



## Ecohidrología para mejorar el gerenciamiento de agua potable y la resiliencia de ecosistemas ante el cambio climático – Caso de estudio del Río Likus, Región Atlántica Norte de Nicaragua.

Osnar Mondragón Grios <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos de Nicaragua, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua Nicaragua.

### RESUMEN

El cambio climático exacerbará sus efectos adversos en los sistemas de abastecimiento de agua potable siendo necesario el adoptar enfoques integrativos como el de la Ecohidrología para aumentar la resiliencia en los ecosistemas, especialmente aquellos que proveen servicios ecosistémicos directos, como las fuentes de agua potable. Las principales amenazas a la funcionalidad natural de la fuente de abastecimiento de agua del proyecto (Río Likus) fueron identificadas mediante una evaluación hidrogeomorfológica (Índice Hidrogeomorfológico (IHC)). Esta dió como resultados que la morfología del sistema fluvial está muy próxima al estado natural y que la componente crítica es la pérdida de vegetación a lo largo y ancho del corredor ribereño en el segmento del Río Likus

cercano al poblado de Sisin, Puerto Cabezas. Las predicciones obtenidas para los próximos 50 años de los 16 modelos de circulación global utilizados proyectan incrementos en la temperatura promedio (2 a 3 °C), así como descensos en las precipitaciones anuales promedio (5% al 15%) para la zona de la región atlántica norte de Nicaragua. Esto implicaría una disminución de la disponibilidad de agua, limitando las cantidades de agua utilizadas por las instalaciones de potabilización y una potencial degradación de la calidad del agua del Río Likus.

**Palabras claves:** Ecohidrología, Resiliencia, Cambio climático.

### ABSTRACT

Climate change will exacerbate its adverse effects on drinking water supply systems, making it necessary to adopt integrative approaches such as Ecohydrology to increase resilience in ecosystems, especially those that provide direct ecosystem services, such as drinking water sources. The main threats

to the natural functionality of the water supply source of the project (Likus River) were identified through a hydrogeomorphological evaluation (IHC Index). This gave as results that the morphology of the fluvial system is very close to the natural state and that the critical

<sup>1</sup> Datos del autor

Correo electrónico: [osnar.mondragon@cira.unan.edu.ni](mailto:osnar.mondragon@cira.unan.edu.ni)

component is the loss of vegetation throughout the riparian corridor in the Likus River segment near the town of Sisin, Puerto Cabezas. The predictions obtained for the next 50 years of the 16 global circulation models used, project increases in the average temperature (2 to 3 ° C), as well as decreases in the average annual rainfall (5% to 15%) for the area of the North Atlantic region of

Nicaragua. This would imply a decrease in water availability, limiting the amount of water used by water treatment facilities and potential degradation of water quality of the River Likus.

**Keywords:** Ecohydrology, Resilience, Climate change.

## INTRODUCCIÓN

Los ciclos del agua y el clima además de estar fuertemente relacionados, tienen la similitud de ser difíciles de entender y aún más de predecir (Jacobs, Adams, & Gleick, 2001). La circulación del agua representa la vía primaria de la redistribución de energía en el planeta, por lo que, los incrementos en la temperatura del planeta por efecto del calentamiento global desencadenan una mayor variabilidad climática, por lo que las dos consecuencias más críticas del cambio climático son las alteraciones a la disponibilidad (cantidad) y calidad del agua (IPCC, 2014). En su mayoría las predicciones existentes concluyen que los ecosistemas de agua dulce se encuentran entre los sistemas socioeconómicos más sensibles ante los efectos del cambio climático (Jacobs, Adams, & Gleick, 2001).

Existen dos maneras de dar respuesta ante los impactos del cambio climático, la primera y la que contiene más incertidumbre es la mitigación (reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero que alteran el balance natural de la atmósfera) y la segunda manera es la adaptación a sus impactos, reduciendo la vulnerabilidad e incrementando la “resiliencia” o la capacidad de un ecosistema a soportar cambios (Adger, 2006; Dubois, Caldas, Boshoven, & Delach, 2011; Lavell, et al., 2012).

