

Bài báo khoa học

Nghiên cứu khả năng sử dụng số liệu mưa vệ tinh độ phân giải cao trong mô phỏng dòng chảy trên lưu vực sông thiếu số liệu

Trần Bảo Chung^{1*}, Trần Anh Phương¹, Trần Thị Diệu Hằng¹, Nguyễn Nam Anh¹, Hoàng Thị An¹, Siliennis Blanco Campbell²

¹ Viện Khoa học tài nguyên nước - WRI: chungtb26tlu@gmail.com; phuongtran.monre@gmail.com; hangtd1001@gmail.com; namanh.luna@gmail.com; anht510@wru.vn

² National Institute of Hydraulic Resources of Cuba- INRH; siliennis.blanco@hidro.gob.cu

*Tác giả liên hệ: chungtb26tlu@gmail.com; Tel.: +84-337136556

Ban biên tập nhận bài: 5/8/2023; Ngày phản biện xong: 21/9/2023; Ngày đăng bài: 25/10/2023

Tóm tắt: Hiện nay sản phẩm mưa CHIRPS đang được sử dụng rộng rãi trong mô phỏng dòng chảy trên các lưu vực sông thiếu số liệu quan trắc. Tuy nhiên, để sử dụng các sản phẩm mưa này cho một lưu vực sông cụ thể, độ tin cậy và chính xác của chúng cần phải được đánh giá. Nghiên cứu đã so sánh mưa CHIRPS với mưa trạm để đánh giá độ tin cậy và sử dụng nó làm đầu vào cho mô hình SWAT mô phỏng quá trình dòng chảy trên lưu vực. Công cụ SWAT-CUP được sử dụng để thực hiện quá trình hiệu chỉnh mô hình tự động và tối ưu hóa các tham số mô hình. Kết quả nghiên cứu cho thấy lượng mưa trung bình tháng CHIRPS có tương quan ở mức chấp nhận được với lượng mưa tại các trạm (hệ số tương quan lớn hơn 0,6). Kết quả mô phỏng dòng chảy trên lưu vực sông La Plata sử dụng mưa CHIRPS làm đầu vào cho kết quả tương đối tốt ở giai đoạn hiệu chỉnh ($R^2 = 0,76$, $NSE = 0,66$ và $PBIAS = 23,18\%$) và chấp nhận được ở giai đoạn kiểm định ($R^2 = 0,63$, $NSE = 0,57$ và $PBIAS = 20,39\%$). Nghiên cứu này đã cho thấy tiềm năng to lớn của mưa CHIRPS trong mô phỏng quá trình dòng chảy trên các lưu vực sông thiếu/không có số liệu quan trắc.

Từ khoá: Dòng chảy; CHIRPS; SWAT Model; SWAT-CUP; Thiếu số liệu.

1. Giới thiệu

Mưa là một thành phần chính của chu trình thủy văn [1], là đầu vào chính cho các nghiên cứu thủy văn, nông nghiệp, biến đổi khí hậu và môi trường [2–3]. Tuy nhiên, dữ liệu mưa tại các trạm trong nhiều trường hợp không đảm bảo yêu cầu do nhiều nguyên nhân như trạm mưa phân bố không đều hoặc không có trạm đo mưa, không đủ bao phủ toàn bộ khu vực nghiên cứu, các trạm có lịch sử quan trắc ngắn, không đầy đủ dữ liệu đo hoặc có thể bị ảnh hưởng bởi yếu tố tác động bên ngoài [4]. Để bổ sung dữ liệu, các sản phẩm mưa vệ tinh toàn cầu nguồn mở đã và đang được sử dụng rộng rãi như là một giải pháp thay thế, bổ sung cho dữ liệu mưa trạm. Các sản phẩm này có lợi thế so với các trạm mặt đất về độ phân giải không gian và phạm vi bao phủ cũng như khả năng tiếp cận. Do đó nguồn dữ liệu mưa này sẽ là nguồn dữ liệu tiềm năng cho các khu vực có dữ liệu quan trắc thưa thớt hoặc không có dữ liệu [5]. Tuy nhiên, để đánh giá tính hiệu quả của chúng đối với một khu vực cụ thể, dữ liệu mưa vệ tinh cần phải được đánh giá về độ tin cậy so với dữ liệu mặt đất [6]. Hiện nay, các bộ dữ liệu lượng mưa dạng lưới trên thế giới tương đối phong phú được nhiều Cơ quan khác nhau phát triển như TRMM, GPM, GSMAP... Tuy nhiên, các sản phẩm mưa vệ tinh này có

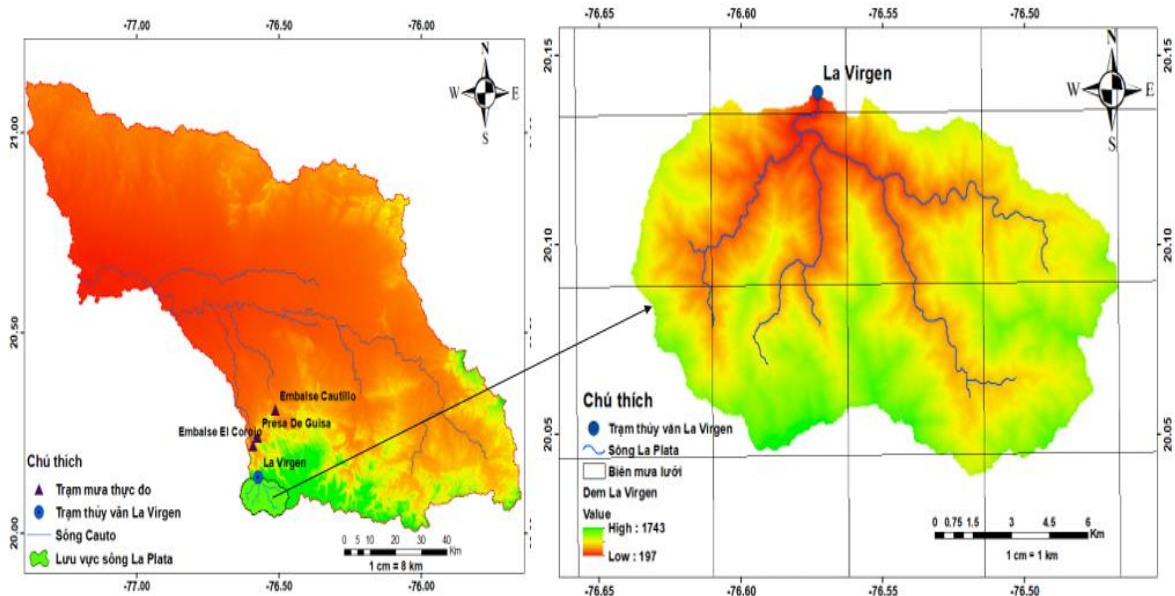
Tạp chí Khí tượng Thủy văn **2023**, 754, 59-70; doi:10.36335/VNJHM.2023(754).59-70 <http://tapchikttv.vn/>

