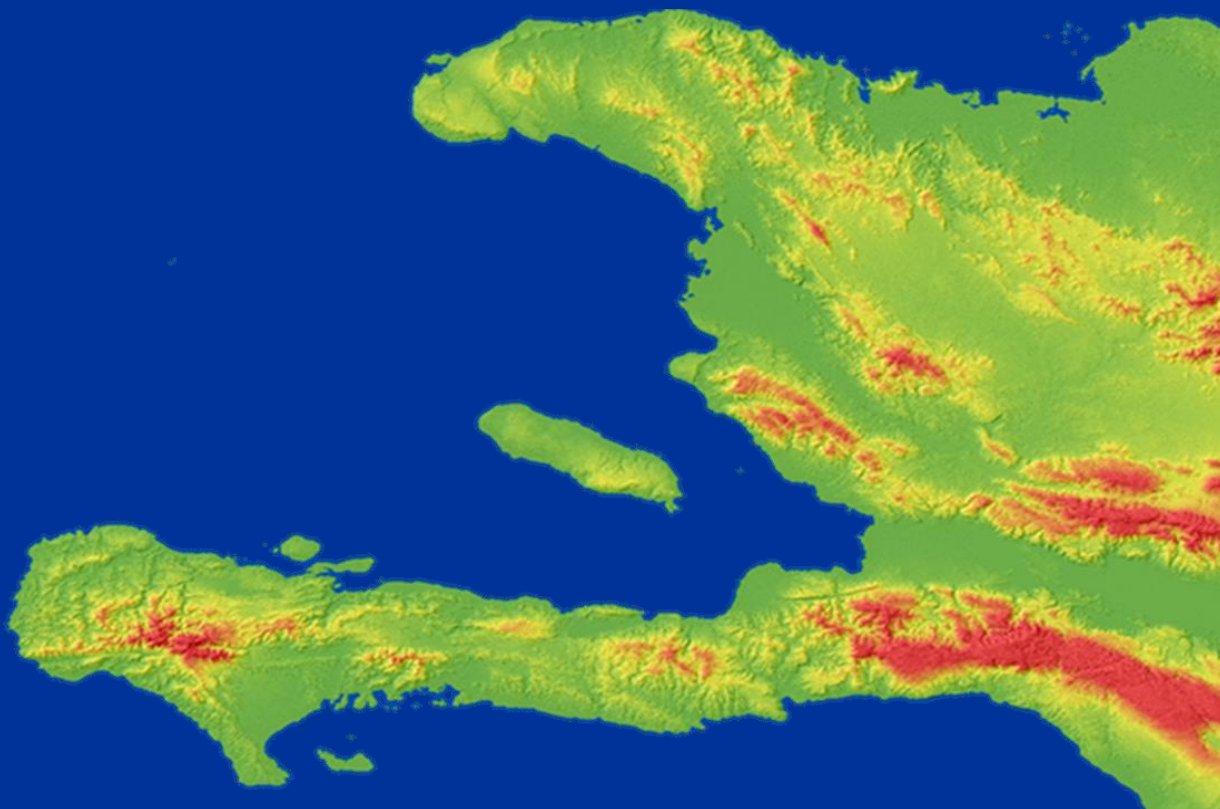


MANUAL PRACTICO: MAPEO DIGITAL DE SUELOS



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://qgis.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/

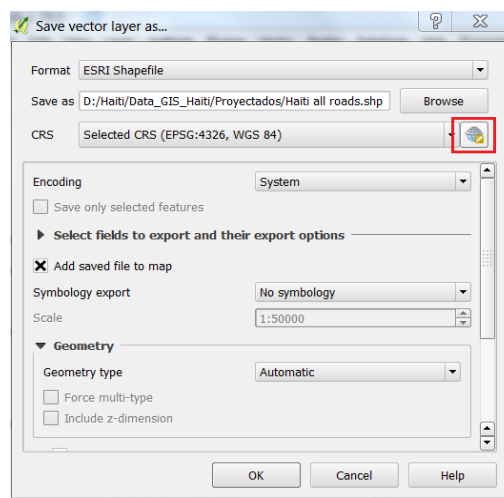
2) Modelo digital de elevación (DEM)

1. Corrección del DEM

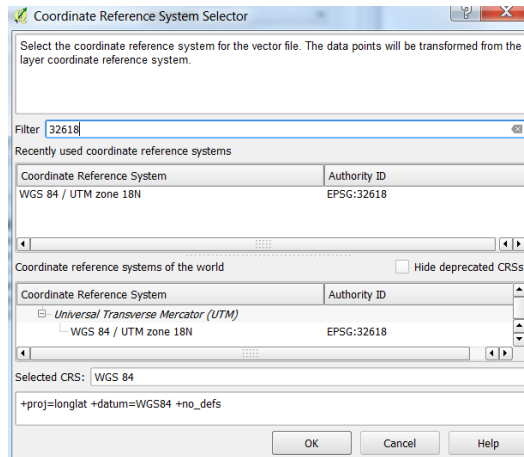
❖ Paso 1. Proyección

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.



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



❖ Paso 2. Corrección DEM

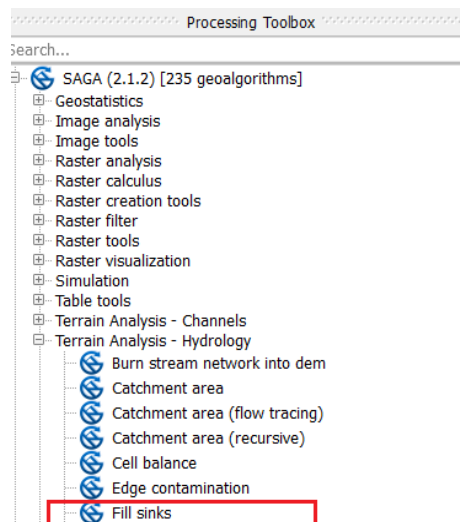
DEM (Digital Elevation Model, por sus siglas en inglés) es un modelo digital con información de elevación, para su corrección es necesario tener en cuenta que se pueden presentar depresiones y deben corregirse. Este proceso se puede realizar desde QGIS o directamente con SAGA, ambas se relacionan entre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

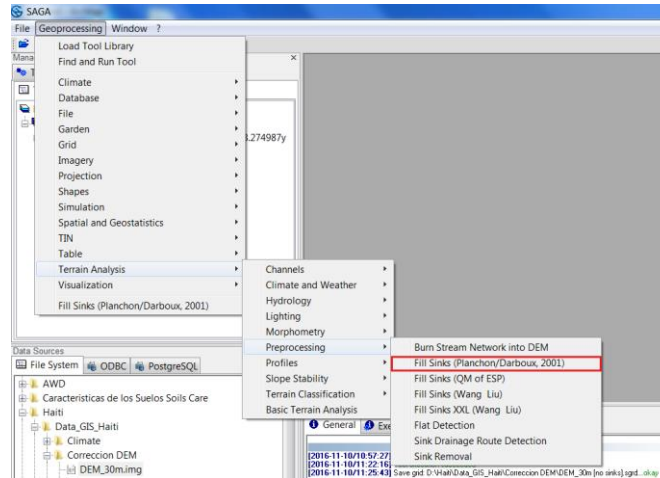
Utilizando QGIS nos dirigimos a la barra de herramientas y seleccionamos

