

Escorrentía superficial y acciones participativas para la gestión ambiental en la Subcuenca III de la Cuenca Sur del Lago de Managua, Nicaragua

Surface runoff and participatory actions for environmental management in Sub-basin III of the South Basin of Lake Managua, Nicaragua

Úbeda Trujillo, Ingrid; Rocha, Lester

 Ingrid Úbeda Trujillo

ingrid.ubeda@unan.edu.ni

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua,
Managua, Nicaragua

 Lester Rocha

lester.rocha@ci.una.edu.ni

Universidad Nacional Agraria (UNA), Nicaragua

Revista Torreón Universitario

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua-Managua,
Nicaragua

ISSN: 2410-5708

ISSN-e: 2313-7215

Periodicidad: Cuatrimestral

vol. 10, núm. 27, 2021

revis.torreon.faremc@unan.edu.ni

Recepción: 25 Enero 2020

Aprobación: 13 Julio 2020

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/387/3871840010/index.html>

DOI: <https://doi.org/10.5377/torreon.v10i27.10844>

Autor de correspondencia: ingrid.ubeda@unan.edu.ni

El autor o los autores de los artículos, ensayos o investigaciones conceden a la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua (UNAN-Managua) los derechos de edición (copyright) del trabajo enviado, por consiguiente la Universidad cuenta con el derecho exclusivo para publicar el artículo durante el periodo completo de los derechos de autor.



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

Resumen: En la Subcuenca III de la Cuenca Sur del Lago de Managua, Nicaragua, existe un aumento de la escorrentía superficial causada por el incremento de las coberturas urbano, agricultura, y por la tendencia fluctuante de la cobertura bosque. En este estudio se evaluó la escorrentía superficial en función de las coberturas de la tierra de los años 2003, 2010, 2016, y el año proyectado 2025. Metodológicamente se delimitó el área en estudio en 23 Unidades de Respuesta Hidrológica (URH) con el fin de identificar las áreas donde se producen los mayores escurrimientos. En cada URH se aplicó el método Número de Curva (CN) del Servicio de Conservación Suelos (SCS), y para discretizar el método se utilizó un hietograma, el tipo hidrológico de suelo y la condición de humedad antecedente. El hietograma se generó con base en el cálculo de las Curvas de Intensidad, Duración, Frecuencia. Además, el número hidrológico se estimó con base en el tipo de suelo y la elaboración de los mapas de coberturas de la tierra para cada año evaluado. Los resultados indican que las URH asociadas a las coberturas agricultura y urbano se generan los mayores escurrimientos ($47 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $36 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $13 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, y $10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Por lo tanto, en estas URH es recomendable la implementación de acciones participativas de índole regulatorio, económico, educativa, y organizacional para la gestión ambiental del área en estudio.

Palabras clave: Número de Curva, coberturas de la tierra, Unidades de Respuesta Hidrológica, sector público y privado.

Abstract: In Sub-basin III of the South Basin of Lake Managua, Nicaragua, there is an increase in surface runoff caused by the increase in urban coverage, agriculture, and the fluctuating trend of forest cover. In this study, the surface runoff was evaluated based on the land cover of the years 2003, 2010, 2016, and the projected the year 2025. Methodologically, the area under study was delimited in 23 Hydrological Response Units (URH) to identify the areas where the greatest runoff occurs. In each URH, the Curve Number (NC) method of the Soil Conservation Service (SCS) was applied, and to discretize the method, a hietogram, the hydrological type of soil, and the antecedent humidity condition were used. The hietogram was

generated based on the calculation of the Curves of Intensity, Duration, Frequency. Furthermore, the hydrological number was estimated based on the type of soil and the preparation of land cover maps for each year evaluated. The results indicate that the URH associated with agriculture and urban coverage generate the greatest runoff ($47 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $36 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $13 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, y $10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Therefore, in these URH's it is recommended the implementation of participatory actions of a regulatory, economic, educational, and organizational nature for the environmental management of the area under study.

Keywords: Curve Number, land cover, Hydrological Response Units, public and private sector.

INTRODUCCIÓN

El método Número de Curva (CN), es muy utilizado para aproximarse a calcular la relación precipitación-escorrentía (Chow, Maidment, & Mays, 1994; Satheeshkumar, Venkateswaran, & Kannan, 2017), y proporcionar datos de entrada para el modelado hidrológico (Adham, M. I; Shirazi, S. M; Othman, F; Rahman, S; Yusop, Z; Ismail, Z, 2014). Recientemente para la ejecución de acciones participativas derivadas de un programa de gestión ambiental es de interés examinar los impactos en la cuenca (Guo, Huo, & Jiang, 2008; Satheeshkumar, et al., 2017), de acuerdo a la escala temporal y espacial, y con base en la integración de modelos hidrológicos y modelos para predicción de las coberturas de la tierra (Verburg, Rousenvell, & Veldkamp, 2006; Miranda, 2008; (Hernández Guzmán, Ruiz, Berlanga-Robles, & Zoltán Vekerdy, 2009; Sundarakumar, K; Harika, M; Begum, S; Aspiya, K; Yamini, S; Balakrishna, K, 2012; Cano, Andreoli, Arumi, & Rivera, 2014, Adham, et al., 2014; Ndulue, L; Mbajiorgu, C C; Ugwu, S N; Ogwo, V; Ogbu, K N, 2015; Mwathi, 2016).

