

# RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

## Modelo predictivo del escurrimiento superficial como estrategia de monitoreo de obras de cosecha de agua: Microcuenca El Varillal, San Lucas, Madriz, Nicaragua

### Predictive Model of Surface Runoff as a Monitoring Strategy for Water Harvesting Structures: El Varillal Micro-watershed, San Lucas, Madriz, Nicaragua

Orlando Ismael Rodríguez Rodríguez<sup>1</sup>, Cledys Lisseth Zelaya Lanzas<sup>2</sup>, Mariann José Espinoza Acuña<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ingeniero en Recursos Naturales, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6028-7352> / [orlandorodrig841@gmail.com](mailto:orlandorodrig841@gmail.com)

<sup>2</sup> Ingeniera en Recursos Naturales, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1556-7930> / [cledyszelaya934@gmail.com](mailto:cledyszelaya934@gmail.com)

<sup>3</sup> Ingeniera Forestal, Dirección Específica de Ciencias Ambientales y Cambio Climático, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8862-8297> / [mariann.espinoza@ci.una.edu.ni](mailto:mariann.espinoza@ci.una.edu.ni) / [mareacuna11@gmail.com](mailto:mareacuna11@gmail.com)

Autor para correspondencia: [mariann.espinoza@ci.una.edu.ni](mailto:mariann.espinoza@ci.una.edu.ni)



#### RESUMEN

El corredor seco nicaragüense tiene una alta vulnerabilidad ante el Cambio Climático. Madriz, departamento de la zona Central Norte de Nicaragua, al ser parte de éste, enfrenta grandes desafíos debido a la variabilidad climática. Ante el comportamiento errático del clima, resulta indispensable monitorear la escurrimiento superficial y comprender su comportamiento bajo escenarios climáticos para la evaluación del potencial las Obras de Cosecha de Agua. El objetivo de este estudio es comparar el escurrimiento superficial bajo tres escenarios climáticos para identificar el impacto del cambio climático sobre dichas obras. Este estudio se realizó en la microcuenca El Varillal, en San Lucas, Madriz, Nicaragua utilizando Soil and Water Assessment Tool (SWAT), el cual modela el comportamiento hidrológico considerando las características del suelo, usos del suelo y clima. Se utilizó un registro climático histórico del 2000 al 2021, y las Sendas Representativas de Concentración (RCP) 2.6 y 8.5 para el periodo 2040 al 2069 como escenarios climáticos a comparar. La variable estudiada fue el escurrimiento superficial estimada a partir de las unidades de respuesta hidrológica de la microcuenca. La microcuenca presenta suelos arcillosos y usos agrícolas y pecuarios en pendientes escarpadas, lo que le atribuye un alto potencial para la cosecha de agua.

#### ABSTRACT

The Nicaraguan dry corridor is highly vulnerable to climate change. Madriz, a department in the Central-Northern region of Nicaragua and part of this corridor, faces significant challenges due to climate variability. Given the erratic behavior of the climate, it is essential to monitor surface runoff and understand its behavior under different climate scenarios to evaluate the potential of water harvesting structures. The objective of this study is to compare surface runoff under three climate scenarios to identify the impact of climate change on these structures. This study was conducted in the El Varillal micro-watershed, in San Lucas, Madriz, Nicaragua using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT), which models hydrological behavior by considering soil characteristics, land use, and climate. A historical climate record from 2000 to 2021 was used, along with Representative Concentration Pathways (RCP) 2.6 and 8.5 for the 2040 to 2069 period, as the climate scenarios to compare. The variable studied was surface runoff, estimated from the hydrological response units of the micro-watershed. The micro-watershed has clay soils and agricultural and livestock uses on steep slopes, giving it high potential for water harvesting. However, the effectiveness of the structures depends on proper maintenance and

Recibido: 22 de mayo del 2024  
Aceptado: 5 de septiembre del 2024



Los artículos de la revista La Calera de la Universidad Nacional Agraria, Nicaragua, se comparten bajo términos de la licencia Creative Commons: Reconocimiento, No Comercial, Compartir Igual. Las autorizaciones adicionales a las aquí delimitadas se pueden obtener en el correo [donald.juarez@ci.una.edu.ni](mailto:donald.juarez@ci.una.edu.ni)

Copyright 2024. Universidad Nacional Agraria (UNA).

## RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

Sin embargo, la efectividad de las obras depende de su mantenimiento adecuado y la gestión del área de captación para evitar la erosión y asegurar la infiltración de agua. Bajo los escenarios climáticos futuros, se prevé que con la Senda Representativa de Concentración 2.6, el escurrimiento aumente en un 101,56%, y con la Senda Representativa de Concentración 8.5, un 109.48 %, en relación con el histórico. Esto indica que, ante eventos de precipitaciones, la integridad de las obras de cosecha de agua podría verse comprometida si no se implementan estrategias de conservación y manejo de cobertura.

**Palabras clave:** escorrentía, número de curva, balance hídrico, caudal, unidades de respuesta hidrológica.

management of the catchment area to prevent erosion and ensure water infiltration. Under future climate scenarios, it is expected that with the Representative Path of Concentration 2.6 scenario, runoff will increase by 101.56%, and with the Representative Path of Concentration 8.5 scenario, by 109.48%, compared to historical data. This suggests that, during rainfall events, the integrity of water harvesting structures could be compromised if conservation strategies and coverage management are not implemented.

**Keywords:** runoff, curve number, water balance, flow, hydrological response units.

**A**corde al VI Informe sobre Cambio Climático y la tierra del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Arias *et al.*, 2021) la frecuencia e intensidad de algunas condiciones meteorológicas y eventos climáticos extremos han aumentado a consecuencia del calentamiento global y seguirán incrementando bajo escenarios de emisiones medias a altas. Se evidencia que los cambios en las condiciones de la tierra modulan la probabilidad, la intensidad y la duración de muchos eventos extremos, incluidas las olas de calor y eventos de precipitaciones intensas.