độ phân giải không gian tương đối lớn, do đó khó phản ánh đầy đủ sự biến đổi không gian của lượng mưa đối với các khu vực tương đối nhỏ như khu vực nghiên cứu của bài báo này. Vì vậy, nghiên cứu đã lựa chọn sử dụng sản phẩm mưa được xác định từ dữ liệu vệ tinh hồng ngoại và đã được hiệu chỉnh với dữ liệu mưa trạm đo toàn cầu được cung cấp bởi các quốc gia (CHIRPS) được phát triển bởi trung tâm nghiên cứu về hiểm họa khí hậu thuộc Đại học California, Santa Barbara, Hoa Kỳ. Sản phẩm CHIRPS nổi bật với khả năng cung cấp dữ liệu mưa hàng ngày độ phân giải không gian tốt $0,05^\circ$ (trương đương kích thước ô lưới $5 \times 5 \text{ km}^2$) từ năm 1981 đến nay. Độ phân giải không gian cao cho phép CHIRPS phản ánh tốt biến động theo không gian của lượng mưa và tạo thuận lợi cho nghiên cứu quá trình thủy văn ở các lưu vực có quy mô nhỏ. Một số nghiên cứu trên thế giới đã đánh giá sản phẩm mưa CHIRPS cho kết quả tương đối tốt như Thổ Nhĩ Kỳ [7]; ở Síp [8], Argentina [9]... Các kết quả đánh giá chỉ ra rằng CHIRPS phù hợp và tương quan cao với số liệu mưa trạm. So với các sản phẩm mưa vệ tinh toàn cầu khác, mưa CHIRPS có độ chính xác tương đối cao, chuỗi số liệu dài và độ phân giải không gian lớn [10]. Ở trong nước, các nghiên cứu đánh giá sản phẩm mưa CHIRPS cũng đã được thực hiện. Chẳng hạn, nghiên cứu đánh giá chất lượng dữ liệu mưa CHIRPS tại khu vực tỉnh Ninh Thuận và Bình Thuận cho thấy CHIRPS phản ánh tương quan tốt với mưa trạm tại các trạm Tân Mỹ, Sông Lũy tuy nhiên độ sai lệch về giá trị vẫn tương đối lớn giữa 2 nguồn dữ liệu. Nghiên cứu khác đánh giá và so sánh các dữ liệu mưa vệ tinh độ phân giải cao trên lưu vực sông Cả đã chỉ ra rằng mưa CHIRPS thể hiện khá tốt phân bố mưa ở khu vực đồng bằng, duyên hải và thể hiện tốt phân bố mưa ở khu vực phía Tây và Tây Nam của khu vực miền núi [11–12].

Lưu vực được lựa chọn trong nghiên cứu này là lưu vực sông La Plata nằm trên khu vực núi cao tiếp ở miền nam Cuba với lượng mưa biến động theo không gian và thời gian tương đối lớn. Tuy nhiên, hiện trên lưu vực không có trạm đo mưa nào đang hoạt động, gây khó khăn cho việc tính toán mô phỏng quá trình dòng chảy trên lưu vực. Do đó, mục tiêu của nghiên cứu này là đánh giá khả năng sử dụng của mưa vệ tinh CHIRPS trong mô phỏng dòng chảy hàng ngày trên lưu vực. Để đạt được mục tiêu này, nghiên cứu tập trung vào 2 nội dung chính: (1) So sánh giá trị lượng mưa của sản phẩm CHIRPS với dữ liệu mưa trạm; (2) Đánh giá hiệu quả mưa CHIRPS trong mô phỏng dòng chảy trên lưu vực sông La Plata sử dụng mô hình SWAT và công cụ SWAT-CUP trong đó lưu lượng tính toán từ mô hình SWAT sẽ được so sánh với lưu lượng thực đo tại trạm thủy văn La Virgen. Đây là nghiên cứu đầu tiên đánh giá khả năng ứng dụng mưa lưới toàn cầu trong mô phỏng dòng chảy trên lưu vực sông La Plata. Đồng thời, việc sử dụng công cụ SWAT-CUP giúp tự động hóa quá trình hiệu chỉnh mô hình, tối ưu hóa sự phù hợp giữa dòng chảy thực đo và mô phỏng sử dụng số liệu mưa CHIRPS. Kết quả của nghiên cứu sẽ làm cơ sở cho việc sử dụng mưa vệ tinh trong đánh giá thủy văn, tài nguyên nước trên lưu vực sông La Plata nói riêng và cả Cuba nói chung, nơi mật độ các trạm đo mưa còn tương đối thưa thớt.

2. Phương pháp nghiên cứu và số liệu sử dụng

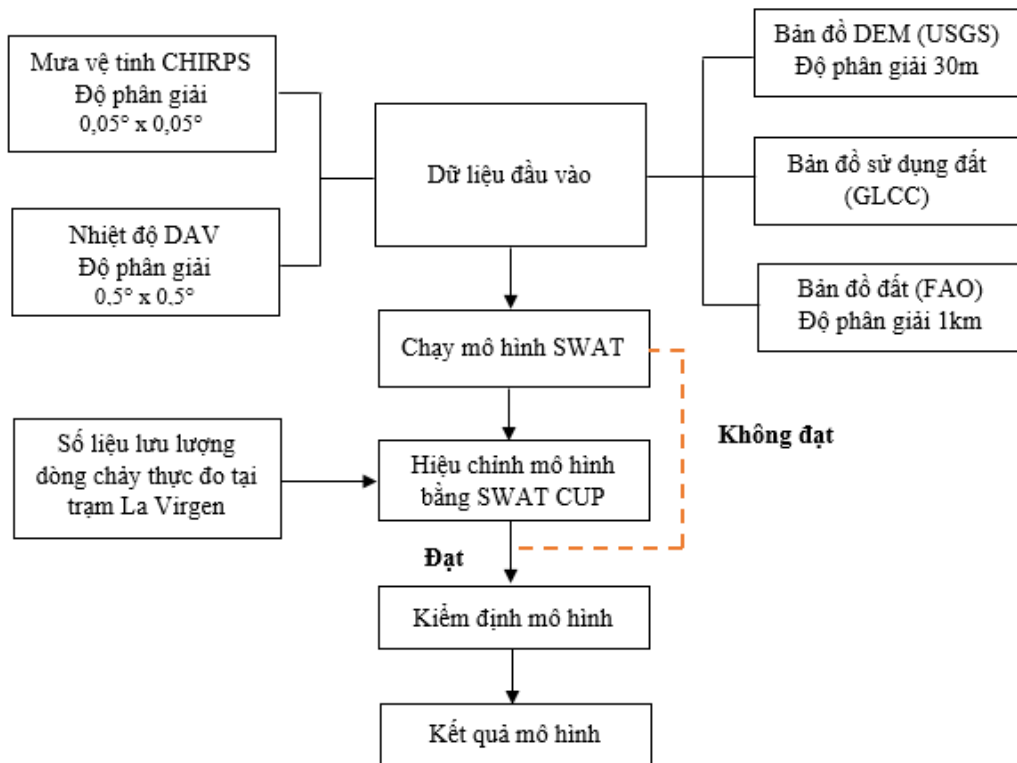
Sông La Plata bắt nguồn từ dãy núi Pico La Bayamesa chảy về sông Bayamo ở hạ lưu. Sông là nhánh cấp 1 của sông Bayamo, nhánh phụ cấp 2 sông Cauto. Vị trí địa lý từ $20,01^\circ$ đến $20,15^\circ$ vĩ độ Bắc và $76,45^\circ$ đến $76,65^\circ$ kinh độ Tây, phía bắc giáp Guisa, phía Nam gần biển Caribe có diện tích lưu vực $141,95 \text{ km}^2$ (Hình 1). Địa hình lưu vực tương đối cao với độ dốc lớn ($>10^\circ$). Khí hậu lưu vực là khí hậu nhiệt đới ẩm với lượng mưa trung bình hàng năm khoảng 1770 mm trong đó lượng mưa mùa mưa chiếm tới 70%. Nhiệt độ trung bình hàng năm trong khoảng từ 26 đến 30°C trong đó nhiệt độ cao nhất lên đến $36-40^\circ\text{C}$. Nguồn sinh thủy của lưu vực nằm ở dãy núi Pico La Bayamesa với lớp thảm phủ chủ yếu là rừng rậm, đất mùn là loại đất chủ yếu. Các đặc điểm về điều kiện tự nhiên và phân bố mưa này sẽ tác động trực tiếp đến chế độ dòng chảy lưu vực sông La Plata.



