

# *Determinación Geomorfométrica de una Cuenca Técnicas Geoespaciales en Aplicaciones Hidrológicas*

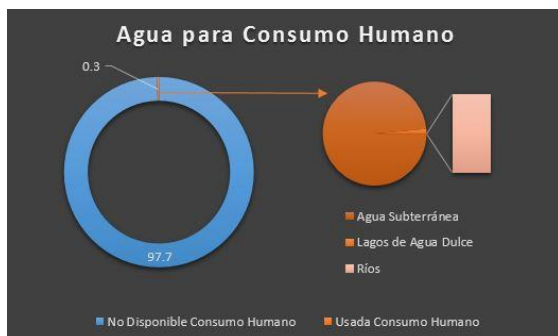
*Néstor Hugo Rodón Hernández  
Maestría en Ciencia y Tecnología Geoespacial  
Prof. Víctor M. Romero González  
Departamento de Ciencias Geomáticas  
Universidad Politécnica de Puerto Rico*

**Abstracto** — *El estudio presenta los cambios geomorfométricos de la Cuenca Río Grande de Loíza. Se estudió en dos (2) épocas diferentes utilizando los modelos de elevación digital del USGS del 1982 (MDE) y el ASTER GDEM2 del 2011 de NASA & METI y se delimitó la cuenca. Se superpuso las dos (2) demarcaciones de la cuenca, se comparó e identificó los cambios sufridos y posibles causas sobre la cuenca.*

**Términos claves** — *ASTER GDEM2, Cuenca, Geomorfometría, Modelo de Elevación Digital (MDE),*

## INTRODUCCIÓN

Al igual que el cuerpo humano, nuestro planeta está compuesto por un setenta por ciento (70%) de agua [1]. Tanto nuestra tierra, como nuestro cuerpo, necesita del agua para subsistir; he aquí la importancia de conservación y manejo de nuestras cuencas. No solo nos proporcionan agua para potabilizar, sino que nos nutre la tierra para producción agrícola y mantiene el balance en nuestro planeta. Si bien hay agua en abundancia, no la excluye de ser un recurso limitado.



**Figura 1**  
Agua para Consumo Humano [2]

El agua del planeta es una sola, es decir, desde su origen posee la misma cantidad y sólo el 0.3%

de esta es utilizada para consumo humano y se encuentra entre el subsuelo, lagos de agua dulce y ríos (nuestra fuente primaria) [2]. (Ver Figura 1.) Considerando este factor, debemos proteger y cuidar por los recursos que tenemos. Puerto Rico cuenta con ciento 134 cuencas: 54 cuencas mayores, 10 cuencas menores y 70 áreas costaneras [3]. Debido a las limitaciones geográficas de la isla y la importancia de nuestras cuencas se debe monitorear la geomorfometría de estas.

La geomorfometría “es la ciencia de la cuantificación topográfica; su enfoque operacional es la extracción de los parámetros de la superficie terrestre y objetos a partir de modelos digitales de elevación (MDE)” [4]. Entre los métodos para la generación de un MDE se destacan: la obtención de datos tomados por un agrimensor, de los mapas topográficos o por teledetección. Este último método (teledetección) permite la delimitación de una cuenca de manera rápida, efectiva y económica.

Las cuencas están definidas por la elevación del terreno, en la cual toda la escorrentía neta fluye hacia los cuerpos de agua que drenan la zona [5]. Para delimitar la cuenca se utilizaron los MDE productos del método por teledetección para nuestra área de estudio.

Los cambios de las cuencas pueden indicarnos la degradación de estas y los posibles impactos sobre la sociedad. Lo significativo de las cuencas no es el embalse o disposición final de las aguas, sino aguas arriba en la zona montañosa. El área relevante de una cuenca es la zona de captación de la montaña con vasta precipitación. La prioridad de conservación estará definida por los usos aguas debajo de la cuenca. [6]

La determinación y establecimiento de las cuencas para Puerto Rico se logra a través de un esfuerzo entre el Servicio Geológico de los Estados

Unidos (USGS, por sus siglas en inglés) y el Servicio de Conservación y Recursos Naturales (NRCS, por sus siglas en inglés) [5]. Esta demarcación se genera mediante el uso de los cuadrángulos topográficos (CT), técnicas de foto-interpretación y/o fotogrametría y modelos de elevación digital de terrenos [6].

