

Memoria

**Congreso recursos hídricos y
resiliencia hidroclimática en el
Corredor Seco Centroamericano**
22, 23 y 24 de marzo 2022



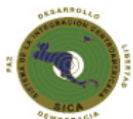
Abril 2022



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA



IGG-CIG
INSTITUTO DE
GEOLOGÍA Y GEO
UNAN-MANAGUA



SICA
Sistema de la Integración
Centroamericana



IDRC | CRDI

International Development Research Centre
Centre de recherches pour le développement international

Coordinadora:

Ph.D. Heyddy Calderón

Comité científico:

Dr. Julio Luna

MSc. Indiana Montoya

Comité editorial

Ph.D. Heyddy Calderón, IGG-CIGEO/UNAN-MANAGUA

MSc. Armando Muñoz, IGG-CIGEO/UNAN-MANAGUA

Colaboradores:

Ing. Belkys Aguilar

Wendy Gudiel Ortiz

Denilson Peralta Calderón

Thamara Pineda Núñez

María Elena Sánchez

Presentación

La Red de investigación Hidrogeológica para fortalecer la preparación y resiliencia ante eventos climáticos extremos de las poblaciones del Corredor Seco Centroamericano (HidroREDCA) comenzó a funcionar en enero del 2021, con el objetivo de fortalecer la investigación colaborativa sobre la hidrogeología del corredor seco centroamericano con enfoque de gestión del riesgo hidroclimático y socioeconómico. Inicialmente se conformó por el Instituto de Geología y Geofísica (IGG-CIGEO) de la UNAN-Managua (coordinación), el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM) de la Universidad de San Carlos (USAC) de Guatemala, la Universidad de El Salvador (UES), la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH) y Autoridad Nacional del Agua (ANA) de Nicaragua. Actualmente la red consta de 40 miembros individuales e institucionales, entre los que se tienen a la Universidad de Costa Rica (UCR) y la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), de manera que hay una Universidad de cada país centroamericano.

Entre el 22 y el 24 de marzo del año 2022 hidroREDCA organizó el Congreso recursos hídricos y resiliencia hidroclimática en el Corredor Seco Centroamericano, a fin de propiciar un espacio para el intercambio de experiencias en investigaciones desarrolladas en la región. Como parte de las actividades se organizó un cineforo en saludo al Día Mundial del Agua, se presentaron quince ponencias y charlas sobre gestión del riesgo asociado al agua, resiliencia, el agua como estrategia de sensibilización ambiental, situación del agua subterránea, metodología para priorizar el uso y aprovechamiento de agua, favorabilidad hidroclimática, recarga gestionada de acuíferos, variaciones en medios de vida, cadenas de valor y resiliencia climática, bases de datos aplicadas al registro del clima y evaluación de seguridad hídrica. También se presentó una propuesta de mapa hidrológico centroamericano que incluye características litológicas, hidráulicas, tipos de acuíferos, elementos para la planificación y desarrollo de aguas subterráneas. Se organizó además, el panel el corredor seco visto por sus protagonistas, en el cual participaron Francisca Ruíz, responsable del Comité de Agua Potable de la comarca El Porcal del municipio San Lucas, Madriz; Carlos Tórrez e Ismael Cano, representantes de las comunidades indígenas de Jinotega; Tomasa Sanabria, trabajadora de la Alcaldía de Metapán, El Salvador y Zoila Moreno, de la Cooperativa Denominación de Origen Café Marcala, Honduras.

Los detalles de cada actividad están contenidos en esta memoria, que esperamos sea de utilidad.

Día Mundial del Agua

El 22 de marzo se organizó un cineforo con estudiantes de Biología y Gerencia Ambiental sobre el documental Pumped Dry: The Global Crisis of Vanishing Groundwater. Los estudiantes conocieron el funcionamiento de la estación meteorológica del IGG-CIGEO y el proceso de registro de datos para el monitoreo de las precipitaciones en el Recinto. El conversatorio con los jóvenes permitió profundizar en la problemática plasmada en el documental, el impacto del cambio climático en sus comunidades, así como las alternativas propuestas para mitigar su efecto.





Congreso recursos hídricos y resiliencia hidroclimática en el Corredor Seco Centroamericano

22, 23 y 24 de marzo 2022



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA



IGG-CIGEO

INSTITUTO DE
GEOLOGÍA Y GEOFÍSICA
UNAN-MANAGUA



PROGRAMA

	HORA	ACTIVIDAD	RESPONSABLE	INSTITUCIÓN
Miércoles 23 de marzo	8:30-9:00 a.m.	Inscripción	Ing. Belkys Aguilar	IGG-CIGEO
	9:00-9:10 a.m.	Bienvenida	MSc. Dayra Blandón, Vicerrectora de Gestión del Conocimiento y Vinculación Social	UNAN-Managua
	9:10-9:20 a.m.	Saludo	Cro Rodolfo Lacayo, Director Ejecutivo	ANA
	9:20-9:30 a.m.	Saludo	Dr. Carlos Alvarado Cerezo, Secretario General	CSUCA
	10:15-10:30 a.m.	RECESO		
Miércoles 23 de marzo	10:30-11:00 a.m.	hidroREDCA: una red de investigación para el Corredor Seco Centroamericano	Ph.D. Heyddy Calderón	IGG-CIGEO
	11:00-11:30 a.m.	Gestión de riesgos asociados al agua en el CSC	MSc. Julio Luna	USAC Guatemala
	11:30 a.m. -12:00 M.	Resiliencia en comunidades del Corredor Seco	Ing. Marjorie Toruño	IGG-CIGEO
	12:00 M-1:00 p.m.	ALMUERZO		



Congreso recursos hídricos y resiliencia hidroclimática en el Corredor Seco Centroamericano

22, 23 y 24 de marzo 2022



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA



IGG-CIGEO

INSTITUTO DE
GEOLOGÍA Y GEOFÍSICA
UNAN-MANAGUA



PROGRAMA

	HORA	ACTIVIDAD	RESPONSABLE	INSTITUCIÓN
Miércoles 23 de marzo	1:00-1:30 p.m.	Sistema de Información SiAgua		ANA
	1:30-2:00 p.m.	Red Institucional y sus vínculos con espacios vulnerables del sector agrícola del CS de Honduras	Ph.D. Carlos González	Alianza CIAT
	2:00-2:30 p.m.	Conjunto de datos climatológicos de América Central, evaluando la importancia de los registros instrumentales en la evaluación de climas históricos, actuales y futuros	Ph.D. Irma Ayes/Ph.D. Diego Pons	Alianza CIAT
	2:30-3:00 p.m.	Diseño de una metodología para priorizar de uso y aprovechamiento de agua para la adaptación al Cambio Climático en el Corredor Seco de Nicaragua	MSc. Rolando Gutiérrez	UNAN-León FAREM Estelí
	3:00-3:30 p.m.	El Agua, como estrategia unificadora de sensibilización ambiental y aprendizaje colaborativo de estudiantes de la UNAN-Managua FAREM-Chontales.	MSc. Indiana Montoya	FAREM Chontales UNAN-Managua



Congreso recursos hídricos y resiliencia hidroclimática en el Corredor Seco Centroamericano

22, 23 y 24 de marzo 2022



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA



IGG-CIGEO
INSTITUTO DE
GEOLOGÍA Y GEOFÍSICA
UNAN-MANAGUA



PROGRAMA

	HORA	ACTIVIDAD	RESPONSABLE	INSTITUCIÓN
Jueves 24 de marzo	8:30-9:00 a.m.	Inscripción	Ing. Belkys Aguilar	IGG-CIGEO
	9:00-9.30 a.m.	Hidrogeología del Corredor Seco Centroamericano: agua subterránea para mejorar la preparación y resiliencia a extremos hidroclimáticos	Ph.D. Heyddy Calderón	IGG-CIGEO UNAN-Managua
	9:30-10:00 a.m.	Hidrogeología del Arco Seco de Panamá: Desafíos y Oportunidades	MSc. Gabriela Castrellón	Universidad Tecnológica de Panamá
	10:00-10:30 a.m.	Análisis de favorabilidad hidrogeológica considerando variabilidad climática, en el municipio de San Juan de Limay, Estelí	Ing. Belkys Aguilar	IGG-CIGEO
	10:30-10:45 a.m.	RECESO		
Jueves 24 de marzo	10:45-11:15 a.m.	Lineamientos básicos para la recarga gestionada de acuíferos en Guatemala	Ph.D. Wener Ochoa	EPP/USAC Guatemala
	11:15-11:45 a.m.	Variaciones potenciales de los medios de vida del CSC y su dependencia en el agua subterránea	Ph.D Marcia de Calderon/Ing. Flor López	Universidad de El Salvador



Congreso recursos hídricos y resiliencia hidroclimática en el Corredor Seco Centroamericano

22, 23 y 24 de marzo 2022



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA



IGG-CIGEO

INSTITUTO DE
GEOLOGÍA Y GEOFÍSICA
UNAN-MANAGUA



PROGRAMA

	HORA	ACTIVIDAD	RESPONSABLE	INSTITUCIÓN
Jueves 24 de marzo	11:45 a.m.- 12:15 p.m.	Armonización del enfoque de cadenas de valor con la resiliencia climática en medios de vida rurales	MSc. Iván Soto	UNAN-Managua
	12:15-1:15 p.m.	ALMUERZO		
	1:15-1:45 p.m.	Evaluación de la seguridad hídrica en el "corredor seco" de Guatemala: caso de la cuenca del Río Plátanos, Sanarate (El Progreso)	Ing. Jaime Requena	USAC Guatemala
	1:45-2:15 p.m.	Situación del agua subterránea en la región Pacífico norte de Costa Rica	MSc. Ingrid Vargas	UCR
	2:15-2:45 p.m.	Uso de la hidrología isotópica en la recarga de aguas subterráneas del CSC para una gestión sostenible de los recursos hídricos	MSc. Alberto Iraheta	Universidad de Braunsschweig-Institute for Geoecology (IGO)
	2:45-3:30 p.m.	PANEL El corredor seco visto por sus protagonistas	Participantes: representantes de Alcaldía de Metapán, El Salvador; CAP el Porcal, San Lucas, Nicaragua; Cooperativa Denominación de Origen Marcala, Honduras. Asociación de Pueblos Indígenas de Jinotega, Nicaragua	Facilitador: MSc. Armando Muñoz, IGG-CIGEO

Inauguración

La inauguración contó con la participación del Dr. Carlos Alvarado cerezo, Secretario General del CSUCA, la Vicerrectora de Gestión del Conocimiento y Vinculación Social de la UNAN-Managua, MSc. Dayra Blandón y el Director Ejecutivo de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) de Nicaragua, Cro. Rodolfo Lacayo.

Asteriscos de la intervención de la MSc. Dayra Blandón, Vicerrectora de Gestión del Conocimiento y Vinculación Social de la UNAN-Managua

Este congreso se celebra en ocasión de una fecha importante, el Día Mundial del Agua, que nos recuerda la importancia de este vital líquido para la vida. Según datos de las Naciones Unidas, a pesar de que todas las actividades sociales y económicas dependen en gran medida del abastecimiento de agua dulce y de su calidad, 2,200 millones de personas viven sin acceso a agua potable. Este año, la celebración se ha centrado en reconocer la importancia del estudio de las aguas subterráneas, su protección y utilización sostenible para sobrevivir al cambio climático y satisfacer las necesidades de una población en constante crecimiento.



En el Corredor Seco Centroamericano ocurren sequías cíclicas relacionadas principalmente con el fenómeno de El Niño de la Oscilación Sur. Aunque el Corredor Seco apunta a un fenómeno climático, tiene una base biológica que define un grupo de ecosistemas del bosque tropical seco de Centroamérica, que inicia en Chiapas-México y abarca las zonas bajas de la vertiente del Pacífico y de la Región Central de Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua y parte de Costa Rica.

Según el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, en Nicaragua se han identificado 20 años secos en el período 1972-2019. Dichos años han estado bajo la influencia del fenómeno de El Niño y tiene una recurrencia no periódica de 2 a 7 años. De tal manera, las sequías pueden impactar negativamente en los medios de vida que son principalmente la agricultura y la ganadería, generando una interrupción progresiva en los mecanismos de adaptación y resiliencia (Bendaña García, 2012).

Ahora bien, para hacer frente a la amenaza del cambio climático se requiere una transformación en la gestión de los recursos hídricos e incrementar los niveles de resiliencia hidroclimática, es decir, desarrollar capacidades personales y colectivas para responder y simultáneamente enfrentar el cambio asociado al impacto de fenómenos climáticos. Con relación a lo anterior, es fundamental generar conocimientos sobre el estado actual de los recursos hídricos, para diseñar medidas de adaptación congruentes al contexto del Corredor Seco; es decir, una sociedad que acepta, procura crear un sistema capaz de adaptarse a las nuevas condiciones y necesidades. Por lo tanto, el trabajo de esta red crea oportunidades para compartir conocimientos, diversidad de expectativas, habilidades y recursos, así como: plantearse metas como región centroamericana que comparte similares características geográficas y ambientales.

Palabras del Cro. Rodolfo Lacayo, Director Ejecutivo de la Autoridad Nacional del Agua (ANA)

No solamente basta con tener la voluntad o el compromiso de impulsar una serie de acciones a nivel nacional, sino que también se tiene la obligación de seguir promoviendo la investigación científica a través de las universidades, academias y distintas instituciones de gobierno. De esta manera, también se reitera que se han venido haciendo grandes esfuerzos por parte del gobierno, que permitan llevar agua potable segura en cantidad y calidad a las familias nicaragüenses, aunque esto también tenga que pasar por un proceso

de planificación e investigación hídrica y creo que a través de este proyecto y de la red se fortalecerán estos procesos. Este congreso nos invita a pensar y a concientizar, lo que el cambio climático está diciendo constantemente, ya que no existen fronteras para este trabajo. Centroamérica y desde Nicaragua estamos trabajando cada día en cumplimiento con nuestro Plan Nacional de Lucha Contra la Pobreza y el desarrollo humano; especialmente en la política del cambio y la variabilidad climática tenemos un eje de trabajo que nos invita a seguir impulsando la gestión integrada de los recursos hídricos y por esto pasa la planificación y la investigación científica. Reitero el agradecimiento por el espacio brindado, espero que este congreso que viene a celebrar el Día Mundial del Agua sirva para seguir incentivando a los estudiantes a poner amor a las investigaciones que realizan a través de las diferentes tesis y recordar que nuestras instituciones están abiertas siempre para brindar el acompañamiento y seguimiento a estos procesos.



Palabras del Dr. Carlos Alvarado Cerezo, Secretario General del Consejo Superior Universitario Centroamericano (CSUCA)

Es para la Secretaria General del Consejo Superior Universitario Centroamericano un honor estar presente en este acto de inauguración del Congreso sobre Recursos Hídricos y Resiliencia Hidroclimática en el Corredor Seco Centroamericano, en el marco de la presentación de resultados de investigaciones que son relevantes de hidroREDCA, en su primer año de funcionamiento y en este día a nivel mundial del agua.

En este contexto, considero pertinente recordar y compartir que dentro de sus objetivos generales y específicos hidroREDCA mantiene la firme convicción de fortalecer la investigación colaborativa sobre la hidrogeología del Corredor Seco Centroamericana como ya se ha mencionado, con un enfoque de gestión de riesgo hidroclimático y socioeconómico, y he sido testigo de ese trabajo y este compromiso que ellos han manifestado a través de la coordinación de la doctora Heyddy Calderón Palma. Para el efecto, la red ha mantenido esfuerzos para la creación de un espacio de intercambio científico, que es muy importante entre investigadores centroamericanos e instituciones de gobierno que nos permitan analizar y mejorar el nivel del conocimiento de los acuíferos y del corredor seco, fortaleciendo las capacidades que es algo muy muy importante y que nosotros debemos de valorar, fortalecer las capacidades técnicas científicas de investigadores centroamericanos para mejorar el conocimiento hidrogeológico en nuestra región centroamericana. Sin lugar a dudas el trabajo que realiza hidroREDCA tiene una importancia significativa por la incidencia que esto implica para el beneficio y bienestar de nuestras sociedades centroamericanas.



En ese orden de ideas me quiero referir brevemente a la situación imperante de Centroamérica siendo una de las regiones como todas y todos sabemos con mayor exposición a los riesgos de desastres naturales y la variabilidad climática que tenemos siendo esta problemática cada día más evidente en el Corredor Seco Centroamericano, períodos recurrentes de sequía combinados con el exceso de lluvias e inundaciones severas están afectando severamente los medios de vida rurales, inseguridad alimentaria e insuficiencia de ingresos, disminución de la producción local de alimentos, falta de empleo y de migración forzada son algunas de las consecuencias negativas que se entienden de la población ya que de por sí son vulnerables por sus precarias condiciones socioeconómicas afectando en una forma desproporcionada a todas personas

hombres, mujeres, pueblos indígenas, niñas, niños, entre otros; en esta situación ha captado la atención creciente en la comunidad internacional y en los últimos años se ha implementado acciones y éstas van alineadas con la prioridades de adaptación de los gobiernos por eso es importante la participación del doctor Lacayo, en general se orientan en la dirección necesaria promoviendo la resiliencia y el desarrollo, buscando fortalecer las capacidades locales, la adopción de prácticas para una gestión que sea productiva y sostenible de los recursos y en última instancia mejorar la situación de los principales actores económicos de la región que son familias productoras de granos básicos. Recientemente la situación como todas y todos lo hemos vivido se agravo por dos motivos, primero la pandemia del coronavirus y una intensa temporada ciclónica como segunda parte, que incluyo el paso devastador de huracanes IOTA y ETA a finales de 2020, aunado a esta problemática habrá que adicionar la sequía cíclica relacionadas con el fenómeno del Niño, como lo dijo la doctora Blandón, y con eventos climáticos extremos provocados por ese cambio climático que estamos atravesando.

Paradójicamente estos son los datos importantes, Centroamérica sólo es responsable del 0.5% de la emisión de gases de efecto invernadero y la región es considerada como una de las más vulnerables a la crisis ambiental global, en el Corredor Seco habitan de acuerdo a estimaciones más de 12 millones de personas, la mayoría y muy extendida a la práctica agricultura en ellas y de subsistencia debido a bajos niveles socioeconómicos existentes; sin embargo, frente a nosotros tenemos una problemática que es seria, que habrá que verse como también oportunidades que tenemos para trabajar de una manera colaborativa solidaria, desde el quehacer de la gestión de nuestras universidades públicas por esa vocación de servicio que tienen las universidades públicas a sus comunidades y es un imperativo trabajar desde la perspectiva de cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) entre los que se encuentran poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria, tan importante, la mejora de la nutrición y promover una agricultura que sea sostenible hasta el 2030.

De igual forma considero oportuno mencionar un aspecto trascendente de incidencia transversal desde el quehacer de la confederación universitaria centroamericana y que vendrá a coadyuvar en este importante esfuerzo de mitigar las repercusiones que está generando la problemática del Corredor Seco Centroamericano y me refiero al Quinto Plan para la Integración Regional de la Educación Superior de Centroamérica y República Dominicana el PIRESC V, cuya misión se enmarca en una coordinación y articulación entre los sistemas, programas y proyectos que contribuyan a la solución de los problemas comunes de nuestra región para el efecto el PIRESC V contempla el Programa de Investigación, Ciencia, Tecnología e Innovación para la integración y el Desarrollo Regional cuyo objetivo estratégico se orienta precisamente impulsar e implementar a actualizar la agenda regional de investigación con prioridades para el intercambio y esa colaboración científica tan importante entre nuestras universidades de la región, con una visión prospectiva, contextualizada y participativa que lo más importante, teniendo como línea estratégica de trabajo la divulgación, conocimiento de apropiación en cada universidad que integra el Consejo Superior Universitario del Centroamericano, de igual forma el programa busca promover el fortalecimiento de las capacidades para hacer investigación científica, un desarrollo tecnológico e innovación en las universidades que integran el CSUCA, considerando la organización institucional, la gestión de la investigación y el financiamiento y desarrollo de recursos humanos.

Otra herramienta que habrá que tener presente lo constituye como ustedes se recuerdan la política universitaria centroamericana para la reducción de riesgos y desastres la PRIDCA, que es una estrategia que responde al compromiso manifestado por las universidades en el desarrollo humano sostenible que aquejan las sociedades centroamericanas considerando los altos niveles de vulnerabilidad casi crónicos a los que estamos expuestos millones de personas, como se puede ver contamos con valiosas herramientas que son estrategias producto de investigación y desarrollo que realizan las universidades de la confederación

universidad centroamericana para hacer frente a esos grandes desafíos en materia de reducción de riesgo de desastres y adaptación al cambio climático.

Finalmente quiero dejarles el mensaje que hoy las universidades públicas y las instituciones de educación superior viven una nueva realidad producto de los factores de tipo sanitario, económico, ambiental que estamos viviendo, situación que nos obliga al desarrollo de nuevas competencias, educación a lo largo de la vida, educación basada en proyectos, ese cultivo de la vocación que es tan importante, descubrimiento y desarrollo de talentos, nuevas formas y tecnologías del aprendizaje, ese rol tan importante del investigador, del profesor como orientador guía y el rol del estudiante como protagonista de su propio aprendizaje, por todo ello quiero felicitar a las y los organizadores de esta importante actividad, valorarnos ese trabajo y ese compromiso de los integrantes de hidroREDCA y también quiero agradecer la invitación a participar en este acto de inauguración de este importante congreso, les deseo toda clase de éxitos, satisfacciones y que se cumplan esas metas y objetivos que se han trazado, que son importantes para nuestra gente de la región centroamericana y quiero que me saluden a la distinguida Rectora la doctora Ramona Rodríguez, que es la presidente del Consejo Superior Universitario Centroamericano y que ha estado muy comprometida en el trabajo a nivel de la región, muchas gracias por la oportunidad y les deseo muchos éxitos.

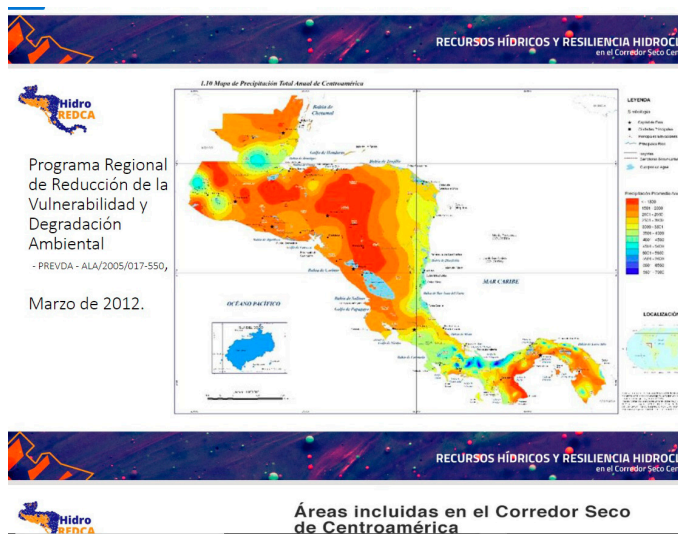
Ponencia 1.