Hình 1. Phân bố các trạm khí tượng và thủy văn, điều kiện địa hình của lưu vực sông La Plata.

2.1. Phương pháp nghiên cứu

Trong nghiên cứu này bài báo tập trung vào đánh giá chất lượng mưa vệ tinh CHIRPS qua so sánh với các trạm đo mưa có vị trí gần lưu vực nghiên cứu và sử dụng nó làm đầu vào cho mô hình SWAT mô phỏng dòng chảy trên lưu vực sông La Plata. Ngoài dữ liệu mưa CHIRPS, nghiên cứu cũng sử dụng các dữ liệu nguồn mở khác (nhiệt độ, địa hình, thảm phủ, loại đất) đưa vào sử dụng cho mô hình SWAT. Đồng thời, để hiệu chỉnh mô hình SWAT cho lưu vực sông La Plata, công cụ hiệu chỉnh tự động SWAT-CUP với thuật toán SU-FI 2 được áp dụng trong nghiên cứu (Hình 2).



Hình 2. Sơ đồ các bước đánh giá số liệu mưa CHIRPS trong mô phỏng dòng chảy sử dụng mô hình SWAT và công cụ SWAT-CUP.

2.2. Dữ liệu

2.2.1. Dữ liệu mưa thực đo

Dữ liệu mưa thực đo được cung cấp bởi Cơ quan quản lý tài nguyên nước quốc gia Cuba (*National Institute of Hydraulic Resources of Cuba- INRH*) tại các trạm Pr. Corojo, Pr. Guisa, Pr. Cautillo trong giai đoạn 2000-2020 (Bảng 1). Đây là các trạm đo mưa có vị trí gần lưu vực nghiên cứu nhất. Các trạm này sẽ được dùng để đánh giá dữ liệu mưa CHIRPS.

Bảng 1. Thông tin của các trạm khí tượng.

Trạm	Giai đoạn	Kinh độ	Vĩ độ	Độ cao (m)	Mưa trung bình năm (mm)
Pr. Corojo	2000 - 2020	-76°35'	20°13'	150	1775
Pr. Guisa	2000 - 2020	-76°34'	20°14'	95	1762
Pr. Cautillo	2000 - 2020	-76°30'	20°18'	130	1837

2.2.2. Dữ liệu mưa CHIRPS

Dữ liệu lượng mưa CHIRPS là bộ dữ liệu lượng mưa toàn cầu có từ năm 1981 đến nay. CHIRPS là sản phẩm kết hợp giữa dữ liệu từ trạm khí tượng quan sát theo thời gian thực với dữ liệu vệ tinh hồng ngoại để ước tính lượng mưa toàn cầu. Dữ liệu có độ phân giải không gian 0,05° cung cấp số liệu mưa hàng ngày. Bộ dữ liệu mở cho phép người dùng sử dụng tại địa chỉ <https://app.climateengine.org/climateEngine/>. Bài báo sử dụng bộ dữ liệu này trong giai đoạn từ 2000-2020 để phục vụ nghiên cứu.

2.2.3. Các chỉ số đánh giá độ tin cậy của số liệu mưa CHIRPS

Để đánh giá độ tin cậy của mưa vệ tinh CHIRPS, nghiên cứu áp dụng chỉ số thống kê: Trung bình bình phương quân phương (*RMSE*) mức độ sai khác trung bình giữa dữ liệu lượng mưa thực đo và vệ tinh; độ lệch tương đối (*BIAS*) và sai số trung bình (*ME*) đánh giá mức độ thiên lệch của dữ liệu lượng mưa thực đo và vệ tinh; hệ số tương quan (*CC*) đại diện cho mức độ tương quan của 2 dữ liệu. Bảng 2 trình bày biểu thức xác định các chỉ số này.

Bảng 2. Các chỉ số thống kê đánh giá sản phẩm CHIRPS.

Chỉ số thống kê	Đơn vị	Phương trình	Điểm hoàn hảo
Hệ số tương quan (CC)	-	$CC = \frac{\sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})(S_i - \bar{S})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}}$	1
Lỗi bình phương trung bình gốc (RMSE)	mm	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - G_i)^2}$	0
Sai số trung bình (ME)	mm	$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - G_i)$	0
Xu hướng tương đối (BIAS)	%	$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - G_i)}{\sum_{i=1}^n G_i}$	0

Trong đó G_i là lượng mưa thực đo, S_i là lượng mưa vệ tinh từ CHIRPS, \bar{G} là lượng mưa trung bình thực đo, \bar{S} là lượng mưa trung bình vệ tinh.

2.2.4. Mô hình thủy văn SWAT

SWAT là mô hình thủy văn phân phối phát triển bởi Trung tâm dịch vụ nghiên cứu nông nghiệp (*Agricultural Research Service*) thuộc Bộ Nông nghiệp Hoa Kỳ (*United States*