El Centro de Archivo de Distribución de los Procesos Activos Terrestres (Land Processes Distributed Active Archive Center, LP DACC) es un componente de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio de los Estados Unidos, (NASA, por sus siglas en inglés). LP DACC esta cobijado dentro del Sistema de Observación Terrestre y Sistema de Información y Data (Earth Observing System, (EOS) & Data and Information System, (DIS), EOSDIS). EOSDIS opera conjunto con el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés).

El centro LP DAAC maneja los datos de tres instrumentos EOS a bordo de dos plataformas operacionales de satélite: ASTER Y MODIS para Terra, y MODIS para Agua. Es el centro encargado de distribuir, archivar y procesar la información captada por los sensores [6].

La NASA, en conjunto con el Ministerio de Economía, Comercio e Industria de Japón, (METI, por sus siglas en inglés), crean ASTER GDEM2 (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model*). Ambos, MDE mediante la utilización de cámaras infrarrojas y diversos algoritmos que corrigen y realzan las imágenes, generan un modelo de elevación digital de terreno del globo terráqueo conocido como ASTER GDEM2 [6]. La segunda revisión de este modelo digital de elevación del globo terráqueo es uno de los que se analizó.

Las características geomorfológicas, tales como la forma, el relieve y la red de drenaje, de las cuencas develan su condición física espacial. Reveladas las características permite comparar e identificar si existen alteraciones en su morfología e identificar las posibles causas. Las aplicaciones hidrográficas de los sistemas de gestión de información geográficas, nos permite la modelación

de la cuenca incluyendo las ramificaciones y sus componentes. Para determinar los cambios geomorfológicos de la cuenca se realizó una comparación entre el MDE confeccionado por el USGS del 1982 y el ASTER GDEM2 del 2011.

## OBJETIVOS

- Determinar según se desprenda de la evidencia empírica la geomorfometría de la cuenca.
- Identificar los cambios geomorfológicos de la cuenca MDE mediante el conocimiento táctico.

## ÁREA DE ESTUDIO

El área seleccionada a estudiar es la Cuenca del Río Grande de Loíza (CRGDL) ubicada al noreste de PR. La misma drena hacia el Océano Atlántico, es de geometría ovalada, su geomorfología de drenaje dendrítico y de orientación geográfica longitudinal [3]. Debido a su gran extensión, 751.10 km<sup>2</sup> (290 mi<sup>2</sup>), la más grande que tiene Puerto Rico, es ideal para el análisis propuesto.

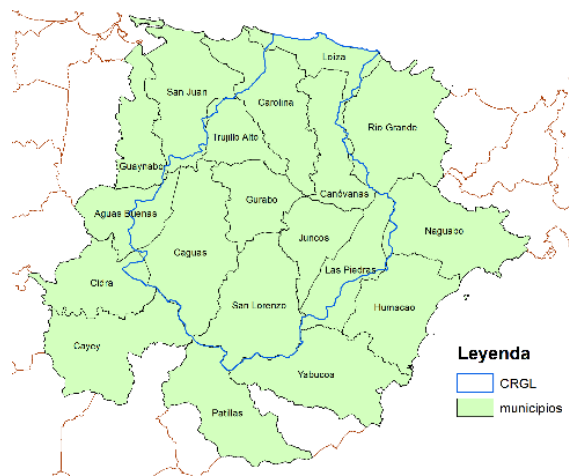


Figura 2

### Mapa Cuenca Río Grande de Loíza Municipios Acogidos

Esta acoge a diecinueve (19) municipios: Aguas Buenas, Caguas, Canóvanas, Carolina, Cayey, Cidra, Guaynabo, Gurabo, Humacao, Juncos, Las Piedras, Loíza, Naguabo, Patillas, Río Grande, San Juan, San Lorenzo, Trujillo Alto y Yabucoa (ver figura-2). La CRGDL es, en comparación con las otras cuencas de PR, la que sufre de mayor concentración de sedimentos en sus

ríos. La calidad del agua va desde pobre hasta excelente, aunque, en general, es adecuada para la producción de agua [3].

## METODOLOGÍA

Como parte de la metodología el trabajo se dividió en tres fases: Pre-procesamiento, Procesamiento y Post-procesamiento.

- Pre-procesamiento:

Para determinar la geomorfometría de la Cuenca Río Grande de Loíza se estableció el tipo de información necesaria (archivos, programas) que requirió el proyecto. Los datos relevantes para nuestro proyecto lo son: MDE del USGS del 1982 y el ASTER GDEM2 del 2011 y un programa SIG.

