



Artículo: COMEII-16058

II CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMEII 2016

Chapingo, Edo. de México, del 08 al 10 de septiembre

VALIDACIÓN DE LOS VALORES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD DEL SUELO ESTIMADOS MEDIANTE MODELOS HIDROLÓGICOS DE GRAN ESCALA

Ronald-Ernesto Ontiveros-Capurata^{1*}; René Lobato-Sánchez²; Waldo Ojeda-Bustamante²

¹Cátedra CONACYT. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 62550 Jiutepec, Morelos, México. reontiverosca@conacyt.mx. (*Autor para correspondencia).

² Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 62550 Jiutepec, Morelos, México

Resumen

La humedad del suelo es una de las variables más importantes del ciclo hidrológico y junto con la temperatura son de gran importancia para los procesos bióticos y químicos que ocurren en la interface suelo-planta, principalmente la mineralización y adsorción de nutrientes. Por otro lado, la humedad del suelo es una variable difícil de medir ya que depende de las características del suelo, la topografía, el uso de suelo y tipo de vegetación, la medición de estas variables es puntual y su aplicación está limitada a un lugar y tiempo determinado. Ante la necesidad de medir estos parámetros con la frecuencia y escala adecuadas se han generado varios modelos de hidrológicos de gran escala como NOAH/OSU LSM (Land Surface Model) (Chen *et al.*, 1996) que combina información de sensores remotos (satélites) con datos observados en tierra mediante varios modelos de superficie terrestre para generar zonas homogéneas de humedad y temperatura de suelo a nivel global a una resolución espacial de 0.25° (~ 27 km) y frecuencia diaria que son distribuidos bajo licencia de uso libre vía internet. Sin embargo, la información que arrojan estos modelos no han sido validados para escalas locales, por lo que en este trabajo se realizó la validación de los valores de temperatura y humedad del suelo generados por el modelo VIC para la república mexicana utilizando registros de temperatura y humedad del suelo medidas en estaciones meteorológicas automáticas (EMA's).

Los resultados indican que los valores de temperatura del suelo calculados con el modelo NOAH tienen una alta correlación con los datos registrados en las EMA's ($R^2=0.78$), por otro lado, la humedad del suelo muestra una baja correlación ($R^2=0.34$) con respecto a los valores registrados en las EMA's lo que supone que



para este caso en particular se recomienda hacer una correlación utilizando otras variables adicionales.

Palabras clave adicionales: Modelo NOAH, correlación, EMA's.

Introducción

La humedad del suelo es una de las variables más importantes del ciclo hidrológico y después de la precipitación juega un papel clave en los procesos biológicos que se dan lugar en la interface suelo-planta, es afectada por las características del suelo, la topografía, el uso de suelo y tipo de vegetación por lo que es una variable difícil de medir por su alta variabilidad temporal y espacial. Los métodos utilizados para estimar la humedad del suelo han sido puntuales y se basan principalmente en principios físicos y térmicos pero su uso está limitado a un lugar y tiempo determinado y no pueden ser utilizados en los modelos de cambio climático y estudios locales o regionales.

Ante la necesidad de medir este parámetro con la frecuencia y escala adecuadas el Goddard Space Flight Center (GSFC) de la NASA y el National Centers for Environmental Prediction (NCEP) de la NOAA, han generado a partir de 2001 una extensa base de datos que combina información de sensores remotos (satélites) con datos observados en tierra mediante varios modelos de superficie terrestre (Rodell et al., 2004). Zonas homogéneas de humedad de suelo a nivel global de mediana resolución espacial ($0.25^\circ \sim 27$ km) y frecuencia en tiempo casi real fueron generadas y compiladas en el GLDAS (Global Land Data Assimilation System) con datos desde 2001 al presente a una resolución de 0.25° a 1° a nivel diario utilizando varios modelos entre los que se destacan NOAH LSM (Land Surface Model), estos datos son distribuidos bajo licencia de uso libre vía internet (Rui y Beaudoin, 2015).

