



RIEGO Y DRENAJE

ARTÍCULO ORIGINAL

<https://cu-id.com/2284/v12n4e01>

Caracterización a futuro de las precipitaciones y la evapotranspiración de referencia, en diferentes zonas de Cuba

Future characterization of rainfall and reference evapotranspiration in different areas of Cuba

Dr.C. Yoima Chaterlán Durruthy¹, Dr.C. Carmen Duarte Díaz, Ing. Luis Hirán Riverol Marrero, MSc. Elisa Zamora Herrera
Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba.

RESUMEN. Se presentan los resultados que contribuyen a la caracterización climática hasta el 2050, por medio de un balance hídrico climático, teniendo en cuenta el comportamiento de la evapotranspiración de referencia y las precipitaciones en tres sitios, que abarcan la zona occidental (Pulido-Provincia Artemisa), central (Sanguily- Provincia Ciego de Ávila) y oriental (Veguitas- Provincia Granma), a través de la modelación climática y el uso del Cropwat v. 8.0. Se tuvo como objetivo la caracterización climática con la modelación a futuro de las precipitaciones y evapotranspiración de referencia, según escenario RCP 4.5 del modelo PRECIS, en diferentes zonas de estudio de Cuba y los resultados mostraron las variaciones de la evapotranspiración de referencia calculada según Penman Monthei, con aumentos que algunos casos superan el 12%. Las precipitaciones tuvieron un comportamiento anómalo en la zona occidental superando a la demanda climática en los años seco, medio y húmedo, no así en las zonas central y oriental.

Palabras clave: Cropwat, escenarios climáticos, disponibilidad de agua.

ABSTRACT. The results of the climatic characterization until 2050 are presented, through a climatic water balance, taking into account the behavior of the reference evapotranspiration and rainfall in three sites, which include the western zone (Pulido-Artemisa Province), central (Sanguily- Ciego de Ávila Province) and eastern (Veguitas- GranmaProvince), through climate modeling and the use of Cropwat v. 8.0. The objective was the climatic characterization with the future modeling of the reference rainfall and evapotranspiration, according to the RCP 4.5 scenario of the PRECIS model, in different areas of Cuba and the results showed the variations of the reference evapotranspiration calculated by Penman Monteith, in addition of its variation in the three zones with increases that in some cases exceed 12%. The precipitations had an anomalous behavior in the western zone, exceeding the climatic demand in the dry, medium and humid years, but not so for the central and eastern zones

Keywords: Cropwat, Climate Scenarios, Water Availability.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el cambio climático representa uno de los principales problemas que enfrenta la agricultura, debido a las alteraciones que causa en los patrones climáticos y por tanto en la agroclimatología relacionada con el manejo de las actividades agrícolas (Medina et al., 2016). Como resultado del aumento de los GEI (gases de efecto invernadero) en la atmósfera, se tiene un incremento en la temperatura que puede tener efectos tanto

positivos como negativos sobre el potencial productivo de los cultivos y sus necesidades de agua.

Los recursos hídricos disponibles a partir de la infraestructura hidráulica en Cuba, ascienden a 3904 millones de m³ donde los usos predominantes del agua están en la agricultura (55 – 60%) de esos disponibles (Centella et al., 2015). Según los autores, en la actualidad, se impone la necesidad del uso sostenible del agua,

¹ Autora para correspondencia: Yoima Chaterlán Durruthy, e-mail: yoima.chaterlan@iagric.minag.gob.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8453-3394>

Recibido: 15/03/2022.

Aprobado: 09/09/2022.

de la eficiencia en la conducción y distribución, de la disminución de pérdidas (las que alcanzan en algunas zonas hasta 60% de los volúmenes entregados), del reuso del agua, así como de una elevada cultura ambiental hídrica e hidráulica. Por otra parte, las evidencias observacionales permiten mantener la hipótesis de que el clima en Cuba está transitando hacia un estado con características similares a un sistema climático con un efecto invernadero intensificado en la atmósfera terrestre (CITMA-Cuba, 2020).

Una herramienta básica para los estudios de planificación del agua, según Vargas *et al.* (2018), los cuales sirven para trazar las estrategias y políticas encaminadas a mitigar y adaptarse a los efectos en las concentraciones de GEI's son los diferentes escenarios de cambio climático, con forzamientos radiativos medidos como la cantidad de energía solar absorbida por metro cuadrado sobre la tierra W/m^2 . Esta ha sido la base utilizada en los estudios presentes, asociada a los recursos hídricos disponibles para el riego. La existencia de herramientas para evaluar las estrategias de manera anticipada son los modelos de simulación, ya sea en los impactos del cambio climático como en la agricultura según Bonilla (2016) y ésta es la fundamentación para evaluar el efecto del cambio climático sobre los recursos hídricos y su disponibilidad a futuro para el desarrollo de los cultivos de interés agrícolas, donde los escenarios constituyen un instrumento esencial de evaluar la incertidumbre de los cambios en el clima (Centella *et al.*, 2001).

Según Planos-Gutiérrez (2021), uno de los problemas identificados en el marco de las comunicaciones nacionales de cambio climático, es la interpretación de la disponibilidad futura de agua y su relación con el cambio climático. Frecuentemente, no se considera apropiadamente como el impacto sobre los recursos potenciales influye en el agua aprovechable y en el agua disponible; y las medidas de adaptación se plantean en función de estos recursos, sin tener en cuenta su dependencia de los recursos potenciales. Conceptualmente es importante

tener en cuenta que los recursos aprovechables son variables y dependen del balance climático e hidrológico. En la medida que un régimen es más seco (como está sucediendo en Cuba), la cantidad de agua potencial que se transforma en aprovechable es menor, debido al incremento de los procesos de pérdida por la evaporación y la satisfacción de las necesidades hídricas de los ecosistemas. Por tal motivo, se concibe como objetivo la caracterización climática con la modelación a futuro de las precipitaciones y evapotranspiración de referencia, según escenario RCP 4.5 del PRECIS, en diferentes zonas de Cuba

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de los objetivos de la etapa

Se aborda la obtención de las variables climatológicas a partir del procesamiento de escenarios generados por el Instituto de Meteorología (INSMET), según Planos-Gutiérrez (2014), del modelo climático regional PRECIS (Proporcionar climas regionales para estudios de impacto). Una vez obtenidas las variables, se procesaron mediante la metodología y hojas de cálculo elaboradas por el INSMET, para regionalizar los valores de acuerdo a la zona de estudio. Las variables regionalizadas fueron las utilizadas para el desarrollo del trabajo presente.

