

ESTUDIOS

Misión Científica del Satélite Morazán: Integración regional a través de la cooperación espacial para el monitoreo del riesgo hidrometeorológico en cuencas hidrográficas centroamericanas^{1,2}

Ana María Araya–Castro³, Daniel Gutiérrez–González², Tracy Campos–Robles², María José Molina Montero², Javier Mejuto⁴, Oliver Sierra Pac⁵

Resumen: Este trabajo aborda el diseño metodológico de la Misión Científica del Proyecto Morazán, el cual busca poner en órbita el primer satélite colaborativo de la región centroamericana. A través del caso de estudio de la cuenca piloto del río Matina (Costa Rica), se explica el proceso geoestadístico para la creación de un Índice de Riesgo de Inundación, así como la elaboración de productos cartográficos que orienten la selección de comunidades prioritarias a monitorear y la identificación de zonas estratégicas para colocar sensores en campo. Dicha metodología será replicada en la cuenca del río Ulúa (Honduras) y en la cuenca del río Samalá (Guatemala). El satélite Morazán representa una prueba de concepto

¹ Basado en el artículo ganador del primer premio del Call for Papers 2020: “La Integración Centroamericana hacia el Bicentenario de la Independencia y los 30 años del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA)”.

² Los autores desean agradecer a Luis Diego Monge, Christian Birkel y Pascal Girot por sus aportes, comentarios y sugerencias.

³ Escuela de Geografía de la Universidad de Costa Rica.

⁴ Departamento de Arqueoastronomía y Astronomía Cultural de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras

⁵ Departamento de Ingeniería en Ciencias y Sistemas, Centro Universitario de Occidente, Universidad de San Carlos de Guatemala

innovadora por su doble propósito en materia de transmisión de datos y como sistema de comunicación en situaciones de emergencia. Así, de cara al bicentenario, el Proyecto Morazán busca fomentar la integración regional a través de la cooperación científica.

Palabras clave: *tecnologías geoespaciales; integración centroamericana; cooperación científica.*

Fecha de recepción: 23 de marzo de 2021.

Fecha de admisión definitiva: 1 de diciembre de 2021.

Morazán Satellite Science Mission: Regional integration through space cooperation for hydrometeorological risk monitoring in Central American watersheds

Abstract: This paper addresses the methodological design of the Scientific Mission of the Morazán Project, which seeks to put into orbit the first collaborative satellite in the Central American region. Through the case study of the pilot basin of the Matina River (Costa Rica), the geostatistical process for the creation of a Flood Risk Index is explained, as well as the elaboration of cartographic products that guide the selection of priority communities to be monitored and the identification of strategic zones to place sensors in the field. This methodology will be replicated in the Ulúa river basin (Honduras) and in the Samalá river basin (Guatemala). The Morazán satellite represents an innovative proof of concept for its dual purpose in terms of data transmission and as a communication system in emergency situations. Thus, in view of the bicentennial, the Morazán Project seeks to promote regional integration through scientific cooperation.

Key words: *geospatial technologies; Central American integration; scientific cooperation.*

Mission Scientifique du Satellite Morazán: Intégration régionale par la coopération spatiale pour la surveillance des risques hydrométéorologiques dans les bassins versants d'Amérique centrale

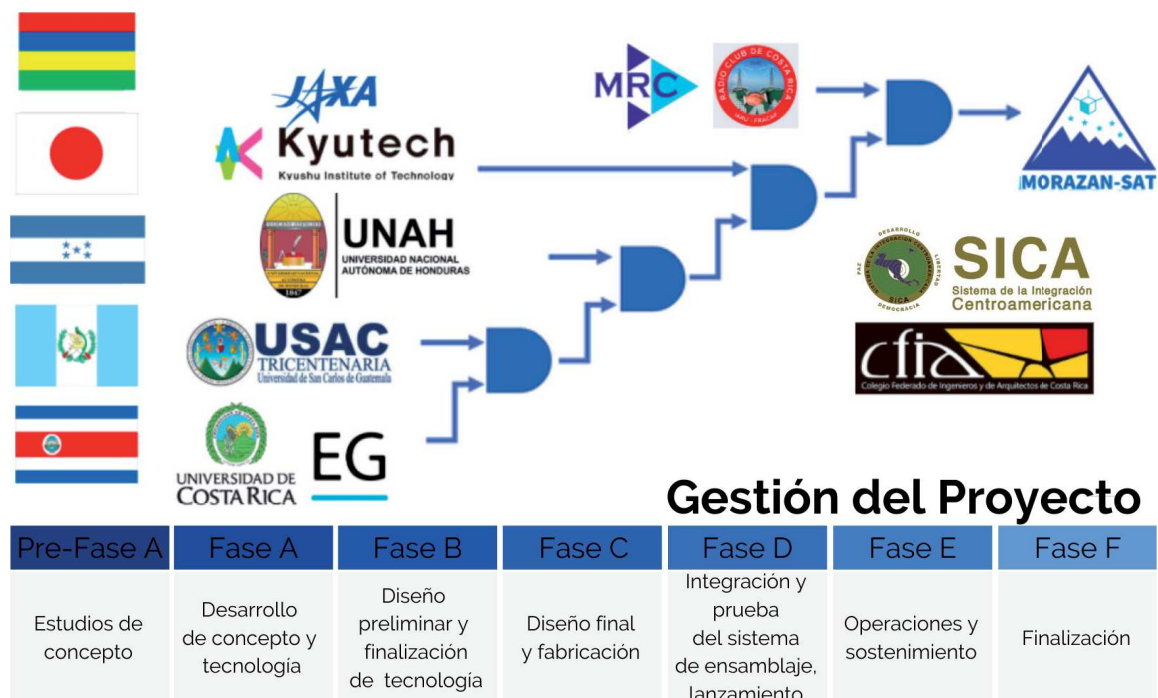
Résumé: Cet article traite de la conception méthodologique de la mission scientifique du projet Morazán, qui vise à mettre en orbite le premier satellite collaboratif dans la région de l'Amérique centrale. À travers l'étude de cas du bassin pilote de la rivière Matina (Costa Rica), le processus géostatistique pour la création d'un Indice de Risque d'Inondation est expliqué, ainsi que l'élaboration de produits cartographiques qui guident la sélection des communautés prioritaires à surveiller et l'identification des zones stratégiques pour placer des capteurs sur le terrain. Cette méthodologie sera reproduite dans le bassin de la rivière Ulúa (Honduras) et dans le bassin de la rivière Samalá (Guatemala). Le satellite Morazán représente une preuve de concept innovante pour son double usage en termes de transmission de données et de système de communication dans les situations d'urgence. Ainsi, à l'approche du bicentenaire, le projet Morazán vise à promouvoir l'intégration régionale par le biais de la coopération scientifique.

