

# RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

## Aplicación del modelo hidrológico SWAT en unidades hidrográficas de Nicaragua: Simulación del escurrimiento superficial

### Application of hydrological model SWAT in hydrographic units in Nicaragua: Simulation of surface runoff

Mariann José Espinoza Acuña<sup>1</sup>, Carlos Ramón Zelaya Martínez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ingeniera forestal, Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente. ORCID: [https://orcid.org/0000-0001-8862-8297/mjea\\_nic@hotmail.com](https://orcid.org/0000-0001-8862-8297/mjea_nic@hotmail.com); mariann.espinoza@ci.una.edu.ni

<sup>2</sup> PhD en Medio ambiente y Ciencias del Suelo. Centro Internacional de Agricultura Tropical. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6025-7404/c.r.zelaya@cgiar.org>

Autor de correspondencia: mariann.espinoza@ci.una.edu.ni



#### RESUMEN

Los recursos hídricos son los más sensibles ante los efectos del Cambio Climático, por lo que la valoración de su estado resulta indispensable para el bienestar de la población nicaragüense. Con el propósito de generar información cuantitativa sobre la dinámica del escurrimiento superficial para orientar la priorización de gestión integral en las cuencas con déficit hídrico, se estimó el escurrimiento superficial de las unidades hidrográficas de Nicaragua con el modelo hidrológico SWAT. El análisis se efectuó considerando tres combinaciones de escenarios climáticos y usos de la tierra: primero, con el clima del periodo 1988-2017 con uso de la tierra del 2015; el segundo, el escenario climático pesimista (RCP 8.5) del periodo 2040-2069 con uso de la tierra del 2015; y el último, el escenario climático pesimista (RCP 8.5) del periodo 2040-2069 con una propuesta de sustitución de las superficies agropecuarias en pendientes mayores a 15 % por sistemas agroforestales y silvopastoriles. En total se simularon 66 unidades hidrográficas, de las cuales 29 presentaron una respuesta hidrológica deficitaria. En el periodo 1988-2017 el escurrimiento superficial varió de 65.5 a 497.9 mm y de 70.76 a 689.76 mm en el periodo 2040-2069. Con la propuesta de uso de la tierra, se espera que la escorrentía varíe de 36.57 a 683.9 mm, reflejando una disminución media de 70.27 mm. A partir de estas variaciones se concluyó que las unidades de mayor prioridad a ser manejadas son las que se encuentran en Madriz, Nueva Segovia, Estelí y Matagalpa, ubicadas dentro del corredor seco.

**Palabras claves:** escorrentía, simulación hidrológica, escenario climático, gestión integral de cuencas.

**Abreviatura: SWAT:** Herramienta de Evaluación de Suelo y Agua.

#### ABSTRACT

Water resources are the most sensitive to the effects of Climate Change, so the assessment of their resulting state is essential for the well-being of the Nicaraguan population. In order to generate quantitative information on the dynamics of surface runoff to guide the prioritization of comprehensive management in watersheds with water deficit, the surface runoff of hydrographic units in Nicaragua was estimated with the SWAT hydrological model. The analysis was carried out considering three combinations of climatic scenarios and land uses: first, with the climate of the period 1988-2017 with land use of 2015; the second, the pessimistic climate scenario (RCP 8.5) for the period 2040-2069 with land use from 2015; and the last one, the pessimistic climate scenario (RCP 8.5) for the period 2040-2069 with a proposal to replace agricultural areas on slopes greater than 15 % by agroforestry and silvopastoral systems. In total, 66 hydrographic units were simulated, of which 29 presented a deficient hydrological response. In the 1988-2017 period, surface runoff varied from 65.5 to 497.9 mm and from 70.76 to 689.76 mm in the 2040-2069 period. With the land use proposal, runoff is expected to range from 36.57 to 683.9 mm, reflecting an average decrease of 70.27 mm. Based on these variations, it was concluded that the highest priority units to be managed are those located in Madriz, Nueva Segovia, Estelí and Matagalpa, located within the dry corridor.