Localidades de estudio, modelo y escenario climático

En la Tabla 1 se muestra la selección de las localidades en estudio, donde se abarcaron las tres regiones del país occidental, centro y oriente; mediante el uso de los Sistemas de Información Geográfica ArcGIS (v.10.2.1) y MapInfo, para su ubicación espacialmente de éstas localidades, tal como se muestra en la Figura 1.

TABLA 1. Localidades de estudio con sus coordenadas

Provincia	Localidad	Latitud (norte)	Longitud (oeste)
Artemisa	Pulido	22,77647	-82,6054
Ciego de Ávila	Sanguily	21,76836	-78,8924
Granma	Veguitas	20,31501	-76,9359



FIGURA 1. Localidades espaciales de los tres lugares de estudio.

Una vez realizada la ubicación espacial, se correspondió a la designación del modelo, el escenario y la estación meteorológica más cercana, para ello se utilizó el modelo climático regional PRECIS, el cuál abarca la región del Caribe y es basado en el forzamiento de varios modelos globales bajo la influencia de los escenarios de emisiones SRES A2, SRES B2 y SRES A1B, según

Figura 2, aunque en éste caso solo se hace referencia a tres de las estaciones meteorológicas correspondientes a cada una de las tres zonas de estudio (occidental, central y oriental).

Posteriormente se realiza la superposición entre las localidades, las rejillas del modelo y las estaciones meteorológicas como se muestra en la Figura 2, para concretar los datos del proceso de regionalización y llevar a cabo estudios detallados de las zonas en cuestión. La Tabla 2 muestra detalladamente la superposición entre capas.

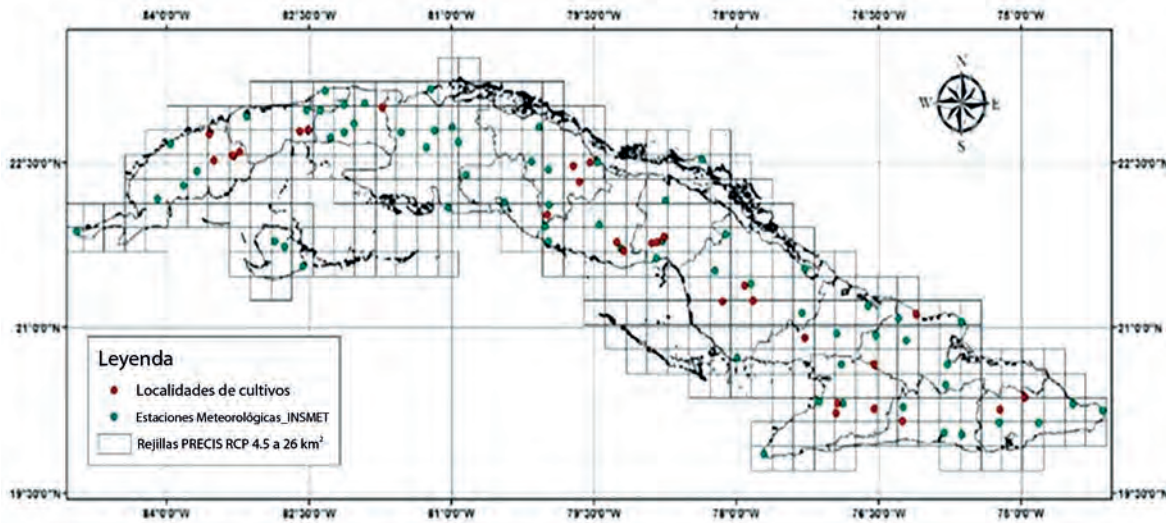


FIGURA 2. Designación del modelo, escenario, estación meteorológica.

TABLA 2. Correspondencia entre localidades, estaciones y rejillas del modelo

Provincia	Localidad	Estación Climática	Código Rejilla
Artemisa	Pulido	320	165
Ciego de Ávila	Sanguily	346	386
Granma	Veguitas	377	752

El modelo es apoyado en leyes físicas expresadas en ecuaciones matemáticas, resueltas en rejillas con una resolución de 25x25 km y expresa las variables climáticas, temperatura máxima (°C), temperatura media (°C), temperatura mínima (°C), precipitación (mm), velocidad del viento (km/h), humedad Relativa (%), evapotranspiración de referencia (mm/día) y radiación global (MJ/m²día), para una línea de tiempo desde 2006 hasta 2098, para cada una de las rejillas.

El escenario escogido fue RCP 4.5 (Representative Concentration Pathways, Vías deconcentración representativa), caracterizado por las emisiones mundiales a largo plazo de gases de efecto invernadero, especies de corta vida y uso de la tierra, que estabiliza el forzamiento radiactivo a 4,5 W/m² sin exceder nunca ese valor y que trata acerca de una estabilización en las emisiones de CO₂ y la temperatura ambiente como se muestra en la Figura 3 (Castillo et al., 2017).

Las estaciones meteorológicas son seleccionadas partiendo del criterio de proximidad a las localidades de estudio. Estos se corresponden con el registro de meteorología a nivel nacional.

La determinación de la evapotranspiración de referencia se realizó por la metodología de la FAO, según (Allen et al., 2006) para diferentes condiciones por el Método de Penman Monteith.

La misma al igual que la precipitación efectiva se determinó por el Programa CROPWAT, según la plantilla de la Figura 4,

teniendo en cuenta todas las variables climáticas requeridas y donde se incluyen los métodos de P. Monteith para la ET₀ y varios métodos para la precipitación efectiva.

