

Programa GeoSUR

Desarrollo de Mapas de Relieve. Hidrografía y Derivados para Suramérica

Papel Concepto

Título	Desarrollo de Mapas de Relieve. Hidrografía y Derivados para Suramérica
Autor	Mathew Cushing. USGS
Fecha	2008-08-22
Temas	SRTM, Geosur, MDE, Relieve, Hidrografía
Editor	Corporación Andina de Fomento (CAF) U.S. Geological Survey (USGS)
Tipo	Texto
Descripción	Se describen las características básicas de los datos SRTM y sus potenciales aplicaciones en Suramérica por parte del Programa GeoSUR. <i>El documento es una traducción al español del papel concepto original en inglés.</i>
Colaboradores	Eric van Praag. CAF
Formato	MS Word 2003 (doc)
Derechos de autor	Corporación Andina de Fomento (CAF)
Idioma	ES
Cobertura	Temporal: name=start=2008-08-10 end= Spatial: Suramérica

Introducción

GeoSUR es un programa regional cuyo objeto es implantar un mecanismo inter-institucional efectivo para distribuir y fomentar el uso de datos geoespaciales con el fin de ayudar en la toma de decisiones y el desarrollo de políticas en Suramérica (<http://geosur.caf.com>). El Programa está patrocinado por la Corporación Andina de Fomento (CAF), por el Instituto Panamericano de Geografía e Historia (PAIGH) y por la Red Interamericana de Información sobre Biodiversidad (IABIN).

El Programa ayudará a desarrollar seis tipos de sistemas y conjuntos de datos:

- un geoportal GeoSUR,
- un servicio de mapas regional,
- un servicio de mapas nacional,
- servicios de catálogos geoespaciales
- suite de datos de infraestructura regional, y
- suite de datos topográficos regionales y sus derivados.

En este trabajo trataremos el desarrollo de los conjuntos de datos topográficos regionales, el desarrollo de sus productos derivados y las estrategias de distribución de datos.

La topografía es un componente básico en muchos procesos superficiales de la tierra y un elemento en muchos análisis científicos para explicar y predecir estos procesos (Jarvis, 2004). Nuestra capacidad para entender y modelar estos procesos dependen en gran parte de la calidad y consistencia de los datos topográficos (Jarvis, 2004). Modelar estos procesos con precisión en grandes extensiones espaciales o en áreas internacionales es muy difícil debido a las inconsistencias existentes entre datos topográficos adyacentes.

Hasta no hace mucho tiempo los datos convencionales topográficos que se producían variaban en calidad, con algunos métodos de levantamiento de alta precisión y otros de menor calidad (Farr, 2007). En muchas partes del mundo, incluyendo partes de Sur América, hay gran carencia de mapas topográficos de calidad (Farr, 2007). Como resultado, los análisis derivados de dichos datos reflejan esas inconsistencias al arrojar información a diferentes escalas y resoluciones espaciales (Farr, 2007). La solución a la inconsistencia entre los datos es producir un Modelo Digital de Elevación (MDE) sin costuras, de alta resolución para todo el continente Suramericano.

En febrero del 2000 la NASA, la Agencia Nacional de Inteligencia Geo-Espacial (NGA), y las Agencias Espaciales de Alemania y de Italia lanzaron la Misión *Shuttle Radar Topography Mission* (<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>). Esta misión produjo el modelo de elevación digital (MED) de más alta resolución de la superficie terrestre (Farr, 2007). Este MED fue producido a una resolución de 1 arco-segundo (aproximadamente 30 m en el Ecuador) para casi todo el globo terráqueo, entre las latitudes 60 grados norte y 56 grados sur (Farr, 2007) con un error de altitud vertical

medio de 6,2 m (nivel de confianza de 90%) y un error de geoubicación de 9 m para Suramérica (Rodríguez, 2006).

En 2003 la NASA publicó los productos MED en el portal web del Earth Resources Observation and Science (EROS) (*Centro de Observación y Ciencia de los Recursos de la Tierra*) (<http://seamless.usgs.gov/>). La distribución de estos datos se rige por el Memorando de Entendimiento de NASA/NGA, y, en pocas palabras, expone que para aquellas áreas que caigan fuera del territorio de los Estados Unidos los datos se pueden distribuir públicamente a una resolución reducida igual a, o mayor que 3 arcossegundos (aproximadamente 90 m en el ecuador). Las áreas dentro del territorio de los Estados Unidos no están sujetas a dicha restricción y se pueden publicar con toda la resolución de 1 arco-segundo (aproximadamente 30 m en el ecuador) (Farr, 2007).

Desde el 2003 estos datos se han convertido en la norma global de la topografía a mediana y pequeña escala (Guth, 2006) dentro de las comunidades científicas y geoespaciales. Dos de los productos notables derivados del MED global son los productos HydroSHEDS del World Wildlife Fund (WWF) (Grohman, 2008) y el modelo de elevación global mejorado de USGS que saldrá al público en el 2009 (Danielson, 2008). Ambos productos se dirigen a requisitos de específicos: HydroSHEDS presenta una secuencia de datos a escala regional para modelaje hidrológico y la elevación global mejorada de USGS es una colección de productos de elevación a escala global y continental (Danielson, 2008). Con el desarrollo de éstos y otros productos, las aplicaciones de software como Google Earth y las múltiples aplicaciones científicas en las que SRTM ha tenido un papel fundamental, han demostrado el impacto positivo que estos datos han tenido dentro y fuera de la comunidad geoespacial.

Al ver el impacto y reconocer el deseo de las comunidades científicas y geoespaciales de mejorar el proceso de modelaje de la superficie terrestre a mayor escala el USGS y la NGA celebraron un acuerdo. Dicho acuerdo permite al USGS procesar el MED a la resolución de 1 arcosegundo (30 m) y publicar los productos derivados a la máxima resolución. En la actualidad estos productos derivados están disponibles para Centroamérica, las Islas del Caribe y varios países africanos (para mayor descripción de estos productos ver la Tabla 1). Bajo el programa GeoSUR proponemos mejorar el desarrollo, distribución e integración de éstos y otros productos derivados en beneficio de las instituciones sudamericanas participantes.

Tenemos entendido que los institutos geográficos de los siguientes países Sudamericanos han recibido el conjunto de datos SRTM 30 m de la NGA:

- Argentina
- Bolivia
- Chile
- Colombia
- Perú
- Uruguay

Nota: Estos datos se han puesto a la disposición de los organismos que tienen acuerdos bilaterales vigentes con la NGA.