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

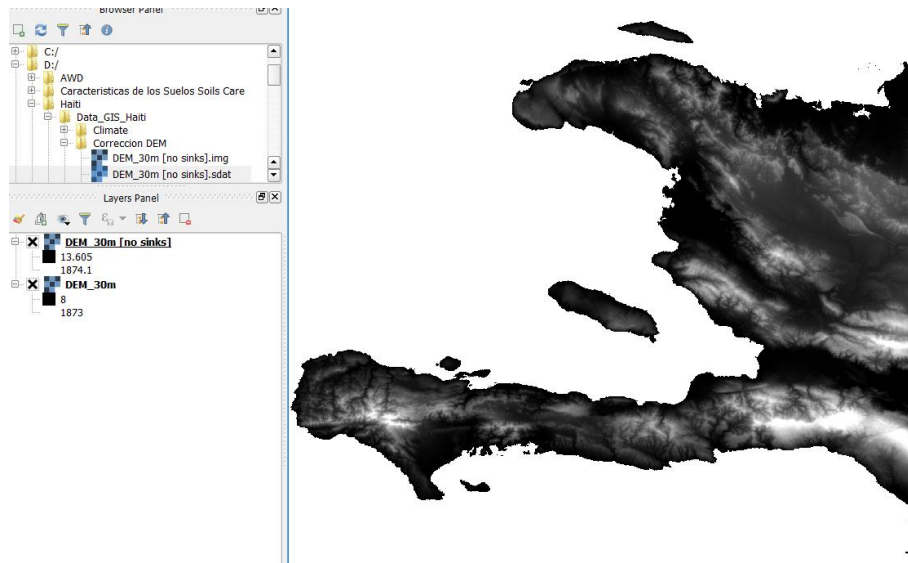


De igual manera el mismo enlace es posible utilizando SAGA, con la siguiente ruta.

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



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

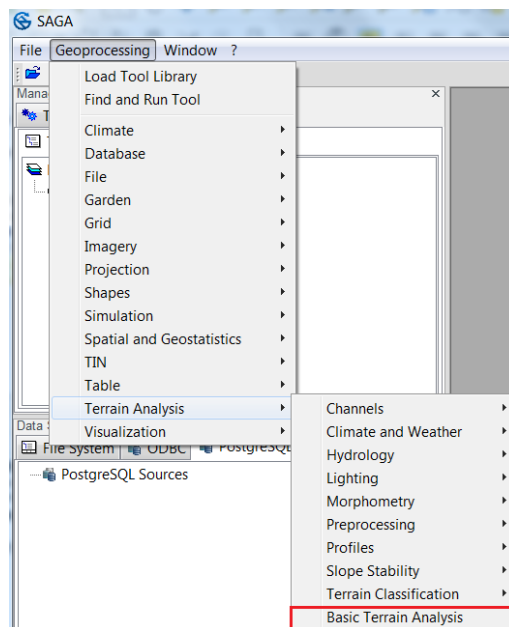
Para el caso de Haití serán utilizados datos disponibles de clima, geología y topografía que si encuentran en la carpeta **Terrain Attributes**.

- **TOPOGRAFIA**

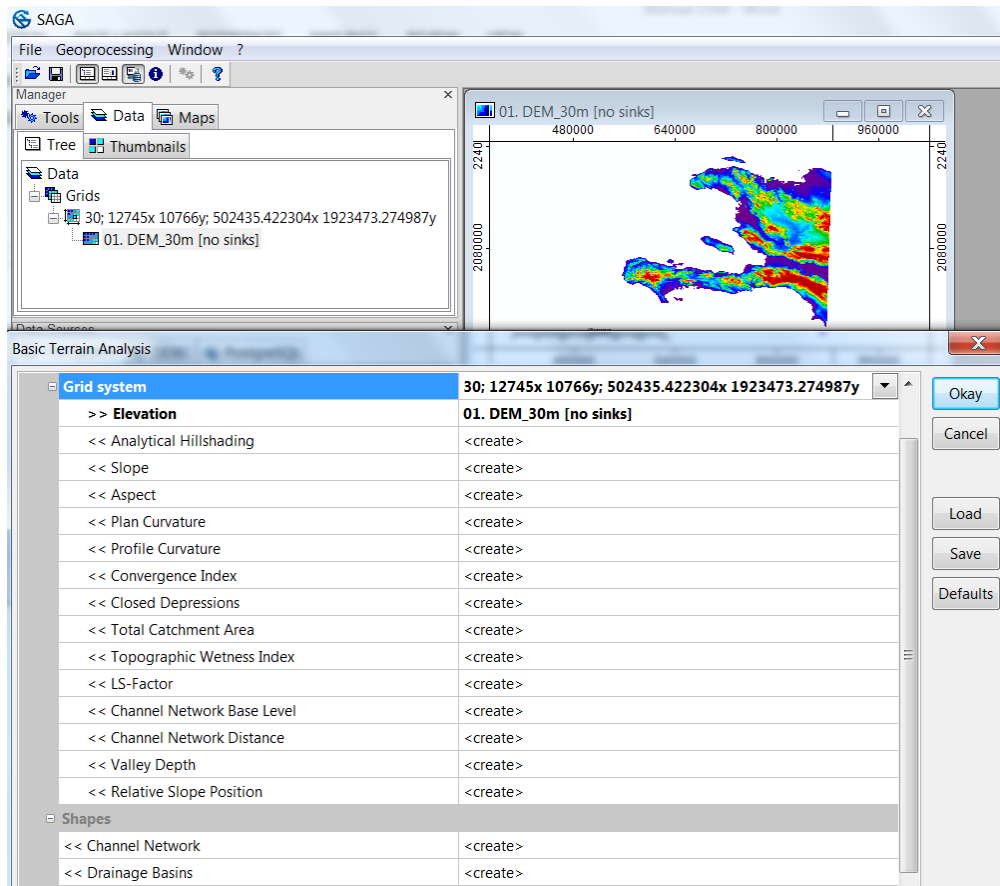
Representada por los atributos del terrenos (TAs) desarrollados en SAGA-GIS: slope, SAGA wetness index, profile and plan curvature, normalized heigth, valley depth.

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.

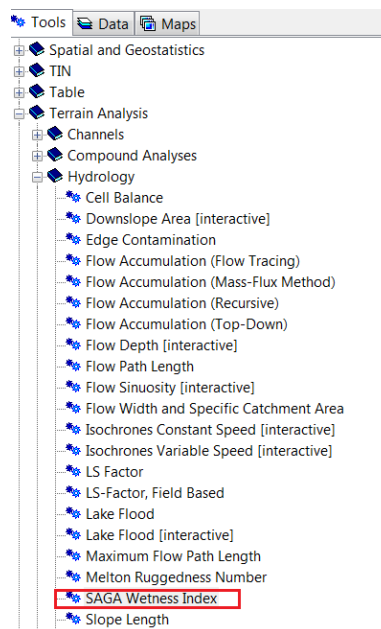
Con SAGA es posible calcular desde la herramienta de Geoprocessing/Terrain Analysis/Basic Terrain Analysis, como se muestra a continuación.