**Key words:** Hydrological simulation, climate scenario, Integrated watershed management.

**Abbreviation: SWAT:** Soil and water Assessment Tool.

## RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

Los recursos hídricos son imprescindibles para el sostén de la vida, y su disponibilidad cada vez se encuentra condicionada por los efectos del Cambio Climático. “Un clima variable y cambiante, en donde existen incertidumbres con respecto a las condiciones extremas futuras, requiere de mayor cantidad, calidad y accesibilidad de la información que apoye el proceso de planeación y toma de decisiones” (Agua y Cambio Climático de las Américas, 2012, p. 6).

El Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC] (2020) afirma que:

La probabilidad, intensidad y duración de muchos fenómenos extremos pueden verse modificadas significativamente por cambios en las condiciones de la tierra, incluidos los fenómenos relacionados con el calor como las olas de calor (nivel de confianza alto) y los episodios de precipitaciones intensas (nivel de confianza medio) ... Se prevé que el cambio climático altere las condiciones de la tierra... En las zonas tropicales donde se proyecta un aumento de la precipitación, un mayor crecimiento de la vegetación reducirá el calentamiento regional (nivel de confianza medio). Unas condiciones más secas del suelo a raíz del cambio climático pueden aumentar la gravedad de las olas de calor, mientras que unas condiciones más húmedas del suelo tienen el efecto contrario (nivel de confianza alto). (p. 13)

Según Webster *et al.* (2001) los recursos hídricos superficiales de Nicaragua son altamente estacionales y su distribución es desigual. La región oriental del país correspondiente a las Regiones Autónomas de la Costa Caribe posee una sobreabundancia de agua superficial, mientras que la mitad occidental, en donde se encuentra aproximadamente el 90 % de la población, la disponibilidad del agua superficial es altamente estacional.

El presente estudio tiene como objetivo evaluar el comportamiento de las aguas superficiales de Nicaragua mediante la estimación del escurrimiento superficial de las cuencas hidrográficas en dos periodos representativos de los años 2015 y 2050 mediante el modelo hidrológico Soil and Water Assessment Tool (SWAT). El propósito es proveer insumos que permita identificar las unidades hidrográficas deficitarias cuya gestión integral debe ser prioritaria, con el fin de contribuir a la resiliencia de la población rural nicaragüense y restauración y conservación de los recursos naturales.

### MATERIALES Y MÉTODOS

**Unidades hidrológicas seleccionadas para el estudio.** “El mapa de Cuencas Hidrográficas de Nicaragua de acuerdo con la formación orográfica bien definida del territorio nacional, clasifica al país en seis Cuencas Hidrográficas” (INETER *et al.*, 2014, p. 4) Siendo este el punto de partida, INETER *et al.*

(2014) delimitó unidades hidrográficas en todas las cuencas hasta el Nivel 6, a excepción de la cuenca hidrográfica de El Pacífico, que fue delimitada desde el Nivel 6 hasta el Nivel 8. Considerando el tamaño de las cuencas, se seleccionaron 66 unidades hidrográficas: 63 unidades de Nivel 5, y tres de Nivel 6. Estas tres últimas corresponden a la cuenca de El Pacífico, que por su topografía está delimitado como una única cuenca en Nivel 5.

**Modelo hidrológico aplicado.** Los modelos hidrológicos representan de manera sencilla los procesos hidrológicos que ocurren dentro de una cuenca. “Su capacidad predictiva depende de cómo los construimos y cómo los aplicamos, y la calidad de las predicciones es generalmente consistente con la calidad de nuestra comprensión del sistema y del modelo que lo representa” (Cabrera, 2017, p. 1).

“SWAT es un modelo completo que requiere una diversidad de información para poder ejecutarse. Muchos de los datos de entradas son usados para simular características especiales que no son comunes para todas las cuencas” (Arnold *et al.*, 2012, p. 1). Este permite cuantificar el impacto de las prácticas de manejo de la tierra sobre el agua en cuencas grandes con características de suelos, condiciones de uso y manejo de la tierra variables durante largos periodos de tiempo, resultando en una herramienta importante para estimar el aporte de agua a la red de drenaje y al acuífero.

Tapasco *et al.*, (2015) indica que el modelo está conformado por un conjunto de submodelos, los cuales se emplean para simular distintos procesos hidrológicos. SWAT está basado en la ecuación general de balance hídrico.