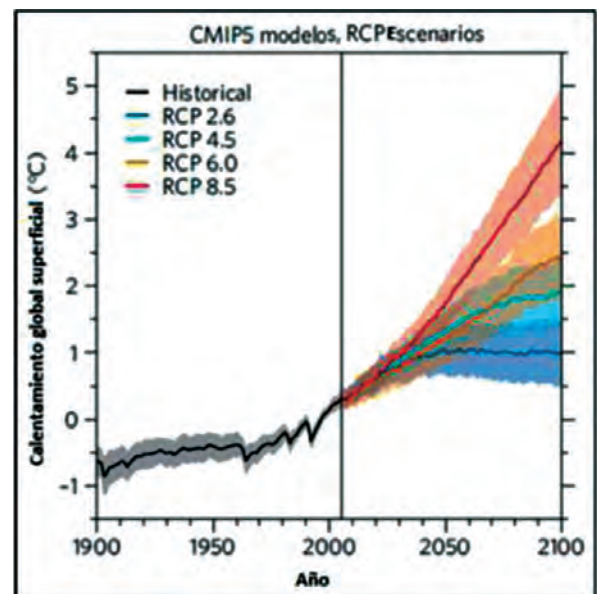


FIGURA 3. Comportamiento de la temperatura en los escenarios climáticos RCP, según Castillo et al. (2017).

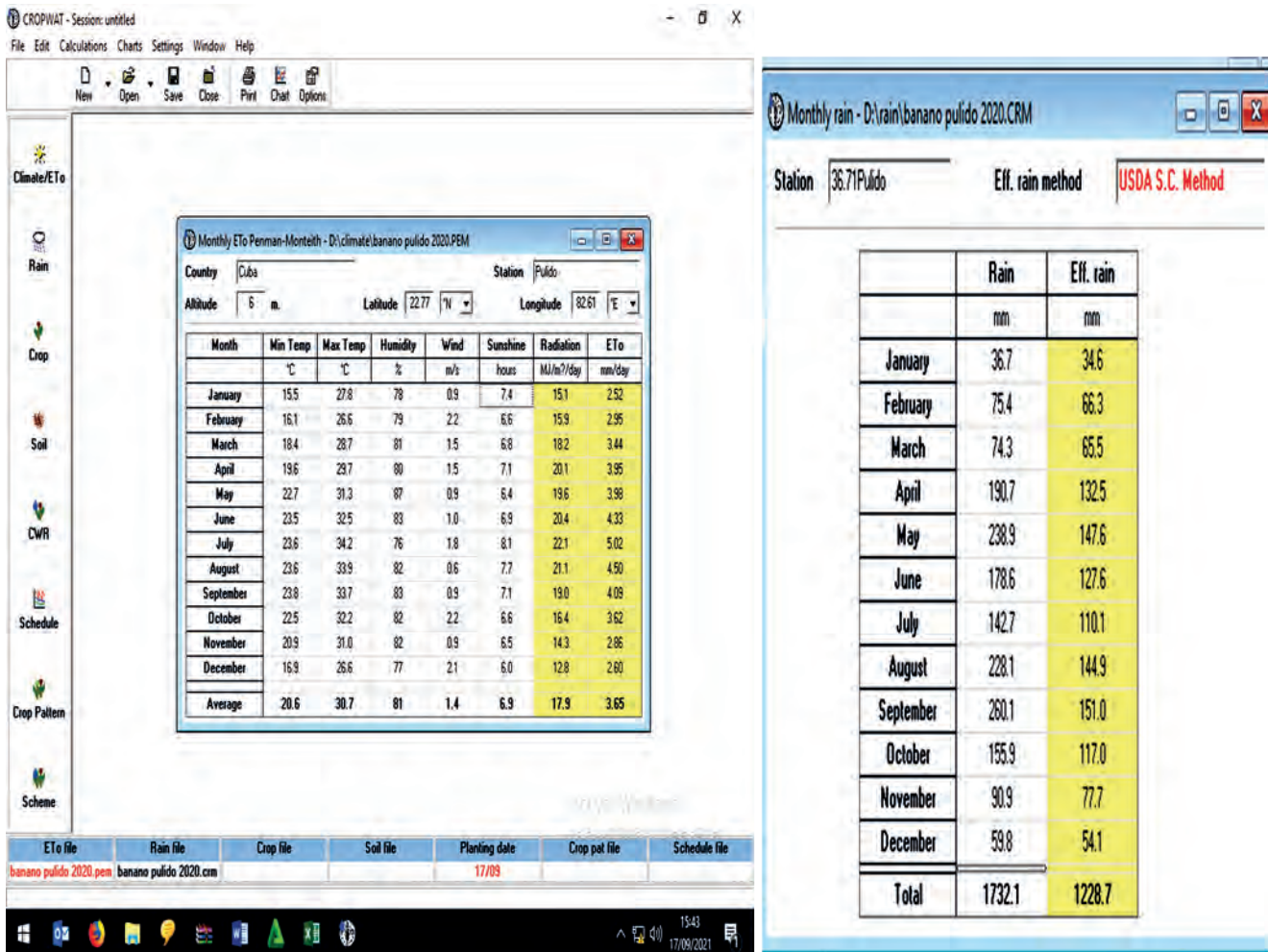


FIGURA 4. Plantilla del programa Cropwat con sus módulos de introducción de datos para las estimaciones de la evapotranspiración de referencia y precipitación efectiva. Tomado de (Allen et al., 2006)).