La primera charla estuvo a cargo de la coordinadora, Dra. Heyddy Calderón, quien disertó sobre **hidroREDCA: una red de investigación para el Corredor Seco Centroamericano**. Calderón indicó que en los últimos 60 años se ha observado alrededor de 10 eventos "Niño" con duración variable de entre 12 y 36 meses. Garantizar el acceso a agua en el CSC permitirá asegurar la producción de alimentos para mitigar los efectos económicos adversos de la pandemia, fortaleciendo la seguridad alimentaria medidas de protección sanitaria como el lavado de manos. Abordó los objetivos de la hidroREDCA enfatizando en el estudio de los recursos superficiales y recursos subterráneos, lo cual se puede lograr con un sólido conocimiento hidrogeológico. Además detalló las líneas de investigación, los resultados obtenidos y esperados, así como el impacto alcanzado por la red.



Ponencia 2.

El Dr. Julio Luna abordó **Gestión de Riesgos asociados al Agua en el Corredor Seco Centroamericano**; para Luna los Riesgos asociados al agua se derivan principalmente de la calidad y disponibilidad del agua. En el CSC la precipitación pluvial es más baja que en otras regiones, y la disponibilidad del agua está en función de la precipitación pluvial y su variabilidad estacional. La escasez es concebida ampliamente como una variable definitoria de inseguridad de agua, sin embargo, la escasez es inducida por malas políticas de gestión de los recursos hídricos. Los especialistas en recursos hídricos suelen evaluar la escasez mediante la relación de población versus agua disponible, esto incluye los usos directos; abastecimientos, agricultura, industria, energía y medio ambiente. El CSC se caracteriza por una errática distribución de la precipitación, dada por la interacción entre el relieve montañoso, a lo largo de la vertiente Pacífica y los fenómenos climatológicos propios de la zona. Las políticas públicas y el marco normativo regional, en lo relacionado a los riesgos asociados a los recursos hídricos, están estrechamente relacionados con los temas de salud y de seguridad alimentaria en general, especialmente con las zonas que forman parte del Corredor Seco Centroamericano.



Ponencia 3.

La Ingeniera Marjorie Toruño Alvarez se refirió a **Resiliencia en Comunidades del Corredor Seco**; con un enfoque teórico realizó un recorrido por los eventos naturales más relevantes de los últimos 50 años; enumeró los departamentos que están dentro del territorio del CSC; presentó un análisis documental de la resiliencia en Nicaragua y Centroamérica, experiencias exitosas en cuanto a resiliencia comunitaria, tal es el caso de Fortalecimiento de la Resiliencia Comunitaria de la Comunidad El Porcal en el Municipio de San Lucas en Matriz, Nicaragua, como parte del trabajo de la Red Iberoamericana para la Formación de Comunidades Resilientes ante Eventos Naturales Extremos (RIFOREDEx).



Universo de estudio y muestra

El área de estudio
La subcuenca intermunicipal del



Eventos naturales en los últimos 50 años



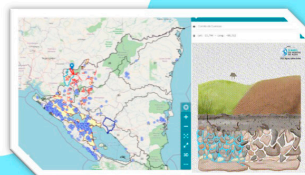
Ponencia 4.

El **Sistema de Información SiAgua** fue expuesto por Marlon SIRIAS de la Autoridad Nacional del Agua (ANA). SiAgua se basa en la Infraestructura de Datos Espaciales (IDE), un sistema informático compuesto por un conjunto de recursos (metadatos catálogos, servidores, programas, aplicaciones, páginas web, etc.), dispuestos de manera gratuita. El objetivo es compartir la información geográfica en la red y ponerla a disposición de los usuarios. Esta plataforma está integrada en el Sistema Nacional de Información de los Recursos Hídricos y está conformado principalmente por la información geográfica, meteorológica, hidrológica, hidrogeológica e incluye el manejo de los bancos de datos, la operación y mantenimiento de las redes y la difusión de la información obtenida.



AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA

DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSO HÍDRICOS



Visor SiAgua

23 -03 -2022



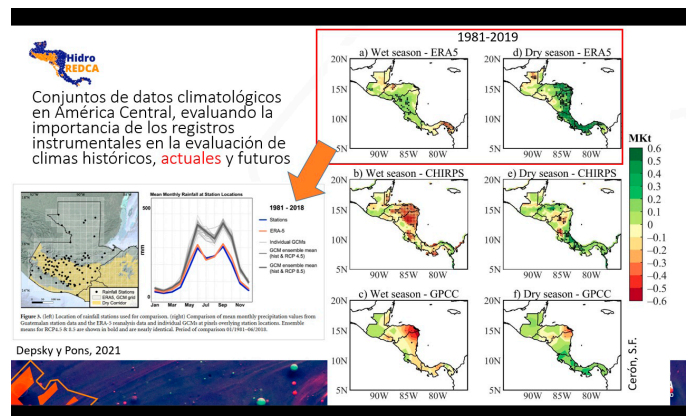
Ponencia 5.

Carlos González disertó sobre la **Red institucional y sus vínculos con espacios vulnerables en el sector agropecuario del corredor seco de Honduras**. El corredor seco de Honduras presenta una alta variabilidad climática natural debido a su ubicación en la región del Pacífico de América Central, donde casi la mitad de la población hondureña desarrolla sus actividades socioeconómicas. La multiplicidad de actores y sus intervenciones genera una red institucional con varios encajes y desajustes colaborativos, desde la cual se analizan la coherencia, consistencia y relevancia de las intervenciones en 153 municipios de Honduras. En cuanto a la coincidencia espacial entre las intervenciones institucionales y la vulnerabilidad al cambio climático de los municipios se encontró que solo el 9% de las acciones directamente vinculadas para hacer frente a la adaptación al cambio climático se realizan en municipios altamente vulnerables. Estos resultados sugieren que aún hay mejoras para las acciones colaborativas en la red institucional, así como para la priorización espacial de las intervenciones hacia los municipios vulnerables.



Ponencia 6.

Conjuntos de datos climatológicos en América Central, evaluando la importancia de los registros instrumentales en la evaluación de climas históricos, actuales y futuros es un trabajo elaborado por Diego Pons, Irma Ayes, Heyddy Calderón y Wilmar Loaiza, fue presentado en el Congreso por Irma Ayes, quien afirma que los sistemas climáticos tropicales son susceptibles a un arreglo de distintos mecanismos que precisan ser estudiados antes de poder establecer los efectos que el calentamiento global genera en los climas tropicales. La resolución tanto espacial como temporal de los conjuntos de datos es una dificultad adicional para el entendimiento en los trópicos; para Centro América distintos estudios describen tendencias positivas y negativas en la precipitación usando datos observados; existe incertidumbre con respecto a la captación y el control de calidad de los conjuntos de datos observados, el algoritmo de los productos de precipitación basados en satélites y los procesos físicos que no están bien representados en los modelos climáticos generales; En Centro América, la optimización de las estrategias de adaptación es crucial. Este trabajo buscará evaluar la capacidad que tienen las distintas bases de datos en comprender la dinámica espacial y temporal de Centro América.



Ponencia 7.

El Diseño de una metodología que permita priorizar las medidas de uso y aprovechamiento de agua para la adaptación al Cambio Climático en el Corredor Seco de Nicaragua, período 2020–2030, estuvo a cargo del MSc. Rolando José Gutiérrez Corea, quien cursa el Doctorado en Gestión y Calidad de la Investigación Científica. El trabajo parte del estudio realizado en la Subcuenca Aguas Calientes, municipio de Somoto, Madriz; describe 14 tecnologías en recursos hídricos implementadas en Aguas Calientes y 3 tipos de medidas de uso y aprovechamiento, entre ellas: cisterna, pila, laguneta, micropresas, riego por goteo, biofiltro, acequias a nivel, etc.



Ponencia 8.

La Ing. Indiana Montoya Dompé presentó **El Agua, como estrategia unificadora de sensibilización ambiental y aprendizaje colaborativo de estudiantes de la UNAN-Managua, FAREM-Chontales**. En su ponencia, Montoya abordó la incorporación del componente ambiental en el currículo universitario; presentó las experiencias Programa de Educación Ambiental, enfocado en el ahorro del agua y saneamiento, fomentado por PISASH, el Comité de Cuencas del Río Mayales, la intervención en comunidades, entre otras.



Ponencia 9.

Acuíferos del Corredor Seco Centroamericano como buffers de eventos hidroclimáticos extremos, a cargo de la Dra. Heyddy Calderón. En ella abordó la delimitación, el Conocimiento hidrogeológico del Corredor Seco Centroamericano, el impacto del cambio climático en los acuíferos y recursos hídricos, los acuíferos como buffers del cambio climático. Se refirió también a la elaboración del mapa hidrogeológico del CSC el cual será la primera compilación de mapas de este tipo en la región.

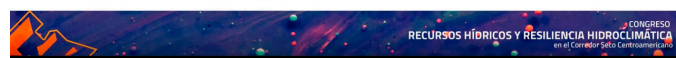
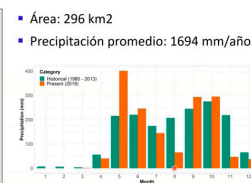
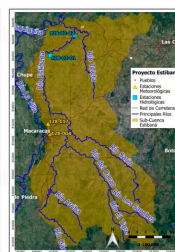
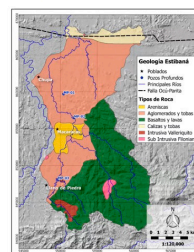


Ponencia 10.

La Ing. María Gabriela Castrellón presentó **Balance hídrico subterráneo de la subcuenca del río Estibaná bajo distintos escenarios de cambio climático**, en la cual explicó que la variabilidad climática afecta la cantidad de agua disponible para consumo humano y el desarrollo de actividades económicas como la agricultura y la ganadería. En Panamá los escenarios de cambio climático sugieren que las precipitaciones aumentarán hacia la segunda mitad del siglo XXI y que los eventos extremos serán más probables. En la Región Hidrológica del Pacífico Central de Panamá, también conocida como el Arco Seco, el 90% de las precipitaciones ocurre en la estación lluviosa (mayo-diciembre) y sólo el 10% en estación seca (enero-abril). Con el cambio climático se pronostica un aumento en la frecuencia de las sequías relativas en los meses de junio y julio, especialmente en años bajo la influencia del fenómeno de El Niño. En la subcuenca del río Estibaná, localizada en la península de Azuero los efectos del cambio climático se evaluaron utilizando proyecciones de precipitación para mediados de siglo según diferentes escenarios socioeconómicos (SSPs). Todos los escenarios predicen una recarga superior a la media histórica para octubre y noviembre y ligeramente inferior para el mes de julio, mientras que para el mes de junio varía dependiendo del escenario socioeconómico y el modelo de circulación global.



Subcuenca del Río Estibaná



Ponencia 11.

Análisis de Favorabilidad Hidrogeológica considerando Variabilidad Climática, en el municipio de San Juan de Limay, Estelí, Nicaragua, fue presentada por la Ing. Belkys Aguilar Zeledón, quien presentó los resultados del estudio realizado en San Juan de Limay, el cual abarcó la caracterización geológica del municipio, la evaluación de la calidad del agua mediante parámetros físicos y químicos, el mapeo de las concentraciones de arsénico y la delimitación de áreas hidrogeológicamente favorables considerando el índice de precipitación estandarizado (SPI). Aguilar determinó que La favorabilidad será mayor en períodos de precipitaciones por encima del promedio, en períodos de déficit hídrico se podrán ver afectadas de manera negativa.

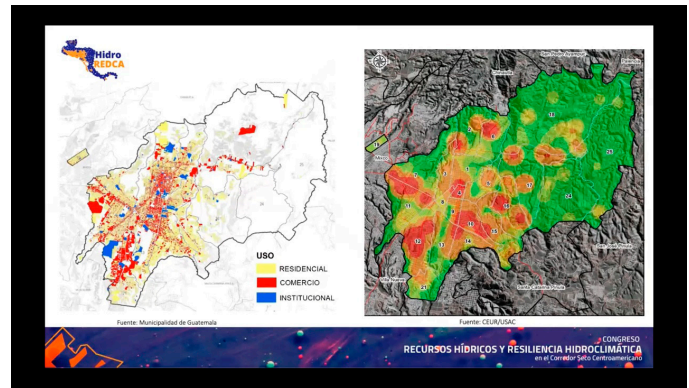


Ponencia 12.

El Ing. Wener Ochoa presentó **Lineamientos para la recarga gestionada de acuíferos frente al cambio climático en Guatemala**. Ochoa considera que la recarga gestionada de acuíferos cobra importancia como una alternativa de sostenibilidad, considerando los elementos hidrogeológicos y ecosistémicos con el objetivo estratégico de incrementar la disponibilidad hídrica de los acuíferos. Al determinar las características ecosistémicas (suelo, estratigrafía, climatología) del Campus universitario de la USAC de Guatemala, por medio de recorridos de campo, análisis estadístico de datos, perforación de pozo de observación, identificó que en los últimos 10 años se manifiesta una disminución de las precipitaciones de 600 mm aproximadamente. El comportamiento del ciclo anual de temperatura muestra los valores más altos en los meses de abril mayo y julio. Los valores más bajos en los meses de diciembre, enero y febrero. El acumulado anual promedio cercano a los 960 milímetros. La evapotranspiración en promedio alcanza los 880 milímetros al año. Se determinó que el porcentaje de superficie impermeable de la ciudad de Guatemala está aumentando de manera acelerada debido a los proyectos de urbanización.

Ponencia 13.

Variación de los medios de vida en el Corredor Seco Centroamericano durante la década 2010-2019, fue expuesta por Flor López; en ella se presenta una retrospectiva y unificación de los medios de vida y la disponibilidad de agua de la población del (CSC) durante la década de 2010 a 2019. Utilizando las capas de datos provenientes de FEWS-NET y datos del USAID, se elaboró un mapa con la variación de los medios de vida versus el estudio de FAO (2012) proponiendo un mapa unificado para el CSC con siete medios de vida: (1) Actividades agropecuarias de subsistencia, (2) Producción de granos básicos, (3) Ganadería y agropecuario, (4) Agroindustria, (5) Café, (6) Venta de mano de obra, y (7) Hortalizas, frutas y acuicultura. La mayor variación identificada en los medios de vida corresponde al aumento de las actividades agropecuarias de subsistencia, probablemente por la falta de recursos y capacitación de los habitantes y la profundización de los problemas ambientales locales por efectos del cambio climático. El mapa de medios de vida unificado y su condición de disponibilidad de agua provee importante información para que los tomadores de decisión orienten sus acciones de desarrollo con enfoque de sostenibilidad.



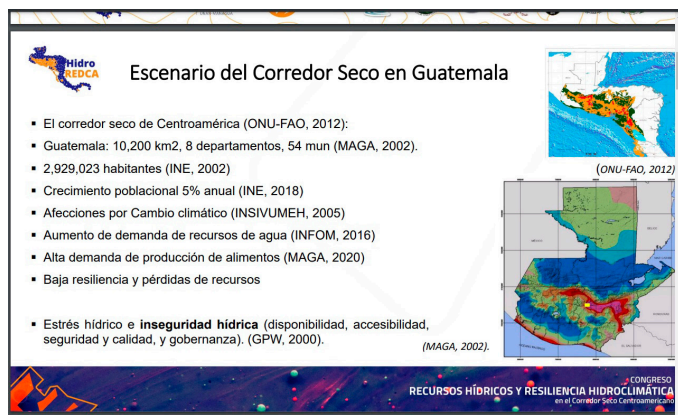
Ponencia 14.

El MSc. Iván Soto abordó **Armonización del enfoque de cadenas de valor con la resiliencia climática en medios de vida rurales**; Estrategia de competitividad para la cadena productiva del carbón vegetal en parvas, producido a partir de residuos de aprovechamiento forestal y agroforestal en el occidente de Nicaragua. Esta ponencia fue presentada por Iván Soto, quien disertó sobre una Cadena productiva de carbón vegetal en parvas en El Bosque y Tololar; con ella se logró generar una hoja de ruta para la implementación de la acción climática, mejorar el rendimiento y margen de ganancia. También se identificaron los retos del proyecto, entre ellos: la ilegalidad, la baja calidad y presentación del producto.



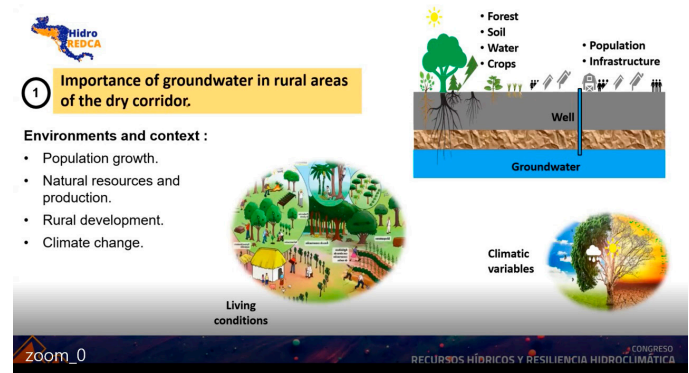
Ponencia 15.

Jaime Requena presentó **Evaluación de la seguridad hídrica en el "corredor seco" de Guatemala: caso de la cuenca del Río Plátanos, Sanarate (El Progreso)**. En su ponencia, Requena evaluó la seguridad hídrica a partir de Modelos de Gestión de Proyectos Hidrogeológicos, considerando la existencia de una región hidroclimática en Mesoamérica con características de extremas y recurrentes sequías. Esta condición ha afectado en Guatemala al menos a 8 departamentos (54 municipios, 10,200 KM2) de forma recurrente en los últimos 60 años, así como a 2,929,023 habitantes que habitan la zona. Ellos comparten el estrés y la inseguridad hídricos Guatemala presenta variación espacial y temporal del déficit de humedad, siendo los departamentos más afectados El Progreso y Zacapa. La precipitación anual no es inferior a los 800 mm/año. El estudio de Requena tiene previsto el diseño y estructuración del sistema de información geográfico de la CRP; estructuración y análisis de variables útiles para realizar el balance hídrico de la CRP; construcción de banco de datos de usuarios y demandantes de los servicios de agua potable en la CRP; monitoreo trimestral de la calidad de agua: superficial y subterránea; monitoreo trimestral de la niveles y profundidades del agua: superficial y subterránea, respectivamente; análisis de campo y oficina para calcular las cantidades de agua disponibles en la CRP; encuestas y construcción de bases de datos: usuarios, problemáticas, niveles de gobernanza y organización social; y de la elaboración, análisis y planteamiento del plan de manejo integral de los recursos hídricos de la CRP.



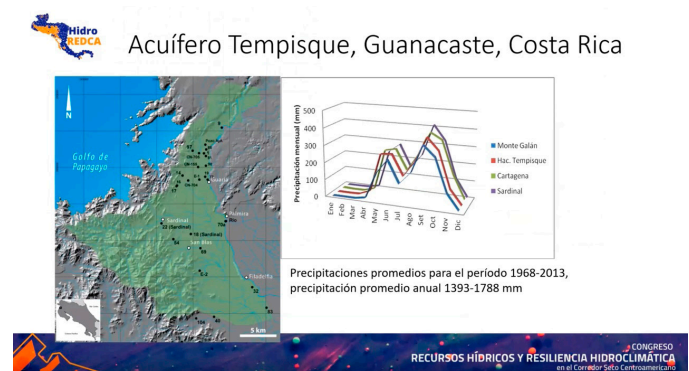
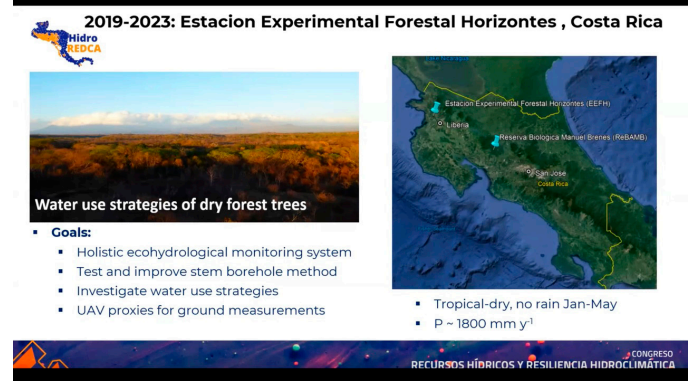
Ponencia 16.

Alberto Iraheta abordó **Uso de la hidrología isotópica en la recarga de aguas subterráneas del CSC para una gestión sostenible de los recursos hídricos**. Los nuevos métodos para medir los isótopos estables del agua del suelo y de los árboles directamente en el campo permiten aumentar la resolución temporal de los datos obtenidos. Se probó un método de equilibrio de Borehole en el campo, con el cual se recopilaban muestras del agua del suelo, del tronco y del xilema de la raíz durante 2,5 meses en un bosque tropical seco en condiciones de abundancia natural y tras un riego etiquetado natural y después de un riego etiquetado. El agua de las muestras destructivas fue extraída mediante extracción criogénica al vacío. Las relaciones isotópicas se determinaron con instrumentos IRIS utilizando espectroscopia de anillo de cavidad tanto en el campo como en el laboratorio. El riego marcado con isótopos de hidrógeno pesados tuvo un claro impacto en la composición isotópica del agua del suelo y de una de las dos especies arbóreas estudiadas.



Ponencia 17.

La **Situación del agua subterránea en la región Pacífico norte de Costa Rica** fue abordada por Ingrid Vargas quien disertó sobre la caracterización de la provincia de Guanacaste, aspectos hidrogeológicos, un estudio de caso en el acuífero de Tempisque. En esta zona se cultiva caña, melón, sandía, entre otros recursos que demandan abastecimiento de agua. Es un clima cálido y seco, el menos lluvioso del país, presenta un calor constante desde noviembre hasta abril y la época lluviosa va desde finales de mayo hasta noviembre. La vegetación es de bosque tropical seco y su topografía está compuesta por llanuras con cerros aislados. Se cuenta con un proyecto llamado Programa Integral de Abastecimiento de Agua para Guanacaste – Pacífico Norte (PIAAG). Los estudios en Tempisque datan de los años 70; existen varios estudios enfocados en la caracterización de los acuíferos y su potencial; los acuíferos costeros tienen extensión limitada y algunos experimentan explotación intensiva por lo que hay riesgo de intrusión marina. Los muestreos de pozos utilizados para la producción y demás información permitió determinar que el 23% de la precipitación logra recargar el acuífero, el agua es de composición bicarbonatada cálcica y el flujo se da de la zona oeste a la este descargando en el río Tempisque. Las formaciones que constituyen el río son depósitos volcánicos y depósitos recientes.



PANEL CORREDOR SECO VISTO DESDE SUS PROTAGONISTAS

Participantes:

Francisca Ruíz (Presidenta del Comité de Agua Potable, comunidad El Porcal San Lucas, Madriz

Tomasa Sanabria (Proveniente del municipio de Metapán, El Salvador)

Ismael Cano Chavarría (Proveniente del Municipio de Pantasma)

Zoila Moreno (Proveniente de Honduras, Organización Café Marcala)

Carlos Torres (Representante de los indígenas de Jinotega)

Francisca Ruíz (Presidenta del Comité de Agua Potable comunidad El Porcal San Lucas, Madriz, Nicaragua).