Calidad de los Datos SRTM

Es importante, cuando se esté evaluando un MED SRTM, tener una clara comprensión de cómo fue desarrollado. Los datos SRTM tienen unas propiedades particulares que pueden resultar positivas o negativas dependiendo de la aplicación a la que se destine. El SRTM utilizó una técnica llamada interferometría para recoger los datos topográficos (NASA, 2005). En pocas palabras, la interferometría recoge dos imágenes de la misma ubicación en distintas posiciones de ventaja (NASA, 2005). Cuando se comparan las dos imágenes se aprecia una ligera diferencia en los valores de las mismas y a partir de esa diferencia se puede calcular la topografía de la superficie terrestre (NASA, 2005).

Las imágenes recogidas de la interferometría no son “fotografías” típicas de la superficie terrestre ya que estas imágenes fueron producidas por dos sistemas radar de apertura sintética: banda-C (SIR-C) y banda-X (X-SAR) (Farr, 2007). En esta exposición no nos detendremos en la mecánica detallada que supone la recolección de datos más que para decir que los datos SRTM a que se hace referencia en este documento fueron recogidos por la banda-C. Para adquirir estas dos imágenes durante la misión se instaló una antena principal en el tramo de carga del transportador espacial, y se desplegó una segunda antena fuera de borda en un mástil que se extendía 60 m desde el tramo de carga una vez entrado en órbita (Figura 1) (NASA, 2005). La antena principal transmitía un haz de ondas de radar hacia la tierra. Cuando estas ondas chocaban contra la superficie se dispersaban en todas las direcciones. Las ondas dispersas rebotaban de vuelta a la antena (onda recibida) donde eran recogidas y se medía la distancia recorrida. Utilizando esta información y conociendo la distancia constante entre las dos antenas (línea base) se puede calcular con precisión la elevación de la superficie terrestre. (Figura 2) (NASA, 2005b).

El SRTM fue diseñado con **umbrales de precisión cartográfica** para ayudar a asegurar un conjunto de datos topográficos globales exactos y consistentes. El requisito de precisión horizontal de la misión fue menor de 20 m, considerándose un error de altura absoluta de 90 por ciento inferior a 16 m (Hofton, 2006). Después de la misión la NASA y la NGA emprendieron una campaña de validación global. Se comprobó que la misión había superado tanto los requisitos de precisión vertical como horizontal (Rodríguez, 2006). Para el continente Sudamericano el conjunto de datos SRTM tiene un error horizontal promedio de 9,0 m y un error vertical absoluto (altura) promedio de 6,2 m (Rodríguez, 2006). América del Sur ha visto una mejoría de 10 veces (tanto en resolución espacial como en exactitud vertical) con la aparición del MED de 90 m comparado al último MED continental, el GTOPO30 del USGS (Gesch, 1999).

Aunque esto representa una gran mejoría por encima de los múltiples MED que existen para Sudamérica, es importante reconocer algunas de sus peculiaridades tales como

vacíos de datos, ruido de fase, sesgo de follaje (dosel vegetal), exactitud de resolución de 30 m y estimados de pendiente.

Vacío de Datos son áreas en los datos donde aparecieron errores extremados durante el procesamiento o donde no regresó la señal del radar. Tras un análisis preliminar del SRTM para América del Sur, se estima que hay cerca de 500 mosaicos (*tiles*) con vacío de datos. (**Figura 3**). Para mitigar estos vacíos el proyecto GeoSUR, en cooperación con el grupo de ciencias topográficas del USGS, utilizará el algoritmo de Relleno de Superficie Deltaica (*Delta Surface Fill/DSF*) de la NGA para rellenar los vacíos con la mejor fuente de relleno disponible para el MED. El método DSF calcula un ajuste de una fuente de relleno que encaje en el MED SRTM (Grohman, 2006). Este ajuste se determina creando una diferencia o “Superficie Deltaica” entre el SRTM y la fuente de relleno. El algoritmo DSF utiliza la Superficie Deltaica para interpolar valores diferenciales en las áreas de vacío (Grohman, 2006). Una vez interpolados los píxel de vacío de datos se aplica la Superficie Deltaica (**Figura 4**) a los vacíos de datos SRTM originales sumando la superficie deltaica a la fuente de relleno (**Figura 5**) (Grohman, 2006). Al terminar el proceso de rellenar vacíos el USGS revisará junto con la NGA la posibilidad de suministrar el MED con vacíos rellenos a los institutos geográficos que recibieron los datos SRTM originales de 30 m en Sudamérica.

Otra propiedad del DEM SRTM es el **ruido de fase**, causado principalmente por el ruido térmico y de cuantización de los receptores del radar y es en gran parte dependiente de las propiedades de retrodispersión de la superficie (Figura 6) (Walker, 2006). En términos más simples, el ruido de fase es una variación de altura mínima dada de píxel a píxel colindante, y esta variación fue influenciada por el tipo de superficie de la cual se reflejaba la transmisión del radar. Por ejemplo, un área con cobertura de bosque va a tener menos ruido que las tierras agrícolas por el modo en que la señal del radar rebota en la superficie (Walker, 2006). Este error ya se había anticipado antes de la misión y se establecieron controles para minimizar el error vertical a 8 metros aproximadamente (Farr, 2006).

Una característica altamente discutida del MED SRTM es el **sesgo del follaje** (o dosel vegetal). Debido a la corta (5,6 cm) longitud de onda de la Banda C, la mayoría de las ondas del radar recibidas sobre áreas densamente vegetadas (**Figura 7**) se reflejan de vuelta en el follaje, bastante por encima de la superficie de la tierra desnuda (Kellndorfer, 2004). Por esta razón muchos geólogos e hidrólogos encuentran que el conjunto de datos MED SRTM son menos que deseables para uso a gran escala, mientras que los ecólogos encuentran que la herramienta es invaluable para ayudar en el estimado de la altura del dosel y de la biomasa (Kellndorfer, 2004; Simard, 2006). Uno de los motivos por el cual resulta problemático para los hidrólogos es el modelaje de una red de drenaje, por ejemplo, en un área de selva densa donde se esté deforestando. A veces se crean redes de canales falsos por causa de valores de elevación contrastantes entre la selva y las áreas taladas (**Figura 8**) (Valeriano, 2005). Por esa misma razón resulta muy útil a los ecólogos porque puede estimar la altura del bosque y potencialmente extrapolar la biomasa (Kellndorfer, 2004).

