

Evaluación de series climatológicas provistas por bases de datos de Reanálisis para una localidad del centro-norte de Venezuela

Miguel Ilianovich Silva Borges¹ <https://orcid.org/0000-0003-0300-8393>,
Naghely María Mendoza Díaz¹ <https://orcid.org/0000-0003-1973-5114>

¹Departamento e Instituto de Ingeniería Agrícola, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela.

Autor para correspondencia: Miguel Ilianovich Silva Borges, climamiguel48@gmail.com

(Recibido: 04-05-2022. Publicado: 01-08-2022.)

Resumen

El manejo de información meteorológica es esencial en la planificación de los sistemas agrícolas, y para ello es necesario disponer de registros suficientes en calidad y longitud de período. En su ausencia, una alternativa es el uso de series obtenidas de bases de datos de Reanálisis, siempre que muestren correspondencia con las condiciones locales donde se emplearán. En esta investigación, se evaluaron las series diarias y mensuales de precipitación y de temperatura máxima y mínima de las bases de datos de Reanálisis ERA 5, Merra 2 y Terra Climate con respecto a las series de la estación INIA CENIAP, en Maracay, centro-norte de Venezuela. Las series de la estación fueron sometidas a análisis estadístico, control de calidad y homogeneidad. Se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman, el error cuadrático medio, la raíz cuadrada del error medio y el sesgo porcentual con el fin de evaluar la precisión de los Reanálisis, así como un análisis estacional de las series. Los resultados revelaron que la mayoría de los Reanálisis presentaron una variabilidad menor a los registros de la estación. Tanto para la agrupación de datos diarios como datos mensuales, el Reanálisis Merra 2 mostró una mejor precisión para la precipitación y las temperaturas máximas, mientras que el ERA 5 obtuvo mejores resultados para las temperaturas mínimas. Para los registros diarios, ninguna base de datos de Reanálisis de precipitación presentó resultados favorables, por lo que el Reanálisis mensual es el más adecuado para el uso de series de precipitación en la estación de interés, debido a que la magnitud de los errores se consideró demasiado elevados para usar las series diarias en planificaciones agrícolas operativas.

Palabras clave: Precisión, bases de datos, temperatura, precipitación.

Abstract

The management of meteorological information is essential in the planning of agricultural systems. For this reason, it is necessary to have meteorological series with long, complete and quality data. In its absence, an alternative is to use of reanalysis series, provided they present good precision to the meteorology from which they are evaluated. In this research, the precipitation, maximum and minimum temperatures of the ERA 5, Merra 2 and Terra climate reanalyses were assessed, on a daily and monthly basis,

with respect to the series of the INIA CENIAP station, in Venezuela. The station series were subjected to statistical analysis, quality control and homogeneity. Spearman's correlation coefficient, mean square error, square root of mean error and percentage bias were used to assess the precision of the reanalyses, as well as a seasonal analysis of the series. The results revealed that most of the Reanalyses showed less variability than the station records. For both levels of grouping, Merra 2 presented the best precision for maximum precipitation and temperature, while ERA 5 had it for minimum temperatures. At the daily level, no precipitation reanalysis presented favorable results, so the monthly reanalysis was considered to be the most appropriate for the use of precipitation series in the station of interest, because the magnitude of the errors was too high to use the daily series in operational agricultural planning.

Keywords: Precision, databases, temperature, precipitation.

1. Introducción

Los elementos meteorológicos son el grupo de variables más importantes dentro de la planificación agrícola. Las variables meteorológicas tienen una importante influencia en el desarrollo de los cultivos. Las temperaturas son las principales reguladoras del crecimiento de las plantas y de los insectos plagas que las afectan, gracias a su papel en el acumulado de grados por día que necesitan para su desarrollo (Valdez-Torres et al., 2012). Por otro lado, la precipitación es la variable que define el régimen de disponibilidad de agua en regiones intertropicales, debido a que determina el periodo de crecimiento de las plantas. Así mismo, el manejo eficiente del agua es esencial donde se practique la agricultura de secano, la cual mantiene una importante presencia en la producción de alimentos a nivel mundial (Escobar, 2014). La importancia que reviste el manejo de la información meteorológica en la agricultura es conocida por todos, sin embargo, su aprovechamiento se ve limitado a la disponibilidad de información meteorológica de largo registro y calidad. Un uso importante lo reviste la necesidad de la evapotranspiración potencial, la cual es una variable esencial en la agricultura, que para su estimación se requiere disponer de distintas variables (Allen et al., 2006). En este contexto, Venezuela es un país que desde el año 2000, ha sufrido la pérdida continua de estaciones meteorológicas (Sajo-Castelli et al., 2014). Aunado a esto, existe una heterogénea e inadecuada distribución espacial de las estaciones aún disponibles, lo que ha dificultado el acceso a este tipo de información. Para afrontar esta limitante, es posible hacer uso de series generadas a partir de la asimilación atmosférica retrospectiva de largo plazo o Reanálisis (Zea et al., 2001). El Reanálisis nació como un híbrido entre las observaciones meteorológicas de superficie, modelaciones climáticas e información satelital (Parker, 2016), con el objetivo de generar datos concernientes al estado de la atmósfera, para diferentes escalas espaciales y temporales (Zea et al., 2001). En el aspecto agrícola, recientemente se ha utilizado el Reanálisis para simular las necesidades de riego en zonas agroclimáticas contrastantes (Uniyal et al., 2019), en el monitoreo y previsión de cultivos (Toreti et al., 2019), para la evaluación de sequía agrícola (Baik et al., 2019) y para compensar la ausencia de datos meteorológicos (Kyropoulou y Huang, 2020).