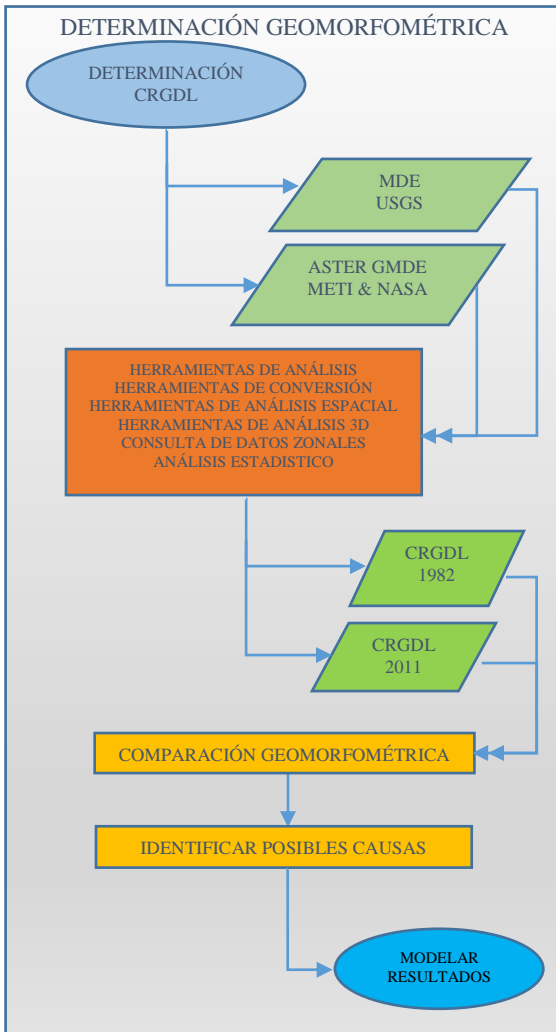


Diagrama de Flujo 1

### Determinación Geomorfométrica

Definidos los datos a utilizarse y el procedimiento a seguir, se procedió a procesar la información para delimitar la CRGDL.

- Procesamiento:

El proyecto se trabajó en “ArcGIS” (ArcMap & ArcScene). El procesamiento para la determinación geomorfométrica y demarcación de la CRGDL es igual para ambos modelos. Se generó de manera independiente para cada modelo digital de elevación (USGS y ASTER GDEM2), no empero, debido al tipo de dato (“raster”) y análisis deseado, determinación geomorfométrica, se obtienen ejecutando el mismo procedimiento.

Se configuró tanto las unidades (de grados decimales a metros), como la proyección (WGS84 a NAD83) para el MDE. Se fijó la salida del producto derivado de éste en un sistema de coordenadas planas con su dato del 1983 del norte de América (“NAD\_1983\_StatePlane\_Puerto\_Rico\_Virgin\_Islands”).

Se eliminó las imperfecciones presentadas en el MDE descartando la generalización en la identificación de sumideros que pudiesen presentarse falsamente debido a la vegetación del sector utilizando la herramienta de relleno (“Fill”) como parte del análisis espacial.

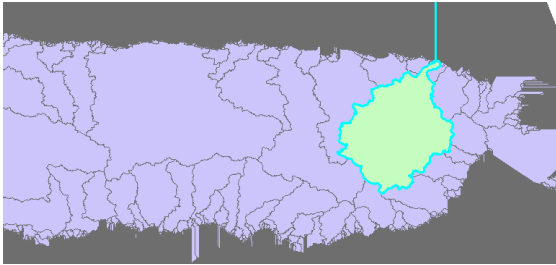
Se determinó la dirección del flujo (“Flow Direction”) para cada celda del MDE. Este procesamiento nos genera un “raster” que nos muestra la dirección de salida del agua.

Del flujo de dirección establecido se calculó la acumulación del flujo, (“Flow Accumulation”) que fluye por cada pendiente y finalmente permite demarcar las cuencas.

De los “raster” generados previamente se forma otro archivo “raster” que revela la cuenca (“Basin”).

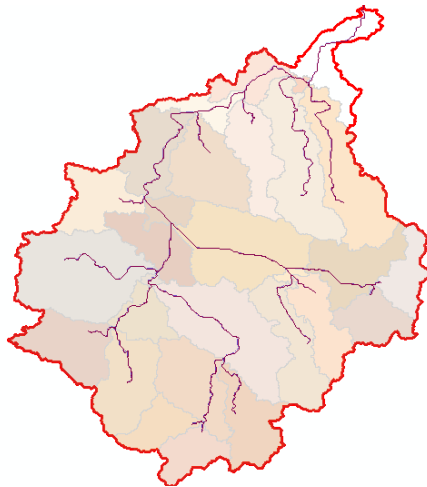
Se vectorizó el archivo de la cuenca para y se convirtió en un “shapefile” de polígono. Finalizada la vectorización se seleccionó e identificó la CRGDL.