Otra área de contención en el MED SRTM 30 m es la verdadera resolución horizontal. La resolución intrínseca del producto interferométrico SRTM estaba muy cerca de 30 m, pero por causa del muestreo punto-a-punto hubiera habido demasiada variabilidad en el error de altura (ruido) entre los píxeles (Farr, 2006). Aunque aún así caía dentro de los requerimientos, el producto no hubiera servido de mucho al usuario final (Farr, 2006). Para mejorar la utilidad del producto se aplicó un algoritmo nivelador para reducir el ruido y como resultado el producto final presentó una resolución de muestreo de entre 45 y 60 metros, dependiendo de si los datos se recogían en un terreno alto o en uno relativamente plano (Smith, 2003; Farr, 2006) Estas cifras, sin embargo, no son definitivas y un estudio más reciente (Pierce, 2006) sugiere que la resolución horizontal está más cerca de los 30 m. Los resultados indican que la resolución es de 30 a 48 píxeles, dependiendo de la variabilidad local o de los datos de elevación, con mayor resolución cerca de las esquinas o bordes agudos (ej.: zonas montañosas) y menor resolución en zonas menos accidentadas (como planicies de inundación, por ejemplo) (Pierce, 2006).

Slope (Pendiente) es un producto derivado valioso de cualquier MED y forma parte de muchos modelos de procesos superficiales terrestres, tales como el modelaje de deslizamientos de tierra. Varios estudios han dejado constancia de que la pendiente se subestima en áreas de topografía pronunciada y sobreestimada en áreas de poco relieve (Guth, 2006; Jarvis, 2004; Farr, 2006). Tanto la subestimación de pendiente en áreas escarpadas como su sobreestimación en áreas más planas es una influencia combinada del algoritmo de error y del error de ruido de fase (Farr, 2006).

El SRTM es una recolección sin precedentes de la topografía mundial y a la fecha presente no hay conjunto de datos globales que se le compare en versatilidad y en calidad (Guth, 2006). Al conocer más a fondo las propiedades únicas del conjunto de datos antes mencionado el usuario puede lograr una mejor comprensión de sus posibles aplicaciones así como también una mejor comprensión de las dificultades de aplicación. En la siguiente sección vamos a ver varias aplicaciones donde se ha utilizado los conjuntos de datos SRTM de 30 m y el SRTM de 90 m y cómo se mitigaron o explotaron sus propiedades para satisfacer diferentes necesidades.

Oportunidades de Aplicación del SRTM

Como ya se dijo, los MED tienen un papel clave en el modelaje de los procesos de la superficie terrestre. Por esta razón un MED exacto y consistente es componente esencial de las estructuras de datos geospaciales nacionales que se están construyendo en Sudamérica. Algunas **aplicaciones fundamentales de un MED**, entre otras, son:

- modelaje hidrológico,
- planificación de infraestructura,
- rectificación de orto-imágenes,
- manejo y mitigación de desastres,
- análisis de línea visual,

- simulación de vuelos en 3D
- y para construir herramientas de visualización.

La CAF realizó un una breve encuesta entre los organismos participantes de GeoSUR y comprobó que los usos a que se destinan los conjuntos de datos caen dentro de las categorías antes enumeradas. Es de notar que algunos institutos geográficos, principalmente los institutos colombiano y chileno, han utilizado los datos del SRTM 30 m para producir algunos de sus mapas topográficos oficiales y también han desarrollado metodologías para rellenar los vacíos de datos del SRTM.

El grado en que las aplicaciones enumeradas se pueden aplicar utilizando el MED SRTM requiere de una evaluación individual de los requisitos de aplicación y un análisis que determine si las propiedades específicas del MED satisfacen dichos requerimientos. Un buen ejemplo de una aplicación válida es el desarrollo de mapas globales de pendiente para estimar los deslizamientos de tierra resultantes de sismos (Verdin, 2007). El USGS integrará estos mapas a su sistema de alarma sísmica global para evaluar rápidamente las áreas susceptibles a deslizamientos de tierra tras grandes terremotos (Verdin, 2007). Otro ejemplo es el estudio emprendido por Sanders para evaluar el uso de MEDs en línea para modelar inundaciones (Sanders, 2007). Este especialista también afirma que el SRTM es una alternativa interesante para modelar inundaciones cuando los otros métodos de recolección de datos son costo-prohibitivos, y sugiere que el SRTM 30 m es tan bueno –o mejor- para predecir la extensión de inundaciones por crecidas que el MED SRTM de 90 m (Sanders, 2007).

Una propiedad importante del conjunto de datos SRTM es su **precisión espacial**, con error de altura vertical y error horizontal globales promedio de 7 y 10 metros respectivamente (Rodríguez, 2006).

Por su gran exactitud y su cobertura global, haciendo este conjunto de datos algo muy útil para múltiples aplicaciones, los científicos han hecho un gran esfuerzo para ayudar a mitigar otra propiedad del SRTM, el **sesgo del follaje**. El World Wildlife Fund (WWF) y sus colaboradores han invertido un gran esfuerzo para condicionar el MED SRTM de 90 m y desarrollar una base de datos de derivadas hidrológicas global de múltiple resolución (Lehner, 2008). Valeriano (2005) explora métodos “*kriging*” que mejoran tanto el análisis visual como digital del terreno para modelar pequeñas hoyas hidrográficas en las cuencas del Río Amazonas utilizando el MED SRTM de 90 (Valeriano, 2005). Es importante notar que una de los motores que impulsó este estudio fue la falta de datos topográficos dentro de la cuenca del Amazonas (Valeriano, 2005). Renno (2008) vio el potencial de usar el SRTM para desarrollar un algoritmo que permitiese hallar una correspondencia entre las características del follaje y suelos e hidrología. Este algoritmo, llamado HAND (Altura por Encima del Drenaje más Cercano) reconoce las correlaciones entre altura del follaje y su red de drenaje más cercana como buena descripción del terreno, y en la Amazonia se utilizó para asistir en la medición del potencial de drenaje del suelo (Renno, 2008).

En el otro extremo del espectro los ecólogos están explotando el **sesgo del follaje** a su favor. Simard (2006) utilizó este atributo para indicar la altura del follaje y la biomasa de bosques de manglar en el Parque Nacional de los Everglades. Kelldorfer (2004) demostró que el SRTM tiene un enorme potencial para estimar la altura del dosel de vegetación, y se espera que las próximas investigaciones demuestren que puede ser una buena fuente para estimados de pérdida de biomasa en los bosques húmedos de Sudamérica.

Los ejemplos citados en el presente documento apenas tocan la superficie de las aplicaciones actuales y en potencia del MED SRTM 30 m. El reto que enfrenta el Programa de GeoSUR es cómo implantar la metodología y las aplicaciones para permitir la extracción de información SRTM útil respetando las restricciones de la distribución limitada del SRTM.