No obstante, la viabilidad de las series de Reanálisis está fundamentada en cuán cercana es su emulación a una variable meteorológica observada para un sitio particular, aun cuando, determinar la precisión de estas series resulta un desafío, debido a la elevada variabilidad espacio-temporal de los elementos, lo que dificulta su calibración, sobre todo a escalas tan refinadas como para ser útiles en unidades de producción agrícola. Para lograr esto, se aplican métricas estadísticas para determinar el grado de ajuste entre las series de Reanálisis y las series observadas, así como su capacidad de representar la variabilidad espacial y estacional de los elementos climáticos (Chen et al., 2018; Hua et al., 2019; Luo et al., 2019). El objetivo de esta investigación es determinar la serie de Reanálisis que mejor se ajuste a los datos de precipitación, temperatura

máxima y temperatura mínima, para períodos de agrupación diario y mensual, de la estación INIA CENIAP ubicada en Maracay, Estado Aragua, Venezuela. Para ello se emplean las bases de Reanálisis más utilizadas actualmente, de más fácil acceso y cuy actualización se realiza con regularidad; ERA 5, Merra 2 y Terra Climate.

2. Metodología

2.1 Datos meteorológicos y caracterización de la zona de estudio

se emplearon los registros diarios de precipitación en milímetros (mm), y de temperatura máxima y mínima en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$) de la estación agrometeorológica INIA CENIAP, perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA), serializada con el número 2604. El registro climático de esta estación abarca desde el año 1971 hasta el año 2016. Esta estación, ubicada a 480 msnm, se encuentra localizada geográficamente en las coordenadas -67.60° de longitud Oeste y 10.29° de latitud Norte, dentro del campo experimental del INIA, en el municipio Mario Briceño Iragorry, del estado Aragua, en la región centro-norte y cordillera central de la República Bolivariana de Venezuela. Pertenece, según la clasificación de Holdridge (Holdridge et al., 1971), a una zona de vida subhúmeda de trópico pre montano, con una precipitación media anual entre 700-1600 mm y régimen estacional, con una época lluviosa de mayo a septiembre, una época seca de noviembre a marzo, y abril y noviembre como meses transicionales. Posee un suelo franco arcillo limoso, calcáreo, con pH 7.6, una pendiente del 1% y buen drenaje. Estas características edafoclimáticas han permitido el desarrollo de hortalizas variadas como papa (*Solanum tuberosum* L.), lechuga (*Lactuca sativa*) y repollo (*Brassica oleracea* var. capitata), así como frutales tales como cítricos, mango (*Mangifera indica*), aguacate (*Persea americana*), musáceas y guayaba (*Psidium guajava*). Así mismo, se produce satisfactoriamente: caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), piña (*Ananas comosus*), coco (*Cocos nucifera*), maíz (*Zea mays*), leguminosas de grano y ganadería semi intensiva, como ganado bovino e intensiva: aves, cerdo y bovina de leche y ceba (Olivares, 2016).

2.2 Base de datos de Reanálisis

Se utilizaron tres fuentes de Reanálisis, a saber: TerraClimate, ERA 5 y el Merra 2. Las características de estas bases de datos de Reanálisis meteorológicos se detallan en la Tabla 1. Los datos del Terra climate y ERA 5 se obtuvieron a través de la aplicación Climate Engine, del Desert Research Institute, Universidad de Idaho, (Huntington et al., 2017), mientras que los registros del Merra 2 fueron descargados del visor de acceso de datos del proyecto de Predicción de Recursos Energéticos Mundiales (POWER por sus siglas en inglés) de la NASA (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>).

2.3 Verificación de calidad de los registros meteorológicos

A los registros meteorológicos de la estación INIA CENIAP se les aplicó un análisis descriptivo basado en: valor mínimo, máximo, media, varianza, desviación estándar (DE), mediana y coeficiente de variación. Para los registros de precipitación se verificó la presencia de valores negativos, mientras que a los registros de temperaturas se aplicaron los siguientes procedimientos:

- Detección de valores atípicos dentro del intervalo $\bar{x} \pm 4s$, donde \bar{x} es la media muestral

y s es la desviación estándar.

- Datos registrados donde la temperatura máxima es menor que la temperatura mínima del día.
- Días en los que la variación de un dato de temperatura con respecto al anterior sea mayor o igual a 10 °C.
- Datos iguales en un período superior a cinco días consecutivos.

La homogeneidad de los registros fue verificada mediante las siguientes pruebas: prueba de Kolmogorov-Smirnov para el contraste de normalidad, prueba de Mann-Kendall para la detección de tendencia, prueba de Siegel Tukey para la detección de la estabilidad de la varianza y la prueba de U Mann-Whiney para la estabilidad de la media. Los estadísticos para la detección de homogeneidad fueron estimados a un nivel de significancia del 95 %. Todos los procedimientos de verificación de calidad de los registros meteorológicos fueron aplicados con la herramienta RClimTool (Herrera, 2014). En los casos que se detectaron una no homogeneidad en la serie, ésta fue corregida utilizando el paquete Climatol (Guijarro, 2018) configurado bajo el lenguaje de programación R usando la interfaz RStudio. Para lograr esto, este paquete se vale de la construcción de una serie de referencia homogénea a partir del promedio de las series de estaciones cercanas. Esto permite, mediante un proceso iterativo, la homogenización de las series a través de: su normalización entre las medias y las desviaciones típicas, el cálculo de anomalías normalizadas entre la serie de referencia y la serie observada y la aplicación de la prueba de homogeneidad normalizada (SNHT, por sus siglas en inglés) (Alexandersson, 1986). Este proceso permite la detección del punto donde se presentaron quiebres y tendencias en la serie. Este paquete también tiene la capacidad de rellenar datos faltantes mediante un proceso de regresión ortogonal (Guijarro, 2018).