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{qw}$$

Donde:

SW<sub>t</sub>: contenido final de agua en el suelo (mm)

SW<sub>0</sub>: contenido de agua inicial en el día i (mm) en el tiempo t (día);

R<sub>day</sub>: cantidad de precipitación en el día i (mm);

Q<sub>surf</sub>: escorrentía superficial en el día i (mm);

E<sub>a</sub>: evapotranspiración en el día i (mm);

W<sub>seep</sub>: cantidad de agua que entra en la zona no saturada del perfil en el suelo en el día i (mm);

Q<sub>qw</sub>: cantidad de flujo de retorno en el día i (mm)

SWAT parte de la delimitación de superficies con los mismos atributos de uso y manejo de la tierra, tipo de suelo y pendiente, denominados Unidades de Respuestas Hidrológicas (HRUs). A partir de estas, estima el escurrimiento, las cuales son calculados de manera individual por unidad y luego sumados para determinar el aporte de agua en la unidad hidrográfica.

## RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

**Insumos del modelo hidrológico.** SWAT requiere de la siguiente información para simular el comportamiento hidrológico de una cuenca:

- Modelo de elevación digital Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) con una resolución de un arcosegundo (30 metros), obtenido de la página web del U.S. Geological Survey (USGS), para calcular las pendientes.
- Información geoespacial de la cobertura forestal del año 2015 con una resolución de un arcosegundo, generado por Instituto Nacional Forestal (INAFOR).
- Información geoespacial de los subórdenes de suelos presentes en Nicaragua, generado por INETER y la Universidad Nacional Agraria (UNA), e información fisicoquímica de los suelos de la Base de Datos Armonizada de los Suelos del Mundo (HWSD) de la FAO/UNESCO.
- Registro histórico de 17 estaciones meteorológicas de INETER, con información diaria de precipitación y temperaturas para el período 1963-2009 y datos del 2010 al 2017 proveniente de WorldClim v2 en formato raster a una resolución de 30 arcosegundos y del Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHRIPS) con resolución de 180 arcosegundos.
- Información climática bajo escenario climático pesimista RCP 8.5 (Senda Representativa de Concentración 8.5) de las 17 estaciones para el periodo 2040-2069 obtenido del generador climático MarkSim del Consultive Group on International Agricultural Research (CGIAR).

**Análisis de la información.** Se realizaron tres modelaciones en las unidades hidrográficas para comparar el escurrimiento superficial en distintas combinaciones de condiciones climáticas y uso de la tierra, considerando:

1. El uso de la tierra del año 2015 con el registro histórico de clima.
2. El uso de la tierra del año 2015 con los datos de clima futuro bajo el escenario pesimista (RCP 8.5)
3. El uso de la tierra del año 2015 con sustitución de las superficies agropecuarias en pendientes mayores a 15 % por sistemas agroforestales (SAFs) y los datos de clima futuro bajo el escenario pesimista (RCP 8.5)

La modelación con la propuesta de uso se realizó solamente en unidades hidrográficas deficitarias, donde la precipitación es menor a la evapotranspiración ( $P-ET < 0$ ) con el propósito de identificar evidencias de incremento en el aporte de agua a la red hídrica.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De 66 unidades hidrográficas analizadas, 29 presentaron una condición hidrológica donde las pérdidas de agua por evaporación y transpiración no son compensadas con las precipitaciones ( $P-ET < 0$ ), implicando que el aporte de agua

a la red hídrica está condicionado por la variabilidad de las precipitaciones y temperaturas de la región. Las unidades hidrográficas con déficit más acentuado son las 953385, 95168, 95169 y 95166, ubicadas dentro del corredor seco (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Unidades hidrográficas deficitarias de Nicaragua según su precipitación y evapotranspiración

CH	UH	P-ET (mm)		CH	UH	P-ET (mm)	
		2015	2050			2015	2050
Rio Coco	95168	-600.90	-521.20	Rio San Juan	95291	-429.40	-85.90
	95169	-595.70	-647.50		95292	-407.50	-340.40
	95166	-591.30	-670.70		95256	-344.00	-288.50
	95167	-374.70	-287.20		95253	-341.80	-286.80
	95165	-345.20	-279.70		95255	-320.70	-261.10
Rio Grande de Matagalpa	95164	-170.80	-4.40	95298	-314.70	-161.00	
	95186	-254.90	-182.50	95295	-294.10	-332.20	
	95184	-68.50	76.60	95258	-239.50	-109.70	
	95189	-16.50	-23.50	95296	-164.60	20.60	
	95188	-13.30	101.80	95293	-143.40	-54.10	
Pacífico	95187	-8.70	105.50	95259	-137.10	66.10	
	95185	-5.10	108.40	95297	-122.90	-61.80	
	953385	-611.00	-670.70	95294	-69.80	-243.30	
	953376	-147.50	138.40	95257	-57.80	135.50	
	953375	-100.90	192.70				

CH: Cuenca hidrográfica; UH: Unidad hidrográfica; P: Precipitación; ET: Evapotranspiración.