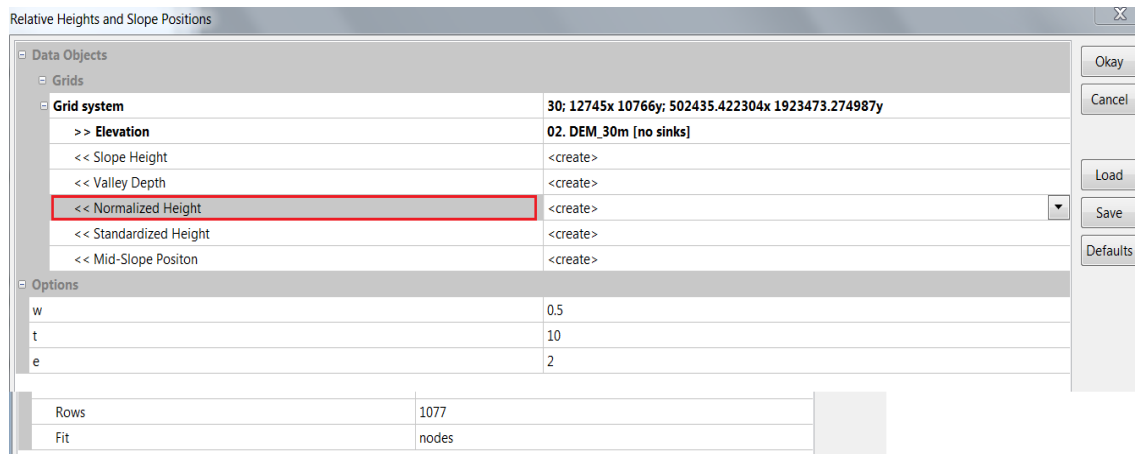
Luego del despliegue de la ventana Basic Terrain Analysis, indicamos la grilla de trabajo y la elevación correspondiente al DEM previamente corregido. Damos click en OK y se generara una serie de atributos del terreno en el cual están los atributos que vamos utilizar: slope (indica el ángulo de inclinación 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).



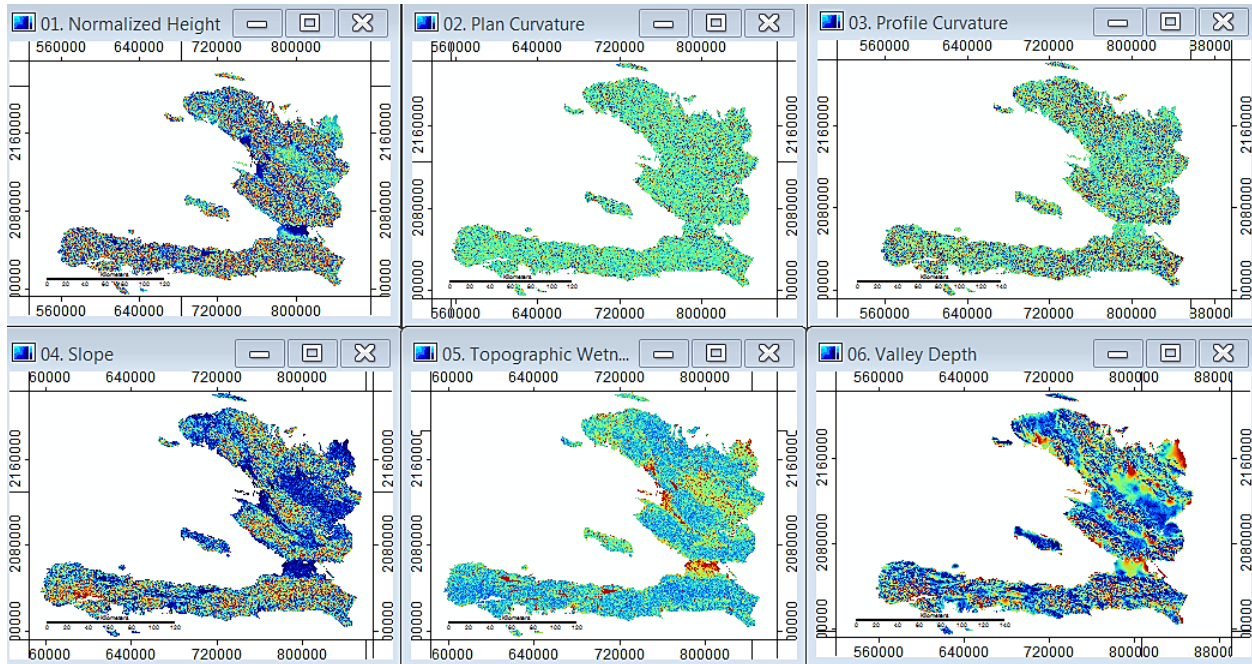
El índice de humedad (Saga Wetness index), puede ser calculado desde la base de los geocalgoritmos de SAGA dentro de la siguiente ruta Tools/Data/Hidrology /SAGA Wetness Index.



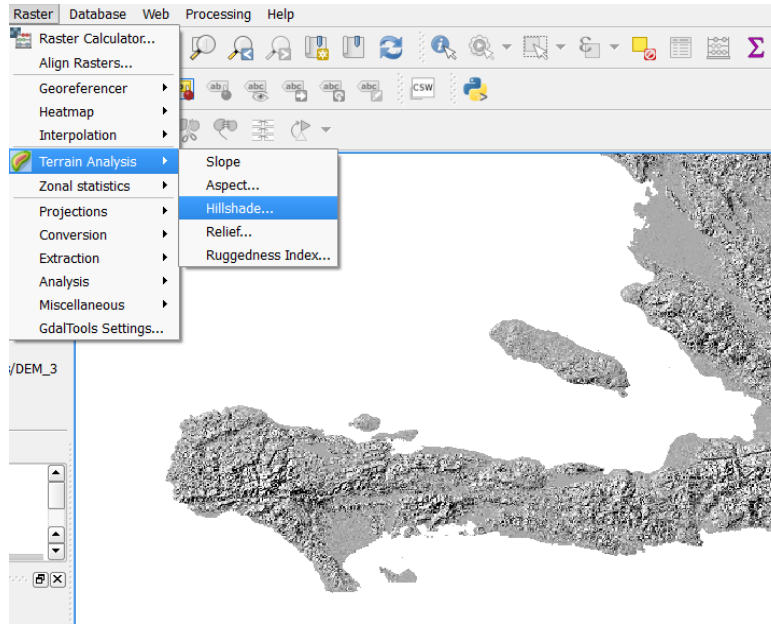
La altura normalizada es otro de los indicadores (Normalized Height), permite conocer la altura relativa del terreno y puede ser calculado desde la base de los geocalgoritmos de SAGA dentro de la siguiente ruta Tools/Data/Morphometry/Relative Heights and Slope Positions.



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 geocalgoritmos 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 geocalgoritmo 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.