Tabla 1: Características de las series de Reanálisis utilizadas en la investigación.

Datos	Descripción	Fuente	Período de tiempo	Resolución espacial	Escala	Referencia
Terra Climate	Conjunto de datos global de equilibrio hídrico climático y climático para superficies terrestres basado en WorldClim y CRU Ts4.0 y JRA55	Universidad de Idaho (UI)	1958-2019	0.035°	Mensual	Abatzoglou et al., 2018
ERA 5	Quinto Reanálisis global basado en el modelo atmosférico y sistema de asimilación de datos denominado Sistema Integrado de Pronóstico (IFS por sus siglas en inglés).	Centro Europeo de Pronósticos Meteorológicos de Medio Alcance (ECMWF, por sus siglas en inglés) a través del Servicio de Cambio Climático Copérnico	1950-2020	0.27°	Diaria	Hersbach et al., 2020
Merra 2	Se deriva del modelo de asimilación GMAO MERRA-2 de la NASA y del GEOS 5.12.4 FP-IT. nueva versión del Sistema de Asimilación de Datos de Sistema de Observación de la Tierra (GEOS) de la NASA	Oficina Global de Modelado y Asimilación de la NASA, EEUU.	1981-2020	0.5°	Diaria	Gelaro et al., 2016

Para la construcción de la serie de referencia se utilizaron 4 estaciones cercanas a la estación INIA CENIAP pertenecientes a la Fuerza Aérea Venezolana (FAV) (Tabla 2). En la figura 1 se encuentra la localización espacial de las estaciones de la FAV y la estación INIA CENIAP (1). El registro disponible, de estas estaciones, abarca desde 1989 hasta el 2008, por lo que las series del INIA CENIAP debieron ajustarse a este periodo para lograr la homogenización, y posteriormente, para la evaluación de los Reanálisis.

Tabla 2: Datos de las estaciones de la FAV que se utilizaron en la homogenización.

Nombre	Longitud (°)	Latitud (°)	Altitud (msnm)
Maracay-Base Sucre (2)	-67,64	10,26	466
Caracas-La Carlota (3)	-66,85	10,49	836
Maiquetía (4)	-66,98	10,6	43
Valencia (5)	-67,94	10,15	430

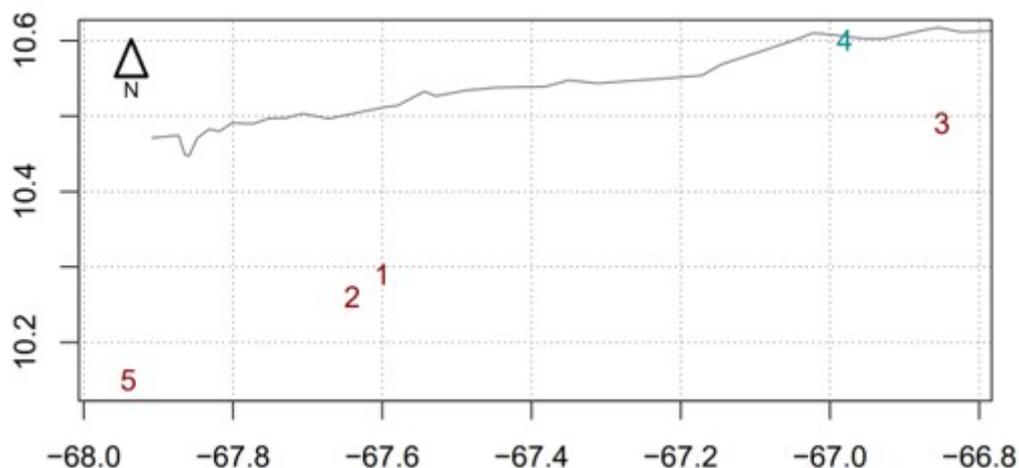


Figura 1: Localización espacial de las estaciones de la FAV y la estación INIA CENIAP.

2.4 Evaluación de las bases de datos de Reanálisis

Las bases de datos de Reanálisis fueron sometidas a diferentes tratamientos estadísticos para verificar, de forma comparativa, su consistencia y viabilidad respecto a las series de la estación INIA CENIAP. Se aplicó un análisis descriptivo basado en la obtención de los valores mínimo, máximo, media, varianza, desviación estándar (DE), mediana y coeficiente de variación. Para determinar cuáles series de Reanálisis se ajusta mejor a los datos de la estación INIA CENIAP, se emplearon las siguientes métricas estadísticas: el coeficiente de correlación de Spearman, el error cuadrático medio, la raíz del error medio cuadrático y el sesgo porcentual. El coeficiente de correlación de Spearman (Rho), con un nivel de significancia del 95%, es una prueba no paramétrica que mide la asociación o interdependencia de variables aleatorias. El valor de Rho oscila entre -1 y +1, e indica asociaciones negativas o positivas mientras que un valor de 0 significa no correlación. El estadístico Rho viene dado por la ecuación:

$$\rho = 1 - \left(\frac{6 \sum D^2}{N(N^2 - 1)} \right) \quad (1)$$

donde D es la diferencia entre los correspondientes estadísticos de orden de las series y N es el número de pares de datos.