La experiencia con los problemas del agua en mi comunidad, al estar ubicada en el corredor seco y no existir presencia de lluvia, nos conlleva a una escasez de agua y en forma de cadena desfavorece las cosechas, produciendo escasez de alimentos y enfermedades. Nos organizamos con la alcaldía y recibimos apoyo de organismos que brindan capacitaciones, ofreciendo alternativas como la reforestación, conservación del suelo y la racionalización del agua y a su vez las pilas y los 6 tanques de 55 barriles distribuidos en toda la zona de El Porcal, implementando la captación de aguas de lluvias en pro de huertos, animales y necesidades del hogar. Somos 146 familias que necesitamos captar agua y no podemos dejar ir ningún apoyo. El agua que captamos la usamos para huertos, darle a los animales y para el baño. Quiero recalcar la idea de que el agua no se cobra y pagar es importante, puesto que lo que se paga o se asume es el mantenimiento de los pozos y medios de colecta del recurso hídrico, siempre trabajando en la enseñanza desde la niñez y juventud.

Tomasa Sanabria (Colaboradora de la Alcaldía del municipio de Metapán, El Salvador)

Pertenecemos a el corredor seco con una magnitud de 262 caseríos, 10 en zona alta y el resto en las zonas bajas, enfrentamos canículas de mes y medio a dos meses, es decir que hay una presencia de sequía prolongada que se busca solventar con los reservorios de agua en distintos puntos del municipio, buscando la mayor cantidad de agua para el sustento de ganado y cultivos. El cambio climático se trabaja con diferentes instituciones en conjunto, a través de un vivero municipal con más de 50,000 plantas (frutales, forestales, etc.)

Se trabaja con instituciones no gubernamentales para la captación de agua y contamos con un camión pocero que se encarga de perforar pozos a partir de un estudio de hidrología; brindamos jornadas educativas para la culturización... si una comunidad solicita ayuda, la gestionamos y tomamos acciones buscando la prevención y del cuido de lo que se tiene y una solución de los problemas existentes mediante la colaboración en conjunto.

Ismael Cano Chavarría (Líder de comunidad indígena del municipio de Pantasma)

Soy perteneciente al CAP y vengo de un lugar muy productivo en agua en donde se debe tocar a fondo el tema de la contaminación; en el municipio de Pantasma contamos con 10 CAP y ninguno de ellos llega a clase B porque la mayoría de las comunidades consumimos aguas contaminadas por las erupciones de los ríos, contaminación de las aguas mieles y residuos químicos. En el ámbito indígena es importante sembrar plantas que producen agua como la Ceiba, Elequeme y Chilamate, todas víctimas de la deforestación pero que producen agua gracias a la emanación fortalecen los suelos. No podemos cortar un árbol porque es como si nos estamos cortando un pulmón. Vengo de familia pobre y que ha sufrido la escasez de agua. Tuvimos humedales y cuando pasan tres o cuatro años los árboles que plantamos humedecen el suelo y atraen el agua. Los cambios lunares están conectados con el ser humano y con las plantas. Me gustaría que ustedes como universidad pongan en práctica estas creencias porque mientras no cuidemos nuestro ecosistema no podremos superar el problema del agua. Las comunidades secas como La Concordia, Sacatil, Amanjé son muy secas pero además no tiene árboles; estamos viendo la necesidad pero no plantamos árboles para atraer el agua. Así como le quitamos a la madre tierra debemos reponerle; si cortamos un árbol, plantemos diez. El almacenamiento de agua es importante pero eso no resuelve nuestras necesidades de agua porque eso se

acaba; lo que va a ayudar es conservar las pequeñas cuencas, que las ayudemos. No debemos quitarles los árboles a las cuencas.

Se debe buscar una solución a largo plazo y del mismo modo buscar la concientización y culturización debido a que la mayoría del tiempo los que más afectan son el Jiquelite, la Zompopera, las Palmeras y los Placeres del Coco y menos cuidan, se puede superar en conjunto de científicos y el entorno y una fuente reguladora que se preocupe directamente con la población.

Zoila Moreno (Miembro de Organización Café Marcala)

El tema denominación de origen es reciente en C.A.; nuestro trabajo es un proceso de certificación de café, tomando en cuenta el origen y la calidad y protegiendo la propiedad intelectual y manteniendo las condiciones climatológicas y el recurso humano le brinda calidad y seguridad. Las comunidades si bien consiguen el recurso hídrico, no se están asegurando que este sea de calidad la cual debe ser sometida a un tratamiento para poder ser consumida.

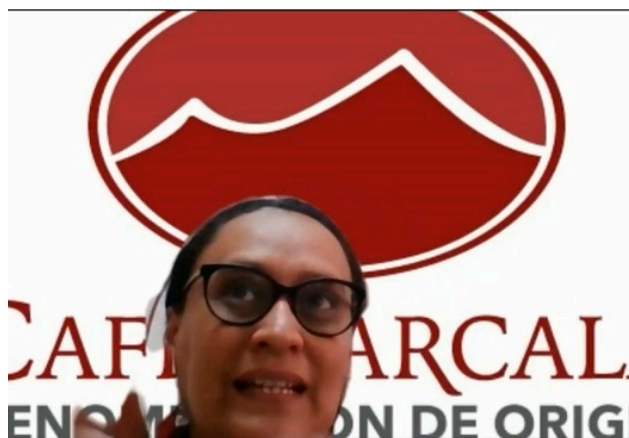
La problemática de escasez de agua es común en Centroamérica por la cantidad y la calidad de agua. En nuestro caso apenas el 5% de las familias recibe agua apta para el consumo. Necesitamos hacer una redistribución del agua para consumo humano, recurso pecuario y agrícola. A veces atacamos el efecto pero no la causa; la deforestación por ejemplo. En los 19 municipios que tenemos hemos deforestado más del 40% de nuestros bosques. Necesitamos asegurar que el agua llegue de forma eficiente a los hogares donde se van a requerir. Hay muchas pérdidas y fugas de agua porque casi el 70% de nuestras tuberías y canales de agua se encuentran en mal estado. Tenemos hogares que pasan entre quince días y un mes sin agua.

Trabajamos con las organizaciones a través de la mesa ambiental que nos permite realizar un plan de acción, trabajamos en concientización con la organización civil, gobiernos locales y la USCL o Unidad de Supervisión y Control Local, tenemos un compromiso financiero y de reestructuración, una trayectoria desde 2008 sin daños al medio ambiente, aprovechando los subproductos de café, como fue el estudio del procesamiento de la pulpa del café en harina rica en hierro nutricionales, estamos juntos en este problema o barco y juntos debemos buscar una solución primeramente personal y luego a largo alcance.

Carlos Torres (Representante de los indígenas de Jinotega)

Esta crisis nos lleva a problemas socioeconómicos y en los pueblos indígenas ha habido desplazamientos y reducciones demográficas, dentro de las 41 comunidades hay maneras de sobrellevar este asunto, abarcamos muchos temas como lo es el de seguridad alimenticia y salud y la sensibilización de los pueblos y sociedades. Se debe de tomar en cuenta el conocimiento ancestral como la luna, los equinoccios y solsticios como métodos para reconocer cuando habrá abundancia y escasez.

La creación de conciencia ambiental mediante la organización, formación y movilización es indispensable y se debe tomar en cuenta, seguimos en campañas de preservación de suelo y agua, los sistemas de producción y en la mayoría del tiempo las instituciones de gobierno toman intereses con el recurso hídrico y dan más a los que ya están siendo favorecidos, sin contar con el tema de desviación de agua de los ríos para grandes productores y en contraste las comunidades careciendo del vital líquido.



Panel

Valoración de los participantes

Excelente, cada uno de los expositores estuvieron de acuerdo al tema, además, de ser un tema de mucha importancia para los estudiantes. Ha sido un evento excelente, las temáticas sobre resiliencia hidroclimática que se abordaron son temas en los cuales necesitamos reforzar, personalmente aprendí mucho, excelente. Muy interesante y muy buena organización. Se abarcaron temas ante diversas circunstancias, además de tomar muy en cuenta la opinión de los pobladores, se tiene que seguir tomando en cuenta a la población ya que son estos mimos que viven día a día los cabios en su entorno.

Muy interesante, con mucha información relevante que será de mucha utilidad. Un gran despliegue de la muestra de buenas prácticas en el canal seco. ¡Felicitaciones! Muy interesante, en especial porque los protagonistas de las comunidades dieron a conocer su realidad ante la sequía que los afecta de manera directa. Muy bien, en especial cuando se habló de los sistema de información geográfica de los diferentes países y los trabajos desarrollados. Muy interesante en cuanto al contenido abordado y a los trabajos que realizan los investigadores.

El Congreso, presentó temas de gran interés nacional, temáticas que responden al Plan Nacional de lucha contra la pobreza. Respecto, a la difusión del evento, aplaudo que se halla desarrollado en formato presencial y virtual. Estuvo interesante, solo que para los expositores internacionales es importantes que se les mantenga el horario lo más que se pueda. Me pareció super bien, ya que se abordaron diferentes temas de amplio interés para la comunidad, aprendiendo cada día más sobre las posibles acciones que se han tomado y pueden tomarse en el corredor seco centroamericano.

Excelente, la información brindada por los ponentes fue de calidad y pertinencia. Muy importante los temas e información sobre el organismo, asimismo saber que en nuestro país se han realizado estudios con el enfoque de adaptación climática en la parte del corredor seco. Excelente presentación, me gustaría saber más acerca de la información si la podían brindar a estudiantes.

Me parece interesante todos los aportes de todo los colaboradores. Un congreso muy bueno, bien organizado y con de temas de mucho interés. Muy bueno, se abordaron temas científicos, en cuanto a las investigaciones que se están realizando.

Fue una actividad muy retroalimentativa y muy bonita, los proyectos, actividades fueron muy completas y eso motiva a seguir creando estrategias ante el impacto del cambio climático. Un espacio muy oportuno para compartir experiencias de trabajos en el contexto del corredor seco. Muy exitoso, permitiendo el intercambio científico sobre la temática de la resiliencia hidroclimática y Corredor Seco Centroamericano.

Artículos completos

Variaciones potenciales de los medios de vida del CSC y su dependencia del agua subterránea

Barrera de Calderón, Marcia¹; López Hernández, Flor¹

(1) Universidad de El Salvador

marcia.barrera@ues.edu.sv

Resumen: Se presenta una retrospectiva y unificación de los medios de vida y la disponibilidad de agua de la población del Corredor Seco Centroamericano (CSC) durante la década de 2010 a 2019. Con este trabajo se pretende brindar recomendaciones a los tomadores de decisión sobre acciones de preservación y diversificación para el bienestar humano, con enfoque de sustentabilidad ambiental. Para ello, se realizó una intensa revisión de fuentes secundarias, comparando la distribución espacial y tipos de medios de vida en los países del CA-4 para la década de 2010 con los datos más actualizados disponibles para estos países. Utilizando las capas de datos provenientes de FEWS-NET y datos del USAID, se elaboró un mapa con la variación de los medios de vida versus el estudio de FAO (2012) proponiendo un mapa unificado para el CSC con siete medios de vida: (1) Actividades agropecuarias de subsistencia, (2) Producción de granos básicos, (3) Ganadería y agropecuario, (4) Agroindustria, (5) Café, (6) Venta de mano de obra, y (7) Hortalizas, frutas y acuicultura. Asimismo, se recopiló información sobre los balances hídricos de los países del CA-4 y se analizó la información sobre la disponibilidad de agua para el CSC en base a las demandas del medio de vida y la oferta hídrica de la región. Cuando fue posible se realizó la distinción entre agua superficial y agua subterránea. En general, la mayor variación identificada en los medios de vida corresponde al aumento de las actividades agropecuarias de subsistencia, probablemente por la falta de recursos y capacitación de los habitantes y la profundización de los problemas ambientales locales por efectos del cambio climático. Esta situación es preocupante ya que las actividades agrícolas son las principales demandantes de agua, mientras que la tendencia a la reducción de la disponibilidad hídrica se presenta como una condición cada vez más intensa y recurrente. La generación de un mapa de medios de vida unificado y su condición de disponibilidad de agua provee importante información para que los tomadores de decisión orienten sus acciones de desarrollo con enfoque de sostenibilidad.

Palabras clave: medios de vida, Corredor Seco Centroamericano, disponibilidad de agua en el CSC

Abstract: A retrospective and unification of the livelihoods and water availability of the population of the Central American Dry Corridor (CSC) during the decade from 2010 to 2019 is presented. This work is intended to provide recommendations to decision makers on preservation actions and diversification for human well-being, with an environmental sustainability approach. For this, an intense review of secondary sources was carried out, comparing the spatial distribution and types of livelihoods in the CA-4 countries for the decade of 2010-2019 with the most up-to-date data available for these countries. Using the data layers from FEWS-NET and USAID data, a map was made with the variation of livelihoods versus the FAO study (2012) proposing a unified map for the CSC with seven livelihoods: (1) Subsistence agricultural activities, (2) Production of basic grains, (3) Livestock and other agriculture activities, (4) Agroindustry, (5) Coffee, (6) Sale of labor, and (7) Vegetables, fruits and aquaculture. Likewise, information was collected on the water balances of the CA-4 countries and the information on the availability of water for the CSC was analyzed based on the demands of the livelihood and the water supply of the region. Where possible, a distinction was made between surface water and groundwater. In general, the greatest variation identified in livelihoods corresponds to the increase in subsistence farming activities, probably due to the lack of resources and training of the inhabitants and the deepening of local environmental problems due to the effects of climate change. This situation is worrying since agricultural activities are the main users of water, while the tendency to reduce water availability appears as an increasingly intense and recurrent condition. The generation of a map of unified livelihoods and their water availability condition provides important information for decision makers to guide their development actions with a focus on sustainability.

Keywords: livelihoods, Central America dry corridor, groundwater availability

Introducción

Los medios de vida en Centroamérica son intensamente afectados por la variabilidad y cambio climático, especialmente en el Corredor Seco Centroamericano. Particularmente, los procesos climáticos naturales de gran escala originados en los océanos Pacífico y Atlántico que limitan a Centro América, tales como El Niño Oscilación Sur (ENOS), el jet de bajo nivel del Caribe, la Zona de Convergencia Intertropical y el Alto del Atlántico Norte (Hidalgo, 2021) sumados a la constante variabilidad climática producida por la acumulación de gases de efecto invernadero y el consecuente aumento de las temperaturas, se presentan como fenómenos hidrológicos extremos y recurrentes en la región (Pérez-Briceño et al., 2016) y por consiguiente, las personas deben adaptarse para poder sobrellevar su vida cotidiana y mejorar sus condiciones económicas, así como satisfacer sus necesidades de alimentación.

En el CSC los medios de vida dependen principalmente de las condiciones ambientales y se encuentran en delicado equilibrio, ya que la pobreza que afecta a un gran porcentaje de los habitantes de estos países no permite la acumulación de recursos para sobrevivir épocas difíciles o de siniestros; tampoco la recuperación natural de los ecosistemas; la constante demanda de recursos provoca la sobre explotación y por lo tanto la degradación, aumentando la vulnerabilidad a eventos climáticos extremos.

Adicional a las afectaciones climáticas, los grupos sociales que habitan el CSC dependen fuertemente del agua subterránea para realizar sus actividades de subsistencia y producción, ya que este recurso se caracteriza por ser más resiliente a las sequías que el agua superficial y equilibrar fuertes cambios de precipitación y aumentos en las extracciones cuando la disponibilidad hídrica en superficie es limitada (Treidel et al., 2012).

En este artículo, se presenta una retrospectiva de los cambios en los medios de vida que han ocurrido en los países de Centro América para entender los efectos de los eventos hidrológicos y para reconocer el estado de los recursos naturales. A partir de ello, proveer información a los tomadores de decisión que les permita orientar acciones de preservación y diversificación de los recursos disponibles, con particular énfasis en el agua subterránea para el bienestar humano y garantizar la sustentabilidad ambiental en el Corredor Seco Centroamericano.

El corredor seco Centroamericano CSC

El corredor seco es una porción del territorio conformada principalmente por bosque tropical seco y bosque premontano en los países de Centroamérica; se extiende desde México y también comprende una parte de Panamá.

Esta zona se caracteriza por tener déficit de lluvia provocado por eventos hidrometeorológicos cíclicos, los cuales se han acentuado con el cambio climático; y se estima que en ella habita el 90% de la población Centroamericana (FAO, 2012).

En Centroamérica se distinguen dos estaciones: lluviosa y seca. En la estación lluviosa se produce un evento de sequía, denominado canícula, la cual se presenta entre los meses de julio y agosto, variando de país en país. Según estudios de la FAO (2012) la sequía es cíclica y se relaciona estrechamente con el período "Niño" de la Oscilación Sur (ENOS); y tiene que ver más con la distribución anómala de la precipitación dentro del período lluvioso, especialmente de los inicios de la lluvia, el receso canicular y su reinicio. Esta sequía es responsable de situaciones de crisis y desastres tanto en términos sociales como ambientales y productivo económicos en el ámbito nacional y regional (Colom y Artiga, 2017).

Cada uno de los países de Centroamérica tiene diferente proporción de área que pertenece al CSC. En el caso de Guatemala, se considera que alrededor del 35% sufre los

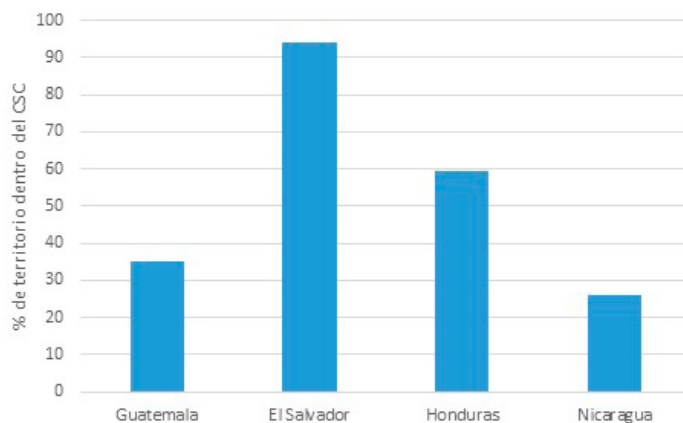


Figura 1. Área de los países del CA-4 que pertenecen al CSC. (Elaborado con datos de FAO, 2012)

efectos del corredor seco, mientras que en Honduras es el 60% y Nicaragua cerca del 25%, El Salvador posee casi el total de su territorio dentro de esta zona (95%).

En el CSC, la sequía tiene tres niveles de afectación, los cuales sirven para clasificar las zonas de acuerdo con sus características meteorológicas y físicas (FAO, 2012):

- Zona de efecto severo: precipitación pluvial baja (800-1,200 mm/año); más de seis meses secos; evaporación potencial alta (> 200 mm/mes); vegetación de arbustales, sabana de graminoides con arbustos deciduos, bosques deciduos con muchas especies de hojas compuestas microfoliadas.

- Zona de efecto alto: precipitación pluvial media (1,200-1,600 mm/año); de cuatro a seis meses secos; evapotranspiración media (alrededor de 130 mm/mes); la vegetación son bosques deciduos, sabana de graminoides

- Zona de efecto bajo: precipitación pluvial alta (1,600-2,000 mm/año), de cuatro a seis meses secos; evapotranspiración baja (< 100 mm/mes); la vegetación son bosques deciduos, bosques siempre verdes estacional (submontano, montano y altimontano), algunos pinares,

los pobladores y productores en los tres niveles descritos antes a partir de FAO (2012).

Por otro lado, los aspectos socioeconómicos como ingreso, fuente de empleo y en algunos casos, tipo de alimentación de la población también son tomados en cuenta para clasificar las zonas de vida. En 2012, la FAO estableció 14 zonas de medios de vida para el área del

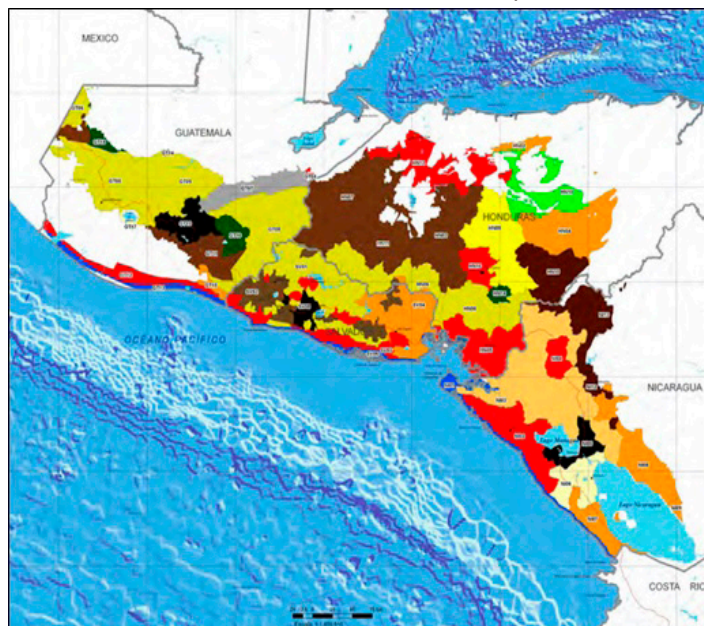


Figura 3. Medios de vida en el corredor seco Centroamericano (FAO, 2012)

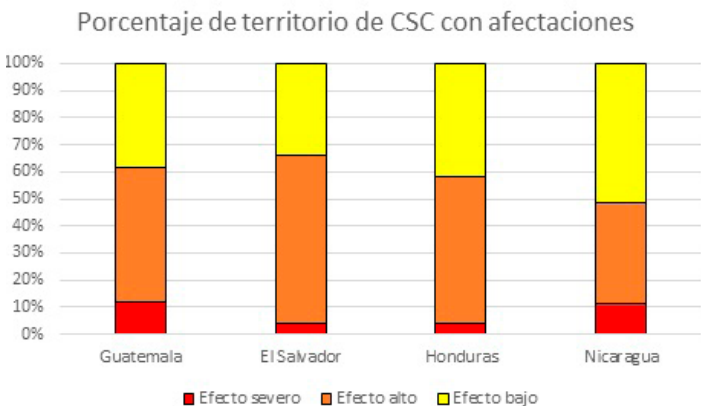


Figura 2. Distribución de los diferentes efectos de sequía en la porción del CSC de los países.

(Elaborado con datos de FAO, 2012)

bosques mixtos y bosques ribereños.

Del total del territorio con efectos del CSC en los países de Centroamérica, los efectos se distribuyen de la siguiente manera:

Los medios de vida en el Corredor Seco Centroamericano (CSC)

Un medio de vida es la suma del modo de actuar de los hogares, cómo viven a lo largo de un año y las medidas que toman ante situaciones de crisis; describen características típicas de una zona, calendarios estacionales y de acceso a alimentos por los pobres, y algunas características de los grupos socioeconómicos (USAID 2010a, 2014 y 2017). Una zona de medios de vida es un área geográfica en la cual los grupos socioeconómicos que la conforman satisfacen sus necesidades básicas para sobrevivir de maneras muy parecidas; tienen activos y patrones de consumo relativamente similares, especialmente lo relacionado a la alimentos e ingresos en efectivo (USAID, 2014).