Bajo el escenario climático pesimista para el año 2050 se espera que el aporte de las unidades a los cuerpos de agua disminuya, sin embargo, nueve unidades podrían reflejar un cambio en su comportamiento hidrológico, clasificándose como unidades que aportan.

Este cambio en las unidades aledañas a las Regiones Autónomas de las Costa Caribe y en la región de El Pacífico podría deberse al aumento de la intensidad de las precipitaciones en la región oriental que se prevé con el escenario pesimista y al nivel seleccionado para el análisis en la región occidental, puesto que las tres unidades localizadas en el occidente (953385, 953376 y 95296) abarcan toda la zona costera de El Pacífico, induciendo a presentar una respuesta hidrológica de aporte al caudal, posiblemente por incremento de precipitaciones convectivas (Figura 1).

Blenkinsop *et al.* (2021) afirman que los eventos extremos se han vuelto más frecuentes e intensos a nivel mundial a lo largo del siglo pasado, sin embargo, la escasez de registros suficientemente largo en muchas áreas, como ocurre en Nicaragua, ha impedido estudiar los cambios globales en los eventos extremos de corta duración. (p. 2)



**RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE**

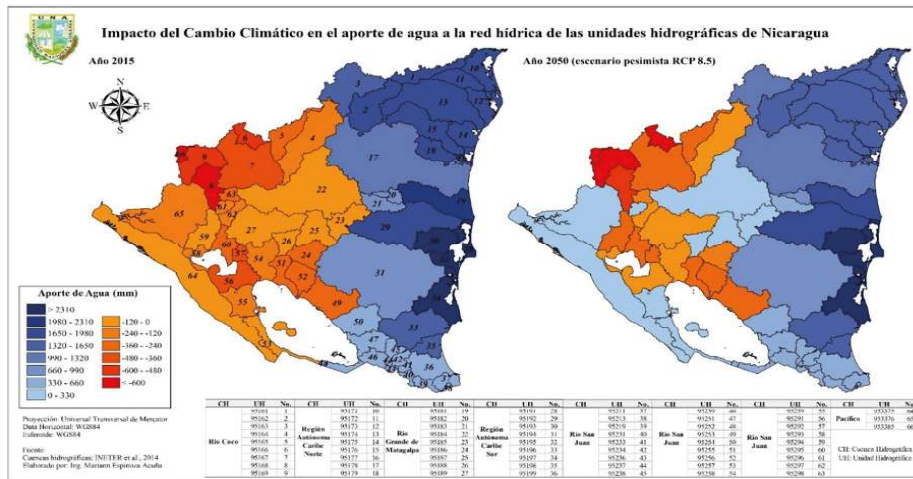


Figura 1. Aporte de agua a la red de drenaje de las unidades hidrográficas de Nicaragua.

En el Cuadro 2 se presentan los resultados de escurrimiento superficial para cada unidad hidrográfica deficitaria, expresado en milímetros por año. Se observa que para el año 2015 los escurrimientos varían entre 65.50 a 497.90 mm año<sup>-1</sup>, mientras que, en el 2050 bajo escenario ta, variarán entre 70.76 mm año<sup>-1</sup> y 689.57 mm año<sup>-1</sup>, traducido a

Cuadro 2. Escorrentamiento superficial en las unidades hidrográficas.