Nicaragua es uno de los países con alta vulnerabilidad al cambio climático, lo que se ha evidenciado en los impactos recientes de eventos climáticos, siendo el recurso agua el más afectado debido a los aumentos observados y proyectados en temperatura, evaporación y variabilidad en las precipitaciones (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC], 2007). “Parte del territorio de los departamentos de Madriz, Nueva Segovia, municipios del norte de León, Estelí, Chinandega y oeste de Matagalpa, conforman el denominado Corredor Seco de Nicaragua” (Blandón, 2018, p.3), los que presentan la mayor vulnerabilidad ante el Cambio Climático.

El escurrimiento es un proceso fundamental en la distribución de los recursos hídricos en la superficie terrestre, manteniendo el equilibrio en los ecosistemas y los acuíferos. El volumen de agua que escurre sobre la superficie e infiltra a los acuíferos está en dependencia del uso y manejo del suelo, la topografía y el tipo del suelo. Las prácticas de manejo del suelo en combinación con el manejo de la cobertura vegetal, influye directamente en el volumen de agua que escurre de manera superficial en una cuenca, por tanto, este proceso es de vital importancia para garantizar la seguridad hídrica, puesto que a través de obras de agua se almacena el volumen de agua que escurre superficialmente para servir como suministro de agua en actividades agropecuarias, en zonas donde la variabilidad de las precipitaciones es incierta debido a los efectos del cambio climática.

En Nicaragua muchas de las tierras de pastoreo se encuentran en áreas secas susceptibles al déficit hídrico; toda disminución en calidad posterior de los recursos hídricos afectará en gran medida la disponibilidad de agua para pastoreo, lo que implica un impacto sobre la productividad. (Blandón, 2018, p. 3)

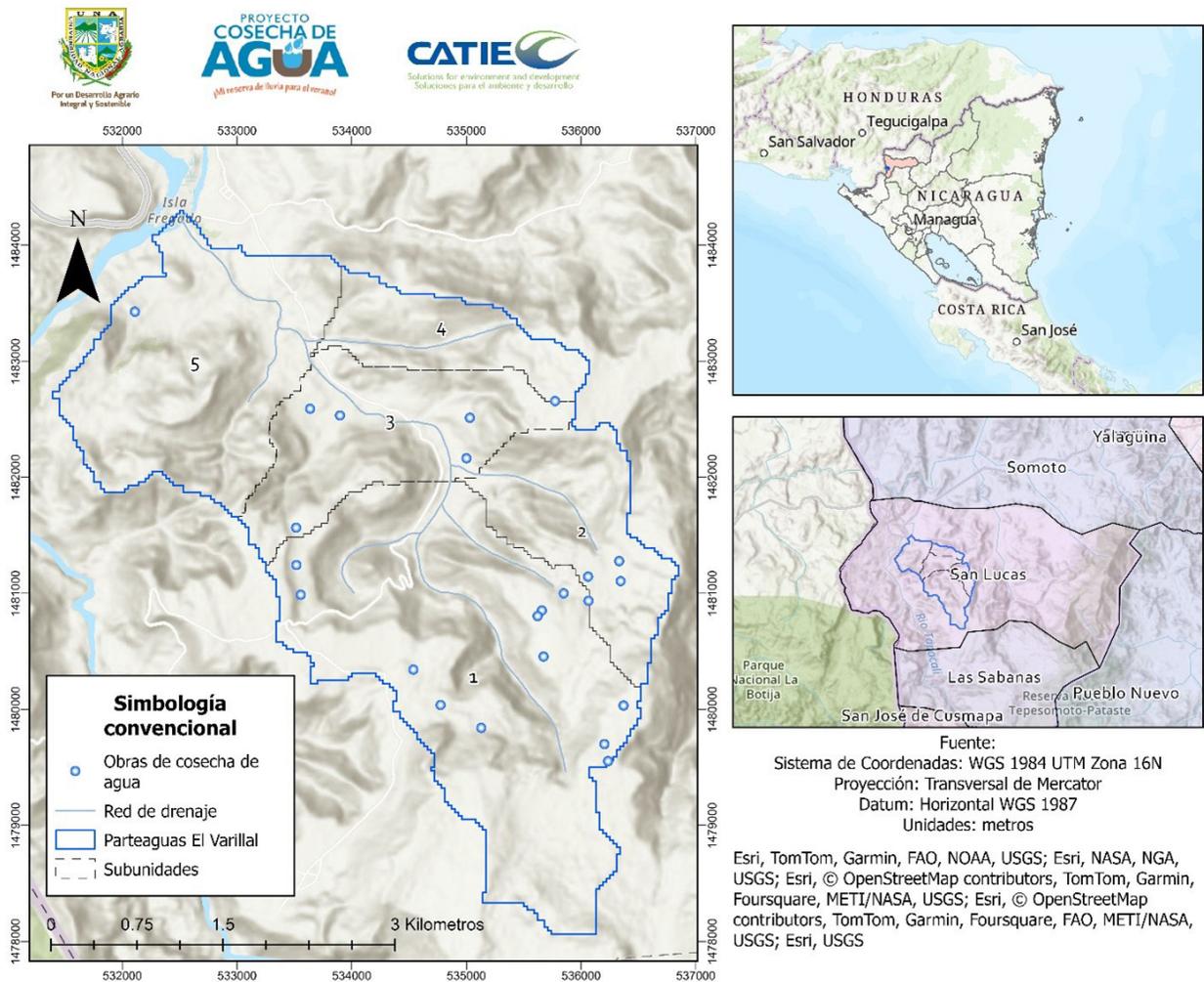
Las obras de cosecha de agua son la alternativa más viable o quizás la más acertada para utilizarla como medida de adaptación, ya que permiten que los pobladores rurales cuenten con acceso al agua gracias a su almacenamiento a partir de la captura de la escorrentía superficial, garantizando así la resiliencia en los sistemas productivos. Considerando la relevancia de éstas ante la incertidumbre climática que vivimos, surge la necesidad de analizar el comportamiento de la escorrentía superficial para determinar el potencial de las obras de cosecha de agua bajo distintos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero.