Se seleccionó y cortó (“Clip”) la CRGDL, de esta forma se extrajo únicamente la cuenca a ser estudiada. (Ver figura 3)



**Figura 3**  
**Delimitación CRGDL**

Se definieron (“Stream Definition”) y segmentaron (“Stream Segmentation”) las corrientes. A su vez se delinearon las redes de captación (sub-cuencas) y se convirtió a un “shapefile” de polígono para seleccionar e identificar las sub-cuencas dentro de la CRGDL y se extrajo. (Ver figura 4)



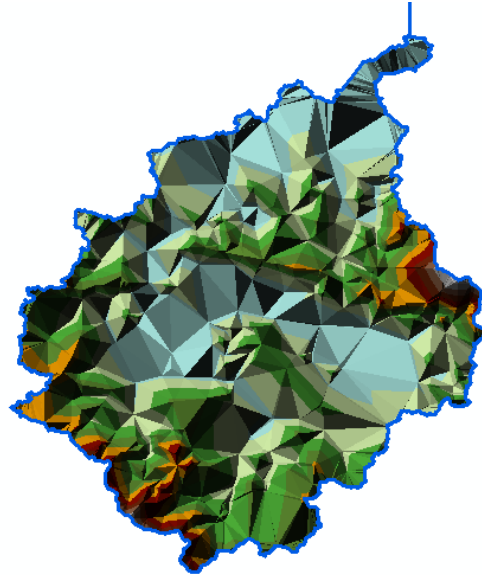
**Figura 4**  
**Red Hidrológica y Subcuencas**

Se generó la red irregular de triangulación (TIN) de la superficie del MDE.

Se interpoló (“Interpolate Shape”) el archivo de la cuenca demarcada para transferirle la información de distribución de altura. De esta forma se le transfirió las elevaciones, se homogenizó el archivo para que tenga los tres componentes posicionales (X,Y,Z).

Se editó el TIN generado para extraer solo el área de la CRGDL. (Ver figura 5)

MDE mediante análisis espacial de extracción por máscara (“Extract by Mask”) se obtuvo, para cada uno de los “raster” generados (flujo de dirección, flujo acumulado, subcuencas, red...), el área que comprende la cuenca.



**Figura 5**  
**TIN CRGDL**

Se generó para los diferentes archivos, en sus tablas de atributos, Para cada tabla de atributos que acompaña a los archivos se añadieron campos adicionales a los datos que previamente se fueron formando. Esto permitió establecer la geometría e identificar las características particulares para cada cuenca (área, perímetro, centroide). (Ver Figura 6)

Table					
crgdl_1982					
NOMBRE	Área	Perímetro	X_Centroid	Y_Centroid	
Cuenca del Río Grande de Loiza	822.707334	154.256616	248400.284067	246883.434376	

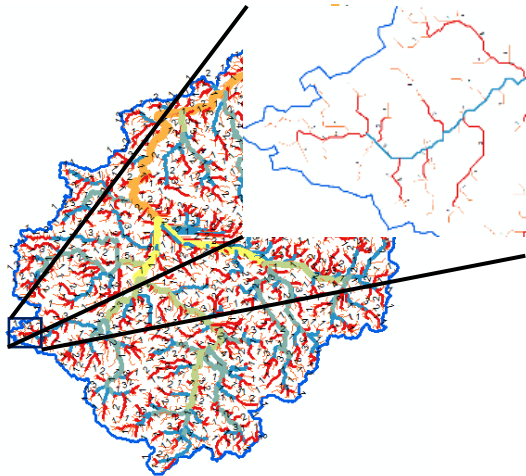
  

Table					
crgdl_15					
Nombre	Área	Perímetro	X_Centroid	Y_Centroid	
Cuenca Río Grande de Loiza	755.916127	214.177375	248919.66365	251164.182894	

**Figura 6**  
**Tablas CRGDL: 1982 & 2011**

Se calculó la longitud de la red hídrica (“Flow Length”) utilizando el flujo de dirección previamente generado.