Para establecer las zonas de vida en Centroamérica, también se toma en cuenta otras variables físicas, como la temperatura media, la vegetación y el clima; esta clasificación se relaciona estrechamente con las condiciones meteorológicas, especialmente con la precipitación, debido a que es afectada continuamente por la sequía producida por el efecto ENOS (El Niño Oscilación Norte), que consiste, de forma general, con un retraso en el inicio de la época lluviosa y con la presencia y duración de la canícula. Esta sequía produce crisis productivas y económicas en la región, afectando las condiciones de

Zona	Código	Definición
	AZMV-1	Agricultura de subsistencia, mano de obra
	AZMV-2	Agricultura, ganadería y forestal extensiva
	AZMV-3	Agroindustria, industria maderera, minería y café
	AZMV-4	Zona agrícola, micro, pequeña y mediana empresa (MIPYME) y turismo
	AZMV-5	Cafetalera, agroindustria y mano de obra
	AZMV-6	Café y granos básicos
	AZMV-7	Café, hortalizas y especias
	AZMV-8	Comercio, agroindustria, agricultura intensiva, maquila, mano de obra
	AZMV-9	Frutales, hortalicultura, ganado menor
	AZMV-10	Ganadería y granos básicos
	AZMV-11	Granos básicos y madera
	AZMV-12	Maderera
	AZMV-13	Pesca, acuicultura, turismo y agricultura de subsistencia
	AZMV-14	Urbanizada con comercio e industria

CSC en los países que conforman el CA-4 (Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua), asimismo, asignó códigos diferenciados a los medios de vida por país, sin embargo, existen similitudes entre ellos (Figura 3).

En la última década, para la región Centroamericana también se realizaron varios estudios para elaborar la zonificación por medios de vida, desarrollados por diversas instituciones y consultores, con el financiamiento de USAID y la colaboración de FEWS NET. Para poder agrupar distintos lugares, se utilizó herramientas de SIG y se prepararon mapas a partir de diversa información, tal como registros meteorológicos, producción agropecuaria,

remesas, índice de desarrollo humano, pobreza, amenazas, uso del suelo, entre otros; con el objetivo de tener una aproximación inicial de los países.

En dicho estudio, a partir de la superposición de mapas, se realizó un primer acercamiento de las posibles zonas de medios de vida, con lo que se obtuvo un nivel aceptable de precisión. La información generada por USAID fue confrontada por medio de talleres nacionales con diversos actores de las zonas, entrevistas, trabajo de campo con informantes clave y grupos focales en comunidades. Se realizó la recopilación de información de instituciones gubernamentales (Censo nacional agropecuario) y la

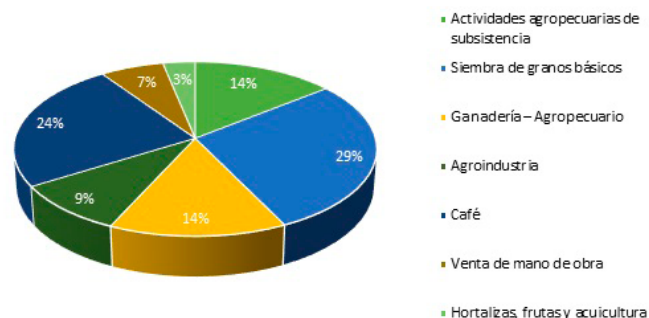


Figura 4. Áreas relativas de las zonas de medios de vida integradas para el CSC

Para este estudio se ha tomado dicho valor para calcular las áreas de cada zona de medio de vida.

Esta clasificación muestra que el medio de vida predominante de la región corresponde la siembra de granos básicos, con un 29%, del área del CSC, equivalente a 50,790 km², mientras que el cultivo del café se encuentra en segundo lugar, con 43,267 km², equivalentes al 24% del territorio del CSC. En la figura 5 se muestra el mapa con la distribución de las zonas de medios de vida del CSC para el CA-4, con las zonas de medios de vida integradas. Adicionalmente la ganadería y actividades agropecuarias y las actividades agropecuarias de subsistencia representan, cada una un 14% del área total del CSC, el resto es ocupado por agroindustria, venta de mano de obra y producción de hortalizas, frutas y acuicultura.

La demarcación de las zonas de medios de vida no siempre coincide con los límites administrativos. Es común encontrar diferentes patrones de medios de vida dentro de una unidad administrativa; sin embargo, debido a que la adjudicación de recursos y las decisiones de abastecimiento de servicios se determinan tomando en

revisión de información secundaria existente relativa a geografía, clima, demografía, agricultura, ganadería y mercados. Como resultado, se definieron entre seis y 20 zonas de medios de vida para los países del CA-4. En la Tabla 1 se presenta el resumen de las zonas de vida.

En este artículo se trabaja con los medios de vida de los países del CA-4: Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua, debido a la falta de información sobre Costa Rica en los reportes de la FAO y a que la información existente para dicho país, responde a una perspectiva más bien ecológica. Así, con las zonas de medios de vida definidas más la información procedente de fuentes secundarias, y con los mapas de distribución del CSC, se realizó una revisión para determinar posibles cambios en la distribución de las zonas y medios de vida para la franja del CSC. De acuerdo con esto, se ha agrupado la información en siete categorías, las cuales se definen a continuación:

1. CSC 01 Actividades agropecuarias de subsistencia
2. CSC 02 Siembra de granos básicos
3. CSC 03 Ganadería, agropecuario
4. CSC 04 Agroindustria
5. CSC 05 Café
6. CSC 06 Venta de mano de obra (maquilas, turismo, industria)
7. CSC 07 Hortalizas, frutas y acuicultura

Según los datos encontrados en las capas de información de USAID, el total de estas zonas suman 178,465 km² correspondientes al área del CSC, la cual puede presentar variaciones de acuerdo con diferentes consideraciones.

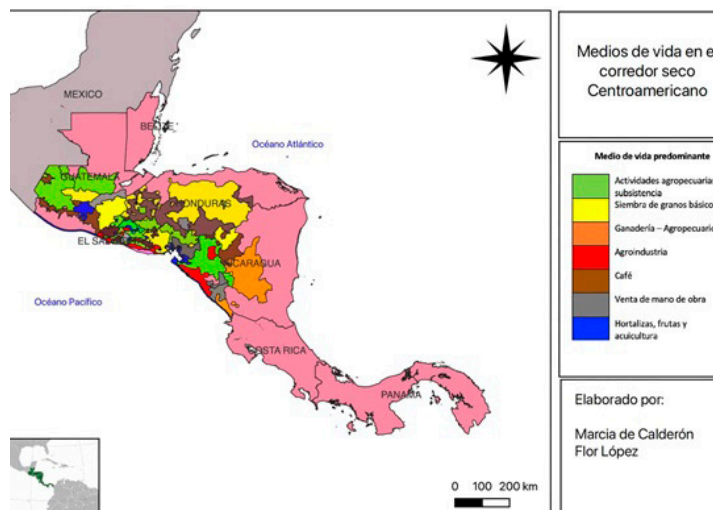


Figura 5. Medios de vida reclasificados en el corredor seco Centroamericano de los países del CA-4 (Elaborado a partir de USAID 2010, 2014, 2017, 2018)

cuenta las áreas administrativas y no en cuanto a zonas de medios de vida, es recomendable que los límites de las zonas de medios de vida sigan en lo posible dichos límites (USAID, 2010a).

En esta reclasificación, los mayores cambios son observados al norte del CSC, en Guatemala y Honduras. Aunque las actividades son similares, la distribución espacial ha cambiado en el periodo sucedido. En Guatemala es posible observar un aumento del área considerada dentro del CSC, la cual se ha destinado a los cultivos de subsistencia. De igual manera, en Honduras ha aumentado el cultivo de granos básicos de subsistencia a costa de la disminución del área de actividades madereras. Además, es posible observar que en el CSC sigue predominando la agricultura de subsistencia de forma extensiva con alrededor de 50,790 km². Por su parte, la zona dedicada a la agroindustria es de aproximadamente 16,649 km², mostrando una tendencia al crecimiento en los cuatro países, lo cual podría deberse a una mejora tecnológica sobre el procesamiento de productos agropecuarios y el resultado de diversos esfuerzos de cooperación por dar valor agregado a los productos para mejorar las condiciones de vida y la generación de empleos.

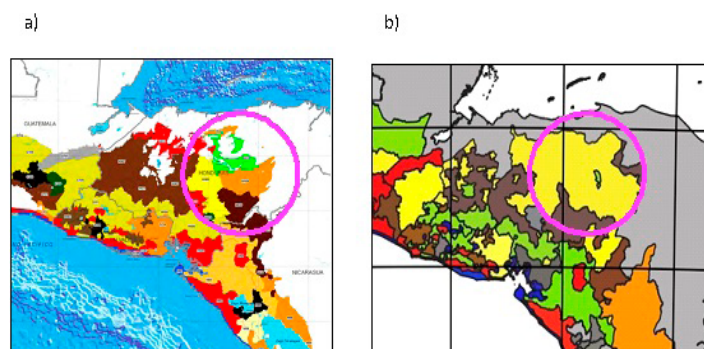


Figura 6. Comparación de los cambios en medios de vida del CSC. a) Medios de vida según FAO (2012) y b) Medios de vida reclasificados a partir de USAID (2010, 2014, 2017, 2018)

En Honduras, la zona que antes era maderera (en color verde claro, Figura 6a) ha sido sustituida por cultivo de granos básicos, probablemente por los problemas recurrentes en los bosques de pinos (Billins et al, 2004; Sierra, 2017) y también por el aumento de la demanda de alimentos para la población, que en 2012 era de 8.6 millones y en la actualidad 9.4 millones (INE, 2022). Asimismo, es posible visualizar que las zonas cafetaleras (marrón, en la Figura 6) han aumentado, reportándose un total de 43,267 km², en especial en Guatemala, probablemente por la diversificación o asocio con diversas especies, como hule, cardamomo, banano, macadamia, especies forestales y frutas exóticas (rambután y

mangostán) según reportes de Rodríguez (2018).

La acuicultura (identificado con el color azul, en la Figura 6) también ha mostrado un aumento del área de producción en todos los países. En Guatemala se registran 1,266 km²; en el Salvador 1,549 km²; mientras que en Honduras son 946 km² y 1,999 km² en Nicaragua. La ganadería (naranja en la Figura 6) muestra un comportamiento hacia la disminución, especialmente la de tipo extensivo, en países como El Salvador, Honduras y Guatemala; únicamente en Nicaragua se mantiene relativamente similar, totalizando un área para el CSC de 25,162 km².

Desarrollo humano

En los países del CA-4, las condiciones de desarrollo humano se mantienen en la categoría "medio". De acuerdo con el informe de GWP (2017) y según el informe sobre Desarrollo Humano de las Naciones Unidas (2014), El Salvador reportó un índice de desarrollo humano de 6.5; mientras que el índice de Nicaragua fue de 5.8, el de Guatemala, 5.6 y el de Honduras, 5.5. El factor que más afectó este cálculo es el de la población en línea de pobreza, que en Honduras alcanza el 60%, en Guatemala el 51% y en Nicaragua el 47%.

Para 2021, el índice de desarrollo humano para estos países presentó las siguientes variaciones: Guatemala: 0.66; El Salvador: 0.67; Honduras: 0.63 y Nicaragua: 0.66. Se muestra una leve mejoría, pero siempre se mantiene en la categoría "medio" (SICA, 2022).

El desarrollo humano en la región se encuentra muy ligado a los medios de vida, ya que la mayor parte de la población en condiciones de pobreza se dedica a actividades agrícolas de subsistencia y a la obtención de recursos que ofrece el entorno natural para generar ingresos. En consecuencia, toda la región muestra una tendencia al deterioro del agua y los recursos naturales por problemas de contaminación y sobreexplotación (GWP, 2017).

Disponibilidad y autonomía hídrica

Con respecto a la cantidad y autonomía hídrica, Colom y Artiga (2017) indican que El Salvador tiene la mayor dependencia de recursos hídricos externos (40.5%), ya que posee tres cuencas transfronterizas, entre ellas, la más importante corresponde a la cuenca del río Lempa, que suministra el 100% del agua potable en el área metropolitana de San Salvador y provee el 28% de la demanda de energía a nivel nacional; le sigue Belice con 29.79% y Guatemala, con 14.63%.

Dependencia del agua subterránea

El estudio del origen del agua es aún un tema por investigar a profundidad en la región Centroamericana, probablemente debido a la cantidad de precipitación

que tiene la región que varía de 1 784 mm/año en El Salvador a 2 280 mm/año para Nicaragua (datos que pueden consultarse en <https://data.worldbank.org>), los análisis son más bien en términos generales y orientados a la satisfacción de la demanda o a la oferta de agua en términos de balance hídrico general. Esta condición de abundante precipitación, podría equivocadamente atenuar las iniciativas para designar mayores esfuerzos a la sostenibilidad hídrica y considerar que podría ser “suficiente con resolver la satisfacción de la demanda”.

En Centroamérica, entre el 80 y 98% de los rubros agropecuarios dependen de la lluvia (principalmente los de subsistencia). En el CSC el riesgo de pérdidas en los sistemas productivos es particularmente alto debido a la degradación de las tierras, a la sequía recurrente y a los riesgos por inundaciones y deslizamientos cuando se presentan fenómenos naturales. Todo ello aumenta la vulnerabilidad del territorio y afecta los medios de vida (Colom y Artiga, 2017).

En Guatemala, un estudio del Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación en 2011 determinó que el 26% del territorio tiene alto potencial para explotación de aguas subterráneas, lo que corresponde a las llanuras aluviales del sur y planicies, mientras que el 47% es muy pobre o pobre. Se estima que el volumen disponible anual de agua subterránea es de 30,000 millones de m³ (Colom y Artiga, 2017).

En El Salvador, la oferta hídrica de agua subterránea para 2014 fue de 183.93 millones de m³ según el balance hídrico realizado por el MARN (2014). En 1994 el 37% del agua que abastecía al área metropolitana (14 municipios) era extraída del acuífero San Salvador (70 km²) (PRISMA, 1994), mientras que Barrera de Calderón et al. (2021) indican en base a los registros de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA) que la dependencia de agua subterránea en el AMSS puede llegar incluso al 70% ya que también se contabiliza el sistema de pozos Opico-Quezaltepeque (conocido como Sistema Zona Norte).

Además, en un estudio realizado durante cuatro meses (febrero a mayo en 2007) por (ERIS/USC GUATEMALA) en algunos pozos de monitoreo en el mismo acuífero, mostró un leve aumento en el nivel freático hacia el final del período, probablemente por la coincidencia con la entrada de la época lluviosa en el país. Pero al no existir un monitoreo más largo, era imposible describir adecuadamente el comportamiento del manto freático.

Existen varios esfuerzos por conocer el comportamiento del agua subterránea en El Salvador, los cuales están disponibles mediante el Sistema de Información Hídrica (<http://srt.snet.gob.sv/sihi/public/>). Así, desde 2008 se cuenta con una red de monitoreo de pozos por parte de ANDA y del MARN. En el informe elaborado por el MARN en 2018, se mostró en comportamiento de los 12 pozos de monitoreo automático sobre el acuífero del Área Metropolitana de San Salvador (AMSS) y Zapotitán. Algunos pozos muestran tendencia decreciente, mientras que otros, se mantiene relativamente constante, todos con variaciones propias de la época lluviosa, lo cual demuestra la rápida respuesta de estos a las precipitaciones (DOA, 2018), no obstante, en base al corto período de registro, es difícil concluir sobre una tendencia definida sin tener en cuenta que podría estarse reportando comportamientos cíclicos de más largo período de retorno.

En el caso de Honduras, la demanda de agua urbana ha producido la sobreexplotación de acuíferos y su deterioro, debido a problemas de contaminación por vertidos domésticos e industriales. Estas extracciones superan los 450,521 m³ por día, desde 1250 pozos. Adicionalmente, se tiene registro de que menos del 10% de la demanda de agua (2200 millones de m³) se suple por medio del agua subterránea, el resto se obtiene de las aguas superficiales. (GWP, 2017). De acuerdo con la información utilizada para el balance hídrico realizado por Balairón et al., en 2003, la agricultura demandaba el 20% del recurso; mientras que las estimaciones que realizaron para el año horizonte 2025 suponen un uso 10 veces mayor para la agricultura que para actividades domésticas. Adicionalmente, mencionan la probabilidad de insuficiencia del recurso en el futuro, debido al incremento de zonas regables y del desarrollo en las principales zonas urbanas (Tegucigalpa y San Pedro Sula).

Según FAO (sf), Nicaragua cuenta con 38,668 m³ per cápita/año, y tiene un potencial de 57,668.90 millones de m³ de agua al año, de los cuales el 50% es aprovechable. El nivel de recarga de agua subterránea es 4,507.2 millones de m³ por año en el Caribe y 1,278.1 millones de m³ por año en el Pacífico. El agua subterránea es el principal recurso para la agricultura, la industria y el consumo; la agricultura utiliza el 76% del total extraído, destinado en mayor proporción al riego y en un mínimo volumen a la ganadería. Los únicos acuíferos estudiados son León, Chinandega y Managua en 2008 por CIRA/ UNAM (Colom y Artiga, 2017).

Conclusiones

Los principales medios de vida en el corredor seco centroamericano están relacionados con la seguridad

alimentaria y nutricional, correspondiendo a la producción de granos básicos que sustentan la dieta de los países de Centroamérica. Esto pone de manifiesto la alta y urgente importancia de un manejo sustentable de los recursos hídricos, particularmente del agua subterránea como fuente principal o alternativa para la sostenibilidad de los cultivos en época de sequía.

El incremento de las actividades agropecuarias de subsistencia evidencian la necesidad de implementar mejoras tecnológicas y capacitaciones que tomen en cuenta el conocimiento ancestral para enfrentar los retos climáticos en la producción de alimentos. Este medio de vida puede considerarse el más vulnerable a la variabilidad y cambio climático, ya que posee escasos recursos económicos y la pérdida de su cosecha puede poner en riesgo la vida de su grupo familiar.

En este artículo se pone de manifiesto la necesidad de incrementar los esfuerzos para entender mejor la ocurrencia del agua subterránea en el Corredor Seco Centroamericano, ya que es un recurso con el cual se puede reducir la inseguridad alimentaria de los centroamericanos a través de su relación con los medios de vida que podrían diversificarse. Para lograr esta meta se requiere la unión de la academia, actores locales y tomadores de decisión, con lo cual se pueden lograr acuerdos para la gestión sostenible del agua en Centroamérica.

Referencias

Balairón, L.; Álvarez, J., Borrell E., Delgado, M. (2003). Balance Hídrico en Honduras. (En línea). Consultado marzo de 2022. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/258291968_Balance_Hidrico_en_Honduras

Barrera-de-Calderón, M., Garfias, J., Martel, R., & Salas-García, J. (2021). Impacto urbano en la calidad y recarga del agua subterránea utilizando trazadores hidrogeoquímicos y ambientales en el acuífero de San Salvador. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 12(5). Disponible en: <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2021-05-01>

Billings, R.; Clarke, S.; Espino, V.; Cordon P.; Meléndez, B.; Ramón J. y Baeza. G. (2017). descortezador e incendios: una combinación devastadora para los pinares de América Central. (En línea). Consultado febrero 2022. Disponible en: <https://www.fao.org/3/y5507s/y5507s05.htm>

Colom, E., Artiga, R. (2017). Situación de los recursos hídricos en Centroamérica. GWP. (En línea). Consultado enero de 2022. Disponible en: https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/situacion-de-los-recursos-hidricos_fin.pdf

DOA (Dirección General del Observatorio Ambiental) MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales) (2018). Monitoreo de niveles piezométricos del agua subterránea

año 2017. (en línea). Consultado febrero 2022. Disponible en: http://rcc.marn.gob.sv/xmlui/bitstream/handle/123456789/132/Informe_niveles%20piezom%C3%A9tricos_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y

FAO. Sf. Los recursos hídricos de Nicaragua. (En línea). Consultado marzo de 2022. Disponible en: https://coin.fao.org/coin-static/cms/media/5/12820625348650/fao_nic_recursoshidricos_cepal.pdf

INE (Instituto Nacional de Estadísticas de Honduras). (2022). (En línea) Consultado febrero de 2022. Disponible en: <https://www.ine.gob.hn/V3/>

NASA (2022). Global precipitation measure (En línea). Consultado febrero 2022. Disponible en: <https://gpm.nasa.gov/science/research-topics#climatechange>

Pastora Flores, D.V. (2010). Red de monitoreo de aguas subterráneas en el area metropolitana de san salvador y valle de zapotitan. (En línea). ERIS/USC GUATEMALA, Vol No. 1, revista científica, noviembre 2010. Disponible en: <https://www.sam.usace.army.mil>

PRISMA (1994). El acuífero de San Salvador. (En línea). Consultado enero de 2022. Disponible en: https://www.prisma.org.sv/wp-content/uploads/2020/02/bol07_el_acuifero_de_San_Salvador.pdf

Rodríguez Perelló, M.F. (2018). Diversificación de ingresos y generación de valor agregado. (En línea) Presentación ANACAFE (Asociación Nacional del Café). Disponible en: https://www.anacafe.org/uploads/file/561599c5c06f458394f7e38f8b5dc0d8/06_-Diversificacion-de-ingresos.pdf

SICA (2022). Datos macro. (En línea). Consultado enero de 2022. Disponible en: <https://datosmacro.expansion.com/paises/grupos/sistema-integracion-centroamericana>

Sierra, O. (2017). Honduras pone freno a plaga que arrasó con árboles de pino. (En línea). *Diario La Nación*. 3 de febrero 2017, 5:00 PM. Disponible en: <https://www.nacion.com/el-mundo/politica/honduras-pone-freno-a-plaga-que-arraso-con-arboles-de-pino/J4AGK5LM2VDVDGZWBOWJ4Q577I/story/>

USAID (2010). Zonificación de medios de vida en Nicaragua. (En línea). Consultado septiembre de 2021. Disponible en: <https://fews.net/es/central-america-and-caribbean/nicaragua/livelihood-description/april-2011>

USAID (2014). Zonificación de medios de vida en Honduras. (En línea). Consultado septiembre de 2021. Disponible en: <https://dicta.gob.hn/files/2014,-Medios-de-vida-Honduras.pdf>

USAID (2017). Zonificación de medios de vida en Guatemala. (En línea). Consultado septiembre de 2021. Disponible en: https://fews.net/sites/default/files/documents/reports/GT_LZ_Sp_Final.pdf

USAID (2018). Zonificación de medios de vida en El Salvador. (En línea). Consultado septiembre de 2021. Disponible en: <https://fews.net/es/node/24502>

El Agua, como estrategia unificadora de sensibilización ambiental y aprendizaje colaborativo de estudiantes de la UNAN-Managua FAREM-Chontales

Indiana R. Montoya¹; Narciso L. Duarte¹

(1) Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua

Resumen: La UNAN-Managua, es una universidad pública tiene como misión Formar profesionales integrales, con dominio de las competencias ciudadanas, con esta evidencia empírica colectada a través de los años con el tema del agua, hemos reconocido que el agua fortalece y moviliza todos los procesos educativos potenciando capital natural y humano. Se han aplicado modelos pedagógicos que se basan en necesidades de valoración y apropiación de la comunidad asentada en una región vulnerable a los efectos del cambio climático. Es aquí donde el papel de la universidad se convierte en protagonista, migra de las aulas al campo, los convierte en innovación y extensión, desde 2012 - 2022, se han participado: en programas de educación ambiental, recopilación de datos productivos, realización de investigaciones a nivel de monografías y experimentos, capacitaciones y diagnósticos comunitarios, monitoreo de la calidad del agua (se han fortalecido en manejo de laboratorios, uso de sondas, lectura y registro de datos de calidad y cantidad de agua) de la Cuenca Mayales. El agua, ha sido un elemento unificador al aprovecharse como una estrategia de aprendizaje colaborativo, donde la universidad es un motor de cambios, especialmente a los jóvenes, las mujeres y a las comunidades, a quienes se les ha dotado de herramientas como el empoderamiento para la lucha contra el flagelo de la pobreza, el combatir la inseguridad alimentaria con la diversificación productiva y la protección del agua como estrategia de resiliencia. La construcción del conocimiento ha sido producto de la interacción de los estudiantes con su entorno cercano, con sus iguales y con los recursos que promueven y motivan la búsqueda de reflexiones progresivas, donde la universidad actúa como una cuna donde todas las ideas son buenas, las herramientas interesantes y de alto valor educativo.