Opciones de Implantación del SRTM

Con esta visión general de cómo se desarrolló el MED SRTM y las diversas aplicaciones a las que se puede destinar, veremos ahora más de cerca las opciones para desarrollar productos derivados de SRTM en Sudamérica. El objetivo principal que establece los Términos de Referencia del SRTM de GeoSUR es evaluar la utilidad de producir productos derivados para los conjuntos de datos SRTM de 30 y 90 metros para la región.

Después de la investigación inicial realizada por el USGS en nombre del Programa GeoSUR quedó demostrado que los datos de 30 metros y los de 90 metros son de gran utilidad cuando se destinan a aplicaciones como las anteriormente indicadas. Varios estudios han sugerido que el conjunto de datos de 30 m contiene información valiosa, pero que la calidad de esta información no siempre es una mejoría lineal respecto de los datos de 90 m. Cuando se comparan los datos de 30 m y 90 m, la calidad (*exactitud*) de la información en el MED de 30 m varía dependiendo de la ubicación y geomorfología de la región. Por esta razón se sugiere poner especial cuidado en las metodologías de implantación que se escojan para el desarrollo de los productos derivados de SRTM 30 m.

Opción 1: Procesamiento de mapas derivados continentales

La primera opción para desarrollar los mapas derivados SRTM para América del Sur es seleccionar y producir los productos más adecuados en la resolución de 30 m para todo el continente. Una lista preliminar de estos productos consiste en: relieve *sombreado* (*shaded-relief*), *relieve sombreado a color*, *aspecto*, *curvatura*, *pendiente e índice de posición topográfica (TPI)* (ver la Tabla 1 para detalles sobre productos individuales). La lista definitiva de productos a desarrollar requerirá la aprobación de las instituciones que coordinan el Programa GeoSUR.

Una vez aprobadas la lista y las metodologías de desarrollo se podrá iniciar el procesamiento de los productos para todo el continente. Los productos derivados finales se podrán exponer en un portal para su descarga libre y gratuita. El resto de los productos derivados, no adecuados a la resolución de 30 m, se podrán generar a partir del SRTM de 90 m, y podrán ser procesados directamente por los usuarios bajando el MED del web (<http://seamless.usgs.gov>. ó <http://srtm.csi.cgiar.org/>).

El principal beneficio de este enfoque radica en la sencillez de la distribución y mantenimiento de los productos derivados. Casi todos los recursos que se requieren para esta opción estarían dirigidos al desarrollo de los productos continentales y a la implantación de un servicio en web para distribuirlos. Una vez generados los productos, no son muchos los recursos que se requieren para mantener el servicio de distribución en operación. Los datos se distribuirían en mosaicos geográficos (*tiles*) y el usuario sólo tendría que indicar al servicio cuál o cuáles mosaicos desea descargar. Una opción alterna podría ser la implantación de un servicio de mapas dinámico donde el usuario define un área de interés y el servicio recorta los productos derivados del área de interés, los embala y los despacha al usuario.

Los recursos que se requieren para desarrollar productos derivados para todo el continente en resolución de 30 m son considerables. Para los aproximadamente 1.700 mosaicos (de un grado por un grado) que cubren a Sudamérica se estima que se necesitarán unas 500 horas/hombre para procesar los productos derivados primarios que se han sugerido (Tabla 1). Estos productos requerirán, en promedio cerca de 1 TB de espacio de almacenamiento para cada capa temática de datos procesada.

Opción 2: Procesamiento de mapas derivados prioritarios:

Una segunda opción es priorizar el desarrollo de los productos derivados tomando como base la ubicación geográfica. Esta forma de implantación utiliza un enfoque similar al de la primera opción pero se aplicaría solamente en algunas localidades. Esto significa que algunas áreas geográficas de Sudamérica se identificarían como altamente indicadas para las aplicaciones de productos derivados de 30 m. Como en el enfoque anterior, los productos derivados, las metodologías y las localidades seleccionadas necesitan la aprobación de las instituciones coordinadoras de GeoSUR, y será necesario establecer un mecanismo para la comunidad de usuarios mediante el cual puedan solicitar localidades adicionales y productos a desarrollar.

Esta segunda opción tiene el potencial de reducir el tiempo de desarrollo de productos porque limita el área geográfica total que se va a procesar y el tipo de productos a generar. Los recursos que se ahorran en desarrollo de productos tendrían que ser transferidos a la creación de un mecanismo de distribución general. Al tener productos derivados variados con distribuciones espaciales variadas, es indispensable que el usuario tenga un método efectivo para el descubrimiento de los datos. Todo los esfuerzos dedicados a estos productos derivados serían inútiles sin un método efectivo para que el usuario los encuentre.

La ventaja clave de esta opción es que se puede dirigir a regiones geográficas específicas para desarrollar productos derivados más completos. Un ejemplo de producto que se puede implantar aplicando esta opción son las derivadas hidrológicas (dirección del flujo, acumulación de flujo, etc.). Estos productos requieren recursos considerables para desarrollarlos a escala continental pero se pueden desarrollar eficientemente a escala regional más reducida.

Opción 3: Generación dinámica de mapas derivados

En la tercera opción se podría implantar un enfoque dinámico que permitiría al usuario definir un área geográfica de interés y seleccionar los productos derivados que se desean generar. Mediante este enfoque todo procesamiento derivado se haría realizando la correspondiente solicitud de datos a un geoservicio, eliminando la necesidad de pre-procesar todos los productos a nivel continental. Como en las otras dos opciones, las instituciones coordinadoras de GeoSUR se reunirían para recomendar una lista de productos a ser creados en forma dinámica.

La ventaja que ofrece esta opción se relaciona con las eficiencias de añadir o modificar mapas derivados. Por ejemplo, si se publica en el geoservicio dinámico un modelo para generar un mapa de pendiente (porcentaje), y posteriormente varios usuarios requieren de un mapa de pendiente en grados, basta una simple modificación al modelo de manera de permitir al usuario seleccionar un método de medición alternativo. En la Opción 1 esta modificación implicaría tener que procesar todo el continente otra vez, y en la Opción 2 implicaría una nueva solicitud para procesar el área geográfica deseada utilizando el método alterno.

Este enfoque también presenta la posibilidad a los miembros de la comunidad de usuarios de publicar modelos de geoprocésamiento desarrollados por ellos o sus instituciones. Estos modelos se publicarían al geoservicio de GeoSUR y se podrían diseñar para correr con el MED de 30 m u otros datos alternos publicados en el mismo geoservicio.