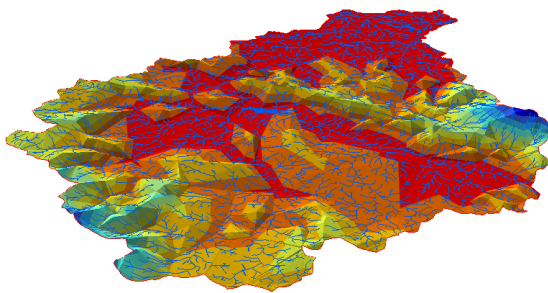
Se utilizó la calculadora raster (“Raster Calculator”) para para generar un mapa algebra de la acumulación del flujo. Se condiciono el archivo generado. Esto permitio el establecimiento de la red hídrica (“Stream Link”) y su orden (“Stream Order”) para la cuenca en ambos MDE. (Véase Figura 7)



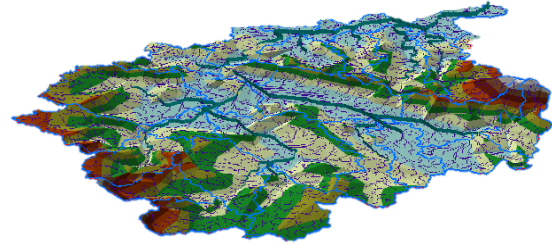
**Figura 7**  
**Red Hidrológica**

Se añadió la capa de los límites legales de Puerto Rico y se identificó los municipios que comprenden la Cuenca Río Grande de Loíza.

Se levantaron los datos de la CRGDL, previamente generados, utilizando el módulo de “ArcScene” y se modeló en tres dimensiones (3D). (Ver figuras 8 y 9)



**Figura 8**  
**MDE USGS CRGDL, 1982**



**Figura 9**  
**ASTER GDEM2 CRGDL 2011**

Se superpuso la cuenca demarcada tanto para el MDE del USGS del 1982, como para el ASTER GDEM2) se analizó y comparó la geomorfología. Se determinó MDEiante el análisis comparativo los cambios y posibles causas que pudieron incidir en la cuenca.

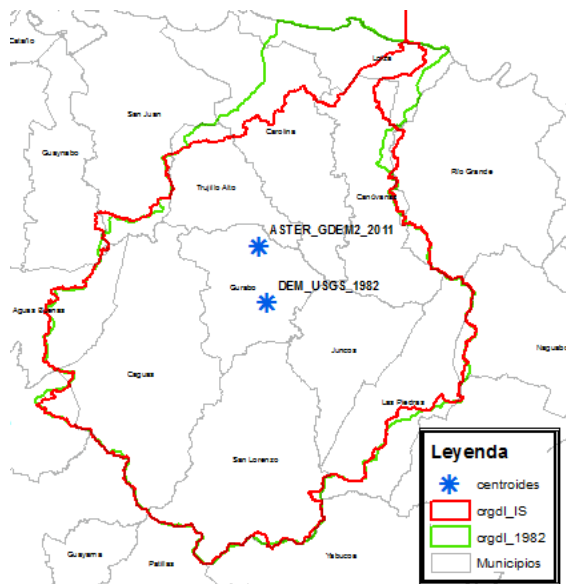
- Post-procesamiento:

Según los datos, luego de superponer la cuenca en sus diferentes épocas y analizar los datos geomorfométricos se puede observar que la cuenca ha sufrido alteraciones geomorfométricas. (Ver tabla 1).

La cuenca perdió un área aproximada de 66.79 km<sup>2</sup>, lo que a su vez generó un desplazamiento en su centroide de 4.32 kilómetros. Para obtener la distancia entre dos puntos se utiliza la fórmula (1), donde d es igual a distancia y se utilizan las coordenadas de los dos puntos de centroide para la cuenca generada de ambos modelos: X1, Y1; X2, Y2 de la tabla

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (1)$$

Su perímetro se redujo 75.38 km<sup>2</sup>. Su cota máxima descendió 27.84 m, provocando que la pendiente promedio sufriera una reducción de 3.07%. La cota mínima no presentó diferencias. La longitud de la red hídrica de la cuenca se redujo 0.05 km. (Ver tabla 1)



**Figura 10**  
**Centroides CRGDL**

Las alteraciones sufridas por la cuenca no trastocaron el orden de la red hídrica, ni su forma y drenaje, como tampoco su orientación geográfica, parámetros geomorfológicos que conservaron sus características. (Ver Tabla 1)

