# MANUAL PRACTICO: MAPEO DIGITAL DE SUELOS



DIEGO CADENA MAYESSE DA SILVA 2016





# MANUAL: PRACTICA EN MAPEO DIGITAL DE PROPIEDADES DE SUELOS

Diego Cadena, Mayesse da Silva

Centro Internacional para Agricultura – CIAT

Este documento es un paso a paso de los procesos y herramientas que se utilizaran en el curso de Introducción al Mapeo Digital de Suelos realizado por el Centro Internacional para Agricultura Tropical (CIAT) en el marco del proyecto Innovative Crop and Soil-based Technologies in Haiti y financiado por el Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (IFAD).

#### Contenido

| 1)  | Metodología y programas requeridos   | 2  |
|-----|--|----|
| 2)  | Modelo digital de elevación (DEM)  | 2  |
| 3)  | Procesamiento de las variables ambientales                                 | 4  |
| 4)  | Unidades suelo-paisaje   | 12 |
| 5)  | Desarrollo de reglas para mapeo usado en SoLIM (Soil Land Inference Model) | 13 |
| 6)  | Creando mapas de similitud en SoLIM  | 15 |
| 7)  | Generando mapas de propiedades del suelo                                   | 22 |
| 8)  | Validación   | 23 |
| 9)  | Estrategia de muestreo   | 23 |
| 10) | Bibliografía   | 25 |

# 1) Metodología y programas requeridos

En este curso será presentada una metodología de mapeo digital de suelos que utiliza lógicas difusas (Zhu, 1997; Ashtekar et al., 2014) para determinar la variabilidad espacial de propiedades de suelos según el modelo SCORPAN desarrollado por McBratney et al. (2003).

En la siguiente tabla, se encuentran los programas que serán utilizados durante la práctica:

| Software          | Fuente  |
|-------------------|---|
| SAGA-GIS          | http://www.saga-gis.org/en/index.html                     |
| Q-GIS             | http://ggis.org/es/site/                                  |
| SoLIM             | http://SoLIM.geography.wisc.edu/software/downloadpage.htm |
| Excel/Open office | https://www.openoffice.org/es/descargar/                  |
| R                 | https://cran.r-project.org/bin/windows/base/              |
| R- Studio         | https://www.rstudio.com/products/rstudio/download/        |

### 2) Modelo digital de elevación (DEM)

- 1. Corrección del DEM
  - Paso 1. Proyección

Su sistema de referencia debe estar definido como WGS84/UTM Zona 18 N, id: 32618, para cambiar de proyección se debe abrir la capa y guardarla bajo las siguientes configuraciones:

- Seleccione la opción Save Vector Layer As....
- Seleccione el tipo de formato shp, Carpeta destino y abra la ventana de CRS.

| 🕺 Save ve             | ector layer as   |                | 2 X |  |  |  |  |  |
|-----------------------|--|----------------|-----|--|--|--|--|--|
| Format ESRI Shapefile |  |                |     |  |  |  |  |  |
| Save as               | Save as D:/Haiti/Data_GIS_Haiti/Proyectados/Haiti all roads.shp Browse |                |     |  |  |  |  |  |
| CRS                   | CRS Selected CRS (EPSG:4326, WGS 84)                                   |                |     |  |  |  |  |  |
| Encoding              | Encoding System  |                |     |  |  |  |  |  |
| Save                  | e only selected features   |                |     |  |  |  |  |  |
| ▶ Sele                | ect fields to export and their   | export options |     |  |  |  |  |  |
| X Add                 | saved file to map  |                |     |  |  |  |  |  |
| Symbolo               | ogy export   | No symbology   | •   |  |  |  |  |  |
| Scale                 |  | 1:50000        |     |  |  |  |  |  |
| ▼ Geo                 | metry  |                |     |  |  |  |  |  |
| Geome                 | Geometry type Automatic 🔻  |                |     |  |  |  |  |  |
| Force multi-type      |  |                |     |  |  |  |  |  |
| Include z-dimension   |  |                |     |  |  |  |  |  |
|                       |  |                | •   |  |  |  |  |  |
| OK Cancel Help        |  |                |     |  |  |  |  |  |

En la ventana Coordinate Reference System Selector digitamos el código de referencia para Haiti 32618.

| 6 Coordinate Reference System Selector   |                                       | Y X                     |
|--|---------------------------------------|-------------------------|
| Select the coordinate reference system for the vec<br>layer coordinate reference system. | ctor file. The data points will l     | be transformed from the |
| Filter 32618   |                                       | •                       |
| Recently used coordinate reference systems   |                                       |                         |
| Coordinate Reference System  | Authority ID                          |                         |
| WGS 84 / UTM zone 18N  | EPSG:32618                            |                         |
|  |                                       |                         |
| •  |                                       |                         |
| Coordinate reference systems of the world  |                                       | Hide deprecated CRSs    |
| Coordinate Reference System  | Authority ID                          | -                       |
| Universal Transverse Mercator (UTM)  | · · · · · · · · · · · · · · · · · · · |                         |
| WGS 84 / UTM zone 18N  | EPSG:32618                            |                         |
| •  |                                       | ••                      |
| Selected CRS: WGS 84   |                                       |                         |
| +proj=longlat +datum=WGS84 +no_defs  |                                       |                         |
|  |                                       |                         |

Paso 2. Corrección DEM

DEM (Digital Elevation Model, por sus siglas en inglés) es un modelo digital con información de elevación, para su corrección es necesario tener en cuenta que se pueden presentar depresiones y deben corregirse. Este proceso se puede realizar desde QGIS o directamente con SAGA, ambas se relacionan entre si desde QGIS, al igual que la extensión TAUDEM que permite corregir como última instancia.

#### **DEM sin depresiones**

De entrada se necesitara usar el DEM, como salida se obtiene un DEM sin depresiones u ondeadas

Utilizando QGIS nos dirigimos a la barra de herramientas y seleccionamos

Processing /Toolbox / SAGA Geoalgorithms /Terrain analysis /Hidrology / Fill sink



De igual manera el mismo enlace es posible utilizando SAGA, con la siguiente ruta.