Sin embargo, la información que arroja los modelos terrestres globales como NOAH LSM usan datos a nivel mundial y requieren ser validados para las condiciones locales con registros medidos en estaciones terrestres, alrededor del mundo se han realizado diversos trabajos para calibrar y validar los resultados obtenidos por NOAH (Sridhar *et al.* 2002), en México solo se cuenta con tres estaciones de medición de humedad para la calibración de los modelos que usa GLDAS por lo que en este trabajo se realizó la validación de los valores de temperatura y humedad del suelo generados por el modelo a gran escala VIC para la república mexicana utilizando registros de temperatura y humedad del suelo medidas en estaciones meteorológicas automáticas (EMA's).

Métodos

Modelos hidrológicos a gran escala

El modelo utilizado en el presente trabajo fue el modelo NOAH-LSM (Land Surface Modelling) desarrollado por la Universidad Estatal de Oregon (Chen *et al.*, 1996) el cual es un modelo hidrológico semi-distribuido a gran escala que considera el balance y los flujos de energía para estimar el comportamiento de los sistemas agua-suelo-plantas-atmósfera.

Noah-MP considera un dosel de vegetación de arriba, otra de abajo y las hojas con las dimensiones prescritas, la orientación, la densidad y propiedades radiométricas. El dosel emplea un método de transferencia de radiación de dos corrientes, junto con efectos de sombreado necesarios para lograr procesos de energía superficial y de transferencia de agua adecuados, incluyendo los procesos de la nieve bajo dosel (Niu y Yang, 2004; Niu *et al.* 2011). Varias opciones están disponibles para la infiltración de la superficie del agua y la transferencia de la escorrentía y las aguas subterráneas y de almacenamiento, incluyendo profundidad del nivel freático de un acuífero no confinado (Figura 1) (Niu *et al.*, 2011).

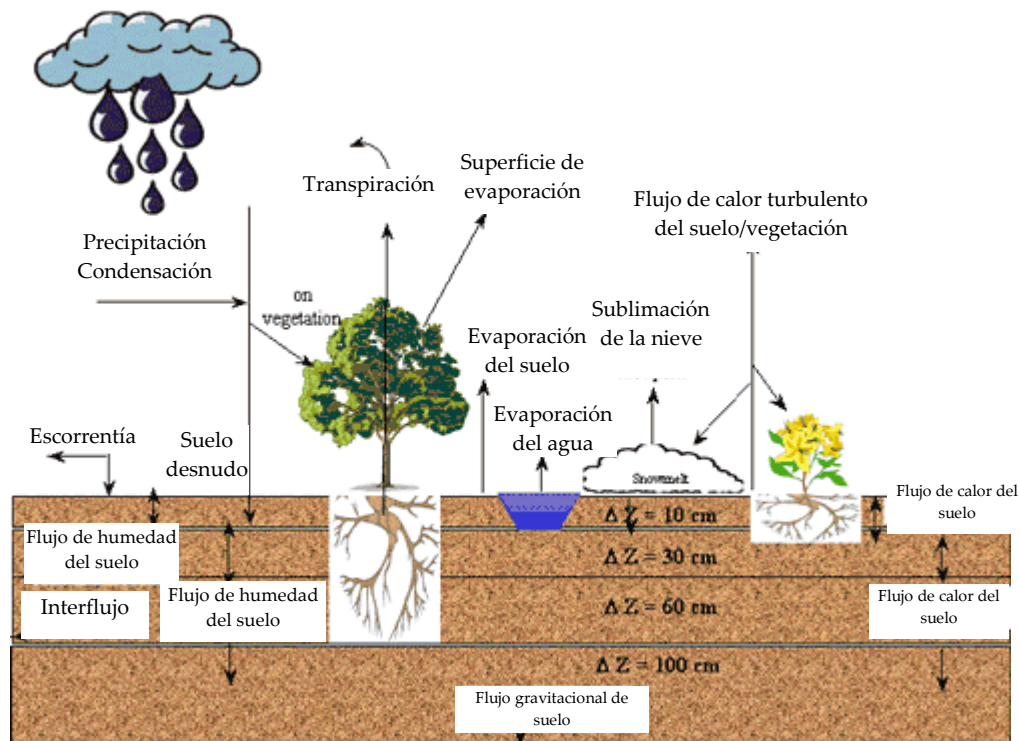


Figura 1. Modelo de tierra superficial unificado NOAH-OSU (Niu *et al.*, 2011)

El modelo Noah-MP puede ser ejecutado por la prescripción de tanto la densidad horizontal y vertical de la vegetación utilizando ya sea observaciones subterráneas o basados en satélites. Otra opción disponible es para el crecimiento de la vegetación pronóstica que combina una basada en la fotosíntesis resistencia estomática con un modelo de dinámica de la vegetación que asigna de carbono a

varias partes de la vegetación (hojas, tallo, madera y raíces) y fondos de carbono orgánico (rápido y lento). El modelo es capaz de distinguir entre las vías de fotosíntesis C3 y C4 y define los parámetros de la vegetación.