Para el cálculo de la precipitación efectiva se utilizó el método de USDA representado en la ecuación (1) del Servicio de Conservación de Suelos, incluido en el programa y considerado el apropiado para este efecto, además de ser validada su eficacia al compararlo con el método de Savo (más exacto para condiciones de campo) donde los coeficientes de lluvia efectiva (K_p) para cada mes del año se obtienen de la multiplicación de dos coeficientes denominados m_1 y m_2 (El coeficiente m_1 depende de la pendiente del terreno, la precipitación mensual en mm y las características del suelo, mientras que el coeficiente m_2 depende de la profundidad radicular en metros (ecuación 1). Sin embargo, no existe diferencia significativa entre ambos métodos, por lo que se usa más el del USDA por ser más simplificado (ecuación 2)

Método Savo

$$P_{ef} = P \cdot m_1 \cdot m_2 \quad (1)$$

**Método USDA
USDA SCS (P)**

$$P_e = P_t \left(125 - \frac{0,2 P_t}{125} \right) \text{ Para } P_t < 250 \text{ mm}$$

$$P_e = 125 + 0,1 P_t \text{ Para } P_t > 250 \text{ mm} \quad (2)$$

donde:

Pe Precipitación efectiva

Pt Precipitación total

Elizastigue (2018) comprobó que los métodos de Savo, del Servicio de Conservación de Suelos de EE. UU y de FAO son los que mejor describen la variación de la lluvia aprovechable en un 88, 78 y 95% respectivamente con respecto a los resultados obtenidos con el método del balance hídrico.

Se caracterizaron las zonas y sitios de cada cultivo, según la precipitación y la evapotranspiración de referencia (ET_0), mediante la ecuación de Pearson III (ecuación 3), según la expresión empírica de Pérez y Álvarez (2005), NC 48-35 (1984).

$$P = \left(m - \frac{0,3}{n} + 0,4 \right) \cdot 100 \quad (3)$$

donde:

m: número de orden.

n: número de miembros de la serie

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se calcula la evapotranspiración de referencia y se realiza una comparación entre la regionalizada por el método de Váz-

quez & Solano (2013); R. Vázquez & Solano (2005), adaptado a las condiciones de Cuba y el método de Penman Monteith (Allen et al., 2006). Los mismos se reflejan en la Tabla 3, para tres sitios de Cuba y los años hidrológicos, húmedos, secos y medios según la probabilidad de ocurrencia de las precipitaciones.

Se adecuaron las variables a futuro creadas por el modelo PRECIS para el escenario RCP 4.5 a partir de las generadas

para el RCP Histórico y las lecturas obtenidas en las estaciones seleccionadas. Se establecieron los deltas que permitieron determinar valores proyectados a fechas futuras para la regionalización de las variables en cada una de las localidades, se utilizaron los valores correspondientes a la rejilla y la estación meteorológica más cercana a estas, utilizando los datos promedios anteriormente calculados.

TABLA 3. Relación entre la evapotranspiración de referencia regionalizada (mm) por Vázquez & Solano (2005) y la de Penman Monteith según (Allen et al., 2006)

Sitio	Probabilidad	años	ET _o -Reg.	ET _o -PM	Diferencia	%
Pulido	25%	2021	3,74	3,66	0,08	2
	50%	2041	4,11	3,87	0,24	6
	75%	2027	3,87	3,68	0,19	5
Sanguily	25%	2021	4,06	3,99	0,07	2
	50%	2022	4,18	4,09	0,09	2
	75%	2020	4,33	4,25	0,08	2
Veguitas	25%	2040	4,39	4,31	0,08	2
	50%	2025	4,43	4,32	0,11	2
	75%	2047	4,60	4,06	0,54	12

Existe diferencia en los tres sitios entre las ET_o analizadas, algo sobreestimadas en las regionalizadas calculadas por el método de Vázquez & Solano (2005). Se aprecian más en la zona oriental. Las mismas oscilan entre 2 y 6% en la zona occidental, 2% en la central y entre 2 y 12% en la oriental. Se podría utilizar ésta demanda climática para la determinación de la evapotranspiración de cultivo teniendo en cuenta que la misma tendrá un incremento

de más de un 2% donde el método de Penman Monteith es el que se considera cómo único método estándar para la definición y cálculo de la evapotranspiración de referencia (Allen et al., 2006).

El mismo requiere de datos de radiación, temperatura del aire, humedad atmosférica y velocidad del viento.

Los datos regionalizados de las precipitaciones se comparan con los reales de cada estación como muestra la Figura 5.

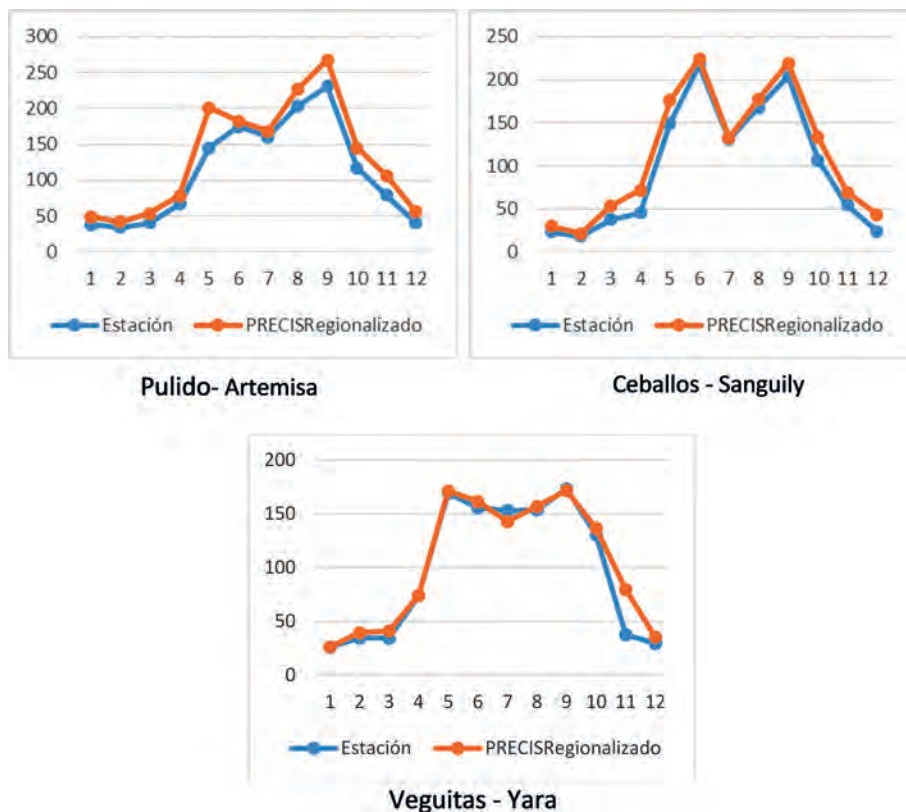


FIGURA 5. Análisis de la precipitación media mensual, Estación (1985-2004) VS PRECIS regionalizado (2020-2050), para cada una de las localidades.

