

ID-051: PLANIFICACIÓN BASADA EN EL SERVICIO ECOSISTEMICO HÍDRICO ANTE LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA REGIÓN HIDROGRÁFICA DEL ESTERO JALTEPEQUE, EL SALVADOR

Laura BENEGAS NEGRI^a; Marta VILADES RIBERA^b; Ney RIOS RAMIREZ^c

^aCentro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, email: laura.benegas@catie.ac.cr

CTM Centre Tecnològic, CTM, email: marta.vilades@gmail.com

^cCentro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, email: ney.rios@catie.ac.cr

RESUMEN

Ante la problemática asociada a la gestión de la región hidrográfica del Estero Jaltepeque, cuenca baja del río Lempa, El Salvador, se analizó la vulnerabilidad de la población responsable del manejo de este cuerpo de agua, a partir de un análisis básico de clima actual y su proyección futura (escenarios de cambio climático), junto con el análisis de percepción social del nivel de vulnerabilidad, asociado a la resiliencia existente en la cuenca El Espino, parte integral de dicha región hidrográfica. Con base en la problemática que describe su vulnerabilidad, se aplicó la herramienta RIOS (*Resource Investment Optimization System*) que permitió extrapolar el análisis de la cuenca el Espino a la región hidrográfica del Estero Jaltepeque y específicamente, realizar una optimización hidrológica y económica, combinando un modelo hidrológico con base en la RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation*) y un modelo económico de costeo espacializado de buenas prácticas para priorizar áreas de intervención para el manejo de cuencas, enfatizando en prácticas de adaptación y de sinergias entre adaptación y mitigación al cambio climático (SAM). El objetivo de este estudio fue dar respuesta a la vulnerabilidad al cambio climático inicialmente evaluado con un enfoque de servicios ecosistémicos y de manejo de cuencas para generar y/o mantener los siguientes tres servicios ecosistémicos hídricos: 1) control de la erosión para la calidad del agua potable; 2) mitigación de inundaciones y 3) mejoramiento de la recarga de acuíferos. Partiendo de un presupuesto hipotético de inversión en la cuenca, 1099 ha de las áreas por convertir mediante buenas prácticas corresponden al uso de semillas mejoradas (36%), seguidas de plantación en contorno (14%), y conservación de suelos y aguas (10%). Se obtuvo una distribución de las “nuevas” coberturas de tierra en las que se podrían implementar buenas prácticas en función de los tres servicios ecosistémicos priorizados. El café fue el uso de la tierra que ganó la mayoría de áreas nuevas, seguido por la agricultura tropical mixta. Esta transición positiva refleja que, en las partes altas de la cuenca, este manejo permitirá generar los servicios ecosistémicos priorizados, e impactar lo menos posible (sedimentos y erosión) en las partes bajas de la cuenca, sin afectar el ecosistema de manglar, el cual es clave para los medios de vida de la región hidrográfica del Estero Jaltepeque.

Palabras clave: bienestar humano, soluciones basadas en la naturaleza, planificación de cuencas, zonificación territorial

1 INTRODUCCIÓN

Más del 45% de la población mundial habita en zonas costeras debido a los beneficios que generan las actividades económicas de estas zonas (pesca, turismo, etc.), y el 75% de megaciudades (ciudades con poblaciones superiores a 10 millones de habitantes) están ubicadas en zonas marino-costeras (Bollmann et ál., 2010).

Los arrecifes de coral, los sistemas costeros y los humedales costeros del mundo tienen un valor de USD 575.677/ha/año (De Groot et ál. 2012). Las zonas costeras y sus beneficios ecosistémicos y económicos son especialmente vulnerables a los efectos del cambio climático. De acuerdo con el IPCC (2014), las proyecciones climáticas indican aumentos en la temperatura en toda América Latina para 2100 (nivel de confianza medio). En una serie de escenarios de emisiones medias y altas (RCP 4,5 y 8,5), el calentamiento varía de +1,6°C a +4°C en América Central, y de +1,7°C a +6,7°C en América del Sur (nivel de confianza medio). El cambio climático global es responsable por el aumento del nivel del mar, incrementando la frecuencia de las inundaciones costeras. La regulación del ciclo hidrológico se ve afectada por el cambio de uso del suelo y es exacerbada por los efectos de la variabilidad y cambio climático. Toda intervención humana que pueda perturbar los sistemas hídricos

afectará a las aguas debajo y en la salida de las cuencas, llegando incluso a afectar las zonas costeras. Es lo que se conoce como efecto acumulativo (MacDonald, 2000).