Saga GIS: Modules/Terrain analysis/Processing/Fill sink

| eoprocessing Window ?                    |             |                       |                                     |
|--|-------------|-----------------------|-------------------------------------|
| Load Tool Library                        |             |                       |                                     |
| Find and Run Tool                        | ×           |                       |                                     |
| Climate                                  | •           |                       |                                     |
| Database                                 | •           |                       |                                     |
| File                                     | •           |                       |                                     |
| Garden                                   | 1074087     |                       |                                     |
| Grid                                     | + 1-2/490/y |                       |                                     |
| Imagery                                  | •           |                       |                                     |
| Projection                               | •           |                       |                                     |
| Shapes                                   | •           |                       |                                     |
| Simulation                               |             |                       |                                     |
| Spatial and Geostatistics                | •           |                       |                                     |
| TIN                                      | •           |                       |                                     |
| Table                                    | •           |                       |                                     |
| Terrain Analysis                         | Channe      | els 🔸                 |                                     |
| Visualization                            | + Climate   | e and Weather         |                                     |
| Fill Sinks (Planchon/Darboux, 2001)      | Hydrol      | ogy                   |                                     |
|  | Lightin     | g '                   |                                     |
|  | Morph       | ometry 🕨              |                                     |
| ources                                   | Prepro      | cessing ·             | Burn Stream Network into DEM        |
| e System 🍓 ODBC 🍓 PostgreSQL             | Profile     | s ·L                  | Fill Sinks (Planchon/Darboux, 2001) |
| AWD                                      | Slope :     | stability             | Fill Sinks (QM of ESP)              |
| Caracteristicas de los Suelos Soils Care | Terrain     | Classification •      | Fill Sinks (Wang Liu)               |
| Haiti                                    | Basic I     | errain Analysis       | Fill Sinks XXL (Wang Liu)           |
| Data_GIS_Haiti                           |             | • General D Exe       | Fiat Detection                      |
| Competition DEM                          |             | 12010 11 10 10 0 2 22 | Sink Drainage Koute Detection       |
| DEM 20m ima                              |             | 2016-11-10/11:22:16   | Sink Removal                        |

Esta es una herramienta muy útil, porque al utilizar una opción que trabaje con el flujo de escorrentía es necesario retirar las depresiones debido a que a través de ellas no habrá escurrimiento en caso de análisis hidrológico. Como se aprecia en la siguiente Figura hay un incremento en los umbrales inferiores este es un indicativo de la reacción del algoritmo de relleno de depresiones.



Nota: Otra de los elementos para corrección de depresiones es la herramienta TauDEM (Terrain Analysis Using Digital Elevation Models), el cual obtiene el complemento Pic Remove; para remover depresiones y mantener la altura mínima del Modelo Digital de Elevación.

## 3) Procesamiento de las variables ambientales

Para el caso de Haití serán utilizados datos disponibles de clima, geología y topografía que si encuentran en la carpeta **Terrain Attributes**.

### • TOPOGRAFIA

Representada por los atributos del terrenos (TAs) desarrollados en SAGA-GIS: slope, SAGA weteness index, profile and plan curvature, normalized heigth, valley depth.

Con SAGA y Q GIS es posible calcular los atributos del terreno (TAs) utilizando como base el DEM en los geoalgoritmos. Cada uno de los parámetros puede ser calculado directamente con SAGA o uno a uno en QGIS, cabe aclarar que el índice de Humedad bajo el geoalgoritmo de SAGA Wetness Index, se debe calcular por aparte.

Con SAGA es posible calcular desde la herramienta de Geoprocessing/Terrain Analysis/Basic Terrain Analysis, como se muestra a continuación.



Luego del despliegue de la ventana Basic Terrain Analysis, indicamos la grilla de trabajo y la elevación correspondiente al DEM previamente corregido. Damos click en OK y se generara una serie de atributos del terreno en el cual están los atributos que vamos utilizar: slope (indica el ángulo de inclinación existente entre el vector normal a la superficie de un punto y su vertical), plan curvature (analiza las crestas y los valles, valores positivos indican celdas de contorno cóncavo y negativos para celdas con contornos convexos), profile curvature (es la curvatura de la superficie en dirección a la pendiente más pronunciada) y valley depth (permite identificar diferencias verticales en el relieve).

| 😽 SA    | GA  |   |  |   |          |
|---------|---|---|--|---|----------|
| File    | Geoprocessing Window ?                              |   |  |   |          |
| : 🖻     |   |   |  |   |          |
| Manag   | er ×  |   | 01. DEM 30m [no sinks]   |   | ×        |
| т» IC   |   | 1   | 480000 640000 800000 960000  | ) |          |
|         |   | 2240  |  |   | 2240     |
| € D<br> | ata<br>b Gride                                      |   |  |   |          |
|         | 1 30; 12745x 10766y; 502435.422304x 1923473.274987y |   |  |   |          |
|         | 01. DEM_30m [no sinks]                              |   |  |   | 000      |
|         |   | 208   | and the second sec |   | 208      |
|         |   |   | - Since and  |   |          |
| Data S  | aurooo  |   | A  | _ |          |
| Basic T | errain Analysis                                     | ŀ   | and the same I and   | - | ×        |
| E       | Grid system   | 30  | ; 12745x 10766y; 502435.422304x 1923473.274987y 💌  | - | Okay     |
|         | >> Elevation  | 01  | . DEM_30m [no sinks]   |   |          |
|         | << Analytical Hillshading                           | <c< td=""><td>reate&gt;</td><td></td><td>Cancel</td></c<>   | reate>   |   | Cancel   |
|         | << Slope  | <c< td=""><td>reate&gt;</td><td></td><td></td></c<>         | reate>   |   |          |
|         | << Aspect   | <c< td=""><td>reate&gt;</td><td></td><td></td></c<>         | reate>   |   |          |
|         | << Plan Curvature                                   | <c< td=""><td>reate&gt;</td><td></td><td>Load</td></c<>     | reate>   |   | Load     |
|         | << Profile Curvature                                | <c< td=""><td>reate&gt;</td><td></td><td>Save</td></c<>     | reate>   |   | Save     |
|         | << Convergence Index                                | <c< td=""><td>reate&gt;</td><td></td><td></td></c<>         | reate>   |   |          |
|         | << Closed Depressions                               | <c< td=""><td>reate&gt;</td><td></td><td>Defaults</td></c<> | reate>   |   | Defaults |
|         | << Total Catchment Area                             | <c< td=""><td>reate&gt;</td><td></td><td></td></c<>         | reate>   |   |          |
|         | << Topographic Wetness Index                        | <c< td=""><td>reate&gt;</td><td>Ξ</td><td></td></c<>        | reate>   | Ξ |          |
|         | << LS-Factor  | <c< td=""><td>reate&gt;</td><td></td><td></td></c<>         | reate>   |   |          |
|         | << Channel Network Base Level                       | <c< td=""><td>reate&gt;</td><td></td><td></td></c<>         | reate>   |   |          |
|         | << Channel Network Distance                         | <c< td=""><td>reate&gt;</td><td></td><td></td></c<>         | reate>   |   |          |
|         | << Valley Depth                                     | <c< td=""><td>reate&gt;</td><td></td><td></td></c<>         | reate>   |   |          |
|         | << Relative Slope Position                          | <c< td=""><td>reate&gt;</td><td></td><td></td></c<>         | reate>   |   |          |
| •       | Shapes  |   |  |   |          |
|         | << Channel Network                                  | <c< td=""><td>reate&gt;</td><td></td><td></td></c<>         | reate>   |   |          |
|         | << Drainage Basins                                  | <c< td=""><td>reate&gt;</td><td></td><td></td></c<>         | reate>   |   |          |

