

# **DETECCIÓN DE LA HUMEDAD DEL SUELO MEDIANTE IMÁGENES DE SATÉLITE (SEGUNDA PARTE)**

**Proyecto TH1616.1**

**Informe final**

**Dr. René Lobato Sánchez**

Subcoordinación de Hidrología Superficial

**M.C. Esteban Pardo García**

Subcoordinación de Hidrometeorología

**M.C. José Guadalupe Rosario de la Cruz**

Consultor Externo

Febrero de 2017

## **CONTENIDO**

- 1. Introducción**
- 2. Desarrollo de un esquema para acoplar imágenes de satélite de cada barrido.**
  - 2.1 Procedimiento para obtener mapas de humedad de suelo del satélite SMOS.
  - 2.2 Generación automática para la obtención de imágenes de humedad de suelo del Centro de Especialidad de Barcelona (BEC)
- 3. Evaluación de la factibilidad de incorporar al modelo Leacky Bucket de la humedad del suelo al monitor de sequías.**
  - 3.1 Automatización de la aplicación y estandarización de la función Log-Normal
- 4. Proponer una metodología para la elaboración del monitor de sequías ponderado para México.**
  - 4.1 Componentes Principales
  - 4.2 Resultados de la aplicación de las componentes principales
  - 4.3 Propuesta de pesos o ponderación para cada índice
  - 4.4 Métricas aplicadas
  - 4.5 Resultados: Terciles
- 5. Conclusiones y recomendaciones**
- 6. Referencias**
- 7. Anexos**

## 1. Introducción

Dentro de los procesos de precipitación y su distribución, son sus eventos extremos los que siempre ponen a prueba a todos los sistemas de alerta y esquemas de planeación. En esta ocasión se atenderá el tema de la falta de la lluvia y que en un principio se asocia con el tema de las sequías. En general, el grado de avance de una sequía se puede identificar de acuerdo al impacto en los principales sectores que requieren de este vital líquido; el sector hídrico, el agrícola y finalmente todo aquello que engloba las actividades socioeconómicas. Cuando la sequía recorre todas estas etapas es cuando se puede definir como un evento climático extremo cuyas repercusiones de impacto son mucho mayores que un evento hidrometeorológico con lluvias abundantes y consecuentes inundaciones.

Una forma común de evaluar a la sequía es fundamentalmente mediante análisis históricos de precipitaciones en un lugar o región determinada, esta información es necesaria pues es necesario determinar que la falta de precipitaciones es debida a un proceso climático de mediano o largo plazo, pero que no es debido a un régimen que de por sí es escaso como es la aridez. En frecuentes ocasiones estos dos procesos climáticos diferentes se confunden, por lo que es importante notar que la sequía es un proceso temporal y que puede ocurrir en cualquier régimen climático, mientras que la aridez es un estado climático fijo.

Uno de los insumos importantes para un correcto mapeo de la sequía, es la humedad del suelo. La humedad del suelo es una frontera entre la superficie terrestre y sus procesos como es la condición de vegetación y la atmósfera. Además que dentro del proceso radiativo la humedad del suelo interviene en la dinámica atmosférica para la formación de la lluvia (reciclamiento) y el calor latente que es parte importante de los procesos de micro-turbulencia que ocurren en la capa de interacción. Se menciona además que esta variable tiene "memoria" la cual permite una condición de predictibilidad mejor que el de la precipitación misma. En México existen muy pocos sitios en donde la medición de la humedad del suelo se realiza en forma sistemática, fue hasta el año 2013 cuando se instalaron alrededor de 40 estaciones meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional de México (SMN) con sensor de humedad y temperatura del suelo ubicadas éstas en Áreas Naturales Protegidas (ANP's), es obvio que con esta información escasa y reciente no es posible realizar estudios climáticos de la humedad de suelo pues para este fin se requieren datos o series de tiempo largas. Con el objeto de evaluar si la humedad del suelo estimada mediante sensores satelitales es útil para el monitoreo de la sequía, fue necesario investigar sobre las plataformas disponibles, la más útil para el fin que perseguimos es la producida por la Agencia Espacial Europea y que para ello se realizaron las adecuaciones para que cada tres días se cuente con una imagen completa del país, en este momento se está conformando la base de datos que en un futuro cercano se podrá utilizar para éste y otros fines.

Finalmente, se propone una metodología para la elaboración de un monitor de sequía que en su mayor parte dependa de las capas de entrada, las cuales son pocas pero con las variables fundamentales y con muy poca supervisión humana (no es posible prescindir de esta por completo). Consideramos que es un avance científico que permite evaluar mejor la condición de sequía y de la cual se puede tomar como base para una siguiente etapa que es la del pronóstico de la misma.

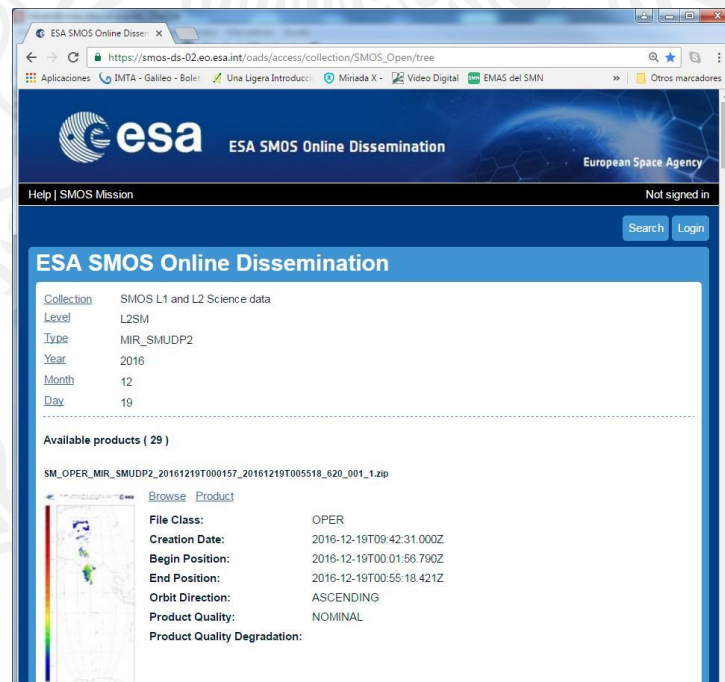
## 2. Desarrollo de un esquema para acoplar imágenes de satélite de cada barrido.

El Procedimiento para obtener mapas de humedad de suelo es a partir de los productos generados por la Agencia Espacial Europea (ESA) del satélite SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity), el primer satélite diseñado específicamente para monitorear la humedad del suelo y la salinidad del océano. Opera en la banda L (1.413 GHz, 21 cm) y utiliza el sensor MIRAS (Microwave Imaging Radiometer With Aperture Synthesis) que consiste en un radiómetro de microondas que utiliza síntesis de apertura. Con él se toman las mediciones de la humedad terrestre y la salinidad oceánica, para la humedad del suelo la precisión de 0.04 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> a una resolución espacial de 35-50 km.

### 2.1 Procedimiento para obtener mapas de humedad de suelo del satélite SMOS.

#### Descarga de imágenes SMOS

El proceso de descarga de imágenes se puede hacer de dos sitios de la Agencia Espacial Europea (ESA) [https://smos-ds-02.eo.esa.int/oads/access/collection/SMOS\\_Open/tree](https://smos-ds-02.eo.esa.int/oads/access/collection/SMOS_Open/tree) ver la figura 2.1 y del <ftp://smos-ds.eo.esa.int>, para obtener las imágenes se requiere registrarse el usuario y contraseña. En el primer sitio la descarga es manual y en el segundo puede ser manual (figura 2.2) o automática mediante el programa de cómputo.



**Figura 2.1.** Sitio de descarga de imágenes de satélite





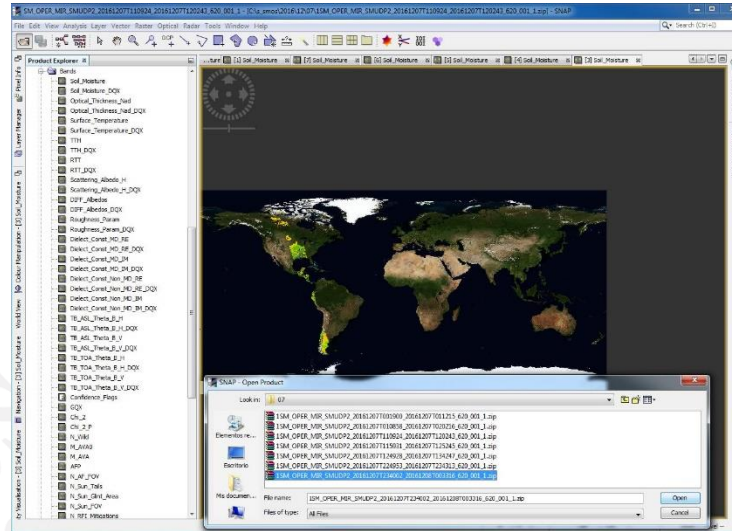


Figura 2.3. Extraer archivo netcdf

## Entorno de ArcMap para obtener mapas de humedad de suelo para México

Abrir ArcMap, en el menú de inicio de Windows seleccionar ArcMap 10.3.1 y muestra la primera pantalla, elegir la opción cancelar y seleccionar del menú archivo (**File**) nuevo (**New**) y mapa en blanco, y en el botón OK oprimir para tener el área de trabajo en blanco.

Para activar extensiones. Seleccionar del menú principal la opción **Customize** y en Extensión aquí activar todas las extensiones para que estén disponibles al momento de utilizarlas en la caja de herramientas **ArcToolBox**.

Activar Python. Seleccionar del menú **Geoprocessing** la opción **Python** que abre la ventana para ejecutar programas que automatizan el procesamiento.

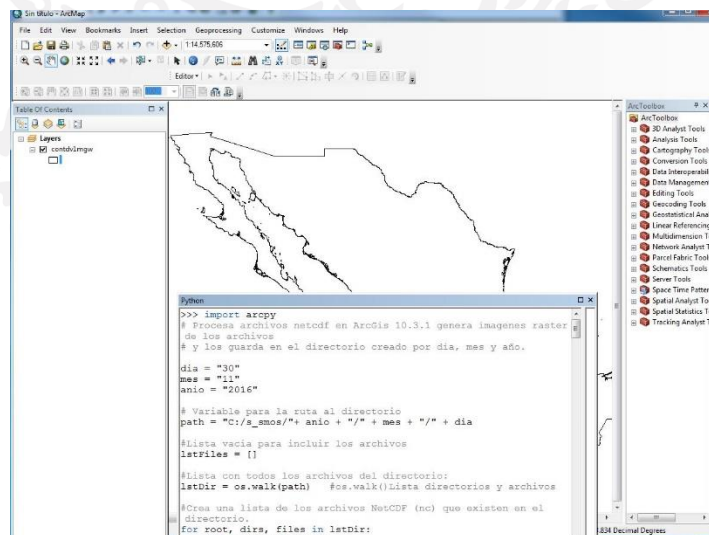


Figura 2.4. Entorno de ArcMAP

## Generar mapa de humedad del suelo para México.

El procedimiento a seguir para se obtiene en forma automática ejecutando el programa “ok\_raster.py”

### Insertar Imágenes de Humedad de suelo

Para abrir la imagen del archivos *NetCDF* seleccionar de **Arc toolbox** (Ver figura 2.5) la extensión **Multidimension tools** opción **Make Netcdf Raster Layer**, abre la caja de dialogo y seleccionar los archivos de entrada netcdf ( \*.nc), y de salida (capa), dejar variable Sol\_Moisture y por default x dimensions, y dimensión (lon, lat) y oprimir botón OK para generar la imagen *raster* del barrido del satélite.

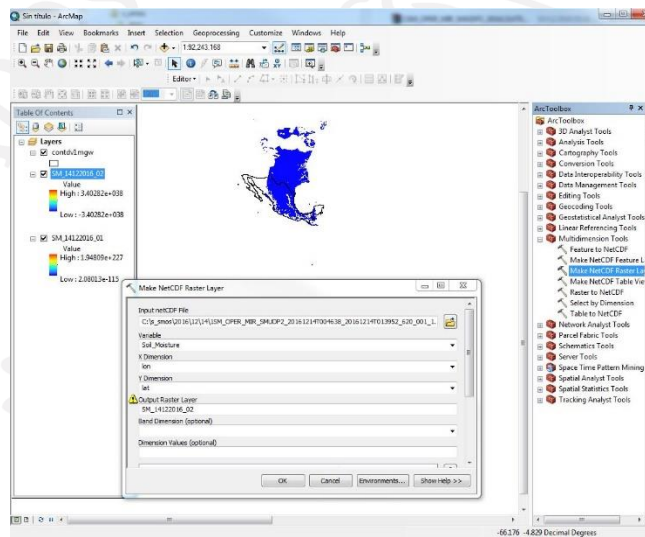


Figura 2.5. Convertir de NetCDF a raster

### Fijar la proyección que tienen las imágenes

En las herramientas de **Arc toolbox** (Ver figura 2.6) seleccionar del menú **Data Management tools** la opción **Projections and transformations**, **Raster** y la opción **Project raster**, abre la caja de dialogo donde seleccionar nombre de archivo a proyectar (aquí muestra el sistema de coordenadas que tiene), el sistema de coordenadas de salida, se indica el mismo Sistema de Coordenadas Geográficas WORLD y WGS\_1984, opcionalmente se puede modificar el tamaño de celda, técnica de muestreo (Nearest). Se genera la capa proyectada, (este paso se aplica para cada barrido del satélite).



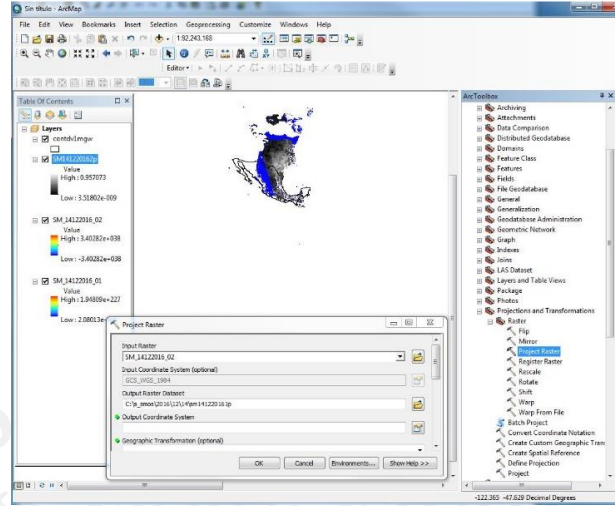


Figura 2.6. Proyectar raster.

### Recorte imágenes de humedad de suelo

Para obtener el mapa de humedad del suelo de la república mexicana, se requiere recortar cada imagen utilizando el mapa de república mexicana como máscara. Abrir el mapa con la opción **Add data** de la barra de herramientas y muestra la tabla de contenido y seleccionar el nombre de la capa del mapa (contdv1mgw.shp) en formato *shape* (shp), En la tabla de contenido seleccionar la capa y oprimir botón derecho para abrir menú de las opciones y seleccionar **Open attribute table**, muestra la tabla de atributos (figura 2.7), seleccionar todos los polígonos y dejar abierta la tabla hasta realizar el recorte por máscara.

Iniciar el recorte con las herramientas de **Arc toolbox** y seleccionar la opción **Spatial analyst Tools** después **extraction** y en la opción **extract by Mask** se abre la ventana en la cual seleccionar entrada  *raster* de donde se hace el recorte (capa proyectada), seleccionar archivo (shp) de la máscara a utilizar y posteriormente definir archivo de salida donde se guarda. El resultado es la capa recortada para México.

FID	Shape	AREA	PERIMETER	COV.	COV_ID	xCentroid	yCentroid
329	Polygon	0.00015	0.1042	331	354	-87.444158	18.49539
330	Polygon	0.00018	0.06305	332	380	-91.787861	18.482628
331	Polygon	0.00025	0.08115	333	369	-88.395746	18.46447
332	Polygon	0.00018	0.08968	334	355	-87.437265	18.445091
333	Polygon	0.00008	0.04375	335	386	-93.142661	18.433817
334	Polygon	0.00005	0.02955	336	387	-93.135736	18.419132
335	Polygon	0.00003	0.02535	337	388	-93.155135	18.417445
336	Polygon	0.00001	0.01561	338	361	-87.430746	18.417144
337	Polygon	0.00002	0.01708	339	364	-87.426219	18.409643
338	Polygon	0.00001	0.01381	340	365	-87.419753	18.399103
339	Polygon	0.00001	0.01567	341	366	-87.404457	18.395444
340	Polygon	0.00001	0.01348	342	368	-87.39187	18.384911
341	Polygon	0.0017	0.21443	343	375	-114.723945	18.357218
342	Polygon	0.00002	0.01889	344	372	-87.906302	18.35432
343	Polygon	0.00039	0.09346	345	381	-87.946781	18.10864
344	Polygon	0.00034	0.07391	346	383	-87.973938	18.085462
345	Polygon	0.00024	0.08552	347	384	-87.947099	18.052959
346	Polygon	0.00006	0.03015	348	390	-101.65702	17.676129
347	Polygon	0.00001	0.0122	349	391	-101.651113	17.663081
348	Polygon	0.00001	0.01441	350	393	-101.497177	17.532653
349	Polygon	0.00002	0.01674	351	392	-101.490058	17.532237
350	Polygon	0.00007	0.0404	352	394	-99.909485	16.821907
351	Polygon	0.0002	0.05432	353	395	-94.824421	16.348621
352	Polygon	0.00023	0.06335	354	396	-84.069697	16.347398
353	Polygon	0.00044	0.08341	355	397	-84.359269	16.214417
354	Polygon	0.00023	0.09918	356	396	-84.228709	16.179365
355	Polygon	0.0001	0.03819	357	399	-84.360745	16.181774
356	Polygon	0.00001	0.01186	358	401	-96.162539	15.718877
357	Polygon	0.00024	0.06686	359	402	-92.816479	15.176148

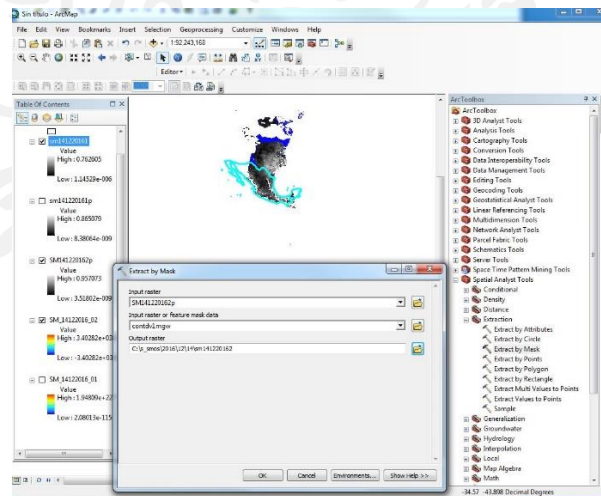
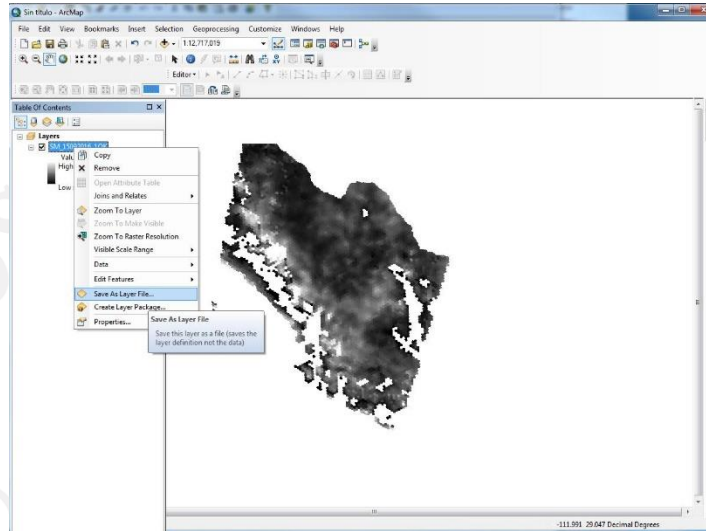


Figura 2.7. Recortar raster




## Salvar capas

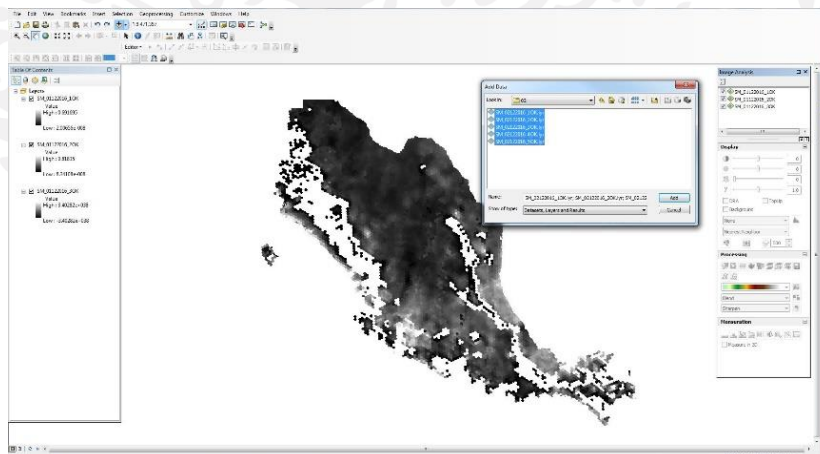
Las capas recortadas se guardan como archivos \*.lry, seleccionar capa a guardar y oprimir botón derecho sobre el nombre la capa para mostrar el menú de opciones y seleccionar del menú **Save as Layer File** (ver figura 2.8) y guardar la capa como archivo.