Mots clé: *technologies géospatiales; intégration centraméricaine; coopération scientifique.*

1. Introducción

Morazán es un proyecto de cooperación regional centroamericano que tiene como objetivo la puesta en órbita del primer satélite hondureño (Morazán-SAT) desarrollado por la Universidad Autónoma de Honduras (UNAH), con el apoyo de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC) y la Universidad de Costa Rica (UCR); tanto Guatemala como Costa Rica ya han incursionado en materia espacial por lo que son referentes en el Proyecto. Además, se cuenta con el apoyo del Sistema de Integración Centroamericana (SICA), la Agencia de Exploración Aeroespacial Japonesa (JAXA), el Instituto de Tecnologías de Kyushu en Japón (Kyutech) que será clave en el desarrollo técnico del satélite, el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica (CFIA) así como del Mauritius Research and Innovation Council (MRC) de las Islas Mauricio, que apoyará con las retransmisiones de la información enviada por el mismo. La figura 1 muestra las fases del Proyecto siguiendo la Guía de Ingeniería de Sistemas de la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA) (Shea, 2017).

FIGURA 1. Actores involucrados y fases del Proyecto Morazán



Fuente: Adaptado de Monge et al., (2019).

Para el desarrollo de la Misión Científica se cuenta con el apoyo de la Escuela de Geografía de la UCR con el objetivo de identificar una cuenca hidrográfica en Honduras, Guatemala y Costa Rica a partir de variables biofísicas y socioeconómicas. Con el fin de seleccionar zonas de interés con alto riesgo y sitios adecuados donde se deben instalar los sensores en campo para monitorear dichas variables.

1.1 Antecedentes históricos de cooperación centroamericana

De cara al bicentenario de la independencia de Centroamérica y en el marco del Proyecto Morazán, se desarrolló un análisis histórico de los períodos de integración y fragmentación regional. Para los 170 años que transcurrieron entre la independencia de Centroamérica en 1821 y la creación del SICA en 1991, la Federación Centroamericana –creada a partir de la Asamblea Nacional Constituyente que tuvo lugar el 24 de junio de 1823– (Pinto, 1994) y el Mercado Común Centroamericano –creado a partir de la firma del Tratado General de Integración Económica el 13 de diciembre de 1960– (Guerra, 1994) representan los principales esfuerzos de integración. Así, la Federación Centroamericana representó un esfuerzo de integración regional eminentemente *político* mientras que el Mercado Común Centroamericano representó un esfuerzo de integración regional eminentemente *económico*. Destaca para la época de la Federación el liderazgo del hondureño Francisco Morazán –último presidente de la misma, vocero y abanderado del unionismo y la integración centroamericana– cuyo legado histórico es digno de rescatar.

Ahora bien, a finales del siglo XX se concibió la relación entre fronteras terrestres y ambiente como una oportunidad de cooperación internacional (Giroty y Granados, 2005; Rodríguez, 2013) dando lugar a una serie de iniciativas como el Corredor Biológico Mesoamericano (CBM) y el Sistema Centroamericano de Áreas Protegidas (SICAP). En pleno siglo XXI y de cara al bicentenario de Centroamérica, es posible identificar la relación entre la última frontera centroamericana –espacio exterior– y el desarrollo de Tecnologías Geoespaciales (TGs) para el monitoreo ambiental, como una oportunidad de cooperación científica e integración regional (Gómez, García, et al., 2017; Monge et al., 2019). Este movimiento es conocido como democratización del espacio, de conformidad con los cinco principales tratados internacionales promulgados por la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos (COPUOS) de la Oficina de las Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Exterior (UNOOSA) (Gómez, Calvo, et al., 2017).

En esta línea, se crea en el 2010 la Asociación Centroamericana de Aeronáutica y el Espacio (ACAEE), se desarrolla el Proyecto Irazú –primer satélite costarricense– con el objetivo de calcular la biomasa y monitorear la fijación de carbono en plantaciones forestales de *Gmelina arborea* (Gómez, Calvo, et al., 2017) y se desarrolla también como parte del programa de cooperación KiboCUBE de la UNOOSA, el Proyecto Quetzal –primer satélite guatemalteco– con el propósito de monitorear la cobertura forestal y la floración de algas en ecosistemas marinos (Gómez, García, et al., 2017). Ambos proyectos fueron liderados por universidades centroamericanas –Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC) y Universidad del Valle de Guatemala (UVG), respectivamente– utilizando tecnología CubeSat con el apoyo de Kyutech y la JAXA; experiencia que el Proyecto Morazán busca replicar en aras de fomentar el desarrollo de capacidades y la integración regional a través de la cooperación científica (Monge et al., 2019).

2. Marco teórico

En el marco de lo que Castells (2010) denomina la era de la información o la sociedad en red y de lo que Al-Rodhan (2012) denomina la meta-geopolítica del espacio exterior, la “Agenda para el Desarrollo Sostenible 2030” (Resolución 70/1 de la Asamblea General de las Naciones Unidas) reconoce el papel fundamental que juegan las TGs, no solo en la medición y el monitoreo sino además en el cumplimiento de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (UNOOSA, 2018).

El Proyecto Morazán se enmarca dentro de los ODS 9, 10 y 13 puesto que fomenta el desarrollo de capacidades tecnológicas y la innovación científica, promueve el acceso a infraestructura de comunicación en comunidades aisladas y finalmente busca monitorear el riesgo hidrometeorológico asociado a la amenaza de inundaciones producto de la variabilidad climática en cuencas hidrográficas con alta vulnerabilidad social. Bajo esta óptica, la concepción del riesgo de desastres comúnmente se desagrega en dos elementos que lo componen: la amenaza y la vulnerabilidad (ver figura 2).

Por un lado, la *amenaza* se refiere a eventos atípicos y extremos que pueden ser de origen natural o antrópico, que tienen el potencial de generar daños y ser destructivos. Además, al analizar el riesgo se deben considerar todas las posibles amenazas en un territorio, ya que estas actúan de manera concatenada, es decir, unas pueden desencadenar en otras, generando escenarios multi-amenaza (Saborío et al., 2014).