Palabras clave: agua, comunidad, educación, extensión, investigación, resiliencia

Abstract: UNAN-Managua is a public university whose mission is to train comprehensive professionals, with mastery of citizenship skills, with this empirical evidence collected over the years with the theme of water, we have recognized that water strengthens and mobilizes all educational processes enhancing natural and human capital. Pedagogical models have been applied based on the needs of valuation and appropriation of the community settled in a region vulnerable to the effects of climate change. It is here where the role of the university becomes a protagonist, it migrates from the classroom to the field, it turns them into innovation and extension, from 2012 - 2022, they have participated: in environmental education programs, productive data collection, conducting research at the level of monographs and experiments, training and community diagnostics, water quality monitoring (they have been strengthened in laboratory management, use of probes, reading and recording data on water quality and quantity) of the Mayales Basin. Water has been a unifying element when used as a collaborative learning strategy, where the university is an engine of change, especially for young people, women and communities, who have been provided with tools such as empowerment to fight the scourge of poverty, combat food insecurity with productive diversification and water protection as a resilience strategy. The construction of knowledge has been the product of the interaction of students with their immediate environment, with their peers and with resources that promote and motivate the search for progressive reflections, where the university acts as a cradle where all ideas are good, the tools interesting and of high educational value.

Keywords: water, community, education, extension, research, resilience

Introducción

La UNAN-Managua, es una universidad pública tiene como misión Formar profesionales integrales, con dominio de las competencias ciudadanas y científico-técnicas que demanda el pueblo nicaragüense, así como generar conocimientos, para aportar al desarrollo político, económico y social sostenible del país.

Todo el tiempo está en procesos de cambios para la mejora continua, se practica ante todo el compromiso y la ratificación de derechos al pueblo nicaragüense desde la responsabilidad institucional, colectiva e individual al desarrollo de la nación desde las diferentes aristas que le corresponden.

Con 13 principios rectores: legalidad, autonomía universitaria, libertad de cátedra, compromiso social, responsabilidad social e institucional, ética profesional, equidad, respeto a los derechos humanos, respeto a la diversidad, respeto al medio ambiente, identidad institucional y sentimiento de pertenencia, tolerancia y solidaridad, identidad, cultura nacional, y valores patrióticos, hacemos énfasis en dos:

Responsabilidad Social e Institucional

La UNAN-Managua promueve una cultura de vida saludable de la comunidad universitaria, así como la mejora continua de las capacidades de sus recursos humanos, cuidado y conservación del medio ambiente mediante la implementación de buenas prácticas ambientales de consumo, prestación de servicios a la comunidad y el desarrollo de la producción sostenible.

Respeto al Medio Ambiente

Significa el fomento, mejoramiento, preservación y conservación del medio ambiente, el uso sostenible de los recursos naturales, consumo y producción responsable, así como el respeto a la madre tierra y la humanidad como un único sistema de componentes físicos, químicos, biológicos y humanos que propician la producción y reproducción de la vida como bien común supremo y universal de la tierra y la humanidad (UNAN-Managua, 2021).

Dos principios que reflejan la preocupación que tiene la universidad por los problemas ambientales actuales y que, a partir de la adecuación del currículo a lo largo de los años, ha aportado al tema ambiental desde los diferentes espacios, aplicando modelos pedagógicos que se basan en necesidades de valoración y apropiación de la comunidad universitaria que a su vez brindan a la población herramientas que promueven la resiliencia y la conservación de los recursos naturales en general, especialmente el Agua.

En ese sentido hemos reflexionado sobre el tipo de sociedad que deseamos, qué educación requieren los ciudadanos para contribuir voluntariamente a transformar la manera en que vivimos y avanzamos hacia el desarrollo sostenible, es aquí donde el papel de la universidad se convierte en protagonista, pasa del estado latente de la docencia e investigación y migra a la aplicación de estos dos elementos y los convierte en innovación y extensión, cada día los resultados de todo este universo más cercano a las personas.

En primer lugar, el conocimiento científico que integra el saber humanístico ya que forman parte de la cultura básica de todos los ciudadanos, por ello debe ser en la actualidad parte del saber esencial de las personas de manera que permita interpretar la realidad con racionalidad y libertad, que ayude a construir opiniones libres y dotarnos de argumentos para tomar decisiones (Pujol, 2002).

Segundo, el agua, tan compleja y versátil, funcional y cíclica a las regulaciones y habitabilidad del planeta, le brinda a nuestra civilización su presencia en los diferentes ecosistemas acuáticos: "[...] nada vivo es ajeno a las capacidades, destrezas, servicios y acogidas que el agua pone a disposición de todos [...]" (Araujo, 2012).

Y en última instancia, la construcción del conocimiento a través del aprendizaje significativo, siendo producto de la interacción de los estudiantes con su entorno cercano, con sus iguales y con los recursos que promueven y motivan la búsqueda de reflexiones progresivas, donde la universidad actúa como una cuna donde todas las ideas son buenas, las herramientas interesantes y de alto valor educativo.

El presente escrito, refiere sobre lo aprendido, compartido sobre la regeneración de valores del agua como patrimonio universal, desde los procesos de enseñanza que brinda la educación formal, técnica-científica, humana, natural y sensible.

En la Facultad Regional Multidisciplinaria de Chontales de la UNAN-Managua, hemos recopilado evidencia empírica a través de los años con el tema del agua, consideramos que el agua como tal unifica, fortalece y moviliza todos los procesos. La educación y la aplicación de los conocimientos como un mecanismo que permite la participación de todo, aprovechando el capital natural y humano.

De manera consciente o inconsciente, el agua nos ha llevado en un flujo constante de actividades que suponen profundas transformaciones en la vida de los estudiantes, comunitarios y docentes hacia la interacción de la ciencia,

los talentos y recursos disponibles: se hace lo que se puede, con lo que se tiene.

La relación: humano, suelo, agua, bosques y producción, tiene que buscar a armonizar actitudes, esquemas mentales y prácticas productivas que estén a la par de los desafíos de futuro, teniendo siempre presente la calidad y gratuidad de una educación que impulse a la creación de un proyecto vital que fortalezca la dinámica del país, es así, que la formación de jóvenes en el sector rural como una forma de capitalizar las zonas rurales del país donde se ve necesario el recurso humano, se pueda acceder de una manera comprometida en su formación profesional (Montoya & Duarte, 2021).

Es por ello, que se ha registrado la evolución de las acciones encaminadas a la protección del Agua y como esta incide en la auto organización del trabajo, la resolución de conflictos, la elaboración de propuestas de solución y gestión de recursos, el fortalecimiento de las relaciones interinstitucionales; donde el estudiante y el comunitario es el protagonista de su propio progreso al tener un rol activo y desarrollar una visión crítica de la realidad al vivirla.

Para Ávila & Cortés (2017) promover el desarrollo de competencias en los universitarios, se hace necesario impulsar el pensamiento crítico, que conduce a incorporar elementos como la reflexión, recreación y reinversión del aprendizaje, la participación que el empoderamiento de los actores sobre su práctica. Asumir de manera consciente sus acciones, además de ser corresponsables de las relaciones con otros, conduce a experiencias solidarias y de crecimiento mutuo.

Los éxitos y fracasos han dependido del pensamiento constructivista, de sueños en donde se ve un aporte al desarrollo, por muy insignificante que parezca. Estas habilidades, caracterizan y sirven de indicadores de un desempeño individual y colectivo de estudiantes y docentes, en el proceso de apropiación del conocimiento como acción que sin lugar a dudas constituye una vía básica para el aprendizaje (Montoya & Duarte, 2021).

El modelo pedagógico por competencias, impulsado en el currículo de la UNAN-Managua, implica cumplir con los componentes de alfabetización ambiental se deben adquirir competencias cognitivas, actitudes y valores, habilidades y destrezas (Angarita, Duarte, & Fernández, 2018), ya que el estudiante se apropia de las herramientas, generan conocimientos y se comprometen a retornar con humanismo a la comunidad, puesto que se convierten en divulgadores de esa realidad rural.

Estamos asentados en una región vulnerable a los efectos del cambio climático, los perfiles de los hogares en zonas vulnerables del trópico seco, suponen un alto riesgo ante los medios de vida cada día deteriorados, esta zona se caracteriza por tener una cultura productiva de subsistencia de pequeña y mediana ganadería basada en el pastoreo extensivo, lo que ha supuesto una reducción casi por completo del bosque latifoliado en el periodo 1986-2000, al 2013 la tendencia de conversión del bosque latifoliado abierto continua a un nivel relativamente bajo (Mendoza, 2013).

Muchas familias campesinas cuentan con tierra; sin embargo, se mantienen en condiciones de pobreza, causados por múltiples factores, entre ellos el fuerte



Figura 1. Actividades desarrolladas por los estudiantes.

arraigo productivo de pastoreo y la ganadería porque le dicen "dinero andando", conocimientos replicados generacionalmente y se reúsan o temen al cambio de tecnologías y modernización, esta situación pone en riesgo la seguridad alimentaria y nutricional de la familia por un inapropiado manejo (Montoya, Duarte, & Luna, 2021).

Los medios de vida rurales dependen a menudo de un suministro adecuado de agua, y la escasez cada vez mayor de este recurso natural junto a la competencia por los recursos hídricos están amenazando estos medios de vida. Por consiguiente, es de vital importancia asegurar el acceso a suficientes fuentes de agua salubre fácilmente accesibles. A nivel mundial, más de 2 000 millones de personas viven en países que registran altos niveles de escasez de agua, y 22 países se encuentran en situación de escasez grave. Se calcula que unos 4 000 millones de personas sufren escasez de agua particularmente grave durante por lo menos un mes al año. La demanda de agua seguirá aumentando, y se calcula que, para 2030, cerca de la mitad de la población vivirá en zonas con escasez de agua grave, lo que provocará el desplazamiento de poblaciones (OIT, 2019).

El corredor seco no es la excepción, en 2013 para la zona de Chontales, se identificaron tres tipologías de fincas ganaderas: Familiar Intensivo (33%), al segundo Familiar Diversificado (FD, 49%) y al tercero Familiar Autoconsumo (FA, 18%). Estas tipologías tienen sus diferencias en extensión y tipo de producción, sin embargo, tienen en común un desgaste del modelo productivo, aunado a que las áreas de bosque son manchas casi irrelevantes y solo se utilizan para mantenimiento de cercos (postes) y leña. El ganadero desconoce el valor ecológico y económico que se pueden obtener de estos servicios ambientales (Montoya, López i Gelats, & Bartolomé Filella, 2013).

Esta realidad, nos ha impulsado a usar el agua como estrategia de resiliencia para la mejora de vida y disponibilidad de agua, a través de la promoción de temas de conservación estrechamente ligados a los procesos de aprendizaje donde el ganar-ganar, nos ha dado la dirección exacta del desarrollo en muchas vías, no ha sido lo idóneo, ni en las formas ni en las metodologías, sin embargo, ha sido lo correcto, encaminarse al despertar y enfrentar los escenarios.



Figura 2. Participación en feria con productores locales.

La garantía de la alimentación de la población es el agua, para lograr economías rurales equitativas y productivas, en ese sentido el centro han sido las personas: estudiantes, comunitarios, profesores, instituciones, en la cual hemos sido actores dinámicos de una relación que estructura fundamentalmente la existencia humana, desde el 2012 la UNAN-Managua FAREM-Chontales ha obrado de buen actuar en cuanto al aprendizaje en torno al agua:

En el Programa de Educación Ambiental, enfocado en el ahorro del agua y saneamiento, se desarrollaron programas para el ahorro de agua en el campo y la ciudad, exponiendo en ferias y charlas en toda la región. Se realizaron dos investigaciones de graduación:

- Balance hídrico y demanda de agua en grandes consumidores en Juigalpa, 2014.
- Creación de Carreras Técnicos en Agua y Saneamiento, 2015.

Con la Cooperación Alemana, se recopiló información de campo base esencial para el desarrollo de 25 planes de finca: ganadería, agricultura, infraestructura, agua, biodiversidad, suelos, bosques, economía familiar, etc. Se realizaron dos investigaciones de graduación:

- Plan de Finca de Estación Biológica Francisco Guzmán Pasos.
- Planes de Manejo de Área Protegida en: El Coral y Cuapa.

El Comité de Cuencas del Río Mayales, ha contribuido a la formación de estudiantes y docentes, en este se ha participado en capacitaciones, monitoreo de la calidad de agua: 2014-2017, giras de campo. En ese sentido los estudiantes se han fortalecido en la adquisición de habilidades para el manejo de: laboratorios, manejo de sensores de medición multiparamétricos, uso de sondas, lectura y registro de datos, etc.

En el trabajo con las comunidades, se realizaron diagnósticos del recurso hídrico y planes de ordenamiento territorial, capacitación a las comunidades en temas de suelo, agua, bosque y biodiversidad, la realización de obras sociales y filantrópicas. Como resultado de esta etapa, los estudiantes se crearon sus propios medios para generar soluciones a problemas reales, usando las herramientas disponibles e interactuando con las personas. Los procesos investigativos finalizaron con un estudio comparativo de dos tipos de filtración de agua, el cual evaluó los tipos de materiales accesibles para la realización de filtros en las comunidades y oportunidad de emprendimiento.

En ese sentido una de las estrategias que tomamos para llevar la vanguardia como universidad, es la relación ganar-ganar que hemos cultivado con el Sistema Nacional de Producción Consumo y Comercio (SNPCC: INTA, MAG, INAFOR, MARENA, IPSA, Universidades, Centros de Investigación, INTAE, etc.), actuando desde el compromiso político-social y coherente a las necesidades en el territorio, en cada una de las acciones realizadas hemos dado a conocer que las prácticas de protección a los medios de vida se encaminan a ser sostenibles, cuando las comunidades los pueden usar armoniosamente en la construcción de su bienestar actual.

El agua, en este caso para nosotros no ha actuado como elemento natural aislado y descontextualizado, sino que



Figura 3. Jornada de limpieza en las orillas del río en la zona urbana de Juigalpa.

ha sido un elemento unificador al aprovecharse como una estrategia de aprendizaje colaborativo, donde la universidad es un motor de cambios, especialmente a los jóvenes, las mujeres y a las comunidades, que al provenir de contextos diversos de pobreza, se les ha dado las herramientas del empoderamiento para la lucha contra este flagelo, el combatir la inseguridad alimentaria con la diversificación productiva y la protección del agua como estrategia de resiliencia.

El agua es de gran importancia desde el punto de vista del capital natural -lagos, ríos, humedales, aguas subterráneas y mares-, y de una importancia económica real. Por lo tanto, el vínculo económico circular aquí es preservar y mejorar este capital natural. Evolucionar hacia una economía circular del agua consiste en estimular los ciclos naturales del agua, sincronizándonos primero con ellos y optimizándolos después, en lugar de cambiar a un nuevo paradigma más costoso, y más que probablemente, menos sostenible.

Conclusiones

El agua le inspira «admiración primero, pero de inmediato agradecimiento. De ella nos dice que «es espejo que nada ni nadie debería romper. Porque el agua trabaja, desde antes del origen de la vida, por un futuro fértil: ese que todos merecemos. (Araujo, 2012)

Como UNAN-Managua, somos una fortaleza en las áreas donde tenemos incidencia, ayudamos mutuamente a afrontar los cambios (desastres naturales, economía, cambio climático, economía), la estrecha relación con el agua, ha surgido de manera natural, de nuestra propia identidad como pueblo, haciendo énfasis que cerca del agua las culturas originaria fue que se asentaron y hay vestigios

en todo el territorio; y desde esos tiempos no ha habido cambios en cuanto a la dinámica del desarrollo de la vida, el agua sigue siendo la misma, somos nosotros quienes debemos cambiar estar cada día más “presentes” y “activos” al comenzar a ver el “agua” como un recurso para conservar desde un nivel ecosistémico y no aislado.

Referencias

- Angarita, L. R., Duarte, J. E., & Fernández, M. F. (2018). Desarrollo de un MEC para la creación de cultura ciudadana sobre el uso del recurso hídrico en estudiantes de educación básica. *Revista Espacios*, 19. Obtenido de <http://www.revistaespacios.com/a18v39n15/18391519.html>
- Araujo, J. (2012). Agua. Gadir.
- Ávila, M. L., & Cortés, M. J. (2017). La Sistematización de experiencias educativas. Una experiencia con docentes universitarios. *European Scientific Journal*, 137-153. doi:10.19044/esj.2017.v13n4p137
- Mendoza, J. (2013). Análisis Multitemporal del Cambio del uso del suelo en base a Imágenes Satelitales de la Sub-Cuenca Mayales para el periodo de tiempo 1986-2000, 2000-2010 y 2010-2012 en el Departamento de Chontales, Nicaragua. Managua: PROATAS-GIZ.
- Montoya, D. I., & Duarte, A. N. (2021). Estrategia de aprendizaje en la formación ambiental con estudiantes de las Ciencias Agrarias. *Revista Compromiso Social*, (5), 131-141. Obtenido de <https://revistacompromisosocial.unan.edu.ni/index.php/CompromisoSocial/article/view/114>
- Montoya, D. I., Duarte, A. N., & Luna, D. Y. (2021). El huerto escolar como herramienta de sensibilización ambiental para el aprendizaje y mejora alimenticia en las comunidades rurales. *Revista Compromiso Social*, 105-116. Obtenido de <https://revistacompromisosocial.unan.edu.ni/index.php/CompromisoSocial/article/view/140>
- Montoya, I., López i Gelats, F., & Bartolomé Filella, J. (2013). Tipificación y caracterización de explotaciones ganaderas en el trópico seco centroamericano (Chontales, Nicaragua). Inédito.
- OIT. (2019). Agua para una mejor subsistencia en los medios de vida rurales. OIT. Obtenido de https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_dialogue/---sector/documents/publication/wcms_729436.pdf
- Pujol, R. M. (2002). Educación Científica para la ciudadanía en formación. *Alambique*, 32, 9-16.

Mediciones in situ de los isótopos del agua para investigar la recarga de las aguas subterráneas y la absorción de agua por las plantas

Kathrin Kühnhammer¹, Adrian Dahlmann^{1,2}, Alberto Iraheta¹, Malkin Gerchow¹, Christian Birke³, John D. Marshall⁴, Matthias Beyer¹

(1)IGOE, Environmental Geochemistry, Braunschweig, Germany

(2)Ecosystem Physiology, University of Freiburg, Freiburg, Germany

(3)Department of Geography and Water and Global Change Observatory, Universidad de Costa Rica (UCR), San José, Costa Rica

(4)Department of Forest Ecology and Management, Faculty of Forest Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences, Umeå, Sweden

K. Kühnhammer, IGOE, Environmental Geochemistry, TU Braunschweig, D-38106 Braunschweig, Germany.
Email: k.kuehnhammer@tu-braunschweig.de

Resumen: Los nuevos métodos para medir los isótopos estables del agua del suelo y de los árboles directamente en el campo permiten aumentar la resolución temporal de los datos obtenidos y avanzar en el conocimiento de la dinámica de los flujos de agua del suelo y de las plantas. Sólo existen unas pocas aplicaciones de campo. Sin embargo, éstas son necesarias para seguir mejorando los nuevos métodos. Se probó un método de equilibrio de Borehole en el campo y recogimos muestras in situ y destructivas de isótopos estables del agua del suelo, del tronco y del xilema de la raíz durante un experimento de 2,5 meses en un bosque tropical seco en condiciones de abundancia natural y tras un riego etiquetado natural y después de un riego etiquetado. El agua de las muestras destructivas fue extraída mediante extracción criogénica al vacío. Las relaciones isotópicas se determinaron con instrumentos IRIS utilizando espectroscopia de anillo de cavidad tanto en el campo como en el laboratorio. En general, ambos métodos coincidieron bien tanto para las muestras de suelo como de xilema. El riego marcado con isótopos de hidrógeno pesados tuvo un claro impacto en la composición isotópica del agua del suelo y de una de las dos especies arbóreas estudiadas. Las desviaciones entre métodos aumentaron como consecuencia del etiquetado, lo que reveló sus diferentes capacidades para cubrir las heterogeneidades espaciales y temporales. Aplicamos el novedoso método de equilibrio de Borehole en una ubicación de campo remota. Nuestro experimento reforzó el potencial de este método in situ para medir los isótopos del agua del xilema tanto en los troncos como en las raíces de los árboles y confirmó la fiabilidad de las sondas de suelo permeables al gas. Sin embargo, las mediciones in situ del xilema deberían para reducir la incertidumbre dentro del rango de abundancia natural y, por lo tanto, para natural y, por lo tanto, hacer posible todo su potencial.

Palabras clave: Ecohidrología, in situ, agua del suelo, Isótopos estables del agua, agua del xilema

Abstract: New methods to measure stable isotopes of soil and tree water directly in the field enable us to increase the temporal resolution of obtained data and advance our knowledge on the dynamics of soil and plant water fluxes. Only few field applications exist. However, these are needed to further improve novel methods and hence exploit their full potential. We tested the borehole equilibration method in the field and collected in situ and destructive samples of stable isotopes of soil, trunk and root xylem water over a 2.5-month experiment in a tropical dry forest under natural abundance conditions and following labelled irrigation. Water from destructive samples was extracted using cryogenic vacuum extraction. Isotope ratios were determined with IRIS instruments using cavity ring-down spectroscopy both in the field and in the laboratory. In general, timelines of both methods agreed well for both soil and xylem samples. Irrigation labelled with heavy hydrogen isotopes clearly impacted the isotope composition of soil water and one of the two studied tree species. Intermethod deviations increased in consequence of labelling, which revealed their different capabilities to cover spatial and temporal heterogeneities. We applied the novel borehole equilibration method in a remote field location. Our experiment reinforced the potential of this in situ method for measuring xylem water isotopes in both tree trunks and roots and confirmed the reliability of gas permeable soil probes. However, in situ xylem measurements should be further developed to reduce the uncertainty within the range of natural abundance and hence enable their full potential.