El índice de humedad (Saga Wetness index), puede ser calculado desde la base de los geoalgoritmos de SAGA dentro de la siguiente ruta Tools/Data/Hidrology /SAGA Wetness Index.



La altura normalizada es otro de los indicadores (Normalized Height), permite conocer la altura relativa del terreno y puede ser calculado desde la base de los geoalgoritmos de SAGA dentro de la siguiente ruta Tools/Data/Morphometry/Relative Heights and Slope Positions.

| Relative | e Heights and Slope Positions |       |   |  | X        |
|----------|-------------------------------|-------|---|--|----------|
| Date     | ta Objects                    |       |   |  | Okay     |
| =        | Grids                         |       | 30· 12745v 10766v· 502435 422304v 1923473 274987v |  | Cancel   |
|          | >> Elevation                  |       | 02. DEM_30m [no sinks]                            |  |          |
|          | << Slope Height               |       | <create></create>                                 |  |          |
|          | << Valley Depth               |       | <create></create>                                 |  | Load     |
|          | << Normalized Height          |       | <create></create>                                 |  | Save     |
|          | << Standardized Height        |       | <create></create>                                 |  | Defaults |
| ⊟ Opt    | tions                         |       |   |  |          |
| w        |                               |       | 0.5   |  |          |
| t        | t                             |       | 10  |  |          |
| e        | e                             |       | 2   |  |          |
|          | Davie                         | 1077  |   |  |          |
|          | Fit                           | nodes |   |  |          |

De esta manera se consolidan los atributos del terreno que serán utilizados para conocer el comportamiento del relieve, entre otros parámetros. Es importante tener en cuenta que dentro del software SAGA la ejecución de los geoalgoritmos de SAGA wetness index y normalized height toman más tiempo.



Para ayudar en la visualización del terreno vamos generar el hillshade a partir del DEM. El geoalgoritmo aplicado en QGIS para el cálculo del Hillshade también es posible seleccionamos en la barra de herramientas la opción Ráster/ Terrain Analysis/ Hillshade, como se muestra en la figura.



En QGIS es posible realizar configuraciones de iluminación ideales para una mejor visualización en este caso ingresaremos los siguientes datos y generamos el Hillshade.

Factor Z = 1

Azimuth = 315

Altitud = 45

| 💋 Hillshade             |                    |
|-------------------------|--------------------|
| Elevation layer         | DEM_30m [no sinks] |
| Output layer            | ····               |
| Output format           | GeoTIFF 🗸          |
| Z factor                | 1.0                |
| X Add result to project |                    |
| Illumination            |                    |
| Azimuth (horizontal ang | le) 315.00         |
| Vertical angle          | 45.00              |
|                         | OK Cancel          |

Finalmente se tienen los atributos del terreno que se utilizaran en el paso 4 para la generación del clúster bajo parámetros de la forma del terreno.

#### CLIMA

Para identificar la variación climática que ocurre en el país vamos utilizar el índice PEI (Precipitation Effectiveness Index)

### Generación del PEI

Thornthwaite (1931) introdujo el concepto del índice de efectividad de precipitación (PEI), índice que representa la eficacia para el crecimiento vegetal bajo estimativos de humedad; se calcula a partir de los valores mensuales de precipitación y evaporación. La evaporación es representada en términos de temperatura.

$$PEI = \frac{P}{E} = 11.5 \left(\frac{P}{T-10}\right)^{\frac{10}{9}}$$

Donde: P = precipitación mensual en pulgadas (inches) y T = temperatura media en ° F

### Pasos para el cálculo de PEI en R Studio

Inicialmente instalamos y llamamos las librerías para análisis de datos espaciales (ráster, sp) que necesitaremos en este caso:



Seguido llamamos los archivos ráster bajo la dirección de carpetas de almacenamiento previamente creadas.

**Ejemplo:** Se indica en este caso la variable de precipitación direccionando a la carpeta de almacenamiento, en la cual cada uno de los rásters contiene el nombre "*preci\_month\_*" consecutivo de 1 a 12 equivalentes a la cantidad de meses en el año, y el indicativo del formato tif.

preci=ráster(paste("Dir.../preci\_month\_",i,".tif",sep=""))

Ecuación PEI, Thornthwaite (1931): continuando con el cálculo se procederá a calcular la ecuación teniendo en cuenta:

- La temperatura debe estar en °F (Fahranheit) >  $32 + (Tmax \text{ or Tmin in } C^* 1.8)$
- La precipitación en pulgadas (inches) > *Preci (mm) \* 0.0394*
- Se debe contar con la temperatura media > (*Tmax + Tmin*)/2

Continuado con el proceso se aplica la ecuación (Tener en cuenta que 10/9 = 11.1 y se guardan los archivos destino dentro de la dirección de una carpeta previamente creada con el comando *writeRáster*, como se muestra a continuación:





Finalmente realizamos un promedio del Indice PEI para conocer el comportamiento anual del indice hacemos la suma de todos los meses con los PEI mensuales desde QGIS implementando la herramienta de *Ráster > Ráster Calculator*.