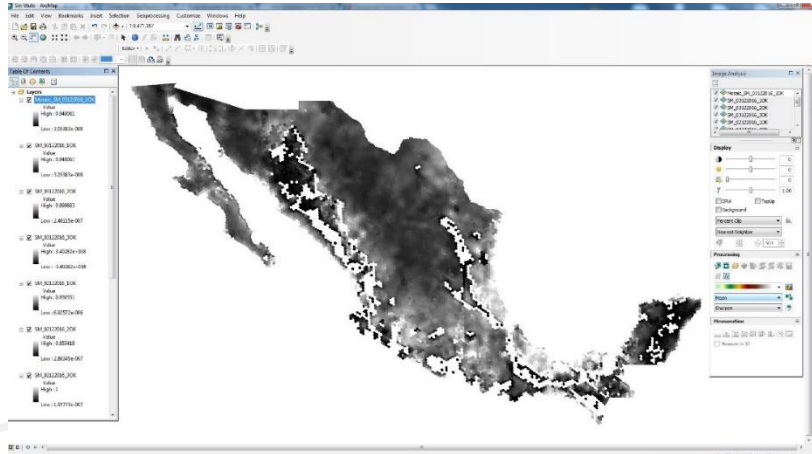
**Figura 2.8** guardar imagen como layer

## Mosaico de imágenes

Se genera el mosaico de humedad del suelo con imágenes de 3 días, se abren los archivos con la opción add data en la caja de dialogo de la figura 2.9. Con las herramientas de análisis de imágenes (menú **Image Analysis**) se seleccionan todas las capas, y en la opción de mosaico  seleccionar el método de promedio (**Mean**) con esta opción se obtiene el mapa de humedad del suelo para México, ver figura 2.10.



**Figura 2.9.** Abrir capas de 3 días



**Figura 2.10.** Mapa de humedad del suelo

### Guardar Mosaico

Para guardar el mosaico seleccionar del menú la opción **FILE** en la opción **save as** y se guarda con el nombre definido por los siguientes datos SM (Soil Moisture) humedad de suelo, día de inicio y final, mes y año SM\_01\_03122016.mxd

## 2.2 Generación automática para la obtención de imágenes de humedad de suelo del Centro de Especialidad de Barcelona (BEC).

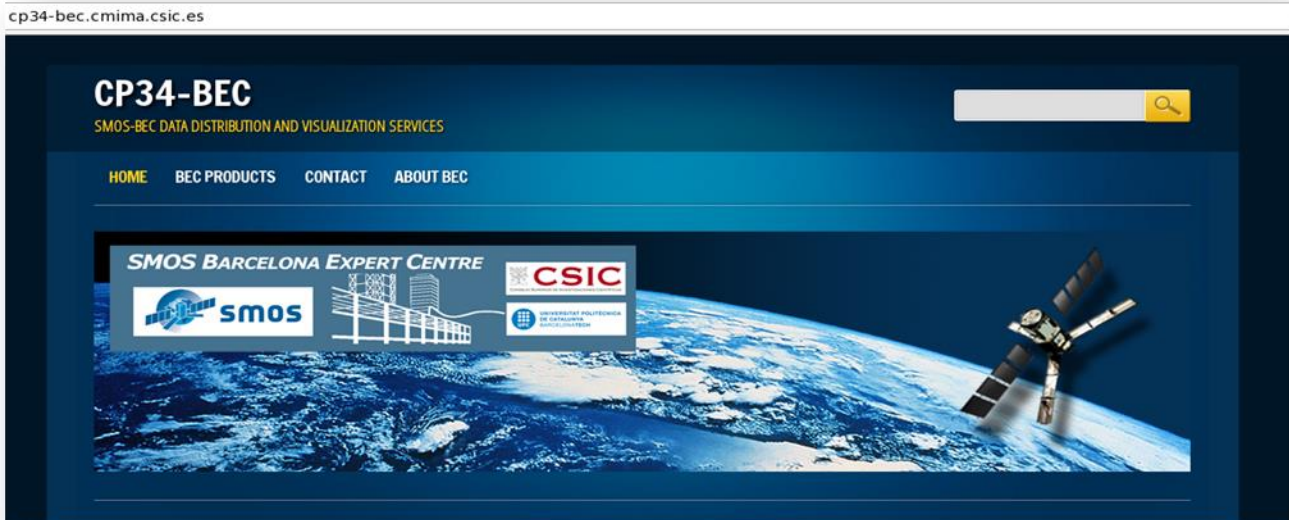
En la presente guía se describe el desarrollo e implementación de programas escritos en lenguaje bash script que consisten en extraer datos del **SMOS Barcelona Expert Centre on Radiometric Calibration and Ocean Salinity (SMOS-BEC)** con resolución por día de 25 km en su formato ascendente y descendente de manera automática, con el objetivo de obtener una gráfica que promedie la variable de humedad de suelo cada 3 días para el territorio nacional mexicano.

### Características Técnicas

La generación del gráfico de la variable de humedad de suelo, se realiza cumpliendo con los siguientes requerimientos:

- Los datos de entrada para generar el graficado se obtienen de la página del SMOS Barcelona Expert Centre on Radiometric Calibration and Ocean Salinity (SMOS-BEC) (Figura 2.11), cuyos datos utilizados para calcular los productos de acumulación de humedad del suelo provienen del producto de datos de usuario de humedad del suelo (UDP) de nivel 2. Estos archivos UDP son generados por ESA e incluyen parámetros geofísicos, una estimación teórica de su precisión, banderas y descriptores para la calidad del producto.
- El formato de los archivos que se descargan de la página son en .nc, los cuales el SMOS los construyen mediante un promedio espacial simple teniendo en cuenta solamente las últimas mediciones de la órbita en cada célula. El promedio espacial se calcula en una cuadrícula EASE de 25 km y en la cuadrícula ISEA 4H9, en el presente caso se utilizaran la EASE de 25 km.

- La programación se realiza en el lenguaje de líneas llamado BASH Script junto con diversas herramientas de dominio para la extracción de la información en formato *nc*, como son NCL (Ncarg Command Language) y nces que es una herramienta de NCO (Ncarg Command Operator.)



**Figura 2.11** Página del SMOS Barcelona Expert Centre on Radiometric Calibration and Ocean Salinity (SMOS-BEC)

## Planteamiento del problema

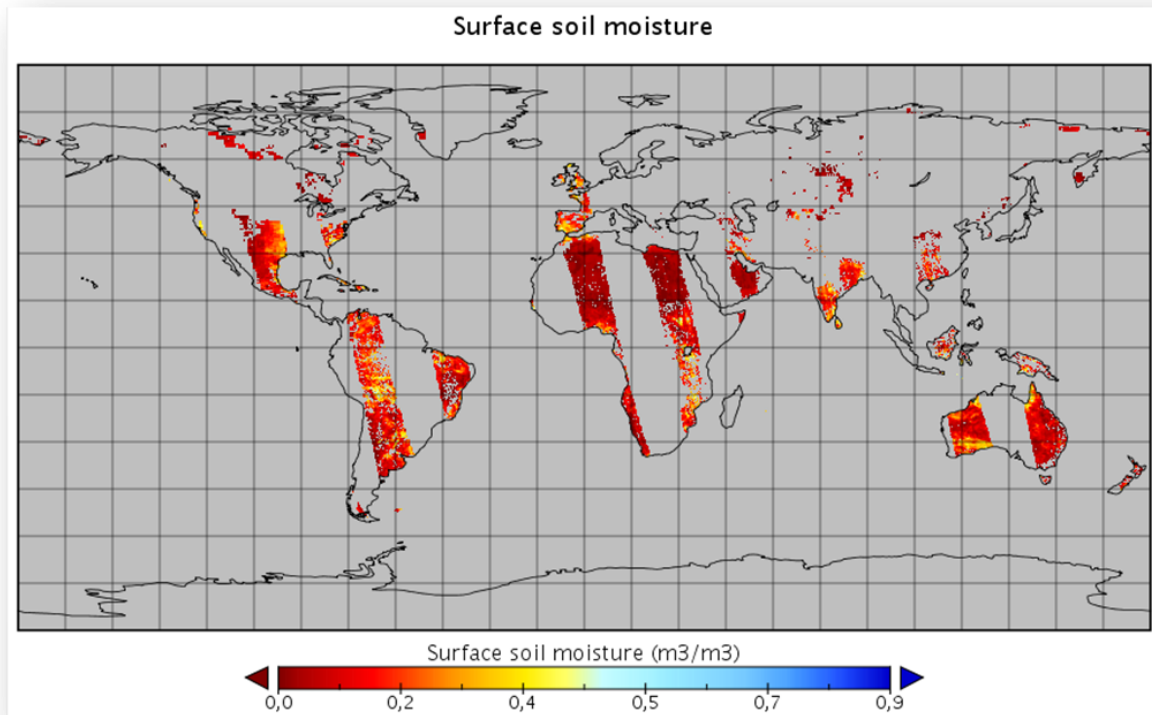
Los archivos *nc* que publica el SMOS son emitidos en forma diaria pero cuentan con un retraso de dos días a partir de la fecha actual (Figura 2.12), además de que un archivo diario solo muestra partes de información del globo terráqueo (Figura 2.13) siendo necesarios de tres a cuatro días para abarcar la totalidad de este (Figura 2.14).

Catalog <http://cp34-bec.cmima.csic.es/thredds/catalog/NRTSM001D025A/catalog.html>

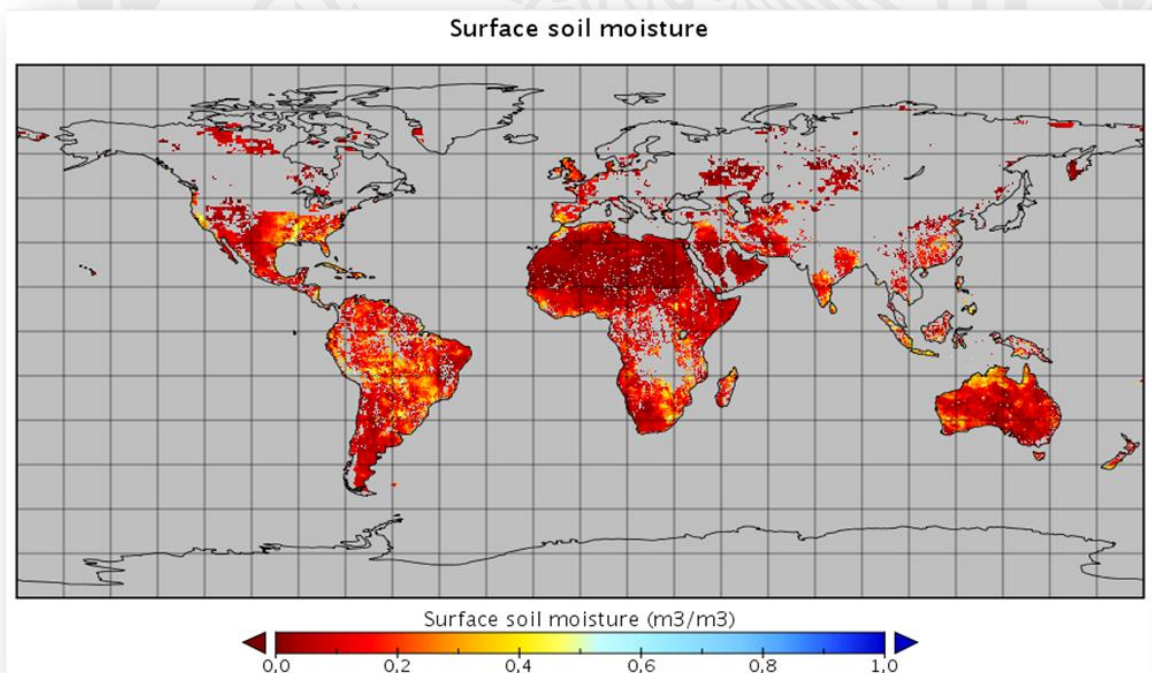
Dataset	Size	Last Modified
 <a href="#">Individual Files</a>		--
<a href="#">latest</a>		--
<a href="#">Surface soil moisture from 2017-01-29</a>	12.98 Mbytes	2017-01-31T04:00:14Z
<a href="#">Surface soil moisture from 2017-01-28</a>	12.98 Mbytes	2017-01-30T04:00:14Z
<a href="#">Surface soil moisture from 2017-01-27</a>	12.98 Mbytes	2017-01-29T04:00:15Z
<a href="#">Surface soil moisture from 2017-01-26</a>	12.98 Mbytes	2017-01-28T04:00:14Z

**Figura 1.12** Retraso de dos días de información tomando en cuenta que la fecha actual es 31-01-2017





**Figura 2.12** Graficado del archivo nc con fecha 29-01-2017



**Figura 2.13** Graficado del archivo nc de tres días (27,28 y 29 de enero de 2017)



Cada vez que se selecciona un día en particular (Figura 2.12), este no se descarga de manera automática sino que el sistema manda a una nueva página (Figura 2.15) donde el usuario cuenta con diferentes opciones de descarga, por ejemplo: El tipo de acceso de descarga, selección de variables y recortes de mallas, siendo muy tediosa la descarga de 1...n archivos.

**Catalog** <http://cp34-bec.cmima.csic.es/thredds/catalog/NRTSM001D025A/catalog.html>

---

**Dataset: Individual Files/Surface soil moisture from 2017-01-29**

- **Data format:** netCDF
- **Data size:** 12.98 Mbytes
- **Data type:** GRID
- **Naming Authority:** cp34-bec.cmima.csic.es
- **ID:** NRTSM001D025A/BEC\_BIN\_SM\_A\_20170129T000631\_20170130T002055\_NOMINAL\_025\_002.nc

**Documentation:**

- **summary:** Soil Moisture: Daily map, generated every day. Grid resolution 25 km (EASE2-M25km). This product is derived from maximum spatial resolution at L2 ISEA grid cells (15.74km) and the value of each magnitude in a given cell corresponds to the spatial averaging. Ascending orbits have been considered with full polarization.
- **rights:** BEC research products are freely distributed. If these data are used for publication, the following acknowledgement should be included: "These data were produced by the Barcelona Expert Centre ([www.smos-bec.icm.csic.es](http://www.smos-bec.icm.csic.es)), a joint initiative of the Spanish Research Council (CSIC) and the Technical University of Catalonia (UPC), mainly funded by the Spanish National Program on Space"
- [Documentation about products](#)

**Access:**

1. **OPENDAP:** [/thredds/dodsC/NRTSM001D025A/BEC\\_BIN\\_SM\\_A\\_20170129T000631\\_20170130T002055\\_NOMINAL\\_025\\_002.nc](http://thredds/dodsC/NRTSM001D025A/BEC_BIN_SM_A_20170129T000631_20170130T002055_NOMINAL_025_002.nc)
2. **HTTPServer:** [/thredds/fileServer/NRTSM001D025A/BEC\\_BIN\\_SM\\_A\\_20170129T000631\\_20170130T002055\\_NOMINAL\\_025\\_002.nc](http://thredds/fileServer/NRTSM001D025A/BEC_BIN_SM_A_20170129T000631_20170130T002055_NOMINAL_025_002.nc)
3. **NetcdfSubset:** [/thredds/ncss/grid/NRTSM001D025A/BEC\\_BIN\\_SM\\_A\\_20170129T000631\\_20170130T002055\\_NOMINAL\\_025\\_002.nc](http://thredds/ncss/grid/NRTSM001D025A/BEC_BIN_SM_A_20170129T000631_20170130T002055_NOMINAL_025_002.nc)

**Keywords:**

- Soil Moisture, SMOS

**Dates:**

- 2017-01-31T04:00:14Z (modified)

**Creators:**

- **Spanish National Research Council (CSIC), Institute of Marine Sciences (ICM), SMOS Barcelona Expert Centre (SMOS-BEC)**
  - *email:* <http://www.smos-bec.icm.csic.es/contact/contact.htm>
  - <http://www.smos-bec.icm.csic.es/>

**Figura 2.14** Opciones para descargar la información del SMOS

## Diseño

Para la sección anterior se elaboró la siguiente tabla (ver Tabla 1 y 2) con el objetivo de generar gráficos promedio con datos de tres días excepto los meses con 31 días que en su última gráfica mensual se realizará con cuatro días.

Días tomados en cuenta para la generación del gráfico	Día en que se generara el graficado promedio
1, 2, 3	5
4, 5, 6	8
7, 8, 9	11
10, 11, 12	14
13, 14, 15	17

16, 17, 18	20
19, 20, 21	23
22, 23, 24	26
25, 26, 27	29

**Tabla 1** Días en que se generara el graficado promedio

Los días dos de cada mes, se generara el gráfico de los días últimos del mes anterior, quedando de esta manera:

Días tomados en cuenta para la generación del gráfico	Día en que se generara el graficado promedio
28, 29, 30	2 (meses con 30 días)
25,26,27,28	2 (febrero no bisiesto)
28, 29, 30, 31	2 (meses con 31 días)
25,26,27,28,29	2 (febrero bisiesto)

**Tabla 2** Días en que se generara el graficado promedio

Para el punto enmarcado en la figura 2.15 se elige el método de acceso *HTTP Server* por garantizar una transferencia segura de datos, el cual se logra a través de un *usuario* y *password* que se generó en la página de SMOS y que al momento de la descarga de archivos se envía para garantizar la comunicación y proceder a la descarga de los archivos.

A pesar de que la información descargada incluye información de todo el mundo, se cuenta con herramientas que nos permiten realizar recortes de malla sin perder información; de igual forma el proceso de realizar promedios en los diferentes archivos y generar uno solo no repercute en el funcionamiento del proyecto, ya que es una tarea sumamente rápida.

## Implementación

A continuación se presenta de manera gráfica (figura 2.16), el proceso que conlleva a desarrollar las actividades para dar cumplimiento al objetivo específico del proyecto que consiste en la generación de gráficos de humedad de suelo de manera automática.