Localización y datos utilizados

El presente trabajo cubre el área que corresponde a México es decir un rectángulo que va desde 120° a 86° de longitud oeste y de 14° a 33° de latitud norte. Los datos de GLDAS-2 fueron descargados de la Internet de la página web del Goddard Earth Science Data Information Service Center (GES DISC) en los formatos, escala y frecuencia que se muestra en el cuadro 1 (Rodell, 2015).

Cuadro 1. Características de los datos obtenidos de GLDAS-2

No.	Variable	Unidad	Formato	Tamaño pixel	Frecuencia
1	Temperatura del suelo (0-10 cm)	°K	GRB	0.25°x0.25° (~27 km x 27 km)	Mensual
2	Humedad del suelo (0-10 cm)	Kg/m2			

Los datos de temperatura y humedad de suelo para México fueron extraídos de la base de datos de las estaciones meteorológicas automáticas (EMA's) administradas por el Servicio Meteorológico Nacional y la Comisión Nacional de Áreas Protegidas (CONANP) cuya ubicación se muestra en la figura 1, estos registros abarcan desde diciembre de 2012 a octubre 2015 y cuentan con datos cada 10 minutos; el detalle de cantidad de registros disponibles en las estaciones meteorológicas seleccionadas se resume en la figura 2.

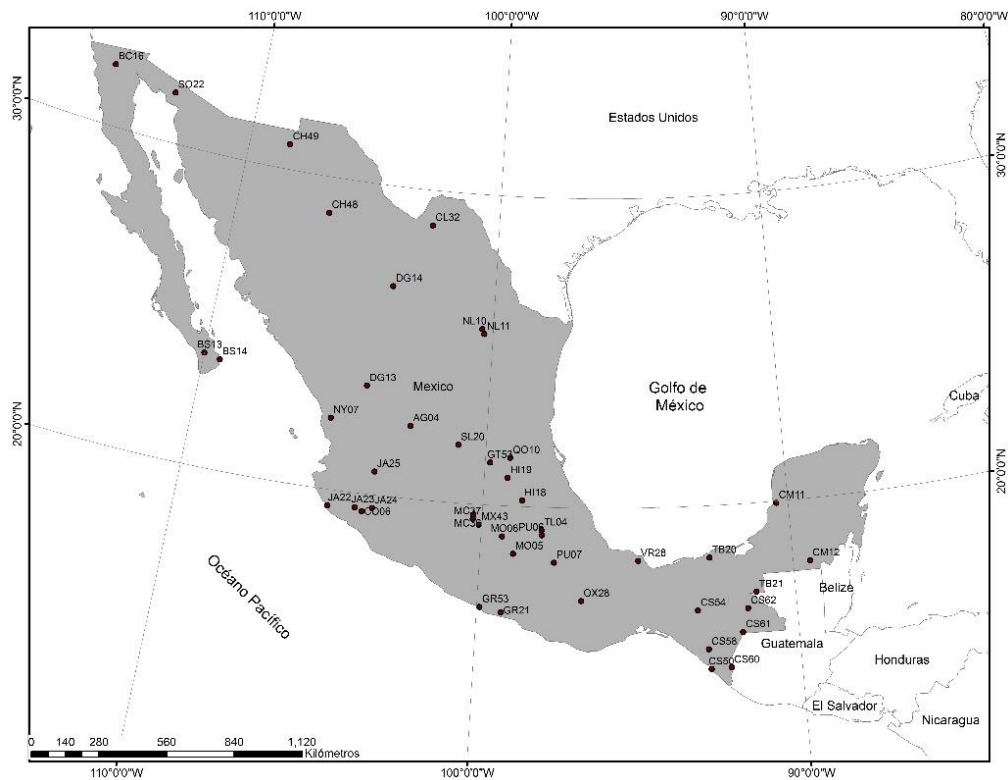


Figura 2. Ubicación de las estaciones con registros de temperatura y humedad del suelo administradas por el SMN y la CONANP