| Raster bands                     |                                      |                  | Rest           | ılt la        | iyer           |                 |              |              |         |  |
|----------------------------------|--------------------------------------|------------------|----------------|---------------|----------------|-----------------|--------------|--------------|---------|--|
| pei_month_10@1<br>pei_month_11@1 |                                      |                  | Outp           | ut la         | yer            |                 |              |              |         |  |
| pei_month_1@                     | month_1@1<br>month_12@1<br>month 2@1 |                  |                | Output format |                | GeoTJFF         |              |              |         |  |
| pei_month_2@                     |                                      |                  |                |               |                |                 |              |              |         |  |
| pei_month_3@                     | 1                                    |                  | Cun            | rent          | layer extent   |                 |              |              |         |  |
| pei_month_4@                     | 1                                    |                  | X mi           | n             | 502420.422     | 30              | XMax         | 884920.42    | 230     |  |
| pei_month_5@                     | 1                                    |                  |                |               |                |                 |              | 004920.42250 |         |  |
| pei_month_6@                     | 1                                    |                  | Y mii          | n             | 1923458.27     | 499 🤤           | Y max        | 2246558.2    | 7499    |  |
| pei month 8@                     | 1                                    |                  | Colu           | mns           | 1275           | <b>A</b>        | Rows         | 1077         |         |  |
| pei_month_9@                     | 1                                    |                  |                |               |                |                 |              |              |         |  |
|                                  |                                      |                  | Outp           | ut C          | RS             | Selected CRS (E | PSG:32618    | WGS 84 / I   | UTM 🔻 🍕 |  |
|                                  |                                      |                  | · · · ·        | dd e          | ocult to proje | ct              |              |              |         |  |
|                                  |                                      |                  |                |               | count to proje |                 |              |              |         |  |
| Operators -                      |                                      |                  |                |               |                |                 |              |              |         |  |
| ·                                |                                      |                  |                |               |                |                 |              |              |         |  |
| +                                | •                                    | sqrt             | COS            |               | sin            | tan             | log          | 10           | (       |  |
| -                                | /                                    | ^                | acos           |               | asin           | atan            |              | n            | )       |  |
|                                  |                                      |                  |                |               |                |                 |              |              |         |  |
| <                                | >                                    | =                | !=             |               | <=             | >=              | A            | ND           | OR      |  |
|                                  |                                      |                  |                |               |                |                 |              |              |         |  |
| caster calcula                   | tor expression                       |                  |                |               |                |                 |              |              |         |  |
| nei month 1@                     | 1" + "nei month                      | 2@1" + "nei mont | h 3@1" + "nei  | mon           | th 4@1" + "n   | ei month 5@1" - | - "nei month | م<br>6@1" +  |         |  |
| pei month 7@:                    | 1" + "pei month                      | 8@1" + "pei mont | h 9@1" +"pei r | nont          | h 10@1" + "    | pei month 11@1" | + "pei mor   | th 12@1"     |         |  |
|                                  |                                      |                  |                |               |                |                 |              |              |         |  |
|                                  |                                      |                  |                |               |                |                 |              |              |         |  |
|                                  |                                      |                  |                |               |                |                 |              |              |         |  |
|                                  |                                      |                  |                |               |                |                 |              |              |         |  |

Obtenido el comportamiento anual es posible clasificar la region dependiendo del rango en que el indice se encuentre según la clasificacion climatica de Thornthwaite (1931).

**Tabla:** Clasicación de regiones climáticas Thornthwaite (1931).

| PE Index      | Climate   |
|---------------|-----------|
| More than 128 | Wet       |
| 64 - 127      | Humid     |
| 32 - 63       | Sub-humid |
| 16 - 31       | Semi-arid |
| Less than 16  | Arid      |

Según la clasicación de regiones climáticas Thornthwaite (1931), Tabla 1; ejecutamos el proceso de clasificación utilizando QGIS como se describe a continuación:

- Abre el cuadro de diálogo propiedades de la para la capa, con clic derecho en la capa en el árbol de capas y selecciona la opción Propiedades.
- Cambia a la pestaña Estilo.
- Cambia el Tipo de renderizador a *Singleband pseudocolor*, y utiliza las opciones presentadas por defecto.

| 💋 Layer Properties - Ann | ual_mean_PE          | I   Style   | 10            | 2271            |      |        | لوا<br>لا | Σ    | 3 |
|--------------------------|----------------------|-------------|---------------|-----------------|------|--------|-----------|------|---|
| 🔀 General                | Band render          | ering       |               |                 |      |        |           |      | F |
| ≼ Style                  | Render type          | Singleband  | l pseudocolor | •               |      |        |           |      |   |
| Transparency             | Band                 | Band 1 (Gr  | ay)           |                 |      |        |           | •    |   |
| 👜 Pyramids               |                      | Min         |               | 8.72956         | Max  | 39.    | 9318      |      |   |
| 🔛 Histogram              | Load min/            | max value   | 95            |                 |      |        |           |      |   |
| (i) Metadata             | Interpolation        | Linear      |               |                 |      |        |           | -    |   |
| E Legend                 | Color                | Random co   | lors          | •               | Edit | Invert |           |      |   |
| e_ cogono                | Label unit           |             |               |                 |      |        |           |      |   |
|                          | Min / max<br>origin: | Estimated c | umulative cut | of full extent. |      |        |           |      |   |
|                          | Value                | Color       | Label         |                 |      |        |           |      |   |
|                          |                      |             | 8.73<br>24.3  |                 |      |        |           |      |   |
|                          | <b>39.9</b>          |             | 39.9          |                 |      |        |           |      |   |
|                          |                      |             |               |                 |      |        |           |      |   |
|                          |                      |             |               |                 |      |        |           |      |   |
|                          |                      |             |               |                 |      |        |           |      |   |
|                          | Mode Equal in        | terval 💌    |               |                 |      |        | Classes 3 | •    |   |
|                          | Classify             | ÷           | = 3           |                 |      |        |           |      | - |
|                          | Clip out of          | range value | s             |                 |      |        |           |      |   |
|                          | Style 🔻              |             |               |                 | ОК   | Cancel | Apply     | Help |   |

• Haz clic en el botón Clasificar para generar una clasificación por color nueva, y haz clic en Aceptar para aplicar esta clasificación al PEI.



4) Unidades suelo-paisaje

Las variables topográficas y de clima generadas anteriormente más el mapa de geología serán combinadas para crear unidades suelo-paisaje que serán utilizadas en los siguientes pasos. Los TAs serán agrupados según la forma del paisaje por medio de clustering. El análisis de agrupamiento o clustering es la asignación de un conjunto de observaciones en subconjuntos (llamados racimos) de modo que las observaciones en el mismo grupo son similares en algún sentido. Utilizando el software SAGA, bajo la siguiente ruta generamos el Clustering de agrupamiento para los atributos del terreno.