Para hacer frente a los nuevos desafíos producidos por el cambio climático, la Ecohidrología ha emergido como un concepto integrativo entre la hidrología y la

ecología, los resultados de esta integración han derivado en el uso de los procesos naturales de los ecosistemas como herramientas de manejo, implementando tecnologías de bajo costo para el gerenciamento sostenible de los recursos hídricos (Zalewski M., 2002). Ecohidrología es un concepto científico, aplicado a la resolución de problemas ambientales, y sostiene que las manipulaciones de las interacciones bióticas e hidrológicas - “regulación dual”-, en un determinado paisaje, puede incrementar la resiliencia a cambios inducidos por seres humanos (Zalewski M., 2014; Zalewski M., 2010).

En el pasado la ecología y las soluciones provistas por la ingeniería hidráulica eran concebidos como términos antagónicos (Zalewski M., 2014). Entendiendo los conceptos de Ecohidrología puede favorecer que dos enfoques contradictorios en el manejo de recursos hídricos sean armonizados, por lo tanto, las antiguas percepciones del pasado acerca los principales problemas de coexistencia entre biota y las estructuras hidro-técnicas podrían ser superados.

En la medida en que los científicos, tomadores de decisiones y demás partes interesadas sean capaces de entender como fueron formados a través del tiempo los procesos ambientales básicos, entonces, será posible acoplar las soluciones de la ingeniería clásica, con las biotecnologías para afrontar

los desafíos de calidad y cantidad en los proyectos de agua potable.

De acuerdo con Zalewski M. (2014) los tomadores de decisiones y la sociedad en general han entrado en una fase de especialización, debido en gran medida a los complejos problemas ambientales, los cuales son agravados por el hecho de que cada red hidrográfica como resultado de características específicas geomorfológicas, climáticas, biológicas, culturales, demográficas y actividades económicas es usualmente única.

Uno de los problemas más comunes en la ejecución de proyectos de desarrollo, es la priorización de la explotación de un determinado recurso en pro del incremento de la calidad de vida de una determinada población. En el caso de los proyectos de abastecimiento de agua potable, donde la principal meta es cubrir la demanda de agua de buena calidad a la mayor cantidad de personas posibles, los impactos ambientales producidos son a menudo desestimados, siendo minimizados por la obtención de un beneficio tangible. Sin embargo, teniendo una visión holística se ha podido comprobar que las inversiones en estructuras físicas para el aprovechamiento de los recursos hídricos, no son necesariamente “destructivos” para los ecosistemas y la biodiversidad (Jurczak,

Wagner, & Zalewski, 2012), incluso puede ser alcanzada una mejoría en la resiliencia y en los servicios ecosistémicos mediante el uso de biotecnologías y un conocimiento apropiado (Frątczak, Izydorzyc, Łapińska, Szuwart, & Zalewski, 2015; Szulc, Jurczak, Szulc, & Kaczkowski, 2015).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Para este estudio primero se identificaron las áreas críticas del ecosistema fluvial del área de estudio mediante las evaluaciones hidromorfológicas y se realizó el análisis de datos de interés (e.g., caudal, emplazamiento de obras de captación, etc.) proporcionados en los informes técnicos de los ejecutores del proyecto de agua potable y entes financiadores (ENACAL, 2014; BID, 2014). Luego se obtuvieron las predicciones de temperatura y precipitación (cambio climático) para los próximos 50 años en Nicaragua.

### **Área de estudio**

El proyecto se desarrolló en la municipalidad de Puerto Cabezas en la Región Autónoma del Atlántico Norte (RAAN) y benefició a la Ciudad de Bilwi (casco urbano), así como también a cuatro comunidades rurales: Sisin, Kuakuil, Boom Sirpi y Yulu Tingni, que se encuentran próximas a la línea de distribución de agua del proyecto (Figura 1).