El cambio de cobertura de la tierra y su interacción con el agua y el suelo modifica el equilibrio hidrológico de una cuenca y por consiguiente, influye significativamente en el volumen de escorrentía (Notter, MacMillan, Viviroli, Weingartner, & Liniger, 2007; Guo, Huo, & Jiang, 2008; Mango, Melesse, McClain, & Gann, 2011; Satheeshkumar, et al, 2017). La cobertura agrícola ha degradado adversamente el funcionamiento apropiado del ambiente produciendo una variabilidad superficial de la escorrentía y la disminución de los rendimientos de agua (Villarreal Hernández, Martínez Valdés, & Belmonte Jiménez, 2013; Alemayehu, 2015; Ndulue et al., 2015). Simultáneamente, la cobertura urbana presenta cuatro etapas que afectan al ambiente. En la primera etapa durante la remoción de la vegetación natural se causa la erosión de los suelos. En la segunda etapa, con la construcción de casas, calles y canales se disminuye la infiltración en los acuíferos. En la tercera etapa, cuando ya existe una cobertura urbana se incrementa la impermeabilidad, se reduce el tiempo de concentración de la escorrentía, y se incrementan los picos de descarga después de comenzar la lluvia en una cuenca. Finalmente, cuando los alcantarillados y canales de desagüe se consolidan en la ciudad se producen inundaciones en la parte baja de la cuenca (Villarreal, et al., 2013).

El enfoque de Unidades de Respuesta Hidrológica (URH) con áreas de aproximadamente 10 km^2 hace efectivo cuantificar los impactos de la cobertura de la tierra sobre la escorrentía superficial (FAO, 2002), permite la identificación de URH críticas (Espíritu y Hernández, 2013), y también hace efectivo las acciones de gestión en una cuenca. Ya que la división de una cuenca grande en unidades pequeñas fisiográficas

NOTAS DE AUTOR

ingrid.ubeda@unan.edu.ni

o hidrológicamente análogas facilita y hace económico el desarrollo de programas de gestión ambiental (Hernández, et al., 2009; Leonel, Aguilar Robledo, & Medellín, 2013).

METODOLOGÍA

Área de estudio

En la Figura 1 se muestra la ubicación geográfica de la Subcuenca III de Managua, de la Cuenca Sur de Managua, Nicaragua. Tiene una superficie de 17, 337 ha y se extiende desde la Meseta de El Crucero (940 msnm) coincidente con la parte alta (al sur del mapa) hasta las costas del Lago de Managua (40 msnm) coincidente con la parte baja (al norte del mapa). Los municipios que forman parte del área en estudio son: El Crucero, La Concepción, Ticuantepe, Nindirí, y los distritos V y VI de Managua. El 90 % de las precipitaciones se presenta en el período lluvioso (mayo-octubre) y el 10% de las precipitaciones durante el período seco (ALMA, 2008). Las pendientes en la parte alta es de 15° y 49°, en la parte media de 0° y 49°, y en la parte baja de 0° y 3.6°, y las principales coberturas de la tierra son: bosque, agricultura, urbano, matorral y agua en menor área.