Se evaluaron las precipitaciones, las cuales se reflejan en la Figura 6. De una serie de 31 años desde 2020 hasta 2050 de datos de la lluvia, aportados por el INSMET (2021), se realizó el análisis de probabilidad de ocurrencia de la lluvia, para definir los 3 años de estudio en relación al 25, 50 y 75% de ocurrencia de la lluvia, según la ecuación de Pearson III, de la NC 48-46: 87 (1987), los cuales se presentan en la Figura 6(a) ajustada a una línea de tendencia lineal, (b) a una polinomial y la (c) a una ecuación logarítmica. En los casos analizados el coeficiente de determinación se encuentra entre 0.61 y 0.78. Las proyecciones climáticas para Cuba predicen

un clima más extremo, más cálido y con déficits de agua, que regionalmente pueden ser acentuados según, CITMA (2015 y 2020) y corroborados por Planos-Gutiérrez (2022).

La reducción de la riqueza hídrica es, principalmente, consecuencia del incremento de los procesos de pérdida de agua que se están produciendo, ocasionados por el aumento de la temperatura del aire y de la radiación solar, por cambios en el régimen de precipitación y los impactos que se producen en la cobertura boscosa, junto con otros que vienen ocurriendo en el sistema hidrológico (CITMA-Cuba, 2020).

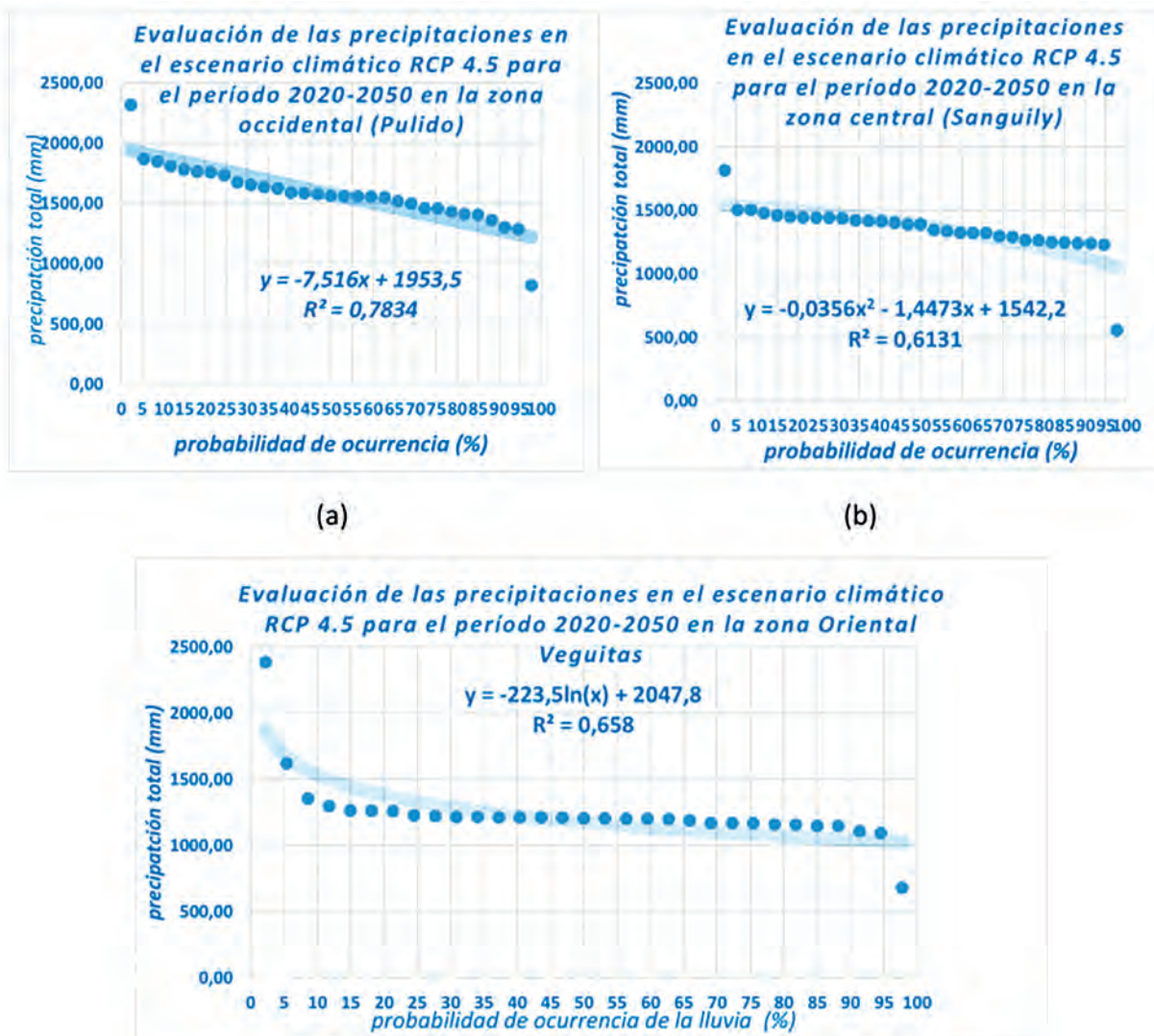


FIGURA 6. Análisis de las precipitaciones en el período 2020-2050.

Esto es precisamente lo que se aprecia en los resultados expresados, aun cuando la representatividad de las precipitaciones se encuentra con un comportamiento diferenciado por regiones, dada las condiciones específicas de variabilidad climática en cada sitio de estudio en Cuba.