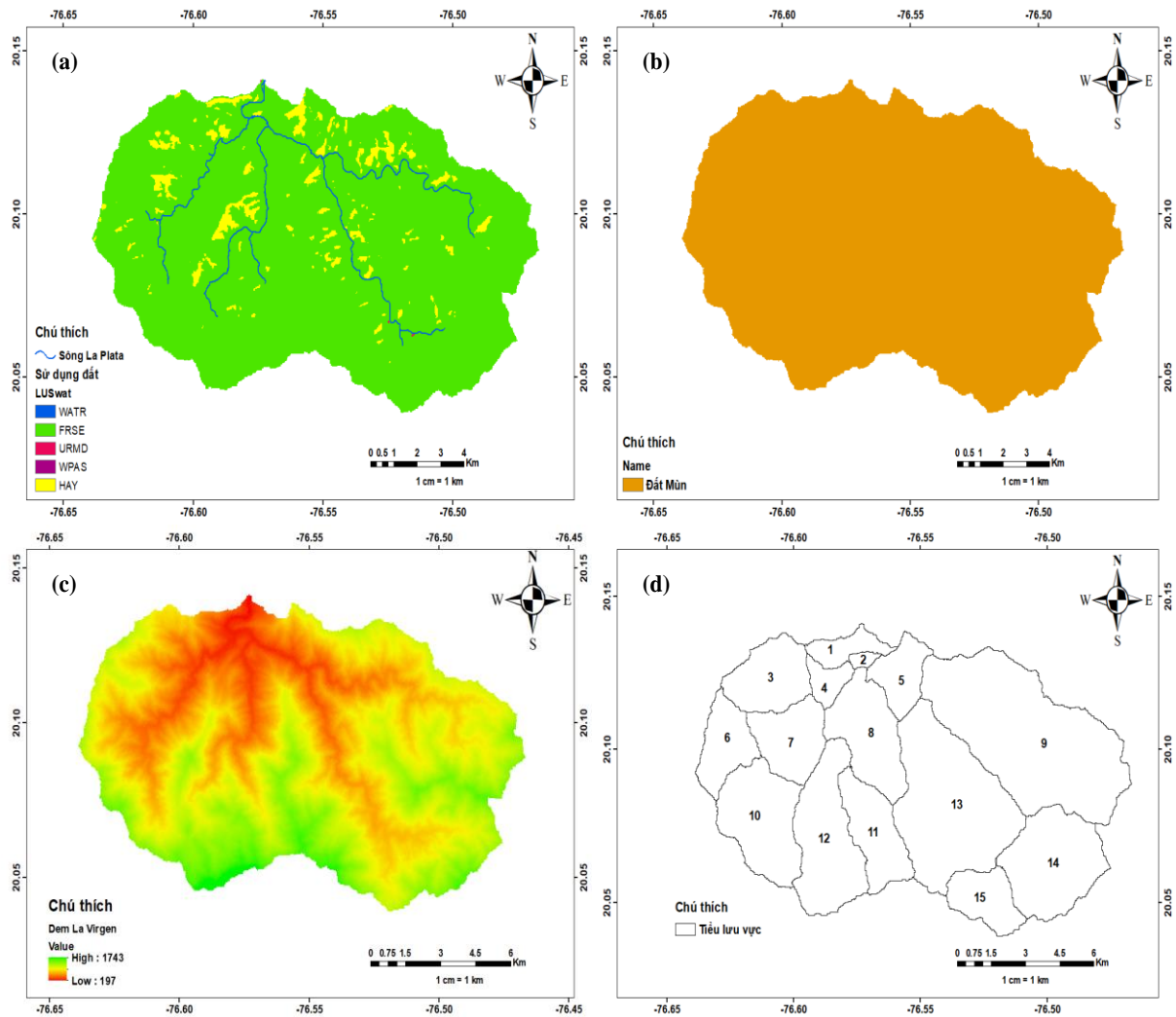
Department of Agriculture) và Đại học Texas A&M, Hoa Kỳ vào đầu những năm 1990 với mục đích dự báo những ảnh hưởng của công tác quản lý sử dụng đất đến chu trình thủy văn, quá trình bồi lắng và chất lượng nước do hoạt động nông nghiệp gây ra trên những lưu vực rộng lớn và phức tạp trong khoảng thời gian dài. Một trong những mô-đun chính của mô hình này là mô phỏng dòng chảy từ mưa.

2.2.5. Thiết lập mô hình SWAT

SWAT yêu cầu dữ liệu địa hình, sử dụng đất, mưa, nhiệt độ làm đầu vào để mô phỏng quá trình dòng chảy trên lưu vực. Các nguồn dữ liệu này được thu thập cụ thể như sau:

- Dữ liệu địa hình: Mô hình độ cao số (DEM) độ phân giải 30m × 30m Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (<https://srtm.csi.cgiar.org/>) phục vụ xác định lưu vực, độ dốc của các tiểu lưu vực sông, xây dựng mạng lưới sông.
- Dữ liệu thảm phủ: Được lấy từ Liên đoàn địa chất Mỹ (USGS) và được thống kê tại Bảng 4 và Hình 3a.
- Dữ liệu loại đất: Được lấy từ tổ chức nông lương Liên hợp quốc (FAO) và được thống kê ở Bảng 5 và Hình 3b.
- Dữ liệu nhiệt độ: POWER Data Access Viewer v2.0.0 của Cơ quan vũ trụ Mỹ (NASA).
- Dữ liệu lưu lượng dòng chảy để hiệu chỉnh và kiểm định mô hình được cung cấp từ cơ quan tài nguyên nước Cuba (IRNH).

Mô tả chi tiết và nguồn của các dữ liệu được cung cấp trong Bảng 3.



Hình 3. Bản đồ sử dụng đất (3a), bản đồ loại đất (3b), bản đồ DEM (3c), bản đồ phân chia tiểu lưu vực (3d) lưu vực sông La Plata.

Bảng 3. Nguồn dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu.

Dữ liệu	Độ phân giải	Nguồn
DEM	Bản đồ phân giải 30 m	US Geological Survey (USGS) National Elevation Dataset
Bản đồ sử dụng đất	Cơ sở dữ liệu vectơ	USGS Global Land Cover Characterization (GLCC)
Bản đồ đất	Bản đồ có độ phân giải 1 km	FAO soil and land legacy maps
Dữ liệu nhiệt độ	Độ phân giải 0,5° × 0,5° (2018-2022)	POWER Data Access Viewer (DAV)
Lưu lượng dòng chảy	Trạm quan trắc La Virgen (thời gian ngày)	National Institute of Hydraulic Resources of Cuba - INRH

Bảng 4. Các loại hình sử dụng đất tại lưu vực sông La Plata.

STT	Loại hình sử dụng đất	Mã SWAT	Diện tích (ha)
1	Sông suối	WATR	7,2
2	Đất rừng xanh	FRSE	27.044,1
3	Đất đô thị dân cư trung bình	URMD	3,1
4	Đất đồng cỏ mùa đông	WPAS	0,2
5	Đất đồng cỏ	HAY	1336,3

Bảng 5. Các loại hình đất khu vực tại lưu vực sông La Plata.

Tên loại hình đất	Mã SWAT	Diện tích (ha)
Đất mùn	LOAM	28.390,8

2.2.6. Quy trình hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

Mô hình SWAT được chạy với bộ dữ liệu lượng mưa CHIRPS để đánh giá khả năng sử dụng dữ liệu mưa CHIRPS phục vụ mô phỏng dòng chảy trên lưu vực thông qua quá trình hiệu chỉnh và kiểm định mô hình. Việc hiệu chỉnh mô hình được thực hiện tự động với công cụ SWAT-CUP sử dụng thuật toán SUFI2 [13–16]. SWAT-CUP cho phép hiệu chỉnh, kiểm định, phân tích độ nhạy và độ bất định của mô hình [17–20]. Trong SUFI-2, tất cả các nguồn bất định (chẳng hạn, bất định do cấu trúc mô hình, đầu vào và tham số) đều được gán cho tham số mô hình. Quá trình hiệu chỉnh được bắt đầu bằng việc xác định các khoảng giá trị khả thi của các tham số mô hình trong đó SUFI-2 giả định các tham số có phân bố đều trong các khoảng này. Quá trình dò tìm tham số tự động bằng thuật toán SUFI-2 được tiến hành bằng cách lặp nhiều lần để tìm giá trị tối ưu của các tham số. Việc phân tích độ nhạy trước khi hiệu chỉnh sẽ giúp giảm số lượng tham số và giảm thời gian tính toán [21–23]. Độ chính xác của kết quả mô phỏng được đánh giá bằng các chỉ số sau:

- Hệ số cân bằng tổng lượng (*PBIAS*) đo lường sai số tổng lượng của mô phỏng. Giá trị tối ưu của *PBIAS* là bằng không. Giá trị âm cho biết kết quả mô phỏng cao hơn số liệu thực đo. Ngược lại, giá trị dương cho thấy kết quả mô phỏng nhỏ hơn thực đo.