Una aplicación que ejemplifica bien las ventajas de esta tercera opción es el análisis de línea visual (o Viewshed). Este análisis identifica áreas que son visibles de un punto de observación dado y es utilizado frecuentemente como paso preliminar en la identificación de torres radio-transmisoras. En este caso sería virtualmente imposible pre-procesar este tipo de análisis por la infinidad de puntos de observación posibles. Con el enfoque de modelaje dinámico se puede publicar un modelo al geoservicio, permitiendo al usuario final indicar las coordenadas de un punto de observación y recibir como resultado un mapa con las áreas visibles desde este punto.

Un ejemplo más complejo es un algoritmo para extrapolar la altura media del dosel vegetal. Como no hay un método estandarizado para determinarla, está allí la oportunidad para que un miembro de la comunidad de usuarios de GeoSUR desarrolle el modelo y solicite su publicación en el geoservicio. Una vez que el modelo haya sido validado y aceptado por los desarrolladores de GeoSUR se publicaría como un servicio

de geoprocésamiento para provecho de la comunidad GeoSUR. Con este concepto de modelaje dinámico de derivados, se logra realizar el pleno potencial no tanto por la implantación de los modelos existentes sino por la posibilidad de implantar nuevos modelos y algoritmos.

Los desarrolladores de GeoSUR van a establecer lineamientos y restricciones en cuanto al tipo y extensión espacial de los productos derivados. Estas restricciones, entre otras cosas, especifican que no será posible generar productos que puedan ser procesados posteriormente para recrear el dato fuente original, y también especifican que se requerirá de un permiso especial para solicitar productos que cubran grandes extensiones de terreno de modo de mantener el rendimiento del servidor.

La CAF evaluará con el USGS la factibilidad técnica de esta tercera opción y el costo asociado a la operación y mantenimiento de los geoservicios antes mencionados.

Fuentes de datos MED alternativas

Es importante saber que existen otras fuentes de datos de elevación digital que están potencialmente disponibles para GeoSUR. Algunas de estas fuentes de datos son:

- ASTER G-DEM,
- ALOS PRISM,
- los productos mejorados GTOPO de USGS,
- y los productos derivados del SRTM HydroSHEDS de la WWF

El producto **ASTER G-DEM** que será lanzado en la primavera del 2009 es un MED de 1 arco-segundo (más o menos 30 m) de resolución y cualidades similares al SRTM (ERSDAC, 2008). Aunque la validación final de los datos aún no ha culminado, el MED está diseñado para una exactitud de +/- 7 metros, muy parecido al SRTM (ERSDAC, 2007). Una vez concluida la validación el MED quedará a la disposición para ser descargado por el público.

El programa GeoSUR tiene la oportunidad de adquirir MEDs desarrollados con imágenes del Advanced Land Observing Satellite (**ALOS**) y del Sensor Remoto Pancromático para estéreo-planimetría (**PRISM**) que opera la Agencia de Exploración Aeroespacial Japonesa (JAXA). Estos productos MED son de alta resolución a 10 m, e igual que el SRTM capta elevaciones de superficie (Gruen, 2007). Por su alta resolución y por el costo de desarrollo del producto, estos datos serían de mayor utilidad para aplicaciones en regiones geográficas de poca extensión.

Hasta el lanzamiento del MED SRTM de 90 m en el 2003, el MED GTOPO 30 del USGS fue el mejor MED disponible para Sudamérica, con una resolución de 1 km. El USGS desarrollará una nueva serie de productos GTOPO que tendrá como base el MED SRTM de 30 m. Estos productos incluirán: elevación mínima, elevación máxima, elevación media, desviación típica de elevación, submuestreo sistemático y línea

divisoria de aguas y se ofrecerán a tres resoluciones: 30 arco-segundos (+/- 1 km), 15 arco-segundos (+/- 500 m), y 7,5 arco-segundos (+/- 250 m) (Danielson, 2008). Esta serie de productos permitirá procesar datos eficientemente para aplicaciones a escala regional y continental. Un ejemplo importante de esto sería la extracción de hoyas hidrográficas y enrutamiento de ríos virtuales superficiales utilizando el producto de “énfasis por línea de quiebre” (Danielson, 2008). Este producto mantiene las elevaciones mínimas y máximas de la topografía del paisaje con lo que se obtiene un método eficiente para desarrollar derivadas hidrológicas tales como cuencas colectoras (hoyas hidrográficas) (Danielson, 2008). Danielson (2008) ofrece evidencia de su efectividad en una concordancia espacial superior a 97% en la delineación de límites entre hoyas hidrográficas producida con los datos de elevación del EDNA (Derivadas de Elevación de 30 m para Aplicaciones Nacionales) (<http://edna.usgs.gov/>) y los datos de énfasis por línea de quiebre de 7,5 arco-segundos (Danielson, 2008)

Con respecto al modelaje hidrológico, otro recurso valioso es la serie de productos HydroSHEDS de la WWF. Estos productos fueron desarrollados en base al mismo concepto que tiene GeoSUR de construir un MED sin costura para todo el continente de manera de facilitar el desarrollo de datos espaciales consistentes y de alta calidad para el análisis. Los productos incluidos en la secuencia HydroSHEDS son el MED con vacíos rellenos SRTM de 90 m, el MED hidrológicamente condicionado, dirección del drenaje, acumulación de caudal, redes fluviales y cuencas de drenaje (USGS, 2008). Estos productos vienen en resoluciones espaciales y tipos de datos diversos. Para una descripción más detallada de la secuencia de productos visite el sitio en la red de distribución de productos en <http://hydrosheds.cr.usgs.gov>.

El apalancamiento del MED SRTM es una opción costo-efectiva para el Programa GeoSUR. Hoy en día sería posible adquirir en el mercado un MED de alta resolución para Sudamérica, pero el costo sería muy elevado. Un MED regional para América del Sur procesado con imágenes SPOT costaría aproximadamente US\$ 61,4 millones, y un MED construido con imágenes ALOS costaría alrededor de US\$ 30 millones.

Capacitación

Un componente fundamental de cualquiera de las tres opciones antes descritas es la capacitación en el manejo de datos SRTM y de los modelos generados por el USGG y por GeoSUR para generación de productos derivados. El programa GeoSUR considerará ofrecer este tipo de capacitación a representantes de los institutos geográficos participantes. Dependiendo de la opción –o combinación de opciones– de procesamiento de datos derivados que se seleccione, el programa GeoSUR organizará un taller para instruir a especialistas nacionales en el uso óptimo de los productos y repasará con ellos los principios fundamentales en los que se basó su desarrollo. Adicionalmente, GeoSUR explorará la posibilidad de traer especialistas de los institutos geográficos participante a EROS, bajo su Programa de Científicos Visitantes para desarrollar derivadas y/o desarrollar modelos.