FIGURA 2. Concepción del riesgo como producto de la amenaza por la vulnerabilidad



Fuente: Adaptado de Monge et al (2019).

Por otro lado, la *vulnerabilidad* se refiere a las capacidades que tienen las poblaciones de responder y recuperarse a una amenaza, indistintamente de su origen; por tanto, la vulnerabilidad determina el nivel de exposición a una amenaza que, potencialmente puede resultar en un desastre. Consecuentemente, el riesgo se percibe como socialmente construido, haciendo especial énfasis en la vulnerabilidad. Desde esta perspectiva Cardona (2001) establece que la vulnerabilidad es el resultado de un complejo entramado de relaciones y procesos sociales, económicos y políticos, que dan lugar a distintas dimensiones de la vulnerabilidad que pueden aumentar la magnitud de un desastre. Lavell (2000) define el *riesgo* como el producto de la interacción entre amenaza y vulnerabilidad social en un territorio y tiempo determinado, y que, además, “la relación entre ambos factores es dialéctica y dinámica, cambiante y cambiante. Estos cambios se deben tanto a la dinámica de la naturaleza, como a la dinámica de la sociedad” (Lavell, 2000, p.19).

La región centroamericana se considera una zona multi-amenaza por su ubicación geográfica, en términos del potencial impacto por huracanes, alta sismicidad y vulcanismo, pérdida de biodiversidad y otras amenazas hidrometeorológicas. Es importante considerar que el cambio climático presenta mayor incertidumbre al generar escenarios que sugieren el aumento de la frecuencia y la intensidad de dichos eventos (UNISDR-CEPRENAC, 2014). Este conjunto de amenazas hace que Centroamérica “sea considerada como la segunda región del mundo más vulnerable a riesgos climatológicos” (CEPRENAC-SICA, 2017, p.8). Además,

Centroamérica, por sus condiciones económicas, políticas y sociales, se considera una región con un nivel de vulnerabilidad determinante en el impacto de los desastres (UNISDR–CEPREDENAC, 2014).

En el año 2010, posterior al compromiso adquirido por la región al adoptar el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015–2030 (Resolución 69/283 de la Asamblea General de las Naciones Unidas), se aprueba la Política Centroamericana de Gestión Integral de Riesgo de Desastres (PCGIR) en la Reunión Cumbre del SICA. La PCGIR tiene como ejes:

(1) Reducción del riesgo de desastres en la inversión pública y privada para el desarrollo económico sostenible, (2) Desarrollo y compensación social para reducir la vulnerabilidad, (3) Gestión del riesgo de desastres y su relación con el cambio climático, (3) Gestión territorial, gobernabilidad y gobernanza y (4) Gestión de los desastres y recuperación. (CEPREDENAC–SICA, 2017, p.13)

Así, el Marco de Sendai reconoce que la aplicación de las TGs a diferentes escalas contribuye tanto al monitoreo de los ODS como a la Gestión del Riesgo de Desastres (GRD) (ONU Asamblea General, 2015); consideradas herramientas valiosas debido a su amplia aplicabilidad y su aporte a la comprensión de los geosistemas (Delgado, 2004; Escobar, 2020).

3. Metodología

3.1. Cuencas hidrográficas, variables hidrometeorológicas y variables socioeconómicas

Primero, se determinó como unidad de análisis la cuenca hidrográfica, una por cada uno de los tres países involucrados en el Proyecto. La cuenca es el área delimitada por las divisorias de agua, donde la precipitación forma el curso principal de un río. Esta se percibe desde una visión sistémica, ya que es un área compuesta por elementos biofísicos y antrópicos, interrelacionados y bajo cierto nivel de equilibrio (Ramakrishna, 1997). Bajo esta visión sistémica, la presencia de algún evento desestabilizador puede significar un impacto para todos los elementos del sistema.

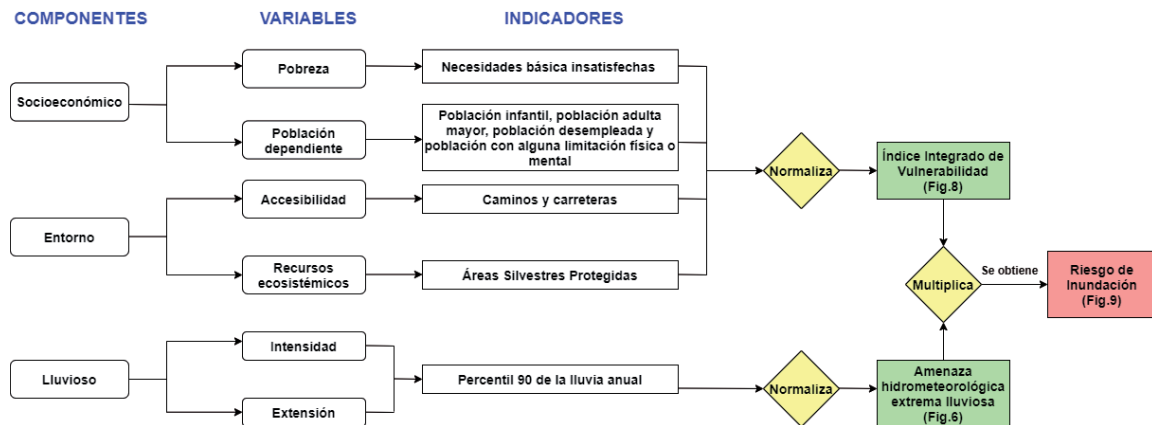
Segundo, como proceso para determinar la precipitación, como variable determinante en el riesgo de inundación, se utilizó información del Climate Hazards Group

InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS); set de datos de precipitación cuasi-globales, con una temporalidad diaria desde 1981 hasta la actualidad y con una resolución espacial de 0.05° (Funk et al., 2014), los cuales incorporan información satelital con datos de estaciones in-situ. CHIRPS es desarrollado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) de la mano con la Universidad de California, Santa Bárbara.