$$PBIAS = 100 \times \frac{\sum_{i=1}^n Q_{obs} - Q_{sim}}{\sum_{i=1}^n Q_{obs}} \tag{1}$$

- Hệ số xác định (*R²*): Hệ số xác định đánh giá mức độ tương quan của kết quả mô phỏng và số liệu thực đo. Giá trị này nằm trong khoảng từ 0 đến 1. Càng gần 1 thì mức độ tương quan giữa giá trị thực đo và mô phỏng càng cao.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})(Q_{sim} - \bar{Q}_{sim})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n Q_{obs} - \bar{Q}_{obs}} \times \sqrt{\sum_{i=1}^n Q_{sim} - \bar{Q}_{sim}}} \tag{2}$$

- Chỉ số Nash- Sutcliffe (*NSE*): Đánh giá khả năng dự đoán của các mô hình. *NSE* xác định mức độ tương đối của phương sai sai số so với phương sai của dữ liệu quan trắc:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})^2} \tag{3}$$

Trong đó Q_{obs} là lưu lượng quan sát; Q_{sim} là lưu lượng mô phỏng; n là số lượng giá trị; \bar{Q}_{obs} và \bar{Q}_{sim} biểu thị các giá trị trung bình của dữ liệu thực đo và mô phỏng tương ứng. Bảng 6 dưới đây xác định mức độ phù hợp của kết quả mô phỏng so với số liệu thực đo theo giá trị của các chỉ số thống kê [24].

Bảng 6. Chỉ tiêu thống kê đánh giá khả năng của mô hình thủy văn [24].

Xếp hạng	NSE & R ²	PBIAS
Rất tốt	0,75 < NSE & R ² ≤ 1,00	PBIAS < 10
Tốt	0,65 < NSE & R ² ≤ 0,75	10 ≤ PBIAS < 15
Đạt yêu cầu	0,5 < NSE & R ² ≤ 0,65	15 ≤ PBIAS < 25
Không đạt yêu cầu	NSE & R ² ≤ 0,5	PBIAS ≥ 25

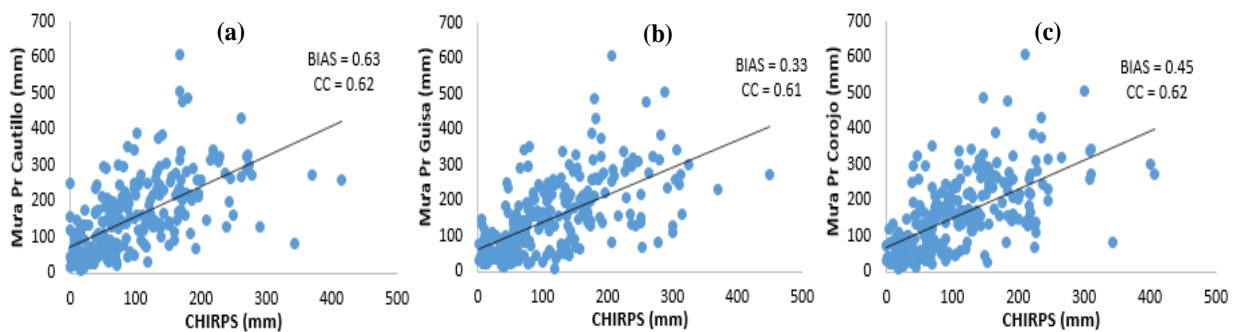
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả so sánh dữ liệu mưa CHIRPS với mưa thực đo

Dữ liệu mưa CHIRPS ngày được sử dụng để tính toán lượng mưa tháng. Sau đó lượng mưa tháng CHIRPS sẽ được so sánh với dữ liệu mưa tháng ở 3 trạm có vị trí gần lưu vực nghiên cứu. Các chỉ số thống kê CC, RMSE, ME, BIAS được tính toán và trình bày ở Bảng 7 và Hình 4. Kết quả so sánh cho thấy dữ liệu mưa CHIRPS tương quan ở mức chấp nhận được với dữ liệu mưa trạm với hệ số tương quan tại các trạm đều đạt trên 0,6. Tuy nhiên có sự sai khác tương đối lớn về giá trị lượng mưa giữa 2 nguồn dữ liệu. Chỉ số RMSE dao động trong khoảng từ 94 đến 102,9 mm trong khi chỉ số BIAS dao động trong khoảng từ 0,33 đến 0,63 trong đó dữ liệu tại trạm Guisa phù hợp tốt nhất với dữ liệu CHIRPS với chỉ RMSE và BIAS nhỏ nhất. Nguyên nhân của sự sai khác giữa 2 nguồn dữ liệu này có thể do mức độ đại diện về không gian của từng nguồn dữ liệu mưa. Trong khi dữ liệu mưa trạm đo đại diện cho khu vực xung quanh trạm đo mưa đó, dữ liệu mưa CHIRPS cung cấp thông tin mưa với độ phân giải 0,5°. Đồng thời, một nguyên nhân khác có thể kể đến là do sai số đo đạc của cả dữ liệu mưa trạm và mưa vệ tinh đặc biệt trong điều kiện vùng núi địa hình bị chia cắt và thảm phủ là rừng rậm.

Bảng 7. Các chỉ số thống kê sản phẩm lượng mưa CHIRPS so với trạm thực đo.

Trạm	Pr. Corojo				Pr. Guisa				Pr. Cautillo			
	CC	RMSE	ME	BIAS	CC	RMSE	ME	BIAS	CC	RMSE	ME	BIAS
CHIRPS	0,62	97	47,8	0,45	0,61	94	38,5	0,33	0,62	102,9	59,4	0,63