Cuenca	Unidad hidrográfica	Escorrentamiento superficial (mm año <sup>-1</sup> )			AP a SAF (%)
		2015	2050	2050*	
El Pacifico	953375	446.61	660.42	644.28	5.30
	953376	404.37	606.64	580.29	14.41
	953385	104.53	70.76	36.57	29.24
	Media	318.50	445.94	420.38	
	S	186.51	326.03	333.93	
Rio Coco	95164	189.44	302.98	209.21	15.34
	95165	171.19	242.86	135.30	38.08
	95166	155.82	162.39	79.08	45.30
	95167	224.30	343.39	199.13	37.89
	95168	112.51	198.22	141.97	25.06
	95169	65.50	73.09	44.58	20.36
	Media	153.13	220.49	134.88	
S	56.65	97.99	64.76		
Rio Grande de Matagalpa	95184	349.26	526.87	418.34	23.91
	95185	344.03	502.31	407.61	22.88
	95186	293.65	422.57	317.32	30.48
	95187	368.27	531.43	363.81	27.41
	95188	346.40	502.01	340.07	26.12
	95189	296.49	431.36	302.01	24.94
	Media	333.02	486.09	358.19	
S	30.63	47.47	47.43		
rio San Juan	95253	300.28	428.61	414.00	10.44
	95255	321.20	461.44	348.86	27.12
	95256	255.19	373.31	318.59	21.26
	95257	497.90	689.76	683.90	5.14
	95258	276.12	456.88	361.07	22.32
	95259	363.50	540.54	530.11	3.70
	95291	272.43	556.10	547.10	1.57
	95292	150.96	243.53	233.53	6.12
	95293	269.72	278.22	275.98	3.56
	95294	347.87	332.01	311.03	14.02
	95295	158.81	237.54	235.82	8.64
	95296	237.68	395.24	208.59	34.07
	95297	213.40	327.98	239.50	19.34
95298	244.60	410.28	333.13	30.19	
Media	279.26	409.39	360.08		
S	88.04	127.41	139.41		
Media global	268.35	389.96	319.33		
S global	104.38	160.95	166.36		

S: Desviación estándar; \*: Con propuesta de uso; AP a SAF: Porcentaje de superficie agropecuaria sustituida por sistemas agroforestales.

un incremento medio de 121.61 mm entre el año 2015 y 2050.

Las unidades ubicadas cerca, parcial o totalmente dentro del corredor seco, son las que presentan los menores valores de escurrimiento superficial, debido a la disminución de las precipitaciones anuales estimadas con el escenario pesimista.

Las unidades hidrográficas que presentan los mayores incrementos son 95291, 953375, 953376, 95257 y 95285, correspondientes a las unidades de las cuencas del Pacífico y Rio San Juan, unidades que se verán más afectadas por eventos extremos según los escenarios de cambio climático.

Los aumentos de las intensidades de las precipitaciones y la disminución de su frecuencia y duración bajo el escenario pesimista contribuyen al incremento del escurrimiento superficial, y a la pérdida de suelos por erosión hídrica, lo que afecta a la profundidad efectiva y capacidad productiva de los suelos.

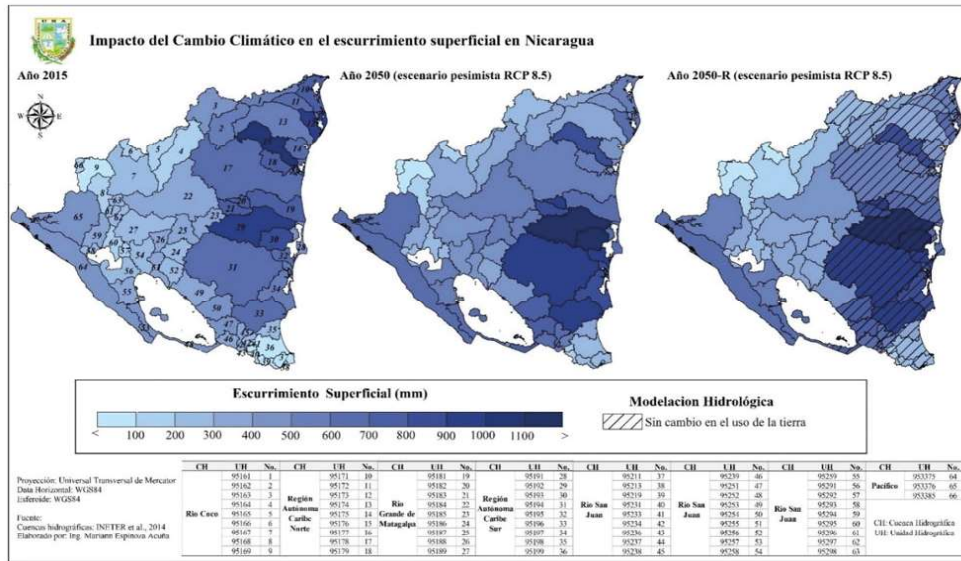
Contrastando los resultados con el escenario pesimista (Figura 2), en el año 2050 sin y con propuesta de cambio de uso de la tierra, se evidenció una tendencia de disminución del escurrimiento superficial (1.72 a 186.65 mm menos) si se transitara de superficies agropecuarias en pendientes mayores a 15 % a sistemas agroforestales (SAFs) o silvopastoriles.