Posteriormente, se realizó un proceso estadístico para establecer los lugares que históricamente han presentado mayor precipitación. Para este caso se seleccionaron los valores diarios máximos anuales para el periodo 1981–2017 para toda la región centroamericana y seguidamente se determinó el promedio de estos datos para dicho periodo. Con este promedio se calculó el percentil 90, ya que este muestra los valores máximos acumulados de precipitación en el periodo determinado. Este percentil permite conocer los valores de extremo lluvioso, ya que por la escala temporal de CHIRPS, también incluye eventos diarios atípicos. Luego, para generar el mapa de amenaza se determinó el porcentaje de área de cuenca alta, media y baja para cada uno de los rangos de precipitación delimitados.

Tercero, la vulnerabilidad social se determinó siguiendo la metodología de Retana et al. (2017), utilizando indicadores socioeconómicos y relativos al entorno geográfico, con el fin de comprender la exposición de un grupo social al riesgo de inundación. En el caso de la cuenca del río Matina en Costa Rica, se utilizó información recopilada por el Censo 2011 del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). Estos datos socioeconómicos corresponden espacialmente con la Unidad Geoestadística Mínima (UGM). Para el componente socioeconómico se trataron variables como la pobreza, acceso a servicios básicos, limitaciones físicas, desempleo, dependencia demográfica, entre otras. El componente entorno, por su parte, tomó en cuenta variables relacionadas con el aspecto geográfico, la densidad de la red de transporte y Áreas Silvestres Protegidas (ASP). Estos datos se trataron estadísticamente mediante un proceso de normalización conjunta, con el objetivo de crear un Índice Integrado de Vulnerabilidad (IIV). Así, se puede multiplicar la vulnerabilidad por la amenaza para obtener el Índice de Riesgo de Inundación (IRI) a nivel de UGM, como se muestra en la figura 3. La metodología utilizada en la cuenca piloto del río Matina en Costa Rica será replicada para la cuenca del río Samalá en Guatemala y la cuenca del río Ulúa en Honduras.

FIGURA 3. Diseño metodológico del Índice de Riesgo de Inundación



Fuente: Adaptado de Retana et al (2017).

3.2. Sistema de transmisión/comunicación satelital y trabajo en comunidades

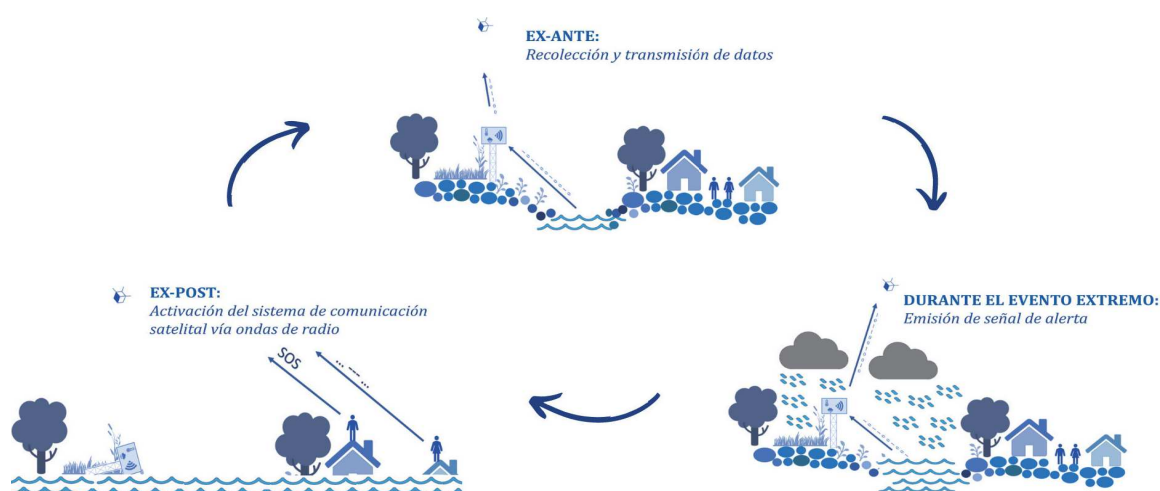
Para finales del siglo XX, Díaz (1985), en un estudio para la Comisión Económica para América Latina (CEPAL), reconoce el potencial de las telecomunicaciones vía satélite en materia de cooperación internacional y concluye que la importancia de dichos sistemas de comunicación reside en su capacidad para conectar comunidades rurales aisladas, particularmente en el campo de la telemedicina y la teleeducación, cuya vigencia para el siglo XXI queda evidenciada en el contexto de la pandemia por COVID-19.

Monge et al. (2019) señala la importancia que han tenido las ondas de radio y la comunicación vía satélite durante emergencias y crisis humanitarias desde el comienzo de la era espacial. Consecuentemente, se propone trabajar en conjunto con Radioaficionados, quienes facilitarán sus frecuencias para poner a prueba el protocolo de comunicación Sistema Automático de Información de Posición (APRS) a través del satélite Morazán (MRZ-SAT) bajo la identificación de Satélites Amateur (AMSAT).

Así, dicha Misión contempla tres fases: una fase pre-evento caracterizada por la recolección y transmisión de datos (telemetría de variables monitoreadas a través de sensores instalados en campo, los cuales medirán variables físicas como precipitación y nivel del río, entre otras) una fase durante el evento caracterizada por la emisión de una señal de alerta y una fase post-evento caracterizada por la activación del sistema de comunicación satelital vía ondas de radio, en

comunidades aisladas producto del colapso de infraestructura (ver figura 4). Consecuentemente, se trabajará de cerca con el usuario final, es decir, con las comunidades con alto riesgo de inundación. Para septiembre del 2020 la Misión Científica se encuentra en una fase de mapeo de actores, con el fin de identificar aquellas organizaciones de base que cuenten con legitimidad a nivel comunitario, con las cuales se procederá a desarrollar en conjunto capacidades en materia de TGs para la GRD.