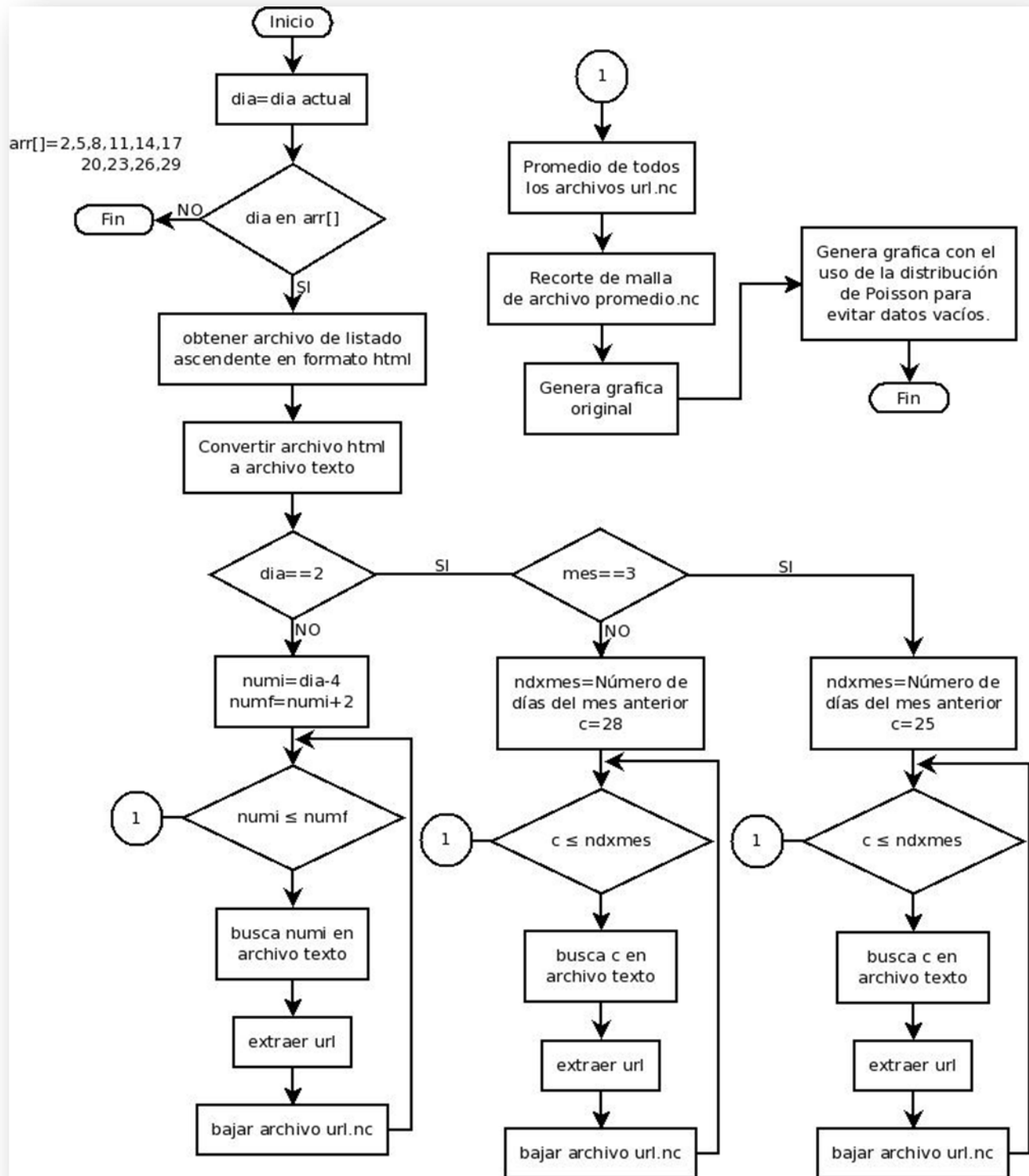


Figura 2.15 Diagrama de flujo de la generación de un gráfico promedio con datos del SMOS

El equipo de trabajo donde se llevó a cabo el desarrollo de software es una máquina con sistema operativo linux centos 6.8, con la ip 172.16.4.158 siendo el directorio de trabajo:

**/home/chch/Desarrollo/smos**

El cual comprende la siguiente información:

Archivo o directorio	Proceso
<i>ejecuta.sh</i>	Programa principal para generar el graficado ascendente
<i>ejecuta_des.sh</i>	Programa principal para generar el graficado descendente.
<i>creagraficao.nc</i>	Programa que genera el graficado original ascendente y descendente.
<i>creagrafcaf.nc</i>	Programa que genera el graficado original ascendente y descendente sin datos vacíos mediante la aplicación de la distribución de Poisson.
Directorio gifs	Directorio donde se almacenan las gráficas resultantes.

### Script *ejecuta.sh*

Es el archivo principal que se encarga de ejecutar todas las acciones para generar el gráfico ascendente y al final de esta manda a llamar al script *ejecuta\_desc.sh* para generar el gráfico descendente; el archivo se encuentra dividido en lo siguiente:

#### 2.a) Sección funciones

Es una función hecha en *BASH* Script que se encarga de almacenar un arreglo con los parámetros que se hayan escrito con el nombre de arr (figura 2.17), que en este caso almacena los días en los que se procederá a la generación del gráfico (2,5,8,11,14,17,20,23,26,29) y sobre este arreglo se buscará si se encuentra el día actual, en caso de encontrarse regresa el valor de 0, de lo contrario regresa 1.



```
#Sección funciones
array_contains () {
    local array="$1[@]"
    local seeking=$2
    local in=1
    for element in "${!array}"; do
        if [[ $element == $seeking ]]; then
            in=0
            break
        fi
    done
    return $in
}
#Termina sección funciones
```

**Figura 2.16** Sección funciones

## 2.b) Sección declaración de variables

```
#Sección declaración de variables
dncl=`which ncl`
dwg=`which wget`
dlynx=`which lynx`
fecha=$(date +%Y%m%d)
dia=$(date +%d -d "$fecha")
mes=$(date +%m -d "$fecha")
anio=$(date +%Y -d "$fecha")
mesa=$(date +%m -d "$fecha - 1 month")
anioa=$(date +%Y -d "$fecha - 1 month")
WGET_OPTS="--user=jgrc --password=elefantx8"
arr=(02 05 08 11 14 17 20 23 26 29)
re=`array_contains arr $dia && echo yes || echo no`
#Termina sección de declaración de variables
```

**Figura 2.17** Sección de variables

En esta sección se declaran todas las variables que vamos a utilizar durante la ejecución del programa:

- Las variables *dncl* (para usar *ncl*), *dwg* (para usar *wget*) y *dlynx* (para usar *lynx*) almacenan la información del ejecutable donde se encuentre este en todo el sistema.
- Las variables *fecha*, *dia*, *mes*, *anio* se ocupan para cuando los días son 5, 8, 11, 14, 17, 20, 23, 26 y 29 almacenando información del mes actual.

- Las variables *mesa* y *anioa* se ocupan para almacenar la información del mes anterior cuando el día actual sea 2.
- *WGET\_OPTS* almacena la información del *usuario* y *password* que permitirá la conexión con el servidor del SMOS y que previamente se ha llenado el formulario de registro en la siguiente liga <http://cp34-bec.cmima.csic.es/data/data-access/#formdata> en la sección Register form.
- *arr* es la variable de tipo arreglo que va a almacenar los días en que se va a ejecutar el programa.
- *re* es la variable que manda llamar la función donde se va a comparar la variable día que almacena el día actual con la variable *arr* que almacena los días en que se va a ejecutar el programa, de encontrar el día la función regresa el valor de 0 que significa que el día fue encontrado en el arreglo, de lo contrario regresa 1, después el resultado se cambia a la palabra *yes* o *no*, que representa el valor que será asignado a *re*.

## 2.c) Sección primera condición

La primera condición (Figura 2.19) se encarga de validar que la variable *re* (referirse a sección declaración de variables) almacene el valor de “yes”, en caso contrario termina el programa.

```
if [ "$re" == "yes" ] ; then #1a condición: Si el dia actual esta en el arreglo continua.
echo "encontrado"
$dwg $WGET_OPTS http://cp34-bec.cmima.csic.es/thredds/catalog/NRTSM001D025A/catalog.html
$dlynx -dump catalog.html > aux.txt
cadena=""
```

**Figura 2.18** Primera condición

Donde:

<code>if [ "\$re" == "yes" ] ; then</code>	Valida el valor de la variable <i>re</i> .
<code>echo "encontrado"</code>	Mensaje que envía a pantalla para indicar si el primer <i>if</i> se cumplió.
<code>\$dwg</code>	Variable que almacena donde se encuentra el ejecutable <i>wget</i> en el sistema.
<code>\$WGET_OPTS</code>	Variable que el almacena el <i>nombre</i> y <i>password</i> registrados en la página del SMOS para poder tener acceso total a la información.
<code><a href="http://cp34-bec.cmima.csic.es/thredds/catalog/NRTSM001D025A/catalog.html">http://cp34-bec.cmima.csic.es/thredds/catalog/NRTSM001D025A/catalog.html</a></code>	Es la liga donde se encuentran los datos diarios en su opción ascendente y es fija.



References

1. file://localhost/home/chch/Desarrollo/smos/catalog.html?dataset=NRTSM001D025A
2. file://localhost/home/chch/Desarrollo/smos/latest.html
3. file://localhost/home/chch/Desarrollo/smos/catalog.html?dataset=NRTSM001D025A/BEC\_BIN\_SM\_A\_20170130T010738\_20170130T234158\_NOMINAL\_025\_002.nc
4. file://localhost/home/chch/Desarrollo/smos/catalog.html?dataset=NRTSM001D025A/BEC\_BIN\_SM\_A\_20170129T000631\_20170130T002055\_NOMINAL\_025\_002.nc
5. file://localhost/home/chch/Desarrollo/smos/catalog.html?dataset=NRTSM001D025A/BEC\_BIN\_SM\_A\_20170128T004529\_20170128T231947\_NOMINAL\_025\_002.nc

**Figura 2.22** 2ª sección del archivo donde se guardan las referencias de la información de la figura 2.21

El resultado de convertir *catalog.html* a formato texto se guarda con el nombre de *aux.txt*, que es referencia a partir de esta sección para poder bajar los archivos *nc* de acuerdo a las fechas que se definan y que se explicarán en las siguientes secciones.

### 2.d) Sección segunda condición

Cuando se realice el graficado en los días 2 de cada mes implica que se van a realizar cálculos de fechas con el mes anterior al actual, de no ser así, el cálculo de fechas se realiza con el mes actual. De esto se trata la segunda condición (figura 2.23), que en caso de ser día 2 el procedimiento pasara al capítulo 5.1.5 “Sección tercera condición”, en caso contrario, el procedimiento continua en esta sección (figura 2.24).

```
if [ $dia -eq 2 ] ; then
    if [ $mes -eq 3 ] ; then
```

**Figura 2.23** Segunda condición

```
else #else de 2a condición
    numi=`expr $dia - 4`
    numf=`expr $numi + 2`
    for (( c=$numi; c<=$numf; c++ )) do
        if [ $c -le 9 ]; then
            cer="0"$c
        else
            cer=$c
        fi
        cadena=$cadena","$cer
        echo "Bajando dia: "$anio $mes $cer
        fea=$anio$mes$cer
        cad2=`grep $fea'T' aux.txt`
        IFS='=' read -ra array <<< "$cad2"
        URL_BASE="http://cp34-bec.cmima.csic.es/thredds/fileServer/${array[1]}"
        $dwg $WGET_OPTS $URL_BASE
    done
    cadena=${cadena:1}
fi #Termina 2a condición
```

**Figura 9** Segunda opción cuando no se cumpla que el día sea 2



Tomando como ejemplo que la fecha actual es 29 de enero de 2017, lo que significa que se aplica la primera y segunda condición por lo que la ejecución del programa seguirá en las líneas de la Figura 2.24.

<pre>numi=`expr \$dia - 4` numf=`expr \$numi + 2`</pre>	<p><i>numi</i> es la variable que almacena la fecha inicial de descarga de nuestros archivos, la cual se calcula restando al día actual cuatro números, el cuatro hace referencia a los dos días que tiene de retraso la página de SMOS más otros dos que debemos movernos hacia atrás para marcar el inicio de la descarga de los archivos de acuerdo a la tabla 1.</p>
<p><i>numf</i> es la variable que almacena la fecha final de descarga de nuestros archivos, la cual se realiza sumando dos números a la variable <i>numi</i> para garantizar tres días mínimos que se necesitan para realizar la gráfica final; tomando en cuenta que el ejemplo es día 29, las variables quedan:</p> <p style="text-align: center;"><b><i>numi=25 y numf=27</i></b></p>	
<pre>for (( c=\$numi; c&lt;=\$numf; c++ )) do</pre>	<p>Se lleva a cabo la ejecución del ciclo <i>for</i> mientras el valor de <i>c</i> que toma el valor inicial de <i>numi</i> sea menor o igual a <i>numf</i> y por cada ciclo se ejecuta lo de las líneas siguientes.</p>
<pre>if [ \$c -le 9 ]; then cer="0"\$c else cer=\$c fi cadena=\$cadena","\$cer</pre>	<p>Esta condición valida que cuando <i>c</i> tenga un valor menor o igual a 9 se le anteponga el valor de 0, esto se realiza porque el nombre de los archivos del SMOS en su referencia al día es de dos dígitos (01, 02, 03, 09, 10, 11, 21...), en nuestro ejemplo no aplica ya que los valores son mayores a 9.</p> <p>La variable <i>cadena</i> almacena el valor de <i>c</i> y en cada ciclo el valor nuevo se concatena al antiguo, al final de nuestro ejemplo <i>cadena="25,26,27,"</i></p>
<pre>fea=\$anio\$mes\$cer cad2=`grep \$fea'T' aux.txt`</pre>	<p>La variable <i>fea</i> almacena por cada ciclo el valor del año, mes y día que se está procesando, en el ejemplo, el primer día del ciclo sería 25 y como se está realizando un proceso de mes actual, se usan las variables <i>anio</i> y <i>mes</i>, quedando el valor de <i>fea=20170125</i>.</p> <p>La variable <i>cad2</i>, va a almacenar el valor de la búsqueda que se haga de la variable <i>fea</i> (a la cual se le agrega la letra T, <i>fea="20170125T"</i>) en el archivo <i>aux.txt</i> (Figuras 2.21 y 2.22) que se generó previamente.</p> <p>En el caso de ejemplo, el valor de <i>cad2</i> se representa en la figura 2.25.</p>

9. file:///localhost/home/chch/catalog.html?dataset=NRTSM001D025A/BEC\_BIN\_SM\_A\_20170125T010213\_20170125T233632\_NOMINAL\_025\_002.nc

**Figura 2.25** Resultado de búsqueda de la variable *fea*

```
IFS='=' read -ra array <<< "$cad2"
URL_BASE="http://cp34-bec.cmima.csic.es/thredds/fileServer/${array[1]}"
```

El siguiente paso consiste en obtener el nombre del archivo *nc* correspondiente al día seleccionado que se encuentra en la variable *cad2* después del signo igual. Con la ayuda del comando en Linux IFS establecemos que nos separe una cadena a partir de un patrón de búsqueda, en este caso el patrón de búsqueda es el signo igual y la cadena a separar es la variable *cad2*; una vez que separa la cadena esta es almacenada en un arreglo que se denomina *array*, el cual tiene dos dimensiones; en la dimensión cero almacena:

```
9. file://localhost/home/chch/catalog.html?dataset
```

y en la dimensión uno:

```
NRTSM001D025A/BEC_BIN_SM_A_20170125T010213_20170125T233632_NOMINAL_025_002.nc
```

La variable *URL\_BASE* contiene información de acceso a la página del SMOS, a esta se le agregará el resultado del *array* en su dimensión uno; quedando la variable:

```
URL_BASE="http://cp34-
bec.cmima.csic.es/thredds/fileServer/NRTSM001D025A/BEC_BIN_SM_A_20170125T010213_20170125
T233632_NOMINAL_025_002.nc"
```

```
$dwg $WGET_OPTS $URL_BASE
done
cadena=${cadena:1}
```

La última parte consiste en descargar el archivo correspondiente, esto se realiza con el comando *wget* pasándole como parámetros de entrada las opciones de identificación que son el usuario-password y el nombre del archivo *nc* a descargar que está almacenado en la variable *URL\_BASE* creada anteriormente.

La palabra **done** indica que se termina el ciclo y vuelve a continuar mientras la condición de este se cumple, que en este caso se realiza para otros dos días más, que son el 26 y 27 de enero. Una vez terminado este ciclo, el usuario tendrá tres o más archivos *nc* en su directorio de trabajo.

La variable *cadena* almacena los días que se ejecutaron, pero si se analiza esta tendrá un carácter de coma al final, por lo que con la instrucción *\${cadena:1}* le estamos diciendo que corte el último carácter. En el ejemplo pasaría de **cadena=25,26,27**, a **cadena=25,26,27**.

Una vez terminado el ciclo, se ejecuta el programa de graficado (Sección graficado)

## 2.e) Sección tercera condición

Cuando se entra en esta sección significa que se está en el segundo día del mes y que dicho mes es marzo, de lo contrario se está en el segundo día del mes, pero el mes es cuales quiera menos marzo.

En otras palabras, la sección tercera condición se leería “Si es día dos y el mes es Marzo, entonces empieza a graficar a partir del día 25 de febrero y acaba en el último día del mes de febrero (se toma en cuenta si es bisiestro o no)”

```
if [ $dia -eq 2 ] ; then
if [ $mes -eq 3 ] ; then
dini=25
ndxmes=`cal $(date +"%m %Y" --date "-1 month") | awk 'NF {DAYS = $NF}; END {print DAYS}`
for (( c=$dini; c<=$ndxmes; c++ )) do
cadena=$cadena", "$c
echo "Bajando dia: "$anioa $mesa $c
fea=$anioa$mesa$c
cad2=`grep $fea'T' aux.txt`
IFS=' ' read -ra array <<< "$cad2"
URL_BASE="http://cp34-bec.cmima.csic.es/thredds/fileServer/${array[1]}"
$dwg $WGET_OPTS $URL_BASE
done
cadena=${cadena:1}
mes=$mesa
anio=$anio
```

**Figura 2.26** Ejecución de la sección tercera condición

**Descripción:** Se tomará de ejemplo que nuestra fecha actual es 2 de marzo de 2017, lo que significa que se aplica la primera, segunda y tercera condición por lo que la ejecución del programa seguirá en las líneas de la Figura 2.26.

<pre>dini=25 ndxmes=`cal \$(date +"%m %Y" --date "-1 month")   awk 'NF {DAYS = \$NF}; END {print DAYS}`</pre>	
<p><b>dini</b> es la variable que me va a llevar el inicio de descarga de archivos <b>nc</b>, en esta sección se sabe que el mes a tratar va a ser febrero y que la fecha de inicio siempre será 25, por lo tanto es el valor que se le asigna a la variable.</p>	
<p><b>ndxmes</b> es la variable que almacena la fecha final de descarga de nuestros archivos, la cual se realiza calculando el número de días que tiene el mes anterior al actual, es este caso el mes a tratar es febrero y con ayuda de awk nos indicara si el mes tiene 28 o 29 días.</p>	
<p>Para el caso ejemplo, los valores quedan de esta forma</p> <p style="text-align: center;"><b>dini=25 y ndxmes=28</b></p>	

<pre>for (( c=\$dini; c&lt;=\$ndxmes; c++ )) do</pre>	<p>Se lleva a cabo la ejecución del ciclo <i>for</i> mientras el valor de <i>c</i> que toma el valor inicial de <i>dini</i> sea menor o igual a <i>ndxmes</i> y por cada ciclo se ejecutan las líneas siguientes:</p>
---	---

<pre>cadena=\$cadena", "\$c</pre>	<p>La variable <i>cadena</i> almacena el valor de <i>c</i> y en cada ciclo el valor nuevo se concatena al antiguo, al final de nuestro ejemplo</p>
-----------------------------------	--

	cadena="25,26,27,28,"
--	-----------------------

<pre>fea=\$anioa\$mesa\$c cad2=`grep \$fea'T' aux.txt`</pre>	<p>La variable <i>fea</i> almacena por cada ciclo el valor del año, mes y día anterior al que se está procesando, en el ejemplo, el primer día del ciclo sería 25 y como se está realizando un proceso de mes anterior, se usan las variables <i>anioa</i> y <i>mesa</i>, quedando el valor de <i>fea</i>=20170225.</p> <p>La variable <i>cad2</i>, va a almacenar el valor de la búsqueda que se haga de la variable <i>fea</i> (a la cual se le agrega la letra T, <i>fea</i>="20170225T") en el archivo <i>aux.txt</i> (Figuras 2.21 y 2.22) que se generó previamente.</p> <p>En el caso de ejemplo, el valor de <i>cad2</i> se representa en la figura 2.27.</p>
--	---

9. file://localhost/home/chch/catalog.html?dataset=NRTSM001D025A/BEC\_BIN\_SM\_A\_20170125T010213\_20170125T233632\_NOMINAL\_025\_002.nc

**Figura 10** Resultado de búsqueda de la variable *fea*

<pre>IFS='=' read -ra array &lt;&lt;&lt; "\$cad2" URL_BASE="http://cp34-bec.cmima.csic.es/thredds/fileServer/\${array[1]}"</pre>	<p>El siguiente paso consiste en obtener el nombre del archivo <i>nc</i> correspondiente al día seleccionado que se encuentra en la variable <i>cad2</i> después del signo igual. Con la ayuda del comando en Linux IFS establecemos que nos separe una cadena a partir de un patrón de búsqueda, en este caso el patrón de búsqueda es el signo igual y la cadena a separar es la variable <i>cad2</i>; una vez que separa la cadena esta es almacenada en un arreglo que se denomina <i>array</i>, el cual tiene dos dimensiones; en la dimensión cero almacena:</p> <p>9. file://localhost/home/chch/catalog.html?dataset</p> <p>y en la dimensión uno:</p> <p>NRTSM001D025A/BEC_BIN_SM_A_20170125T010213_20170125T233632_NOMINAL_025_002.nc</p> <p>La variable URL_BASE contiene información de acceso a la página del SMOS, a esta se le agregara el resultado del <i>array</i> en su dimensión uno; quedando la variable:</p> <p>URL_BASE="http://cp34-bec.cmima.csic.es/thredds/fileServer/NRTSM001D025A/BEC_BIN_SM_A_20170225T010213_20170225T233632_NOMINAL_025_002.nc"</p>
--	--



<pre> \$dwg \$WGET_OPTS \$URL_BASE done cadena=\${cadena:1} mes=\$mesa anio=\$anio </pre>	<p>La última parte consiste en descargar el archivo correspondiente, esto se realiza con el comando <code>wget</code> pasándole como parámetros de entrada las opciones de identificación que son el usuario-password y el nombre del archivo <code>nc</code> a descargar que está almacenado en la variable <code>URL_BASE</code> creada anteriormente.</p>
<p>La palabra <b>done</b> indica que se termina el ciclo y vuelve a continuar mientras la condición de este se cumple, que en este caso se realiza para otros tres días más, que son el 26, 27 y 28 de febrero. Una vez terminado este ciclo, el usuario tendrá tres o más archivos <code>nc</code> en su directorio de trabajo.</p> <p>La variable <code>cadena</code> almacena los días que se ejecutaron, pero si se analiza esta tendrá un carácter de coma al final, por lo que con la instrucción <code>\${cadena:1}</code> le estamos diciendo que corte el ultimo carácter. En el ejemplo pasaría de <b>cadena=25,26,27,28,</b> a <b>cadena=25,26,27,28</b></p> <p>La asignación de <code>mes=\$mesa</code> y <code>anio=\$anioa</code> son para engañar al programa de graficado (Sección graficado) y darle a entender que lo está graficando es lo actual.</p>	

## 2.f) Sección no se cumple la tercera condición

Cuando se entra en esta sección significa que se está en el segundo día del mes y que dicho mes no es marzo.