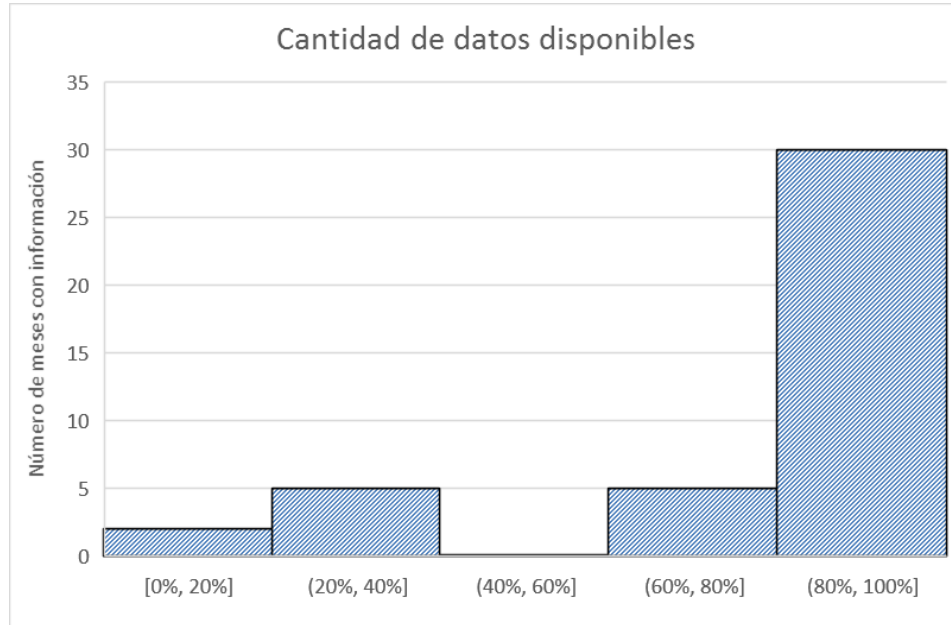


Figura 3. Cantidad de registros disponibles de temperatura y humedad del suelo en las estaciones meteorológicas seleccionadas.

Los datos de GLDAS fueron descargados de la Internet en formato GRB los cuales fueron convertidos a formato TIFF y recortados al límite geográfico de México mediante el software de distribución libre QGIS. Los datos de temperatura de suelo de GLDAS fueron convertidos a grados centígrados (°C) y los de humedad del suelo fueron llevados a fracción de volumen (%).

Los datos de las EMA's fueron sometidos a un análisis de calidad y homogeneidad, las series con datos inconsistentes se eliminaron y los datos incompletos se rellenaron con la media solo cuando existía hasta diez datos perdidos caso contrario se eliminaron. Como resultado del análisis de calidad y homogeneidad el periodo escogido para el estudio fue desde diciembre de 2012 a mayo de 2015.

Procesamiento de datos

Para que los valores de GLDAS sean comparables con los de las EMAS fue necesario realizar una interpolación espacial de los datos registrados en GLDAS según la ubicación de la estación EMA de referencia mediante el método Cressman (1959) en el cual la función para calcular el peso de cada valor está dada por la siguiente relación:

$$w_j = (d^2 - r^2) / (d^2 + r^2)^\alpha \text{ para } r < d \quad (1)$$

$$w_j = 0 \quad \text{para} \quad r > d \quad (2)$$

Donde, r es la distancia del punto central de la celda al punto de observación, d es el radio de influencia con $\alpha > 1$, la selección de los valores de “ d ” y “ α ” son empíricos y dependen del grado de separación de los datos y el nivel de ajuste requerido, en general un menor radio de influencia tiene menos suavizado y viceversa. Generalmente se acepta un valor de “ d ” que es aproximadamente el doble de la distancia promedio de todos los puntos de observación.

Una vez interpolados los datos se realizó la homogeneización de unidades de tal manera que los valores de temperatura y humedad de suelo de GLDAS fueron convertidos a unidades del sistema internacional es decir grados centígrados para temperatura y porcentaje.

Resultados

Los registros provenientes de las estaciones meteorológicas automáticas fueron promediados a nivel mensual para todos los años con datos, la figura 3 muestra los valores promedio y la desviación estándar para el periodo estudiado en cada una de las estaciones.