FIGURA 4. Fase pre-evento, durante el evento y post-evento

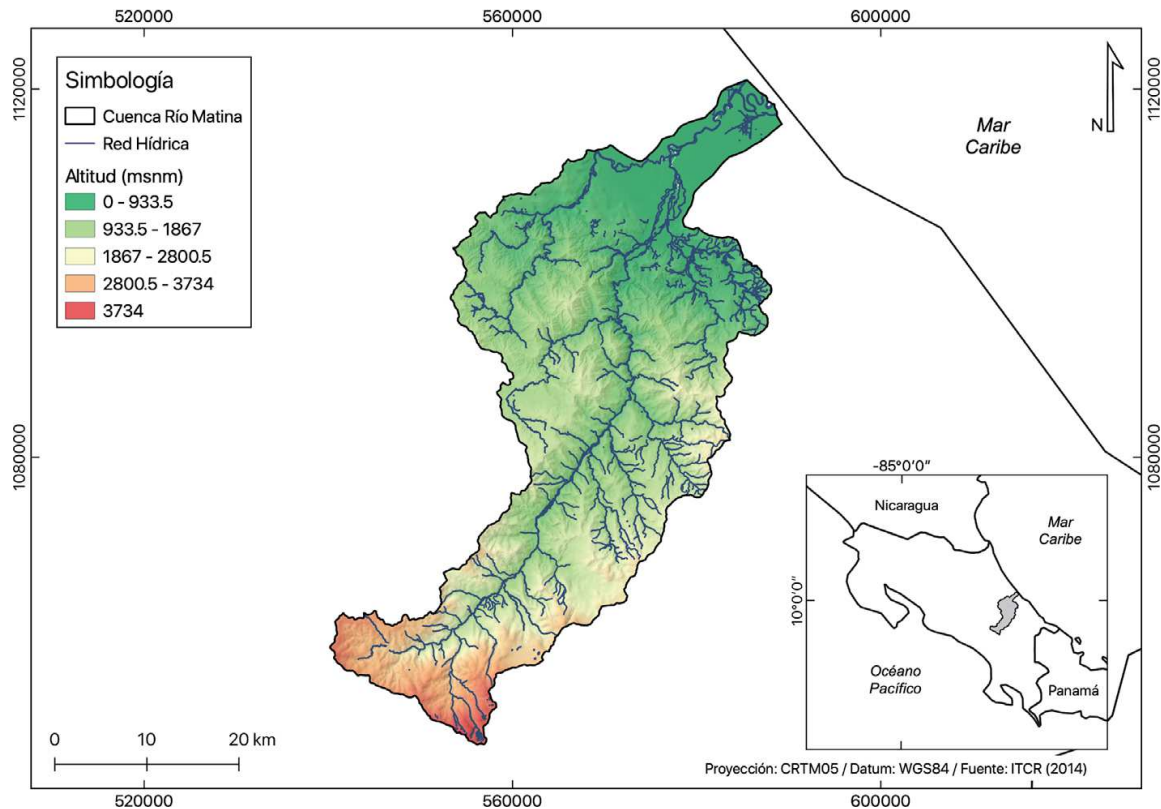


Fuente: Adaptado de Monge et al. (2019).

4. Resultados

La cuenca del río Matina se encuentra ubicada en la vertiente Caribe de Costa Rica, presenta una altitud máxima de 3734 msnm y una altitud promedio de 1082 msnm, como se observa en la figura 5. El río Matina nace de la confluencia del río Chirripó y el río Barbilla, en la cordillera de Talamanca y desemboca en el mar Caribe. Por las características geológicas, topográficas y climáticas, en la cuenca del río Matina, es común la ocurrencia de deslizamientos en la parte alta, por lo que gran cantidad de material removido es acarreado hasta los cauces de la cuenca baja; este constante transporte de materiales y sedimentos aumenta la probabilidad de inundaciones en la cuenca baja (SINAC, 2016).

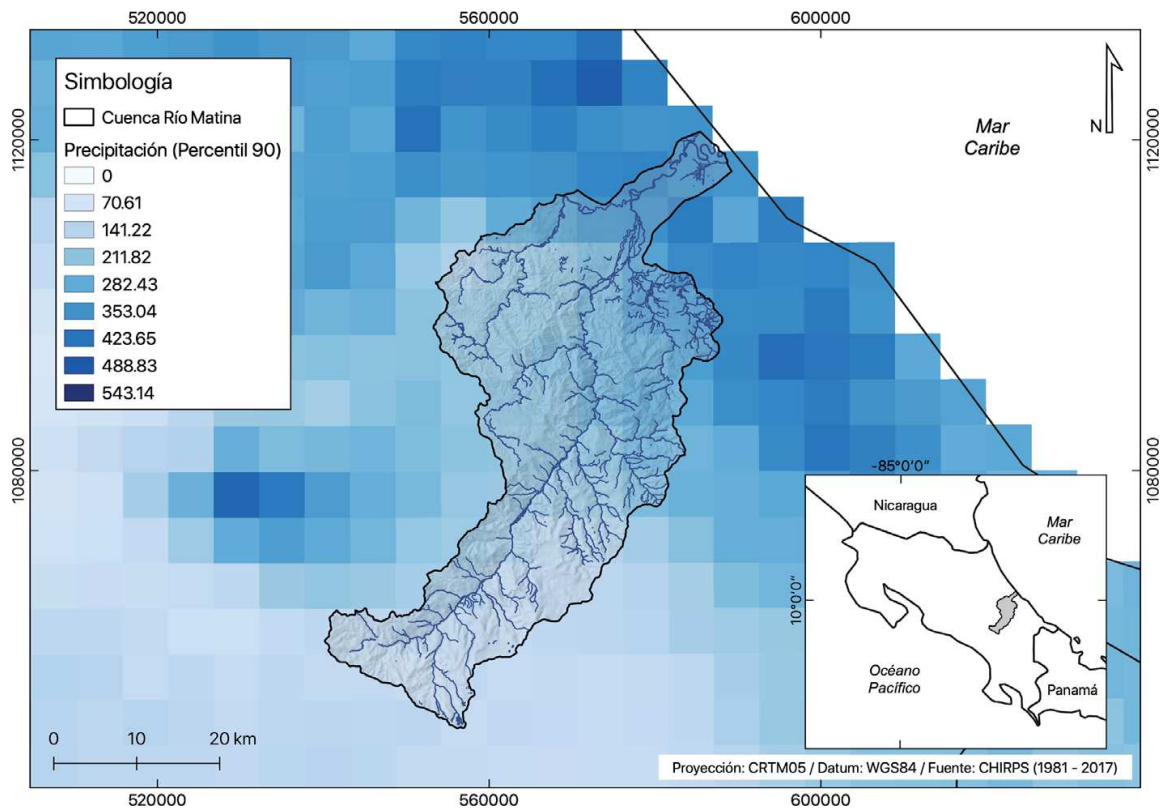
FIGURA 5. Modelo de Elevación Digital de la cuenca del río Matina



Fuente: Elaboración propia.