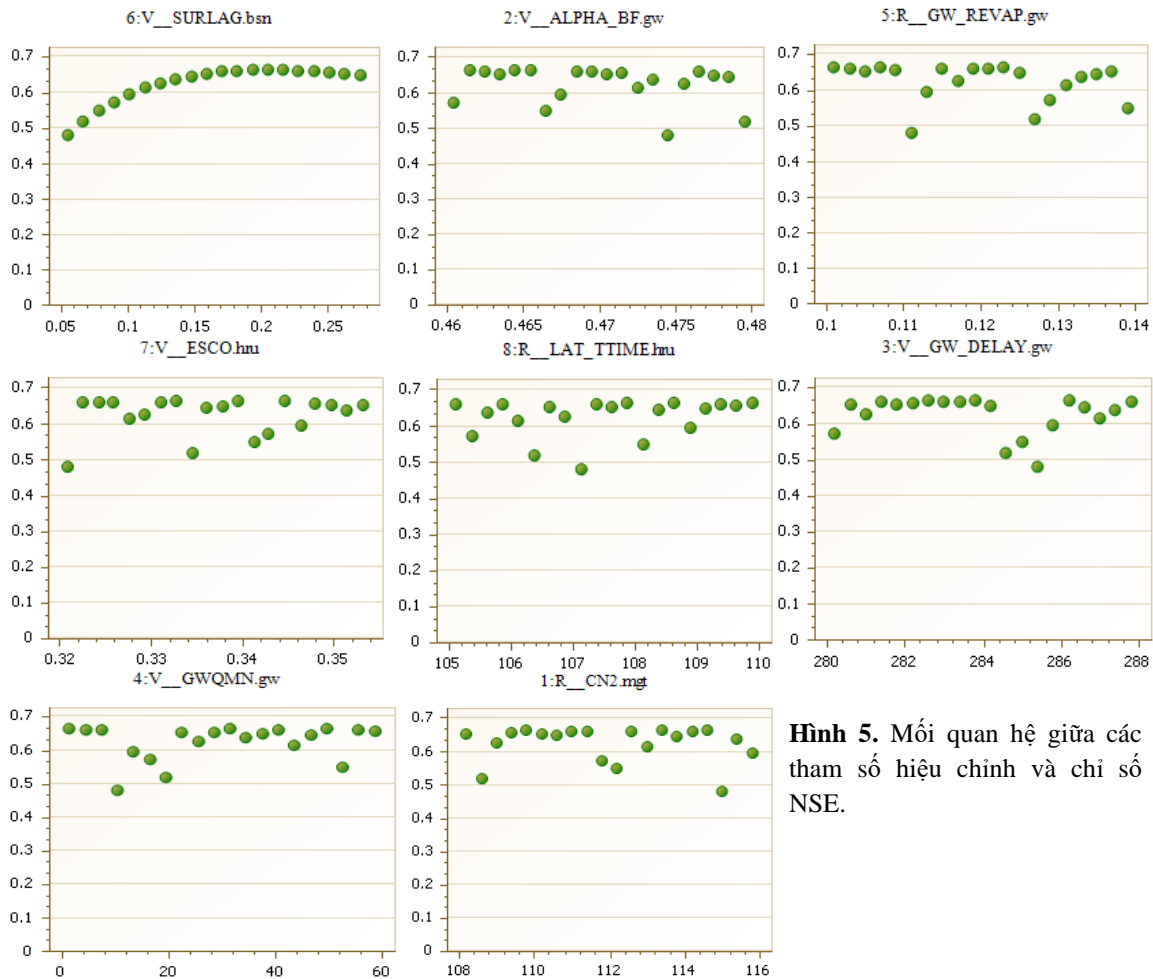
Hình 4. So sánh dữ liệu mưa tháng CHIRPS trên lưu vực và mưa tại trạm: (4a) trạm Pr Cautillo, (4b) trạm Pr Guisa, (4c) trạm Pr Corojo giai đoạn 2000-2020.

3.2. Kết quả mô phỏng dòng chảy

3.2.1. Phân tích độ nhạy và hiệu chỉnh mô hình

Chuỗi số liệu về lưu lượng dòng chảy thu thập từ trạm thủy văn La Virgen trên sông La Plata được chia làm 2 giai đoạn: chuỗi số liệu hiệu chỉnh được lấy trong thời gian ngày từ 01/02/2020 đến 30/04/2020 và thời gian kiểm định từ 01/04/2022 đến 30/04/2022.

SWAT là mô hình phân bố phụ thuộc vào thay đổi của các biến khác nhau theo không gian và thời gian. Việc phân tích độ nhạy rất quan trọng để xác định được các thông số nhạy nhất, ảnh hưởng đến chế độ thủy văn, dòng chảy lưu vực sông La Plata. Điều này giúp việc hiệu chỉnh mô hình nhanh hơn khi tập trung vào các thông số độ nhạy cao. Kết quả xác định độ nhạy được thể hiện ở Bảng 8. Có tổng cộng 8 tham số được đánh giá độ nhạy với mô hình. Độ nhạy của tham số được đánh giá thông qua sự thay đổi của các chỉ số thống kê T-stat và P-Value. T-stat đánh giá mức độ nhạy, giá trị tuyệt đối của T-stat càng cao thì thông số càng nhạy. P-Value xác định ý nghĩa của độ nhạy, P-Value càng gần 0, thông số càng quan trọng. Kết quả phân tích cho thấy thông số V_SURLAG (thời gian trễ của dòng chảy bề mặt) và v_ALPHA BF (Hệ số alpha dòng cơ sở) là 2 thông số nhạy nhất quyết định đến kết quả mô phỏng dòng chảy của mô hình.



Hình 5. Mối quan hệ giữa các tham số hiệu chỉnh và chỉ số NSE.

Bảng 8. Giá trị tối ưu hóa của từng tham số hiệu chỉnh.

Độ nhạy	Tên thông số	T-stat	P-Value	Khoảng giá trị mặc định		Khoảng giá trị tối ưu		Giá trị tối ưu
				Max	Min	Max	Min	
1	V_SURLAG	4,82	0	24	0,05	0,28	0,05	0,2
2	V_ALPHA_BF	-1,42	0,18	1	0	0,48	0,46	74,26
3	R_GW_REVAP	1,143	0,277	0,2	0,02	0,14	0,1	0,107

Độ nhạy	Tên thông số	T-stat	P-Value	Khoảng giá trị mặc định		Khoảng giá trị tối ưu		Giá trị tối ưu
				Max	Min	Max	Min	
4	V_ESCO	-0,433	0,673	1	0	0,354	0,32	0,344
5	R_LATTIME	-0,283	0,783	180	0	110	105	107,87
6	V_GW_DELAY	0,267	0,794	500	0	288	280	286,2
7	V_GWQMN	0,15	0,883	5000	0	60	0	49,5
8	R_CN2	0,148	0,885	120	35	116	108	109,8

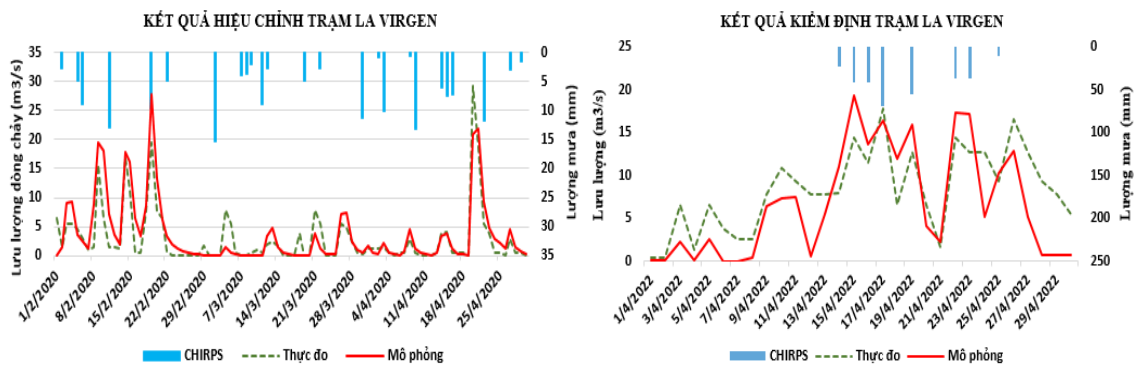
Hình 5 thể hiện diễn biến chỉ số NSE với các giá trị khác nhau của các tham số mô hình. Sau khi quá trình chạy lập mô hình SWAT với thuật toán SUFI-2, khoảng giá trị tốt nhất của thông số là khoảng giá trị cho chỉ số NSE cao nhất. Hình 5 cho thấy giá trị NSE cao nhất đạt 0,66 sau khi kết thúc hiệu chỉnh. Bộ giá trị tối ưu của các tham số sau khi hiệu chỉnh (Bảng 8) sẽ được sử dụng cho giai đoạn kiểm định mô hình.