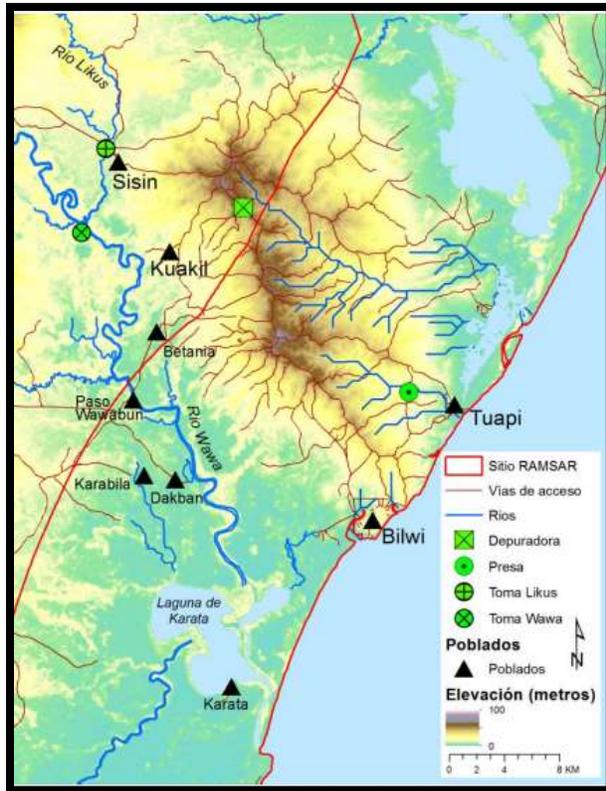


Figura 1. Mapa de localización del proyecto de agua potable, líneas de conducción y emplazamiento de la planta de tratamiento de agua potable para la ciudad de Bilwi, Puerto Cabezas. Fuente: BID, 2014.

### Proyección de modelos climáticos

Los modelos climáticos de Nicaragua fueron obtenidos utilizando la aplicación web gratuita *Climate Wizard* ([www.climatewizard.org](http://www.climatewizard.org)) desarrollada por la organización de protección a la naturaleza (The Nature Conservancy), la Universidad de Washington (The Washington University) y la Universidad de Mississippi (The Mississippi University). La aplicación *Climate Wizard* produce mapas, gráficos y tablas de cambio climático que permiten visualizar cambios futuros en el clima (precipitaciones y temperatura) utilizando como variables de entrada 16 GCMs

(acrónimo de Global Circulation Models) y distintos escenarios de emisiones del cuarto reporte de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC): A2 (mayores emisiones de gases de efecto invernadero), A1B (utilización equilibrada de todo tipo de energía, emisiones equilibradas) y B1 (disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero).

Las predicciones basadas en el modelo climático utilizan los resultados adquiridos de la corrida de los modelos de circulación global que son representaciones matemáticas del clima y su principal propósito es simular las complejas interacciones naturales del clima, basados en principios físicos y una comprensiva recolección de datos en el tiempo (Santoso, Idinoba, & Imbach, 2008).

### Evaluación hidro-geomorfológica

La evaluación hidrogeomorfológica se hizo con el índice IHG (Índice Hidrogeomorfológico) desarrollado por Ollero, et al. (2007), que se basa en tres criterios de evaluación: calidad funcional del río, calidad del canal y calidad de las riberas. En cada uno de estos tres criterios se evalúan tres parámetros y el puntaje máximo que se puede alcanzar para cada parámetro es el valor de 10 que es asignado si las condiciones se encuentran en estado natural. Pero si se observan ciertas alteraciones o impactos antropogénicos (e.g., construcción, revestimiento, etc.) deberá restársele el puntaje siguiendo las propuestas del índice.

Cada uno de los nueve parámetros obtiene un cierto puntaje, la suma de este permite clasificarlos dentro de una escala de calidad en el índice IHC, siendo la escala más alta la que obtiene un puntaje de 25-30 (Muy Bueno), 20-24 (Bueno), 14-19 (Moderado), 7-13 (Deficiente).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Proyección climática

En la Figura 2 se presentan las proyecciones de cambios en temperatura y precipitaciones medias anuales para Nicaragua en base al escenario más crítico (A1B) de emisiones de gases de efecto invernadero del IPCC. Las predicciones para los próximos 50 años de todos los modelos utilizados proyectan incrementos en la temperatura promedio (2 a 3 °C), así como descensos en las precipitaciones anuales promedio (5% al 15%) para la zona de la región atlántica norte de Nicaragua.