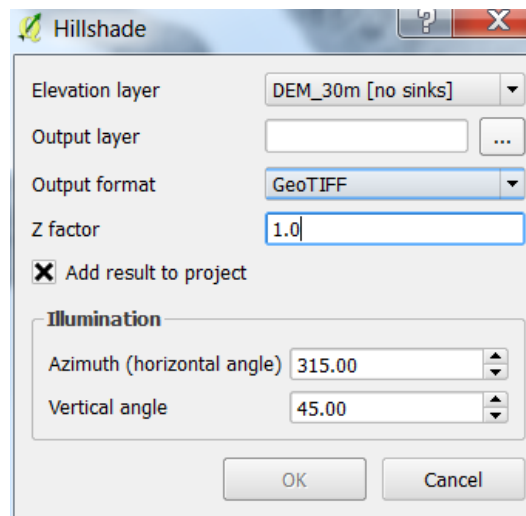


En QGIS es posible realizar configuraciones de iluminación ideales para una mejor visualización en este caso ingresaremos los siguientes datos y generamos el Hillshade.

Factor Z = 1

Azimuth = 315

Altitud = 45



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:

```
install.packages("ráster")  
install.packages("sp")  
require(ráster)  
require(sp)
```

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) $> 32 + (Tmax \text{ or } Tmin \text{ in } ^\circ C * 1.8)$
- 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:

```


PEI=((preci/(tmean-10))^1.11)*11.5

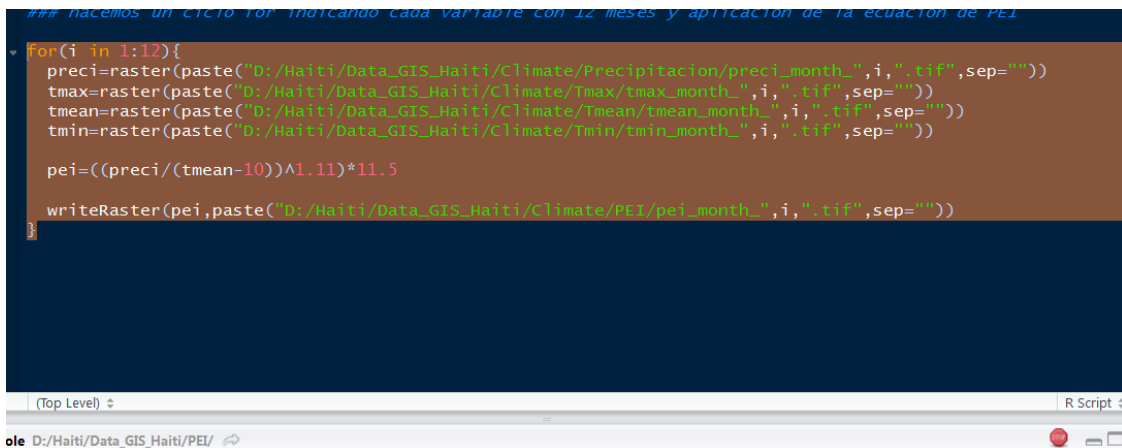
writeRáster(pei,paste("Dir.../pei_month_",i,".tif",sep=""))

Finalmente se crea un ciclo for que automatice los PEI mensuales.

for(i in 1:12){
  preci=ráster(paste("Dir.../preci_month_",i,".tif",sep=""))
  tmean=ráster(paste("Dir.../tmean_month_",i,".tif",sep=""))
  pei=((preci/(tmean-10))^1.11)*11.5
  writeRáster(pei,paste("Dir.../pei_month_",i,".tif",sep=""))
}

```

Ejecutado el código obtenemos PEI mensual, durante la ejecución del código se observara el símbolo de carga en R  indicando que el proceso fue aceptado, finalizado ahora procedemos a sumar los PEI acumulados durante el año.



```

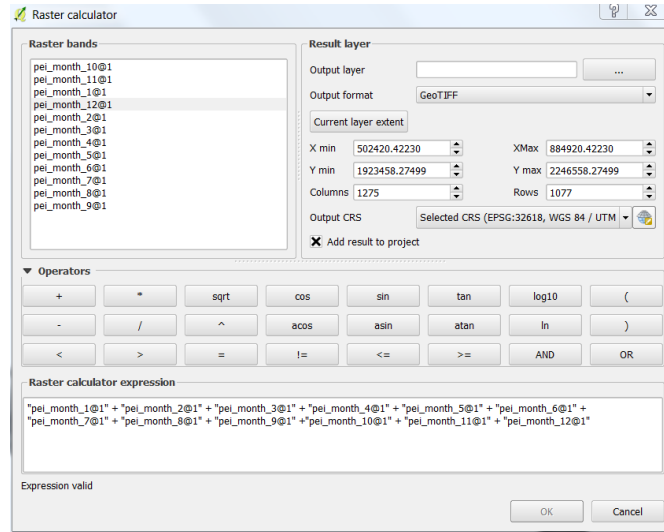
### hacemos un ciclo for indicando cada variable con 12 meses y aplicacion de la ecuacion de PEI
for(i in 1:12){
  preci=raster(paste("D:/Haiti/Data_GIS_Haiti/Climate/Precipitacion/preci_month_",i,".tif",sep=""))
  tmax=raster(paste("D:/Haiti/Data_GIS_Haiti/Climate/Tmax/tmax_month_",i,".tif",sep=""))
  tmean=raster(paste("D:/Haiti/Data_GIS_Haiti/Climate/Tmean/tmean_month_",i,".tif",sep=""))
  tmin=raster(paste("D:/Haiti/Data_GIS_Haiti/Climate/Tmin/tmin_month_",i,".tif",sep=""))

  pei=((preci/(tmean-10))^1.11)*11.5

  writeRaster(pei,paste("D:/Haiti/Data_GIS_Haiti/Climate/PEI/pei_month_",i,".tif",sep=""))
}

```

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 Calculador*.



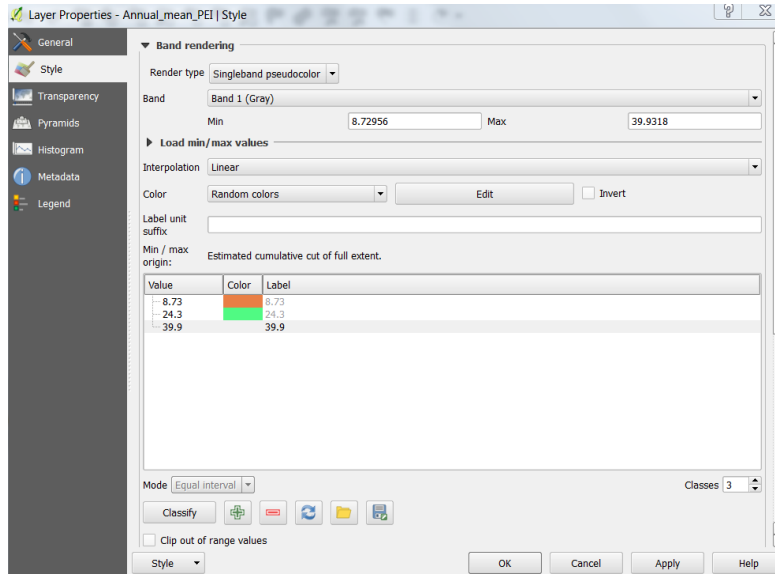
Obtenido el comportamiento anual es posible clasificar la region dependiendo del rango en que el indice se encuentre según la clasificacion climatica de Thornthwaite (1931).