El manejo de cuencas pretende incidir en el flujo del agua para garantizar un abastecimiento continuo y de buena calidad. Las acciones que se implementen buscan propiciar cambios positivos y medibles que mejoren la calidad de vida de las poblaciones; no obstante, es difícil determinar las tendencias de cambio.

En la región hidrográfica del Estero Jaltepeque, la problemática puede resumirse en: 1) el deterioro de la calidad del agua en los principales ríos y sus cuerpos lagunares, dado por actividades productivas realizadas cuenca arriba (café, pastoreo, agricultura mixta), las cuales contribuyen con la erosión y arrastran contaminantes en las aguas cuenca abajo; y b) la sobreexplotación de recursos pesqueros amenaza los medios de vida relacionados con la acuicultura (esta actividad representa 85,3 ha). Actualmente se requiere buscar más tierras o insumos en detrimento de la actividad pesquera, incluyendo la agricultura de granos básicos (15 435 ha); la caña de azúcar (14 650 ha); la ganadería (44 832 cabezas de ganado bovino o 4% del total nacional); frutos (4129 ha o 15% del total nacional); con coco y marañón en la zona costera; mango y plátano en la zona media; cítricos y café (3562 ha) en la zona alta.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la cuenca Baja del río Lempa, específicamente en la región hidrográfica Estero de Jaltepeque, en El Salvador. La zona que se ubica en los departamentos de La Paz y Usulután, integrados por los territorios Estero de Jaltepeque (sitio RAMSAR) y Bahía de Jiquilisco (sitio RAMSAR y Reserva de la Biosfera). Ambos territorios cuentan con ecosistema de manglar, separados por el cauce principal de la cuenca del río Lempa, las áreas naturales protegidas cercanas a los manglares (El Astillero, Escuintla, Nancuchiname, Normandía, Chaguantique, El Tercio y Tehuacán), y las cuencas El Guayabo y El Espino, como zonas de influencia directa hacia los ecosistemas de manglar. El área de estudio es de 962,16 km² con un rango altitudinal de 0 a 2170 msnm, una elevación media de 163 msnm y cerca del 74% del área con pendientes de entre 0 a 5%. Se realizó un análisis del clima actual, así como la proyección a partir del downscaling basado en datos satelitales trabajados por la NASA (NEX-GDDP-NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections) para el escenario 4.5 y 8.5 a un nivel de 25 km². Hay un incremento de las temperaturas a partir del 2050, pero el patrón térmico anual no cambia significativamente, indicando que las estaciones no variarán de forma apreciable. No hay una modificación de los patrones de lluvia entre todos los años, por lo que la lluvia acumulada anual no variará significativamente, pero sí aparecen episodios de lluvias torrenciales puntualmente. Para el análisis de percepción social se realizaron 258 encuestas para contabilizar, de forma cuantitativa, la adaptación, sensibilidad y exposición de la población que se ubica en la cuenca El Espino. Se trabajó con respuestas binarias, sí y no, que se han traducido a 1 y 0. De cada una de las preguntas se han sumado los síes y los noes, obteniendo un número entre el 0 y el 258, de la cual se ha obtenido posteriormente la puntuación. Según la información que se pretende obtener, cada una de las preguntas se ha clasificado en la temática de exposición, sensibilidad y adaptación. En el caso de la adaptación, si la respuesta es afirmativa, el valor máximo de 1 representa una capacidad muy elevada de enfrentarse a los problemas y una resiliencia muy elevada. Por otro lado, la sensibilidad y la exposición se miden de forma contraria, la puntuación de 1 como máximo significa una exposición muy relevante frente a cada una de las problemáticas y la sensibilidad a nivel de 1 indica que la población tendrá una afectación elevada en la temática especificada. Una vez cuantificadas todas las preguntas referentes a una misma problemática, la vulnerabilidad se ha medido con los tres factores anteriores calculándolo con la siguiente fórmula:

$$\text{Vulnerabilidad} = \text{Exposición} + \text{Sensibilidad} - \text{Adaptación}$$

Así, la vulnerabilidad es el resultado de la percepción de la población en relación los tres aspectos anteriores.

La lógica que sigue el modelo RIOS se presenta en la figura 1.



Figura 1. Lógica del modelo RIOS para el proceso optimización. Fuente: Vogl, 2016.

Con base en este análisis, se realizó la modelación con RIOS. Con esta herramienta se calcula el puntaje por objetivos, transiciones y actividades. En este caso se persiguieron tres objetivos (control de la erosión para la calidad del agua potable; mitigación de inundaciones; y mejoramiento de la recarga de acuíferos), y se proponen las diferentes buenas prácticas de manejo de cuencas que apuntan a la adaptación y a la SAM.

3 RESULTADOS

Se encontró que la vulnerabilidad obedece por un lado al aumento de precipitaciones e inundaciones (exposición), a la modificación de los usos del agua y medios de vida resilientes (estos últimos relacionados con la capacidad de adaptación).

Una vulnerabilidad baja hay que entenderla como que la población es consciente de la problemática, que la exposición es baja y/o están adaptados para hacer frente a dicha problemática. Por el contrario, una vulnerabilidad alta implicaría que la población no puede hacer frente por si sola y sería necesario la priorización de acciones encaminadas a minimizar el riesgo al cambio climático asociado a cada problemática.

Los factores con mayor vulnerabilidad son los usos del agua y los medios de vida resilientes. Por el contrario, el aumento de las precipitaciones es uno de los aspectos que tiene una menor vulnerabilidad en el territorio de la cuenca El Espino, debido a que hay una gran concienciación y se dispone de medidas de adaptación frente a esta problemática (Cuadro 1).

Cuadro 1. Índices de vulnerabilidad según percepción de impactos del cambio climático en la región del Estero Jaltepeque, El Salvador.

	Aumento precipitaciones e inundaciones	Manejo de los embalses	Aumento nivel del mar	Conservación de los Manglares	Contaminación del agua subterránea	Modificación de los usos del agua	Medios de vida resilientes	Reducción de Riesgos de Desastres	Abordar las causas de la Vulnerabilidad
Adaptación	0,5	0,2	0,6	0,3	0,6	0,3	0,6	0,5	0,9
Sensibilidad	0,2	0,2	0,4	0,4	0,5	1	1	0,7	0,5
Exposición	0,4	0,2	0,5	0,4	0,5	1	1	0,8	1
Vulnerabilidad	0,1	0,3	0,3	0,5	0,4	1,7	1,4	1	0,6

La inversión en zonas clave de las cuencas hidrográficas puede contribuir con la construcción de resiliencia, por ejemplo, al prevenir la excesiva erosión del suelo, mejorar la calidad del agua corriente abajo, captar agua y conducirla hacia los acuíferos, reducir los costos de tratamiento de agua potable y disminuir los impactos negativos en la salud. El capital natural aporta en la retención de agua en el paisaje y la reducción de los picos en caso de inundaciones; sin embargo, el impacto de las actividades disminuirá a medida que aumente el tamaño de la tormenta.

Al mismo tiempo que se implementan las buenas prácticas, se contribuye a la adaptación ante el cambio climático, reducción de vulnerabilidad y construcción de resiliencia ordenada y facilitada con un enfoque de cuencas hidrográficas. El éxito de adopción radica en el beneficio económico y diversificación de los medios de vida de las poblaciones que proporcionan las buenas prácticas.