El error cuadrático medio (MSE por sus siglas en inglés) estima la diferencia entre los valores de Reanálisis y las variables meteorológicas. El valor MSE viene dado por la ecuación:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (f_n - r_n)^2 \quad (2)$$

La raíz del error medio cuadrático (RMSE por sus siglas en inglés), el cual mide la diferencia media entre las variables. El valor RMSE viene dado por la ecuación:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (f_n - r_n)^2} \quad (3)$$

y el sesgo porcentual (BIAS por sus siglas en inglés) para evaluar la subestimación o sobrestimación, en base a porcentajes, de los valores de Reanálisis respecto a los registrados en la estación. La ecuación del estadístico BIAS de evaluación viene dada por:

$$BIAS = \frac{\frac{1}{n} * \sum_{n=1}^N (f_n - r_n)^2}{\sum_{n=1}^N r_n} \quad (4)$$

donde N, es el número de los datos; f_n es el valor de la variable meteorológica de la serie de Reanálisis y r_n es el valor de la variable meteorológica registrada en la estación.

3. Resultados

3.1 Control de calidad y homogeneidad

Los resultados del análisis descriptivo se encuentran en la Tabla 3. Se puede apreciar que el registro de temperatura mínima presentó el 0 como el valor mínimo, siendo éste un registro de temperatura muy por debajo del valor esperado para la zona de estudio, por lo que posiblemente, sea un valor erróneo, por lo que se procedió a su descarte. Los valores de la media y la mediana fueron cercanos para las temperaturas máximas y mínimas, pero muy disímiles para la precipitación. Por otro lado, la varianza, la desviación estándar y el coeficiente de variación fueron bajos para las temperaturas, pero muy altos para la precipitación, lo que indica un comportamiento esperado de las lluvias, caracterizado por una elevada variabilidad en los registros.

Tabla 3: Resultados del análisis descriptivo de la precipitación (PP), temperatura máxima (TMAX) y temperatura mínima (TMIN) de la estación INIA CENIAP.

		Estadísticos descriptivos						
Escala	Variable	Min	Max	Media	Varianza	DE	Mediana	CV
Diaria	PP	0	135	2,959	67,817	8,235	0	278,307
	TMAX	14	40,7	32,12	4,06	2,08	32,2	6,47
	TMIN	0	31,4	18,58	6,25	2,50	18,9	13,45
Mensual	PP	0	225	37	4078,9	63,9	0	172,6
	TMAX	32	40	34,4	3,1	1,8	34	5,23
	TMIN	12	20	15,9	4,8	2,2	16	13,7

En relación a los resultados del control de calidad y homogeneidad (Tabla 4), el porcentaje de los datos, que no superan los criterios de calidad utilizados, fueron inferiores al 1%, mientras que el porcentaje total de datos ausentes más alto, se presentó en los datos de temperatura máxima, siendo de un 8,28%, por lo que las bases evaluadas presentaron excelentes condiciones de calidad para su aprovechamiento en estudios climáticos (OMM, 2012). Sin embargo, los p-valor de las pruebas empleadas para la detección de no homogeneidades fueron inferiores al nivel de significancia para las temperaturas máximas y mínimas, lo que indica que estas series no se ajustan a una distribución normal, siguen tendencia y presentan varianzas y medias inestables, lo que implica falta de homogeneidad. Caso contrario en las series de precipitación, que resultaron homogéneas, aun cuando no sigan una distribución normal. Por lo tanto, se aplicó el paquete Climatol (Guijarro, 2018) solamente a las series de temperatura máxima y mínima para la detección de puntos de quiebre y posterior corrección de las no homogeneidades.

Tabla 4: Resultados del control de calidad y homogeneidad de las series diarias de precipitación (PP), temperaturas máximas (TMAX) y temperaturas mínimas (TMIN).

Variable	% Datos atípicos	% Datos fuera rango	% Datos del tmax<tmin	% Datos variación	% Datos consecutivos	% Total datos NA	K-S	M-K	S-T	M-W
							p-valor			
PP	-	-	-	-	-	0,396	0	0,58	0,88	0,56
TMAX	0,82	0	0	0,11	0,17	8,28	0	0	0,07	0
TMIN	0,24	0	0	0,11	0,05	4,27	0	0	0,01	0

K-S = Kolmogorov-Smirnov M-K = Mann Kendall S-T = Siegel Tukey M-W = U Mann-Whitney

La figura 2 ilustra las series de anomalías para las temperaturas máximas y mínimas, entre las series originales y las series de referencia (a.1 y b.1), generadas por el paquete Climatol; así como también, las series de medias anuales móviles ajustadas y sub grupos homogeneizados en color (a.2 y b.2). Debido a la marcada variabilidad de las series diarias, que hacen muy difícil la identificación de no homogeneidades, se utilizaron los agregados mensuales para detectar los puntos de quiebre y posteriormente, usar esos puntos para homogeneizar las series diarias (Guijarro, 2018). En las temperaturas máximas se detectó un punto de quiebre el primero de mayo del año 2005, aun cuando el valor de SNHT no resultó muy elevado. Para el caso de las temperaturas mínimas, el punto de quiebre se ubicó el primero de noviembre del año 1999. Una vez

identificados estos puntos, el paquete procedió a corregirlos y aplicar el llenado de datos faltantes.

3.2 Evaluación de las series de Reanálisis

Los resultados de los estadísticos descriptivos de las series, tanto para los registros diarios como para la agrupación mensual, se encuentran en la tabla 5. De acuerdo a los valores de varianza, desviación estándar y coeficiente de variación, se desprende una menor heterogeneidad de los Reanálisis respecto a las series de la estación INIA CENIAP al comparar estos resultados con los conseguidos en la tabla 3, lo que puede interpretarse como una menor variabilidad de los valores de precipitación y temperaturas mínimas diarias y mensuales de las series de Reanálisis.