Conclusión

Las tres opciones para desarrollar los conjuntos de datos derivados descritas en el presente papel-concepto son técnicamente factibles y pueden ser implementadas por GeoSUR, tanto individual como combinadamente de ser necesario. Tomemos por ejemplo el producto derivado de relieve sombreado, un dato de uso común y que frecuentemente se emplea como telón de fondo en composiciones cartográficas o presentaciones. La forma más práctica de desarrollar este producto sería bajo la opción 1, a fin de procesar todo el continente, por la gran demanda potencial de la que goza el producto. Otro ejemplo es el caso del producto Índice de Posición Topográfica (TPI) (ver la Tabla 1), pues este producto se puede requerir en sitios específicos únicamente, y la segunda o tercera opción sería preferible para desarrollarlo.

Independientemente de la evaluación de las tres opciones para el procesamiento de datos SRTM, también merecen atención las fuentes alternativas de datos MED que se revisaron brevemente en este papel-concepto. Muchas aplicaciones de modelaje y análisis son dependientes de la escala y pueden operar más eficientemente con datos de menor resolución y aún así arrojan resultados exactos. Un buen ejemplo de una aplicación dependiente de escala es la delimitación de cuencas. Si una aplicación requiriese la delimitación de la cuenca primaria del Río Amazonas, el dato indicado para generar este producto podría ser el nuevo mapa de divisoria de aguas de GTOPO o la dirección de drenaje de HydroSHED. El desarrollo de este tipo de producto utilizando el conjunto de datos SRTM de 30 m requeriría de más procesamiento y no produciría resultados más precisos. Por otro lado, si un mapa de cobertura terrestre se clasificase utilizando fotografías aéreas de 1 m de resolución y exigiese una delineación muy precisa de cuencas, entonces el uso del SRTM de 30 m o el ALOS PRISM MED sería más apropiado.

La elección de una opción —o fuente de datos—no limita la implantación de las restantes. De hecho, consideramos que la integración de varias de las opciones y de las fuentes de datos descritas en el papel-concepto sería lo que más beneficiaría a la comunidad de usuarios de GeoSUR. Una opción válida podría ser el integrar el procesamiento de derivadas continentales utilizando datos SRTM 30 (Opción 1) y el modelaje de derivadas dinámico (Opción 3), así como incorporar también datos alternos tales como HydroSHEDS y los productos nuevos de GTOPO30. Al incluir datos adicionales el geoservicio descrito en la opción 3 podría utilizar más datos además de los del SRTM 30 m.

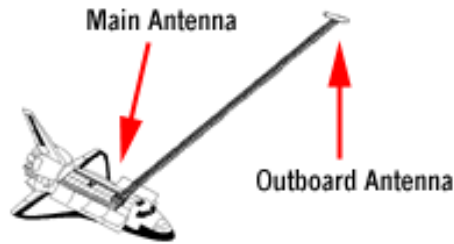
Otra fuente de datos que se podría a futuro considerar para su integración a los geoservicios que desarrolla GeoSUR son los productos derivados del SRTM 30 m de Centroamérica desarrollados por el USGS para IABIN en el 2005. Con un buen plan y diseño estos datos se pueden integrar al mecanismo de distribución de datos seleccionado por GeoSUR, como también al geoservicio descrito con anterioridad.

El USGS se pondrá en contacto con la NGA con el objeto de revisar algunas de las metodologías y productos presentados en el presente papel-concepto y obtener su apoyo para una posible implantación de los mismos.

El programa GeoSUR tiene la oportunidad de obtener y utilizar datos SRTM para el beneficio de la región. Desde su publicación en el 2003, la comunidad científica ha descubierto muchas maneras de aprovechar esta inigualable colección de datos topográficos y constantemente descubre nuevos enfoques para extraer información del MED SRTM. Para sacar el máximo provecho de los recursos disponibles en GeoSUR se debería considerar, como mínimo, la implementación de un geoservicio dinámico para la distribución de derivados SRTM MED a fin de garantizar el acceso a datos alternos y la posibilidad de incorporar nuevos modelos al sistema cuando sea requerido.

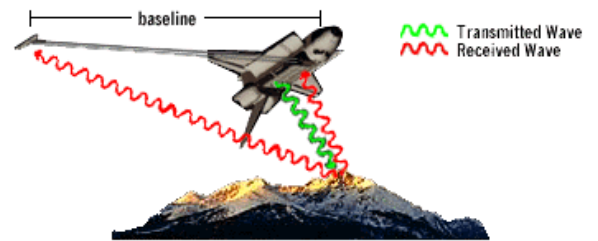
Tabla 1: Lista de Productos Derivados y Descripción

Producto Derivado	Descripción
Relieve sombreado	Ofrece un representación cartográfica del relieve topográfico de la superficie terrestre. El relieve sombreado es una iluminación de la superficie que realza su visualización.
Relieve Sombreado 1	Este producto fusiona un gradiente de elevación a color con sombra de colina para realzar más la topología de visualización de la superficie terrestre.
Curvatura (3 productos)	Mide la curva de la celda de elevación (píxel) e identifica si la celda tiene una curva convexa (valor +) o cóncavo (valor -).
Aspecto	El conjunto de datos “aspecto” describe la dirección de la tasa de cambio máxima en las elevaciones entre cada celda y sus ocho celdas colindantes. Se podría conceptualizar como dirección de la pendiente. Se mide en grados de íntegros positivos desde 0 a 360, en sentido dextrógiro partiendo del norte. A los aspectos de celdas con cero pendiente (áreas planas) se les asigna un valor de -1. Los datos de aspecto fueron derivados del Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), Resolución Nivel 2 (30 m)
Pendiente Porcentual	Describe el cambio máximo en las elevaciones entre cada celda y sus ocho colindantes. La pendiente se expresa en valores porcentuales y es función de la elevación dividida entre la corrida multiplicado por 100 –elevación/corrida x 100--. Con un valor de 0 para superficies planas, el valor aumenta a medida que la inclinación se pronuncia, y se va aproximando al infinito a medida que la pendiente se acerca a una línea vertical- Los datos de pendiente se derivaron de la Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) con resolución Nivel 2 (30 m).
Grado de Pendiente	Describe el cambio máximo en las elevaciones entre cada celda y sus ocho colindantes. La pendiente se expresa en grados de pendiente entre 0 y 90 (números íntegros). Los datos de pendiente fueron derivados de la Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Resolución Nivel 2 (30 m).
Índice de Posición Topográfica (TPI)	La diferencia entre el valor de una celda de elevación y la elevación promedio del área colindante con dicha celda (Jeness, 2001).