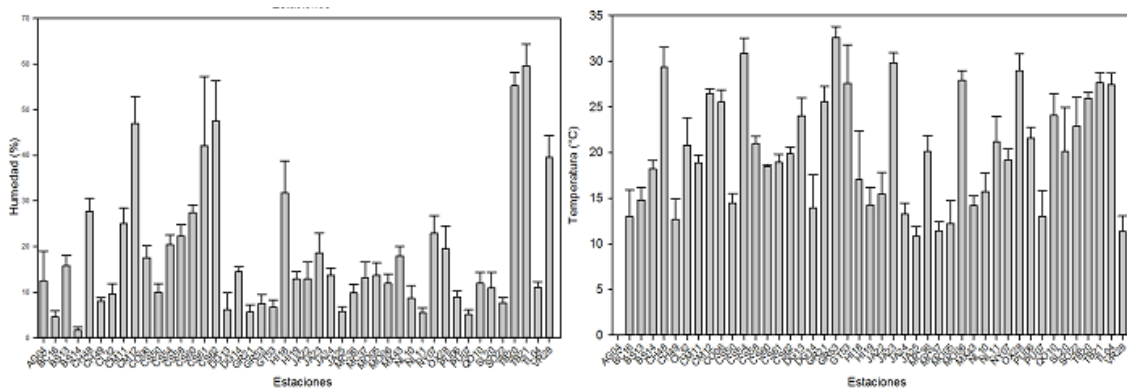


Figura 4. Valores promedio de temperatura y humedad del suelo registradas en las estaciones meteorológicas automáticas en el periodo de estudio

Características climáticas del suelo

La figura 5 muestra los valores de temperatura y humedad del suelo a nivel mensual registrados en las EMA's y en GLDAS para el periodo de estudio, es notorio un comportamiento cíclico anual que coincide con las fluctuaciones de temperatura y precipitación mensual de la superficie, tanto en los valores de humedad como los de temperatura.