Tabla: Clasificación de regiones climáticas Thornthwaite (1931).

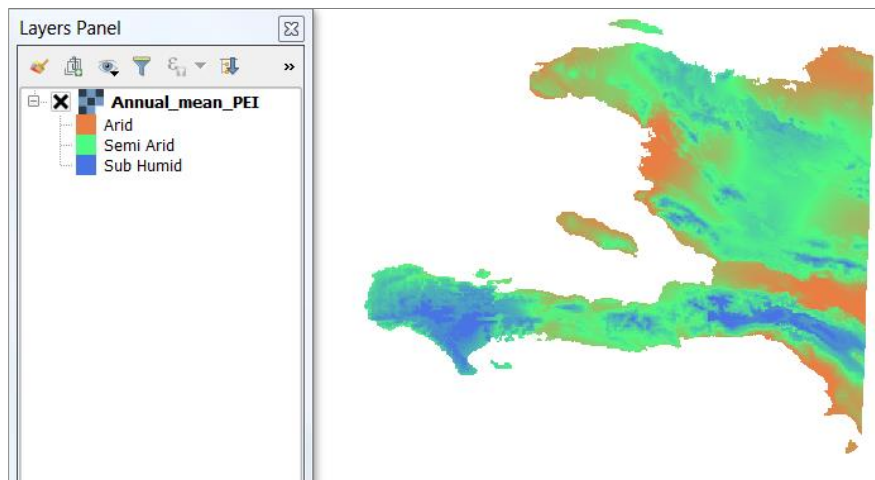
PE Index	Climate
More than 128	Wet
64 - 127	Humid
32 - 63	Sub-humid
16 - 31	Semi-arid
Less than 16	Arid

Según la clasificación 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.



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



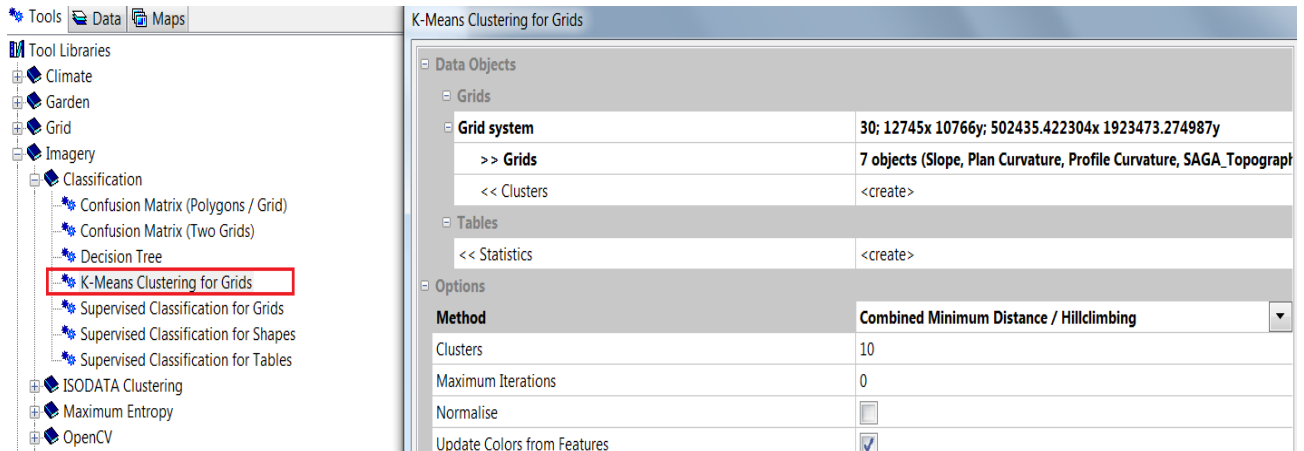
4) Unidades suelo-paisaje

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



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**.

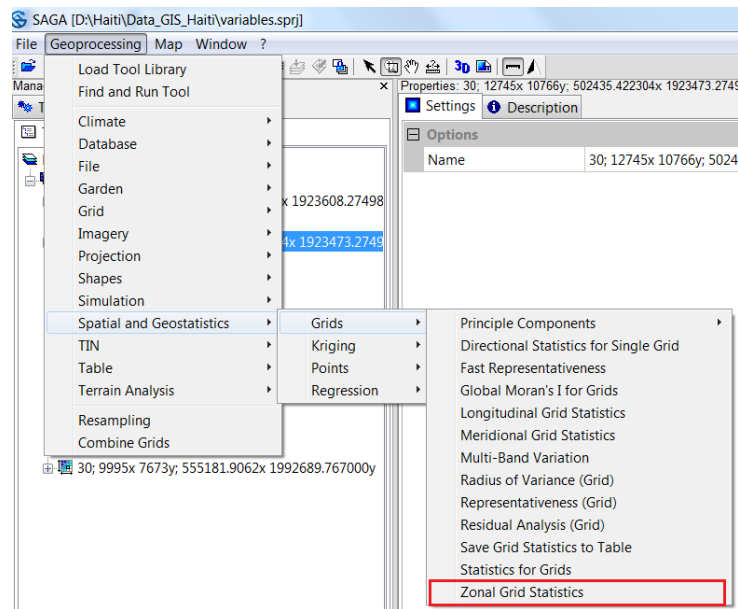
5) Desarrollo de reglas para mapeo usado en SoLIM (Soil Land Inference Model)

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.

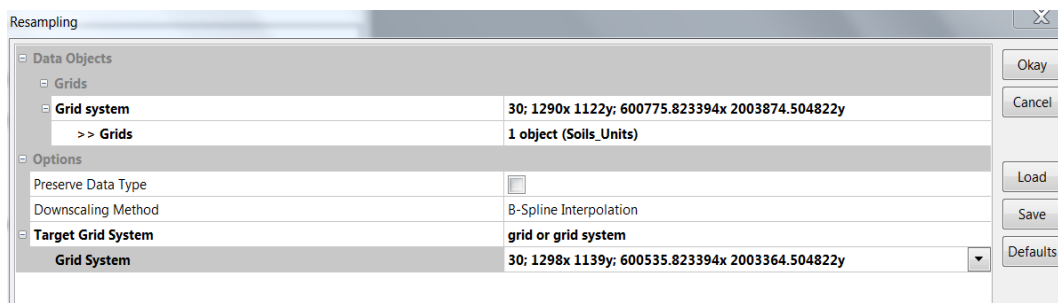
Las reglas poden ser definidas de distintas maneras dependiendo de la información disponible y conocimiento experto en las relaciones suelo-paisaje. Para este curso, las reglas serán

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: Geoprocening / Grid / Grid System/Resampling, como se muestra a continuación:

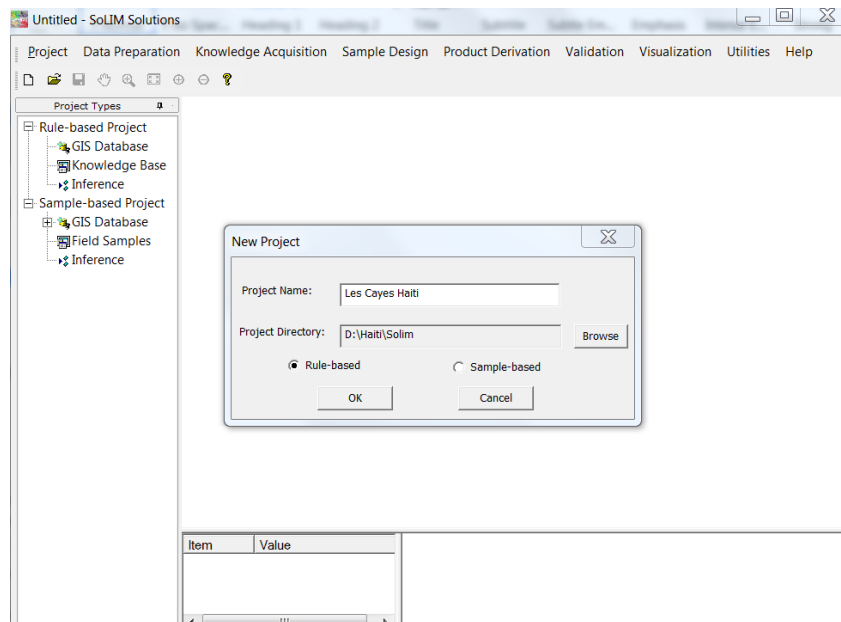


Continuando con el análisis estadístico finalmente tenemos la siguiente tabla, la cual contiene la estadística descriptiva para los TAs para cada unidad de suelo-paisaje. Es posible guardarla en formato txt, csv o dbf. Para proceder a SoLIM en el paso 6 únicamente se tendrá en cuenta la media y la desviación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

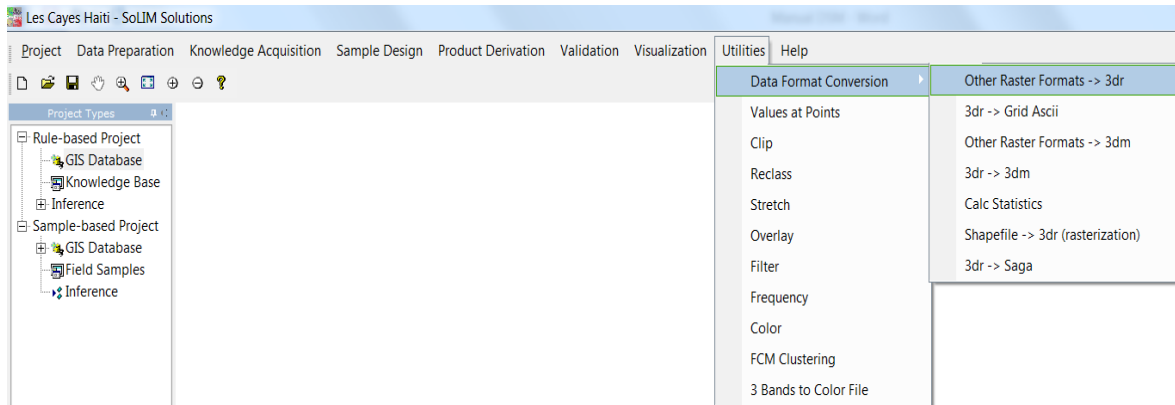
	Soils_Unit	Count	UCU	Normalizen	NormalMIN	NormalMAX	NormalMEAN	NormSTDDEV	NormalISUM	Plan CurvN	Plan CuMIN	Plan CuMAX	Plan CMEAN	PlanSTDDEV	Plan CuSUM	Profile Cl
1	11	68	68	0.01145	0.19419	0.044817	0.038071	3.292374	68	-0.09706	0.012346	-0.012041	0.017621	-0.818804	€	
2	12	20238	20238	0.022383	0.964386	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	0.111024	-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

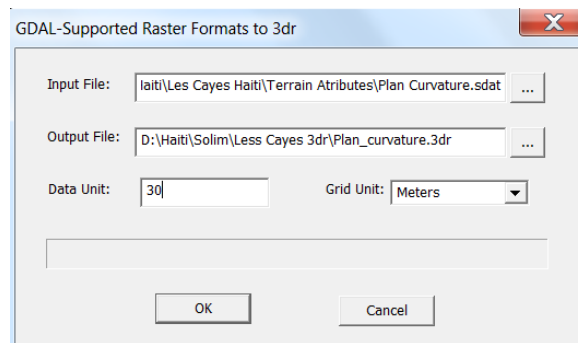
Inicialmente debemos crear un proyecto; indicamos nombre y dirección, posteriormente seleccionamos la opción Rule-based y damos OK



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 → 3dr y convertimos cada uno de los factores topográficos.

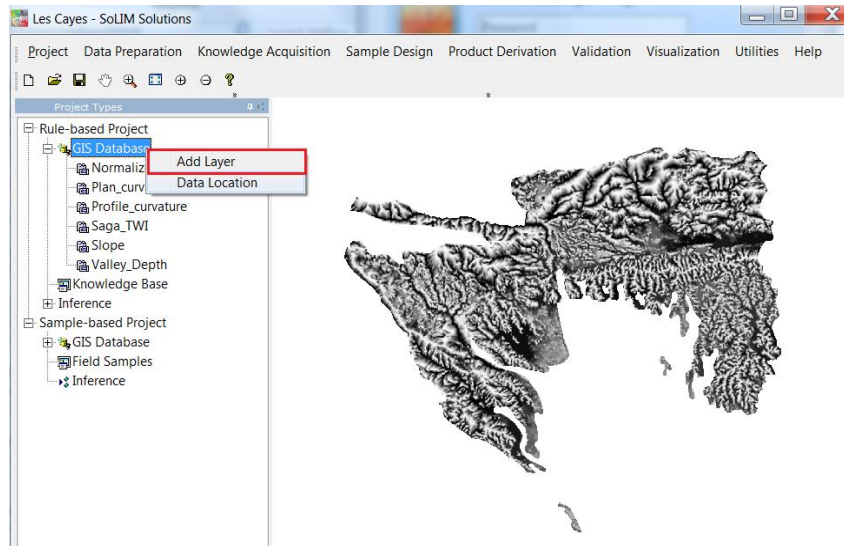


Finalmente indicamos la localización del archivo ráster de cada atributo del terreno e indicamos en las unidades



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 arrojará un mensaje de “Out of memory”, por tal razón debemos reducir el área del ráster.