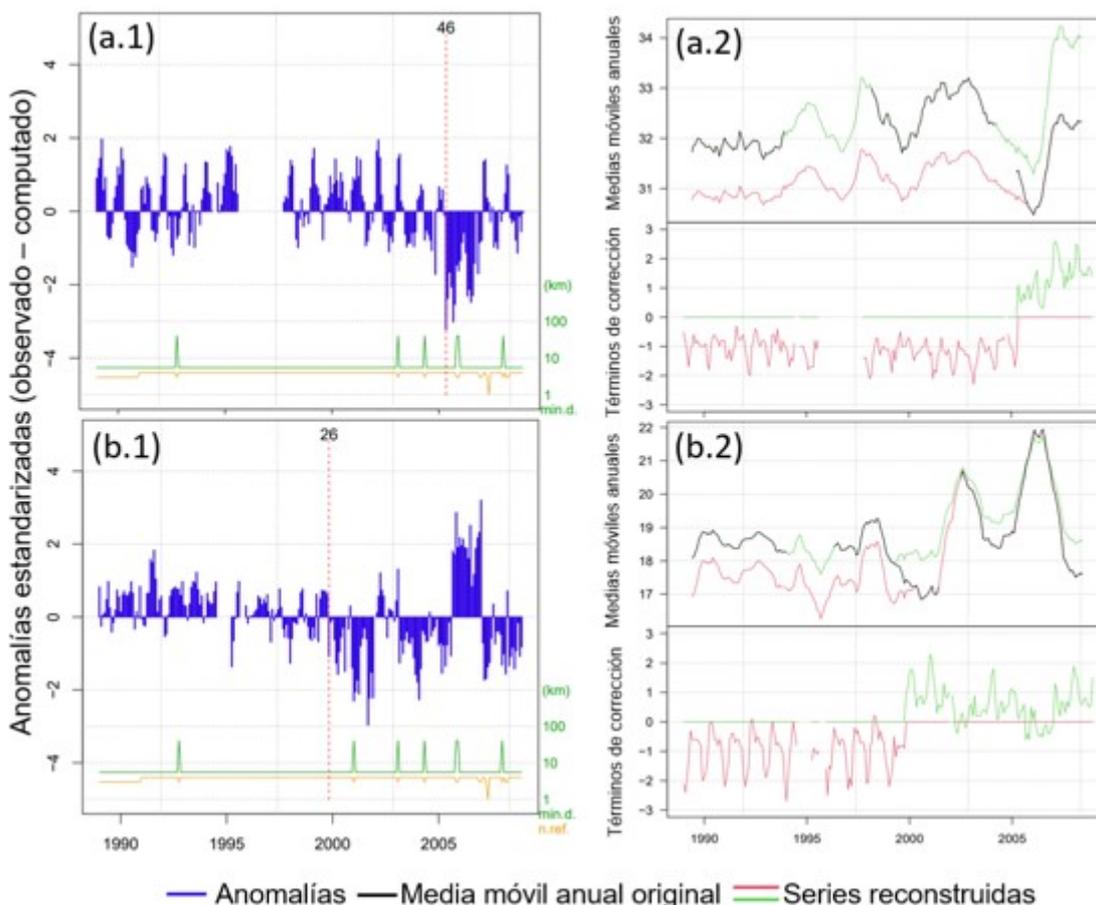


Figura 2: Series de anomalías para la temperatura máxima (a.1) y temperatura mínima (b.1), y series de medias móviles anuales reconstruidas de la temperatura máxima (a.2) y temperatura mínima (b.2).

Se pudo constatar una elevada varianza de la precipitación tanto de los registros de la estación como de los Reanálisis a nivel mensual, como consecuencia de algunos valores cercanos a 0, que se alejan notablemente de la media. Estos registros suelen ocurrir durante la temporada seca en algunos meses. Por otro lado, las temperaturas máximas presentaron una mayor variabilidad en las series de Reanálisis que en la serie de la estación para la escala mensual que para la escala diaria. Los valores de todos los estadísticos, a excepción del coeficiente de variación, para las series diarias ERA 5 y Merra 2, fueron menores a los de la serie de la estación INIA CENIAP.

Para la agrupación mensual, la mayoría de los estadísticos también fueron más bajos, a excepción de los valores mínimos y de los coeficientes de variación.

Tabla 5: Resultados del análisis estadístico diario y mensual de las series de precipitación (PP), temperaturas máximas (TMAX) y temperaturas mínimas (TMIN) de acuerdo a los Reanálisis ERA 5, Merra 2 y Terra Climate.

Escala	Variable	Fuente	Estadísticos descriptivos						
			Min	Max	Media	Varianza	DE	Mediana	CV
Diaria	PP	ERA 5	0	141	4,406	35,405	5,950	2	135,05
		Merra 2	0	84,85	2,754	19,198	4,382	0,950	159,1
	TMIN	ERA 5	20	33	26,80	3,26	1,81	27	6,74
		Merra 2	23,31	36,22	29,53	3,93	1,98	29,29	6,78
	TMAX	ERA 5	15	25	20,93	1,89	1,37	21	6,56
		Merra 2	17,32	25,08	21,78	1,27	1,13	21,94	5,18
Mensual	PP	ERA 5	8	434	134,28	5404,89	73,52	135,5	54,75
		Merra 2	0,03	333,1	84	4401	66,34	75,08	79
		Terra Climate	0	251	84,45	3194,78	56,52	85	67
	TMIN	ERA 5	29	32	29	1,94	1,39	29	4,79
		Merra 2	26,92	35,96	31,24	3,78	1,9440	30,99	6,20
		Terra Climate	25,70	30,40	28,12	0,827	0,910	28	3,2
	TMAX	ERA 5	15	21	19,12	1,75	1,32	19	7
		Merra 2	17,32	22,80	20,36	1,39	1,1790	20,61	5,7
		Terra Climate	13,50	18,90	16,88	1,53	1,240	17,15	7,3