Esta cuenca se encuentra bajo el Régimen de Precipitación del Caribe, por lo que presenta una estación lluviosa durante casi todo el año, con una disminución de la precipitación en los meses de marzo y septiembre. El 29% de toda la precipitación media anual se distribuye entre noviembre y diciembre, siendo estos los meses más lluviosos (SINAC, 2016). La cuenca del río Matina está caracterizada por fuertes lluvias, producto de la influencia del mar Caribe y la constante presencia de vientos alisios, con una precipitación media de entre 2000–4000 mm anuales (SINAC, 2016). En ese sentido, Vahrson (1992) establece que para la vertiente Caribe existe un periodo de retorno de 1 a 1.1 años para que se de un evento de precipitación diaria de 100 mm o más, y como se observa en la figura 6, considerando el análisis de promedios diarios para el periodo 1981–2017 hay áreas de la cuenca que históricamente han tenidos eventos diarios que sobrepasan estos valores.

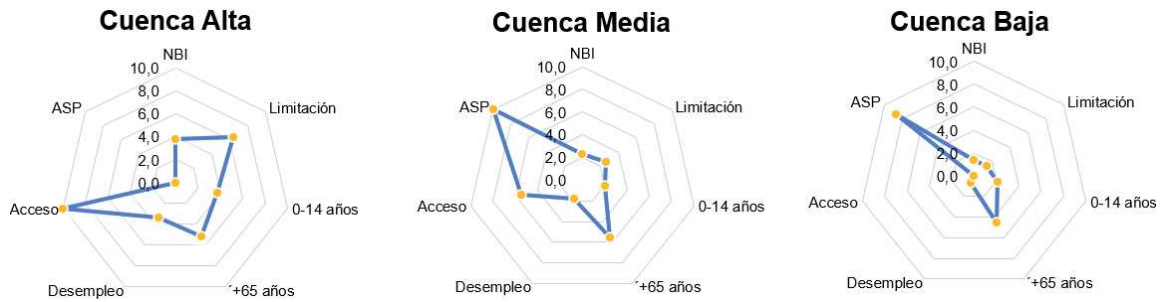
FIGURA 6. Percentil 90 de los promedios diarios de precipitación para el periodo 1981–2017



Fuente: Elaboración propia.

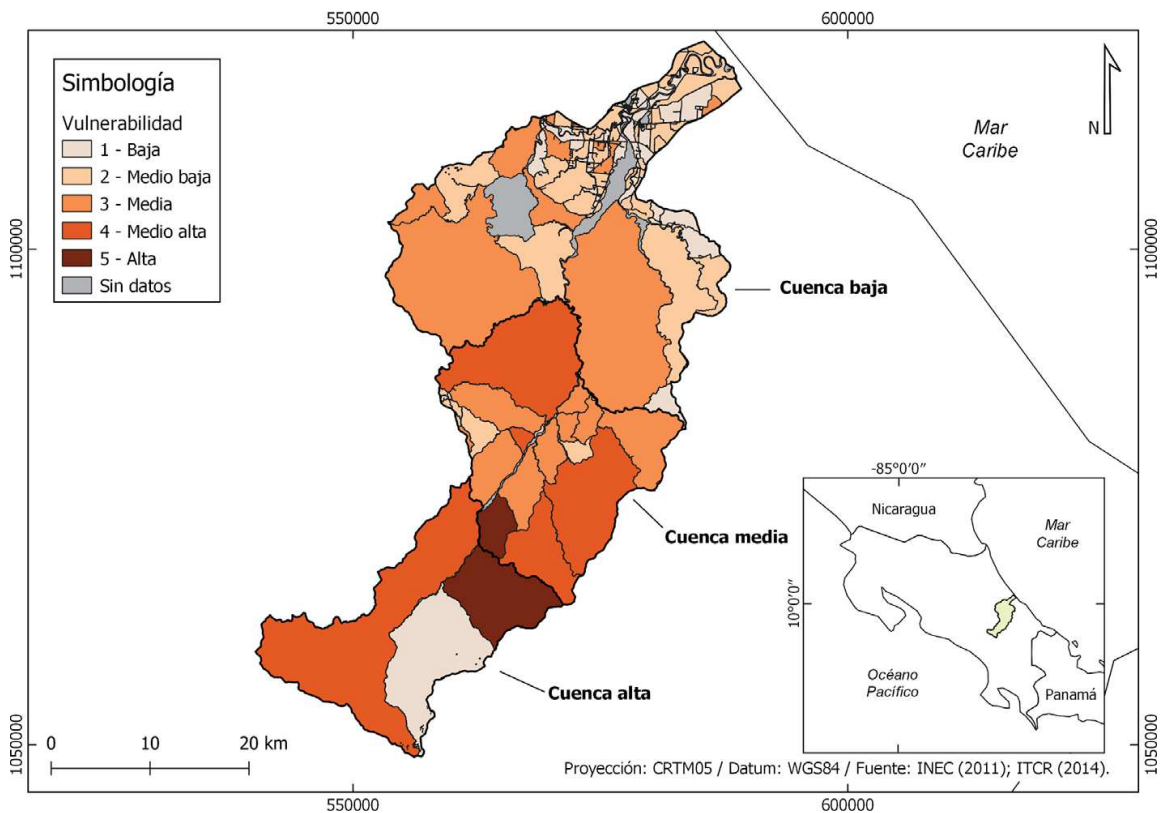
Las figuras 7 y 8 muestran el IIV, incluyendo el componente socioeconómico, entorno geográfico y su comportamiento en cada parte de la cuenca (alta, media y baja). Por ejemplo, para la cuenca alta, en términos de promedio, el indicador de población con alguna limitación física tiene mayor peso en la vulnerabilidad socioeconómica, mientras que la infraestructura de acceso (carreteras) es el indicador del entorno geográfico que más contribuye con la vulnerabilidad. Por otra parte, en la cuenca media, el indicador de población dependiente adulta mayor (mayor a 65 años) tiene más peso en la vulnerabilidad socioeconómica; factor de suma importancia puesto que la movilidad es fundamental ante un evento extremo lluvioso. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que la distribución geográfica de la vulnerabilidad responde a la concentración de la población (Retana et al., 2017). Por lo tanto, el 76% de los habitantes de la cuenca baja y donde se concentra el mayor porcentaje de población desocupada, representa la mayor exposición ante amenaza de inundaciones.