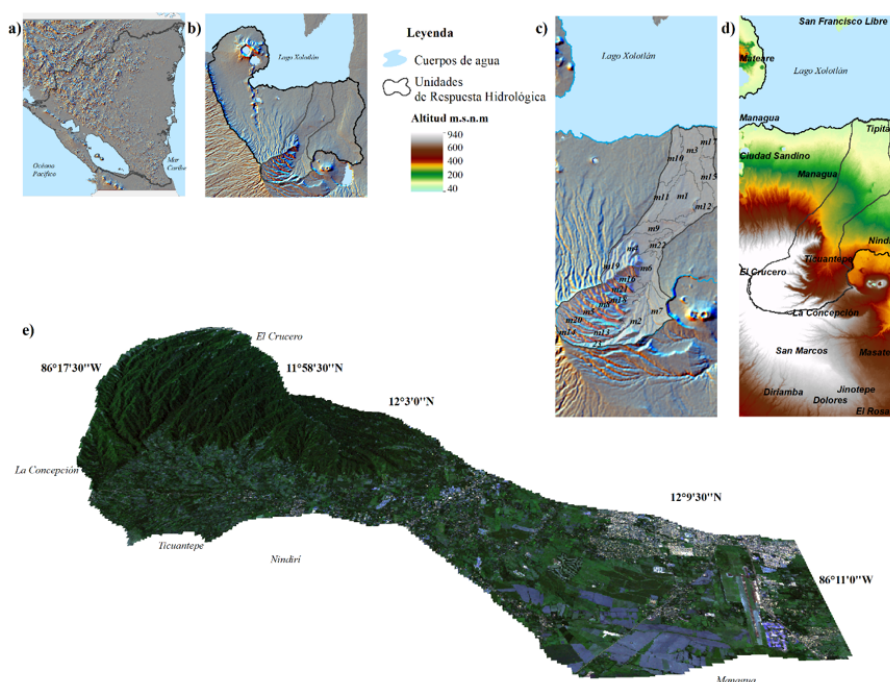


FIGURA 1

Localización de la Subcuenca III de Managua a) Mapa de Nicaragua, b) Mapa de la Cuenca sur del Lago de Managua, c) Mapa Unidades de Respuesta Hidrológica d) Mapa de las Altitudes de la Subcuenca III de Managua e) Mapa en 2D del área en estudio.

Métodos

Se estimó la escorrentía superficial para los años 1997, 2003, 2010, 2016 y se simuló al año 2025 utilizando el método Número de Curva (CN) del Servicio de Conservación de Suelos (S.C.S.) de los EE.UU (Satheeshkumar., et al 2017) y en función de los mapas de coberturas de la tierra generados para cada año evaluado (datos no publicados).

El método CN se ejecutó en el Software HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center) y los datos de entrada que se generaron fueron: el hietograma, el tipo hidrológico de suelo, y la condición de humedad antecedente.

Para el cálculo del hietograma se utilizó los registros anuales de 10 años de la precipitación de la estación meteorológica (código 69027) del Aeropuerto Internacional Managua, ubicada en la parte baja de la Subcuenca III (coordenadas de ubicación 12° 08' 36" N, 86° 09' 49" O). Seguidamente, se estimó la precipitación máxima probable en 24 horas mediante el ajuste de una distribución de probabilidad de Gumbel (Ecuación 1), y se estableció una corrección por intervalo fijo 1.13 (Hershfield, 1961).

Debido a la escasez de registros de lluvias de una hora se procedió a relacionar los valores máximos de precipitación en un día con los coeficientes de precipitación de una 1 hora (Campos, 1992). A partir de las precipitaciones máximas diarias según su duración y frecuencia, así como la aplicación del método de bloques alternos (Chow et al., 1994) se estimó la intensidad de la precipitación (mm/hr) y se obtuvo una precipitación de diseño de 113 mm en 24 horas (Ecuación 2).

$$F_{(x)} = \alpha e^{(-\alpha(x-\beta)-e^{\alpha(x-\beta)})}$$

donde: N muestras, contiene n eventos. α y β son los parámetros de la función.

[Ecuación 1. Distribución de la densidad de probabilidad]

$$I = \frac{K \cdot T^m}{t^n}$$

[Ecuación 2. Intensidades de lluvia a partir de Pd]

Ecuación 2. Intensidades de lluvia a partir de Pd, según Duración de precipitación y Frecuencia de la misma donde P=Precipitación diaria en mm, t= duración en horas, k= término constante de regresión, t =período de retorno, m= coeficiente de regresión, t= tiempo de duración de la precipitación en mm, n= parámetro de ajuste. K, m, n se calcularon mediante la aplicación de logaritmos a cada variable para obtener una expresión matemática que represente la variación de la intensidad de precipitación en función de la duración de la misma (Campos, 1992).

El tipo de suelo hidrológico y por consiguiente el Número de Curva con una humedad antecedente normal (ACM II) se obtuvo al sobreponer espacialmente el tipo de suelo (INETER, 2015) y las coberturas de la tierra de los años 1997, 2003, 2016 y el año proyectado 2025. Las categorías de las coberturas fueron: agricultura, bosque, urbano, matorral y agua.