Con el proyecto “Adaptación de la agricultura del cambio climático a través de la cosecha de agua en Nicaragua” realizado por la Universidad Nacional Agraria, en convenio con el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), se realizó una modelación hidrológico con Soil and Water Assessment Tool (SWAT) en El Varillal ubicada en el departamento de Madriz, para generar información base que sustente la toma de decisiones en función de la planificación y la implementación de acciones a nivel de manejo de recursos naturales, del sistema de cosecha de agua y la gestión integrada de los recursos hídricos de la zona.

### MATERIALES Y MÉTODOS

**Área de estudio.** La microcuenca El Varillal se encuentra ubicada en las coordenadas UTM 534459.2 y 1481764.9. Está localizada en la parte alta del Río Coco, dentro de los municipios San Lucas (97 %) y Somoto (3%), en la zona Norte de Nicaragua. En su territorio se encuentran tres comunidades rurales: Mal Paso, La Playa, Valle de Sonís, donde se han establecido un total de 23 obras de cosecha de agua por escorrentía.

**RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE**



**Figura 1.** Ubicación geográfica de la microcuenca El Varillal y obras de cosecha de agua, San Lucas, Madriz, 2021.

Geológicamente la zona está constituida por depósitos aluviales del cuaternario reciente que se presentan en los valles y planicies. En las cordilleras, las formaciones geológicas son Matagalpa, coyol superior e inferior, Totogalpa, rocas intrusivas del Cretácico y rocas metamórficas del Paleozoico; cuya litología está dominada por rocas volcánicas de carácter ácido. (Alianza por la Resiliencia, 2014)

Según la clasificación de zonas de vida de Holdridge, el 90 % de la superficie de la microcuenca presenta Bosque Seco Subtropical (BSSt), y el restante, Bosque Seco Subtropical Premontano (BSSTP), el que comprende la parte alta de la microcuenca. En cuanto a la clasificación climática de Köppen, presenta un clima de sabana tropical, con temperaturas que oscilan entre 24 °C y 25 °C y precipitaciones anuales entre 630 mm y 800 mm.

**Soil and Water Assessment Tool (SWAT).** Es un modelo hidrológico semi distribuido para simular la calidad y cantidad

de agua superficial y subterránea y predecir el impacto ambiental del uso de la tierra, las prácticas de manejo de la tierra y el cambio climático en la producción de sedimentos y la contaminación del agua con agroquímicos.

El modelo hidrológico SWAT permite pronosticar el impacto del manejo del suelo en la generación de sedimentos y regulación del agua en la microcuenca. Este genera unidades de respuestas hidrológicas acorde al uso de suelo, tipo de suelo y relieve, permitiendo así determinar el aporte de agua en términos de escurrimiento superficial. A partir de esta variable, se infirió la viabilidad de las obras de cosechas de agua por escorrentía, considerando escenarios climáticos futuros.

SWAT requiere información detallada sobre variables climáticas, relieve, uso y tipo de suelo de una cuenca. A partir del modelo de elevación digital Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) con una resolución de 30 metros, se delimitó el parteaguas de la microcuenca y

## RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

su red de drenaje, lo que permitió la subdivisión del área en estudio en “subunidades” de análisis, cuyo punto de drenaje coincide con la ubicación de cinco puntos de aforo establecidos en la red de drenaje.

**Unidades de respuesta hidrológica.** Las Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU) corresponden a superficies con características de pendiente, uso actual del suelo y orden de suelo coincidentes. Su delimitación implica el reconocimiento de los gradientes de pendientes, uso actual de la tierra y características del suelo. La pendiente se obtuvo del modelo de elevación digital NASA (Shuttle Radar Topography Mission [SRTM], 2013).

La caracterización del suelo se realizó muestreo por toposecuencia con barrenadas según la metodología plantada por la (Universidad Nacional Agraria y Catholic Relief Services [UNA y CRS], 2017). Se describió a detalle cinco perfiles de suelo, clasificándolos a nivel de subgrupo taxonómico apoyado de la “Guía para la descripción de suelos”, de la (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación [FAO], 2009) y “Claves para la taxonomía de suelos” del (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos [USDA], 2014).

La clasificación del uso de la tierra, se realizó con la metodología desarrollada por el Programa Regional de Reducción de Emisiones de la Degradación y Deforestación de Bosques en Centroamérica y República Dominicana (REDD/CCAD-GIZ, 2014), que consiste en el levantamiento de puntos de control en los diferentes usos de suelo para realizar una clasificación supervisada con la regla de decisión “Máxima verosimilitud” utilizando una imagen satelital de Sentinel II de noviembre del 2021 de Earth Explorer.

**Escenarios climáticos.** Se comparó el comportamiento del escurrimiento superficial bajo tres escenarios climáticos constituidos por un registro diario de precipitaciones, temperatura máxima y mínima, velocidad del viento y radiación solar. El primer escenario corresponde a datos históricos del periodo 2000-2021, cuyas variables climáticas fueron obtenidas a través de la plataforma Climate Engine, con los datasets CHIRPS (Funk *et al.*, 2014) y CFS Reanalysis (Saha *et al.*, 2011).