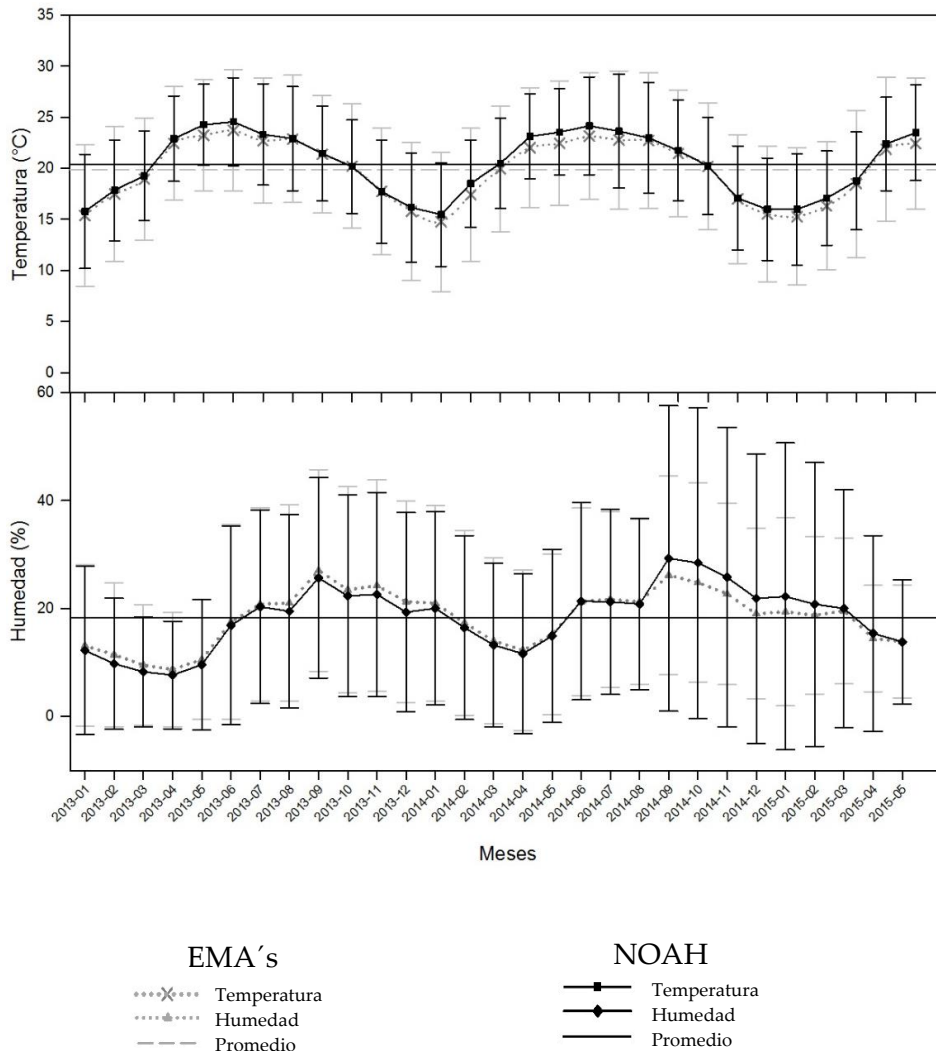


Figura 5. Valores promedio mensuales de temperatura y humedad del suelo registrados en las EMA's y reportados por GLDAS en el periodo de estudio

El resultado de la comparación de los datos de temperatura del suelo registrados en las estaciones meteorológicas y los obtenidos por el modelo NOAH, para el periodo de estudio se muestra en la Figura 6.

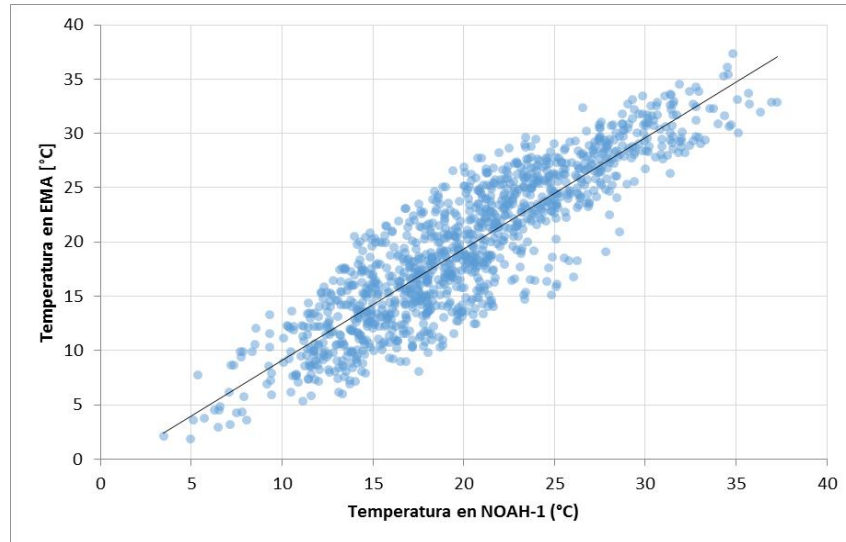


Figura 6. Comparación de registros de temperatura de suelo registrados en estaciones meteorológicas y obtenidos por el modelo NOAH

Se observa que el coeficiente de correlación es de 0.885 ($R^2=0.78$) lo que indica una alta correlación positiva, así mismo la ecuación de regresión entre ambas series de datos permite corregir los valores obtenidos por NOAH.

$$T_{sue_{EMA}} = 1.027T_{sue_{NOAH}} - 1.2018$$

Donde, $T_{sue_{EMA}}$ es la temperatura del suelo mensual registrada en las estaciones meteorológicas automáticas, $T_{sue_{NOAH}}$ es la temperatura de suelo obtenida por el modelo NOAH

El resultado de la comparación de los datos de humedad del suelo registrados en las estaciones meteorológicas y los obtenidos por el modelo NOAH, para el periodo de estudio se muestra en la Figura 7 con el coeficiente de correlación de 0.885 ($R^2=0.34$) lo que indica una baja correlación positiva.