Para poder orientar la diversificación en los medios de vida y la construcción de resiliencia con la implementación de buenas prácticas para la adaptación al cambio climático fue necesario el determinar el costo de las mismas. En el cuadro 2 se observa que la práctica más costosa es la de sistemas agroforestales para la restauración, mientras que la siembra en contorno es la más económica.

Cuadro 2. Costo de las buenas prácticas para la adaptación al cambio climático en el Estero Jaltepeque, El Salvador.

Buenas prácticas para la adaptación al cambio climático	Costo (US\$/ha)	Buenas practicas - RIOS Portfolio Adviser
P1. Labranza de conservación con cobertura del suelo y cultivos de cobertura	162.80	Conservación de suelos
P2. Terrazas de Formación Lenta	220.20	Terrazas
P3. Siembra de cultivos con curvas a nivel (siembra en contorno)	113.80	Siembra en contorno
P4. Siembra de materiales mejorados y adaptados a condiciones climáticas	200.00	Siembra de especies adaptadas
P5. Manejo Integral de Nutrientes del Suelo (MIN)	452.60	Manejo integrado del suelo
P6 Sistemas agroforestales para la restauración	1257.05	Agroforesteria
P7. Sistemas silvopastoriles para la restauración	466.80	Sistemas silvopastoriles
P8. Técnicas para el uso eficiente del agua (reservorios de agua/estanques y sistemas de riego por goteo)	1021.43	Uso eficiente del agua
P9 Restauración de bosques en áreas críticas de protección hídrica	687.00	Restauración hidrológico-forestal
P10 Restauración Ecológica de Manglares (REM)	3443.75	Restauración ecológica de manglares

Por otro lado, es fundamental conocer la distribución de áreas por usos del suelo en la cuenca, ya que esto determinará la disponibilidad de áreas para la transición y conversión. Las áreas con mayor extensión corresponden a la agricultura tropical mixta, seguida de la caña de azúcar, mientras que existe muy poco suelo descubierto y cultivos permanentes (Cuadro 3).

Cuadro 3. Áreas de las actividades del mapa base LULC (Land Use Land Change) en el Estero Jaltepeque, El Salvador

Actividad	Area (ha)	% del Total
Agricultura tropical mixta	28,511.96	29.63
Caña de azúcar	14,688.04	15.27
Pastura tropical	10,315.43	10.72
Bosque mixto, agricultura, pasture	9,736.43	10.12
Café	7,361.80	7.65
Esteros/humedales	6,391.04	6.64
Arbustos/tacotales	5,522.94	5.74
Bosque mixto tropical/subtropical	2,770.86	2.88
Urbano	2,584.31	2.69
Bosque tropical siempre verde	2,308.71	2.40
Vegetación riparia arbórea	1,360.46	1.41
Bosque mixto, agricultura	1,204.69	1.25
Bosque deciduo tropical	1,122.63	1.17
Esteros/pasto	1,001.86	1.04

Cultivo permanente	880.33	0.92
Cuerpo de agua	375.53	0.39
Suelo desnudo	39.43	0.04
Humedal	34.46	0.04
	96,210.92	100.00

Para completar el proceso de priorización se propuso un presupuesto hipotético de 200.000 USD, el cual permitió distribuir las buenas prácticas en los usos de suelo respectivos para lograr una conversión de 3083 has en la región hidrográfica del Estero Jaltepeque, lo que corresponde al 3% del área total de la misma (Cuadro 4).

Cuadro 4. Conversión de áreas por actividad según presupuesto definido.