Los resultados del ajuste de las series de Reanálisis respecto a las series de la estación INIA CENIAP se pueden encontrar en la tabla 5. El coeficiente de correlación de Spearman arrojó asociaciones positivas, siendo las más importantes aquellas mayores a 0,80 del Merra 2 y Terra climate respecto a la precipitación. Así mismo, el coeficiente de Spearman presentó significancia estadística para todas las variables y ambos períodos de agrupación con p-valores menores a $2,2e-16$ en la mayoría de los casos y a 0,0009 en la temperatura máxima del ERA 5. El sesgo osciló entre una subestimación del 17,5% en la temperatura máxima del ERA 5, para los registros diarios, hasta más de un 49,3% de sobreestimación para esta misma serie, pero para la agrupación mensual. Para los registros diarios, la precipitación simulada por Merra 2 presentó los mejores resultados de los estadísticos, no obstante, la correlación de las series fue muy baja y el RMSE más reducido se ubicó por encima de los 7 mm. Este último resultado implica un error demasiado alto para esta escala de agrupación y una variable donde el 0 es el valor más común. Utilizar registros de precipitación con errores de esta magnitud pudieran ser desfavorables, sobre todo en planificaciones agrícolas operativas.

Tabla 6: Resultados de los estadísticos de evaluación de las series de precipitación (PP), temperaturas máximas (TMAX) y temperaturas mínimas (TMIN) de acuerdo a los Reanálisis ERA 5, Merra 2 y Terra Climate.

			Estadísticos de evaluación			
Escala	Variable	Fuente	Bias (%)	Rho	MSE	RMSE
Diaria	PP	ERA 5	49,1	0,35	84,63	9,2
		Merra 2	-6,7	0,52	57,22	7,56
	TMAX	ERA 5	-17,8	0,23	38,81	6,23
		Merra 2	-9,5	0,64	12,26	3,5
	TMIN	ERA 5	9,3	0,55	6,27	2,5
		Merra 2	14,5	0,61	10,52	3,24
Mensual	PP	ERA 5	49,3	0,66	7382,65	85,92
		Merra 2	-6,6	0,81	2937,58	54,2
		Terra climate	-6,1	0,80	2940,62	54,23
	TMAX	ERA 5	-10,5	0,21	14,57	3,82
		Merra 2	-3,6	0,72	3,16	1,78
		Terra climate	-13,2	0,66	19,26	4,39
	TMIN	ERA 5	0,9	0,69	1,45	1,2
		Merra 2	7,4	0,67	3,5	1,87
		Terra climate	-10,9	0,75	5,42	2,33

Para las temperaturas máximas en la escala diaria, la serie del Merra 2 presentó los mejores valores de los estadísticos y una mayor correlación. Para esta variable y escala de agrupación, ambas series simuladas subestimaron las temperaturas máximas. En relación a las temperaturas mínimas, el Merra 2 presentó una mejor correlación que la serie ERA 5, mientras que la serie ERA 5 presentó el menor sesgo, y menores valores de MSE y RMSE, por lo que se concluyó que esta última, es la de mayor precisión para esta variable. Para la agrupación mensual, al evaluar la precipitación se observa que el menor sesgo lo presentó el Terra climate, con una subestimación del 6 %, sin embargo, el Merra 2 se ajustó mejor a las precipitaciones de la estación de acuerdo al resto de los estadísticos. El Merra 2 volvió a mostrar un mejor desempeño en las temperaturas máximas. Mientras que él ERA 5 lo hizo para las temperaturas mínimas, con una sobrestimación de sólo un 0.9 %, la más baja de todos los resultados del sesgo. La figura 3 ilustra el comportamiento intranual que tuvieron las series de Reanálisis respecto a las series de la estación INIA CENIAP. La mayoría de las series reprodujeron la estacionalidad de las variables, caracterizado por un comportamiento unimodal de las lluvias (A), con meses menos lluviosos de noviembre a marzo, y una mayor presencia de lluvias en el resto de los meses, a excepción de la precipitación del ERA 5 con una bimodalidad, no característica de la estación. Todas las temperaturas de los Reanálisis por su parte (B y C), manifestaron la bimodalidad.