Comparando las proyecciones de este estudio con los cambios futuros estimados por el IPCC (2014), que toma en cuenta distintos GCM's y análisis de datos de cambio climático reciente y del pasado, en el cual se esperan cambios en las temperaturas promedio anuales de 1.5 a 4 °C, siendo menos probable esperar cambios menores a 1

°C y mayores a 6 °C. Se podría decir que las proyecciones de este estudio de 2 a 3 °C para temperaturas promedio anuales, entran dentro del intervalo de mayor probabilidad de ocurrencia que espera el IPCC.

La disminución de las precipitaciones y el aumento de la temperatura afectarán la disponibilidad de agua ya sea por aumento de las pérdidas de evapotranspiración y por escorrentía del agua que drena al Río Likus, generando también la potencial degradación de la calidad del agua. Estas dos principales amenazas también son importantes al reducir la capacidad de dilución que tiene el sistema fluvial para disminuir las concentraciones de contaminantes y sedimentos. El otro problema potencial es la topografía llana del área que eventualmente podría permitir la intrusión salina del mar Caribe durante eventos extremos, aumentando la salinidad de la única fuente de abastecimiento de agua potable de la Ciudad de Bilwi.

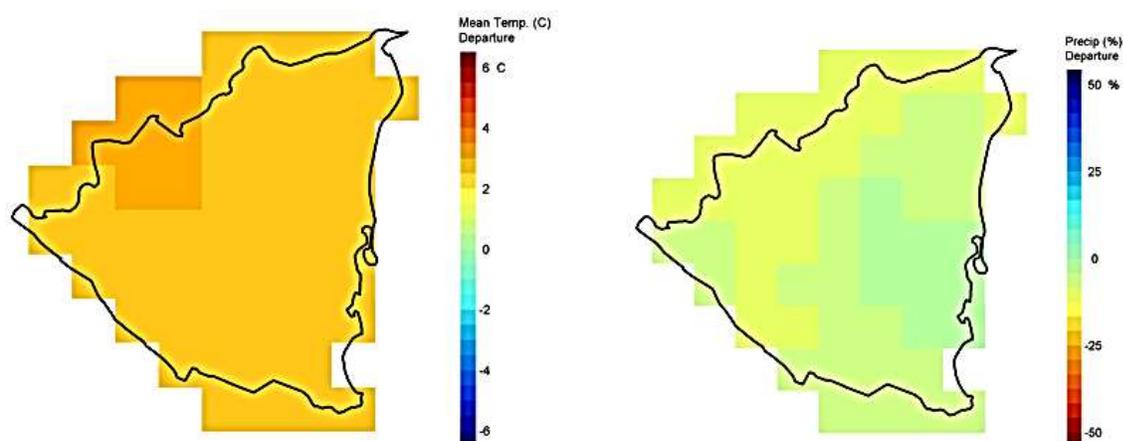


Figura 2. Predicciones de cambios en las temperaturas promedio anual y en las precipitaciones para Nicaragua según el escenario de emisiones más real (A1B) del Panel Internacional de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) para los próximos 50 años.

### Índice hidrogeomorfológico

En las Tablas 1, 2 y 3 se presentan los resultados de los tres criterios de evaluación del Índice Hidro-geomorfológico (IHC) aplicado en las áreas del Río Likus cercanas al poblado de Sisín, Puerto Cabezas.

En la Tabla 1 se resume la evaluación del criterio calidad funcional del sistema fluvial del Río Likus según el IHC que le categoriza como Muy buena (26 puntos), siendo las

mayores afectaciones la construcción de puentes y vados que facilitan el ingreso de vehículos automotores. Aunque la densidad del parque vehicular no ha sido calculado para las comunidades y la ciudad aledaña de Bilwi existe un constante tráfico de vehículos pesados en esta zona ya que se corresponde con la vía de acceso principal a la cabecera municipal (comunicación personal ENACAL, 2016).

Tabla 1

Evaluación del criterio calidad funcional del sistema fluvial, Índice Hidro-geomorfológico (IHC) aplicado en las áreas del Río Likus cercanas al poblado de Sisín, Puerto Cabezas, Nicaragua, 2016.