La Tabla 4 expresa los años hidrológicos para cada sitio y su correspondencia con el volumen de pluviometría, los cuáles serán los que se utilizarán con sus variables climáticas a futuro hasta el 2050 en el programa Cropwat para la determinación de los requerimientos hídricos y la programación de riego. Esta información será la que se requerirá tener en cuenta para los planificadores y decisores de la distribución del agua a nivel estatal, porque permitirá estar alerta en la posible cuantificación del agua para los usos agropecuarios a nivel de país

La Figura 7, representa la comparación entre las pérdidas y los aportes hídricos en las tres zonas del país vista desde la relación entre la evapotranspiración de referencia (ET_0) calculada por PM y las precipitaciones (P_p)

TABLA 4. Clasificación de los años según la probabilidad de ocurrencia

Sitio	Año hidrológico(% probabilidad de ocurrencia de la lluvia)		
	25 (húmedo)	50(medio)	75(seco)
Pulido	2021 (1732,22 mm)	2041(1560,96 mm)	2027 (1456,37 mm)
Sanguily	2021 (1440,38 mm)	2022 (1387,88 mm)	2020 (1263,82 mm)
Veguitas	2040 (1225,55 mm)	2025 (1202,74 mm)	2047 (1164,80 mm)

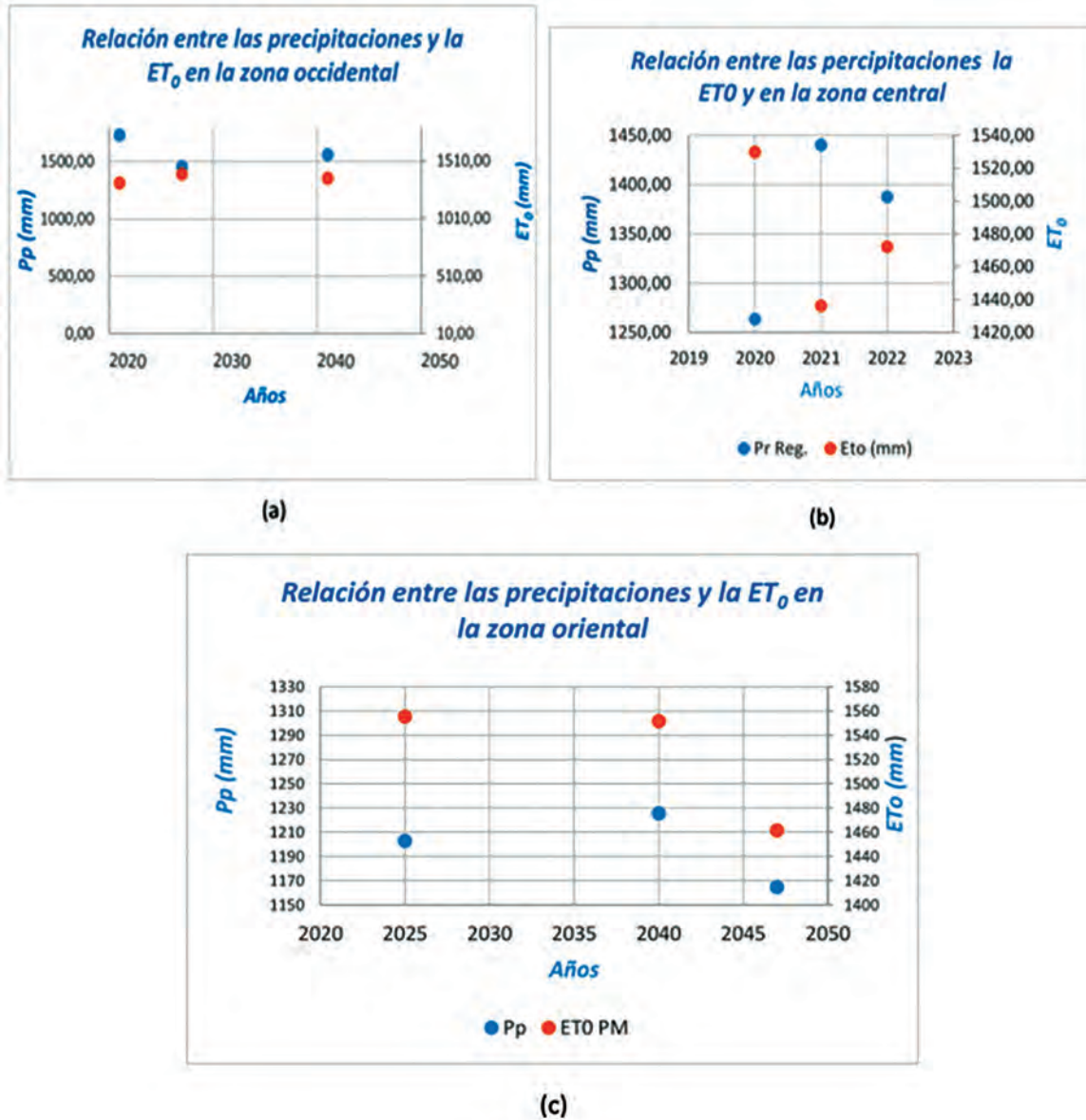


FIGURA 7. Relación entre las precipitaciones y la evapotranspiración de referencia.

Se aprecia que, en la zona occidental, según el sitio de Pulido, contrario a lo esperado, en los tres años descritos, los aportes por precipitaciones superan a las pérdidas de la demanda climática, por lo que se podrá utilizar para manejar el riego de los cultivos en función de las normas establecidas en cada caso. En la zona central representado por la zona de Sanguily, para los años de probabilidad de ocurrencia al 25% (2021- húmedo) y 50% (2022-medio), las precipitaciones superan a la evapotranspiración de referencia, pero al 75% de la probabilidad para el año 2020 o seco,

el comportamiento se hace diferenciado donde la ET_0 supera a las lluvias. El manejo del agua para el riego se hará diferenciado según la disponibilidad real en el análisis de la zona oriental, para los tres años hidrológicos seleccionados según la probabilidad de ocurrencia de las lluvias, la ET_0 , supera a las precipitaciones, lo cual indica un balance hídrico negativo, donde hay que hacer un uso más eficiente del agua disponible para el riego.