Se utilizó dos escenarios climáticos futuros para el periodo 2040 al 2069 considerando las Sendas Representativas de Concentración (RCP) 2.6 y 8.5, obtenidos de MarkSim DSSAT weather file generator (Jones & Thornton, 2002). Estas Sendas Representativas de Concentración son trayectorias contrastantes de emisiones y concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero, emisiones de contaminantes atmosféricos y uso del suelo; la Senda Representativa de Concentración 2.6 es un escenario de emisiones bajas de CO<sub>2</sub>; mientras que 8.5, corresponde

a un escenario que sigue la tendencia de incremento de emisiones (IPCC, 2015).

**Escurrimiento superficial.** Se establecieron cinco puntos de estaciones de aforo, distribuidos a lo largo del cauce principal. Se estimó el caudal circulante con el método velocidad/superficie (Hudson, 1997), utilizando un molinete digital, modelo Global Water FP111. Las mediciones fueron realizadas de manera mensual en el periodo de agosto del 2021 a abril del 2022. Estos datos fueron insumos para verificar si los caudales reales eran comparables con el caudal estimado por el modelo hidrológico a partir del escenario climático histórico.

El modelo hidrológico SWAT utiliza el método de número de curvas numéricas (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y el Servicio de Conservación de Suelo [USDA-SCS], 1972), basado en la estimación directa de una cantidad específica de precipitación partiendo de las características de suelo, usos y cobertura vegetal. SWAT divide la cuenca en subunidades, en este sentido definidas por los cinco puntos de estaciones de aforo, y genera las Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU, por sus siglas en inglés). Estas corresponden a superficies con características de pendiente, uso actual del suelo y orden de suelo coincidentes. Para cada subunidad de análisis definida con el modelo de elevación digital, SWAT estima el escurrimiento superficial mediante el método de número de curva a partir de las unidades de respuesta hidrológica.

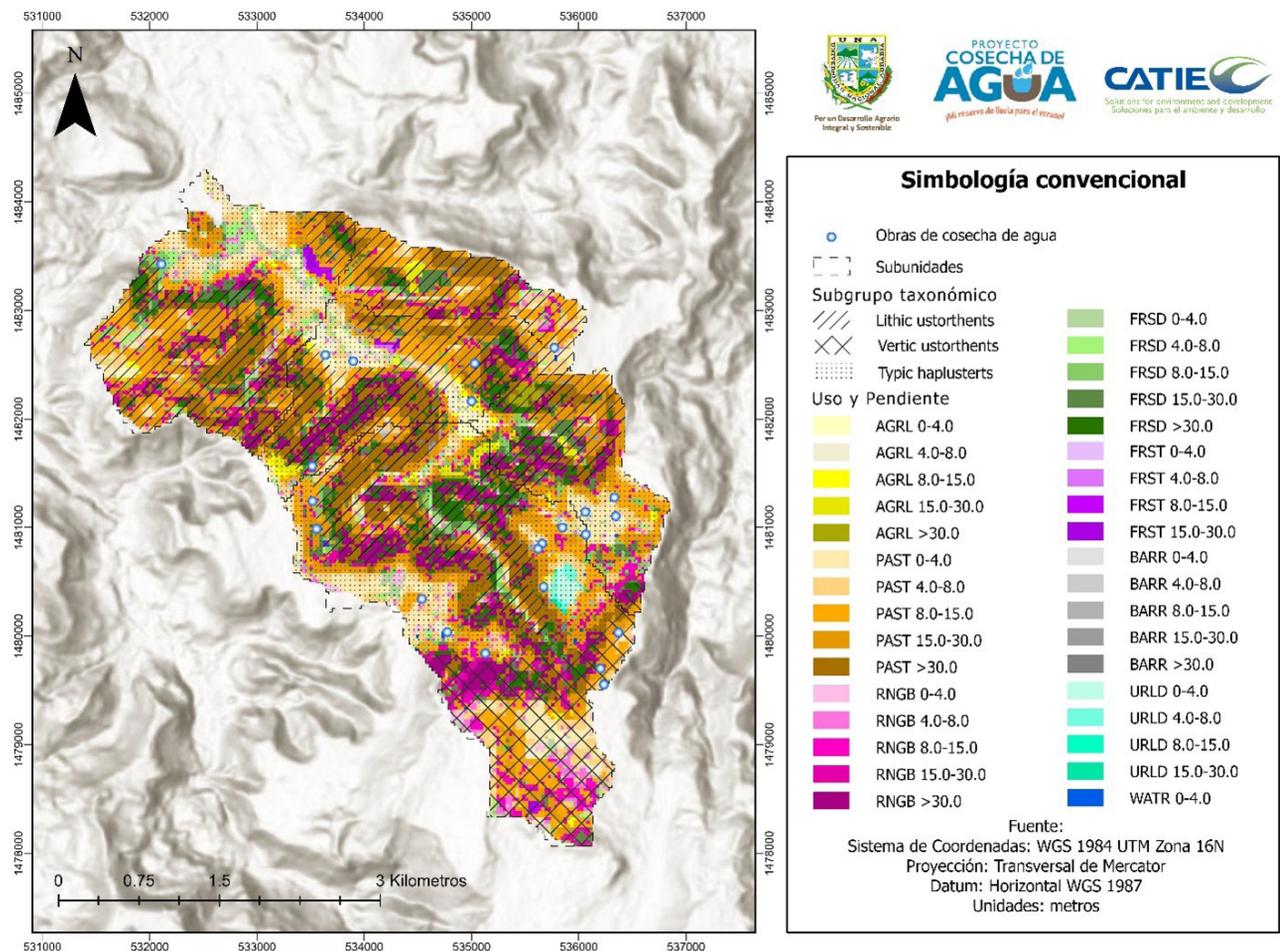
### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Unidades de respuesta hidrológica.** La combinación de la pendiente, uso de la tierra y tipo de suelo permitió la identificación de 137 unidades de respuesta hidrológica dentro de la microcuenca (Figura 2).