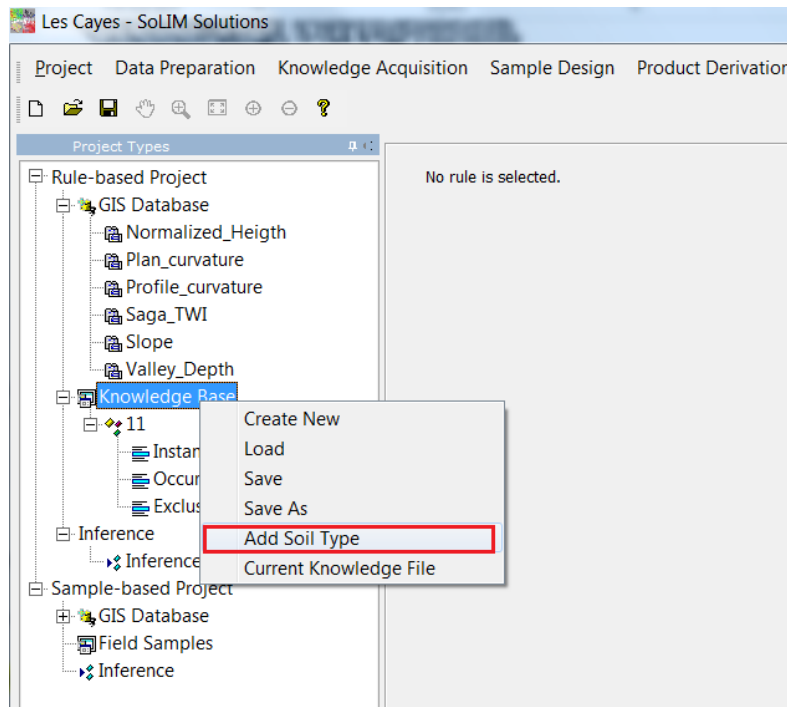
Convertidos cada uno de los datos en formato ráster a formato 3dr continuamos con la creación de la GIS Database con los parámetros topográficos que serán cada una de las covariables dentro del software, añadirlas solo será dando clic derecho sobre GIS Database / Add Layer.



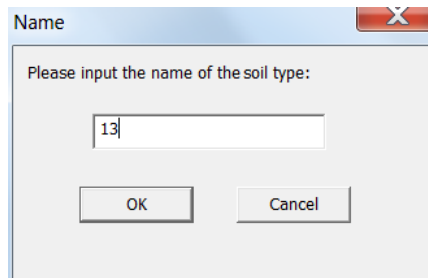
- **Añadir tipos de suelos**

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.

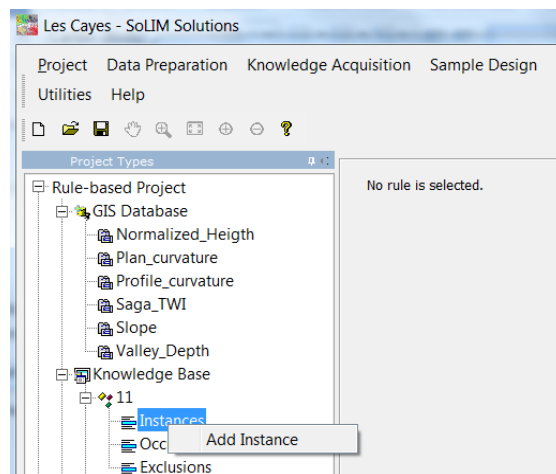


Esto muestra un cuadro de diálogo para especificar el nombre del tipo de suelo. Ingrese el número correspondiente a cada unidad de suelos: 11, 12... 45 y haga clic en "OK".



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.



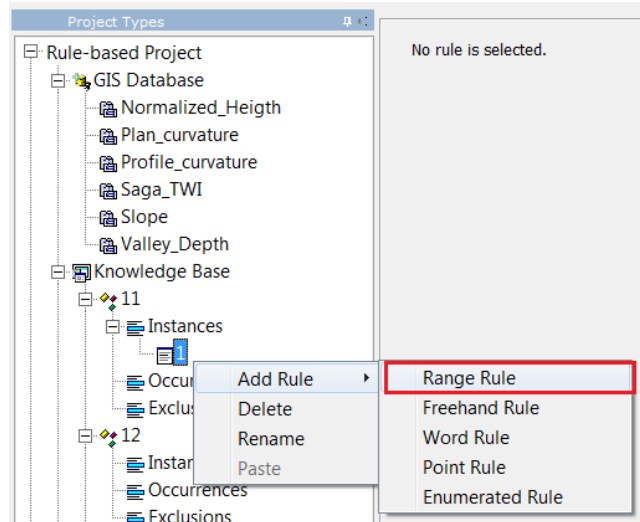
Esto mostrará un cuadro de diálogo que le permitirá introducir el nombre de la instancia. Ingrese "1" y haga clic en "Aceptar", se creará una nueva instancia en blanco.

- **Añadir reglas (Rule Based approach)**

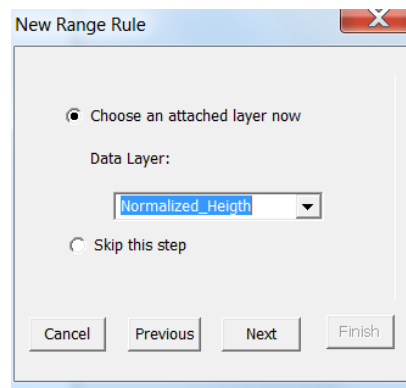
Las covariables se utilizan en el conocimiento suelo-paisaje para cada tipo de suelo. Por lo tanto, la siguiente tarea es crear reglas para cada una.

Ejemplo:

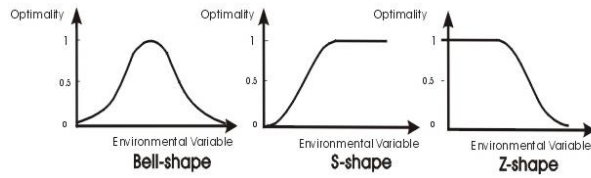
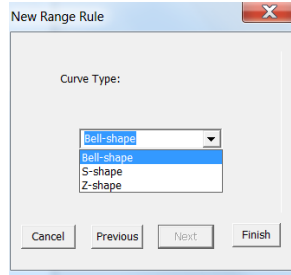
Podemos usar la regla de rango para expresar el conocimiento en cada covariable. Procedemos con un clic derecho en el nodo "Instance1". En el menú emergente, seleccione "Añadir regla" y luego seleccione "Regla de rango".



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.



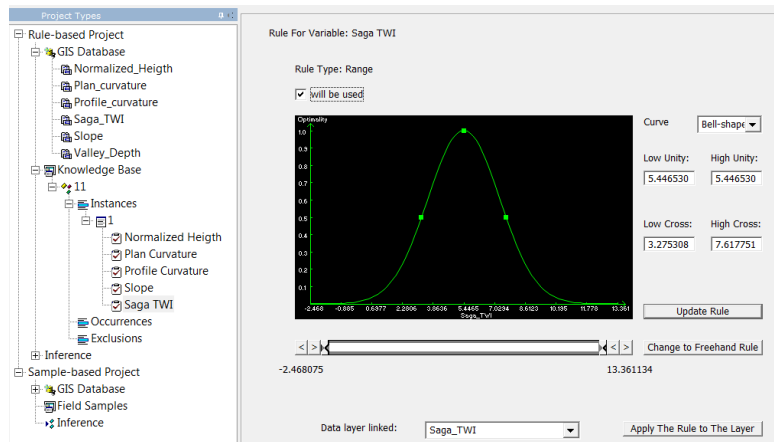
A continuación utilizamos la tabla de datos estadísticos y analizamos cada regla teniendo en cuenta la distribución normal de los datos, de manera que sea posible entender el comportamiento de la curva sea de forma Bell-shape, S- shape o Z- shape (los datos deben ser analizados desde los resultados obtenidos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