Al considerar una humedad antecedente III (AMC III) a los cinco días previos al evento (precipitación de diseño) se calculó mediante la Ecuación 3 el Número de Curva III (Chow et al., 1994).

$$CN (III) = \frac{23 \cdot CN (II)}{10 + 0.13 CN (II)}$$

[Ecuación 3. Cálculo de NC III]

Adicionalmente, se delimitó el área en estudio en 23 Unidades de Respuestas Hidrológica con áreas de 3 a 14 km² (FAO, 2002) para identificar las áreas que son críticas debido a la producción de los mayores escurrimientos generados de acuerdo a su área y cobertura de la tierra. Para la delimitación se utilizó un Modelo de Elevación Digital de 80 m, la acumulación del flujo y la red de drenaje. Seguidamente, para contribuir a la gestión ambiental de la Subcuenca III de Managua se propusieron acciones participativas de índole regulatorio, económico, educativa, y organizacional en las URH críticas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Escorrentía superficial neta

La escorrentía superficial neta fue 352.8 m³.s⁻¹ (metros cúbicos por segundo), 449.2 m³.s⁻¹, 396.4, 407.5 m³.s⁻¹, y 383.6 m³.s⁻¹ durante los años 1997, 2003, 2010, 2016 y el año proyectado 2025, lo que significó un incremento del 12%, 6 % y 3% durante los períodos de tiempo: 1997-2003, 2003-2010, 2010-2016 y una disminución del 3% para período proyectado 20016-2025 (Figura 2).

El aumento de la escorrentía superficial neta coincide con el aumento de las coberturas urbana (1658 ha), matorral (1519 ha), agricultura (712 ha) y bosque (847 ha) durante 1997-2016. En cambio la disminución de la escorrentía superficial neta para el período proyectado (2016-2025) coincide principalmente con el aumento de la cobertura bosque (1566 ha) y urbano (446 ha).

Al aumentar las coberturas urbanas, agricultura, matorral y el bosque (en menor área), y al considerar una humedad antecedente de 5 días también aumenta el escurrimiento total. La conversión de la superficie forestal a cultivos o pastizales incrementan la escorrentía superficial anual provocando inundaciones y disminución de los caudales (Guo, et al., 2008, Notter et al., 2007; Ndulue et al., 2015; Satheeshkumar et al., 2017).

Contrario a los años anteriores, para el año proyectado 2025 la escorrentía superficial disminuirá. Una de las causas de esta disminución se debe probablemente a la alta capacidad de almacenamiento de los grupos hidrológicos de suelo (Adham, et al., 2014) sobre los cuales han cambiado las coberturas. Ya que tanto la cobertura urbana que es altamente impermeable, así como la cobertura bosque con alta capacidad de almacenamiento de agua aumentarán su superficie. Sin embargo, si los bosques incrementan o no la escorrentía podría depender de la edad de éste, de la extensión de la cobertura vegetal, del sistema radicular, de la luz, la regeneración y de su efecto sobre el contenido de materia orgánica del suelo. En este sentido Álvarez (2010) observó que el bosque secundario genera menos escorrentía ya que tiene un mayor consumo de agua debido a su fase de crecimiento. Por su parte, Ndulue et al., (2015) observó que si la cobertura del dosel se reduce a un 20% y 70 % del área se producen mayores escurrimientos en la cuenca (Hernández, et al., 2009, Notter et al., 2007).

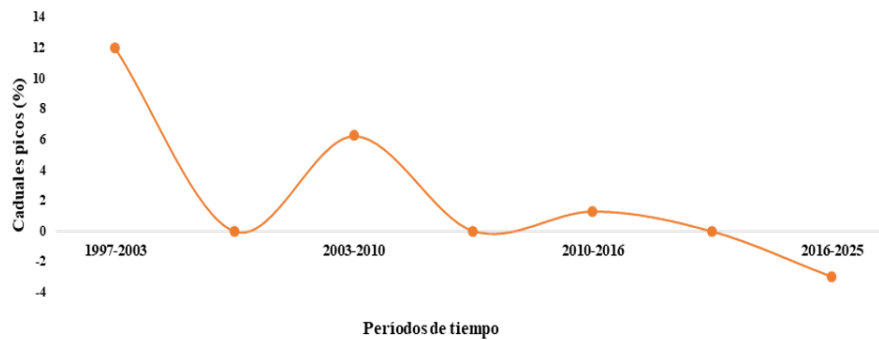


FIGURA 2.

Caudales picos en porcentajes por períodos de tiempo

Escorrentía superficial en función del área de las Unidades de Respuesta Hidrológica (URH)

Para el año 2016 y el año proyectado 2025 los mayores escurrimientos fueron de $47 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $36 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $13 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, y $10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Figura 3) en las URH donde predominan el 90% de las coberturas agricultura y urbano (Figura 4). El escurrimiento en estas URH no es proporcional al área de la misma y además están ubicadas sobre el acuífero las Sierras (Figura 5) por lo que son consideradas URH críticas; como es el caso de las URH 5, 13, y 14 ubicadas en la parte alta del área en estudio, y las URH 2, 5, 6, y 13 coincidentes con las áreas de mayor infiltración (ALMA 2008). Por otro lado, en la URH críticas existe un predominio de las coberturas urbano y agricultura.