En otras palabras, la condición en esta sección se leería "Si es día dos y el mes no es Marzo, entonces empieza a graficar a partir del día 28 del mes anterior al actual y acaba en el último día del mes anterior"

```

else #else de 3a condición
dini=28
ndxmes=`cal $(date +"%m %Y" --date "-1 month") | awk 'NF {DAYS = $NF}; END {print DAYS}`
for (( c=$dini; c<=$ndxmes; c++ )) do
cadena=$cadena", "$c
echo "Bajando dia: "$anioa $mesa $c
fea=$anioa$mesa$c
cad2=`grep $fea'T' aux.txt`
IFS=' ' read -ra array <<< "$cad2"
URL_BASE="http://cp34-bec.cmima.csic.es/thredds/fileServer/${array[1]}"
$dwg $WGET_OPTS $URL_BASE
done
cadena=${cadena:1}
mes=$mesa
anio=$anioa

```

**Figura 11** Ejecución de la sección tercera condición

**Descripción:** Tomando como ejemplo que la fecha actual es 2 de febrero de 2017, lo que significa que se aplica la primera, segunda y no la tercera condición por lo que la ejecución del programa seguirá en las líneas de la Figura 2.28.

```
dini=28
ndxmes=`cal $(date +"%m %Y" --date "-1 month") | awk 'NF {DAYS = $NF}; END {print DAYS}'`
```

*dini* es la variable que me va a llevar el inicio de descarga de archivos *nc*, en esta sección se sabe que el mes anterior al actual no va a ser febrero y que la fecha de inicio siempre será 28, por lo tanto es el valor que se le asigna a la variable.

*ndxmes* es la variable que almacena la fecha final de descarga de nuestros archivos, la cual se realiza calculando el número de días que tiene el mes anterior al actual, es este caso el mes a tratar es enero y con ayuda de *awk* nos indicara si el mes tiene 30 o 31 días.

Para el caso ejemplo, los valores quedan de esta forma

**dini=28 y ndxmes=31**

```
for (( c=$dini; c<=$ndxmes; c++ )) do
```

Se lleva a cabo la ejecución del ciclo *for* mientras el valor de *c* que toma el valor inicial de *dini* sea menor o igual a *ndxmes* y por cada ciclo se ejecutan las líneas siguientes.

```
cadena=$cadena"$c"
```

La variable *cadena* almacena el valor de *c* y en cada ciclo el valor nuevo se concatena al antiguo, al final de nuestro ejemplo *cadena="28,29,30,31,"*

```
fea=$anioa$mesac
cad2=`grep $fea'T' aux.txt`
```

La variable *fea* almacena por cada ciclo el valor del año, mes y día anterior al que se está procesando, en el ejemplo, el primer día del ciclo sería 28 y como se está realizando un proceso de mes anterior, se usan las variables *anioa* y *mesa*, quedando el valor de *fea=20170128*.

La variable *cad2*, va a almacenar el valor de la búsqueda que se haga de la variable *fea* (a la cual se le agrega la letra T, *fea="20170128T"*) en el archivo *aux.txt* (Figuras 2.21 y 2.22) que se generó previamente.

En el caso de ejemplo, el valor de *cad2* se representa en la figura 2.29.

6. file://localhost/home/chch/catalog.html?dataset=NRTSM001D025A/BEC\_BIN\_SM\_A\_20170128T004529\_20170128T231947\_NOMINAL\_025\_002.nc

**Figura 2.29** Resultado de búsqueda de la variable *fea*

```
IFS='=' read -ra array <<< "$cad2"
URL_BASE="http://cp34-bec.cmima.csic.es/thredds/fileServer/${array[1]}"
```

El siguiente paso consiste en obtener el nombre del archivo *nc* correspondiente al día seleccionado que se encuentra en la variable *cad2* después del signo igual. Con la ayuda del comando en Linux IFS establecemos que nos separe una cadena a partir de un patrón de búsqueda, en este caso el patrón de búsqueda es el signo igual y la cadena a separar es la variable *cad2*; una vez que separa la cadena esta es almacenada en un arreglo que se denomina *array*, el cual tiene dos dimensiones; en la dimensión cero almacena:

```
9. file://localhost/home/chch/catalog.html?dataset
```

y en la dimensión uno:

```
NRTSM001D025A/BEC_BIN_SM_A_20170128T004529_20170128T231947_NOMINAL_025_002.nc
```

La variable *URL\_BASE* contiene información de acceso a la página del SMOS, a esta se le agregara el resultado del *array* en su dimensión uno; quedando la variable:

```
URL_BASE="http://cp34-
bec.cmima.csic.es/thredds/fileServer/NRTSM001D025A/BEC_BIN_SM_A_20170128T00
4529_20170128T231947_NOMINAL_025_002.nc"
```

```
$dwg $WGET_OPTS $URL_BASE
done
cadena=${cadena:1}
mes=$mesa
anio=$anio
```

La última parte consiste en descargar el archivo correspondiente, esto se realiza con el comando *wget* pasándole como parámetros de entrada las opciones de identificación que son el usuario-password y el nombre del archivo *nc* a descargar que está almacenado en la variable *URL\_BASE* creada anteriormente.

La palabra **done** indica que se termina el ciclo y vuelve a continuar mientras la condición de este se cumple, que en este caso se realiza para otros tres días más, que son el 26, 27 y 28 de febrero. Una vez terminado este ciclo, el usuario tendrá tres o más archivos *nc* en su directorio de trabajo.

La variable *cadena* almacena los días que se ejecutaron, pero si se analiza esta tendrá un carácter de coma al final, por lo que con la instrucción *\${cadena:1}* le estamos diciendo que corte el ultimo carácter. En el ejemplo pasaría de **cadena=28,29,30,31**, a **cadena=28,29,30,31**

La asignación de *mes=\$mesa* y *anio=\$anioa* son para engañar al programa de graficado (Sección graficado) y darle a entender que lo está graficando es lo actual.

## 2.g) Sección graficado

Esta sección es la última en ejecutarse y se encarga de:

- Obtener un promedio general de los archivos *nc* descargados en las secciones anteriores.
- Realizar un recorte de malla, donde solo se tome la República Mexicana.

- Generar el grafico y almacenarlo de acuerdo a la fecha de corrida.

```
#Sección graficado
mkdir gifs/$(date +%Y -d "$fecha")
mkdir gifs/$(date +%Y -d "$fecha")/$(date +%m -d "$fecha")
/usr/local/bin/ncs -d lat,-10.0,40.0 -d lon,-130.0,-75.0 BEC BIN SM A * final.nc
$dncl 'prueba=("/final.nc","asc_$(date +%m%d%Y -d "$fecha")","$cadena","$mes","$anio","ascendente")' creagraficao.nc
$dncl 'prueba=("/final.nc","asc_$(date +%m%d%Y -d "$fecha")","$cadena","$mes","$anio","ascendente")' creagrafifac.nc
rm -fr catalog.html final.nc aux.txt BEC_BIN_SM_A *
mv asc_$(date +%m%d%Y -d "$fecha").png gifs/$(date +%Y -d "$fecha")/$(date +%m -d "$fecha")
#Termina Sección graficado
```

Figura 2.30 Sección graficado

## Descripción:

```
mkdir gifs/$(date +%Y -d "$fecha")
mkdir gifs/$(date +%Y -d "$fecha")/$(date +%m -d "$fecha")
```

*mkdir* es un comando en linux que permite crear directorios en caso de que no existan y si existen no hace nada, en este caso se generara una carpeta por año y dentro de esta se generara una carpeta mensual y dentro de esta se guardaran las graficas generadas de acuerdo al mes correspondiente.

El directorio de trabajo de las graficas es:

**/home/chch/Desarrollo/smos/gifs**

```
/usr/local/bin/ncs -d lat,-10.0,40.0 -d lon,-130.0,-75.0 BEC BIN SM A * final.nc
```

Con la línea anterior se realiza el promedio y recorte de malla para todos los archivos *nc* descargados, lo anterior se logra con el ejecutable *ncs* que es parte del segmento de herramientas que provee el *Ncarg Command Operators*. Su funcionamiento se describe a continuación:

**-d lat,-10.0,40.0 -d lon,-130.0,-75.0:** Realiza un recorte de malla sobre los archivos *nc* dados como entrada de parametros de acuerdo a la latitud y longitud dada, pero al mismo tiempo si el parametro de archivos de entrada es mas de uno, entonces y solo entonces realiza un promedio.

**BEC\_BIN\_SM\_A\*:** Hace referencia a los nombres de archivos de entrada, en este caso son todos los que empiezen con esta cadena.

**Final.nc:** Nombre del archivo final, resultado del proceso de recorte y promedio realizado anteriormente.

```
$dncl 'prueba=("/final.nc","asc_$(date +%m%d%Y -d "$fecha")","$cadena","$mes","$anio","ascendente")' creagraficao.nc
$dncl 'prueba=("/final.nc","asc_$(date +%m%d%Y -d "$fecha")","$cadena","$mes","$anio","ascendente")' creagrafifac.nc
```



Esta sección se encarga de generar dos tipos de graficas usando el software ncl (Ncarg Command Language) desarrollado por NCARG, la cual representa ser una excelente herramienta para el tratado de archivos nc.

**Donde:**

- **\$dncl**

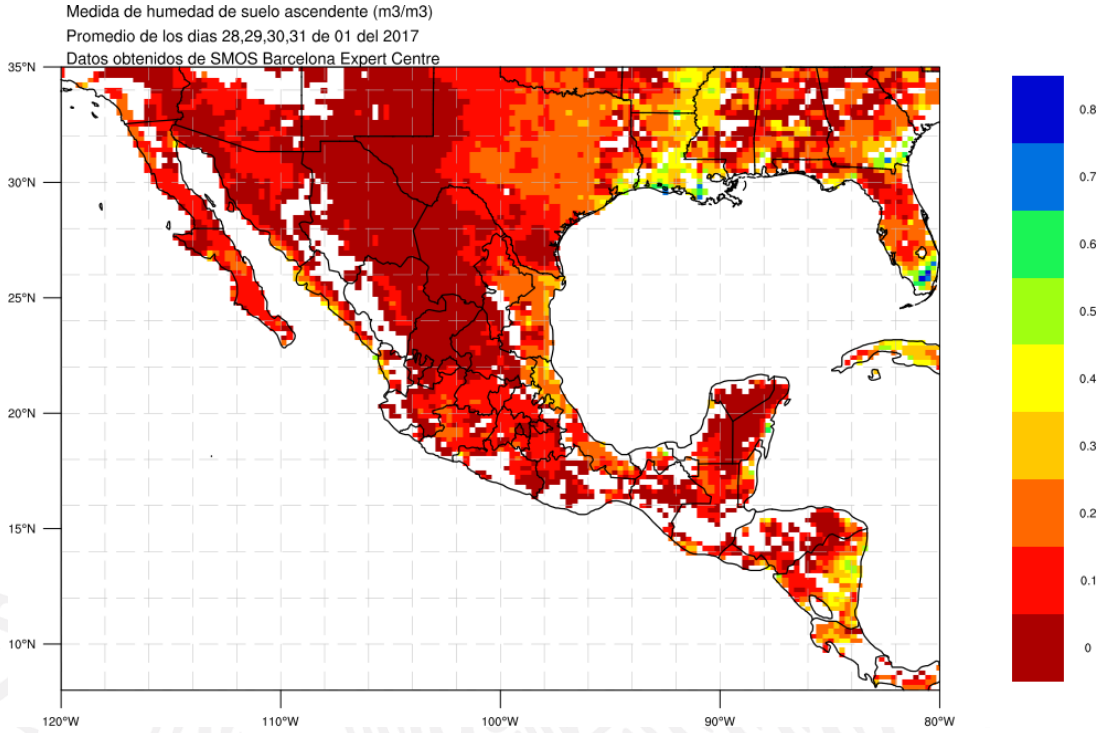
Almacena la dirección donde se encuentre el ejecutable ncl en el sistema

- **'prueba=(/"final.nc", "asc\_\$(date +%m%d%Y -d "\$fechaa")", "\$cadena", "\$mes", "\$anio", "ascendente"/)'**

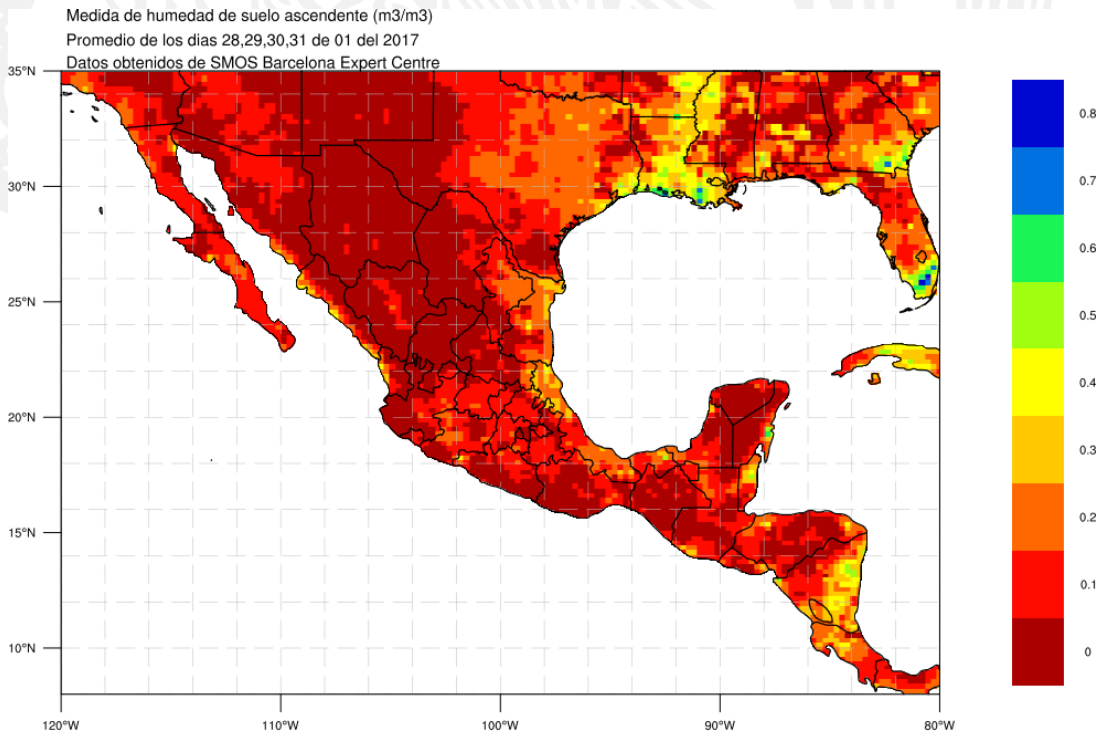
Se especifican los parámetros de entrada que va a recibir el ejecutable *nc* para llevar a cabo la generación de gráficas, donde:

- prueba: Es el nombre del arreglo que va a almacenar los parámetros de entrada, cuyo acceso es a partir del índice 0.
  - "final.nc": Representa el 1er parámetro de entrada (prueba(0)) y hace referencia al nombre del archivo *nc* final que se generó con el comando *nces*.
  - "asc\_\$(date +%m%d%Y -d "\$fechaa")": Representa el 2do parámetro de entrada(prueba(1)) y hace referencia al nombre final del grafico a generar que se compone de las palabras *asc* o *dsc* (depende de lo que se esté graficando) más la fecha actual (mmddaaaa) con extensión *png*.
  - "\$cadena": Es el 3er parámetro de entrada(prueba(2)) y es la primera leyenda que lleva el grafico y hace referencia a los días que se utilizaron para generar la gráfica promedio.
  - "\$mes": Es el 4to parámetro de entrada(prueba(3)) y es la segunda leyenda que lleva el grafico y hace referencia al mes que corresponden los archivos *nc* utilizados.
  - "\$anio": Es el 5to parámetro de entrada(prueba(4)) y es la tercera leyenda que lleva el grafico y hace referencia al año que corresponden los archivos *nc* utilizados.
  - "ascendente": Es el 6to parámetro de entrada(prueba(5)) y es la cuarta leyenda que lleva el grafico y se refiere a que tipo de graficado se está haciendo de la humedad relativa, en este caso es la ascendente y se cambia cuando se grafica la humedad relativa descendente.
- **creagrafico.nc**: Representa el nombre del archivo de *ncl* que va a generar la gráfica de acuerdo a los parámetros de entrada dados anteriormente (Figura 2.31).

**Nota:** La segunda línea representa la misma información de entrada descrita anteriormente, solo que ahora será usada por el archivo llamado **creagraficaf.nc**, la diferencia es que el segundo programa ocupa la distribución de poisson para llenar los huecos vacíos que traiga el archivo *nc*.