Keywords: Ecohydrology, in situ, soil water. Water stable isotopes, xylem water

Introducción

La transpiración de las plantas alimenta el ciclo hidrológico devolviendo a la atmósfera entre el 35% y el 90% del agua de las superficies terrestres (Hrachowitz & Savenije, 2014 y Jasechko et al., 2013). Por lo tanto, la transpiración influye en gran medida en nuestro clima y afecta a la disponibilidad de agua como consecuencia del uso de la tierra y del cambio climático (Debortoli et al. 2017 y Ellison et al., 2017). Sin embargo, ¿por qué la cuantificación de este flujo de agua esencial es tan incierta? Ello se debe a las lagunas de conocimiento sobre el funcionamiento mecánico de la absorción de agua por las raíces y la profundidad de enraizamiento de las plantas, que persisten a pesar de su papel crucial en la predicción del futuro de uno de nuestros recursos más importantes (Fan et al., 2017). Una de las principales limitaciones es la dificultad práctica de observar los procesos subterráneos. El análisis de los isótopos estables del agua en el suelo y en el material vegetal se ha realizado tradicionalmente mediante el muestreo destructivo y la posterior extracción del agua en el laboratorio, siendo la extracción criogénica al vacío el método más común (Koeniger et al., 2011). Esto sólo capta instantáneas en el tiempo (Berry et al., 2018), y ha dificultado la evaluación de los efectos isotópicos mencionados, impidiendo una comprensión mecanicista más profunda de la dinámica ecohidrológica. Tras la invención de la espectrometría isotópica basada en el láser (Gupta et al., 2009), los esfuerzos se dirigieron a desarrollar nuevos métodos para medir los isótopos estables del agua en las precipitaciones (Munksgaard et al., 2011), los suelos (Oerter & Bowen, 2017 y Volkmann & weiler 2014), y el xilema de las plantas (Marshall et al., 2020 y Volkmann et al., 2016) in situ. Estos avances metodológicos son muy prometedores para comprender mejor al menos algunas de las cuestiones mencionadas, ya que permiten realizar mediciones más frecuentes con una menor perturbación del sistema supervisado. Por ejemplo, se han utilizado nuevas técnicas in situ para mostrar las fuertes variaciones a corto plazo de la UTR de una especie herbácea en un experimento de columna de suelo (Kühnhammer et al., 2020).

Materiales y métodos

El experimento se realizó en la Estación Experimental Forestal Horizontes (EEFH), que forma parte del Área de Conservación Guanacaste, situada en el noroeste de Costa Rica. La temperatura media anual a largo plazo en el sector adyacente de Santa Rosa es de 25°C. La precipitación media anual es de 1575 mm, pero muestra una fuerte variabilidad interanual influenciada por El Niño Oscilación del Sur; las sumas anuales oscilan entre 880 y 3030 mm (Powers et al. 2009 y Waring et al. 2019) La precipitación es fuertemente estacional; casi toda ella

Tabla 1. List of applied irrigation events, including date of application, duration, total volume applied, irrigation depth and average values.

Irrigation event	Date (dd.mm.yy)	Depth (mm)	Total volumen (l)	Total duration (h)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)
1st irrigation tap water (TW1)	29.03.19	5	1750	14	-7.8	-52.0
2nd irrigation tap water (TW2)	31.03.19/01.04.19	10	3500	19	-7.8	-50.0
1st irrigation label (LW1)	05.04.19	15	5250	5.5	-7.8	+152.1
2nd irrigation label (LW2)	09.04.19	15	5250	5.5	-7.7	+540.8
3rd irrigation label (LW3)	23.04.19	15	5250	5.5	-7.7	+39.6

ocurre entre mayo y noviembre (Waring et al., 2019). Los datos se recogieron en 2019 desde febrero hasta finales de mayo, es decir, desde la estación seca y la transición a la estación lluviosa.

Probamos el método de equilibrio de Borehole en el campo y recogimos muestras in situ y destructivas de isótopos estables del agua del suelo, del tronco y del xilema de la raíz durante un experimento de 2,5 meses en un bosque tropical seco en condiciones de abundancia natural y tras un riego etiquetado. natural y después de un riego etiquetado. El agua de las muestras destructivas fue extraída mediante extracción criogénica al vacío. Las relaciones isotópicas se determinaron con instrumentos IRIS utilizando espectroscopia de anillo de cavidad tanto en el campo como en el laboratorio.

Resultados y discusión

En general, los plazos de ambos métodos coincidieron bien tanto para las muestras de suelo como de xilema. El riego marcado con isótopos de hidrógeno pesados tuvo un claro impacto en la composición isotópica del agua del suelo y de una de las dos especies arbóreas estudiadas. Las desviaciones entre métodos aumentaron como consecuencia del etiquetado, lo que reveló sus diferentes capacidades para cubrir las heterogeneidades espaciales y temporales.

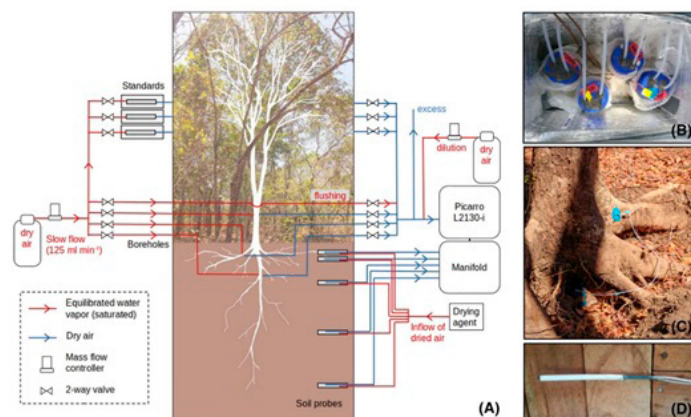


Figura 1. Schematics showing the field set-up for measuring water stable isotopes in situ in water vapour standards, tree xylem and across soil depths (A). The pictures show impressions from the field set-up, namely standards within the insulated box (B), root boreholes (C) and a soil probe before installation (D).

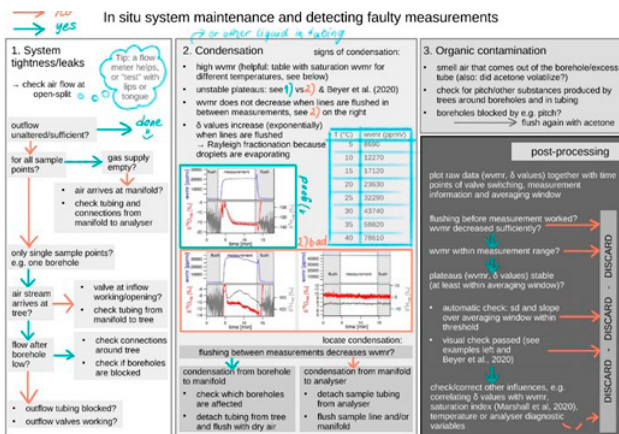


Figura 2. Practical guide on how to identify faulty measurements and solve associated issues. The graphic summarises measures that we found useful both in the field and during postprocessing and is intended as a starting point for other scientists applying the borehole equilibration and other in situ methods.

Conclusiones

Aplicamos el novedoso método de equilibrio de Borehole en una ubicación de campo remota. Nuestro experimento reforzó el potencial de este método in situ para medir los isótopos del agua del xilema tanto en los troncos como en las raíces de los árboles y confirmó la fiabilidad de las sondas de suelo permeables. Sin embargo, las mediciones in situ del xilema deberían para reducir la incertidumbre dentro del rango de abundancia natural y, por lo tanto, hacer posible todo su potencial.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Maren Dubbert (Fisiología del Ecosistema, Universidad de Friburgo) por su apoyo científico durante la planificación de la campaña; David Dubbert (Ecohidrología, IGB Berlín), Ricardo Sánchez-Murillo (Química, Universidad Nacional de Costa Rica) y Paul Koeniger (Isotopenhydrologie, BGR Hannover) por el análisis de laboratorio de las muestras de agua líquida de agua líquida y Mareike Lacina (Geoecología, TU Braunschweig) para la extracción criogénica de muestras de suelo adicionales. Además, los autores agradecen a Roland Bol por la edición y a dos revisores anónimos. KÜHNHAMMER ET AL. por sus numerosos comentarios constructivos y su esfuerzo por mejorar el manuscrito. Esta investigación ha contado con el apoyo de la Fundación Volkswagen (contrato n° A122505; referencia n° 92889).

Referencias

Berry ZC, Evaristo J, Moore G. (2018). The two water worlds hypothesis: Addressing multiple working hypotheses and proposing a way forward. *Ecohydrology*. 11(3):e1843 doi:10.1002/eco.1843

Debortoli NS, Dubreuil V, Hirota M, Filho SR, Lindoso DP, Nabucet J. (2017). Detecting deforestation impacts in southern Amazonia rainfall using rain gauges. *Int J Climatol*. 37(6):2889-2900. doi:10.1002/joc.4886

Ellison D, Morris CE, Locatelli B, et al. (2017). Trees, forests and water: Cool insights for a hot world. *Glob Environ Chang*. 2017;43:51-61. doi:10.1016/j.gloenvcha. 01.002

Fan Y, Miguez-Macho G, Jobbágy EG, Jackson RB, Otero-Casal C. (2017). Hydrologic regulation of plant rooting depth. *Proc Natl Acad Sci U S A* Published Online. 114(40):10572-10577. doi:10.1073/pnas.1712381114

Gupta P, Noone D, Galewsky J, Sweeney C, Vaughn BH. (2009). Demonstration of high-precision continuous measurements of water vapor isotopologues in laboratory and remote field deployments using wavelength-scanned cavity ring-down spectroscopy (WSKÜHNHAMMER ET AL. 17 of 19 CRDS) technology. *Rapid Commun Mass Spectrom*. 23(16):2534-2542.

Hrachowitz M, Savenije HHG. Uncertainties in transpiration estimates. *Nature*. 2014;506(7487):E1-E2. doi:10.1038/nature12925

Jasechko S, Sharp ZD, Gibson JJ, Birks SJ, Yi Y, Fawcett PJ. Terrestrial water fluxes dominated by transpiration. *Nature*. 2013;496(7445): 347-351. doi:10.1038/nature11983

Koeniger P, Marshall JD, Link T, Mulch A. An inexpensive, fast, and reliable method for vacuum extraction of soil and plant water for stable isotope analyses by mass spectrometry. *Rapid Commun Mass Spectrom*. 2011;25(20):3041-3048. doi:10.1002/rmc.5198

Kühnhammer K, Kübert A, Brüggemann N, et al. Investigating the root plasticity response of *Centaurea jacea* to soil water availability changes from isotopic analysis. *New Phytol*. 2020;226(1):98-110. doi: 10.1111/nph.16352

Marshall JD, Cuntz M, Beyer M, Dubbert M, Kuehnhammer K. Borehole equilibration: Testing a new method to monitor the isotopic composition of tree xylem water in situ. *Front Plant Sci* Published Online. 2020;11: doi:10.3389/fpls.2020.00358

Munksgaard NC, Wurster CM, Bird MI. Continuous analysis of $\delta^{18}O$ and δD values of water by diffusion sampling

cavity ring-down spectrometry: A novel sampling device for unattended field monitoring of precipitation, ground and surface waters. Rapid Commun Mass Spectrom. 2011;25(24):3706-3712. doi: 10.1002/RCM.5282

Oerter EJ, Bowen G. In situ monitoring of H and O stable isotopes in soil water reveals ecohydrologic dynamics in managed soil systems. Ecohydrology. 2017;10(4):e1841 doi:10.1002/eco.1841

Powers JS, Becknell JM, Irving J, Pèrez-Aviles D. Diversity and structure of regenerating tropical dry forests in Costa Rica: Geographic patterns and environmental drivers. For Ecol Manage Published Online. 2009;258(6):959-970. doi:10.1016/j.foreco.2008.10.036

Volkman THM, Kühnhammer K, Herbstritt B, Gessler A, Weiler M. A method for in situ monitoring of the isotope composition of tree xylem water using laser spectroscopy. Plant Cell Environ. 2016;39(9):2055-2063. doi:10.1111/pce.12725

Volkman THM, Weiler M. Continual in situ monitoring of pore water stable isotopes in the subsurface. Hydrol Earth Syst Sci. 2014;18(5):1819-1833. doi:10.5194/hess-18-1819-2014

Waring BG, Pérez-Aviles D, Murray JG, Powers JS. Plant community responses to stand-level nutrient fertilization in a secondary tropical dry forest. Ecology Published Online. 2019;100(6):e02691 doi:10.1002/ecy.2691

Acuíferos del Corredor Seco Centroamericano como buffers de eventos hidroclimáticos extremos

Heyddy Calderón¹, Julio Luna Aroche², María Gabriela Castrellón³, Marjorie Toruño¹, Belkys Aguilar¹, Karolina D'Trinidad¹, Orlando Quiñonez¹, Enoc Castillo¹, Erwin Rueda¹

(1) Instituto de Geología y Geofísica UNAN-Managua, Nicaragua

heyddy.calderon@igg.unan.edu.ni

(2) Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas USAC, Guatemala, Guatemala.

(3) Universidad Técnica de Panamá

(4) Autoridad Nacional del Agua, Nicaragua

Resumen: El Corredor Seco de Centroamericano (CSC) es una ecorregión de bosque seco, que se extiende desde el sur de México a través de Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua hasta la parte noroeste de Costa Rica. También se incluye una región de Panamá conocida como Arco Seco. El CSC se caracteriza por periodos secos de hasta seis meses de duración con relativamente bajos rangos de precipitación, rondado los 400 mm/año a 1200 mm/año en las áreas de sequía más severa. Hay más de 10.5 millones de personas en esa ecorregión, de las cuales 3.5 millones necesitan asistencia humanitaria y 1.5 millones están en inseguridad alimentaria. La literatura publicada sobre el CSC se enfoca en el régimen de precipitaciones, aridez, usos de suelo y medios de subsistencia. No hay publicado un análisis sobre la hidrogeología de esta región. Los acuíferos pueden constituir un medio estratégico para amortiguar el impacto de periodos de sequía mediante la recarga, retención y almacenamiento de agua. Para ello, es necesario el mapeo y conocimiento previo de los sistemas de aguas subterráneas.

Este trabajo es dirigido al análisis de las características hidrogeológicas del CSC, identificando los acuíferos más prometedores que puedan proveer agua para las poblaciones vulnerables, tomando en cuenta las propiedades geológicas e hidrogeológicas. Esta investigación presenta el primer mapa hidrogeológico general del CSC, identificando los acuíferos fracturados y porosos con mejores características hidrogeológicas. Se propone que los acuíferos identificados pueden ser utilizados para paliar el impacto del cambio y la variabilidad climática en poblaciones social y económicamente vulnerables. Para ello deben ser caracterizados en más detalle y evaluar su potencial para recarga y almacenamiento de agua. Los mapas preliminares generados pueden ser utilizados para las investigaciones hidrogeológicas y por los tomadores de decisiones y los líderes de las organizaciones locales, para evaluar posibilidades de desarrollo de agua subterránea.

Palabras clave: Extremos hidroclimáticos, Corredor Seco de América Central, Mapa Hidrogeológico, resiliencia y preparación

Abstract: The Central American Dry Corridor (CSC) is a dry forest ecoregion, which extends from southern Mexico through Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua to the northwestern part of Costa Rica. It also includes a region of Panama known as Arco Seco. The CSC is characterized by dry periods of up to six months duration with relatively low precipitation ranges, ranging from 400 mm/year to 1200 mm/year in the most severe drought areas. There are more than 10.5 million people in this ecoregion, of which 3.5 million are in need of humanitarian assistance and 1.5 million are food insecure. The published literature on the CSC focuses on rainfall regime, aridity, land use and livelihoods. There is no published analysis on the hydrogeology of this region. Aquifers can provide a strategic means to buffer the impact of drought periods by recharging, retaining and storing water. For this purpose, mapping and prior knowledge of groundwater systems is necessary.

This work is aimed at analyzing the hydrogeological characteristics of the CSC, identifying the most promising aquifers that can provide water for vulnerable populations, taking into account geological and hydrogeological properties. This research presents the first general hydrogeological map of the CSC, identifying fractured and porous aquifers with better hydrogeological characteristics. It is proposed that the identified aquifers can be used to mitigate the impact of climate change and variability on socially and economically vulnerable populations. To do so, they need to be characterized in more detail and their potential for water recharge and storage needs to be evaluated. The preliminary maps generated can be used for hydrogeological investigations and by decision makers and leaders of local organizations to evaluate groundwater development possibilities.

Keywords: Hydroclimatic extremes, Central American Dry Corridor, Hydrogeological Map, resilience and preparedness.

Introducción

El Corredor Seco Centroamericano (CSC) es una ecorregión de bosque tropical seco la cual se extiende a través de Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua y el noroeste de Costa Rica (Figura 1). Aunque tradicionalmente no se incluye el Arco Seco de Panamá comparte características climáticas similares y desafíos relacionados con los recursos hídricos. Sequías cíclicas afectan al CSC causando crisis emergentes de agua y alimento de manera recurrente en la región (Van der Zee Arias et al., 2012). Los periodos de sequía de 4 a 6 meses de duración afectan a la mayoría de cultivos y ganado. Los rangos de precipitación rondan los 400 mm/año a 1200 mm/año.

Los ciclos de sequía en América Central están relacionados con las Oscilaciones Sur de El Niño (ENSO). Durante los últimos 60 años, diez eventos de El Niño han sido observados, con duraciones de 12 a 36 meses (CCAD, 2011). Por otro lado, ha habido una reducción entre el 8%-14% de las precipitaciones anuales en el CSC según escenarios de moderadas a altas emisiones, para 2071-2100 con respecto a la línea base entre 1950 y 2005 (Depsky & Pons, 2021). Cerca de 10.5 millones de personas viven dentro del CSC, de los cuales 3.5 millones necesitan asistencia humanitaria y 1.6 millones sufren inseguridad alimentaria (Gonzalez Figueroa & Reiche, 2012). Dentro de las causas principales de esta situación pueden identificarse los eventos hidroclimáticos, pero además las amenazas socioeconómicas tales como la variabilidad del precio en los granos básicos, el uso del suelo y la propia pobreza (Peralta et al., 2012). Se han introducido prácticas de recolección y almacenamiento de agua como alternativa a la escasez de agua y en las comunidades locales sugiriendo que los problemas de abastecimiento pueden ser abordados mediante el desarrollo de recursos hídricos subterráneos y riego (World Food Program, 2002). Sin embargo, las estrategias de adaptación al cambio climático mediante el desarrollo de las aguas subterráneas requieren de un sólido conocimiento hidrogeológico, el cual es aun fragmentario en esta región. Nicaragua ha desarrollado mapas hidrogeológicos a escala 1:250 000 (INETER, 2004). En el caso de Guatemala, El Salvador y Honduras, el proyecto Trifinio estudió unidades acuíferas en la subcuenca transfronteriza de la parte superior del Río Lempa (UNESCO, 2016).

La mayoría de investigaciones realizadas en el CSC han estado enfocadas en la aridez, en los regímenes de precipitación (Quesada-Hernandez et al., 2019), en el uso del suelo (Gotlieb & Girón, 2020) y en los medios de subsistencia (Fraga, 2020). No se han encontrado trabajos publicados sobre la hidrogeología de la región del CSC. Nuestro trabajo ha producido un mapa hidrogeológico

integral y unificado de todo el CSC, de manera que sirva como recurso para mejorar la preparación y resiliencia de poblaciones vulnerables ante eventos hidroclimáticos extremos. Con el fin de lograr este objetivo, se realizó una extensa revisión bibliográfica de la geología e hidrogeología de cada país, junto a un análisis hidrogeológico basado en las propiedades litológicas y en la identificación de estructuras geológicas, con el propósito de generar una clasificación general de las unidades acuíferas. El propósito de este mapa, es el ser la base de futuros estudios hidrogeológicos a detalle, para poder mejorar la resiliencia climática en el CSC.

Delimitación del CSC

No existe una delimitación oficial del CSC, ya que los límites dependen de las condiciones climáticas y ecológicas. Estos límites pueden variar geográficamente por sus índices de aridez, definido como la razón entre la evapotranspiración precipitación (Quesada-Hernandez et al., 2019). El término de Corredor Seco fue utilizado por primera vez en el Programa Mundial de Alimentos (2012) para referirse al área con más de 6 meses de sequía ubicada entre Guatemala y Nicaragua. Esta delimitación se basó la información climática de las áreas afectadas por sequía en 2000 y 2001. Van der Zee Arias et al. (2012) combinó el mapa de sequía mensual y el mapa de isoyetas de América Central con las zonas de vida de Holdridge. Esto permitió una definición más integral, incluyendo no solo los aspectos climáticos, sino que también ecológicos. Esta es la delimitación utilizada en este trabajo. El caso del Arco Seco de Panamá es similar, no hay una delimitación oficial, por lo tanto, utilizamos la delimitación propuesta por Quesada-Hernández et al. (2019) para condiciones extrema sequía.



Figura 1. Corredor Seco de América Central (Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua y Costa Rica) y el Arco Seco de Panamá (basado en Van der Zee et al. 2012).

Revisión Geológica e hidrogeológica

La revisión de las publicaciones geológicas, los mapas hidrogeológicos y la información de cada país fue utilizada para identificar los principales acuíferos. Se encontraron variaciones en las escalas, nomenclatura, calidad y detalle de la información. La información compilada fue encontrada encontrada de forma digital y análoga

La mayoría de la información digital fue obtenida en formato raster: jpg, pdf, tif y en otros formatos vectoriales como shapefile. En el caso de la información encontrada en formato raster cada uno de los polígonos fue georreferenciado y digitalizado, generando una tabla de atributos para las descripciones de las propiedades litológicas correspondientes. Cada uno de las capas fueron procesas en el proyecto y fueron

guardadas en proyectos de bases de datos en el formato propietario de ESRI's, gbd. Los procesados fueron hechos usando ArcGIS PRO versión 2.9.1. Para la información de cada capa, se crearon tablas de atributo que incluyeron Códigos, Clasificaciones Hidrogeológicas, Descripciones, Formaciones, Edad y la fuente. La tabla de atributos resume el análisis y la correlación entre la litología y los ambientes hidrogeológicos que condujo a nuestro sistema de clasificación. La Tabla 1 muestra un ejemplo de la tabla de atributos y la Tabla 2 resume toda la información revisada y describe su contenido.

Tabla 1. Ejemplo de una tabla de atributos.

Clasificación	CODIGO	DESCRIPCIÓN	FORMACIÓN GEOLÓGICA	ERA
ACUÍFERO POROSO VOLCÁNICO	avp	Acuífero con gran potencial hídrico formado por materiales piroclásticos	Grupo Las Sierras	Cenozoico

Tabla . Resumen de la información obtenida.