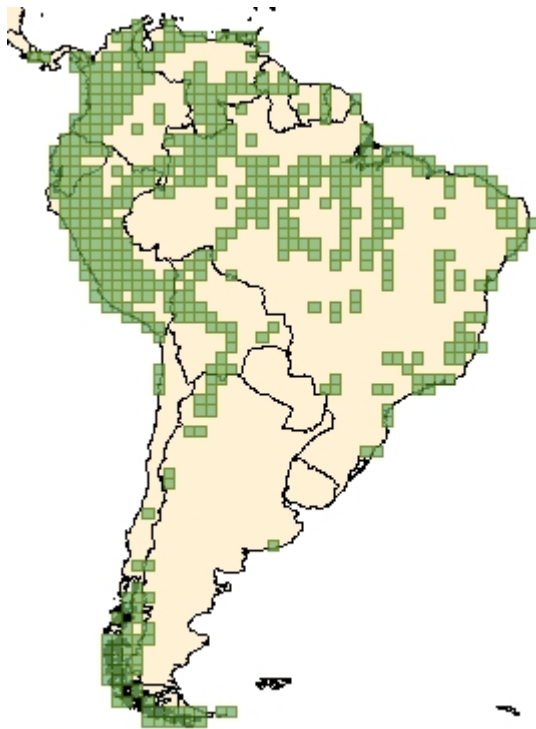
Reflected radar signals collected at two antennas, providing two sets of radar signals separated by a distance.

Figure 1



Radar signals being transmitted and received in the SRTM mission (image not to scale).

Figure 2



■ SRTM 1 degree tiles containing void data

Figure 3: Extensión del vacío de datos SRTM

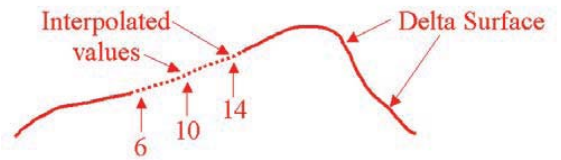


Figure 4: Delta Surface (Source: Grohman, 2006)

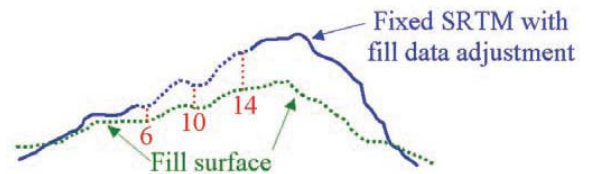


Figure 5: Apply Delta Surface adjustment (Source: Grohman, 2006)

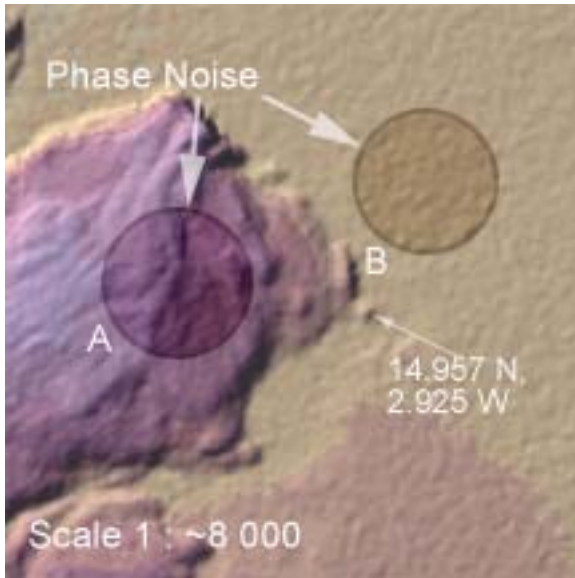


Figure 6: Un ejemplo de ruido de fase de dos tipos de superficie diferentes. **A** es de una roca aflorando, y **B** es suelo desnudo con escasa vegetación.

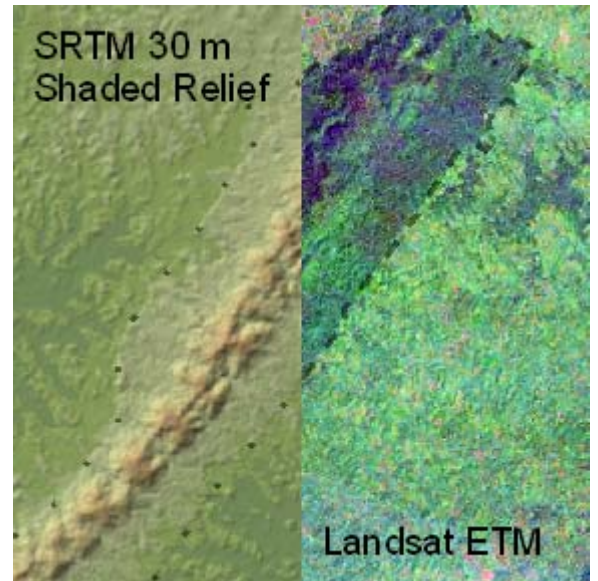


Figure 7: Relieve sombreado/Mosaico de imagen Landsat ilustrando el sesgo de dosel vegetal a lo largo de un bosque protegido en Ghana, Africa Occidental.