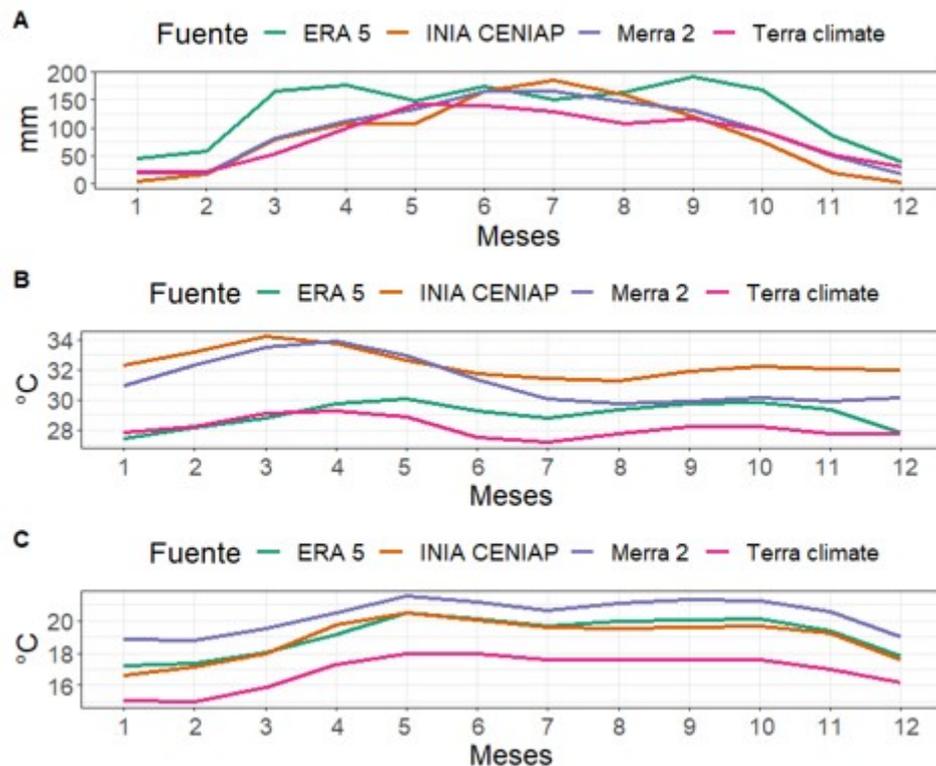


Figura 3: Representación gráfica de los valores promedios mensuales de la precipitación (A), temperatura máxima (B) y temperatura mínima (C) para diferentes fuentes de Reanálisis y las series de la estación INIA CENIAP.

Estacionalmente, la principal sobrestimación para la precipitación, la tuvo el ERA 5, sobre todo en los meses más secos, y en los últimos meses húmedos, mientras que la mayor subestimación la presentó el Terra climate durante los meses más húmedos. El mejor ajuste estacional de las series de precipitación de Reanálisis lo tuvo el Merra 2. Todas las series de temperaturas máximas subestimaron las de la estación, siendo el Reanálisis Merra 2 el más cercano a la serie del INIA CENIAP. Para las temperaturas mínimas, el ERA 5 presentó el comportamiento más cercano, mientras que el Merra 2 sobrestimó, y el Terra climate subestimó las temperaturas mínimas. De estos resultados, las variables de Reanálisis diario, principalmente las precipitaciones, podrían considerarse como las de menor desempeño en contraste a las de la agrupación mensual, por lo que el tipo de registro mensual, es el más recomendable para estudios climáticos en la estación de interés. La precipitación del ERA 5 expresó un enorme sesgo, el cual es un resultado que se ha visto en otras investigaciones de este tipo en la región tropical (Lorenz y Kunstmann, 2012; y Trenberth et al., 2011). Este sesgo sugiere que los errores de precisión de los Reanálisis están asociados a cambios en el sistema de observación, que han generado tendencias espurias. A pesar de esto, dentro del mayor sesgo que han presentado los Reanálisis en condiciones tropicales, el Merra 2, ha sobresalido con los mejores resultados (Trenberth et al., 2011; Burton et al., 2018). Es importante hacer mención que estacionalmente, mientras una base de Reanálisis puede tener un mejor desempeño en un mes, puede no tenerlo para otro mes, donde otra base de Reanálisis puede dar un mejor resultado, tal y como afirma Gehne et al. (2016). De acuerdo a este autor, el producto de Reanálisis más adecuado cambia con la ubicación, la temporada y la aplicación prevista. Esto se pudo visualizar en la presente investigación, sobre todo en la variable de precipitación. Por otro lado, la mejor precisión obtenida para las temperaturas sobre las obtenidas para las precipitaciones de los Reanálisis, especialmente en el ERA 5, se puede atribuir a la capacidad de los modelos de predicción numérico-climáticos (NWP por sus siglas

en inglés), integrados en el proceso de asimilación de este Reanálisis, en generar pronósticos más eficientes de las temperaturas que de las precipitaciones (Parker, 2016).

4. Conclusiones

De los resultados obtenidos, la precipitación y la temperatura máxima del MERRA 2 y la temperatura mínima del ERA 5, se consideraron las más precisas, principalmente para el período de agrupación mensual. A pesar de que se constató una menor variabilidad de los registros estimados por los Reanálisis en comparación a los observados en la estación INIA CENIAP, los Reanálisis lograron captar en gran medida la variabilidad típica de los registros de la estación, así como su estacionalidad, sólo exceptuando la precipitación media mensual generada por el ERA5. Sin embargo, a nivel diario, los errores arrojados por el mejor Reanálisis de precipitación, se asumieron demasiado altos, por lo que no consideraron idóneos para su aprovechamiento en labores agrícolas, especialmente operativas.

Referencias bibliográficas

Abatzoglou JT, Dobrowski SZ, Parks SA, Hegewisch KC (2018): Terraclimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958-2015, *Sci. Data* (5):170191.

Alexandersson, H (1986): A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climatology*, (6):661-675.

Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M (2006): Evapotranspiración del cultivo. FAO, *Roma. Paper*, (56):1-79.

Baik J, Zohaib M, Kim U, Aadil M, Choi M (2019): Agricultural drought assessment based on multiple soil moisture products. *Journal of Arid Environments*, (167):43-55.

Burton C, Rifai S, Malhi Y (2018): Inter-comparison and assessment of gridded climate products over tropical forests during the 2015/2016 El Niño, *Philosophical Transactions B*, (373):1-10.