**Figura 12** Ejemplo de humedad relativa ascendente correspondiente al día 2 de febrero del 2017



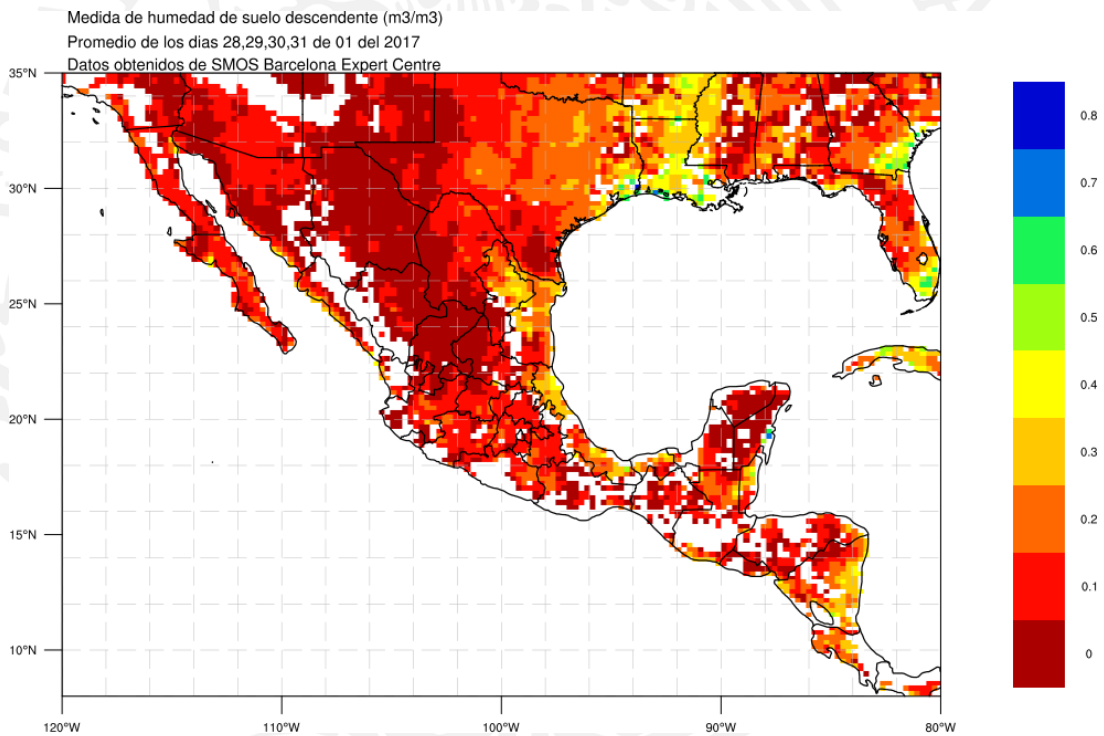
**Figura 13** Ejemplo de humedad relativa ascendente correspondiente al día 2 de febrero del 2017 aplicando la distribución de Poisson

## 2.h) Sección ejecuta graficado de humedad relativa descendente

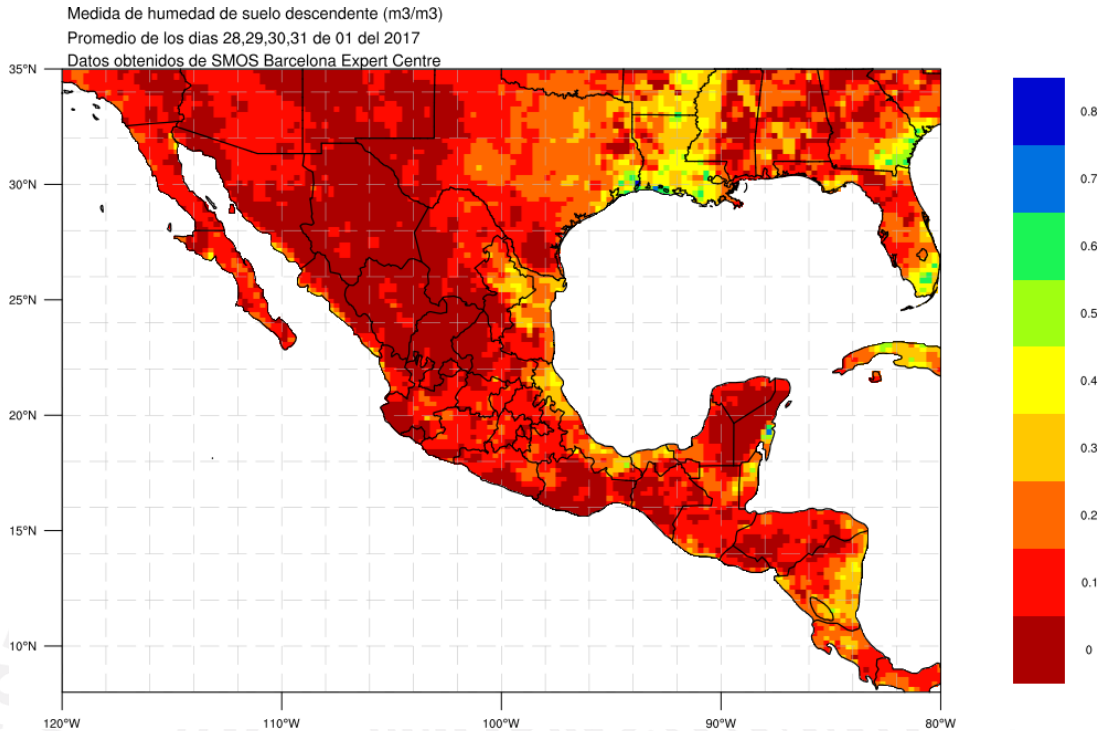
```
./ejecuta_desc.sh $fecha
```

**Figura 14** Sección de generación de graficado de humedad relativa descendente

La última sección que se ejecuta hace referencia a la sección de graficado de humedad relativa en su formato descendente, para esto se manda ejecutar el programa *ejecuta\_desc.sh* cuyo funcionamiento es igual que el programa *ejecuta.sh* y cuyo final es la generación de dos gráficas en formato png (Figuras 2.34 y 2.35).



**Figura 15** Ejemplo de humedad relativa descendente correspondiente al día 2 de febrero del 2017



**Figura 2.35** Ejemplo de humedad de suelo descendente correspondiente al día 2 de febrero del 2017

### 3. Evaluación de la factibilidad de incorporar al modelo Leacky Bucket de la humedad del suelo al monitor de sequías.

La humedad del suelo interactúa con las condiciones del clima y juega un papel fundamental en el proceso del crecimiento de la vegetación, dado que es una variable importante del ciclo hidrológico. La precipitación escasa es una de las causas de baja producción y del fracaso del desarrollo y salud de la vegetación, entre otros factores, reflejada como humedad del suelo. En particular en ambientes áridos o semiáridos, la frecuencia de una disponibilidad limitada de agua en el suelo es responsable de períodos prolongados durante los cuales la vegetación está en un estado de estrés hídrico (Hale y Orchutt, 1987).

Las variables físicas del suelo, tales como la humedad del suelo, se encuentran entre las componentes más importantes de memoria para el sistema climático. Para cuantificar la memoria de estas variables físicas se requiere de registros de varias décadas. Por lo tanto, se requiere de series de tiempo largas y precisas para entender la interacción suelo-superficie-atmósfera para mejorar la habilidad de predicción del tiempo y el clima.

Los datos de humedad del suelo del CPC son los que se consideran para el monitor de sequía, con base en la disponibilidad más reciente de los mismos y la resolución espacial mínima necesaria.

El modelo Leacky Bucket es un modelo hidrológico unidimensional de una capa (Huang et al., 1996, y van den Dool et al., 2003). El modelo toma como forzante a la precipitación y la temperatura observada y calcula la humedad del suelo, la evaporación y el escurrimiento. La evaporación potencial se calcula a partir de la temperatura observada. Los parámetros del modelo son constantemente calibradas para



reproducir el escurrimiento de cuencas pequeñas ubicadas al este de Oklahoma, Estados Unidos. La configuración que se requiere para el presente proyecto es de una estimación mensual calculada para todo el orbe a una resolución espacial de (0.5x0.5 grados).  
[http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/Soilmst\\_Monitoring/introduction.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/Soilmst_Monitoring/introduction.shtml)

**Tabla 1.** Fuente y características de los datos de humedad del suelo.

Datos	Periodo	Resolución		Fuente	Formato
		Espacial	Temporal		
Climate Prediction Center (CPC)	1948-2016	0.5°	Mensual	<a href="http://www.cpc.ncep.noaa.gov/soilmst/leaky_glb.htm">http://www.cpc.ncep.noaa.gov/soilmst/leaky_glb.htm</a>	NetCDF
Modelos de superficie: Noah, CLM, VIC, Mosaic	1979-Presente	1°	Mensual	<a href="http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/uui/datasets?keywords=GLDAS">http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/uui/datasets?keywords=GLDAS</a>	GRIB
Global Gridded Surfaces of Selected Soil Characteristics (IGBP-DIS)	1950-1996	5 Arc-minutos		<a href="https://daac.ornl.gov/cgi-bin/dsviewer.pl?ds_id=569">https://daac.ornl.gov/cgi-bin/dsviewer.pl?ds_id=569</a>	ASCII GRID format for ARC INFO

La humedad del suelo es una variable que difícilmente se mide en México en forma regular y sistematizada por lo cual las fuentes de información identificadas son a partir de la calculada con modelos numéricos y de balance ("bucket"). Las características y fuentes de datos se resumen en la Tabla 3.

En virtud de que los resultados mensuales de humedad del suelo se publican aproximadamente el día séptimo de cada mes, resultan ser los más oportunos aquellos que son producidos por el CPC. Recordando que el propósito de incorporar esta capa de información es para la elaboración del monitor de sequías que será implementado por el IMTA.

La metodología que se propone es similar a la que se elabora el Índice Estandarizado de Precipitación – SPI (McKee et al., 1993) y se presenta a continuación:

La medición y estimación de la humedad del suelo en una parcela o cuenca hidrológica es una tarea muy compleja, principalmente en términos de gran extensión espacial y con grandes cambios de la humedad del suelo en periodos relativamente cortos (resolución temporal) (Bolaños-González *et al.*, 2011). Por lo anterior, se ajustó una distribución de densidad de probabilidad a la humedad de suelo de la base de datos descrita en secciones preliminares, obtenida del *Climate Prediction Center* (CPC), del período 1948-2016. Para encontrar un mejor ajuste (como el caso de la precipitación y temperatura) se utilizó el software *Statística* (StatSoft, 2011) con el que se realizó un ajuste con las distribuciones Normal, Log-Normal, Generalizada de Valores Extremos y Weibull, entre otras. Se utilizaron lapsos de tiempo de 1 a 48 meses, calculando sumas móviles de la humedad del suelo con la siguiente expresión:

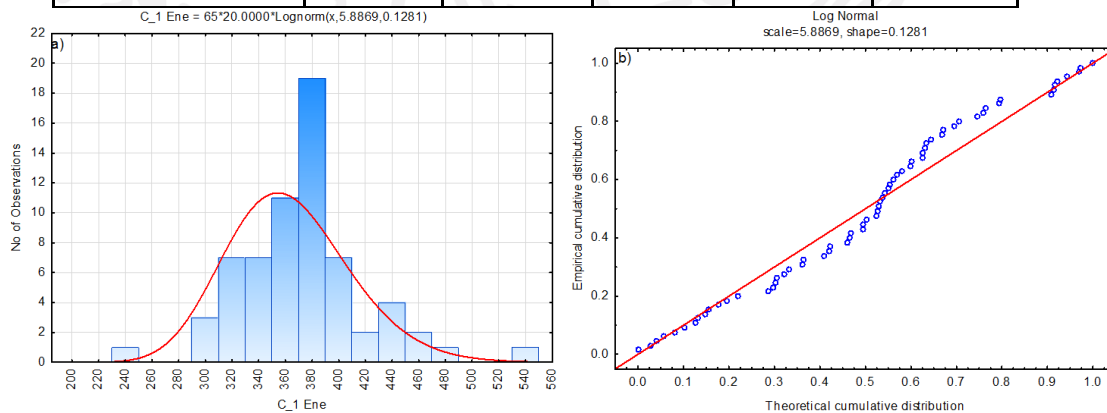
$$n_d = 12 \cdot NA - d_m + 1 \quad (3.1)$$

donde  $NA$  es el número años del registro disponible y  $d_m$  es la duración en meses. En su empleo, por ejemplo, para tres meses, el primer dato es la suma de los tres primeros meses del registro y el segundo dato será la suma del mes dos al cuarto y así sucesivamente.

El criterio de la selección de la mejor función está en relación con la prueba de bondad de ajuste de KS, Ji-Cuadrada y su  $p\_valor$ . El primero se utiliza para determinar la capacidad de modelación de las función de densidad de probabilidad, cuyo estadístico  $dn$  mide la máxima distancia entre la probabilidad acumulada observada y estimada. Esta prueba es muy sensible a cualquier diferencia del valor central y de la dispersión. El segundo (Ji-Cuadrada) estadístico resume la discrepancia entre el histograma y la curva de la normal. Cuanto mayor sea el valor de  $\chi^2$ , menos verosímil es que la hipótesis sea correcta. De la misma forma, cuanto más se aproxima a cero el valor de ji-cuadrado, más ajustadas están ambas distribuciones. El tercer criterio es el  $p\_valor$ : probabilidad que queda a la derecha el valor del estadístico calculado en la distribución de referencia. Si el  $p\_valor$  es mayor de 0.05 es considerado que el ajuste es suficientemente bueno. En Tabla 4 se presentan los valores característicos de cada distribución para el mes de enero y en la figura 3.1 se presenta ajuste de la Distribución Log-Normal, así como el gráfico de la distribución acumulada teórica versus empírica.

**Tabla 4.** Valores característicos de cada distribución aplicada a la humedad de suelo del mes de enero.

Distribución	K-S d	K-S - p-value	Chi-square	Chi-square p-value	Chi-square grados de libertad
Log-Normal	0.097694	0.532189	12.4	0.053618	6
Generalizada de Valores Extremos	0.110088	0.382288	16	0.006844	5
Normal	0.116463	0.31632	10.7385	0.096804	6
Weibull	0.154005	0.082148	22.0923	0.001165	6



**Figura 3.1.** Gráfico de ejemplo del ajuste de la distribución Lognormal (izquierda; a) y la distribución acumulada teórica versus empírica (derecha; b). HS: Humedad de Suelo, Scale= $\mu$  y Shape= $\sigma$

A partir del análisis de los valores de la Tabla 4 y del comportamiento en la figura 3.1 a), se identifica que sigue una distribución Log-Normal, en la figura 3.1 b) los puntos se sitúan muy cerca de la línea y el comportamiento de los mismos no sigue un patrón totalmente curvilíneo. Además de las gráficas, hay un valor estadístico de K-S que es una prueba no paramétrica que determina la bondad de ajuste, el cual es un reflejo de cuán lejos se encuentran los puntos respecto de la recta. Por tanto, cuanto menor sea el valor de dicho estadístico, tanto mejor será la bondad del ajuste. De los valores que se presentan en la Tabla 4, se desprende nuevamente que la Log-Normal es el mejor ajuste.

En conclusión la distribución que mejor ajustó a los datos de la humedad del suelo es la distribución Log-Normal, en general, esta distribución se encuentra frecuentemente referenciada en investigaciones sobre el medio ambiente (Castañeda *et al.*, 2002). Por lo que se toma ésta distribución como ajuste en la humedad del suelo.

La distribución Log-Normal es una distribución de probabilidad de una variable aleatoria cuyo logaritmo está normalmente distribuido. Es decir, si  $x$  es una variable aleatoria con una distribución normal, entonces  $e^x$  tiene una distribución Log-Normal.

La distribución Log-Normal tiende a la Función de Densidad de Probabilidad

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma_y\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x)-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2}}, \quad x > 0, -\infty < x < \infty, \text{ y } \sigma > 0 \quad (3.2)$$

donde  $\mu_y$  y  $\sigma_y$  son la media y al desviación estándar, respectivamente, de la transformada de la variable  $Y = Ln(x)$

siendo:

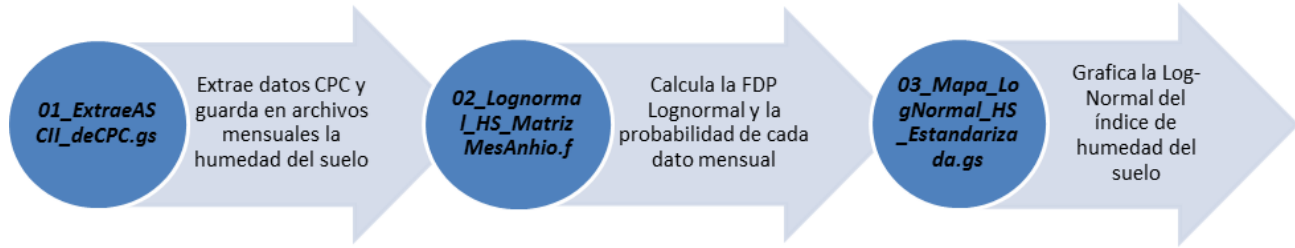
$\mu_y$  el parámetro de locación

$\sigma_y$  el parámetro de escala

En este caso la variable  $z = \frac{\ln(x)-\mu_y}{\sigma_y}$  sigue una distribución Gaussiana estándar  $N(0,1)$ .

### 3.1 Automatización de la aplicación y estandarización de la función Log-Normal

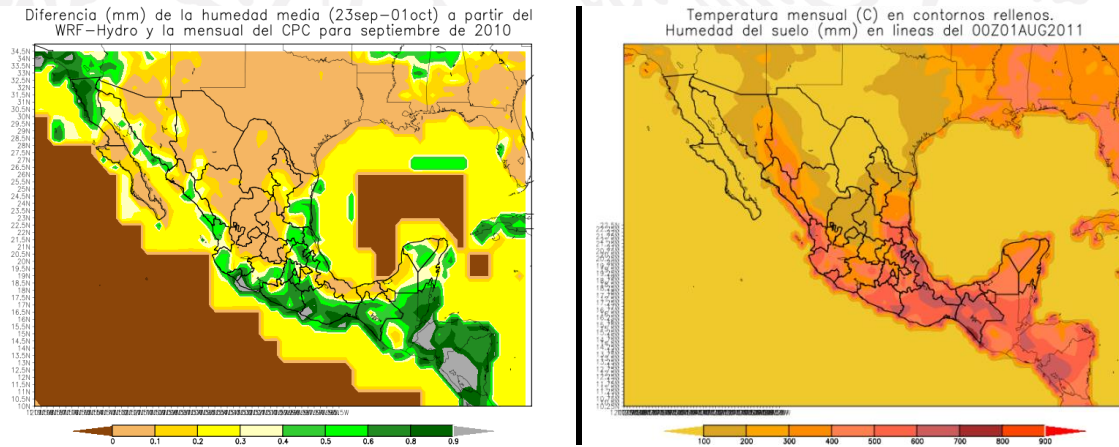
En el caso de la humedad del suelo, a partir del manual desarrollado con el desglose y aplicación de las ecuaciones de la función de densidad de probabilidad Log-Normal, descritos en la sección previa, se desarrollaron los códigos de programación computacionales en los lenguajes: fortran 77 (archivos con terminación \*.f) y GrADS (archivos con terminación \*.gs), para automatizar el procesamiento de la información en el sistema operativo Windows, siguiendo los pasos que se indican en la figura 3.2.



**Figura 16.** Secuencia de los programas para calcular y mapear la FDP Log-Normal de los datos de humedad del suelo.

A partir de los archivos con datos de humedad del suelo mensual del CPC, descritos previamente, se extrajeron y guardaron los datos en archivos por mes, en formato ASCII, con el programa “01\_ExtraeASCII\_deCPC.gs”, para las coordenadas -120°W a -80°W y 10°N a 35°N que abarcan México. Éstos archivos son entrada al programa “02\_Lognormal\_HS\_MatrizMesAnhio.f”, el cual reordena los datos en series para cada uno de los 12 meses del año. El programa ajusta la función de densidad de probabilidad Log-Normal a la humedad del suelo (con promedios móviles para los lapsos de trabajo; 1, 3, 6, 12, 24 y 48 meses) a cada una de las series de los doce meses del año, posteriormente calcula el valor de probabilidad de cada uno de los meses individuales en dichas series y estandariza los resultados. Al final el programa reacomoda los resultados de probabilidad estandarizada para regresar a la secuencia cronológica continua de la serie original de datos.

Los resultados de la función de densidad de probabilidad estandarizada son mapeados con el programa “03\_Mapa\_LogNormal\_HS\_Estandarizada.gs”. En la figura 3.3 (izquierda) se muestran los resultados de la probabilidad Log-Normal de la humedad promedio para un lapso de tres meses, correspondiente al mes de agosto (valor de junio a agosto), y en el lado derecho los datos de humedad del suelo del mes de agosto. Se observa congruencia entre los mapas al resultar bajas probabilidades en el centro-norte del país que podrían asociarse a condiciones potenciales de déficit de humedad (estrés hídrico).

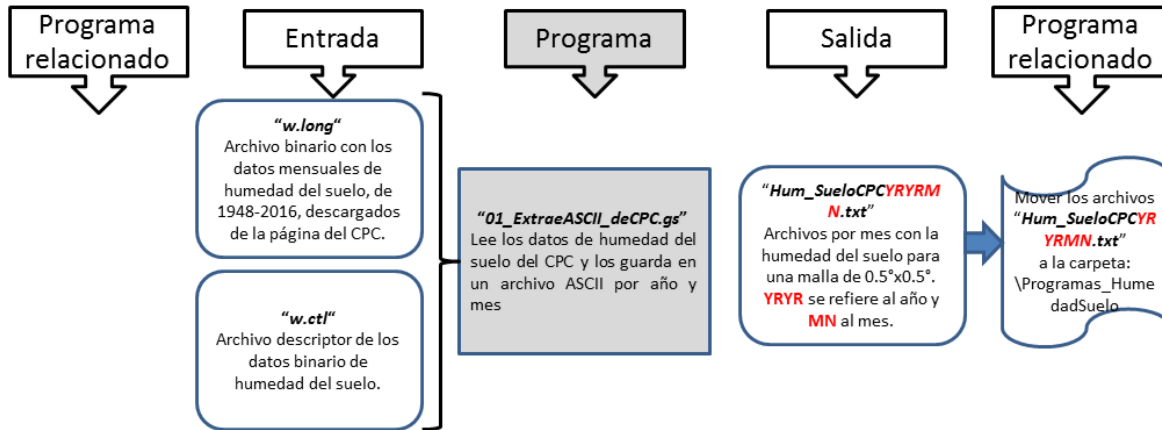


**Figura 17.** Resultados de la probabilidad de la humedad del suelo (izq.) en agosto de 2011, para un promedio de tres meses (jun-ago), y representación de la humedad del suelo del mes de agosto.