**Tabla 1**  
**Parámetros Geomorfológicos de la CRGDL**

Descripción	1982	2011	Diferencias	Unidad
Área	822.70	755.91	-66.791207	km <sup>2</sup>
Perímetro	154.25	214.17	59.920759	km <sup>2</sup>
Cota Máxima	1082.89	1055.05	-27.84	m
Cota Mínima	0	0	0	m
Centroide X	249480.2841	248919.6637	-560.620417	m
Centroide Y	246883.4344	251164.1829	4280.748518	m
Centroide Z	402.99	401.78	-1.21	m
Pendiente Promedio	22.36	19.29	-3.07	%
Longitud del Curso Principal	30.11	27.49	-2.62	km
Orden de la Red Hídrica	7	7	0	n/a
Longitud de la Red	1.98	1.93	-0.05	km

Hídrica				
Forma	Ovalada	Ovalada	Igual	n/a
Drenaje	Dendrítico	Dendrítico	Igual	n/a
Orientación Geográfica				
	Longitudinal	Longitudinal	Igual	n/a

Las posibles causas que se pudieran señalar como promotoras de generar el efecto de degradar la geomorfometría de la cuenca, pudiera ser el desarrollo que se ha generado en áreas circundantes a las sub-cuencas, ríos y quebradas. El factor climatológico en cuanto a las lluvias y fenómenos atmosféricos (huracanes, vaguadas y periodos de lluvia extensos) aceleran la erosión de la tierra generada por la escorrentía que a su vez tiene el efecto de sedimentar el área de captación o drenajes.

## CONCLUSIÓN

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) brindan la oportunidad de utilizar técnicas geoespaciales dentro de las aplicaciones hidrológicas para la determinación de una cuenca. Proporciona un manejo rápido y relativamente sencillo en la gestión de análisis geomorfológico.

Las herramientas hidrológicas que se encuentran disponibles para el análisis espacial en el campo de la hidrología nos permiten definir la morfometría de una cuenca con todas sus características, permitiéndonos un estudio rápido y específico.

Del análisis, según se desprende de la superposición de los modelos de elevación digital, (MDE USGS, 1982 y ASTER GDEM2 NASA y METI, 2011) la pérdida neta total de superficie fue de 66.79 km<sup>2</sup> de recursos hídricos de captación de la cuenca. Su centroide se desplazó 4.32 kilómetros. Su perímetro se redujo y su cota máxima descendió, provocando que la pendiente sufriera una pérdida de 3.07%.

La erosión de la tierra generada por la escorrentía, que a su vez tiene el efecto de sedimentar el área de captación o drenajes, aportan

a la degradación de la cuenca. Cambios en los cauces de los ríos y quebradas sea por factores ambientales y/o antropogénicos afectan la geomorfometría de la cuenca.

La utilización de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) resulto ser una herramienta útil y eficaz en el manejo de información geoespacial, debido a la capacidad que nos brinda de interactuar y manejar diferente información para poder realizar este tipo de análisis.

## REFERENCIAS

- [1] Rizzo, D. C., *Instructor's Manual for Delmar's Fundamentals of Anatomy & Physiology*, South Melbourne, Victoria, Australia: Delmar, 2001.
- [2] Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), "La Ciencia del Agua para Escuelas", Recuperado el 3 de enero del 2014 de <http://wáter.usgs.gov/gotita/earthwhere/water.html/>.
- [3] Quiñones Márquez, F. & Torres S., Recursos de Agua de Puerto Rico, "Las Cuencas Principales de Puerto Rico (resumen)", 2005. Recuperado el 20 de noviembre del 2013 de [http://www.recursosaguapuertorico.com/Las\\_Cuencas\\_Principales\\_de\\_PR\\_resumen\\_V.pdf](http://www.recursosaguapuertorico.com/Las_Cuencas_Principales_de_PR_resumen_V.pdf).
- [4] Pike, R.J., Evans, I.S. & Hengl, T., *Geomorphometry: a Brief Guide*. In: Hengl, T. and Reuter, H.I. (Eds), *Geomorphometry: Geomorphometry: Concepts, Software, Applications*. Developments in Soil Science, vol. 33, Elsevier, 2008, pp. 1-28.
- [5] Entrevista con el Sr. Carlos Figueroa, Director del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) y la Sra. Marilyn Santiago, GIS Specialist, el 24 de abril del 2014.
- [6] Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC), "Routine ASTER Global Digital Elevation Model". Recuperado el 18 de julio del 2013, de [https://lpdaac.usgs.gov/products/aster\\_products\\_table/as\\_tgm](https://lpdaac.usgs.gov/products/aster_products_table/as_tgm).