Tools /Imagery /K- Means Clustering for Grids

Los atributos del terreno utilizados son:

- ✓ Slope
- ✓ Plan Curvature
- ✓ Profile Curvature
- ✓ SAGA wetness index
- ✓ Normalized Height
- ✓ Valley Depth

| 🍬 Tools 🔁 Data 🕼 Maps                | K-Means Clustering for Grids |   |  |  |  |  |
|--------------------------------------|------------------------------|---|--|--|--|--|
| IM Tool Libraries                    | Data Objects                 |   |  |  |  |  |
| 🗄 🔖 Garden                           | Grids                        |   |  |  |  |  |
| 🕀 🗫 Grid                             | Grid system                  | 30; 12745x 10766y; 502435.422304x 1923473.274987y                   |  |  |  |  |
| E S Imagery                          | >> Grids                     | 7 objects (Slope, Plan Curvature, Profile Curvature, SAGA_Topograph |  |  |  |  |
| Classification                       | << Clusters                  | <create></create>   |  |  |  |  |
|                                      | □ Tables                     |   |  |  |  |  |
| 👋 Decision Tree                      | << Statistics                | <create></create>   |  |  |  |  |
| - * K-Means Clustering for Grids     | Options                      |   |  |  |  |  |
| Supervised Classification for Grids  | Method                       | Combined Minimum Distance / Hillclimbing                            |  |  |  |  |
| Supervised Classification for Tables | Clusters                     | 10  |  |  |  |  |
| Soperfield classification for fusies | Maximum Iterations           | 0   |  |  |  |  |
| 🗄 🗣 Maximum Entropy                  | Normalise                    |   |  |  |  |  |
| DenCV                                | Update Colors from Features  |   |  |  |  |  |

Finalmente se obtiene el Clúster con la información de los atributos de manera que las formas del terreno converjan entre sí, mostrando zonas de mayor agrupación bajo similitud y distancia. Finalizado el proceso arrojará una tabla con los indicadores de cada agrupamiento con su desviación estándar, en este caso fueron generados un total de 5 Clústeres. A partir de este punto la información es clasificada y organizada bajo la zona de estudio, el mapa se reduce debido a que la información de geomorfología obtenida no se extiende a todo el nivel nacional, de manera que se unifican las capas de factores climáticos, topográficos y geomorfológicos a la zona de estudio los datos estarán ubicados dentro de la carpeta, **Data Study Zone Haiti.** 

#### 5) Desarrollo de reglas para mapeo usado en SoLIM (Soil Land Inference Model)

SoLIM genera mapas de suelo basado en reglas y lógicas difusas, adoptando un enfoque basado en el conocimiento para predecir los valores de similitud. Los dos insumos claves para SoLIM son: datos sobre variables ambientales seleccionadas (covariables) relacionadas con las condiciones del suelo en la zona (almacenadas en la base de datos GIS) y conocimiento experto (reglas) que permiten diferenciar los distintitos suelos (unidades suelo-paisaje) según su relación con las variables ambientales.

Las reglas poden ser definidas de distintas maneras dependiendo de la información disponible y conocimiento experto en las relaciones suelo-paisaje. Para este curso, las reglas serán

desarrolladas utilizando la herramienta de estadística por zona (Zonal statistic) donde serán extraídos los valores del promedio y la desviación de los TAs para cada unidad suelo-paisaje. En este proceso recurrimos al software SAGA con la siguiente ruta:



Geoprocessing / Spatial and Geostatistics / Grids / Zonal Grid Statistics

Nota: Es necesario tener cada variable bajo la misma resolución y extensión, por lo cual se realiza un ajuste de resolución Resampling utilizando la herramienta de SAGA. La ruta será la siguiente: Geoprocesing / Grid / Grid System/Resampling, como se muestra a continuación:

| lesampling         |   | Σ.    |
|--------------------|---|-------|
| Data Objects       |   | Okay  |
| Grids              |   |       |
| Grid system        | 30; 1290x 1122y; 600775.823394x 2003874.504822y | Cance |
| >> Grids           | 1 object (Soils_Units)                          |       |
| Options            |   |       |
| Preserve Data Type |   | Load  |
| Downscaling Method | B-Spline Interpolation                          | Save  |
| Target Grid System | grid or grid system                             |       |
| Grid System        | 30; 1298x 1139y; 600535.823394x 2003364.504822y | Defau |

Continuando con el análisis estadístico finalmente tenemos la siguiente tabla, la cual contiene la estadística descriptiva para los TAs para cada unidad de suelo-paisaje. Es posible guardarla en formato txt, csv o dbf. Para proceder a SoLIM en el paso 6 únicamente se tendrá en cuenta la media y la desviación Estándar de los atributos del terreno.