Tipo de actividad (raster id)	Gasto actual	Presupuesto total	Área Convertida (Ha)
Presupuesto flotante	n/a	200001	n/a
Agroforestería (0)	109966.734	99999	87.48
Siembra en contorno (1)	50329.188	50001	442.26
Restauración ecológica de manglares(2)	136682.4375	150000	39.69
Uso eficiente del agua (3)	205184.8584	150000	200.88
Restauración hidrológico-forestal (4)	198659.79	200001	289.17
Manejo integrado de suelos (5)	98983.62	99999	218.7
Siembra de especies adaptadas (6)	219834	69999	1099.17
Sistemas silvopastoriles (7)	80158.896	80001	171.72
Conservación de suelos (8)	49977.972	50001	306.99
Terrazas (9)	50119.722	50001	227.61
Total	1199897.218	1200003	3083.67

En la figura 2 se puede observar la distribución espacial de los usos del suelo en función de la transición positiva y la ausencia de transición resultante en un escenario de territorio desprotegido. En la figura 3 se observa la porción más impactada de la región hidrográfica, donde se concentrarían las máximas transiciones, las cuales se presentan en las cabeceras de los municipios ubicados en esta región, y, corresponden a las pendientes mayores, donde se concentran las buenas prácticas relacionadas con la agricultura y la restauración.