En las URH críticas con predominio de la cobertura urbana (superficies impermeables), la escorrentía neta aumenta y no se descarta que sean áreas más propensas a la erosión hídrica (Mango, et al., 2011) y a las inundaciones (Guo, et al., 2008, Villarreal, et al., 2014, Ndulue et al., 2015) debido a que el almacenamiento potencial de agua e infiltración del suelo disminuye en superficies impermeables (Adham, et al., 2014). Asimismo, Vammen, Katherine; Flores, Selvia; Picado, Francisco; Hurtado, Iris; Jiménez, Mario; Sequeira, Gustavo; Flores, Yelba (2015), explicaron que por cada kilómetro cuadrado impermeabilizado el acuífero de Managua deja de percibir $240,000 \text{ m}^3 \cdot \text{año}^{-1}$. Esto significa que probablemente durante el año 2016 el acuífero dejó de percibir $9,120,000 \text{ m}^3 \cdot \text{año}^{-1}$ y en 2025 se prevé que dejara de recibir $10,357,250.4 \text{ m}^3 \cdot \text{año}^{-1}$.

En las URH con coberturas agrícolas incrementó la escorrentía probablemente debido a la transición del cultivo del café (ALMA, 2008) hacia el cultivo de piña y pitahaya localizadas en las laderas de la parte alta del área en estudio. En este sentido, Hernández, et al., (2009), Notter et al., (2007) plantean que el cambio hacia la cobertura urbana en las partes altas de la cuenca afectará negativamente los patrones de escorrentía y la erosión de las laderas (Mango, et al., 2011), incluso si la cobertura es boscosa con un dosel menor al 50% aumentará la escorrentía (Ndulue et al., 2015). Por otro lado, Mango, et al., (2011) y Alemayehu, (2015) evidenciaron un mayor escurrimiento causado por el cambio de cobertura de la tierra que por el aumento de precipitación y temperatura.



FIGURA 3.

Caudales picos en $m^3.s^{-1}$ en función del área de cada URH para el año 2016 y el año proyectado 2025.

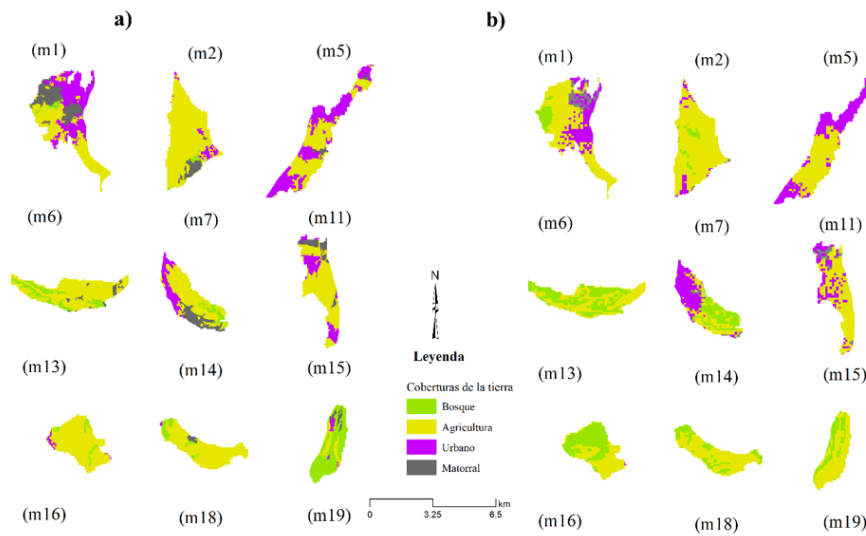


FIGURA 4.

Coberturas de la tierra para los años: (a) 2016 (b) 2025 en las URH con los mayores caudales picos en la Subcuenca III de Managua.

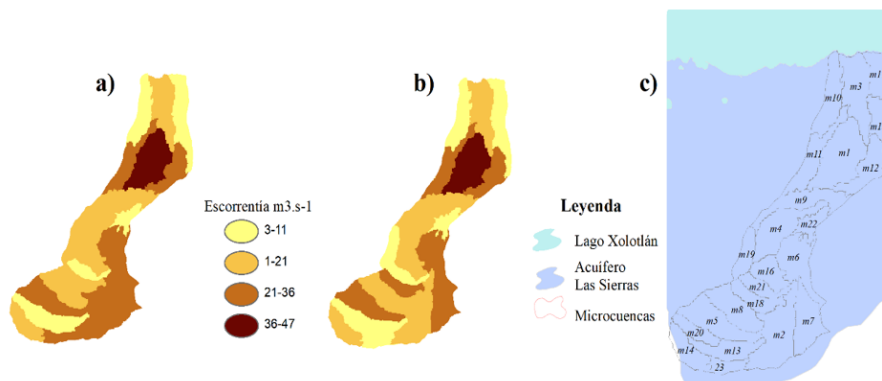


FIGURA 5.