La microcuenca presenta una elevación mínima de 704.2 msnm y máxima de 1156 msnm con una pendiente media de 21.07 %, y un terreno fuertemente accidentado en su parte media y alta. Los suelos se clasifican en dos órdenes, divididos en tres subgrupos taxonómicos siendo estos el orden entisol (Lithic ustorthents, Vertic ustorthents) y vertisol (Typic haplusterts). En términos generales, la microcuenca presenta mayoritariamente suelos entisoles pocos profundos, con afloramiento rocosos y con clases texturales predominantemente arcillosas, ocupando el 67.6% del área total.

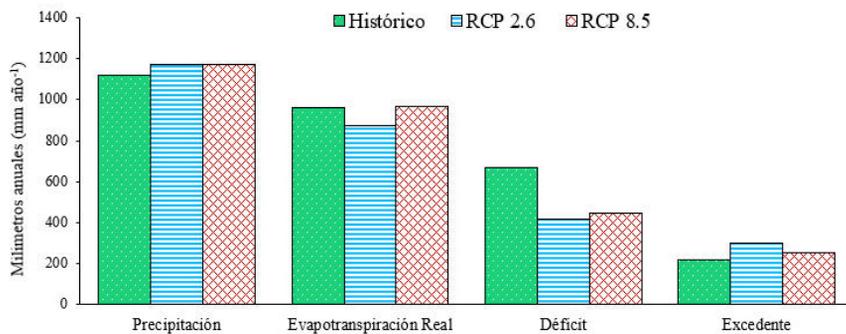
Se identificó ocho usos de la tierra, siendo estos pastizales (PAST), cultivo anual (AGRL), vegetación arbustiva (RNGB), bosque latifoliado (FRSD), plantaciones forestales (FRST), suelos sin vegetación (BARR), caseríos y agua (WATR). El uso predominante en la microcuenca son los pastizales, que representan 59.01% del área total, seguido de la vegetación arbustiva, 17.42%; y bosque latifoliado, 17.38 %.

**RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE**



**Figura 2.** Unidades de respuesta hidrológica en la microcuenca El Varillal, 2021.

**Escenarios climáticos.** En la Figura 3, se muestra las variaciones entre los tres escenarios climáticos (Histórico, RCP 2.6 y RCP 8.5). Para finales del siglo, se prevé que aumente la frecuencia de ciclones categoría 4 y 5 (Comisión Económica para América Latina [CEPAL], 2012) y eventos climáticos como fuertes sequías y lluvias torrenciales en periodo pequeño (Arias *et al.*, 2021).



**Figura 3.** Escenarios climáticos (histórico y sendas representativas de concentración 2.6 y 8.5) en el balance climático de la microcuenca El Varillal.

Las precipitaciones considerando las Sendas Representativas de Concentración 2.6 (1174.74 mm) y 8.5 (1173.98 mm), son ligeramente mayores con respecto al registro histórico (1121.52 mm), lo que indica que, pese a que habrá un aumento de la precipitación que podría estar asociado a eventos lluviosos más intensos o mayor ocurrencia de precipitaciones convectivas (Espinoza Acuña, 2022), la distribución de las precipitaciones durante el tiempo será errática.

Tapasco *et al.* (2015) afirman que, “aunque la temperatura se incrementa, la precipitación también aumenta, lo que conlleva a que la mayor demanda evapotranspirativa sea compensada por los incrementos en la lluvia” (p. 30). La evapotranspiración real presenta un ligero incremento entre el registro histórico (960.89 mm) y la Senda Representativa de Concentración 8.5 (969.65 mm), en donde se espera un incremento de las temperaturas

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

globales de 2.6° a 4.8° C para finales del siglo XXI. (IPCC, 2015) Este incremento de las temperaturas globales se expresa como un incremento en la evaporación. Por otra parte, es notoria la disminución de la evapotranspiración real que se podría esperar con la Senda Representativa de Concentración 2.6 (872.80 mm), debido a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, lo que implica incremento de las temperaturas globales de 0.3 a 1.7 °C (IPCC, 2015), mucho menor con respecto a la Senda Representativa de Concentración 8.5.

Así mismo, los excesos de agua están condicionados por la cantidad de evapotranspiración que se puede generar en la microcuenca; en la Senda Representativa de Concentración 2.6 (301.93 mm) se espera mayor exceso de agua con respecto al escenario histórico (220.35 mm) y la Senda Representativa de Concentración 8.5 (250.62 mm), relacionado a temperaturas menos cálidas, permitiendo de esta manera un mejor almacenamiento de agua en la microcuenca. El déficit de agua del escenario histórico (669.43 mm) con respecto a los escenarios futuros de las Sendas Representativas de Concentración 2.6 (419.33 mm) y 8.5 (446.12 mm) es notoria. La reducción del déficit está asociada al incremento de las precipitaciones y consecuentemente al excedente de agua.

Las Obras de Cosecha de Agua podrían verse afectadas debido a las precipitaciones con mayor intensidad y poca duración, lo que podría generar afectaciones en los taludes debido a la pobre vegetación circundante, además de generar mayor escorrentía superficial, sobrepasando la capacidad de almacenamiento, no obstante, este aumento generaría un mejor aprovechamiento en la utilización de las obras.