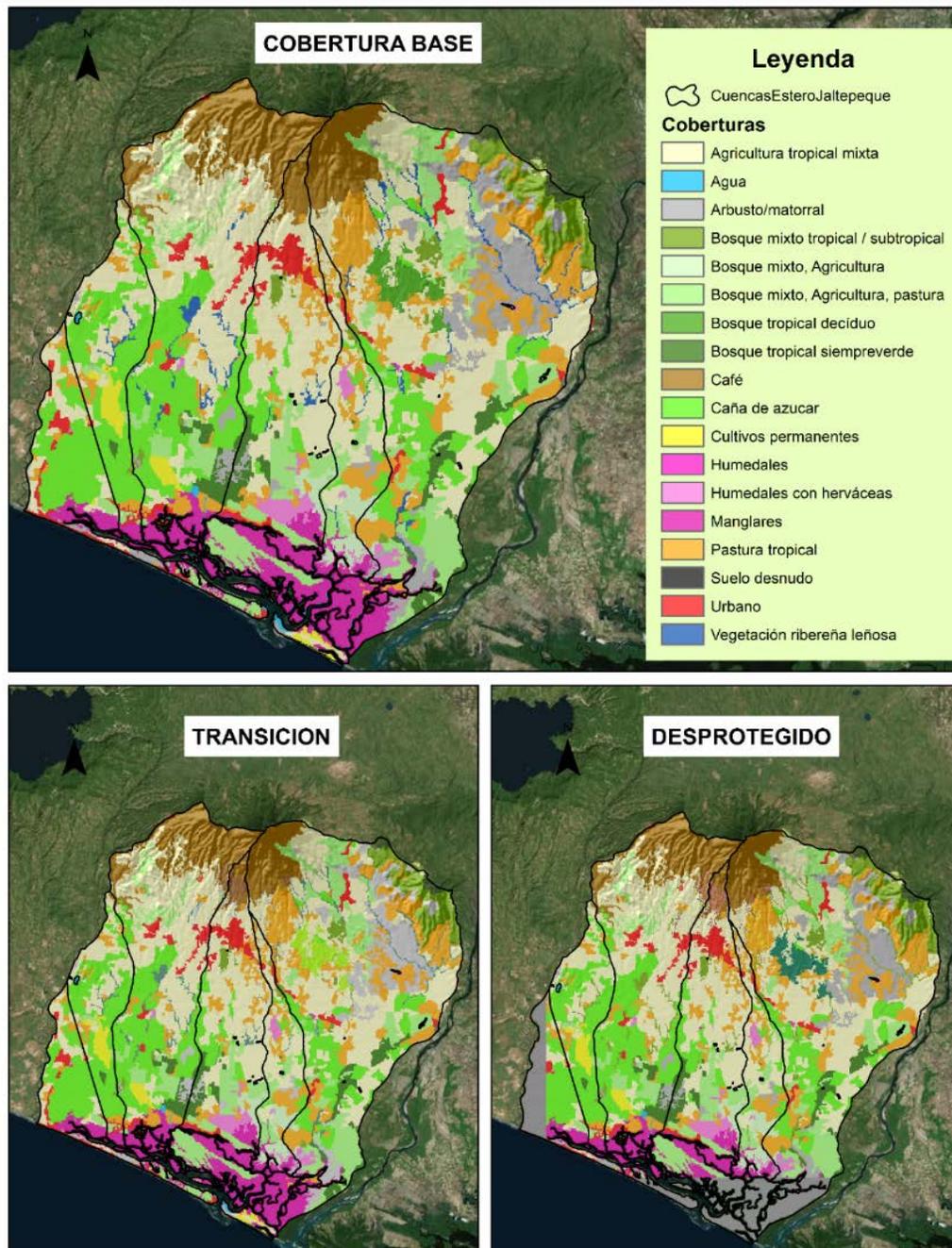


Figura 2. Transiciones con y sin implementación de buenas prácticas de manejo de cuencas para la adaptación al cambio climático en la región del Estero Jaltepeque, El Salvador.