Ríos *et al.* (2006) indica que:

Los incrementos en la cobertura arbórea contribuyen a disminuir la escorrentía superficial con la consecuente disminución del potencial de erosión hídrica. La escorrentía superficial podría reducirse notablemente al transformar pasturas nativas sobrepastoreadas en pasturas mejoradas arborizadas... La cobertura arbórea, más que la herbácea, contribuye a incrementar la infiltración en el suelo... Los sistemas silvopastoriles brindan beneficios hidrológicos al contribuir a la infiltración y disminuir la escorrentía superficial en los mantos acuíferos de zonas de recarga, lo que beneficia la recarga y sustento del agua subterránea. (p. 70)

En el año 2050 con el incremento del componente arbóreo en las áreas productivas, el escurrimiento variaría entre 36.57 mm año<sup>-1</sup> y 683.9 mm año<sup>-1</sup>, lo que representa una reducción promedio

**RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE**



**Figura 2.** Influencia del cambio climático y el cambio del uso de la tierra en el escurrimiento superficial en las unidades hidrográficas de Nicaragua.

de 70.27 mm. Las unidades que presentan reducciones significativas en el escurrimiento superficial son la 95296, 95187, 95188 y 95167; estas presentan entre el 26.12 % y 37.89 % de sus superficies con usos agropecuarios en laderas, las cuales fueron sustituidas en la modelación por SAFs.

Las unidades hidrográficas 95295, 95293, 95257, 95291, 95292, y 95259 correspondientes a la cuenca del Rio San Juan, fueron las que presentaron las menores reducciones en escurrimiento con la propuesta de uso (SAF), por presentar menos del 10 % de su superficie ocupada con usos agropecuarios en laderas, sumado a esto presentan pendientes predominantes menores de 15 %, por lo que deben valorarse estrategias de conservación de suelos y agua que permitan aprovechar el escurrimiento superficial sin generar perturbación al suelo.

**CONCLUSIONES**

La modelación con SWAT permitió identificar las unidades hidrográficas que por sus características no aportan agua a la red de drenaje, siendo estas las unidades ubicadas en las regiones del Pacífico, Norcentral y Central de Nicaragua. Por la ubicación geográfica y distribución de las precipitaciones en las cuencas de las Regiones Autónomas del Caribe, no presentan unidades hidrográficas deficitarias, sin embargo, no están exentas de ser afectadas por eventos climáticos extremos que ocasionen inundaciones.

Con el modelo hidrológico Soil and Water Assessment Tool se confirmó que bajo un escenario pesimista (RCP 8.5), los escurrimientos superficiales presentarán una tendencia

de aumento, y que estos podrían ser aminorados si se incorporara el componente forestal en las superficies agropecuarias en pendientes mayores del 15 %; evidenciando de esta manera que los sistemas agroforestales y silvopastoriles son los usos que permitirían contribuir a la resiliencia de las comunidades rurales nicaragienses ante el cambio climático, por ofrecer mayores beneficios a la población y a la unidad hidrográfica como tal, como reducción de las pérdidas de agua por evaporación, protección de los suelos ante la erosión, reducción de azolve de los cuerpos de agua, aumento al aporte a la recarga hídrica y contribución a la seguridad

alimentaria.

Las unidades que por su respuesta hidrológica clasificaron como deficitarias y que deben ser priorizadas para el diseño de Planes de Manejo Integrado de Cuencas, se encuentran ubicadas dentro del corredor seco de Nicaragua, en los municipios de Madriz, Nueva Segovia, Estelí y Matagalpa. Las unidades pertenecientes a la cuenca del Rio San Juan son las que requieren mayor atención, debido a que, si bien las pendientes dominantes no son muy inclinadas ni escarpadas, estas presentaron las mayores tasas de escurrimiento superficial debido a la disminución de la cobertura forestal y al incremento de las precipitaciones con mayor intensidad y menor duración que se espera con el escenario pesimista.