FIGURA 7. Vulnerabilidad según variable en cada parte de la cuenca del río Matina (donde 0 equivale a vulnerabilidad baja y 10 equivale a vulnerabilidad alta)



Fuente: Elaboración propia a partir de INEC (2011).

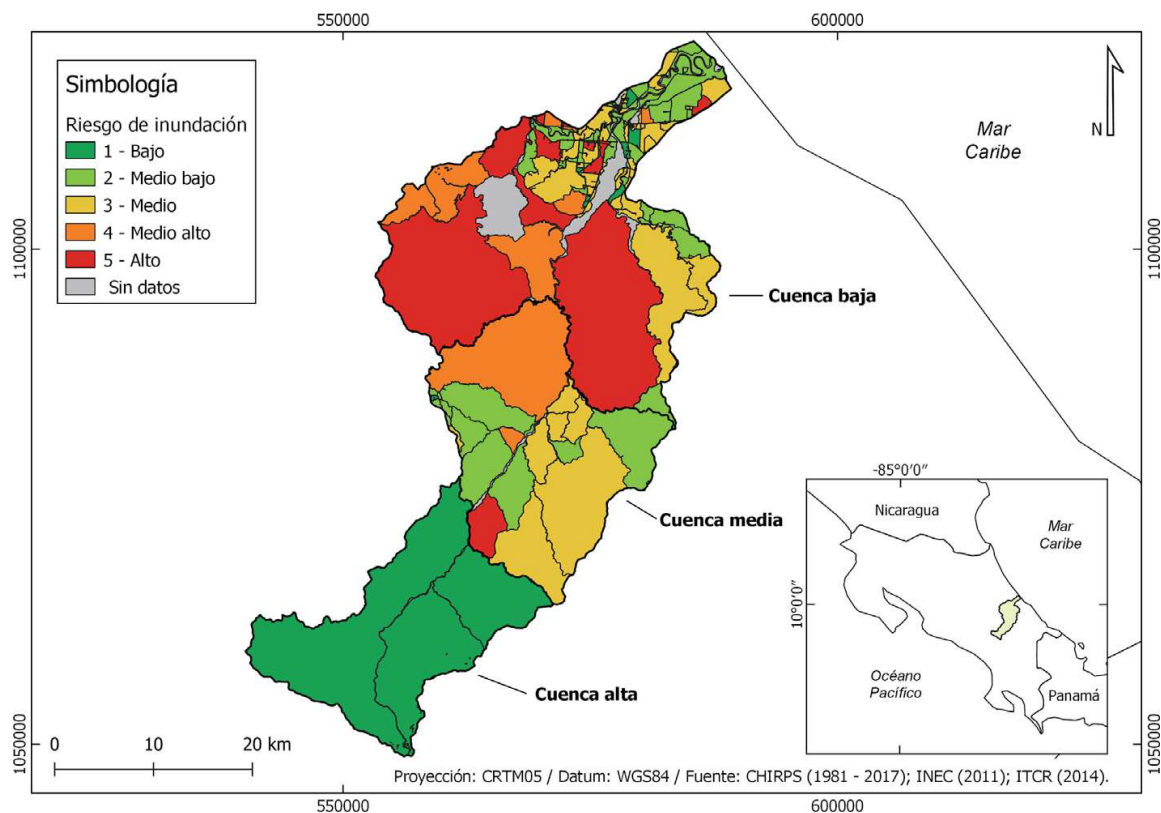
FIGURA 8. Índice Integrado de Vulnerabilidad



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, producto de la multiplicación de las variables de vulnerabilidad socioeconómica, entorno geográfico y amenaza de inundación se obtiene como resultado el IRI a nivel de UGM, el cual fue normalizado estadísticamente por el área de la cuenca (alta, media y baja). La figura 9 muestra la cartografía del índice en cuestión, con el fin de identificar espacialmente sectores con alto grado de exposición al riesgo (en rojo). Dicho producto cartográfico representa un insumo clave para la posterior toma de decisiones en materia de ubicación de sensores en campo y selección de comunidades prioritarias a monitorear.

FIGURA 9. Índice de Riesgo de la cuenca del río Matina



Fuente: Elaboración propia.

5. Conclusiones y recomendaciones

La adaptación de la metodología de Retana et al. (2017) representa un abordaje innovador en tanto se mantiene la escala a nivel de UGM pero se normalizan las variables por área de cuenca alta, media y baja en vez de unidades político-administrativas, utilizando variables socioeconómicas para determinar la vulnerabilidad y variables biofísicas para determinar la amenaza. Así, la cuenca hidrográfica representa una unidad de análisis que se ajusta a la dinámica hidrológica, funcional para monitorear las interconexiones entre todos sus segmentos para así lograr un análisis integral del riesgo. El mayor reto yace en homologar la metodología aplicada a la cuenca del río Matina en Costa Rica, a las cuencas del río Samalá en Guatemala y el río Ulúa en Honduras, puesto que la información disponible difiere entre países de la región. Para futuras investigaciones, se recomienda tomar en consideración escalas intermedias de análisis, como la subcuenca y la microcuenca, en tanto éstas se pueden ajustar mejor, según cada contexto geográfico.

Por lo tanto, a través del monitoreo de fenómenos hidrometeorológicos, la Misión Científica del Proyecto Morazán muestra como las TGs facilitan el cumplimiento de los ODS. Por consiguiente, se favorece el desarrollo rural incorporando la participación ciudadana y a los usuarios finales de la información que se va a generar, convirtiéndose en un mecanismo de gestión comunitaria del riesgo como parte de los procesos de adaptación y mitigación al cambio climático. En conclusión, el Proyecto busca fomentar la integración centroamericana, recuperando el ideal de Morazán, quien soñó con una región unida. Hoy, casi dos siglos después, el Proyecto busca concretar el sueño de Morazán a través de la innovación y la cooperación científica en el espacio, donde no existen fronteras.

6. Referencias bibliográficas

AL-RODHAN, N. (2012). *Meta-Geopolitics of Outer Space: An Analysis of Space Power, Security and Governance* (1st ed.). Palgrave Mcmillan. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0265964613000520>

CARDONA, O. D. (2001). "La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo: una crítica y una revisión necesaria para la gestión". *LA RED: Red de estudios sociales en prevención de desastres en América Latina*.

CASTELLS, M. (2010). *The Rise of the Network Society: Vol. I*, 2ª ed., Wiley–Blackwell.