| 01. Zona | I Statistics |           |            |            |            |            |            |              |            |            |            |            |            |            |            |
|----------|--------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|          | Soils_Unit   | Count UCU | NormalizeN | NormaliMIN | NormaliMAX | NormalMEAN | NormSTDDEV | NormaliSUM   | Plan CurvN | Plan CuMIN | Plan CuMAX | Plan CMEAN | PlanSTDDEV | Plan CuSUM | Profile CI |
| 1        | 11           | 68        | 68         | 0.01145    | 0.19419    | 0.048417   | 0.038071   | 3.292374     | 68         | -0.09706   | 0.012346   | -0.012041  | 0.017621   | -0.818804  | 6          |
| 2        | 12           | 20238     | 20238      | 0.022383   | 0.964386   | 0.444287   | 0.186855   | 8991.48882   | 20238      | -0.246422  | 0.370005   | 0.003761   | 0.022997   | 76.11266   | 2023       |
| 3        | 13           | 11147     | 11147      | 0.019186   | 0.954186   | 0.232691   | 0.185745   | 2593.807799  | 11147      | -0.138632  | 0.240065   | 0.001104   | 0.017176   | 12.30557   | 1114       |
| 4        | 14           | 11744     | 11744      | 0.038116   | 0.961258   | 0.283706   | 0.220605   | 3331.846316  | 11744      | -0.360428  | 0.253529   | 0.002272   | 0.019236   | 26.679129  | 1174       |
| 5        | 15           | 7803      | 7803       | 0.056685   | 0.971278   | 0.621285   | 0.181278   | 4847.888705  | 7803       | -0.29197   | 0.305188   | 0.005951   | 0.020779   | 46.432776  | 780        |
| 6        | 16           | 22591     | 22591      | 0.021962   | 0.956889   | 0.329351   | 0.195406   | 7440.365117  | 22591      | -0.170283  | 0.304981   | 0.001585   | 0.019902   | 35.806206  | 2259       |
| 7        | 17           | 1924      | 1924       | 0.143157   | 0.970111   | 0.795023   | 0.133309   | 1529.624845  | 1924       | -0.057057  | 0.427423   | 0.014759   | 0.024395   | 28.396625  | 192        |
| 8        | 18           | 15672     | 15672      | 0.036979   | 0.971984   | 0.466046   | 0.222401   | 7303.878336  | 15672      | -0.25271   | 0.280793   | 0.00333    | 0.02154    | 52.18838   | 1567       |
| 9        | 19           | 1242      | 1242       | 0.019583   | 0.71865    | 0.169799   | 0.107916   | 210.89037    | 1242       | -0.192963  | 0.11024    | -0.0031    | 0.01563    | -3.850569  | 124        |
| 10       | 21           | 2981      | 2981       | 0.010448   | 0.893584   | 0.194523   | 0.19454    | 579.872146   | 2981       | -0.414451  | 0.114595   | -0.005142  | 0.017491   | -15.327916 | 298        |
| 11       | 22           | 14947     | 14947      | 0.020879   | 0.969544   | 0.464209   | 0.236173   | 6938.530277  | 14947      | -0.187985  | 0.307359   | 0.000082   | 0.014057   | 1.229816   | 1494       |
| 12       | 23           | 14121     | 14121      | 0.015966   | 0.944532   | 0.305909   | 0.225421   | 4319.735066  | 14121      | -0.245081  | 0.180424   | -0.00104   | 0.014283   | -14.680709 | 1412       |
| 13       | 24           | 13247     | 13247      | 0.019802   | 0.971934   | 0.367652   | 0.242842   | 4870.279603  | 13247      | -0.192343  | 0.20664    | -0.000684  | 0.013745   | -9.066056  | 1324       |
| 14       | 25           | 19790     | 19790      | 0.025899   | 0.985944   | 0.602002   | 0.227215   | 11913.616189 | 19790      | -0.12525   | 0.194145   | 0.00061    | 0.014315   | 12.081555  | 1979       |
| 15       | 26           | 12380     | 12380      | 0.023845   | 0.962788   | 0.41736    | 0.244804   | 5166.912339  | 12380      | -0.362892  | 0.131873   | -0.000727  | 0.014235   | -9.004115  | 1238       |
| 16       | 27           | 27377     | 27377      | 0.065745   | 0.993412   | 0.788553   | 0.170969   | 21588.22086  | 27377      | -0.413837  | 0.353813   | 0.006618   | 0.019433   | 181.172901 | 2737       |
| 17       | 28           | 15938     | 15938      | 0.024138   | 0.974455   | 0.536843   | 0.224215   | 8556.210665  | 15938      | -0.369899  | 0.156799   | 0.000628   | 0.01468    | 10.01626   | 1593       |
| 18       | 29           | 6085      | 6085       | 0.012907   | 0.954995   | 0.237682   | 0.201244   | 1446.29583   | 6085       | -0.248591  | 0.303723   | -0.002632  | 0.013137   | -16.014678 | 608        |
| 19       | 31           | 3055      | 3055       | 0.009445   | 0.859593   | 0.152207   | 0.151578   | 464.992194   | 3055       | -0.306773  | 0.182104   | -0.004326  | 0.014704   | -13.215199 | 305        |
| 20       | 32           | 59337     | 59337      | 0.014545   | 0.985716   | 0.380464   | 0.212595   | 22575.571359 | 59337      | -0.353054  | 0.268565   | 0.00052    | 0.019094   | 30.830972  | 5933       |

### 6) Creando mapas de similitud en SoLIM

Inicialmente debemos crear un proyecto; indicamos nombre y dirección, posteriormente seleccionamos la opción Rule-based y damos OK

| Untitled - SoLIM Solutions   | Language and the second second | reading 2 Tel    | A Second Se        | ALC: 1     | Ingland In    |           |      |
|--|--------------------------------|------------------|--------------------|------------|---------------|-----------|------|
| Project Data Preparation   | N Knowledge Acquisition        | on Sample Design | Product Derivation | Validation | Visualization | Utilities | Help |
| D 🖻 🖩 🖑 🔍 🖾 🤅  | Ð 🛛 🔋                          |                  |                    |            |               |           |      |
| Project Types 4<br>Fulle-based Project<br>Standard Statuse<br>Knowledge Base<br>Sample-based Project<br>Sample-based Project<br>Samples<br>Statuse<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samples<br>Samp | New Project                    |                  |                    | X          |               |           |      |
|  | Project Name:                  | Les Cayes Haiti  |                    | Ī          |               |           |      |
|  | Project Director               | C:\Haiti\Solim   |                    | Browse     |               |           |      |
|  | R                              | le-based         | ○ Sample-based     |            |               |           |      |
|  |                                | ОК               | Cancel             |            |               |           |      |
|  |                                |                  |                    |            | _             |           |      |
|  |                                |                  |                    |            |               |           |      |
|  |                                |                  |                    |            |               |           |      |
|  | Item Value                     |                  |                    |            |               |           |      |
|  |                                | •                |                    |            |               |           |      |

SoLIM requiere para su lectura de datos, la conversión de los datos ráster a formato 3dr, para ello vamos a la barra de herramientas, seleccionamos Utilities / Data Format Conversion / Other Ráster Formats  $\rightarrow$  3dr y convertimos cada uno de los factores topográficos.



Finalmente indicamos la localización del archivo ráster de cada atributo del terreno e indicamos en las unidades

| GDAL-Supporte   | d Raster Formats to 3dr                                       | X |  |  |  |  |  |
|---|---|---|--|--|--|--|--|
| Input File: laiti\Les Cayes Haiti\Terrain Atributes\Plan Curvature.sdat |   |   |  |  |  |  |  |
| Output File:  | Output File: D:\Haiti\Solim\Less Cayes 3dr\Plan_curvature.3dr |   |  |  |  |  |  |
| Data Unit:  | 30 Grid Unit: Meters  | • |  |  |  |  |  |
|   |   |   |  |  |  |  |  |
|   | OK  |   |  |  |  |  |  |

Para explicar este ejemplo tomaremos la zona de Les Cayes (Haití), SoLIM es un software que presenta un límite en el peso de los datos de procesamiento, cuando el software no soporta este peso arrojara un mensaje de "Out of memory", por tal razón debemos reducir el área del ráster.