País	GEOLOGIA	HIDROGEOLOGIA	DESCRIPCIÓN
GUATEMALA	Mapa Geológico de Guatemala 1:2000 000 MAGA y PEDN, 2002	Este no es el mapa hidrogeológico del país Varios estudios (Clemons & Burkart, 1969; Herrera & Orozco, 2010; Lucas & Alvarado, 1995; Pérez, 2009)	Estudios de caracterización hidrogeológica local, incluyendo litología y algunas propiedades hidráulicas
EL SALVADOR	Mapa Geológico de El Salvador 1:500 000; Guevara et al., 2006 (Dill et al., 2000; Hradecký et al., 2005)	Mapa Hidrogeológico de El Salvador (ANDA, 2015) Mapa Hidrogeológico (1:650 000) (MARN, ND)	Descripción cualitativa basada en la combinación de la litología general y los medios acuíferos (poros y fracturados)
HONDURAS	Mapa Geológico de Honduras (Instituto Geográfico Nacional, 1997)	Mapa Hidrogeológico de Honduras (1: 500 000) (SANAA, 1998). Geólogos del Mundo y Aside (2005)	Descripción cualitativa basada en el potencial de los acuíferos combinado con la litología
NICARAGUA	Mapa Geológico de Nicaragua (1:250 000) (Instituto Nicaragüense de Energía (INE), 1995)	Mapa Hidrogeológico del Pacífico y la Región Central (1: 250 000) (INETER, 1998, 2004)	Información cuantitativa de parámetros hidráulicos (transmisividad). Descripción de los medios acuíferos, de la información estructural y la clasificación hidroquímica
COSTA RICA	Mapa Geológico de Costa Rica (ICE, 1995) (Aguilar & Denyer, 2021; Aiazzi et al., 2004; Astorga & Arias, 2003; Baumgartner et al., 2008; Calvo-solano et al., 2018; Civelli et al., 2005)	Mapa de Acuíferos Potenciales de Costa Rica (1:400 000) (MINAE, 2019)	Descripción Cualitativa basada en el potencial del acuífero. Incluye información estructural
PANAMA	Mapa Geológico de Panama, Atlas Ambiental de la República de Panamá (1: 1 200 000) (National Environmental Authority, 2010) http://www.oceandocs.org/handle/1834/7995	Mapa Hidrogeológico de Panamá Atlas Ambiental de la República de Panamá (1: 1 200 000) (National Environmental Authority, 2010) http://www.oceandocs.org/handle/1834/7995	Descripción cualitativa basada en la litología, información estructural y química de aguas

Análisis hidrogeológico y unificación

Nuestras revisiones han destacado la disparidad en el detalle de la información: diferentes escalas, nomenclaturas, y criterios para la clasificación de los acuíferos. Algunos mapas contienen información detallada sobre propiedades hidráulicas como la transmisividad, litología y química del agua (Nicaragua), otros solo presentan indicaciones cualitativas de acuíferos productivos (Costa Rica). Otros solo proveen una división general con poca información con sobre los criterios usados (El Salvador) o una descripción basada en la geología (Honduras). No se tienen ningún mapa publicado para Guatemala, por lo tanto, diferentes reportes fueron analizados para producir esta primera aproximación. Aunque la mayoría de los mapas usan algún tipo de criterio litológico para definir las unidades acuíferas como aluvial, volcánico; también combinan los nombres de las formaciones geológicas, aunque sin una clara descripción litológica que puede ser usada de guía para entender los parámetros hidrogeológicos. Dada esta variedad de criterios, cada país tiene una variedad de diferentes códigos de colores, probablemente basados en estándares geológicos.

Mapa hidrogeológico de CSC

Con el fin de producir el mapa hidrogeológico inicial CSC se consideraron los siguientes criterios:

- La información debe ser trazable (incluyendo metadatos y referencias).
- Las fuentes deben ser oficiales (relaciones gubernamentales y agencias de Naciones Unidas) o publicaciones revisadas por pares.
- Las clases hidrogeológicas deben ser lo suficientemente amplias, para poder abarcar la variedad de términos usados en los mapas disponibles
- Los términos utilizados deben dar una indicación de la naturaleza del medio acuífero y sus posibles propiedades hidráulicas
- La nomenclatura debe basarse en estándares internacionales, siendo reconocibles para la mayoría de geocientíficos profesionales.

Dado que la mayoría de descripciones fueron relacionadas con la litología y basadas en el tipo de información disponible, junto a los criterios definidos para este proyecto, las clases hidrogeológicas fueron definidas de esta manera:

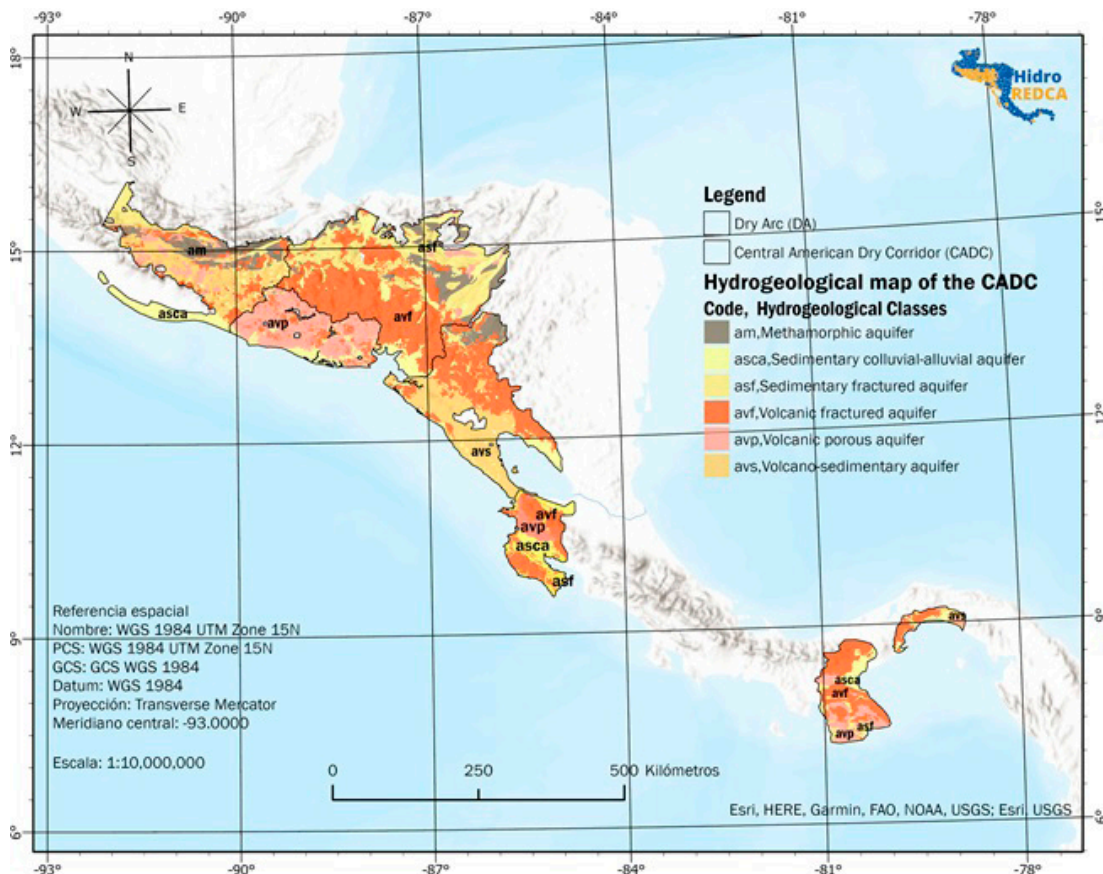


Figura 2. Mapa hidrogeológico general del CSAC

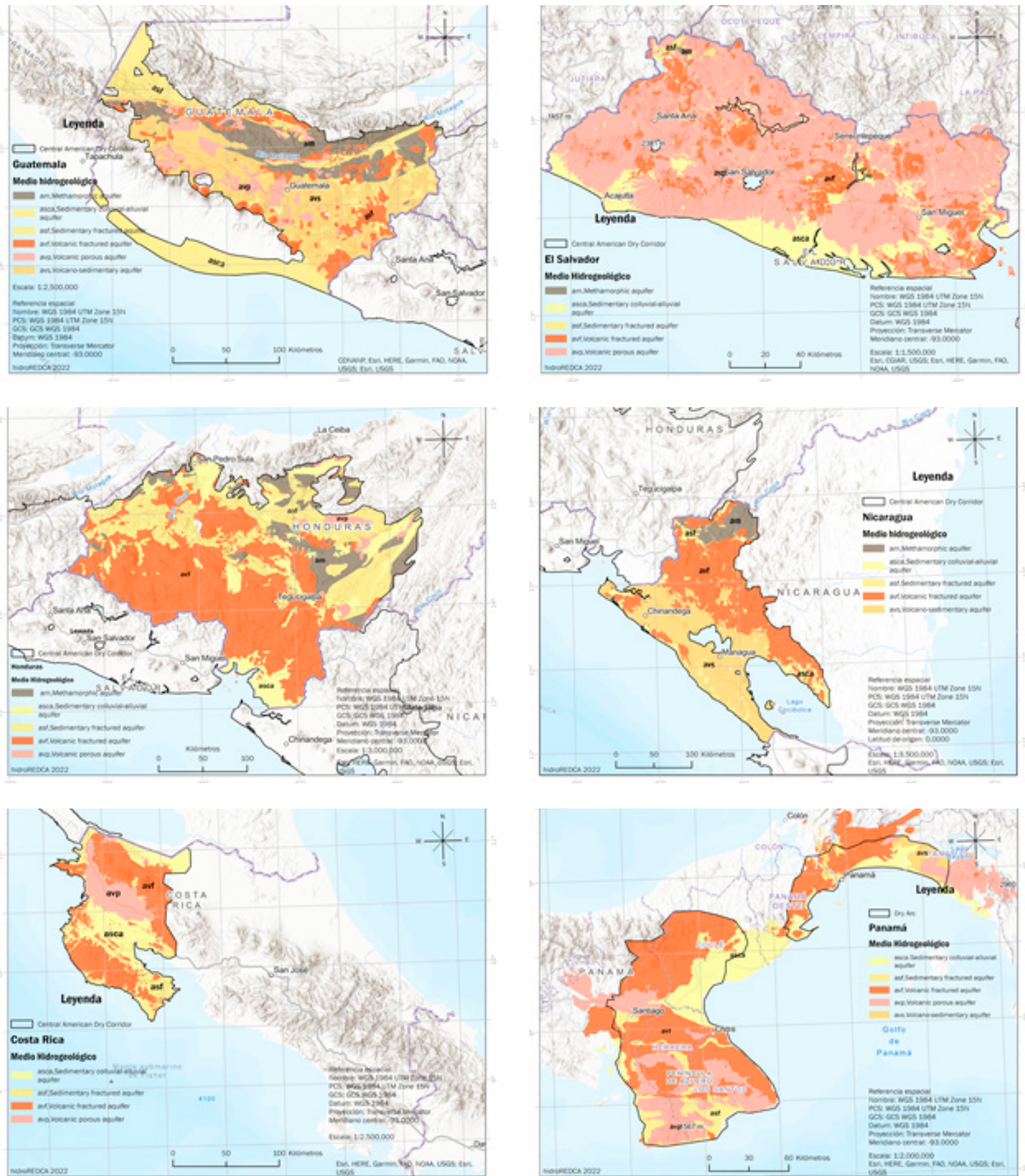


Figura 3. Mapa hidrogeológico por país

level of information possible use	low (scarce and heterogeneous data from various sources)	advanced (+ systematic investigation programmes, more reliable data)	high (+ hydrogeological systems analysis and groundwater models)
reconnaissance and exploration	general hydrogeological map (aquifer map)	hydrogeological parameter maps (map sets, atlases)	regional groundwater systems maps (conceptual model representations)
planning and development	map of groundwater resource potential	specialized hydrogeological maps (planning maps)	graphic representation derived from geographic information systems (maps, sections, perspective diagrams, scenarios)
management and protection	map of groundwater vulnerability		
possible use parameters of representation	static low low large small	time-dependence reliability cost per unit area area represented scale	dynamic high high small large

Figura 4. Sistema de clasificación de los mapas hidrogeológicos (from Struckmeier, 1995)

- Acuíferos Volcánico Porosos (avp)
- Acuíferos Volcánico Fracturados (avf)
- Acuíferos Volcánico-sedimentarios (avs)
- Acuíferos Sedimentarios coluvio-aluviales (asca)
- Acuíferos Sedimentarios fracturados (asf)
- Acuífero Metamórfico (am)

La Figura 2 presenta el mapa hidrogeológico general del CSC. Las unidades de los acuíferos fueron reclasificados basado en las descripciones litológicas y estructurales, agrupándolas en clases. En la Figura 3 se muestra en detalle el mapa por país. En este caso, los códigos de colores fueron asignados basándose en la Selección de Colores y Patrones para los Mapas Geológicos (USGS, 2005). Para poder encontrar un código de colores internacionalmente aceptado se realizó consultas en varias publicaciones (PANTIĆ et al., 2016; Struckmeier, 1995; UNESCO, 1983; USGS, 1986, 2005). Sin embargo, no se consiguió un consenso, por lo tanto, se optó por los colores del USGS (2015) para mapas geológicos, dado que su uso está muy extendido por toda América Central. El mapa producido es la primera compilación de mapas hidrogeológicos de CSC, proveyendo información sobre los recursos potenciales de aguas subterráneas. Dado que la información disponible es limitada, es una buena aproximación para la mayoría de acuíferos potenciales en la región, que en su mayoría parecen ser volcánicos (porosos y fracturados). Según Struckmeier (1995) las primeras fases de una investigación hidrogeológica corresponden a la representación comprensiva de los tipos de acuíferos en mapas hidrogeológicos (Figura 4). Si embargo, nuestro mapa sintetiza datos e informaciones y provee elementos para planificación y desarrollo. Como señala ese autor, la transición de un mapa hidrogeológico a un mapa de potencial aguas subterráneas es gradual.

El resultado de este trabajo es valioso para los tomadores de decisiones y actores locales del CSC, para poder guiar las investigaciones y el desarrollo de las aguas subterráneas, con el fin de mejorar la preparación y resiliencia de esta población vulnerable a los climas extremos.

Sin embargo, es necesario enriquecer este mapa hidrogeológico, incluyendo información más detallada de los acuíferos potenciales y también es necesario incluir información sobre la vulnerabilidad de los acuíferos sobre todo en climas extremos.

Conclusiones

Este trabajo analizó las características hidrogeológicas del CSC, identificando los acuíferos más prometedores para poder proveer agua a las poblaciones vulnerables, tomando en cuenta las propiedades geológicas e hidrogeológicas. Se produjo el primer mapa geológico general del CSC, identificando que los acuíferos volcánicos fracturados y porosos son los más prometedores. Argumentamos que identificamos acuíferos que necesitan ser estudiados en mucho mayor detalle para poder desarrollar planes de preparación y resiliencia en las poblaciones vulnerables a eventos y procesos hidroclimáticos extremos, de manera que estos acuíferos actúen como buffers del cambio climático. Este mapa puede ser usado como guía para las investigaciones y desarrollo de aguas subterráneas para los tomadores de decisión y actores locales. Sin embargo, el mapa necesita evolucionar en un instrumento más sofisticado, incorporando más detalle de los acuíferos potenciales y análisis de la vulnerabilidad de acuíferos a eventos climáticos extremos.

AGRADECIMIENTOS

Los fondos para esta investigación fueron proporcionados por la Red de Investigadores Hidrogeológicas para la Preparación y Resiliencia de la Poblaciones en el Corredor Seco de América Central (HidroREDCA) para el sistema de Integración de América Central (SICA), el Consejo Superior de Universidades de América Central (SCUCA) y el Centro de Investigaciones para el Desarrollo Internacional (IDRC Canadá). Este trabajo también fue apoyado por la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UANAN-Managua), la Universidad de San Carlos de Guatemala y la Autoridad Nacional del Agua de Nicaragua (ANA). Se agrade la colaboración de Sr. Avaro Sandoval y los aportes de la Dr. Marcia Barrera y el Sr. Maynor Ruiz. Nuestros agradecimientos a todos los miembros de HidroREDCA que contribuyeron con información y comentarios durante el desarrollo de esta publicación.

Referencias

- Aguilar, T., & Denyer, P. (2021). Estratigrafía sedimentaria Cretácico-Paleógeno de la cuenca de Limón Sur, Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 65, 1–23.
- Aiazzi, D., Fiorletta, M., Civelli, G., Chiesa, S., & Alvarado, G. E. (2004). Geología de la hoja Cañas. *Revista Geológica de América Central*, 30.
- Astorga, A., & Arias, M. (2003). Mapa de geopotencial hidrogeológico de Costa Rica: Implicaciones respecto a la gestión ambiental del desarrollo. *Revista Geológica de América Central*, 29.
- Baumgartner, P. O., Flores, K., Bandini, A. N., Girault, F., & Cruz, D. (2008). Upper Triassic to Cretaceous radiolaria from Nicaragua and northern Costa Rica-The Mesquito composite oceanic terrane. *Ofioliti*, 33(1), 1–19.
- Calvo-solano, O. D., Quesada-hernandez, L. E., & Hidalgo, H. (2018). Impactos de las sequías en el sector agropecuario del Corredor Seco Impactos de las sequías en el sector agropecuario del Corredor Seco Impacts of drought in the primary sector of the Central American Dry Corridor. September. <https://doi.org/10.15517/ma.v29i3.30828>
- CCAD. (2011). Atlas Centroamericano para la Gestión Sostenible del Territorio.
- Civelli, G., Locati, U., Bigioggero, B., Chiesa, S., Alvarado, G. E., & Mora, O. (2005). Geología de la hoja Tierras Morenas. *Revista Geológica de América Central*, 33.
- Clemons, R. E., & Burkart, B. (1969). Stratigraphy of northwestern Guatemala. *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*, 143–158.
- Depsky, N., & Pons, D. (2021). Meteorological droughts are projected to worsen in Central America ' s dry corridor throughout the 21st century OPEN ACCESS Meteorological droughts are projected to worsen in Central America ' s dry corridor throughout the 21st century.
- Dill, H. G., Bosse, H.-R., & Kassbohm, J. (2000). Mineralogical and chemical studies of volcanic-related argillaceous industrial minerals of the Central American Cordillera (western El Salvador). *Economic Geology*, 95(3), 517–538.
- Fraga, F. (2020). Central American dry corridor an exploration of the potential of a job creation strategy for Guatemala and Honduras. International Labour Organization.
- Gonzalez Figueroa, A., & Reiche, C. (2012). Marco estratégico regional para la gestión de riesgos climáticos en el sector agrícola del Corredor Seco Centroamericano. FAO, Roma (Italia).
- Gotlieb, Y., & Girón, J. D. G. (2020). The role of land use conversion in shaping the land cover of the Central American Dry Corridor. *Land Use Policy*, 104351.
- Herrera, I. R., & Orozco, E. O. (2010). Hidrogeología de Ojo de Agua, cuenca sur de la ciudad de Guatemala. *Revista Geológica de América Central*, 42.
- Hradecký, P., BABŮREK, J., Baratoux, L., BAROŇ, I., ČECH, S., Hernández, W., NOVÁK, Z., RAPPRIK, V., ŠEVČÍK, J., & VOREL, T. (2005). Estudio geológico de los peligros naturales, área de Metapán, El Salvador. Unpublished Final Report, Czech Geological Survey, Prague, Servicio Nacional de Estudios Territoriales, San Salvador, 1–107.
- INETER. (2004). Estudio Hidrogeológico e Hidrogeoquímico de la Región Central de Nicaragua.
- Instituto Nicaragüense de Energía (INE). (1995). Mapa Geológico Minero de Nicaragua.
- Losilla, M. (2001). Los acuíferos volcánicos y el desarrollo sostenible en América Central. Editorial Universidad de Costa Rica.
- Lucas, S. G., & Alvarado, G. E. (1995). El proboscídeo *Rhynchotherium blicki* (Mioceno Tardío) del oriente de Guatemala. *Revista Geológica de América Central*, 18.
- PANTIĆ, T. P., MANDIĆ, M., Samolov, K., & izvorista se nalaze u Mladenovcu, V. (2016). Hidrogeologija i vodoprivredna problematika na području Kosmaja, Mladenovca, Smedereva i Smederevske Palanke. *Vodoprivreda*, 48(282–284), 267–275.
- Peralta, O., Carrazón, J., & Zelaya, C. A. (2012). Buenas prácticas para la seguridad alimentaria y la gestión de riesgos. Publicado Por: Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura (FAO), 53.
- Pérez, C. L. (2009). Estructura geológica del Valle de la Ciudad de Guatemala interpretada mediante un modelo de cuenca por distensión. *Revista Geológica de América Central*, 41.
- Peruzza, L., Esposito, E., Rodriguez Garcia, F. E., Garcia Castro, R. A., Santos, P., Marroquin, G., Mixco, L., Torres Bernhard, L., Torres, R., & Hernandez, D. A. (2021). MARCA-GEHN, a prototype macroseismic archive of four Central America countries. *Bollettino Di Geofisica Teorica Ed Applicata*, 62.
- Quesada-Hernandez, L. E., Calvo-Solano, O. D., Hidalgo, H. G., Perez-Briceno, P. M., & Alfaro, E. J. (2019). Dynamical delimitation of the Central American Dry Corridor (CADC) using drought indices and aridity values. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 43(5), 627–642.
- Struckmeier, W. F. . (1995). Hydrogeological Maps: A guide and standard legend. IAH.
- UNESCO. (1983). International Legend for Hydrogeological Maps.
- UNESCO. (2016). Trifinio Estudio de las aguas subterráneas.
- USGS. (1986). Aquifer Nomenclature.
- USGS. (2005). Selection of Colors and Patterns for Geologic Maps of the U.S. Geological Survey.
- Van der Zee Arias, A., Meyrat, A., Picado, L., Poveda, C.,

- & Van der Zee, J. (2012). Estudio de caracterización del corredor seco centroamericano. FAO.
- World Food Program. (2002). STANDARDIZED FOOD AND LIVELIHOOD ASSESSMENT IN SUPPORT OF THE CENTRAL AMERICAN PRRO.
- Aguilar, T., & Denyer, P. (2021). Estratigrafía sedimentaria Cretácico-Paleógeno de la cuenca de Limón Sur, Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 65, 1–23.
- Aiazzi, D., Fiorletta, M., Civelli, G., Chiesa, S., & Alvarado, G. E. (2004). Geología de la hoja Cañas. *Revista Geológica de América Central*, 30.
- Astorga, A., & Arias, M. (2003). Mapa de geoaptitud hidrogeológica de Costa Rica: Implicaciones respecto a la gestión ambiental del desarrollo. *Revista Geológica de América Central*, 29.
- Baumgartner, P. O., Flores, K., Bandini, A. N., Girault, F., & Cruz, D. (2008). Upper Triassic to Cretaceous radiolaria from Nicaragua and northern Costa Rica-The Mesquito composite oceanic terrane. *Ophioliti*, 33(1), 1–19.
- Calvo-solano, O. D., Quesada-hernandez, L. E., & Hidalgo, H. (2018). Impactos de las sequías en el sector agropecuario del Corredor Seco Impacts of drought in the primary sector of the Central American Dry Corridor. September. <https://doi.org/10.15517/ma.v29i3.30828>
- CCAD. (2011). Atlas Centroamericano para la Gestion Sostenible del Territorio.
- Civelli, G., Locati, U., Bigioggero, B., Chiesa, S., Alvarado, G. E., & Mora, O. (2005). Geología de la hoja Tierras Morenas. *Revista Geológica de América Central*, 33.
- Clemons, R. E., & Burkart, B. (1969). Stratigraphy of northwestern Guatemala. *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*, 143–158.
- Depsky, N., & Pons, D. (2021). Meteorological droughts are projected to worsen in Central America 's dry corridor throughout the 21st century OPEN ACCESS Meteorological droughts are projected to worsen in Central America ' s dry corridor throughout the 21st century.
- Dill, H. G., Bosse, H.-R., & Kassbohm, J. (2000). Mineralogical and chemical studies of volcanic-related argillaceous industrial minerals of the Central American Cordillera (western El Salvador). *Economic Geology*, 95(3), 517–538.
- Fraga, F. (2020). Central American dry corridor an exploration of the potential of a job creation strategy for Guatemala and Honduras. International Labour Organization.
- Gonzalez Figueroa, A., & Reiche, C. (2012). Marco estrategico regional para la gestion de riesgos climaticos en el sector agricola del Corredor Seco Centroamericano. FAO, Roma (Italia).
- Gotlieb, Y., & Girón, J. D. G. (2020). The role of land use conversion in shaping the land cover of the Central American Dry Corridor. *Land Use Policy*, 104351.
- Herrera, I. R., & Orozco, E. O. (2010). Hidrogeología de Ojo de Agua, cuenca sur de la ciudad de Guatemala. *Revista Geológica de América Central*, 42.
- Hradecký, P., BABŮREK, J., Baratoux, L., BAROŇ, I., ČECH, S., Hernández, W., NOVÁK, Z., RAPPRICH, V., ŠEVČÍK, J., & VOREL, T. (2005). Estudio geológico de los peligros naturales, área de Metapán, El Salvador. Unpublished Final Report, Czech Geological Survey, Prague, Servicio Nacional de Estudios Territoriales, San Salvador, 1–107.
- INETER. (2004). Estudio Hidrogeológico e Hidrogeoquímico de la Región Central de Nicaragua.
- Instituto Nicaragüense de Energía (INE). (1995). Mapa Geológico Minero de Nicaragua.
- Losilla, M. (2001). Los acuíferos volcánicos y el desarrollo sostenible en América Central. Editorial Universidad de Costa Rica.
- Lucas, S. G., & Alvarado, G. E. (1995). El proboscídeo *Rhynchotherium blicki* (Mioceno Tardío) del oriente de Guatemala. *Revista Geológica de América Central*, 18.
- PANTIĆ, T. P., MANDIĆ, M., Samolov, K., & izvorista se nalaze u Mladenovcu, V. (2016). Hidrogeologija i vodoprivredna problematika na području Kosmaja, Mladenovca, Smedereva i Smederevske Palanke. *Vodoprivreda*, 48(282–284), 267–275.
- Peralta, O., Carrazón, J., & Zelaya, C. A. (2012). Buenas prácticas para la seguridad alimentaria y la gestión de riesgos. Publicado Por: Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura (FAO), 53.
- Pérez, C. L. (2009). Estructura geológica del Valle de la Ciudad de Guatemala interpretada mediante un modelo de cuenca por distensión. *Revista Geológica de América Central*, 41.
- Peruzza, L., Esposito, E., Rodriguez Garcia, F. E., Garcia Castro, R. A., Santos, P., Marroquin, G., Mixco, L., Torres Bernhard, L., Torres, R., & Hernandez, D. A. (2021). MARCA-GEHN, a prototype macroseismic archive of four Central America countries. *Bollettino Di Geofisica Teorica Ed Applicata*, 62.
- Quesada-Hernandez, L. E., Calvo-Solano, O. D., Hidalgo, H. G., Perez-Briceno, P. M., & Alfaro, E. J. (2019). Dynamical delimitation of the Central American Dry Corridor (CADC) using drought indices and aridity values. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 43(5), 627–642.
- Struckmeier, W. F. . (1995). Hydrogeological Maps: A guide and standard legend. IAH.
- UNESCO. (1983). International Legend for Hydrogeological Maps.
- UNESCO. (2016). Trifinio Estudio de las aguas subterráneas.
- USGS. (1986). Aquifer Nomenclature.