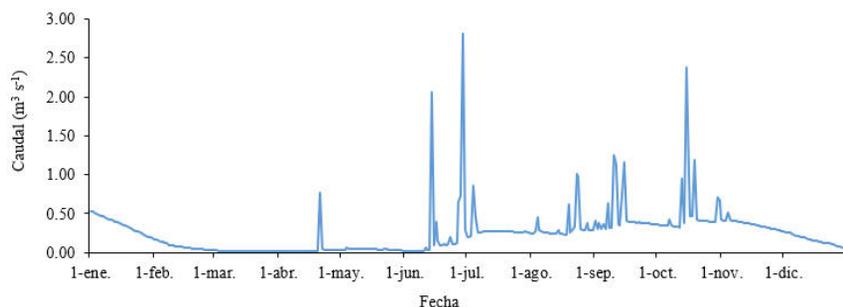


Figura 4. Hidrograma del año 2021 de la microcuenca El Varillal.

**Escurrimiento superficial.** De acuerdo con el Oceanic Niño Index (ONI) el 2021 fue un año La Niña moderado (Centro de Predicción Climática de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica [NOAA-NWS], s.f.), esto es notorio en el hidrograma del año 2021. (Figura 4)

Los caudales de enero a junio no exceden de 0.01 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, sin embargo, se registran constantes eventos de precipitación entre mediados de junio a noviembre, registrándose caudales de 2.80 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> en el mes de julio. También se puede visualizar una entrada tardía de las precipitaciones, y mayor frecuencia del incremento del caudal entre mediados de junio y julio, y posterior al periodo canicular, entre finales de agosto a noviembre. Esta irregularidad en los picos del caudal remarca la pertinencia del establecimiento de obras de cosecha de agua en la microcuenca. El caudal anual para el año 2021 es de 0.24 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, muy por debajo de los estimado con las Sendas Representativas de Concentración 2.6 y 8.5, en donde se espera un caudal anual medio de 0.46 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> para ambos escenarios. (Figura 5).

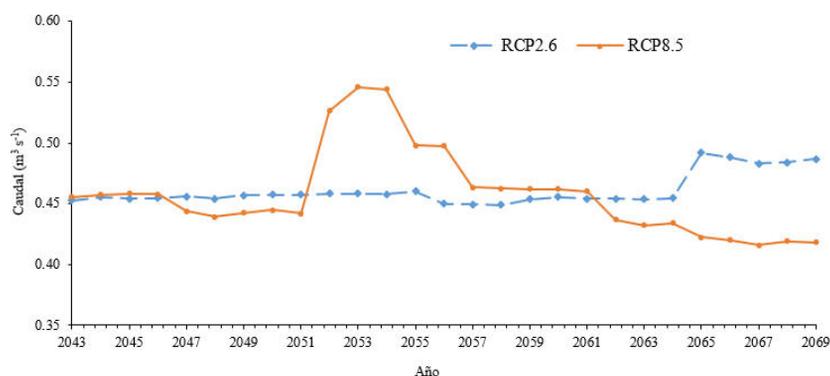


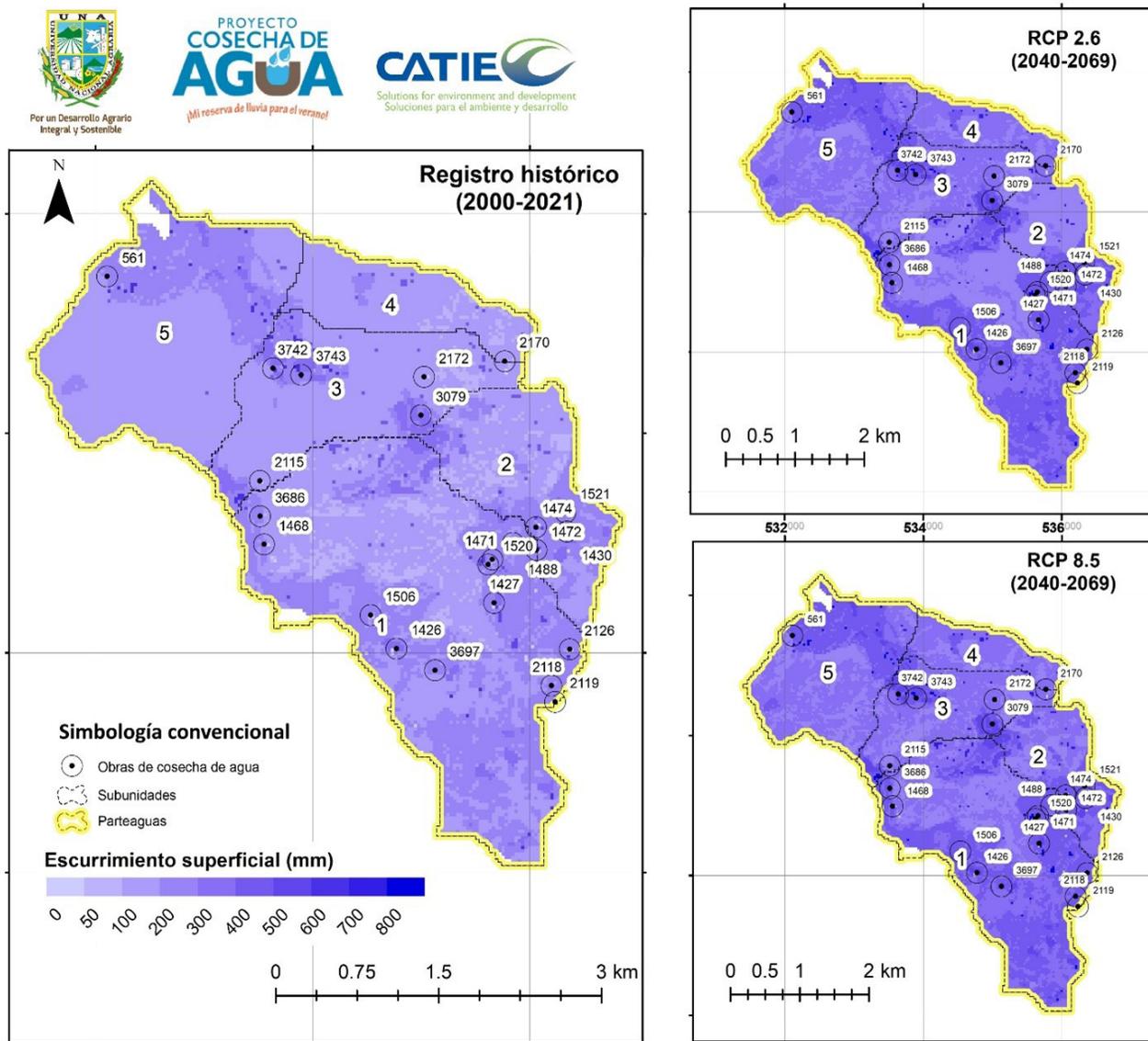
Figura 5. Caudales anuales (2043-2069) de la microcuenca El Varillal con escenarios climáticos RCP 2.6 y RCP 8.5.