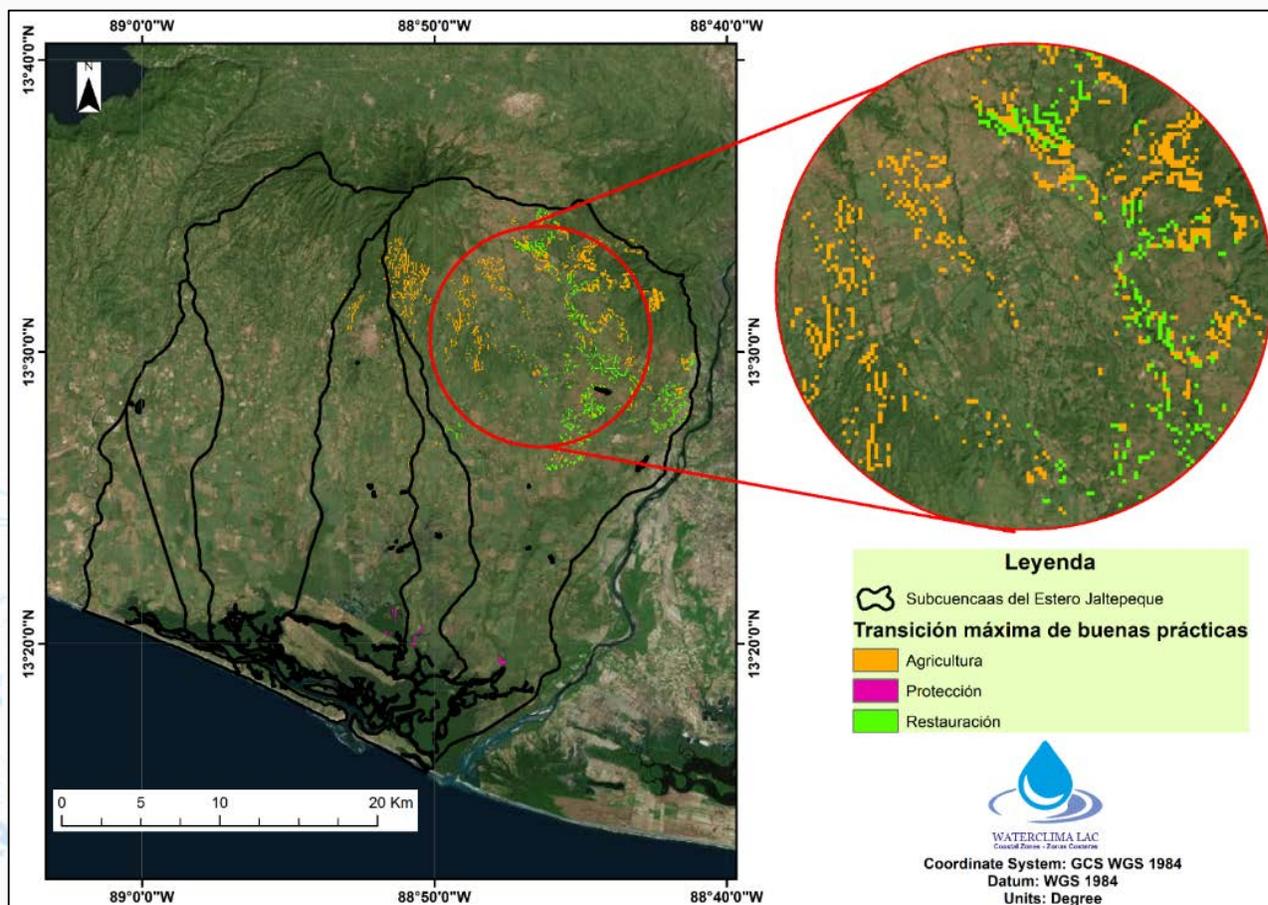


Figura 3. Localización de las zonas de mayor prioridad para la implementación de buenas prácticas de manejo de cuencas para la adaptación al cambio climático en la región del Estero Jaltepeque, El Salvador.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La concentración de sitios para implementar las buenas prácticas de manejo de cuencas se da en las cabeceras municipales de Tecoluca y Zacatecoluca, ubicadas en las partes altas de la región hidrográfica del Estero Jaltepeque. Por tanto, es importante ensayar escenarios nuevos con cambios en la asignación presupuestaria, ya que, las buenas practicas a las que se asignó mayor presupuesto fueron las de restauración, al considerarse las más costosas de implementar. De manera similar, Guerrero et al (2019) asignaron más presupuesto a la reforestación y buenas prácticas pecuarias y agrícolas por ser las actividades que consideraron como las más onerosas y porque presentan menos área a intervenir e impactar. La línea protección de bosque fue la que más área impactó (36,8 %, seguido por las de regeneración natural y educación ambiental con áreas a impactar de 30,1% y 16% respectivamente de las 6262 ha delimitadas en el portafolio de inversión de la iniciativa Agua Tica, en el valle central de Costa Rica. En nuestro caso, al tratarse de un contexto costero-rural, las áreas de mayor impacto corresponden a la siembra de especies adaptadas (1099 ha) y la siembra en contorno (442 ha). Ambas prácticas son además las menos costosas.

Como siguiente paso, será fundamental validar en campo las áreas priorizadas para la implementación de las prácticas, y ajustar los lugares específicos en función de la disponibilidad y la participación de los posibles beneficiarios o proveedores de servicios ecosistémicos. Una metodología apropiada para esto sería la cartografía social.

Un análisis integral del recurso hídrico bajo el enfoque de planificación y gestión de cuencas hidrográficas o regiones hidrográficas, que incluya tanto los datos técnico-científicos sobre cambio climático, pero también la percepción social sobre la vulnerabilidad inherente de sus comunidades y territorios permite comprender mejor el abordaje para la intervención hacia la resiliencia y sostenibilidad de dichos territorios. Las intervenciones conducentes a construir resiliencia implican el desarrollo de acciones en el marco de una infraestructura verde,

ligadas a la gestión integral del recurso hídrico basado en el manejo de cuencas hidrográficas, y requiere de inversiones a largo plazo (Calvache et al, 2012), y, es en esa tarea donde la planificación por medio de la priorización y optimización de recursos es fundamental.

El juicio experto y la validación participativa de información básica como las buenas prácticas de manejo de cuencas, que demuestran éxito previo de adopción, aportan mayor probabilidad de éxito en el manejo de cuencas para la adaptación al cambio climático. Al mismo tiempo, se logra gestionar los servicios ecosistémicos hídricos clave para cada contexto y que en consecuencia permitirán la seguridad hídrica para el ser humano y el ecosistema que la sostiene.