Parámetro	Descripción	Puntaje
Régimen de flujo natural	Existen cambios ligeros en la cantidad de flujo circulante: -2	8
Movilidad y disponibilidad de sedimentos	Flujo de sedimentos enfrenta retención antrópica: Puentes y cruces de vehículos están reduciendo el libre movimiento de los sedimentos en el Sistema: -2	8
Funcionalidad de la llanura de inundación	La llanura de inundación puede ejercer sin ningún tipo de restricción antrópica sus funciones de disipación de energía durante inundaciones, laminación de flujos picos por sobre flujo y de decantación de sedimentos.	10
Calidad funcional del sistema: Muy buena		26

En la Tabla 2 se resume la evaluación del criterio calidad del canal del Río Likus según el IHC que le categoriza como Muy buena (28 puntos), siendo este el criterio de mayor puntaje ya que la morfología, el contorno natural, los márgenes y movilidad lateral del sistema fluvial se encuentran en estado

natural. La sinuosidad es representativa de las partes bajas de un río y es importante resaltar en este caso la ausencia de canalizaciones y revestimientos. Por otro lado, se encontró afectación en la continuidad longitudinal del río por presencia de obras viales como puentes.

Tabla 2

Evaluación del criterio calidad del canal, Índice Hidro-geomorfológico (IHC) aplicado en las áreas del Río Likus cercanas al poblado de Sisin, Puerto Cabezas, Nicaragua, 2016.

Parámetro	Descripción	Puntaje
Contorno natural y morfología	La ruta del canal permanece natural, sin cambios, y la morfología tiene las características y dimensiones conmensuradas con las características de la red de drenaje y del valle, y con la funcionalidad natural del Sistema.	10
Continuidad y naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales y verticales	Existe solamente una barrera: -1; Puentes y cruces son menores a uno por km de recorrido del río, alterando la continuidad longitudinal del canal: -1	8
Características naturales de los márgenes y de la movilidad lateral	El canal es natural y tiene la habilidad de moverse lateralmente sin ninguna restricción, debido a que sus bancos laterales tienen una morfología acorde a sus procesos hidrogeomorfológicos de erosión y sedimentación.	10
Calidad del canal: Muy buena		28

En la Tabla 3 se resume la evaluación del criterio calidad de las riberas del Río Likus según el IHC que le categoriza como Moderada (19 puntos), siendo este el criterio de menor puntaje ya que la anchura potencial del corredor ribereño se encuentra sumamente afectado por las actividades antropogénicas lo que provoca muchas discontinuidades en la vegetación de las riberas del río (25-35%).

Las figuras siguientes muestran una comparativa entre el estado natural del Río

Likus (Figura 3) versus la zona crítica identificada por el índice IHC (Figura 4). Mientras que en la Figura 3 se observan condiciones naturales propios de un ecosistema fluvial, incluyendo elementos físicos de la hidromorfología como meandros, codos, y lagunas intermitentes, también se observa una densa vegetación a lo largo y ancho del canal del Río Likus. En la Figura 4 se observa la disminución drástica en la vegetación ribereña, el cual es un recurso explotado por la población tanto longitudinal como a lo ancho de las márgenes del Río Likus, en la zona cercana al poblado de Sisin.

Tabla 3

Evaluación del criterio calidad de las riberas, Índice Hidro-geomorfológico (IHC) aplicado en las áreas del Río Likus cercanas al poblado de Sisin, Puerto Cabezas, Nicaragua, 2016

Parámetro	Descripción	Puntaje
Continuidad longitudinal de los bancos	Las discontinuidades representan entre el 25% y el 35% de la longitud total de los bancos del río: -2	8
Anchura del corredor ribereño	La anchura promedio del corredor ribereño se encuentra entre el 40% y el 60% de la anchura potencial: -6	4
Estructura, naturalidad y conectividad del corredor ribereño	Existen presiones antropogénicas en los bancos (pastoreo, tala) alterando su estructura: -2 Existen varios caminos que cortan la conectividad ribereña: -1	7
Calidad Ribereña: Moderada		19



Figura 3. Elementos de la hidrogeomorfología y cobertura vegetal natural en el Río Likus, Fuente: modified Hansen / UMD / Google/ USGS / NASA image.



Figura 4. Elementos de la hidrogeomorfología y cobertura vegetal afectada en el Río Likus, Fuente: imagen modificada de Hansen / UMD / Google/ USGS / NASA.