Pese a que el caudal anual promedio para el periodo 2043-2069 con ambas Sendas Representativas de Concentración es de 0.46 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, el comportamiento de los caudales con la Senda Representativa de Concentración 2.6 presentan registros que no varían significativamente entre los años del 2043 al 2065, pero para el año 2065 se estima aumento del caudal anual de hasta 0.49 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, lo que está relacionado al aumento de las precipitaciones.

La Senda Representativa de Concentración 8.5 no presenta variaciones importantes en su caudal anual con respecto a la Senda Representativa de Concentración 2.6 hasta el año 2051, en donde se espera que el nivel de los caudales aumente hasta 0.54 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> y presente un comportamiento errático, pudiendo estar relacionado a la ocurrencia de huracanes o tormentas tropicales, generando así precipitaciones intensas en cortos o prolongados periodos de tiempo.

En cuanto al escurrimiento superficial, este variará notoriamente con respecto a las Unidades de Respuesta Hidrológica presente en la microcuenca y los escenarios

**RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE**



**Figura 6.** Esguerrimiento superficial según escenario climático (histórico y sendas representativas de concentración 2.6 y 8.5) en la microcuenca El Varillal, San Lucas, Madriz.

climáticos. Los mayores aportes del esguerrimiento ocurren en Unidades de Respuesta Hidrológica que presentan suelos Typic Haplusterts por ser de características arcillosas y con rápida saturación, uso actual con parcelas agrícolas y pastizales, los que poseen un sistema radicular idóneo para retener agua en pendientes inclinadas, además cuentan con un relieve que va de moderado a fuertemente escarpada, lo que facilita el flujo del esguerrimiento de agua superficial hacia las obras de cosechas de agua (Figura 6).

Otras Unidades de Respuesta Hidrológica que favorecen el esguerrimiento superficial son los que presentan combinaciones de usos de cultivos anuales o superficies desprovistas de vegetación, en suelos del subgrupo

Lithic Ustorthents y Typic Haplusterts y en pendientes moderadamente escarpadas a fuertemente escarpadas (mayores al 15 %).

El esguerrimiento superficial estimado a partir de las Sendas Representativas de Concentración con respecto al histórico para las cinco subunidades refleja un incremento del volumen de agua, siendo de 101.56 % para la Sendas Representativa de Concentración 2.6 y de 109.48 % para la Senda Representativa de Concentración 8.5, con respecto al registro histórico. (Cuadro 1).

Destaca la subunidad 1 correspondiente al área de captación de la microcuenca, la que presenta el mayor incremento en el esguerrimiento superficial no solo por la

**RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE**

dimensión de su superficie, si no por sus condiciones biofísicas como suelos compactados por sus usos agropecuarios, de texturas arcillosas y pendientes escarpadas. La subunidad 4 es la que genera menor aporte debido las Unidades de Respuesta Hidrológica que contiene que corresponden a pastizales en suelos Lithic Ustorthents en pendientes moderadamente escarpadas; así como pasturas en suelos en pendientes planas a ligeramente inclinadas.

Este incremento en el escurrimiento podría ser beneficioso para algunas obras de cosecha de agua por escorrentía, principalmente para aquellas que cuentan con un área de captación de la obra protegida con vegetación forestal y arbustiva. Sin embargo, se puede inferir que los usos agropecuarios en conjugación con las características físicas del suelo y las condiciones futuras desfavorables previstas considerando las Sendas Representativas de Concentración, podrían comprometer la estructura de las obras si no se le brinda un mantenimiento periódico, tanto a los taludes de la obra como a su área de captación.

**Cuadro 1.** Escurrimiento superficial por subunidad

Subunidad	Área (km <sup>2</sup> )	Escurrimiento superficial (mm)		
		Histórico	RCP 2.6	RCP 8.5
1	6.66	188.11	373.93	388.59
2	1.97	173.53	348.78	368.13
3	2.55	171.66	347.76	360.51
4	1.29	147.38	310.62	326.70
5	3.72	173.38	353.42	363.65
<b>Promedio</b>	<b>16.20</b>	<b>177.11</b>	<b>356.98</b>	<b>371.00</b>

**CONCLUSIONES**

Los eventos climáticos serán diversos y dinámicos; las variables climáticas bajo escenarios de cambio climático

para un periodo de 30 años superarán los valores históricos, expresándose principalmente en el aumento de las precipitaciones, aunque con variaciones importantes en sus intensidades, frecuencia y duración, y consecuentemente en un impacto en el comportamiento de los caudales de la microcuenca.