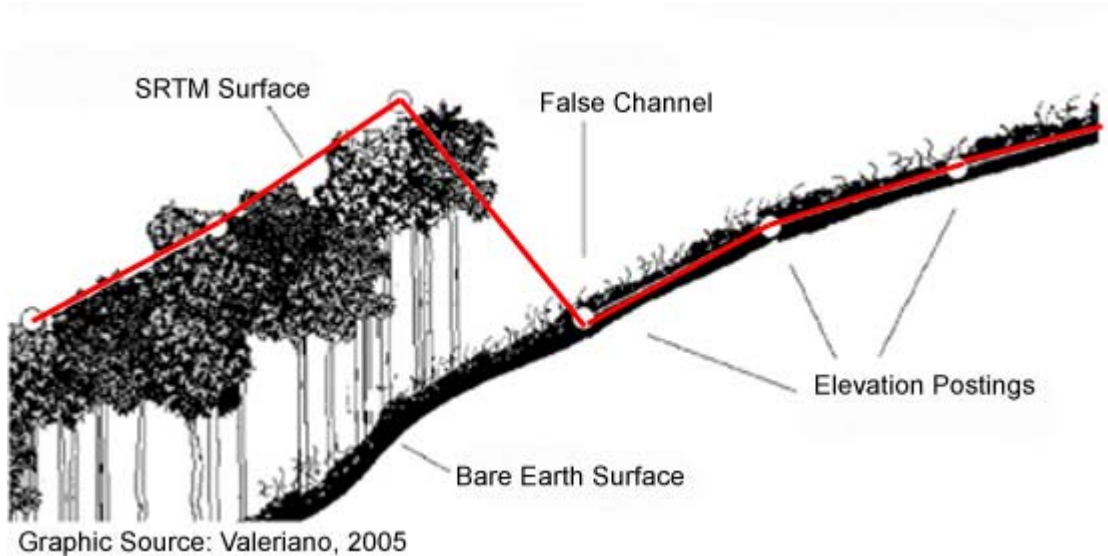


Figure 8: Superficie SRTM, Falso Canal, Superficie de Tierra Desnuda, Hitos de

Bibliografía:

- Danielson, Jeffrey, J., and Gesch, Dean, B., 2008. An Enhanced Global Elevation Model Generalized From Multiple Higher Resolution Source Datasets. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing, and Spatial Information Sciences. Vol XXXVII, Part B4, Beijing 2008, p 1857-1863.
- ERSDAC (Earth Remote Sensing Data Analysis Center), 2008: ASTER Global Digital Elevation Model (G-DEM). <http://www.ersdac.or.jp/GDEM/E/index.html> (Version 05 August 2008)
- Farr, T. G., et al. (2007), The Shuttle Radar Topography Mission, Rev. Geophys., 45, RG2004, doi:10.1029/2005RG000183. p 21- 22.
- Gesch, D.B., Verdin, K.L., and Greenlee, S.K., 1999, New land surface digital elevation model covers the earth: Eos, Transactions, American Geophysical Union, v. 80, no. 6, p. 69-70.
- Grohman, Greg, Kroenung, George and Strebeck, John, (2006): Filling SRTM Voids: The Delta Surface Fill Method: Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, v. 72, no. 3, p 213 - 217.
- Gruen, A., and Wolff, Kirsten (2007), DSM Generation with ALOS/PRISM Data Using SAT-PP, Instituted of Geodesy and Photogrammetry ETH Zurich, Zurich , Switzerland
- Guth, P. L. 2006, Geomorphometry from SRTM: Comparison to NED: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v. 72, no. 3, p 269 - 277.
- Hofton, M., Dubayah, R., Blair, B. J., Rabine, D., 2006, Validation of SRTM Elevation Over Vegetated and Non-vegetated Terrain Using Medium Footprint Lidar: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v. 72, no. 3, p 279 - 285.
- Jarvis, A., Rubiano, J., Nelson, A., Farrow, A., & Mulligan, M. (2004). Practical use of SRBM data in the tropics - Comparisons with digital elevation models generated from cartographic data. Working Document no. 198, 32 pp. CIAT, Cali, Colombia.
- Jenness, J. 2008, Topographic Position Index (TPI). http://www.jennessent.com/arcview/TPI_jen_poster.htm (Version 19 August 2008).

- Kellndorfer, J., Walker, W., Pierce, L., Dobson, C., Fites, J. A., Hunsaker, C., Vona, J., and Cluter, M. 2004, Vegetation height estimation from Shuttle Radar Topography Mission and National Elevation Datasets: Remote Sensing of Environment, v. 93, p. 339 - 358.
- Lehner, B., Verdin, K., and Jarvis, A. (2008), New Global Hydrography Derived From Spaceborne Elevation Data: Eos, Transactions, American Geophysical Union, v. 89, no. 10, p. 93 - 100.
- NASA, 2005a, Shuttle Radar Topography Mission: Instruments. <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/instr.htm> (Version 06 August 2008).
- NASA, 2005b, Shuttle Radar Topography Mission: Instruments, INTERFEROMETRY EXPLAINED. <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/instrumentinterferometry.html> (Version 06 August 2008).
- Pierce, L., Kellndorf, J., Walker, W., and Barros, O., Evaluation of the Horizontal Resolution of SRTM Elevation Data: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v. 72, no. 11, p 1235 - 1244.
- RESTEC (Remote Sensing Technology Center of Japan), 2008, ALOS Products and Services. http://www.alos-restec.jp/products_e.html#dsm (Version 19 August 2008).
- Renno, C. D., Nobre, A. D., Cuartas, L. A., Soares, J. V., Hodnett, M. G., Tomasella, J., and Waterloo, M. J., 2008, HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia: Remote Sensing of Environment, doi:10.1016/j.rse.2008.03.018
- Rodriguez, E., Morris, C. S., Belz, J. E., 2006. A Global Assessment of the SRTM Performance: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v. 72, no. 3, p 249 - 260.
- Sanders, B. F., 2007, Evaluation of on-line DEMs for flood inundation modeling: Advances in Water Resources, v. 30, p.1831 - 1843.
- Simard, M., Zhang, K., Victor H. R., Ross, M. S., Ruiz, P. L., Castaneda-Moya, E., Twilley, R. R., and Rodriguez, E., 2006, Mapping Height and Biomass of Mangrove Forests in Everglades National Park with SRTM Elevation Data: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v. 72, no. 3, p 299 - 311.
- Smith, B., and Sandwell, D. 2003, Accuracy and resolution of shuttle radar topography mission data: Geophysical Research Letters, v. 30, no. 9, p. 1467.

Valeriano, M. M., Kuplich, T. M., Storino, M, Amaral, B. D., Medes Jr., J. N, and Lima, D. J., 2005, Modeling small watersheds in Brazilian Amazonia with shuttle radar topographic mission-90 m data: Computers and Geosciences, v. 32, p. 1169 - 1181.

Verdin, K.L., Godt, J.W., Funk, C., Pedreros, D., Worstell, B., Verdin, J., 2007, Development of a global slope dataset for estimation of landslide occurrence resulting from earthquakes: Colorado: U.S. Geological Survey, Open-File Report 2007-1188, 25 p.

Walker, W. S., Kelndorfer, J. M. and Pierce, L. E. 2007: Quality assessment of SRTM C- and X-band interferometric data: Implications for the retrieval of vegetation canopy height: Remote Sensing of Environment, v 106, p. 428 - 448

USGS (2008), HydroSHEDS: Data layers and availability:
<http://hydrosheds.cr.usgs.gov/hydro.php> (version 06 August 2008).