Las proximidades al poblado de Sisín (cercano a las obras de captación de agua del proyecto) fueron identificadas como las partes críticas del sistema fluvial en donde se observaron las mayores amenazas, tales como la ausencia de vegetación ribereña, incremento de escorrentía debido a la urbanización de zonas aledañas, movilidad y transporte de sedimentos alterados por los puentes, estructuras de captación de agua y vados para el cruce de vehículos durante la época seca. La falta de alcantarillado sanitario también representa un riesgo de contaminación bacteriológica en las proximidades de las obras de captación, sobre todo tomando en cuenta que los volúmenes de aguas residuales irán aumentando con el crecimiento poblacional.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los tres criterios del índice hidrogeomorfológico utilizado categorizan a las áreas del Río Likus cercanas al poblado de Sisín, Puerto Cabezas como Muy Buenas (calidad del sistema fluvial y calidad del canal) y Moderadas (calidad de las riberas). Esto implica que la morfología del sistema fluvial está muy próxima al estado natural, sin alteraciones notables y que no necesita de un esfuerzo de intervención y que las mayores alteraciones están en la anchura potencial de la vegetación ribereña que presenta muchas discontinuidades.

Las predicciones obtenidas para los próximos 50 años de los 16 modelos de circulación global utilizados proyectan incrementos en la

temperatura promedio (2 a 3 °C), así como descensos en las precipitaciones anuales promedio (5% al 15%) para la zona de la región atlántica norte de Nicaragua. Esto implicaría una disminución de la disponibilidad de agua, limitando las cantidades de agua utilizadas por las instalaciones de potabilización y una potencial degradación de la calidad del agua del Río Likus.

El Río Likus parece ser la solución idónea para los problemas de abastecimiento de agua potable de los habitantes de la ciudad de Bilwi, ya que los análisis físico-químicos y bacteriológicos realizados cumplen con los estándares de calidad requeridos por la legislación nacional, y la disponibilidad excede en más de cuatro veces la demanda de la población proyectada a 30 años según ENACAL (2014). Sin embargo, este panorama casi ideal se ve afectado por la existencia de áreas críticas a lo largo del río y próximas a la comunidad de Sisín que afectan considerablemente la funcionalidad del sistema (hidromorfología y vegetación ribereña).

Se recomienda la promoción de vegetación ribereña o ecotonas (zonas de transición entre el ecosistema fluvial y el terrestre) ya que es la medida más utilizada para la rehabilitación de ríos (Cottingham, Bond, Lake, & Outhet, 2005) y por su reconocido potencial de contribución a la resiliencia de los ecosistemas al actuar como barreras biogeoquímicas a la contaminación (Zalewski M., 2014). El área bajo estudio presenta valores de pendientes en un rango de 1.4% hasta 2.8%, lo cual representa condiciones excelentes para el desarrollo de ecotonas ya que el tiempo de retención de la escorrentía es alto bajo estas condiciones.

Es imperativa la necesidad de planeación e implementación de un trabajo de restauración multifacético, preferiblemente a escala piloto en las áreas críticas del Río Likus, apuntando

a metas realistas y alcanzables. La ecohidrología con su enfoque integral y de soluciones costo-efectivas debe ser tomada en cuenta por los planeadores y desarrolladores de proyectos de agua potable para mejorar la resiliencia de los ecosistemas y de la construcción de estrategias de adaptación al cambio climático.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue realizado bajo la supervisión y cooperación de los profesores Malgorzata Lapinska y Maciej Zalewski de la Universidad de Łódź, Polonia. Se agradece al CIRA/UNAN-Managua por autorizar tiempo de trabajo para dedicarlo al desarrollo de este estudio. A su vez el autor agradece enormemente al Banco Interamericano de Desarrollo (BID) principal financiador del proyecto “Mejoramiento de agua potable en la ciudad de Bilwi (NI-G1002)”, por el acceso a la información brindada para la elaboración de este trabajo. Este proyecto también contó con la colaboración del Fondo para agua y saneamiento en Latinoamérica y el Caribe de la Cooperación Española (SFW), los fondos paralelos de la Unión Europea/Programa para la inversión de instalaciones (EU/LAIF) y un aporte de fondos locales por medio de la participación de la Empresa Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL).