3.2.2. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

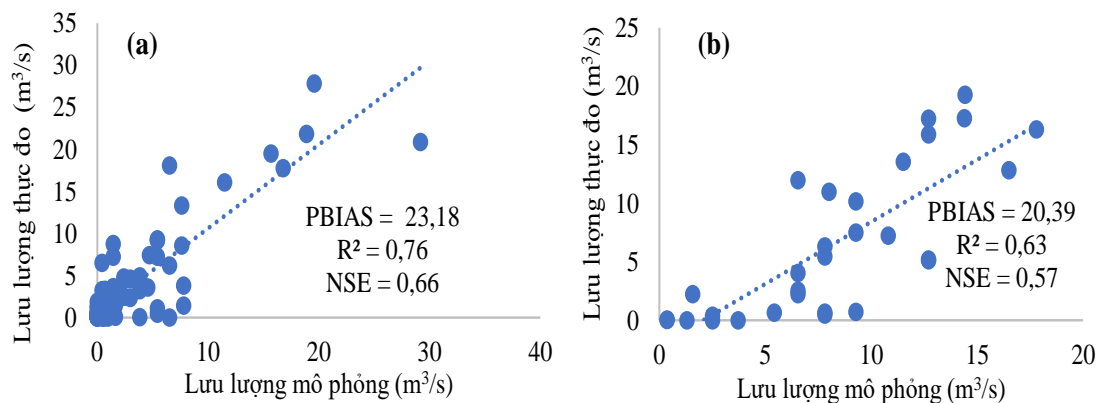
Kết quả hiệu chỉnh kiểm định được trình bày ở Bảng 9, hình 6 và hình 7. Kết quả cho thấy có sự phù hợp tương đối tốt giữa dòng chảy thực đo và mô phỏng. Theo tiêu chí đánh giá chất lượng mô hình trình bày ở Bảng 6, ở giai đoạn hiệu chỉnh, mô hình cho kết quả ở mức độ tốt với $R^2 = 0,76$, $NSE = 0,66$ và $PBIAS = 23,18\%$. Ở bước kiểm định, mô hình ở mức độ đạt yêu cầu với $R^2 = 0,63$, $NSE = 0,57$ và $PBIAS = 20,39\%$.

Bảng 9. Đánh giá kết quả mô phỏng dòng chảy giai đoạn hiệu chỉnh, kiểm định.

Giai đoạn	Giá trị		
	R^2	NSE	PBIAS
Hiệu chỉnh (01/02/2020 - 30/04/2020)	0,76	0,66	23,18%
Kiểm định (01/04/2022 - 30/04/2022)	0,63	0,57	20,39%



Hình 6. Đường quá trình lưu lượng thực đo và mô phỏng từ mô hình SWAT tại trạm La Virgen giai đoạn hiệu chỉnh (01/02/2020 - 30/04/2020) và kiểm định (01/04/2022 - 30/04/2022).



Hình 7. Biểu đồ so sánh lưu lượng thực đo và mô phỏng giai đoạn hiệu chỉnh (a) và kiểm định (b).

3.2.3. Các thành phần cân bằng nước

Ưu điểm của mô hình SWAT có khả năng tính toán và cung cấp thông tin các thành phần trong cân bằng nước lưu vực đến từng đơn vị thủy văn HRU, các tiểu lưu vực cũng như toàn bộ lưu vực. Giá trị mô phỏng các thành phần cân bằng nước trong năm 2020 thể hiện qua Bảng 10 dưới đây. Kết quả tính toán cho thấy tỷ lệ dòng chảy so với lượng mưa trung bình đạt 77%. Tỷ lệ bốc thoát hơi thực tế so với lượng mưa là (32%) cho thấy khả năng giữ nước tốt của lớp thực phủ trên bề mặt lưu vực do vùng lưu vực nghiên cứu có lớp phủ thực vật chủ yếu là rừng rậm.

Bảng 10. Giá trị mô phỏng cân bằng nước năm 2020 lưu vực sông La Plata.

	Giá trị	Tỉ lệ so với lượng mưa
Lượng mưa (mm)	2506	100,0
Bốc thoát hơi thực tế	793,5	31,7
Dòng chảy mặt	1317,5	68,3
Dòng chảy hồi quy	218,02	8,7
Tổng lượng dòng chảy	1929	77,0