Según Planos-Gutiérrez (2021), desde el punto de vista científico y aplicado, el principal problema para la adaptación

radica en la incertidumbre que a mediano y largo plazos tienen los escenarios climáticos futuros obtenidos para los escenarios socioeconómicos de mitigación definidos por el IPCC (SRES1 y RCP2), pero la adaptación al cambio climático es, además de un reto, una necesidad imperiosa y una responsabilidad de país, que debe ser asumida con el apoyo de la ciencia

En la Tabla 5 se aprecia la relación entre la precipitación total a futuro para los diferentes años y sitios de estudio con la precipitación efectiva determinada por USDA-FAO con el programa CROPWAT v. 8.0, donde autores como Elizastigue

(2018) plantean que los métodos de Savo (el más exacto para las condiciones de campo), el del Servicio de Conservación de Suelos de EE.UU y la FAO son los que mejor describen la variación de la lluvia aprovechable en un 88, 78 y 95% respectivamente con respecto a los resultados obtenidos con el método del balance hídrico.

La misma evidencia la futura disponibilidad de agua con posibilidad de ser usada para usos agrícolas de ese total caído, independientemente de la incertidumbre que conlleva la modelación de las variables climática y en especial las precipitaciones.

TABLA 5. Relación entre la precipitación total y efectiva para los diferentes sitios y años

Sitios	Año	Año Hidrológico	Precipitación Total (mm)	Precipitación efectiva (mm)	Diferencia	% Pe/Pt
Pulido- Artemisa	2021	Húmedo (25%)	1732,22	1228,7	503,52	70
	2041	Medio (50%)	1560,96	1051,8	509,16	67,38
	2027	Seco (75%)	1456,37	1042,5	413,87	71,58
Sanguily- C. Ávila	2021	Húmedo (25%)	1440,38	1069	371,38	74,22
	2022	Medio (50%)	1387,88	1012,3	375,88	72,94
	2020	Seco (75%)	1263,82	954	309,82	75,48
Veguitas- Granma	2040	Húmedo (25%)	1225,55	942,1	283,45	76,87
	2025	Medio (50%)	1202,74	942,1	260,64	78,33
	2047	Seco (75%)	1164,8	919,6	245,2	78,95

En el sitio de Pulido, Artemisa, la lluvia aprovechable se encuentra entre 67,38 y 71,58% de la total, con más de 400 mm de diferencia (413,87-509,16 mm). Además, el mayor valor se aprecia en el año seco. En Sanguily, las precipitaciones aprovechables están por encima de los 300 mm y como valor máximo 371,38 mm y las de Veguitas tienen como valor mayor 283,45 mm y menor de 245,2 mm. Este comportamiento es probablemente asociado a la mayor pérdida de agua por escurrimiento y evaporación en las zonas central y oriental. Existe coincidencia en que en el año seco de todos los sitios habrá mayor precipitación efectiva, independientemente que los suelos de Pulido y Sanguily son Ferralíticos y el de veguitas es Aluvial.

En Pulido como representación de la parte occidental se aprecia mayor diferencia entre las precipitaciones evaluadas en relación Sanguily (centro) y Veguitas (oriente), aunque porcentualmente en éste último caso habrá mayor efectividad de las precipitaciones, con independencia de los valores puntuales para cada sitio que están por debajo de las necesidades hídricas de cualquier cultivo. Planos-Gutiérrez (2022), asegura que una de las afectaciones de la disponibilidad de agua se acentúa por la influencia del cambio climático, aun no bien determinada, en la recarga de los acuíferos.

El autor realizó un balance hídrico climático a escala de país basado en métodos hidrológicos tradicionales, utilizando el modelo de Budyko para la línea base 1961-1990 (1271,1mm) y los escenarios climáticos obtenidos con el

modelo regional "PRECIS". Se demuestra que en Cuba se está produciendo una reducción de los recursos hídricos potenciales, que se incrementará a futuro, tal como se aprecian en los resultados anteriores, donde las precipitaciones tendrán un valor en el entorno de los 1269,8 mm hasta el 2030, siendo éstos mucho más bajo que los obtenidos en el presente trabajo, posiblemente a la utilización de variables por zonas independientes del país.

Por otra parte, según Martínez et al. (2021), refieren que las precipitaciones constituyen la variable con mayor variación porcentual en los diversos escenarios climáticos con un aumento en 2030, del 18%, 20% y 19% para RCP 2,6%, 4,5% y 8,5% y hacia el 2050 se incrementará entre 25, 12 y 20%.

CONCLUSIONES

- En la caracterización climática a futuro, con la modelación en el programa CROPWAT, según escenario RCP 4.5 del modelo PRECIS, la evapotranspiración de referencia por el método Penman Monteith, tuvo variación en las tres zonas estudiadas con respecto al método de Vázquez y Solano oscilando entre 2 y 6% (Pulido) en la zona occidental, 2% (Sanguily) en la central y entre 2 y 12% en la oriental (Veguitas), las cuales podrían ser utilizadas para la determinación de la evapotranspiración de cultivo teniendo en cuenta que la misma tendrá un incremento de más de un 2%.

- De una serie de 31 años hasta 2050 de datos de la caracterización de la precipitación los resultados difieren según la región y anómala como manifestación del cambio climático, tal el caso de occidente por la utilización solo del modelo PRECIS. En el análisis de probabilidad de ocurrencia de los 3 años de estudio al 25, 50 y 75%, se ajustaron a una línea de tendencia lineal, polinomial y logarítmica para las zonas occidental, central y oriental respectivamente, con coeficientes de determinación entre 0.61 y 0.78.
- En la zona occidental, de Pulido, en los tres años descritos, los aportes por precipitaciones superan a las pérdidas de la demanda climática, por lo que se podrá utilizar para manejar el riego de los cultivos en función de las normas establecidas en cada caso. En la zona central representado por la zona de Sanguily, al 75% de la probabilidad para el año 2020 o seco, el comportamiento se hace diferenciado donde la ETO supera a las lluvias y en la zona oriental, para los tres años hidrológicos seleccionados según la probabilidad de ocurrencia de las lluvias, la ET_0 , supera a las precipitaciones, lo cual indica un balance hídrico negativo, donde hay que hacer un uso más eficiente del agua disponible para el riego
- La disponibilidad de agua a futuro del total caído, con posibilidad de ser usada en la agricultura, independientemente de la incertidumbre que conlleva la modelación de las variables climáticas estudiadas para el balance hídrico y en especial las precipitaciones, en el sitio de Pulido, Artemisa, la lluvia aprovechable se encontrará entre 67,38 y 71,58% del total, con más de 400 mm de diferencia (413.87-509,16 mm), con el mayor valor en el año seco. En Sanguily, las precipitaciones aprovechables estarán por encima de los 300 mm entre 72,94 y 75,48% y con valor máximo 371,38 mm y las de Veguitas entre 78,33 y 78,95%, con valor mayor 283,45 mm y menor de 245,2 mm

RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar con los estudios utilizando otros modelos con igual escenario RCP 4.5 y demás escenarios no estudiados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. *FAO*, 298, Roma, Italia.
- Bonilla, A. (2016). *Modelos de simulación y herramientas de modelaje Elementos conceptuales y sistematización de herramientas para apoyar el análisis de impactos de la variabilidad y el cambio climático sobre las actividades agrícola*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Resiliencia, Proyecto Insignia, Unión Europea.
- Castillo, R., Montero, R., & Rica, C. (2017). Proyecciones de cambio climático del sistema ártico basado en el análisis de multi-modelos de los escenarios de emisiones de CO₂. *Revista de climatología*, 17, 29-39, ISSN: 1578-8768. [reclim17c.pdf](#)
- Centella, A., Llanes, J., & Paz, L. (2001). *Primera Comunicación Nacional a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC)*. Fondo para el Medio Ambiente Mundial, PNUD.
- Centella, A., Llanes, J., & Paz, L. (2015). *Segunda Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático* (p. 228). Grupo Nacional de Cambio Climático-Instituto de Meteorología. <https://unfccc.int/documents/104917>
- CITMA-Cuba. (2020). *Tercera Comunicación Nacional a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático*, extraído de: "Tercera Comunicación Nacional a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (IPCC)" (p. 45). Grupo Nacional de Cambio Climático-Instituto de Meteorología; 10/12/2020. <https://unfccc.int/documents/266604>
- Elizastigue, S. Y. (2018). *Evaluación de la lluvia efectiva con diferentes métodos empíricos, Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE)*, Eng [Trabajo de Diploma presentado en opción al título de Ingeniero Hidráulico]. Universidad tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría CUJAE, Facultad de Ingeniería Hidráulica, La Habana, Cuba.
- Martínez, M., Sánchez, L. M., & Echarri, C. M. (2021). Impactos del cambio climático en el destino turístico cubano Gíbara-Guardalavaca. *Revista Internacional de Turismo, Empresa y Territorio. RITUREM* N° 9, 5(1), 100-112, ISSN: 2530-7134. <https://doi.org/10.21071/riturem.v5i1.13174>
- Medina, G. G., Ruiz, C. J. A., Rodríguez, M. V. M., Soria, R. J., Díaz, P. G., & Zarazúa, V. P. (2016). Efecto del cambio climático en el potencial productivo del frijol en México. *Revista mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(SPE13), 2465-2474.
- NC 48-46: 87. (1987). *Régimen de riego de Proyecto. Método de Cálculo* [Norma cubana]. Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba.
- Planos-Gutiérrez, E. O. (2014). *Síntesis informativa sobre impactos del cambio climático y medidas de adaptación en Cuba* (AMA). Editorial AMA, La Habana, Cuba, ISBN: 959-300-044-5.
- Planos-Gutiérrez, E. O. (2021). *Recomendaciones para una estrategia de adaptación al cambio climático en el contexto de la tarea vida. 3era Comunicación de Cuba* [Comunicación], La Habana, Cuba.
- Planos-Gutiérrez, E. O. (2022). Aproximación a los recursos hídricos potenciales en Cuba al 2030. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 43(1), 48-62, versión impresa ISSN 1680-0338 versión On-line ISSN 2788-6050.
- Vargas, R. del C., Sánchez, G., & Rolón, J. (2018). *Proyecciones de cambio en la precipitación mediante Vías De Concentración Representativas a Nivel Cuenca* (pp. 1-16). División de Estudios de Posgrado e Investigación. Facultad de Ingeniería "Arturo Narro Siller", Universidad Autónoma de Tamaulipas, México.
- Vázquez, R. J., & Solano, O. J. (2013). Modelación espacial de la lluvia y la evapotranspiración teniendo en cuenta parámetros geográficos. *Revista Ciencias de la Tierra y el Espacio*, 14(1), 80-90.
- Vázquez, R., & Solano, O. (2005). *Interpolación espacial de datos agroclimáticos*. Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba.

Chaterlán-Durruthy *et al.*: Caracterización a futuro de las precipitaciones y la evapotranspiración de referencia, en diferentes zonas de Cuba

Yoima Chaterlán-Durruthy, Inv. Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba, e-mail: yoima.chaterlan@iagric.minag.gob.cu, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8453-3394>

Carmen E. Duarte-Díaz, Inv. Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba, e-mail: carmen.duarte@@iagric.minag.gob.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-7887-6289>

Luis Hirán Riverol Marrero Inv. Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba, e-mail: Luis.Riverol@iagric.minag.gob.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-9298-1034>

Elisa Zamora Herrera, Inv. Auxiliar, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba, e-mail: Eliza.Zamora@iagric.minag.gob.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-6840-5085>

CONTRIBUCIONES DE AUTOR:

Conceptualización: C. Duarte. Curación de datos: C. Duarte y Y. Chaterlán. Análisis formal: D. C. Duarte y Y. Chaterlán. Investigación: C. Duarte, Y. Chaterlán, L.H.Riverol y E. Zamora. Metodología: C. Duarte, L.H.Riverol y E. Zamora. Supervisión: C. Duarte. Validation: C. Duarte, Y. Chaterlán, L.H.Riverol y E. Zamora. Redacción–borrador original: C. Duarte y Y. Chaterlán. Redacción–revisión y edición: C. Duarte y Y. Chaterlán.

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra sujeto a la Licencia de Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.