Chen A, Chen D, Azorin-Molina C (2018): Assessing reliability of precipitation data over the Mekong River Basin: A comparison of ground-based, satellite, and reanalysis datasets. *International Journal of Climatology*, (38):4314-4334.

Escobar R (2014): El cultivo de secano. *Revista de Geografía Agrícola*, (52-53):61-113. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/757/75749284005.pdf>

Guijarro JA (2018): Homogenization of climatic series with Climatol. Version 3.1.1. http://www.climatol.eu/homog_climatol-en.pdf and <https://CRAN.R-project.org/package=climatol>

Hersbach H, Bell B, Berrisford P, Hirahara S, Horányi A, Muñoz-Sabater J, Nicolas J, Peubey C, Radu R, Schepers D, Simmons A, Soci C, Abdalla S, Abellan X, Balsamo G, Bechtold P, Biavati G, Bidlot J, Bonavita M, Chiara GD, Dahlgren P, Dee D, Diamantakis M, Dragani R,

Flemming J, Forbes R, Fuentes M, Geer A, Haimberger L, Healy S, Hogan RJ, Hólm E, Janisková M, Keeley S, Laloyaux P, Lopez P, Lupu C, Radnoti G, Rosnay de P, Rozum I, Vamborg F, Villaume S, Thépaut J (2020): The ERA5 global reanalysis, *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, 146, 1999–2049, <https://doi.org/10.1002/qj.3803>, 2020.a, b

Herrera LL (2014): RCLimTool. Manual de usuario. Clima y sector agropecuario colombiano, Colombia, 17 pp.

Hua W, Zhou L, Nicholson SE, Chen H, Qin M (2019): Assessing reanalysis data for understanding rainfall climatology and variability over Central Equatorial Africa. *Climate Dynamics*, (53):651–669.

Huntington J, Hegewisch K, Daudert B, Morton C, Abatzoglou J, McEvoy D, Erickson T (2017): Climate Engine: Cloud Computing of Climate and Remote Sensing Data for Advanced Natural Resource Monitoring and Process Understanding. *Bulletin of the American Meteorological Society*.

Kyropoulou M, Huang J (2020): Weather File Creation Methodology for Remote, Underserved Locations. *Proceedings PLEA 2020, A Coruna*. 6 p.

Lorenz C, Kunstmann H (2012) The hydrological cycle in three state-of-the-art reanalyses: Intercomparison and performance analysis, *J. Hydrometeorol*, (13):1397–1420.

Luo H, Ge F, Yang K, Zhu S, Peng T, Cai W, Liu X, Tang W (2019) Assessment of ECMWF reanalysis data in complex terrain: Can the CERA-20C and ERA-Interim data sets replicate the variation in surface air temperatures over Sichuan, China, *International Journal of Climatology*, (35):5619–5634.

Parker, W.S. 2016. Reanalyses and observations: What's the difference? *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, (97):1565–1572.

Olivares B (2016) Caracterización de la sequía meteorológica en la red de estaciones agrometeorológicas del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) Venezuela. Trabajo fin de Master presentado para optar al grado de Master en Tecnología Ambiental de la Universidad Internacional de Andalucía. 80 p. Disponible en: https://repositorio.biblioteca.unia.es/bitstream/handle/10334/3549/0696_Olivares.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Gelaro R, McCarty W, Suárez M, Todling R, Molod A, Takacs L, Randles C, Darmenov A, Bosilovich M, Reichle R, Wargan K, Coy L, Cullather R, Draper C, Akella S, Buchard V, Conaty A, da Silva A, Gu W, Kim G, Koster R, Lucchesi R, Merkova D, Nielsen J, Partyka G, Pawson S, Putman W, Rienecker M, Schubert S, Sienkiewicz M, Zhao B (2016): The Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version-2 (MERRA-2). *Journal of Climate* (30):5419–5454.

Holdridge LR, Grenke W, Hatheway WH, Liang T, Tosi JA (1971) *Forest Environments in Tropical Life Zones: A Pilot Study*. Pergamon Press, Oxford. 747 pp. Disponible en: <https://www.cab>

direct.org/cabdirect/abstract/19716605728 (resumen).

Sajo-Castelli AM, Villalta D, Bravo de Guenni L, Garcia I, Ovalles P (2014): Overview of ground-based rainfall measurement network data quality for Venezuela. *Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales de Venezuela*, 3-4 (LXXIV): 1-169.

Toreti A, Maiorano A, Sanctis G, Webber De H, Ruane AC, Fumagalli D, Ceglar A, Niemeier S, Zampieri M (2019) Using reanalysis in crop monitoring and forecasting systems. *Agricultural Systems*, (168):144-153

Trenberth K, Fasullo J, Mackaro J (2011): Atmospheric moisture transports from ocean to land and global energy flows in reanalyses, *Journal of Climate*, (24):4907-4924.

Uniyal B, Dietrich J, Quynh Vu N, Jha M, Arumí JL (2019): Simulation of regional irrigation requirement with SWAT in different agro-climatic zones driven by observed climate and two reanalysis datasets. *Science of The Total Environment* (649): 846-865. Valdez-Torres J, Soto-Landeros F, Osuna-Enciso T, Báez-Sañudo M (2012): Modelos de predicción fenológica para maíz blanco (*Zea mays* L.) y gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* J. E. Smith), *Agrociencia*, (46)4:399-410.

Zea J, León G, Eslava J (2001): Aplicación del sistema de asimilación de datos climáticos (CDAS) del proyecto NCEP/NCAR - Reanalysis data set - para fines climatológicos y sinópticos. *Metorología Colombiana*, (3):143-150.