Caudales picos en $m^3.s^{-1}$ en la Subcuenca III de Managua (a) Mapa año 2016 (b) Mapa proyectado del año 2025 (c) Mapa de las URH del área en estudio.

Acciones participativas para la gestión ambiental de la Subcuenca III de Managua

La interacción entre las coberturas de la tierra y la escorrentía superficial encontrados en las Unidades de Repuesta Hidrológica (URH) críticas hace necesario una evaluación local para desarrollar acciones apropiadas para la gestión ambiental (FAO, 2002). Las acciones participativas que a continuación se proponen son de índole regulatorio, económico, educativa, y organizacional (FAO, 2002; Mociño, 2015) y para su funcionamiento se requiere de la participación del sector público y privado (Cuadro 1).

Acciones regulatorias

En la Subcuenca III de Managua existe un papel importante de las coberturas urbanas y agricultura en términos administrativos y económicos, lo que provoca el aumento de la escorrentía superficial y la presión que probablemente están causando al acuífero. Recientemente, desde el sector público se recomienda crear instrumentos de regulación de usos de la tierra que generen incentivos a los usuarios de la tierra (Leonel et al., 2013; Lambin, E F; Meyfroidt, P; Rueda, X; Blackman, A; Borner, J; Cerutti, P O; Dietsch, T; Jungmann, L; Lamarque, P; Lister, J; Walker, N F; Wunder, S, 2014). Por lo que se sugiere que las Alcaldías y el sector privado elaboren instrumentos de política como: la certificación ecológica, indicaciones geográficas, mesas redondas de productos básicos, moratorias y Pagos por Servicios Ambientales (Lambin et al., 2014), principalmente en las URH que son críticas.

Económico

Se recomienda a las instituciones vinculadas a la producción agropecuaria tales como el MAG (Ministerio Agropecuario), INTA (Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria) y MEFCCA (Ministerio de Economía Familiar, Comunitaria, Cooperativa y Asociativa) implementar subsidios directos e indirectos que tenga como objetivo compensar a los agricultores que se limiten a extender sus tierras en las partes altas del área en estudio.

El subsidio directo se puede gestionar de los fondos generados por la aplicación de los instrumentos de regulación. El subsidio indirecto se puede obtener de la cosecha de agua que realicen aquellos agricultores que se limiten a extender sus tierras agrícolas a las partes altas. También es importante la bonificación de hasta el 90% en el pago de los impuestos de la propiedad para fines agrícolas si preparan un plan de gestión forestal y se comprometen ellos mismos a llevarlo a cabo durante un período de 10 años (FAO, 2002; Lambin et al., 2014). En este sentido Hargrave y Kis-Katos (2013) explican que el éxito de frenar la deforestación en la Amazonía brasileña se logró principalmente mediante una combinación de aplicación de la ley sobre el terreno, incluida la incautación in situ de activos junto con medidas administrativas de condicionalidad, como el acceso condicional al crédito y embargos comerciales como parte de la moratoria de la soja.

Un mecanismo para mejorar la cooperación entre los actores implicados es el apoyo a los mercados. El INTA, los restaurantes, mercados y comerciantes se deben comprometer a comprar los productos procedentes de los agricultores que participan en programas de conservación de suelos (FAO, 2002) como lo hace Holanda y Reino Unido. Otra de las acciones participativas pública y privada es la subcontratación y la firma de memorandos de entendimientos, como el caso de China donde gobiernos locales firmaron con Walmart para promover la sostenibilidad a través de sus cadenas de suministro (Lambin et al., 2014).

Otra posibilidad de implementar un programa de reducción de la escorrentía en las URH críticas, es que las urbanizadoras deban contribuir a los costos de futuros proyectos enfocados en la conservación de suelos (FAO, 2002). La conservación de suelo podrá contemplar la ordenación ecológica de los cultivos, labranza conservacionista, cultivo en curvas de nivel, cultivos para cubierta y abono verde, plantación en las zonas más

expuestas, aprovechamiento de los residuos de las cosechas, retraso en la preparación del suelo de cultivo, franjas de filtro y delimitación de las fincas, cursos de agua cubiertos de hierba, cultivo en franjas, construcción de terrazas (Mociño, 2015).

Educación

El Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA) y el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARENA) pueden organizar a los agricultores que se ubican en las URH críticas para que participen en la auditoría ambiental de sus propias explotaciones. La auditoría incluye la identificación de suelos potencialmente erosionados. Asimismo, el intercambio de conocimientos entre los agricultores se podría gestionar desde el INTA, lo cual consistiría en que los agricultores visiten explotaciones agropecuarias donde se prepararan evaluaciones de prevención de escorrentías y erosión del suelo.