Un proceso de monitoreo y evaluación de la implementación de las buenas prácticas de manejo de cuencas, identificadas y ensayadas mediante este ejercicio, requerirá modelar de nuevo el comportamiento de la región hidrográfica con respecto a una adecuada mantención o conservación de los servicios ecosistémicos. Esto se puede llevar a cabo con ayuda de modelos complementarios, como Soil and Water Assessment Tool (SWAT) o Integrated valuation of ecosystem services and trade offs (INVEST), que permiten reportar los cambios en los aportes de sedimentos por erosión, así como la potencial recarga hídrica, entre otros servicios ecosistémicos.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo económico del Proyecto WaterClima-LAC, Gestión de zonas costeras financiado por la Unión Europea- DCI-ENV/2014/350-470; al Biol. Walter Chacón por su apoyo en la coordinación local de la fase de campo y a los pobladores de la región del Estero Jaltepeque por su activa participación.

6. LITERATURA CITADA

- Bollmann, M.; Bosch, T.; Colijn, F.; Ebinghaus, R.; Froese, R.; Güssow, K.; Khalilian, S.; Krastel, S.; Körtzinger, A.; Langenbuch, M.; Latif, M.; Matthiessen, B.; Melzner, F.; Oeschlies, A.; Petersen, S.; Proelß, A.; Quaas, M.; Reichenbach, J.; Requate, T.; Reusch, T.; Rosenstiel, P.; Schmidt, J.; Schrottke, K.; Sichelschmidt, H.; Siebert, U.; Soltwedel, R.; Sommer, U.; Stattegger, K.; Sterr, H.; Sturm, R.; Treude, T.; Vafeidis, A.; van Bernem, C.; van Beusekom, J.; Voss, R.; Visbeck, M.; Wahl, M.; Wallmann, K.; y Weinberger, F.: World Ocean Review: Living with the oceans, Maribus GmbH, Hamburgo, Alemania, 2010, 236 pp.
- Calderon, H; Weeda, R; Uhlenbrook, S. 2014. Hydrological and geomorphological controls on the water balance components of a mangrove forest during the dry season in the Pacific Coast of Nicaragua. *Wetlands*, 34.4: 685-697.
- Calvache, A; Benítez, S; Ramos A. 2012. Fondos de Agua: Conservando la Infraestructura Verde. Guía de Diseño, Creación y Operación (en línea). Bogotá, Colombia, Alianza Latinoamericana de Fondos de Agua, The Nature Conservancy, Fundación FEMSA, Banco Interamericano de Desarrollo. 144 p. Consultado 29 may. 2017. Disponible en https://extrema.mg.gov.br/conservadorasaguas/trabalhos/livro/Livro%20LAWFP_ESP_low%20050312.pdf
- CARE, 2017. Climate Change and resilience <http://careclimatechange.org/>
- De Groot, R., Brander, L., Van Der Ploeg, S., Costanza, R., Bernard, F., Braat, L., Christie, M., Crossman, N., Ghermandi, A., Hein, L., Hussain, S., Kumar, P., Mcvittie, A., Portela, R., Rodriguez, L. C., Ten Brink, P. & Van Beukering, P: Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem Services*, 2012, 1: 50-61.
- Guerrero, M; Herrera-F.; B. Carazo, F. 2019. Priorización de inversiones para la conservación del recurso hídrico en iniciativas público-privadas: el caso de Agua Tica, Costa Rica. San José, Costa Rica, Fundecor. 43 p. (Serie Técnica no. 2: Laboratorio Vivo de Mi Paisaje).
- IPCC: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 2014, 151 pp.
- IPCC, 2015. Glossary of Terms used in the IPCC Fourth Assessment Report <https://www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf>

MacDonald, L.: Evaluating and Managing Cumulative Effects: Process and Constraints. *Environmental Management*, 2000, 26: 299 pp.

NASA, 2017 NCCS THREDD. <https://cds.nccs.nasa.gov/nex-gddp/>

Vogl, A.; Tallis, H.; Douglass, J.; Sharp, R.; Veiga, F.; Benitez, S.; Leon, J.; Game, E.; Petry, P.; Guimeraes, J.; Lozano, J.S.: Resource Investment Optimization System (RIOS). Introduction & Theoretical Documentation Project, TNC (ed.), Stanford University, 2016, 107 pp.