Convertidos cada uno de los datos en formato ráster a formato 3dr continuamos con la creación de la GIS Database con los parámetros topográficos que serán cada una de las covariables dentro del software, añadirlas solo será dando clic derecho sobre GIS Database / Add Layer.



• Añadir tipos de suelos

En el panel izquierdo del proyecto, haga clic con el botón derecho del ratón en el nodo "Knowledge Base" y seleccione "Add Soil Type" en el menú emergente.

Es importante que establezca previamente la codificación de las unidades de suelos, realizando la clasificación para cada tipo de geología, geomorfología o clima si es el caso, y crear cada una con valores enteros concatenados entre sí.



Esto muestra un cuadro de diálogo para especificar el nombre del tipo de suelo. Ingrese el número correspondiente a cada unidad de suelos: 11, 12... 45 y haga clic en "OK".

| Name                                    | X |
|---|---|
| Please input the name of the soil type: |   |
| 13                                      |   |
| OK Cancel                               |   |

Cada unidad o tipo de suelo se agrega a la base de conocimientos. Desplegar el nodo de tipo de suelo, verá que se crean tres subnodos: Instancias, Ocurrencias, Exclusiones. Se usan para sostener diferentes tipos de conocimiento.

La configuración ambiental tiene efecto en toda el área de mapeo, por lo que sólo se necesita una instancia para representar el conocimiento (conocimiento global) en la base de conocimientos. Haga clic con el botón derecho en el nodo "Instancias" bajo el nodo "11" y seleccione "Añadir instancia" en el menú emergente.



Esto mostrará un cuadro de diálogo que le permitirá introducir el nombre de la instancia. Ingrese "1" y haga clic en "Aceptar", se creará una nueva instancia en blanco.

#### • Añadir reglas (Rule Based approach)

Las covariables se utilizan en el conocimiento suelo-paisaje para cada tipo de suelo. Por lo tanto, la siguiente tarea es crear reglas para cada una.

#### Ejemplo:

Podemos usar la regla de rango para expresar el conocimiento en cada covariable. Procedemos con un clic derecho en el nodo "Instance1". En el menú emergente, seleccione "Añadir regla" y luego seleccione "Regla de rango".

| Design to Turner   |           |   |                      |
|--------------------|-----------|---|----------------------|
| Project Types 4    |           |   |                      |
| Rule-based Project |           |   | No rule is selected. |
| 😑 😘 GIS Database   |           |   |                      |
| - 🖓 Normalize      | ed_Heigth |   |                      |
| 📲 Plan_curva       | ture      |   |                      |
| 📲 Profile_cu       | vature    |   |                      |
| 📇 Saga_TWI         |           |   |                      |
| - Canal Slope      |           |   |                      |
| R Valley De        | pth       |   |                      |
| ⊡ S Knowledge B    | ase       |   |                      |
|                    | use       |   |                      |
|                    | es        |   |                      |
|                    | Add Rule  | ÷ | Range Rule           |
| Exclu:             | Delete    |   | Freehand Rule        |
| ⊟ 🍫 12             | Rename    |   | Word Rule            |
| E Instar           | Paste     |   | Point Rule           |
|                    | ences     |   | Enumerated Rule      |
| = Evolusi          | one       |   |                      |

Seleccione "Choose an attached layer now" y, a continuación, seleccione "Slope" en la lista desplegable "Data Layers" y, a continuación, haga clic en "Next". Esto permitirá al motor de inferencia vincular la regla definida aquí con la capa de datos GIS "Slope" que se definió anteriormente en la base de datos GIS.

| New Range Rule  | X      |  |  |  |  |  |
|---|--------|--|--|--|--|--|
| <ul> <li>Choose an attached layer now</li> <li>Data Layer:</li> </ul> |        |  |  |  |  |  |
| Normalized_Heigth ▼   |        |  |  |  |  |  |
| Cancel Previous Next  | Finish |  |  |  |  |  |

A continuación utilizamos la tabla de datos estadísticos y analizamos cada regla teniendo en cuenta la distribución normal de los datos, de manera que sea posible entender el comportamiento de la curva sea de forma Bell-shape, S- shape o Z- shape (los datos deben ser analizados desde los resultados obtenidos en el análisis stadistic zones).





Slope: Z – Shape



#### Saga TWI – Bell Shape



Ahora hemos codificado el conocimiento sobre las condiciones ambientales del suelo como reglas. Puede repetir el proceso para los otros tipos de suelo. No olvide guardar.

El siguiente paso es ejecutar una inferencia usando el conocimiento codificado para producir el mapa de similitud para cada unidad suelo-paisaje. Haga clic en el nodo "Inferencia" para desplegarlo. Bajo ese nodo, haga clic en "Inferencia", la vista cambiará a la interfaz de Inferencia.

Al desplegarse la ventana se observara el listado de Unidades de suelos, en este caso se presenta la unidad 11, la opción para implementar alguna mascara y finalmente el lugar donde se guardara el mapa de inferencia. Ejecutamos y obtenemos el resultado.

| Inference Resolution (Poel Sze): 30 Sol Types to Be Inferred E11 |                                     |
|--|-------------------------------------|
| Mask Use Mask<br>Masking File:<br>Masking Value:                 | 0     (peak 4)                      |
| Inference Result<br>Save Result In:<br>Save Fermat As:           | [D:(Solm_Lea_Cayes)Memberships Maps |
| Execute  |                                     |

Para visualizar el mapa de similitud creado, puede hacer uso de la herramienta SoLIM Data Viewer adjunta en la carpeta del Software, procede a añadir el membership map, en la siguiente figura se observa el resultado obtenido anteriormente de la unidad de suelo 11. También puede utilizar la herramienta de conversión a formato ASCII para visualizar en otros software utilizando la siguiente dirección:



Utilities / Data Format Conversion /  $3dr \rightarrow Grid Ascii$ 

## 7) Generando mapas de propiedades del suelo

Seleccione en la barra de herramientas Product Derivation / Property Map, para crear el mapa de propiedades del suelo. Para el desarrollo de los mapas de propiedades es necesario tener los puntos de muestreo con valores in situ.