Organizacional

Establecer la relación entre los usuarios de la tierra ubicado en la parte alta y los usuarios del agua ubicado en la parte baja de la cuenca. Esta relación consiste en planificar a largo plazo la gestión de la subcuenca e implementación de los instrumentos. La relación entre los usuarios podría iniciarse mediante un foro donde participen las municipalidades, INTA, MARENA, MAG, entre otros. (FAO, 2002; Hernández, et al., 2009; Leonel, et al., 2013).

CUADRO 1.
Actores identificados con incidencia directa en la Sub-Cuenca III

Características	Actores identificados		
	Parte alta	Parte media	Parte baja
URH críticas	5,13,14	2, 7, 16, 18, 19	6, 11, 15, 18
Comunidades	Las Nubes y San Ignacio	Cebadilla, Los Ríos, El Edén, Las Enramadas, Denis Larios, La Francia, Las Dispersas	Managua Distritos V y VI (Sabana Grande)
Empresas y Organizaciones gremiales	ASOCAM, Cooperativa de Pitalayeros de La Concepción	Café El Mejor, Procesadores de materiales de construcción, granjas avícolas, Tricotextil, Pinturas Sur ASOCAM, Unión de Productores de Ticuantepe	Aeropuerto A C Sandino, Zona Franca Industrial Las Mercedes, Hotel Las Mercedes, Hotel Camino Real Cooperativa Juan Ramón Robles

Fuente: ALMA 2008 actualizado con datos de esta investigación.

CONCLUSIONES

Los efectos de la dinámica de las coberturas de la tierra sobre la escorrentía superficial, indican que 12 de las 23 URH generaron los mayores escurrimientos debido a las coberturas agricultura y urbano. Estas 12 URH son consideradas críticas y además están ubicadas en áreas de mayor infiltración por lo que se recomienda la aplicación de acciones participativas para la gestión ambiental.

La aplicación de acciones participativas para la gestión ambiental en muchas ocasiones se logra a través de interacciones complementarias entre sector privado y público. Esto significa que si los gobiernos proporcionan tecnologías para ejecutar normativas relacionado con el monitoreo de la escorrentía superficial y la dinámica de coberturas de la tierra, como el caso de la moratoria de la soja en Brasil (Lambin et al., 2014), entonces la empresa privada debe de apoyar la ejecución de las normativas.

Para estudios posteriores es recomendable contar con información proveniente de Sensores Remotos que faciliten datos climáticos en cada parte de una unidad hidrológica para comprender de este modo el comportamiento de otros componentes del ciclo hidrológico.

BIBLIOGRAFÍA

- Adham, M., Shirazi, S., Othman, F., Rahman, S., Yusop, Z., & Ismail, Z. (2014). Runoff Potentiality of a Watershed through SCS. *The Scientific World Journal*, 1-15. doi:10.1155/2014/379763
- Alemayehu, K. T. (2015). Land use land cover change and its implication on surface runoff: a case study of baro river basin in southwestern Ethiopia. *Journal of Environment and Earth Science*, V(8), 2224-3216. Obtenido de <http://www.iiste.org/Journals/index.php/JEES/article/view/22025/22064>
- ALMA. (2008). *Actualización del estudio de drenaje pluvial de la Subcuenca III de la cuenca sur del lago de Managua*. Informe final para la municipalidad de Managua, Alcaldía de Managua, Managua, Nicaragua.
- Campos, A. (1992). *Proceso del Ciclo Hidrológico* (Segunda ed., Vol. I). México, México.
- Cano, C., Andreoli, A., Arumi, J., & Rivera, D. (2014). Uso de imágenes de satélite para evaluar los efectos de cambio de cobertura de suelo en la escorrentía directa de una Cuenca Andina. *Tecnología y Ciencias del Agua*, V(4), 145-151. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=353532522009>
- Chow, V. T., Maidment, D., & Mays, L. (1994). *Hidrología aplicada* (Vol. I). Santafé de Bogota, Colombia: NOMOS S.A.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2002). *Relaciones tierra-agua en cuencas hidrográficas rurales*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/y3618s/y3618s00.htm>
- Guo, H., Huo, Q., & Jiang, T. (2008). Annual and seasonal streamflow responses to climate and land-cover changes in the Poyang lake basin, china. *Journal of hydrology*, CCCLV, 106-122. doi:10.1016/j.jhydrol.2008.03.020
- Hargrave, J., & Kis-Katos, K. (2013). Economic Causes of Deforestation in the Brazilian Amazon: A Panel Data Analysis for the 2000s. *Environmental and Resource Economics*, LIV(4), 441-494. doi:10.1007/s10640-012-9610-2
- Hernández Guzmán, R., Ruiz, L. A., Berlanga-Robles, C., & Zoltán Vekerdy. (2009). Evaluation of total runoff for the Rio San Pedro sub-basin (Nayarit, Mexico). *Journal of Spatial Hydrology*, IX(2), 72-85. Obtenido de <http://www.spatialhydrology.net/index.php/JOSH/index>
- Hershfield, D. M. (1961). *Rainfall frecuencu atlas of U.S for duration from 30' to 24 h and return periods from 1-100 years*. Washington, DC,: U.S. Weather Bureau. Obtenido de https://www.lm.doe.gov/cercla/documents/fernald_docs/CAT/109669.pdf
- Lambin, E F; Meyfroidt, P; Rueda, X; Blackman, A; Borner, J; Cerutti, P O; Dietsch, T; Jungmann, L; Lamarque, P; Lister, J; Walker, N F; Wunder, S. (2014). Effectiveness and synergies of policy instruments for land use governance in tropical regions. *Global Environmental Change*, XXVIII(1), 129-140. doi:10.1016/j.gloenvcha.2014.06.007
- Leonel, H. F., Aguilar Robledo, M., & Medellín, M. P. (2013). *Gestión participativa en la cuenca del Río Valles*. Morelia, Michocán: Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México. Obtenido de <http://www.ciga.unam.mx>
- Mango, L., Melesse, A., McClain, M., & Gann, S. S. (2011). Land use and climate change impacts on the hydrology of the upper mara river basin, Kenya: results of a modeling study to support better resource management. *Hydrology and Earth system Sciences*, XV, 2245-2258. doi:10.5194/hess-15-2245-2011