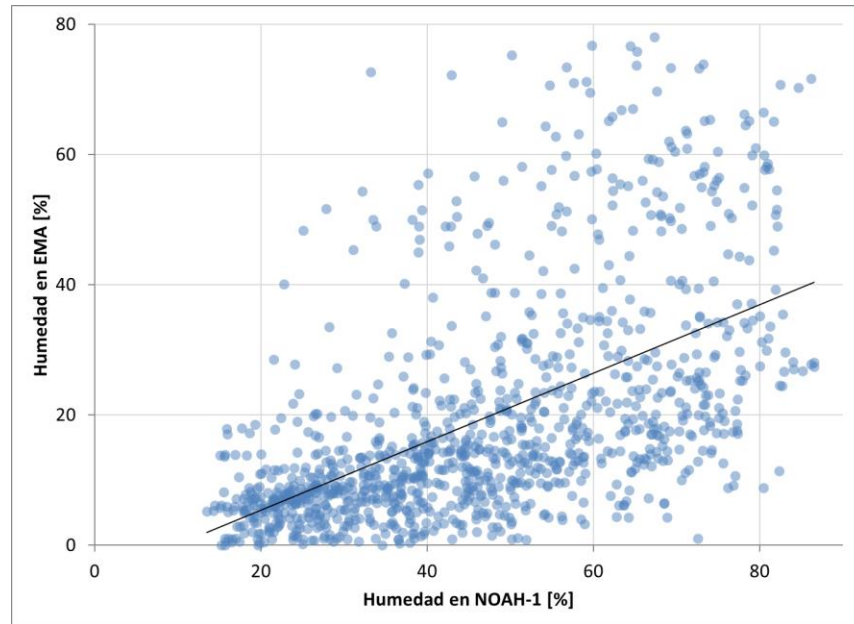


Figura 7. Comparación de registros de humedad de suelo registrados en estaciones meteorológicas y obtenidos por el modelo NOAH

Estos resultados indican que la correlación para los datos de humedad es mayor a valores menores a 40% de humedad registrados en las EMA's

Conclusiones

Los valores de temperatura del suelo generados por los modelos hidrológicos de gran escala se correlacionan adecuadamente con los registros de temperatura del suelo de las EMA's, lo que indica que son una fuente de datos fiable para las zonas donde no se cuentan con estaciones meteorológicas.

Los valores de humedad del suelo al ser afectados por una mayor cantidad de factores como uso del suelo, vegetación y topografía, no mostraron una buena correlación en valores superiores a los 40%, se sugiere incorporar estas variables para mejorar la correlación.

Referencias bibliográficas

Chen, F., K. Mitchell, J. Schaake, Y. Xue, H. Pan, V. Koren, Y. Duan, M. Ek, and A. Betts, 1996: Modeling of land-surface evaporation by four schemes and comparison with FIFE observations. *J. Geophys. Res.*, 101, 7251-7268

Cressman, G. P., 1959: An operational objective analysis system. *Monthly Weather Review*, 87, 367-374. [4]

Niu, G.-Y., 2011. The community Noah land surface model with multiparameterization options (Noah-MP): 1. Model description and



evaluation with local-scale measurements. *J. Geophys. Res.*, 116, D12109, DOI: 10.1029/2010JD015139

Rodell, M., P. R. Houser, U. Jambor, J. Gottschalck, K. Mitchell, C.-J. Meng, K. Arsenault, B. Cosgrove, J. Radakovich, M. Bosilovich, J. K. Entin, J. P. Walker, D. Lohmann, and D. Toll. 2004. The Global Land Data Assimilation System, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 85(3): 381-394.

Rodell, M., y Beaudoin, H. K. NASA/GSFC/HSL (08.1). 2015. GLDAS Noah Land Surface Model L4 Monthly 0.25 x 0.25 degree, version 001, Greenbelt, Maryland, USA, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC), Revisado 15 mayo 2016. DOI. 10.5067/7NP2052IA62C

Rui, H., Beaudoin, H. 2015. Readme document for Global Land Assimilation Systema Version 2(GLDAS-2) Products. Revisado Julio 2016. http://hydro1.sci.gsfc.nasa.gov/data/s4pa/GLDAS/GLDAS_NOAH10_M.2.0/doc/README_GLDAS2.pdf.

Sridhar, V., R. L. Elliott, F. Chen, and J. A. Brotzge, 2002. Validation of the NOAA-OSU land surface model using surface flux measurements in Oklahoma, *J. Geophys. Res.*, 107(D20), 4418, DOI:10.1029/2001JD001306.

Yang, Z.-L., and G.-Y. Niu. 2003. The versatile integrator of surface and atmosphere processes (VISA) part I: Model description, *Global Planet. Change*, 38, 175-189, DOI:10.1016/S0921-8181(03)00028-6.