CEPREDENAC–SICA (2017). *PCGIR–MSRRD 2015–2030*.

DELGADO, V. (2004). *Sensores remotos climáticos aplicados a malaria en utilidad de los sensores remotos climáticos en la prevención y diagnóstico de condiciones ambientales asociadas a la dinámica de enfermedades tropicales: la malaria en el estado Sucre – Venezuela*. http://www.chiex.net/documents/delgado_cordova_rodriguez_2004.pdf

DÍAZ, A. E. (1985). *Satellite telecommunications: A field for horizontal cooperation in the peaceful uses of outer space*. CEPAL.

ESCOBAR, V, J. (2020). *Contribuciones metodológicas para la obtención de información altimétrica requerida en la evaluación local de amenazas por inundaciones a partir de nuevas tecnologías geoespaciales*. <http://oatd.org/oatd/record?record=oai%5C%3Aoa.upm.es%5C%3A58112>

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. y VERDIN, A. P. (2014). “A quasi–global precipitation time series for drought monitoring”, en *Data Series*. <https://doi.org/10.3133/ds832>

GIROT, P. P. y GRANADOS, C. (2005). “La Cooperación transfronteriza y los nuevos paradigmas de la integración centroamericana”, en P. BOVIN (Ed.), *Las fronteras del istmo* (pp. 289–310). Centro de Estudios Mexicanos y Centroamericanos. <https://doi.org/10.4000/books.cemca.721>

GÓMEZ, J. M., CALVO, J. A., CALVO, A. J., CHAVES, J. A., CARVAJAL, G. J., VALVERDE, S. A., RAMÍREZ, M. J., ROSALES, L. C., MARTÍNEZ, E., CARRASQUILLA, B. A., MONGE, L. D., ALVARADO, B. C., ROJAS, J. J. y HERNÁNDEZ, R. (2017). *Project Irazú: Advances of a Store & Forward CubeSat Mission for Environmental Monitoring in Costa Rica*. 13.

GÓMEZ, J. M., GARCÍA, B., CHAVES JIMÉNEZ, A., GARCÍA, D., CARVAJAL–GODÍNEZ, J., LARA, J. y ZEA, L. (2017). *Mechanism of Cooperation for the Development of a Central American Space Project – A Regional CubeSat*.

GUERRA, B. A. (1994). “El desarrollo económico”, en *De la posguerra a la crisis (1945–1979): Vol. V*, 2ª ed., 13–83, FLACSO.

LAVELL, A. (2000). "Desastres y desarrollo: hacia un entendimiento de las formas de construcción social de un desastre. El caso del huracán Mitch en Centroamérica", en N. GARITA y J. NOWALSKI (Eds.), *Del desastre al desarrollo humano sostenible en Centroamérica* (pp. 7–45). Banco Interamericano de Desarrollo – Centro Internacional para el Desarrollo Humano Sostenible.

MONGE, L. D., BRICEÑO, M. C. A., MOLINA, M., AGUILERA, F. J. Z., MUÑOZ, E. J. G., MEJUTO, J., HERNÁNDEZ, V. C. y BECKER, M. (2019). *Morazán MRZ–SAT CubeSat Project for the Integration of the Central American Nations through Collaboration in Space*. https://www.researchgate.net/publication/336889086_MORAZAN_MRZ-SAT_CUBESAT_PROJECT_FOR_INTEGRATION_OF_THE_CENTRAL_AMERICAN_NATIONS_TROUGH_COLLABORATION_IN_SPACE

ONU Asamblea General (2015). Resolución aprobada por la Asamblea General el 3 de junio de 2015. *Asamblea General, 08955*, 1–26. <http://www.preventionweb.net/files/resolutions/N1516720.pdf>

PINTO, S. J. C. (1994). "La independencia y la Federación (1810–1849)", en *De la Ilustración al Liberalismo: Vol. III, 2^a ed.*, 73–140, FLACSO.

RAMAKRISHNA, B. (1997). *Estrategias de extensión para el manejo integrado de cuencas hidrográficas: conceptos y experiencias*. IICA. https://books.google.co.cr/books?id=_JL28RE5CIC

RETANA, J., CALVO, M., SANABRIA, N., CÓRDOBA, J., CALDERÓN, K., y CORDERO, K. (2017). *Análisis de riesgo ante eventos hidrometeorológicos extremos en Costa Rica. Casos de estudio: Liberia, Carrillo, Matina y Talamanca*. <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/publicaciones/RiesgoEventosHMExtremos/offline/download.pdf>

RODRÍGUEZ, E. T. (2013). "Cooperación transfronteriza y ambiente en América Central: El caso de la cuenca del río Sixaola entre Costa Rica y Panamá", *LiminaR. Estudios Sociales y Humanísticos*, 11(2), 13. <https://doi.org/10.29043/liminar.v11i2.220>

RODRÍGUEZ, S. V. y CORREA, R. E. (2020). Servicio de datos geoespaciales para la gestión de riesgos de desastres en el Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil. <https://orcid.org/0000-0003-4091-482X>. *Rctd.Uic.Cu*.

SABORÍO, J., SABORÍO, M. del M. y MORA, S. (2014). *Normas y elementos básicos de gestión municipal del riesgo de desastre con énfasis en prevención, control y regulación territorial*.

SHEA, G. (2017). *NASA Systems Engineering Handbook Revision 2*. <https://www.nasa.gov/connect/ebooks/nasa-systems-engineering-handbook>

SINAC (2016). *Caracterización de los territorios indígenas Chirripó, Bajo Chirripó y Nairi Awari. Diagnóstico del Área Silvestre Protegida Parque Nacional Barbilla*.

UNISDR–CEPRENAC (2014). *Informe Regional del Estado de la Vulnerabilidad y Riesgos de Desastres en Centroamérica*. http://ceprenenac.org/application/files/1115/6382/8435/Informe_Regional_del_Estado_de_la_Vulnerabilidad_y_Riesgos_de_Desastres_en_Centroamerica.pdf

UNOOSA (2018). *European Global Navigation Satellite System and Copernicus: Supporting the Sustainable Development Goals*. United Nations. <https://doi.org/10.18356/bd041258-en>

VAHRSON, W.-G. (1992). "Distribución espacial de los periodos de retorno de tres eventos de lluvias extremas en Costa Rica", *Revista Geográfica de América Central*, 25–26, 193–207. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/2891/2763>