- Miranda, A. L. (2008). *Dinámica de uso y su efecto en el escurrimiento superficial en la cuenca del Rio Grande, Tlalchapa, Guerrero*. Tesis MSc, Estado de México. Obtenido de <http://www.biblio.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/1189>
- Mociño, K. (2015). *La cobertura y uso del suelo en la producción de sedimentos y escurrimientos superficiales en la cuenca el tejocote, México, mediante el modelo hidrológico SWAT*. Tesis MSc, Universidad Autónoma de México, Toluca, México.
- Ndulue, L; Mbajiorgu, C C; Ugwu, S N; Ogwo, V; Ogbu, K N. (2015). Assessment of land use/cover impacts on runoff and sediment yield using hydrologic models: a review. *Journal of ecology and the natural environment*, VII(2), 44-55. doi:10.5897/JENE2014.0482
- Notter, B., MacMillan, L., Viviroli, D., Weingartner, R., & Liniger, H. (2007). Impacts of environmental change on water resources in the Mt. Kenya región. *Journal of Hydrology*, 343(CCCXLIII), 266– 278. doi:10.1016/j.jhydrol.2007.06.022
- Satheeshkumar, S., Venkateswaran, S., & Kannan, R. (2017). Rainfall–runoff estimation using SCS–CN and GIS approach in the Pappiredipatti watershed of the Vaniyar sub basin, South India. *Modeling Earth Systems and Environment*, III(24), 1-8. doi:10.1007/s40808-017-0301-4
- Sundarakumar, K., Harika, M., Begum, S., Aspiya, K., Yamini, S., & Balakrishna, K. (2012). Land use and land cover change detection and urban sprawl analysis of vijayawada city using multitemporal landsat data. *International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST)*, IV(1), 170-178. Obtenido de https://www.idc-online.com/technical_references/pdfs/civil_engineering/LAND%20USE%20AND%20LAND%20COVER%20CHANGE.pdf
- Vammen, K., Flores , S., Picado, F., Hurtado, I., Jiménez, M., Sequeira , G., & Flores , Y. (2015). *Desafíos del Agua Urbana en las Américas: Perspectivas de las Academias de Ciencias*. Inter-American Network of Academies of Sciences (IANAS). IANAS y UNESCO. Obtenido de <http://www.ianas.org/index.php/books>
- Verburg, P. H., Rousenvell, D. A., & Veldkamp, A. (2006). Scenario-based studies of future land use in Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, CXIII(1), 1-6. doi:DOI:10.1016/j.agee.2005.11.023
- Villarreal Hernández , D., Martínez Valdés, H., & Belmonte Jiménez. (2013). *Estimación de la modificación de la escorrentía debido al cambio de uso de suelo de la cuenca Atoyac de Oaxaca a través de un SIG*. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental. Morelia, Michoacán: Tercer Congreso Nacional de Manejo de Cuencas. Obtenido de <http://www.ciga.unam.mx/>