Se deben ingresar los datos de la siguiente manera:

"Directorio de resultados" es el directorio donde se almacenan los Fuzzy o memberships maps anteriormente calculados.

La "Tabla de búsqueda" (lookup table) es el archivo que contiene los valores de la propiedad de suelo que deseamos mapear para cada unidad de suelo-paisaje. La tabla de búsqueda debe digitarse así:

| Tipo de suelo 1 | valor 1 |
|-----------------|---------|
| Tipo de suelo 2 | valor 2 |

El nombre del tipo de suelo es el nombre del mapa de similitud (sin sufijo .3dr) en "Directorio de resultados" y los valores corresponden a los datos de campo para la propiedad que se desea mapear dentro de cada unidad de suelo.

| Creating Property    | Map   |
|----------------------|---|
| Directory of Fuzzy I | Maps:   |
| Lookup Table:        |   |
| Output File:         |   |
| Mask                 |   |
| Masking Value:       | 0 (pixel with this value will NOT be processed) |
|                      |   |
|                      | OK Cancel                                       |

#### 8) Validación

Seleccione Validation / Property Validation, puede crear un informe de exactitud para el mapa de propiedades, evaluándolo con puntos de muestreo en campo (usar un banco de datos distinto del usado para crear el mapa de propiedades).

El archivo de lista de puntos observados contiene información sobre las ubicaciones de las muestras. Un archivo de punto tiene el siguiente formato.

| PointID | X  | Y  | Property Value |
|---------|----|----|----------------|
| Index 1 | X1 | Y1 | propiedad 1    |
| Index 2 | X2 | Y2 | propiedad 2    |

La primera fila contiene los encabezados de las columnas. La primera columna contiene los identificadores asignados a los puntos de muestreo. Xs e Ys son las coordenadas de los puntos. Property Values son los valores de propiedad observados en las ubicaciones de muestra.

- > El archivo de mapa de propiedades debe estar en formato .3dr.
- El tamaño del vecindario define una ventana sobre la cual se recuperarán las propiedades medias como valor de propiedad inferido.

La salida es un informe de precisión que contiene cuatro partes de información estadística y la lista de puntos:

- 1. RMSE (Root Mean Squared Error)
- 2. Agreement Coefficient
- 3. Mean Absolute Error

#### 9) Estrategia de muestreo

Existen distintas maneras para definir la estrategia de muestreo para mapeo digital. En este curso vamos usar la estrategia de muestreo *conditioned Latin Hypercube* (cLHS) según Minasny y

McBratney (2006). cLHS es un procedimiento aleatorio estratificado y eficiente a la hora de muestrear variables con distribuciones multivariantes; su enfoque es basado en modelos donde prima la variación espacial y su predicción; El cLHS puede ser ejecutado en R o utilizando un plugin que funciona en ArcGIS.

Es necesario tener en cuenta antes de ejecutar la herramienta:

- Todos los datos ráster deben cubrir la misma extensión
- Todos los datos ráster deben estar en la misma proyección o la herramienta fallará

Procedimiento:

1. Para iniciar, seleccione el cuadro azul en la barra de herramientas TEUI principal.



2. Aparecerá el cuadro de diálogo Latin Hyper Cube Generator

| 🛃 Latin Hyper Cube Generator               | _ = ×    |
|--|----------|
| Histograms Objective Function              |          |
| Latin Hyper Cube Generator                 |          |
| Layers                                     |          |
|  |          |
|  |          |
|  |          |
|  |          |
| Select All Unselect All Add Data Layer     |          |
|  |          |
| Existing Points                            | 1        |
| Cost Layer                                 | <u> </u> |
| Exclusion Mask                             | <u> </u> |
| Output Location                            | <u> </u> |
| Histogram Results (Optional)               | <u> </u> |
| Number of Points 15 Number of Iterations 1 |          |
| Generate                                   |          |

3. Seleccione el botón Add Data Layer de datos para agregar capas. Si tiene abierto un proyecto de TEUI Toolkit actual, la herramienta agregará automáticamente esas capas al diálogo de selección.

| demles_caye | s            |                |  |
|-------------|--------------|----------------|--|
| UnitsSoils  |              |                |  |
|             |              |                |  |
|             |              |                |  |
|             |              |                |  |
| Select All  | Unselect All | Add Data Layer |  |

4. Aparecerá una ventana que le permitirá navegar hasta los datos ráster de su elección. Puede seleccionar tantas capas como desee.

5. Asegúrese de colocar un check list en la casilla junto a cada capa ráster que desea usar.

6. Introduzca el número de puntos de muestreo que desea que haya devuelto (mínimo 1).

7. Seleccione el número de iteraciones. Un número más alto resultará en más el tiempo de procesamiento es requerido, pero teóricamente producirá resultados más precisos.

8. Haga clic en *Generate* para crear las ubicaciones de la muestra. El producto resultante será una capa de archivo shapefile atribuida con los valores de cada ráster en cada punto de muestreo.

Si desea conocer el proceso de descarga e instalación diríjase a:

http://www.fs.fed.us/eng/rsac/programs/teui/downloads.html

# 10) Bibliografía

Ashtekar J.M., Owens P.R., Brown R.A., Winzeler H.E., Dorantes M., Libohova Z., Da Silva. M. & Castro. A. (2014). Digital mapping of soil properties and associated uncertainties in the Llanos Orientales, South America. In A. B. M. Dominique Arrouays, Neil McKenzie, Jon Hempel, Anne Richer de Forges (Ed.), GlobalSoilMap: Basis of the global spatial soil information system (pp. 367–372). <u>https://doi.org/10.1201/b16500-67</u>

McBratney, A. Mendonça Santos, M., & Minasny, B. (2003). On digital soil mapping. Geoderma, 117(1–2), 3–52. <u>https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00223-4</u>

Minasny B. & McBratney A. B. (2006). A conditioned Latin hypercube method for sampling in the presence of ancillary information. Computers & Geosciences, 32(9), 1378–1388. https://doi.org/10.1016/j.cageo.2005.12.009

Thornthwaite C. W. (1931). The climates of North America: According to a new classification. Geographical Review, 21(4), 633-655. <u>https://www.jstor.org/stable/209372</u>

Zhu A. X. (1997). A similarity model for representing soil spatial information. Geoderma, 77(2–4), 217–242. <u>https://doi.org/10.1016/S0016-7061(97)00023-2</u>