4. Kết luận

Bài báo này trình bày kết quả đánh giá khả năng sử dụng lượng mưa nguồn mở CHIRPS trong mô phỏng dòng chảy tại một lưu vực sông thiếu số liệu ở Cuba. Kết quả tính toán cho thấy có sự tương quan ở mức chấp nhận được giữa dữ liệu mưa CHIRPS và mưa trạm đo tuy nhiên vẫn còn khác biệt tương đối lớn giữa 2 nguồn này. Nguyên nhân này là do sai số đo đạc của cả 2 nguồn dữ liệu và do sự khác nhau ở phạm vi đo đạc của chúng. Nghiên cứu cũng dùng số liệu mưa CHIRPS làm đầu vào cho mô hình SWAT để mô phỏng dòng chảy trên lưu vực. Kết quả mô phỏng cho thấy trong giai đoạn hiệu chỉnh, mô hình có chất lượng mô phỏng đạt mức tốt trong khi ở giai đoạn kiểm định, chất lượng mô phỏng ở mức chấp nhận được. Số liệu và thời gian mô phỏng của nghiên cứu này vẫn còn hạn chế chỉ mô phỏng được khoảng thời gian ngắn trong năm chưa phản ánh hết được những thay đổi của dòng chảy trên lưu vực. Đồng thời, do thiếu số liệu mưa ngày tại các trạm nên nghiên cứu chưa hiệu chỉnh số liệu mưa CHIRPS theo số liệu mưa trạm để nâng cao độ chính xác của mưa CHIRPS. Để cải thiện chất lượng mô phỏng, hướng nghiên cứu tiếp theo là sử dụng tổ hợp dữ liệu mưa vệ tinh và mưa trạm đo để xây dựng bộ dữ liệu mưa tốt hơn cho lưu vực sông La Plata nhằm cải thiện hơn nữa chất lượng mô phỏng của mô hình.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu T.B.C., T.A.P.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: T.B.C., T.A.P.; Xử lý số liệu và tính toán: T.B.C., H.T.A., S.B.C.; Viết bản thảo bài báo: T.B.C., T.A.P., N.N.A., T.T.D.H.; Chỉnh sửa bài báo: T.B.C., T.A.P.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu được thực hiện với sự hỗ trợ của Dự án khoa học và công nghệ theo Nghị định thư với Cuba “Nghiên cứu hiện trạng nguồn nước mặt và dự báo xâm nhập mặn tại lưu vực sông Cauto làm cơ sở đề xuất các giải pháp tăng cường sản xuất lúa gạo và cải thiện cấp nước cho người dân” Mã số: NĐT.100.CU/21. Nhóm nghiên cứu xin gửi lời cảm ơn đến sự giúp đỡ, hỗ trợ của Bộ Khoa học và Công nghệ Việt Nam (Ministry of Science & Technology - MOST) và Cơ quan quản lý tài nguyên nước quốc gia Cuba (National Institute of Hydraulic Resources of Cuba- INRH) để nhóm hoàn thành nghiên cứu.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Luo, X.; Wu, W.; He, D. et al. Hydrological Simulation Using TRMM and CHIRPS Precipitation Estimates in the Lower Lancang-Mekong River Basin. *Chin. Geogr. Sci.* **2019**, 29, 13–25.
2. Gao, F.; Zhang, Y.; Chen, Q.; Wang, P.; Yang, H.; Yao, Y.; Cai, W. Comparison of two long-term and high-resolution satellite precipitation datasets in Xinjiang, China. *Atmos. Res.* **2018**, 212, 150–157.
3. Macharia, J.M.; Ngetich, F.K.; Shisanya, C.A. Comparison of satellite remote sensing derived precipitation estimates and observed data in Kenya. *Agric. For. Meteorol.* **2020**, 284, 107–875.
4. Alsallal, S.T.; Leong, M.; Sâmt, N.; Al-Bakri, Jawad, T.; Longhui, L. Evaluation of CHIRPS and CFSR precipitation products over the Mujib Basin, Jordan. *Geografia-Malaysian J. Soc. Space* **2023**, 19(2), 1–20.
5. Meng, J.; Hao, Z.; Wang, J.; Shao, Q. Suitability of TRMM satellite rainfall in driving a distributed hydrological model in the source region of Yellow River. *J. Hydrol.* **2014**, 509, 320–332.
6. Mantas, C.J.; Castellano, J.G.; Moral-García, S.; Abellán, J. A comparison of random forest based algorithms: random credal random forest versus oblique random forest. *Soft Computing* **2019**, 23, 10739–10754.
7. Aksu, H.; Akgül, M.A. Performance evaluation of CHIRPS satellite precipitation estimates over Turkey. *Theor. Appl. Climatol.* **2020**, 142(1-2), 71–84.
8. Rivera, J.A.; Marianetti, G.; Sofía Hinrichs, S. Validation of CHIRPS precipitation dataset along the Central Andes of Argentina. *Atmos. Res.* **2018**, 213, 437–449.
9. Aadhar, S.; Mishra, V. High-resolution near real-time drought monitoring in South Asia. *Scie. Data* **2017**, 4(1), 1–14.
10. Guo, J.; Su, X. Parameter sensitivity analysis of SWAT model for streamflow simulation with multisource precipitation datasets. *Hydrol. Res.* **2019**, 50(3), 861–877.
11. Thảo, N.H.P. Đánh giá chất lượng dữ liệu mưa CHIRPS tại khu vực tỉnh Ninh Thuận và Bình Thuận, Tuyển tập Hội nghị khoa học thường niên năm 2019, tr. 724–726.
12. Hải, B.T.; Tuấn, N.V. Nghiên cứu đánh giá và so sánh các dữ liệu mưa vệ tinh độ phân giải cao lưu vực sông Cả. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2018**, 695, 17–28.
13. Abbaspour, K.C. et al. SWAT - CUP2: SWAT calibration and uncertainty programs manual version 2. Department of Systems Analysis, Integrated Assessment and Modelling (SIAM), Eawag. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Duebendorf, Switzerland, 2011, pp. 106.
14. Lu, Z.; Zou, S.; Xiao, H.; Zheng, C.; Yin, Z.; Wang, W. Comprehensive Hydrologic Calibration of SWAT and Water Balance Analysis in Mountainous Watersheds in Northwest China. *Phys. Chem. Earth* **2019**, 79–82, 76–85.
15. Abbaspour, K.C.; Yang, J.; Maximov, I.; Siber, R.; Bogner, K.; Mieleitner, J.; Zobrist, J.; Srinivasan, R. Modelling Hydrology and Water Quality in the Pre-Alpine/Alpine Thur Watershed Using SWAT. *J. Hydrol.* **2007**, 333, 413–430.
16. Nesru, M.; Shetty, A.; Nagaraj, M.K. Multi-Variable Calibration of Hydrological Model in the Upper Omo-Gibe Basin, Ethiopia. *Acta Geophys.* **2020**, 68, 537–551.
17. Chen, L.; Chen, S.; Li, S.; Shen, Z. Temporal and spatial scaling effects of parameter sensitivity in relation to non-point source pollution simulation. *J. Hydrol.* **2019**, 571, 36–49.
18. Razavi, S.; Gupta, H.V. A new framework for comprehensive, robust, and efficient global sensitivity analysis: 1. Theory. *Water Resour. Res.* **2016**, 52, 423–439.
19. Razavi, S.; Gupta, H.V. A new framework for comprehensive, robust, and efficient global sensitivity analysis: 2. Application. *Water Resour. Res.* **2016**, 52, 440–455.

20. Khorashadi, Z.F.; Nossent, J.; Sarrazin, F.; Pianosi, F.; van Griensven, A.; Wagener, T.; Bauwens, W. Comparison of variance-based and moment-independent global sensitivity analysis approaches by application to the SWAT model. *Environ. Model. Softw.* **2017**, *91*, 210–222.
21. Abbaspour, K.C. SWAT-CUP SWAT calibration and uncertainty programs-a user manual; SWAT-CUP Calibration: Ho Chi Minh, Vietnam, 2015.
22. Abbaspour, K.C.; Johnson, C.A.; Estimating uncertain flow and transport parameters using a sequential uncertainty fitting procedure. *Vadose Zone J.* **2004**, *1352*, 1340–1352.
23. Abbaspour, K.C.; Yang, J.; Maximov, I.; Siber, R.; Bogner, K.; Mieleitner, J.; Zobrist, J.; Srinivasan, R. Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. *J. Hydrol.* **2007**, *333*, 413–430.
24. Moriasi, D.N.; Arnold, J.G.; Van Liew, M.W.; Bingner, R.L.; Harem, R.D.; Veith, T.L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Trans. ASABE* **2007**, *50*, 850–900.

Using high-resolution satellite rain data in flow simulation for a data - Scarce river basin

Chung Bao Tran^{1*}, Anh Phuong Tran¹, Hang Thi Dieu Tran¹, Nam Anh Nguyen¹, An Thi Hoang¹, Siliennis Blanco Campbell²

¹ Water Resources Institute, Ministry of Natural Resources and Environment - WRI, Vietnam; chungtb26tlu@gmail.com; phuongtran.monre@gmail.com; hangtd1001@gmail.com; namanh.luna@gmail.com; anht510@wru.vn

² National Institute of Hydraulic Resources of Cuba- INRH, Cuba; siliennis.blanco@hidro.gob.cu

Abstract: Currently, the CHIRPS precipitation product has been widely used in hydrological modelling on data-scarce river basins. However, in order to use this product for a specific region, its reliability and accuracy is needed to evaluate. This study compared the CHIRPS product with gauged precipitation to evaluate its reliability and then use it as precipitation input for the SWAT model to simulate flow in the La Plata river basin, Cuba. The SWAT-CUP tool is used to perform automatic model calibration and optimization of model parameters. Obtained results show that the monthly CHIRPS has an acceptable correlation with the gauged precipitation ($CC \geq 0.6$). Simulation results of flow at the La Plata river basin is relatively good in the calibration period ($R^2 = 0.76$, $NSE = 0.66$ and $PBIAS = 23.18\%$) and acceptable in the validation period ($R^2 = 0.63$, $NSE = 0.57$, and $PBIAS = 20.39\%$). This study shows the potential of the CHIRPS precipitation product to simulate flow at the river basins lack of gauged observations.

Keywords: Flow; CHIRPS; SWAT Model; data-scarce river basin.