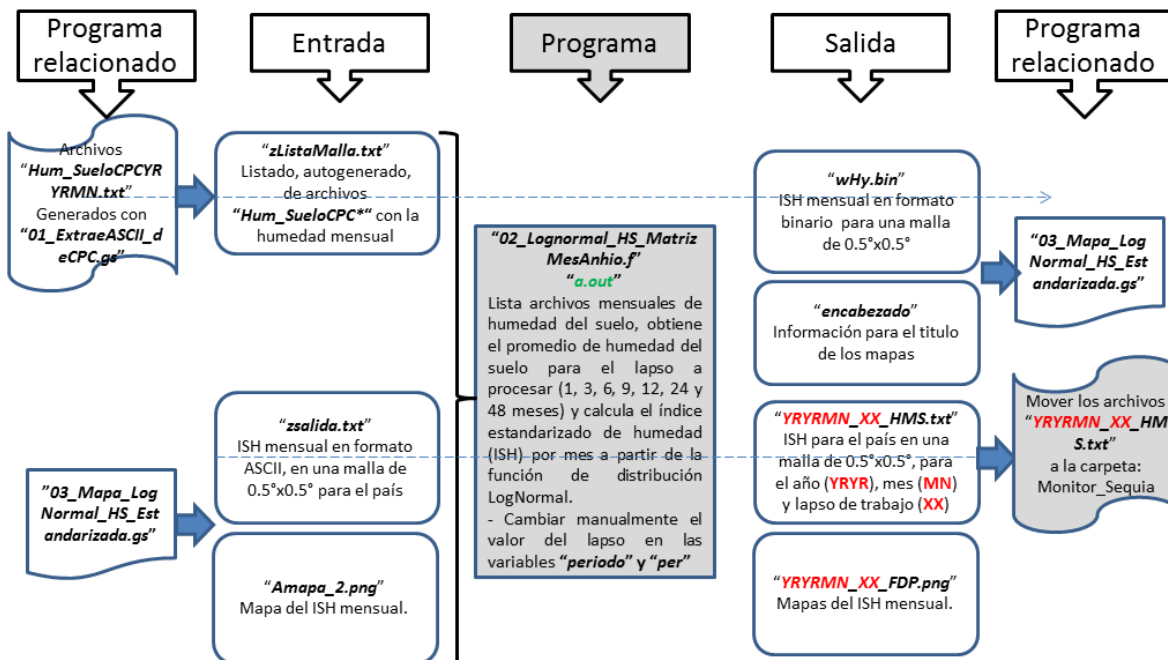
El diagrama de flujo

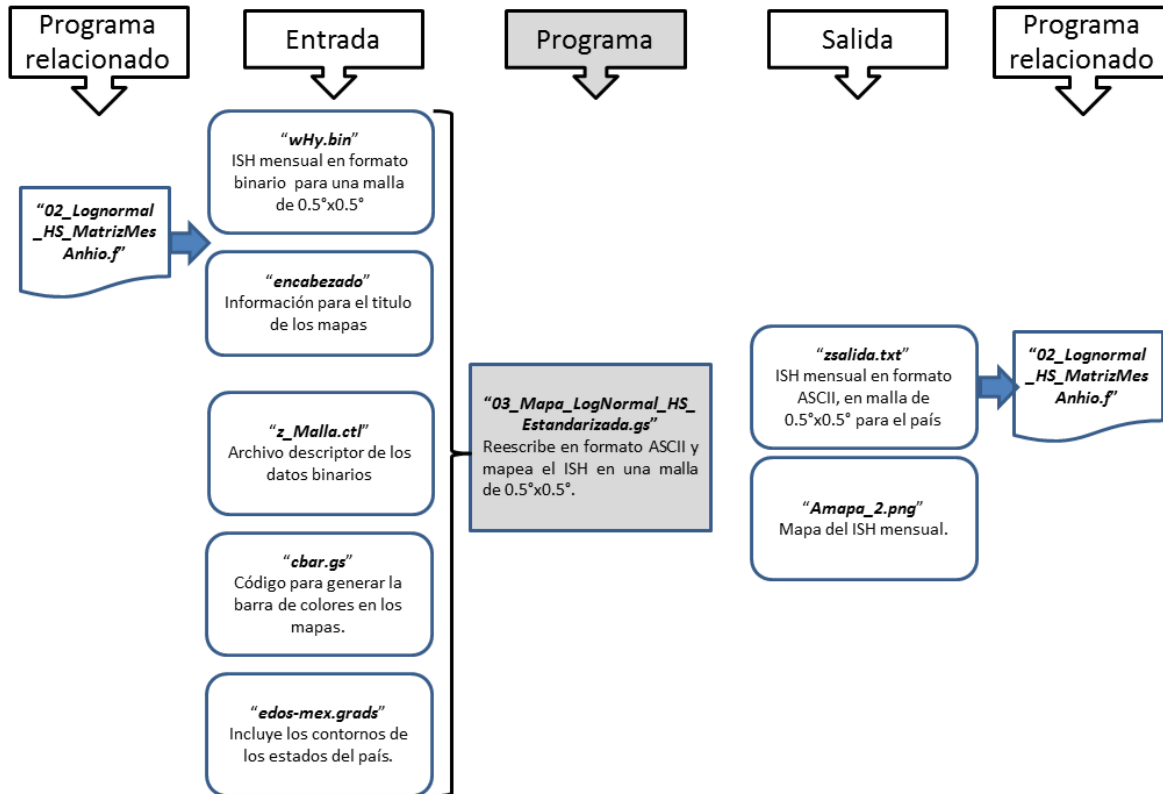


➤ En la carpeta: Programas\_HumedadSuelo\Datos\_HS\_CPC



➤ En la carpeta: Programas\_HumedadSuelo





#### 4. Proponer una metodología para la elaboración del monitor de sequías ponderado para México.

La elaboración de un esquema de monitoreo de sequías puede contar con diferentes fuentes de información donde cada una pueda representar a alguna variable de interés (p.e. lluvia, temperatura, humedad de suelo, vegetación, escurrimientos, entre otros). Diversas metodologías existen para denominar este proceso, pero en esta ocasión y para el presente proyecto se considera a aquella con la que se elabora el Monitor de Sequías para Norteamérica, que consiste básicamente en la incorporación de capas de información correspondiente a las variables ya antes mencionadas, incorporando incluso algunas otras que puedan brindar información para un mejor mapeo de la sequía (aunque la sequía pueda tener un significado diferente dependiendo de las necesidades de cada usuario).

En función de lo anterior, la propuesta metodológica que se propone es de incorporar a las principales capas de información (lluvia, temperatura, humedad de suelo y vegetación) y darle un peso o ponderación diferente a cada capa dependiendo de la predominancia. Esto se refiere a que el Monitor de Sequías (MS) que se propone, debe contar además que con las capas fundamentales, una ponderación que le dé un peso específico a cada una de ellas dependiendo de su relevancia para representar adecuadamente a la sequía.

En este sentido, la metodología que se describió para la humedad de suelo, se aplica para las otras tres variables restantes (lluvia, temperatura y vegetación) solamente que sus funciones de distribución pueden cambiar debido al ajuste que se realizó, pero en general la estandarización es la misma para todas. El anexo 3 describe un diagrama de flujo para aplicar secuencialmente los programas para la elaboración del monitor de sequías del IMTA.

En la asignación de pesos para los índices que integran el monitor objetivo ponderado de sequía (denominado como monitor de sequía del IMTA, este es un tema que deberemos discutir entre el grupo de desarrollo y directivos) se aplica el método de componentes principales al conjunto de índices de las variables analizadas. A continuación, se describe la metodología de ponderación que se realizó para este proyecto.

#### 4.1 Componentes Principales<sup>1</sup>

El análisis de componentes principales es una técnica factorial que consiste en resumir la información contenida en una matriz de datos con  $X$  variables, usando un puente de reducción para encontrar nuevos ejes que representen todas las variables. En el análisis de componentes principales, las relaciones entre las variables se estudian a partir de correlaciones y la relación entre individuos a partir de la distancia. El Análisis de Componentes Principales trata de hallar componentes (factores) que sucesivamente expliquen la mayor parte de la varianza total.

El Análisis de Componentes Principales busca hallar combinaciones lineales de las variables originales que expliquen la mayor parte de la variación total; en éste, el primer factor o componente sería aquel que explica una mayor parte de la varianza total, el segundo factor sería aquel que explica la mayor parte de la varianza restante, es decir, de la que no explicaba el primero y así sucesivamente.

##### 4a) Pasos en el análisis factorial de componentes principales

Los pasos que se suelen seguir en el Análisis Factorial son:

- 1.- Calcular la matriz de correlaciones entre todas las variables (Matriz R).
- 2.- Extraer los factores necesarios para representar los datos.
- 3.- Rotar los factores con objeto de facilitar su interpretación. Representación gráfica.

##### 4b) La matriz de correlaciones

Una vez que se dispone de esta matriz concierne examinarla para comprobar si sus características son adecuadas para realizar un Análisis Factorial. Uno de los requisitos que deben cumplirse para que el Análisis Factorial tenga sentido es que las variables estén altamente correlacionadas.

Se puede comprobar el grado de asociación entre las variables con:

---

<sup>1</sup> Retomado de: Urrutia, Jorge Andrés, Palomino Lemus, Reiner, Componentes principales en la determinación de estaciones con patrones homogéneos de temperatura en el chocó (2010). Scientia Et Technica, vol. XVI, núm. 45, pp. 257-262. Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia.

**El determinante de la matriz de correlaciones:** un determinante muy bajo indicará altas inter-correlaciones entre las variables, pero no debe ser cero (matriz no singular), pues esto indicaría que algunas de las variables son linealmente dependientes y no se podrían realizar ciertos cálculos necesarios en el Análisis Factorial.

**Prueba de Esfericidad de Bartlett:** Comprueba que la matriz de correlaciones se ajuste a la matriz identidad (I), es decir ausencia de correlación significativa entre las variables. Esto significa que la nube de puntos se ajuste a una esfera perfecta, expresando así la hipótesis nula por:  $H_0: R = I$ , es decir, que el determinante de la matriz de correlaciones es 1.  $H_0: |R| = 1$ . La fórmula correspondiente asume la siguiente expresión:

$$\chi^2 = - \left[ n - 1 - \frac{1}{6} * (2 * v + 5) \right] * \ln |R| \quad 4.1$$

Donde

$n$  = tamaño de la muestra

$v$  = número de variables

$\ln$  = logaritmo neperiano

$R$  = matriz de correlaciones

Si se acepta la hipótesis nula ( $p > 0.05$ ) significa que las variables no están inter-correlacionadas y por tanto no tiene mucho sentido llevar a cabo un Análisis Factorial.

Es muy útil cuando el tamaño muestral es pequeño.

- Índice KMO de Kaiser-Meyer-Olkin:

$$KMO = \frac{\sum_{i \neq j} \sum r_{ij}^2}{\sum_{i \neq j} \sum a_{ij}^2} \quad 4.2$$

Donde

$r_{ij}$  = correlación simple.

$a_{ij}$  = correlación parcial.

Valores bajos del índice KMO no recomiendan la utilización del Análisis Factorial. En la interpretación del índice KMO podría tomarse, según Kaiser, cómo:

$1 \geq KMO \geq 0.9$  muy bueno

$0.9 \geq KMO \geq 0.8$  meritorio

$0.8 \geq KMO \geq 0.7$  mediano

$0.7 \geq KMO \geq 0.6$  mediocre

$0.6 \geq KMO > 0.5$  bajo

$KMO \leq 0.5$  inaceptable



#### 4c) Matriz factorial de componentes

A partir de una matriz de correlaciones, el Análisis Factorial extrae otra matriz que reproduce la primera de forma más sencilla. Esta nueva matriz se denomina matriz factorial y adopta la siguiente forma:

$$\begin{array}{cc} & \begin{matrix} 1 & 2 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} & \begin{matrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{12} & P_{22} \\ P_{13} & P_{23} \end{matrix} \end{array}$$

Cada columna es un factor y hay tantas filas como variables originales. Los elementos  $P_{ij}$  pueden interpretarse como índices de correlación entre el factor  $i$  y la variable  $j$ , aunque estrictamente sólo son correlaciones cuando los factores no están correlacionados entre sí, es decir, son ortogonales. Estos coeficientes reciben el nombre de pesos, cargas, ponderaciones o saturaciones factoriales. Los pesos factoriales indican el peso de cada variable en cada factor.

#### 4d) Eigen Values (Valores Propios)

Los Eigen valores ( $\lambda$ ), indican la cantidad total de la varianza que explica ese factor para las variables consideradas como grupo.

Las cargas factoriales pueden tener como valor máximo 1, por tanto el valor máximo que puede alcanzar el valor propio es igual al número de variables.

$$\lambda_1 = P_{11}^2 + P_{12}^2 + \dots + P_{1j}^2 \quad \lambda_2 \quad 4.3$$

$$\lambda_1 = P_{21}^2 + P_{22}^2 + \dots + P_{2j}^2$$

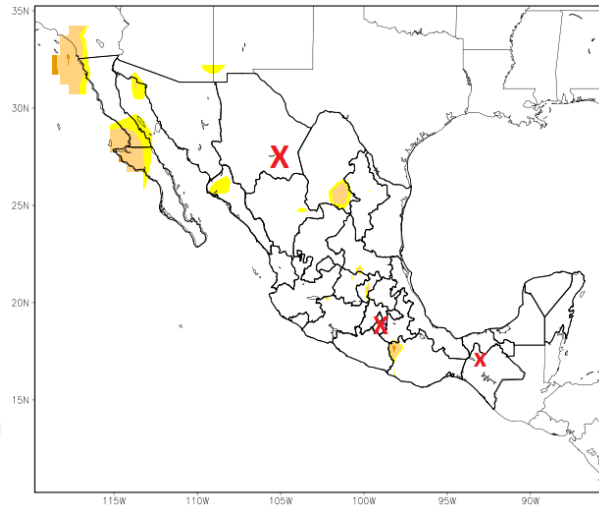
$\frac{\lambda_1}{n}$  Varianza explicada por el primer Factor

$\frac{\lambda_2}{n}$  Varianza explicada por el segundo Factor

#### 4.2 Resultados de la aplicación de las componentes principales

Las componentes principales se aplicaron a las series de los índices (estandarización de las probabilidades de las funciones de densidad de probabilidad) de las variables para dos periodos de tiempo; 1960-2013 y 2002-2013, lo anterior debido a que la base de datos para el NDVI corresponden al periodo 2002 a 2013 y a que los datos de temperatura y precipitación tienen baja densidad de estaciones con información que se acentúa posterior al año 2013, por un desfase en la actualización de la totalidad de los datos del CLICOM, no obstante que este corresponda a la fecha actual.

Asimismo, se aplicaron en series que representan características y condiciones diferenciadas de tres zonas (celdas de 50km x 50 km) del país (Figura 4.1); sureste (límites entre los estados de Chiapas y Tabasco), norte (en el estado de Chihuahua) y centro (límites entre Ciudad de México y Morelos).



**Figura 18.** Ubicación de tres zonas en las que se aplicaron las componentes principales.

#### Consideraciones:

- Se usó un criterio de convergencia de 0.0001
- Se determinó el número de componentes por el método de **Cross-Validation**
- Se considera la opción por default de desviaciones estándar de la unidad

De acuerdo al método **Cross-Validation**, el mejor ajuste fue encontrar una componente principal, por lo que se anexaron de manera manual de tres a cuatro componentes para un mejor análisis.

Se empleó la siguiente nomenclatura:

**ITS:** Índice de Temperatura Superficial

**IHS:** Índice de Humedad del Suelo

**SPEI:** Índice Estandarizado de Precipitación-Evapotranspiración

**SPI:** Índice Estandarizado de Precipitación

**NDVI:** Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada

Los resultados para las tres zonas del país, para un lapso de 3 meses, indican que el orden recurrente de las variables que explican la mayor proporción de varianza son: ITS, IHS, NDVI, SPI y SPEI, para los dos periodos de tiempo. El orden es similar para el lapso de 6 meses. A continuación se describen los resultados obtenidos de la aplicación de las componentes principales.

A partir del análisis de los resultados, se identifican dos grupos conformados de la siguiente manera:

Grupo 1: SPI, SPEI, NDVI y IHS.

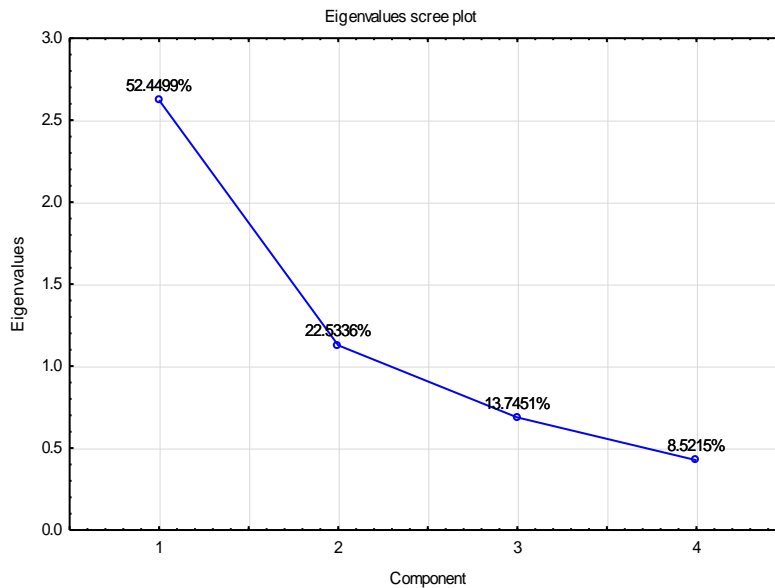
Grupo 2: ITS

Los índices colocados cerca unos de otros influyen en el modelo de componentes principales de manera similar, lo que también indica que las variables están fuertemente correlacionadas.

**Zona Centro**

Al inspeccionar las matrices de la varianza total explicada, en términos generales, la mayoría de los lapsos de tiempo presentan un comportamiento similar, por lo que se tomó un caso al azar de un lapso de 6 meses del periodo 2002 a 2013.

De la figura 4.2, de los índices trabajados (ITS, NDVI, SPEI, SPI y IHS) de la zona centro del país, se evidencia que la primera componente explica la mayor cantidad de la varianza total, con el 52.4499%, la segunda el 22.5336%, la tercera el 13.7451% y el resto menos del 10%.



**Figura 4.2** Resultados de las componentes principales para la zona centro, para un lapso de 6 meses.

Se observó que se generaron cuatro componentes, de las cuales indican que hay una correlación en índices originales próximos a 0.5 (SPI, IHS, SPEI y NDVI) y correlación próxima a cero con el índice restante (ITS), consiguiendo así correlaciones “altas” con un grupo de índices y “baja” con el resto como se ilustra en la Tabla 5:

**Tabla 5.** Correlaciones derivadas de los índices originales

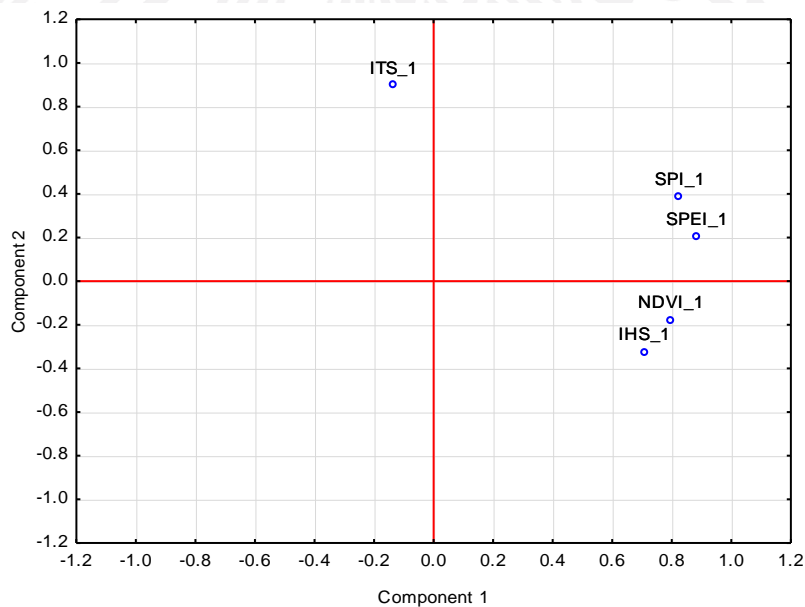
Eigenvectores para la zona centro con un lapso de 6 meses				
	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4
<b>SPI</b>	0.510766	0.361658	-0.336320	-0.283885

<b>ITS</b>	-0.082686	0.841981	0.518007	0.036296
<b>IHS</b>	0.437396	-0.309599	0.584388	-0.595274
<b>SPEI</b>	0.546405	0.189412	-0.391770	0.074137
<b>NDVI</b>	0.492349	-0.168947	0.351516	0.747157

En la figura 4.3 de componentes principales, se visualiza la representación gráfica de la matriz de componentes analizados. El primer grupo es un grupo donde se relaciona de cierta manera con estrés hídrico y que se oponen al índice de ITS, es decir, los índices colocados cerca unos de otros influyen en el modelo del análisis de las componentes principales de maneras similares, lo que también indica que están correlacionadas, los grupos quedan conformados de la siguiente manera:

Grupo 1: SPEI, SPI, NDVI y IHS.