Visualizacion desde SoLIM

Slope: Z – Shape

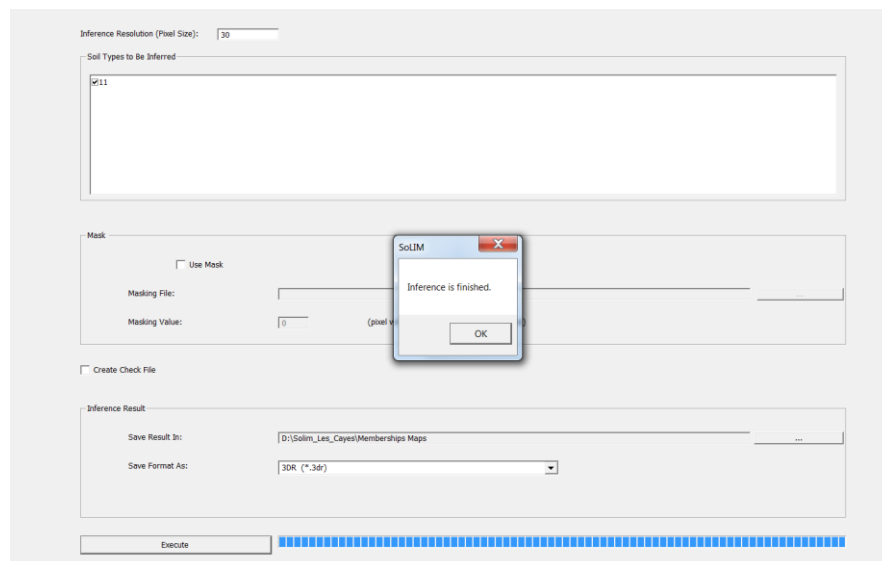
Saga TWI – Bell Shape



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.

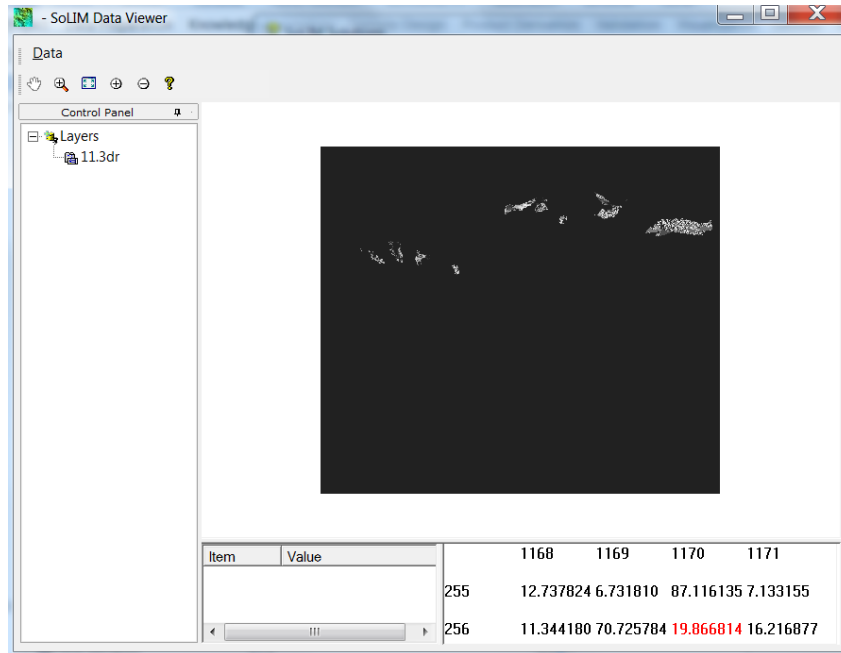
Al desplegarse la ventana se observara el listado de Unidades de suelos, en este caso se presenta la unidad 11, la opción para implementar alguna mascara y finalmente el lugar donde se guardara el mapa de inferencia. Ejecutamos y obtenemos el resultado.



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 → 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.

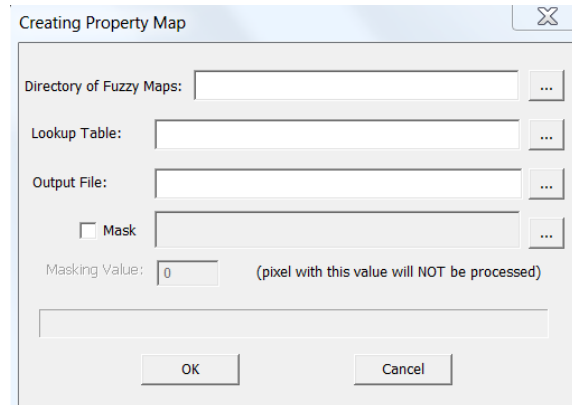
Se deben ingresar los datos de la siguiente manera:

"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:

<i>Tipo de suelo 1</i>	<i>valor 1</i>
<i>Tipo de suelo 2</i>	<i>valor 2</i>

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.



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.

<i>PointID</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Property Value</i>
<i>Index 1</i>	<i>X1</i>	<i>Y1</i>	<i>propiedad 1</i>
<i>Index 2</i>	<i>X2</i>	<i>Y2</i>	<i>propiedad 2</i>

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:

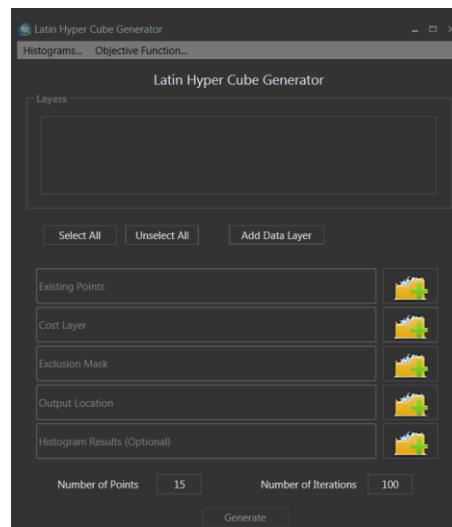
- Todos los datos ráster deben cubrir la misma extensión
- Todos los datos ráster deben estar en la misma proyección o la herramienta fallará

Procedimiento:

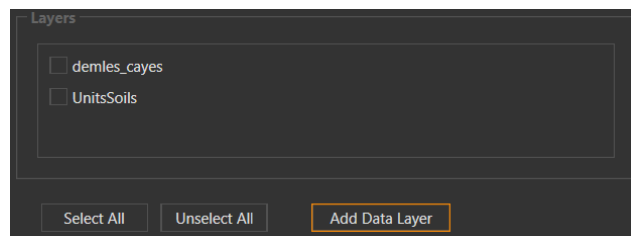
1. Para iniciar, seleccione el cuadro azul en la barra de herramientas TEUI principal.



2. Aparecerá el cuadro de diálogo **Latin Hyper Cube Generator**



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.



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). <https://doi.org/10.1201/b16500-67>

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

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>

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

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