## REFERENCIAS

- Adger, W. N. (2006). Vulnerability. *Global Environmental Change*, 16(3), 268-281.  
doi:10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006
- BID. (2014). *NI-G1002 : Proyecto de Agua Potable en la Ciudad de Bilwi (Puerto Cabezas)*. Análisis Ambiental del Proyecto (AAP), Banco Interamericano de Desarrollo, Bilwi, Nicaragua.
- Cottingham, P., Bond, N., Lake, P., & Outhet, D. (2005). Recent lessons on river

- rehabilitation in eastern Australia. *Technical Report. CRC for Freshwater Ecology, Canberra, ACT.*
- Dubois, N., Caldas, A., Boshoven, J., & Delach, A. (2011). Integrating Climate Change Vulnerability Assessments into Adaptation Planning: A Case Study Using the NatureServe Climate Change Vulnerability Index to Inform Conservation Planning for Species in Florida. . *Final Report. Defenders of Wildlife.* Washington D.C.
- ENACAL. (2014). *Informe de aforos del Río Likus.* Managua, Nicaragua: Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados.
- ENACAL. (2014). *Reporte de evaluación de calidad de agua del río likus.* Managua, Nicaragua: Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados.
- Frątczak, W., Izydorczyk, K., Łapińska, M., Szuwart, M., & Zalewski, M. (2015). *Ecotones for reducing diffuse pollution.* Lyman's report, European Regional Centre for Ecohydrology, ERCE PAS; Regional Water Management Authority in Warsaw, RWMA in Warsaw.
- Hansen, M., Potapov, P., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S., Tyukavina, A., . . . Townshend, J. (2013). *Hansen/UMD/Google/USGS/NASA Tree Cover and Tree cover Loss and Gain, Country Profiles.* (University of Maryland, Google, USGS, and NASA. Accessed through Global Forest Watch on [May 2016]) Retrieved from [www.globalforestwatch.org](http://www.globalforestwatch.org).
- IPCC. (2014). *Summary for policymakers. In: Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects.* Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Obtenido de Intergovernmental panel on climate change.
- Jacobs, K., Adams, D. B., & Gleick, P. (2001). Water: The Potential Consequences of Climate Variability and Change for the Water Resources of the United States. *Climate Change Impacts on the United States: The Potential Consequences of Climate Variability and Change*, 405-435.
- Jurczak, T., Wagner, I., & Zalewski, M. (2012). Urban aquatic ecosystems management. *Public Services Review: Europe*, 24(178).
- Lavell, A., Oppenheimer, M., Diop, C., Hess, J., Lempert, R., Li, J., . . . Myeong, S. (2012). Climate Change: New Dimensions in Disaster Risk, Exposure, Vulnerability, and Resilience. In *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation.* (pp. 25-64). Cambridge, UK, and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Ollero, A., Ballarin, D., Diaz, E., Mora, D., Sanchez, M., Acin, V., . . . Sánchez, N. (2007). Un índice hidrogeomorfológico para la evaluación del estado ecológico de sistemas fluviales [An hydrogeomorphological index to assess ecological state of rivers]. *Geographicalia*, 5, 113-141.
- Santoso, H., Idinoba, M., & Imbach, P. (2008). *Climate Scenarios: What we*

- need to know and how to generate them.* Working Paper No. 45, Center for International Forestry Research (CIFOR), Indonesia.
- Szulc, B., Jurczak, T., Szulc, K., & Kaczkowski, Z. (2015). The influence of the ecohydrological rehabilitation in the cascade of the Arturówek reservoirs in Lodz (Central Poland) on the cyanobacterial and algae blooming. *Oceanological and Hydrological Studies*, 44(2), 236-244. doi:10.1515/ohs-2015-0022
- Zalewski, M. (Ed.). (2002). *Guidelines for the Integrated Management of the Watershed: Phytotechnology and Ecohydrology* (Vol. 5). UNEP/Earthprint.
- Zalewski, M. (2010). Ecohydrology for compensation of Global Change. *Brazilian Journal of Biology*, 70(3), 689-695. doi:http://dx.doi.org/10.1590/S1519-69842010000400001
- Zalewski, M. (2014). Ecohydrology and Hydrologic Engineering: Regulation of Hydrology-Biota Interactions for Sustainability. *Journal of Hydrologic Engineering*, 20(1), 50-62. doi:10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000999