Grupo 2: ITS.



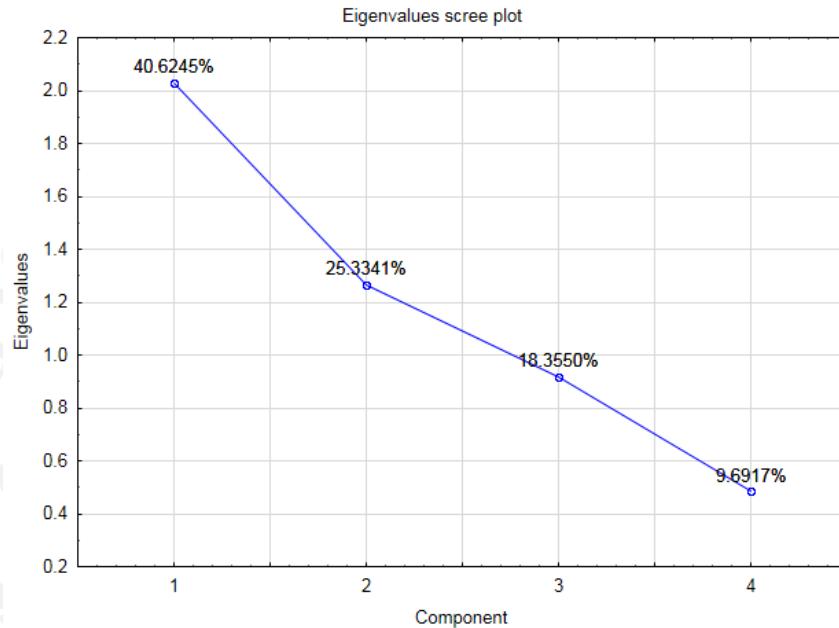
**Figura 4.3.** Resultados de las componentes principales para la zona centro, del periodo 2002-2013.

### Zona Norte

En la zona norte, al inspeccionar las matrices de la varianza total explicada, en términos generales, la mayoría de los lapsos de tiempo presentan un comportamiento similar, por lo que se tomó un caso al azar de un lapso de 1 mes del periodo 2002 a 2013.



De la figura 4.4, correspondiente a la zona norte del país, se evidencia que la primera componente explica la mayor cantidad de la varianza total, con el 40.6245%, la segunda el 25.2341%, la tercera el 18.3550% y el resto menos del 10%.



**Figura 4.4** Histograma con resultados de las componentes principales para la zona norte, del periodo 2002-2013, para un lapso de 1 meses.

Se observó que se han generaron cuatro componentes, las cuales indican que hay una correlación en índices originales; SPI, IHS, SPEI y NDVI, dado que conservan una magnitud negativa, mientras que ITS permanece con magnitud positiva, como se ilustra en la Tabla 6:

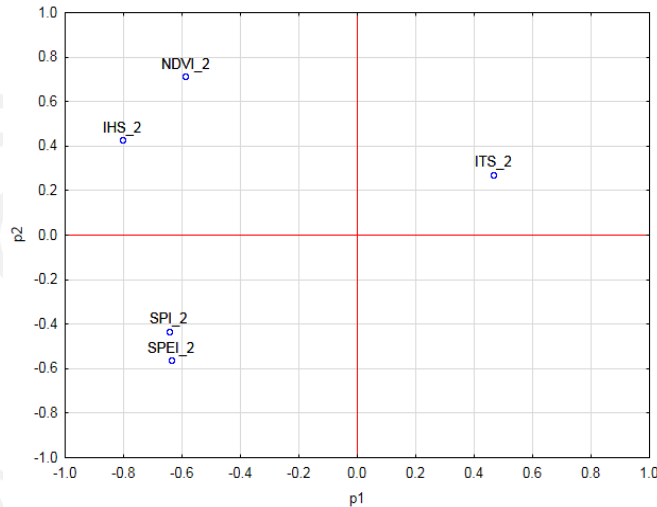
**Tabla 6.** Correlaciones derivadas de los índices originales

	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4
ITS_2	0.327681	0.241494	0.861606	0.166793
SPI_2	-0.452138	-0.383463	0.440049	-0.665749
IHS_2	-0.563616	0.380793	-0.101511	-0.021364
SPEI_2	-0.447593	-0.498850	0.182512	0.718305
NDVI_2	-0.412546	0.633073	0.142749	0.111981

En la figura 4.5 de componentes, se visualiza la representación gráfica de la matriz de componentes analizados, El primer grupo es un grupo de tipo donde se relacionan de alguna manera con estrés hídrico los índices de NDVI, IHS, SPI y SPEI, oponiéndose al ITS, es decir, los índices colocados cerca unos de otros influyen en el modelo del análisis de las componentes principales de maneras similares, lo que también indica que están correlacionadas, nuevamente los grupos quedan conformados de la siguiente manera:

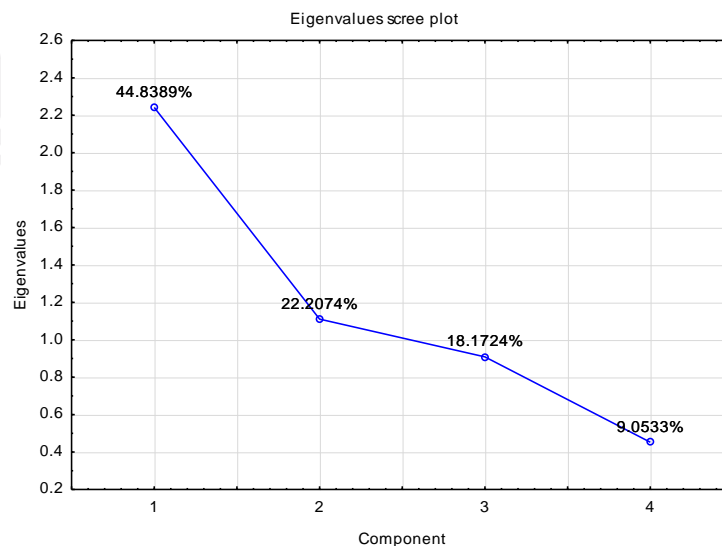
Grupo 1: SPEI, SPI, NDVI y IHS.

Grupo 2: ITS.



**Figura 4.5.** Resultados de las componentes principales para la zona norte, del periodo 2002-2013, para un lapso de 1 mes.

En lo que respecta a la zona norte de 3 meses para el periodo 2002-2013 la componente que explica mejor la varianza es de 44.8389 para la componente uno, 22.2074 para la componente dos, 18.1724 para la componente 3 y un 9.0533 en la componente 4, así se ilustra en la figura 23.



**Figura 4.6** Resultados de las componentes principales para la zona norte, del periodo 2003-2013, para un lapso de 3 meses.

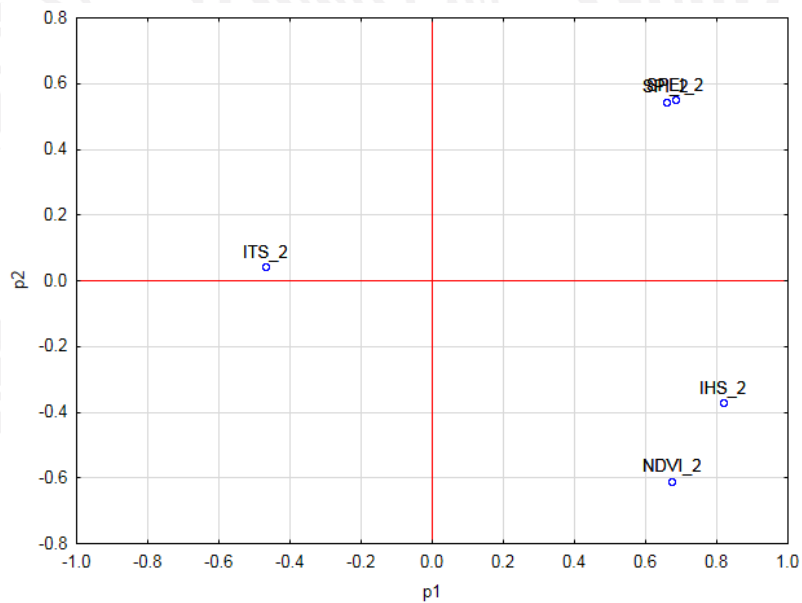
Mientras que la matriz de las componentes indica que SPI, IHS, SPEI y NDVI conforman un grupo de índices por tener valores próximos a 0.5 y positivos, así como un segundo grupo que sólo es conformado por ITS por tener un valor negativos, como se resume en siguiente cuadro:

	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4
SPI_2	0.439136	0.517004	0.333009	-0.557862
ITS_2	-0.314391	0.039942	0.905781	0.238097
IHS_2	0.546562	-0.352647	0.151692	-0.239489
SPEI_2	0.455756	0.522150	-0.075142	0.698536
NDVI_2	0.449303	-0.578023	0.200022	0.294605

En la figura 4.7 de componentes principales, se ilustra la representación gráfica de la matriz de componentes analizados. Los grupos de índices son:

Grupo 1: SPEI, SPI, NDVI y IHS.

Grupo 2: ITS.

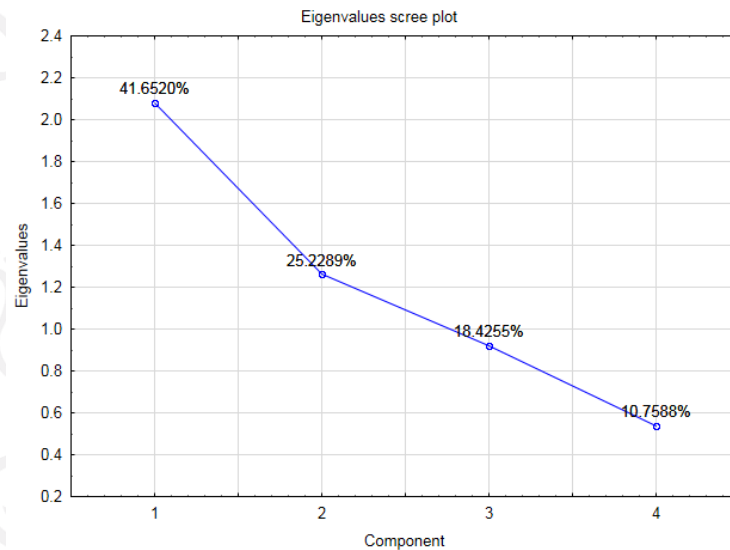


**Figura 4.7.** Resultados de las componentes principales para la zona norte, del periodo 2002-2013, para un lapso de 3 meses.

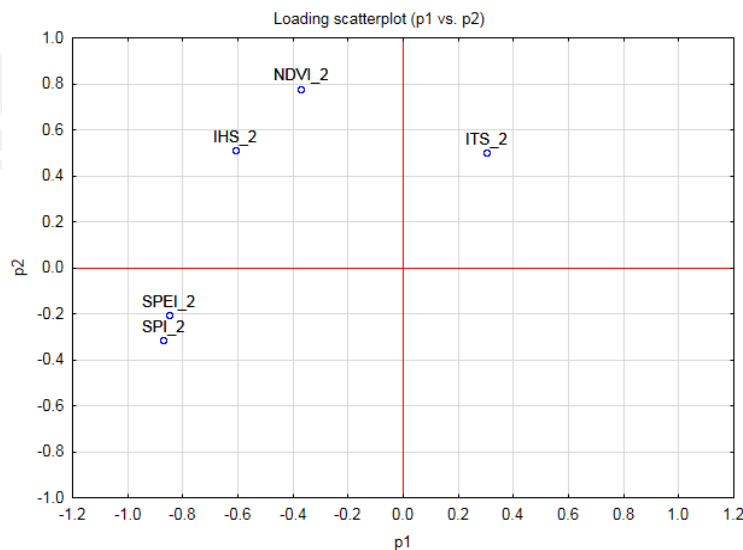
**Zona Sureste**

En el caso de la zona sureste, en las matrices de la varianza total explicada, en términos generales se presentan los casos de un lapso de 1 y 3 meses del periodo 2002 a 2013.

De la figura 4.8, se evidencia que la primera componente explica la mayor cantidad de la varianza total, con el 41.6520%, la segunda el 25.2289%, la tercera el 18.4255% y la última componente el 10.7588%, indicando nuevamente en la figura 26 que se relacionan los índices de NDVI, IHS, SPEI y SPI como un grupo y un segundo grupo el ITS, para un lapso de tiempo de 1 mes.



**Figura 4.8.** Resultados de las componentes principales para la zona sureste, del periodo 2002-2013, para un lapso de 1 mes.



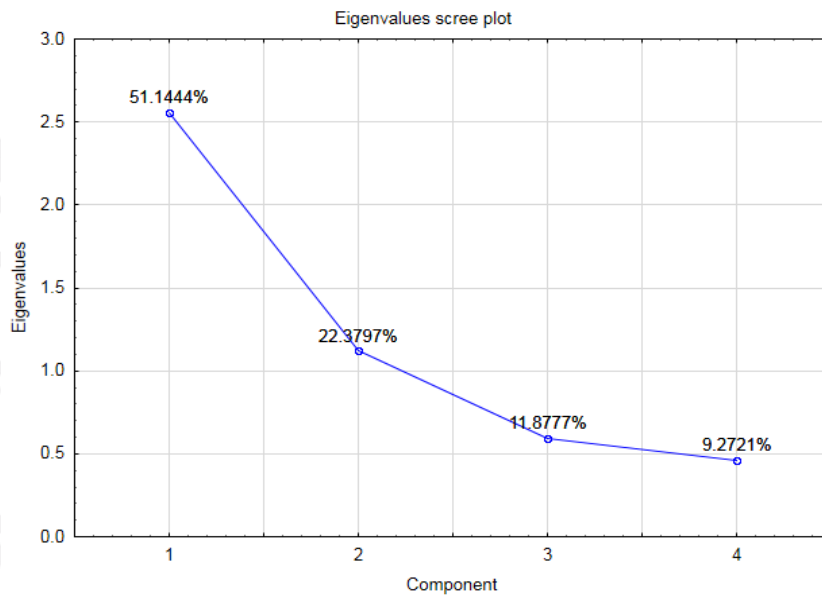
**Figura 4.9.** Resultados de las componentes principales para la zona sureste, del periodo 2002-2013, para un lapso de 1 mes.



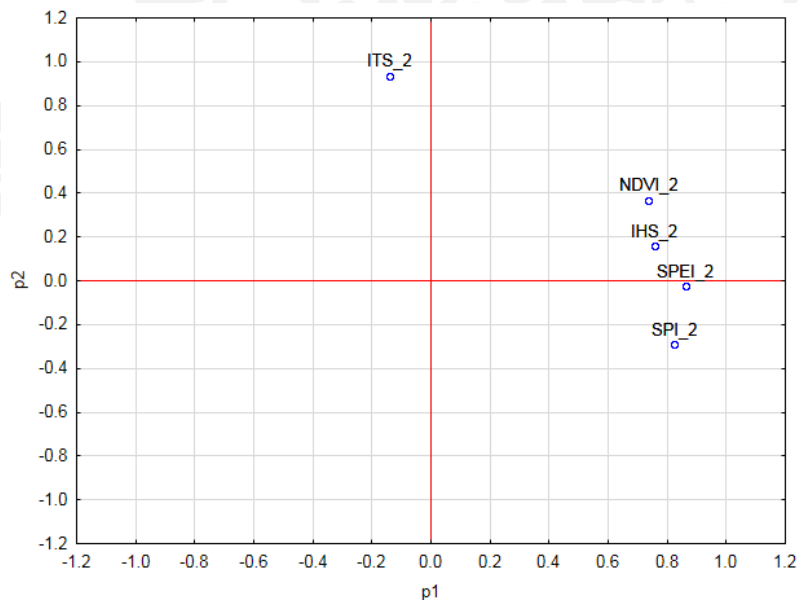
Para el lapso de 3 meses se ilustra en la figura 4.10 que la componente uno y dos explican una varianza total de 74.1241%, aunado a ello que los grupos de índices quedan de la siguiente forma, identificados a partir de la figura 28:

Grupo 1: SPEI, SPI, NDVI y IHS.

Grupo 2: ITS.



**Figura 4.10.** Resultados de las componentes principales para la zona sureste, del periodo 2002-2013, para un lapso de 3 meses.



**Figura 4.11.** Resultados de las componentes principales para la zona sureste, del periodo 2002-2013, para un lapso de 3 meses.

### 4.3 Propuesta de pesos o ponderación para cada índice

Se aplican dos aproximaciones para asignar pesos a los índices de las variables analizadas, que se integrarán en el monitor de sequía del IMTA.

La primera aproximación considera asignar pesos homogéneos a cada uno de los cuatro índices de las variables consideradas (precipitación, temperatura, humedad del suelo y NDVI) y obtener un promedio aritmético, con el fin de observar el comportamiento de la integración de las capas, con respecto a casos históricos de sequía, del monitor de sequía para México del SMN, considerando diferentes lapsos de tiempo (1, 3, 6, 9, 12, 24 y 48 meses). Los resultados de la sequía calculada y la comparación con respecto a la del SMN se presentan como parte del siguiente capítulo.

$$\text{Monitor de sequía del IMTA} = [\text{ITS} + \text{IHS} + \text{NDVI} + \text{SPEI}] / 5 \quad (4.4)$$

La segunda aproximación toma en cuenta los hallazgos obtenidos de aplicar los componentes principales al grupo de índices de las variables con el fin de identificar y asignar, en una primera instancia, mayor peso a las que explican la mayor cantidad de la varianza total, por ejemplo, para el caso de un lapso de 3 y 6 meses el orden de relevancia de los índices identificado es: IHS, ITS, NDVI y SPEI.

- De acuerdo a la conclusión de los grupos de índices, en el caso 1 el SPEI-SPEI, IHS-NDVI deben tener mayor peso que ITS.
- Por otro lado también es válido que en el caso 2 ITS tenga mayor peso que el grupo de SPEI-SPEI, IHS-NDVI.

El valor de los pesos iniciales se ajustó en forma semi-iterativa, después de realizar una revisión cualitativa de los resultados en cada iteración, con base en el criterio del menor número de píxeles sin coincidencias con dato de sequía entre los mapas de sequía del IMTA con los del SMN para los meses del año 2008 y 2011. Considerando que se toma como referencia a los mapas de sequía del SMN, al ser los únicos oficiales disponibles para el país, no obstante que existen diferencias en los métodos para generar los mapas de sequía del IMTA y del SMN, además que por su metodología subjetiva no es garantía que efectivamente la sequía se comporta como tal.

A partir del análisis se encuentra que la variable que tiene mayor influencia en los resultados de sequía, comparados con los del SMN, es la humedad del suelo y la que menos incidencia presenta es la precipitación. Los pesos para calcular la sequía a partir de una combinación lineal de los índices son:

$$\text{Monitor de sequía del IMTA} = [0.100 \cdot \text{PCP} + 0.485 \cdot \text{HMS} + 0.130 \cdot \text{NDVI} + 0.180 \cdot \text{TMP} + 0.105 \cdot \text{SPEI}] \quad (4.5)$$

**Recomendación:** Realizar revisiones posteriores de resultados del monitor de sequía del IMTA con casos reales, para re-calibrar los pesos asignados para solventar que el ajuste de los pesos se realizó tomando como referencia los mapas de sequía del SMN, que se generan con un procedimiento diferente a los del IMTA.

#### 4.4 Métricas aplicadas

Se calcularon métricas para evaluar la sequía calculada con el esquema propuesto por el IMTA con respecto a la sequía del SMN para el año 2008, considerado con poca sequía; y el año 2011 considerado como un año con alto impacto y daños económicos por la sequía registrada en México, y el periodo 2007-2015, periodo con información en común entre los datos utilizados para calcular los índices.

##### **Resultados: media, RMSE y correlación de Pearson**

En la evaluación de la sequía calculada con el monitor del IMTA con respecto a la del SMN, se aplicaron métricas convencionales que a continuación se indican.

- La media (Wilks, 2006) se calcula con:

$$\bar{x} = \frac{1}{(n)} \sum_{i=1}^n (x_i) \quad 4.6$$

Aquí  $x_i$  son los  $n$  datos individuales de la variable y  $\bar{x}$  es el promedio de la variable.

