD, Klimastatusbericht KSB 2004, ISSN 1437-7691, ISSN 1616-5063 (Internet), ISBN 3-88148-402-7, 181-190.
- Chen, M., P. Xie, and Co-authors (2008), CPC Unified Gauge-based Analysis of Global Daily Precipitation, Western Pacific Geophysics Meeting, Cairns, Australia, 29 July - 1 August, 2008.
- Chen, M., P. Xie, J. E. Janowiak, and P. A. Arkin, 2002: Global Land Precipitation: A 50-yr Monthly Analysis Based on Gauge Observations, *J. of Hydrometeorology*, 3, 249-266.
- Chen, M., W. Shi, P. Xie, V. B. S. Silva, V. E. Kousky, R. Wayne Higgins, and J. E. Janowiak (2008), Assessing objective techniques for gauge-based analyses of global daily precipitation, *J. Geophys. Res.*, 113, D04110, doi:10.1029/2007JD009132.
- Fan Y., H. van den Dool (2004), Climate Prediction Center global monthly soil moisture data set at 0.5° resolution for 1948 to present, *J. Geophys. Res.*, 109, D10102, doi:10.1029/2003JD004345.
- Funk, C.C., Peterson, P.J., Landsfeld, M.F., Pedreros, D.H., Verdin, J.P., Rowland, J.D., Romero, B.E., Husak, G.J., Michaelsen, J.C., and Verdin, A.P., 2014, A quasi-global precipitation time series for drought monitoring: U.S. Geological Survey Data Series 832, 4 p., <http://dx.doi.org/10.3133/ds832>.
- Huete A, Didan K, Miura T, Rodriguez EP, Gao X, Ferreira LG 2002: Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices, *REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT* 83 (1-2): 195-213 NOV 2002.
- Huffman, G. J., R. F. Adler, D. T. Bolvin, E. J. Nelkin, 2010: The TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA). Chapter 1 in *Satellite Rainfall Applications for Surface Hydrology*, F. Hossain and M. Gebremichael, Eds. Springer Verlag, ISBN: 978-90-481-2914-0, 3-22.
- Huffman, G. J., R. F. Adler, D. T. Bolvin, G. Gu, 2009: Improving the global precipitation record: GPCP Version 2.1. *Geophys. Res. Lett.*, 36, L17808, doi:10.1029/2009GL040000.
- Huffman, G. J., R. F. Adler, D. T. Bolvin, G. Gu, E. J. Nelkin, K. P. Bowman, Y. Hong, E. F. Stocker, D. B. Wolff, 2007: The TRMM multi-satellite precipitation analysis: Quasi-global, multi-year, combined-sensor precipitation estimates at fine scale. *J. Hydrometeor.*, 8(1), 38-55.
- Huffman, G.J., R.F. Adler, M. Morrissey, D.T. Bolvin, S. Curtis, R. Joyce, B McGavock, J. Susskind, 2001: Global Precipitation at One-Degree Daily Resolution from Multi-Satellite Observations. *J. Hydrometeor.* 2, 36-50.
- Janowiak, J. E. and P. Xie, 1999: CAMS_OPI: A Global Satellite-Rain Gauge Merged Product for Real-Time Precipitation Monitoring Applications. *J. Climate*, vol. 12, 3335-3342.

- Joyce, R.J., J.E. Janowiak, P. A. Arkin and P. Xie, 2004: CMORPH: A Method that Produces Global Precipitation Estimates from Passive Microwave and Infrared Data at High Spatial and Temporal Resolution. *J. Hydrometeorology*, 5, 487-503.
- Liebmann, B., and D. Allured, 2005: Daily precipitation grids for South America. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 86, 1567-1570. DOI: 10.1175/BAMS-86-11-1567.
- Pinzon, J., Brown, M. E., and Tucker, C. J., 2005. Satellite time series correction of orbital drift artifacts using empirical mode decomposition. In: N. Huang (Editor), *Hilbert-Huang Transform: Introduction and Applications*, pp. 167-186.
- Ropelewski, C.F., J.E. Janowiak, and M.S. Halpert, 1985: The analysis and display of real time surface climate data. *Mon. Wea. Rev.*, 113, 1101-1106.
- Rudolf, B., A. Becker, U. Schneider, A. Meyer-Christoffer, M. Ziese, 2010: GPCC Status Report December 2010. GPCC, December 2010, 7pp.
- Tucker, C. J., J. E. Pinzon, M. E. Brown, D. A. Slayback, E. W. Pak, R. Mahoney, E. F. Vermote, and N. El Saleous (2005), An Extended AVHRR 8-km NDVI Data Set Compatible with MODIS and SPOT Vegetation NDVI Data. *International Journal of Remote Sensing*, Vol 26:20, pp. 4485-4498.
- Wagner, W., W. Dorigo, R. de Jeu, D. Fernandez, J. Benveniste, E. Haas, M. Ertl (2012) Fusion of active and passive microwave observations to create an Essential Climate Variable data record on soil moisture, *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (ISPRS Annals)*, Volume I-7, XXII ISPRS Congress, Melbourne, Australia, 25 August-1 September 2012, 315-321.
- Xie, P. and P. A. Arkin, 1996: Analyses of Global Monthly Precipitation Using Gauge Observations, Satellite Estimates, and Numerical Model Predictions. *J. Climate*, 9, 840 -858.
- Xie, P. and P. A. Arkin, 1997: Global Precipitation: A 17-Year Monthly Analysis Based on Gauge Observations, Satellite Estimates and Numerical Model Outputs. *BAMS*, 78, 2539-2558.
- Xie, P., A. Yatagai, M. Chen, T. Hayasaka, Y. Fukushima, C. Liu, and S. Yang (2007). A gauge-based analysis of daily precipitation over East Asia, *Journal of Hydrometeorology*, 8, 607-627.