**AGRADECIMIENTO**

La autora agradece a todas las personas que con su invaluable aporte hicieron posible este estudio, principalmente: a la Dra. Martha Orozco de la Universidad Nacional Agraria y al Dr. Carlos Zelaya del Centro Internacional de Agricultura Tropical, por compartir sus conocimientos y experiencias sobre hidrología, edafología y climatología. A Dr. Raghavan Srinivasan y Dr. Charles Allan Jones, profesores de la Universidad de Texas A&M, que estuvieron a disposición para atender dudas referentes al modelo hidrológico Soil and Water Assessment Tool. Y al maestro Ernesto Tünnermann (q.e.p.d.), maestro ejemplar, que, sin su contribución como revisor y su apoyo incondicional, no hubiese sido posible culminar este artículo.

**RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE****REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Agua y Cambio Climático de las Américas. (2012). *Agua y Adaptación al Cambio Climático en las Américas: soluciones del dialogo regional de politicas (drp)*. <https://es.slideshare.net/wiriana/agua-y-adaptacin-al-cambio-climtico-en-las-americas-soluciones-del-dialogo-regional-de-politicas-drp-14486587>
- Arnold, J., Kiniry, J., Srinivasan, R., Williams, J., Haney, E., & Neitsch, S. (2012). *Soil & Water Assessment Tool: Input/Output Documentation*. Texas Water Resources Institute. <http://swat.tamu.edu/media/69296/SWAT-IO-Documentation-2012.pdf>
- Blenkinsop, S., Muniz Alves, L., & Smith, A. J. (2021). *Climate change increases extreme rainfall and chance of floods*. *ScienceBrief Review*. [https://sciencebrief.org/uploads/reviews/ScienceBrief\\_Review\\_RAINFALL\\_Jun2021.pdf](https://sciencebrief.org/uploads/reviews/ScienceBrief_Review_RAINFALL_Jun2021.pdf)
- Cabrera, J. (2017). *Modelos hidrológicos*. Universidad Nacional de Ingeniería. [http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas\\_interes/modhidro\\_1.pdf](http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/modhidro_1.pdf)
- Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales; Autoridad Nacional del Agua; Universidad Nacional de Ingeniería; Sociedad Alemana de Cooperación Internacional - Programa de Asistencia Técnica en Agua y Saneamiento. (2014). *Cuencas hidrográficas de Nicaragua bajo la metodología Pfafstetter*. [http://proatas.org.ni/media/flatpages/Album\\_Cuencas\\_Nic\\_res\\_reduc.pdf](http://proatas.org.ni/media/flatpages/Album_Cuencas_Nic_res_reduc.pdf)
- Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2020). *El cambio climático y la tierra*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/06/SRCCL\\_SPM\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/06/SRCCL_SPM_es.pdf)
- Ríos, N., Cárdenas, A. Y., Andrade, H. J., Ibrahim, M., Jiménez, F., Sancho, F., Ramírez, E., Reyes, B. y Woo, A. (2006). Escorrentía superficial e infiltración en sistemas ganaderos convencionales y silvopastoriles en el tropico subhumedo de Nicaragua y Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* (45), 66-71. <http://www.sidalc.net/repdoc/A6009e/A6009e.pdf>
- Tapasco, J., Quintero, M., Uribe, N., Valencia, J., Calderón, S., Romero, G., Ordoñez, D. A., Álvarez, A., Sánchez-Aragón, L. y Ludeña, C. E. (2015). *Impactos económicos del Cambio Climático en Colombia: Recursos Hídricos*. Banco Internacional de Desarrollo. <https://publications.iadb.org/es/publicacion/15521/impactos-economicos-del-cambio-climatico-en-colombia-recurso-hidrico>
- Webster, T., Markley, B. y Roebuck, L. (2001). *Evaluación de Recursos de Agua de Nicaragua*. Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América. <https://www.sam.usace.army.mil/Portals/46/docs/military/engineering/docs/WRA/Nicaragua/WRA%20SPANISH.pdf>