- La raíz del error cuadrático medio (RMSE) (Wilks, 2006), utilizado como una medida de las diferencias entre valores modelados (IMTA) y los valores “observados” (SMN), tiene las mismas unidades que las variables analizadas. Entre menor sea el RMSE mejor es la sequía calculada con el monitor del IMTA. Se calcula con:

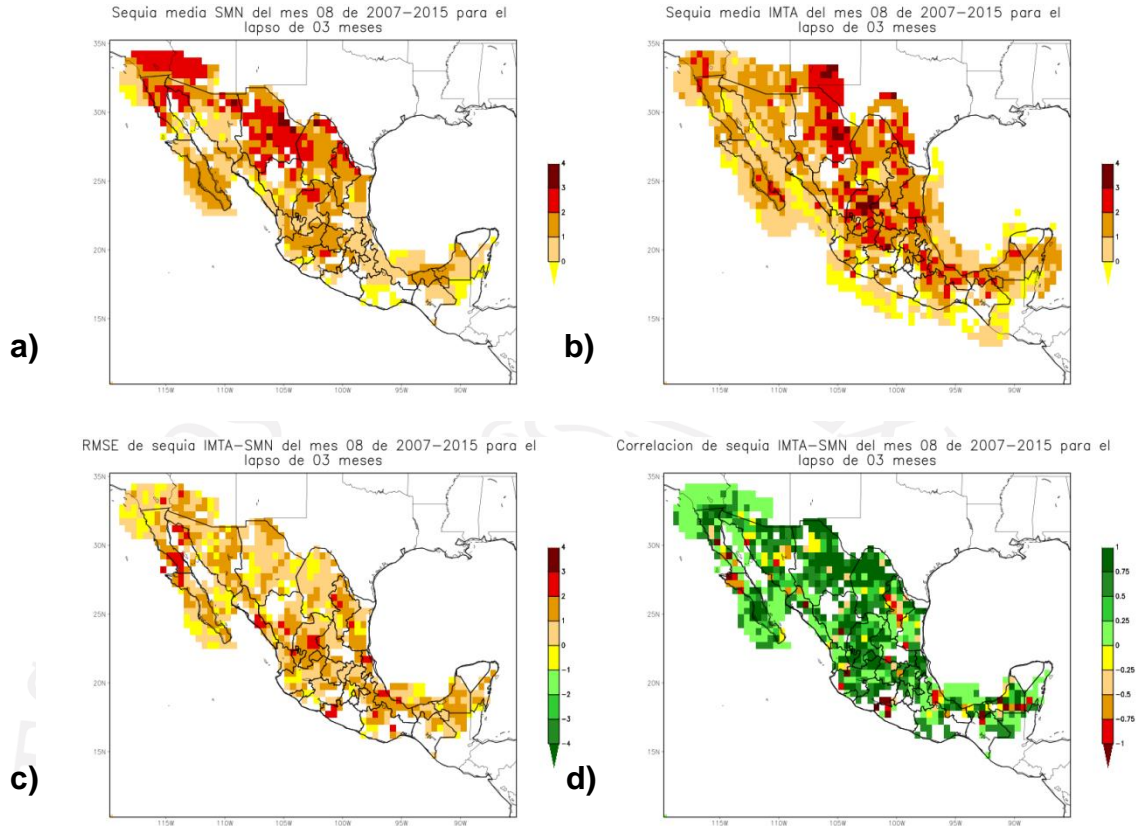
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2} \quad 4.7$$

Aquí  $y_i$  es la variable modelada y  $x_i$  es la variable observada.

- La correlación de *Pearson* (Wilks, 2006), es una medida de la relación lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas. Es independiente de la escala de medida de las variables. Se calcula con:

$$r_{xy} = \frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n \left[ \frac{(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sigma_x \sigma_y} \right] \quad 4.8$$

Aquí  $\sigma_x$  y  $\sigma_y$  son la desviación estándar de los datos simulados y observados, respectivamente. Cuando el valor de la  $r_{xy}$  este cercano a uno se considera que tiene una correlación aceptable entre ambas muestras.



**Figura 4.12** Media (a y b), RMSE (c) y correlación entre la sequía calculada con el monitor del IMTA con respecto a la del SMN (d), para los meses del periodo 2007 a 2015.

La intensidad promedio de la sequía del SMN, en el periodo 2007-2015, se acentúa entre los meses de abril, mayo, junio y julio. En términos generales, la sequía del monitor del IMTA es cercana a la del SMN en el centro y norte del país y como se dijo anteriormente son zonas donde son más vulnerables a que se presente la sequía, mientras que, donde se presentan resultados variables de la sequía son en el sur, la península de Baja California, centrado hacia la frontera norte, y Península de Yucatán, que en esta última pudiera deberse a la complejidad de climática de la zona sobre todo en lo que es la precipitación, como se ejemplifica de la comparación de los mapas de sequía media entre el IMTA y el SMN, de la figura 4.12. Lo anterior se puede reafirmar con la correlación estimada, que generalmente presenta valores positivos y con correlación mayor a 0.5 en el centro y norte del país (figura 4.12 d), dándose mayor variabilidad de valores y signo de la correlación en otras zonas del país a lo largo del año.

En los meses de marzo a mayo es menor la habilidad del monitor del IMTA, en el periodo 2007-2015, (se debe tomar en cuenta que el monitor de sequía del SMN sólo es un indicador de comparación) y esta mejora en el resto de los meses del año, siendo de mayor aceptación comparativa la de los meses de septiembre a diciembre.

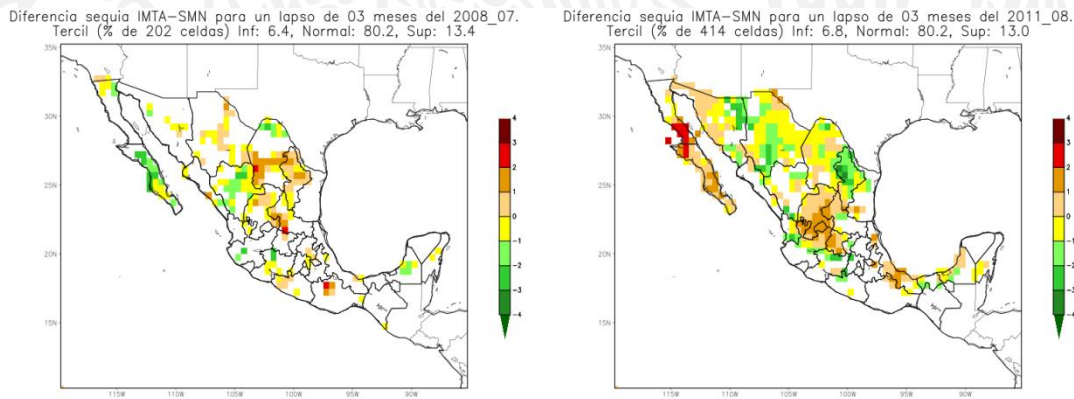


## 4.5 Resultados: Terciles

Como se ha mencionado anteriormente, la sequía es un fenómeno natural que se origina por la falta de precipitación durante un tiempo extendido y como anomalía natural se presenta en todo el territorio Mexicano aun y cuando en la zona sur-sureste se tengan normalmente precipitaciones elevadas, se ha recurrido a procedimientos probabilísticos, con la finalidad de evaluar y diagnosticar de forma objetiva a las características generales del fenómeno. Como complemento a las métricas convencionales, se calcularon los terciles de la diferencia entre la sequía del IMTA y la del SMN, con base en el siguiente criterio.

- El tercil inferior considera diferencias menores a -1
- El neutro es para diferencias entre -1 y 1
- El tercil superior es para celdas con diferencias mayores a 1

Se encuentra que la diferencia entre la sequía calculada con el monitor del IMTA, con respecto a la del SMN, recurrentemente está en el tercil de condiciones neutras (diferencia de  $\pm 1$  grado de intensidad de sequía), con valores mayores al 60%, seguido por la intercalación del tercil de sobreestimación y el de subestimación de la sequía. En términos generales, la tendencia del monitor de sequía del IMTA es a la subestimación de la sequía del SMN, como se ejemplifica con la figura 4.13, para un caso de ejemplo del año 2008 y 2011 (tercil neutro son pixeles en tonalidad amarilla y café claro, tercil superior son pixeles en tonalidades hacia el rojo, tercil inferior son pixeles en tonalidades de verde).



**Figura 4.13** Terciles de la diferencia de la sequía calculada con el monitor del IMTA con respecto a la del SMN, para meses de los años 2008 y 2011.

Asimismo, en la Península de Baja California recurrentemente el monitor del IMTA sobreestima la sequía.

**Recomendación:** Aplicar como indicador de habilidad de desempeño del monitor la métrica de los terciles, ya que es la que mejor representación muestra en el análisis de la sequía del SMN y del IMTA.

En la Figura 4.13, en 2008 (izquierda), se ilustra que en la mayor parte de la República Mexicana los terciles se concentran dentro de lo normal o neutro en tonalidades de amarillo a café, incluyendo lo correspondiente a la península de Yucatán; para el 2011, año en el que se registró una de las sequías más intensas, se ilustra nuevamente que en la mayor parte del país los terciles se concentran dentro del tercil normal, sobre todo en la región centro-norte, donde los eventos de sequías son más frecuentes e intensos.

## 5. Conclusiones y recomendaciones

Se cuenta con un sistema que permita la obtención de una imagen de satélite compuesta a cada tercer día. Aunque la idea original fue de incorporar toda esta información en el Geoportal del IMTA, desafortunadamente problemas de tipo técnico no permitieron tal acción; el sistema quedará operando en una computadora limitada tanto en memoria como en disco duro. Esperamos que en el futuro se tenga la suficiente historia para realizar análisis estadísticos y climáticos.

Definitivamente, esta información de humedad de suelo es muy importante, pues como se mencionó con anterioridad, la memoria que ésta tiene permite su uso tanto para fines de análisis como para estudios prospectivos (pronóstico). Además que se encuentra embebida entre los procesos del ciclo del agua (hidrológico) de interacciones superficie terrestre – vegetación – atmósfera.

Se desarrolló un monitor de sequía objetivo en el que se asignan pesos linealmente ponderados con base en el análisis de parámetros estadísticos de las componentes principales aplicado a los índices generados con el fin de caracterizar el nivel de explicación de la varianza total.

Los resultados del monitor de sequía desarrollado se compararon con la sequía generada por el SMN, para esto se aplicaron métricas: media, RMSE, correlación y terciles. Se identifica que aunque indican resultados favorables de la sequía obtenida con el monitor del IMTA con respecto a la del SMN, la métrica de terciles es un mejor indicador para evaluar la habilidad del monitor con respecto a datos de referencia, como los del SMN o de otras fuentes que se consideren en la etapa de calibración y verificación. Un aspecto relevante a tener presente es que la evaluación de la sequía se realizó con respecto a la sequía del SMN, considerada como referencia, la cual aplica procedimientos diferentes al monitor del IMTA para calcular la sequía, en los cuales se incluye una evaluación subjetiva por juicio de “expertos”.

El monitor de la sequía del IMTA, en el promedio de los meses del periodo 2007-2015, es cercana a la del SMN en el centro y norte del país, y presenta resultados variables en el sur, la península de Baja California y de Yucatán. El monitor del IMTA, en términos generales para los meses del año 2008 y 2011, tiende a subestimar la sequía del SMN en la mayor parte del país, con excepción de la Península de Baja California, donde es recurrente que se presente una sobre-estimación. Una fortaleza del monitor del IMTA es que representa con mayor detalle los polígonos de la sequía en comparación con los del SMN. En la península de Baja California los resultados son pobres, siguiéndole la península de Yucatán, siendo probablemente la causa de la falta de observaciones en estas regiones.

Asimismo, se identifica relevante:

Fomentar y mantener un trabajo multidisciplinario y multi-institucional para enfrentar la complejidad que implica la sequía, en este sentido se tiene que fortalecer la interacción con la academia para el

intercambio y difusión de información/iniciativas y experiencia en el tema de la sequía, con la finalidad de conjuntar esfuerzos. Lo anterior permitiría eficientar recursos y tiempo para un fin en común.

La reactivación de proyectos de sequía en el marco de programas impulsados por el gobierno federal, estatal y municipal, por ejemplo a través del Programa Nacional Contra la Sequía (PRONACOSE), que incidan en el fortalecimiento, rescate y consolidación de redes de medición así como en la conformación de bases de datos sistematizadas públicas de variables que son relevantes para el monitoreo y pronóstico de la sequía, por ejemplo la humedad y temperatura del suelo, pero también en el desarrollo y fortalecimiento de capacidades de tomadores de decisión y usuarios.

Es recomendable continuar con esta iniciativa mediante la incorporación sistemática de sensores remotos con el fin de enfrentar o en su caso complementar la falta de datos. Actualmente, existen plataformas satelitales que permiten la estimación de las variables consideradas y otras que pueden incorporarse en virtud de que existe información histórica requerida para la elaboración de las funciones de distribución y sus respectivas estandarizaciones.



## 6. Referencias

- Bolaños-González, Martín A.; Marín-Sosa, Ma. Isabel; Rubiños-Panta, Enrique; Paz-Pellat, Fernando; Oropeza-Mota, J. L.; Palacios-Vélez, Enrique; Martínez-Menes, Mario; (2011). Modelación temporal de los cambios en la humedad del suelo usando sensores remotos. *Terra Latinoamericana*, Julio-Septiembre, 299-307.
- Castañeda, Javier A.; A. Gil, Jacky F.; Pérez, Adriana; (2002). Tamaño de muestra requerido para estimar la media aritmética de una distribución lognormal. *Revista Colombiana de Estadística*, junio, 31- 41.
- Huang, Jin., H.M. van den Dool, K.P. Georgakakos, 1996; Analysis of Model-Calculated Soil Moisture over the United States (1931-1993) and Applications to Long-Range Temperature Forecasts, *Journal of Climate*, Volume 9, June.
- McKee, T.B., N.J. Doesken y J. Kleist, 1993; The relationship of drought frequency and duration to time scales, Eight Conference on Applied Climatology, AMS, 17-22 January,
- StatSoft, Inc. (2011). STATISTICA (data analysis software system), version 10. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com).
- Van den Dool, H., Huan, J., Fan, F., 2003; Performance and Analysis of the constructed analog method applied to U.S. soil moisture over 1981-2001, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 108, No. D16, 8617, doi:10.1029/2002JD003114,
- Wilks, D. S. (2006) *Statistical methods in the atmospheric sciences*. second edition. International Geophysics Series, Vol 91, Academic Press, 464pp. ISBN-13: 978-0-12-751966-1. ISBN-10: 0-12-751966-1



## Anexo A

<?php

### Inicia programa

// Programa para descargar Imagenes del satelite SMOS de la Agencia espacial Europea

// Se utilizan el FTP (Junio 2016) publico smos-diss.eo.esa.int

// Obtengo el año, mes y día actual

// echo \$argv[1];

\$anio = date("Y");

// \$mes = date("m");

\$mes = \$argv[1];

# \$día = date(d);

// indicar año manual

// \$anio = "2016";

// indicar mes manual

// \$mes = "10";

echo "Descarga de archivos ESA: \n";

echo "\n";

// Convierto las horas a formato date

\$hora\_1 = date("H:i:s", strtotime("00:00:00"));

\$hora\_1a = date("H:i:s", strtotime("01:59:00"));

\$hora\_2 = date("H:i:s", strtotime("10:30:00"));

\$hora\_2a = date("H:i:s", strtotime("13:00:00"));

\$hora\_3 = date("H:i:s", strtotime("22:00:00"));

\$hora\_3a = date("H:i:s", strtotime("23:58:00"));

// Si requiero fijar un directorio en particular

// \$dir="/SMOS/L2SM/MIR\_SMUDP2/2016/04/20";

// Se genera automaticamente el directorio con este formato

// \$local\_dir = "c:/s\_smos/" . \$anio . "/" . \$mes . "/" . \$día;

\$dir\_loc = 'c:/s\_smos/' . \$anio;

if(!is\_dir(\$dir\_loc))

```
{  
// Crea directorio para año  
mkdir ($dir_loc);  
echo "Se ha creado el directorio: $dir_loc \n";  
}  
$dir_loc = 'c:/s_smos/.$anio.'/$mes;  
if (!is_dir($dir_loc))  
{  
// Crea directorio para mes  
mkdir ($dir_loc);  
echo "Se ha creado el directorio: $dir_loc \n";  
}  
// Descarga de imagenes de un día anterior o n dias anteriores  
// Para cambiar a día anterior se requiere revisar el fin de mes  
if ($dia == 1){  
    $mes = $mes;  
    // $mes = $mes - 1;  
    // $dia = $dia;  
}  
else  
{ $dia = $dia - 1 ;}  
// Agregar día en forma manual  
// $dia = "01";  
  
$dia = $argv[2];  
// echo "dia: $dia \n";  
$dir_loc = 'c:/s_smos/.$anio.'/$mes.'/$dia;  
if (!is_dir($dir_loc))  
{  
// Crea directorio para día
```

```
mkdir ($dir_loc);

echo "Se ha creado el directorio: $dir_loc \n";

}

$local_dir = chdir($dir_loc);

echo "El directorio LOCAL actual es: $dir_loc \n";

// Si requiero definir un directorio en especifico
// $local_dir = 'c:/PRene/s_smos/';

// FTP General de SMOS a todos los usuarios
$ftp_server='smos-diss.eo.esa.int';

// FTP de SMOS especial para rene
// $ftp_server='smos-ds.eo.esa.int';

$ftp_user_name='lobato';
$ftp_user_pass='hegApyo';

// Establecer la conexión
$conn_id = ftp_connect($ftp_server)or die("No se pudo conectar a $ftp_server Falla ");

// Acceso al servidor con usuario y contraseña
if (@ftp_login($conn_id, $ftp_user_name, $ftp_user_pass)) {
    echo "Conectado como $ftp_user_name@$ftp_server \n";
} else {
    echo "No se pudo conectar como $ftp_user_name \n";
}

// defino el modo pasivo requerido por el FTP de SMOS
ftp_pasv ($conn_id, true);

// Directorio del FTP de SMOS con año, mes y día actual
$dir="/SMOS/L2SMMIR_SMUDP2".$anio."/".$mes."/".$dia;

// Cambiar al directorio $dir
if (ftp_chdir($conn_id, $dir)) {
    echo "El directorio Remoto actual es: ".ftp_pwd($conn_id)."\n";
} else {
    echo "No se puede cambiar al directorio \n";
}
```

```

}

// Establecer el tiempo de espera de 30 segundos
$ftp_espera= ftp_set_option($conn_id, FTP_TIMEOUT_SEC, 50);

// obtener la lista de archivos del directorio/
// $buff = ftp_rawlist($conn_id, $dir);
$buff = ftp_nlist($conn_id, $dir);
// imprimir el contenido del buffer
echo "Muestra: \n";
var_dump($buff);
echo "\n";
sort($buff);
$nfiles=0;
// Inicio descarga de archivos de acuerdo a la condición de fechas
    foreach ($buff as $file) {
// obtengo nombre de archivo de la posición 33 los 64 caracteres caso rene
//     $filea = substr($file, 33, 64);
// obtengo nombre de archivo de la posición 0 con 64 caracteres
        $filea = substr($file, 0, 64);
//     echo " filea: $filea \n";
// Obtengo la cadena hora de inicio de la posición 28 con 6 caracteres
//     $cad = substr($filea, 28, 6);
        $cad = substr($filea, 28, 6);
//     echo " cad: $cad \n";
// Genero la hora de inicio formato texto de la imagen SM
        $hora = substr($cad,0,2).":".substr($cad,2,2).":".substr($cad,4,2);
// Convierto a formato date la hora de inicio
        $hora = date("H:i:s", strtotime($hora));
// Permite checar la hora de modificación del archivo ZIP en directorio FTP
//     $buff1 = ftp_mdtm($conn_id, $filea);
//     echo "fecha modificación". date("F d Y H:i:s", $buff1);
    }

```



```
// checar por periodos de tiempo para la descarga de los probables archivos
```

```

if(($hora > $hora_1) and ($hora < $hora_1a))
{
    if (!file_exists($local_dir.$filea)) {
        $is_copied = ftp_get($conn_id, $local_dir.$filea, $filea, FTP_BINARY);
//        echo "Hora 1: $hora";
        $nfiles= $nfiles + 1;
    }
}
elseif(($hora > $hora_2) and ($hora < $hora_2a))
{
    if (!file_exists($local_dir.$filea)) {
        $is_copied = ftp_get($conn_id, $local_dir.$filea, $filea, FTP_BINARY);
//        echo "Hora 2: $hora";
        $nfiles= $nfiles + 1;
    }
}
elseif(($hora > $hora_3) and ($hora < $hora_3a))
{
    if (!file_exists($local_dir.$filea)) {
        $is_copied = ftp_get($conn_id, $local_dir.$filea, $filea, FTP_BINARY);
//        echo "Hora 3: $hora";
        $nfiles= $nfiles + 1;
    }
}
} // fin de foreach
// cerrar la conexión ftp
ftp_close($conn_id);
echo "Archivos descargados: $nfiles \n";
?>

```



// Termina programa



## Anexo B

### Diagrama de flujo de programas para calcular la sequía

➤ En la carpeta: Monitor\_Sequia