Las condiciones biofísicas de la microcuenca, caracterizada por presentar Unidades de Respuesta Hidrológicas con suelos franco-arcillosos a arcillosos con cultivos anuales y pasturas en pendientes moderadamente escarpadas a escarpadas, favorecen el escurrimiento superficial, y por ende la posibilidad de captar agua de lluvia en las obras de cosecha de agua por escorrentía, siempre y cuando haya manejo forestal en el área de captación. Sin embargo, considerando que las condiciones actuales se mantuviesen en el tiempo, este incremento del escurrimiento bajo escenarios de cambio climático será más notorio, lo que podría repercutir negativamente en la integridad de la obra. Ante esto, se debe considerar estrategias de manejo y conservación de los taludes de la obra, así como del área de captación para garantizar que una fracción de la escorrentía infiltre y no se convierta en un riesgo para la obra.

**AGRADECIMIENTO**

A la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) por el financiamiento de esta investigación a través del proyecto “Cosecha de Agua” del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).

A la MSc. Raquel Izaba Ruiz y al ing. Claudio González por su apoyo y atención durante el consolidado de este escrito.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Alianza por la Resiliencia. (2014). *Plan de manejo y gestión integral de la subcuenca del río Tapacalí*. [https://preparecenter.org/sites/default/files/plan\\_de\\_manejo\\_tapacali\\_22022015.pdf](https://preparecenter.org/sites/default/files/plan_de_manejo_tapacali_22022015.pdf)

Arias, P.A., Bellouin, N., Coppola, E., Jones, R.G., Krinner, G., Marotzke, J., Naik, V., Palmer, M.D., Plattner, G. K., Rogelj, J., Rojas, M., Sillmann, J., Storelvmo, T., Thorne, P.W., Trewin, B., Achuta Rao, K., Adhikary, B., Allan, R.P., Armour, K., ...Zickfeld, K. (2021). Technical Summary. En *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 35-144). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.002>

Blandón, L. C. (2018). *Influencia del uso de suelo en la dinámica hidrológica de las aguas superficiales en la Microcuenca río Pire, Municipio de Condega, Departamento de Estelí* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unan.edu.ni/10879/1/0707.pdf>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2012). *La economía del cambio climático en Centroamérica: Síntesis 2012*. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/2bbc10b3-4ab4-4d06-a7af-1ddabd3e150c/content>

Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. (2014). *Claves para la taxonomía de suelos* (12ª ed.). Soil Survey Staff. <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Spanish-Keys-to-Soil-Taxonomy.pdf>

Espinoza Acuña, M. J. (2022). Aplicación del modelo hidrológico SWAT en unidades hidrográficas de Nicaragua: Simulación del escurrimiento superficial. *La Calera*, 22(38), 24-29. <https://doi.org/10.5377/calera.v22i38.14116>

## RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

- Funk, C.C., Peterson, P.J., Landsfeld, M.F., Pedreros, D.H., Verdin, J.P., Rowland, J.D., Romero, B.E., Husak, G.J., Michaelsen, J.C., & Verdin, A.P. (2014). *A quasi-global precipitation time series for drought monitoring*. U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/ds832>
- Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. (2015). *Cambio climático 2014, Informe de síntesis*. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf)
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4\\_syr\\_sp.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_sp.pdf)
- Hudson, N. W. (1997). *Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. <https://www.fao.org/4/T0848S/T0848S00.htm>
- Jones, P. G., & Thornton, P. K. (2002). *MarkSim. Versión 1*. <https://ccafs-climate.org/downloads/docs/MarkSim-manual.pdf>
- NASA Shuttle Radar Topography Mission. (2013). *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Global*. <https://doi.org/10.5069/G9445JDF>
- National Oceanic and Atmospheric Administration -National Weather Service. (s.f.). *Historical El Niño/La Niña episodes (1950-present): Cold & warm episodes by season*. [https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php)
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. (2009). *Guía para la descripción de suelos* (4ª ed.). <https://www.fao.org/3/a0541s/a0541s.pdf>
- Programa Regional Reducción de Emisiones de la Deforestación y Degradación de bosques. (2014). *Metodología para el levantamiento de puntos de control en la verificación del mapa de superficie forestal y cobertura de la tierra de Honduras*. [https://www.sica.int/documentos/nota-tecnica-metodologia-levantamiento-puntos-de-control-mapa-hn\\_1\\_124862.html](https://www.sica.int/documentos/nota-tecnica-metodologia-levantamiento-puntos-de-control-mapa-hn_1_124862.html)
- Saha, S., Moorthi, S., Wu, X., Wang, J., Nadiga, S., Tripp, P., Behringer, D., Hou, Y., Chuang, H., Iredell, M., Ek, M., Meng, J., Yang, R., Peña Mendez, M., Dool, H. V. D., Zhang, Q., Wang, W., Chen, M., & Becker, E. (2011). *NCEP Climate Forecast System Version 2 (CFV2) 6-hourly Products. Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory*. <https://doi.org/10.5065/D61C1TXF>
- 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>
- U.S. Department of Agriculture-Soil Conservation Service. (1972). *SCS National engineering handbook, section 4, hydrology. Chapter 10, estimation of direct runoff from storm rainfall*. U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service, [https://irrigationtoolbox.com/NEH/Part630\\_Hydrology/H\\_210\\_630\\_10.pdf](https://irrigationtoolbox.com/NEH/Part630_Hydrology/H_210_630_10.pdf)
- Universidad Nacional Agraria y Catholic Relief Services. (2017). *Guía técnica para muestreo de suelos*. <https://repositorio.una.edu.ni/3613/1/P33M539.pdf>