USGS. (2005). Selection of Colors and Patterns for Geologic Maps of the U.S. Geological Survey.

Van der Zee Arias, A., Meyrat, A., Picado, L., Poveda, C., & Van der Zee, J. (2012). Estudio de caracterización del corredor seco centroamericano. FAO.

World Food Program. (2002). STANDARDIZED FOOD AND LIVELIHOOD ASSESSMENT IN SUPPORT OF THE CENTRAL AMERICAN PRRO.

Balance hídrico subterráneo de la subcuenca del río Estibaná bajo distintos escenarios de cambio climático

Castrellón, María G.¹ Fábrega-Duque, José R.^{1,2}

1. Universidad Tecnológica de Panamá

2. Sistema Nacional de Investigación (SNI), SENACYT, Panamá

Resumen: En el Corredor Seco Centroamericano (CSC) la variabilidad climática afecta la cantidad de agua disponible para consumo humano y el desarrollo de actividades económicas como la agricultura y la ganadería. En Panamá los escenarios de cambio climático sugieren que las precipitaciones aumentarán hacia la segunda mitad del siglo XXI y que los eventos extremos serán más probables.

En la Región Hidrológica del Pacífico Central de Panamá, también conocida como el Arco Seco, el 90% de las precipitaciones ocurre en la estación lluviosa (mayo-diciembre) y sólo el 10% en estación seca (enero-abril). Con el cambio climático se pronostica un aumento en la frecuencia de las sequías relativas en los meses de junio y julio, especialmente en años bajo la influencia del fenómeno de El Niño. En el Arco Seco de Panamá el agua subterránea se utiliza en gran medida para el riego y el consumo humano, especialmente en las zonas rurales. Sin embargo, no se conocen los efectos del cambio climático en el balance hídrico subterráneo en esta zona del país, especialmente la recarga y la interacción entre el agua subterránea y el agua superficial.

Para investigar esto, se seleccionó la subcuenca del río Estibaná, localizada en la península de Azuero como área de estudio. Se construyó un modelo numérico de flujo de aguas subterráneas para dicha cuenca utilizando MODFLOW. Los efectos del cambio climático se evaluaron utilizando proyecciones de precipitación para mediados de siglo según diferentes escenarios socioeconómicos (SSPs) provenientes de cuatro modelos de circulación global (GCMs) del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados Fase 6 (CMIP6): BCC-CSM2-MR, CanESM5, IPSL-CM6A-LR, y MRI-ESM2-0. Todos los escenarios predicen una recarga superior a la media histórica para octubre y noviembre y ligeramente inferior para el mes de julio, mientras que para el mes de junio varía dependiendo del escenario socioeconómico y el modelo de circulación global. En general, MRI-ESM2-0 e IPSL-CM6A-LR predicen mayor y menor recarga que el escenario histórico, respectivamente. Los escenarios que predicen mayor y menor recarga también predicen un mayor y menor intercambio de agua del acuífero hacia el río, respectivamente.

Palabras clave: Panamá, balance hídrico, cambio climático.

Abstract: In the Central American Dry Corridor (CSC), climate variability affects water availability for human consumption and the development of economic activities such as agriculture and livestock. In Panama, climate change scenarios suggest that precipitation will increase towards the second half of the 21st century and that extreme events will be more likely.

In the Central Pacific Hydrologic Region of Panama, also known as the Dry Arc Region, 90% of precipitation occurs in the rainy season (May-December) and only 10% in the dry season (January-April). With climate change, however, relative droughts are expected to occur more frequently in June and July, especially in years affected by El Niño phenomenon. In the Dry Arc of Panama, groundwater is largely used for irrigation and human consumption, especially in rural areas. However, the effects of climate change on the groundwater balance in this area of the country, especially recharge and the interaction between groundwater and surface water, are not known.

To investigate this, the Estibaná River Sub-Catchment, located in the Azuero Peninsula, was selected as a study area. A numerical groundwater flow model was built for this catchment using MODFLOW. The effects of climate change were assessed using mid-century precipitation projections for different socio-economic scenarios (SSPs) from four global circulation models (GCMs) of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6): BCC-CSM2-MR, CanESM5, IPSL-CM6A-LR, and MRI-ESM2-0. All scenarios predict above-average recharge for October and November and slightly lower recharge for July, while for the month of June it varies depending on the SSP and GCM. In general, MRI-ESM2-0 and IPSL-CM6A-LR predict higher and lower recharge than the historical scenario, respectively. Also, the scenarios predicting higher and lower recharge also predict higher and lower exchange of water from the aquifer to the river, respectively.

Keywords: Panama, water balance, climate change.

Introducción

En el Corredor Seco Centroamericano (CSC) la variabilidad climática afecta la cantidad de agua disponible para consumo humano y el desarrollo de actividades económicas como la agricultura y la ganadería. En los últimos años la región ha experimentado eventos climáticos extremos como tormentas tropicales y sequías prolongadas, lo cual ha deteriorado los medios de vida de las familias que viven en la región, especialmente de los pequeños productores agrícolas (van der Zee Arias et al., 2012). Distintos modelos climáticos proyectan mayores sequías en América Central en el futuro (Imbach et al., 2017) y se espera una disminución de la aptitud y rendimiento en la región para el cultivo de granos básicos como (frijol, maíz, arroz y café) hacia finales de siglo (Donatti et al., 2019).

En la Región Hídrica del Pacífico Central de Panamá, también conocida como el Arco Seco, el 90% de las precipitaciones ocurren en la estación lluviosa y sólo el 10% en estación seca, la cual puede extenderse de cinco a siete meses en años en que se da el fenómeno de El Niño (Souifer, 2010). Estas sequías prolongadas causan disminución en el caudal de los ríos y niveles freáticos, con algunos pozos incluso llegando a secarse, lo que afecta en gran medida la disponibilidad de agua para el consumo humano y el desarrollo de actividades socioeconómicas en esta región del país (Castrellon Romero, 2018). Al igual que en otras zonas del CSC, la sequía en el Arco Seco de Panamá, y en la península de Azuero en particular, es más bien un fenómeno ecológico-social que un fenómeno hídrico ya que es causada por el mal manejo del uso de suelo y una gestión ineficiente de los recursos hídricos (van der Zee Arias et al., 2012).

Aunque en Panamá los escenarios de cambio climático sugieren que las precipitaciones aumentarán hacia la segunda mitad del siglo XXI (Fábrega et al., 2013; Kusunoki et al., 2019), para la región central del país se esperan disminuciones en los acumulados de precipitación con

condiciones de sequías relativas en los meses de junio y julio, especialmente en años bajo la influencia del fenómeno de El Niño (MIAMBIENTE & PNUD, 2018). A medida que los patrones de precipitación se desvían de los patrones históricos debido al cambio climático, es crucial entender y cuantificar sus efectos en el balance hídrico, especialmente, la recarga a las aguas subterráneas y la interacción río-acuífero, en áreas vulnerables de Panamá como el Arco Seco. Para investigar esto se seleccionó la subcuenca del río Estibaná, localizada en el centro de la península de Azuero, al suroeste del Arco Seco, como caso de estudio y se construyó un modelo numérico de flujo de aguas subterráneas para la misma. Con este modelo se simuló y evaluó los efectos del cambio climático en el balance hídrico subterráneo de dicha cuenca utilizando proyecciones de precipitación para mediados de siglo provenientes del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados Fase 6 (CMIP6). Las proyecciones futuras del balance hídrico subterráneo bajo los efectos del cambio climático para esta cuenca piloto constituyen una herramienta que los tomadores de decisión pueden utilizar para determinar políticas públicas que aseguren la disponibilidad del recurso hídrico ante un futuro climático incierto, protegiendo así los medios de vida de las poblaciones más vulnerables del Arco Seco de Panamá.

Materiales y Métodos

Descripción del área de estudio

La subcuenca del río Estibaná tiene un área de 296 km² y es parte de la cuenca del río La Villa, la cual se encuentra ubicada en la parte central de la península de Azuero, en suroeste Arco Seco de Panamá (Figura 1a). La precipitación promedio es de 1694 mm al año, lo que corresponde a poco más de la mitad del promedio nacional que asciende a 2924 mm al año. En esta subcuenca las actividades socioeconómicas más importantes son la ganadería y la agricultura, siendo el arroz y el maíz los cultivos más sembrados (Martínez & Rodríguez, 2021). En el año 2012 el 76.5% del área de estudio estaba cubierta por pasto, 4.6% era zona de cultivo, mientras que los bosques sólo correspondían al 12.3% del uso de suelo.

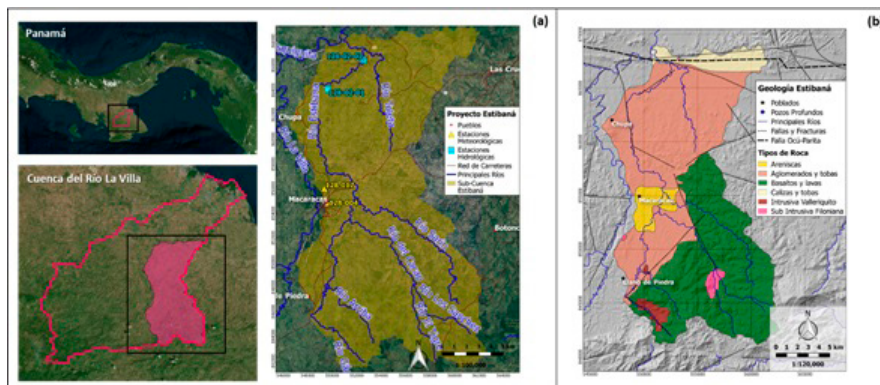


Figura 1. (a) Localización y (b) geología de la subcuenca del río Estibaná.

En el área de central de la península de Azuero predominan las rocas volcánicas, piroclásticas y sedimentos consolidados, lo que da lugar a una hidrogeología de roca fracturada de permeabilidad secundaria (Castrellón et al., 2021). En la subcuenca del río Estibaná se distinguen formaciones geológicas compuestas por roca volcánica fracturada (Playa Venado), calizas y tobos (Changuinola-Ocú) del Cretácico Superior (Figura 1b), rocas plutónicas o intrusivas del Cretácico Superior (Quema) y del Eoceno-Oligoceno (Valleriquito) y rocas piroclásticas y sedimentarias (Tonosí, Pesé, Santiago) del Oligoceno-Mioceno (Castrellon Romero et al., 2019; Ruíz, 2018). A partir de esta caracterización geológica, se identificaron seis (6) diferentes unidades hidrogeológicas (Tabla 1).

Tabla 1. Unidades hidrogeológicas de la subcuenca del río Estibaná (adaptado de Ruíz, 2018).

Símbolo	Unidad Hidrogeológica	Edad (Ma)	Tipo de Roca
K-VE	Playa Venado	70	Basaltos almohadillados
K-CHAO	Changuinola-Ocú	65	Calizas fosilíferas, tobos y corales
K2-QUEMA	Quema	?	Gabros porfídicos
TEO-RIQ	Valle Riquito	48.6	Cuarzo-dioritas y gabros
TEO-TO	Tonosí	29	Lutitas y areniscas
TO-PE	Pesé	25	Tobos, areniscas y calizas

Desarrollo del modelo de flujo de aguas subterráneas

El modelo de flujo de aguas subterráneas para la subcuenca del río Estibaná se construyó utilizando el código MODFLOW-2005 (Harbaugh, 2005) y la interfaz gráfica de acceso libre ModelMuse del USGS (Winston, 2009). Horizontalmente el área de estudio se discretizó utilizando celdas de 200 metros de lado, lo que resultó en 150 filas y 129 columnas. Verticalmente se utilizaron 10 capas confinadas. Para la discretización temporal, se utilizaron 29 periodos de estrés, uno en estado estacionario (con un paso de tiempo) y luego 28 en estado transitorio (representando cada mes desde enero de 2019 hasta abril de 2020) con pasos de tiempo diarios. Las conductividades hidráulicas de las unidades hidrogeológicas (Tabla 2) se asignaron en base a una revisión bibliográfica del rango de valores para el tipo de roca en cuestión (Singhal & Gupta, 2010) y valores estimados de un modelo hidrogeológico anterior que incluye el área de estudio (Castrellon Romero, 2018). El almacenamiento específico (SS) se calculó en base a datos obtenidos de una prueba de bombeo con pozo de observación, los cuales fueron analizados gráficamente con el método de Theis (1935). Se obtuvo un valor $SS = 1.7E-04$ m⁻¹ el cual

fue asignado como una constante para toda el área de estudio. La anisotropía vertical (VANI), que define la relación entre la conductividad hidráulica vertical y la horizontal, se asumió como unitaria ($VANI = 1.0$) para todas las unidades hidrogeológicas dentro del área de estudio.

Tabla 2. Conductividad hidráulica de las diferentes unidades hidrogeológicas del área de estudio.

Unidad Hidrogeológica	Parámetro	Conductividad Hidráulica [K] (m/d)	
		Rango Razonable	Valor Inicial
Playa Venado	Kx3	$10^{-4} - 10^{-3}$	6.0×10^{-2}
Changuinola-Ocú	Kx2	$10^{-8} - 10^{-3}$	5.0×10^{-2}
Quema	Kx1	$10^{-8} - 10^{-2}$	8.0×10^{-3}
Valle Riquito	Kx4	$10^{-4} - 10^{-3}$	8.0×10^{-3}
Tonosí	Kx6	$10^{-1} - 10^{-1}$	6.5×10^{-1}
Pesé	Kx5	$10^{-3} - 10^{-1}$	7.5×10^{-1}

Las condiciones de borde o de frontera representadas en el modelo son los ríos, la recarga y los pozos de bombeo para el abastecimiento de agua potable. Para representar los principales ríos de la subcuenca del río Estibaná, se implementó el paquete de ríos (RIV Package). La conductancia del lecho del río fue calculada asumiendo un ancho uniforme de los ríos de 5 metros, un grosor de lecho del río de 1 metro, y una conductividad hidráulica del lecho del río (Kriv) de 0.01 m/d. La longitud del río (L) fue calculada utilizando ModelMuse como la distancia lineal del río que se interseca con cada celda del modelo. El caudal de extracción o bombeo de los diferentes pozos se asignó utilizando el paquete de pozos (WEL Package) como un valor constante durante cada periodo de estrés, equivalente al total de agua bombeada durante ese mes en cada corregimiento. La recarga a la zona saturada se simuló con el paquete de recarga (RCH Package) y fue asignada como una fracción de la precipitación basada en el porcentaje de distintos tipos de cobertura boscosa que ocupa cada celda del modelo. Se utilizaron las categorías de pasto, cuerpos de agua y bosque, las cuales corresponden a baja (Frch1), media (Frch2) y alta (Frch3) capacidad de infiltración, respectivamente. Los datos de precipitación promedio para el estado estacionario fueron tomados del Departamento de Hidrometeorología de la Empresa de Transmisión Eléctrica, S. A. (ETESA, 2007) y para los periodos de estrés en estado transitorio se utilizaron los productos satelitales de la NASA (Huffman et al., 2019).

Se realizó un análisis de sensibilidad de los parámetros utilizando el software UCODE 2014 (Poeter et al., 2014) para determinar los parámetros que tienen un

Tabla 3. Valor inicial y final/calibrado de los parámetros del modelo Estibaná. Los parámetros Kx1, Kx2, Kx4 y Frch2 no se incluyeron en el proceso de calibración automática dada su baja sensibilidad.

Parámetro	Valor Inicial	Valor Calibrado	Rango Razonable	Unidades
Kx1	8.00E-03	--	1E-08 – 1E-02	m/d
Kx2	5.00E-02	--	1E-08 – 1E+03	m/d
Kx3	6.00E-02	4.66E-02	1E-04 – 1E+03	m/d
Kx4	8.00E-03	--	1E-04 – 1E+03	m/d
Kx5	7.50E-01	9.24E-01	1E-01 – 1E+01	m/d
Kx6	6.50E-01	2.19E-02	1E-03 – 1E+01	m/d
VANI	1.00E+00	1.47E+02	1E-03 – 1E+01	adimensional
Ss	1.70E-04	6.05E-05	1E-05 – 1E-03	1/m
Kriv	1.00E-02	8.79E-03	1E-03 – 1E+00	m/d
Frch1	2.00E-02	9.70E-03	1E-03 – 1E-01	adimensional
Frch2	3.00E-02	--	1E-03 – 1E-01	adimensional
Frch3	4.00E-02	5.62E-02	1E-03 – 1E-01	adimensional

mayor efecto en los resultados del modelo. Luego, los parámetros con mayor escala de sensibilidad compuesta (CSS) se seleccionaron para ser calibrados o estimados. La calibración preliminar de dichos parámetros se llevó a cabo empleando una versión modificada del método de regresión no lineal de Gauss-Newton (Hill & Tiedeman, 2007) implementada en el software UCODE 2014. La estimación final del valor de los parámetros (Tabla 3) se realizó modificando el valor de los mismos de manera manual luego de haber convergido el proceso de calibración automática.

Escenarios de cambio climático

Para simular el efecto del cambio climático en la subcuenca del río Estibaná, la recarga al modelo se calculó en base a las proyecciones de precipitación para mediados de siglo (2041-2060) provenientes de modelos de circulación global incluidos en CMIP6 (Eyring et al., 2016; Petrie et al., 2021). Se obtuvieron rasters de precipitación mensual acumulada promedio con una resolución de 2.5 minutos de los siguientes modelos climáticos de CMIP6: BCC-CSM2-MR (Xin et al., 2018), CanESM5 (Swart et al., 2019), IPSL-CM6A-LR (Boucher et al., 2018), y MRI-ESM2-0 (Yukimoto et al., 2019). Para cada

modelo, se utilizaron proyecciones de precipitación basadas en cuatro escenarios socioeconómicos (SSP) estandarizados por el Proyecto de Intercomparación de Modelos de Escenarios (ScenarioMIP) para CMIP6 (O'Neill et al., 2016; Riahi et al., 2017): Desarrollo más inclusivo que respete los límites medioambientales percibidos (SSP1-2.6); tendencias sociales, económicas y tecnológicas que no se apartan mucho de los patrones históricos (SSP2-4.5); resurgimiento del nacionalismo y los conflictos regionales (SSP3-7.0); y adopción de estilos de vida que consumen muchos recursos y energía en todo el mundo (SSP5-8.5).

Para comparar los escenarios de proyecciones climáticas futuras con los patrones históricos y el escenario base (año 2018), se corrió una simulación en la cual la recarga se calculó en base a rasters de precipitación acumulada promedio mensual desde 1980 hasta 2013, los cuales se obtuvieron de productos satelitales de la NASA (TRMM, 2011).

Resultados

La variación proyectada de los principales componentes del balance hídrico en la subcuenca del río Estibaná para los escenarios climáticos de mediados de siglo (2041-2060) se muestra en la Figura 2. Se observa que en cuanto a su temporalidad, las tendencias de la recarga a las aguas subterráneas (Figura 2a) de

los escenarios futuros de recarga siguen el patrón del comportamiento histórico. Todos los escenarios predicen una recarga superior a la media histórica para los meses octubre y noviembre, y ligeramente inferior para el mes de julio. En el caso del mes de junio, la recarga simulada utilizando la precipitación proveniente de los modelos CanESM5 y MRI-ESM2-0 predice una tasa de recarga más alta que la histórica para todas las SSP mientras que IPSL-CM6A-LR predice una tasa de recarga menor que la histórica para todos los SSP. El intercambio de agua del acuífero al río ocurre siguiendo un patrón muy similar al histórico y al de línea base (año 2019) y los escenarios presentan muy poca variabilidad entre unos y otros (Figura 2b). Los escenarios que predicen una mayor recarga también predicen un mayor intercambio del acuífero al río y viceversa. De esta manera, los

caudales base más bajos son producidos por los escenarios de IPSL-CM6A-LR mientras que los más altos están dados por MRI-ESM2-0. La variación en el cambio en el almacenamiento del acuífero (Figura 2c) refleja directamente las variaciones en la recarga (Figura 2a), siendo los meses con mayor recarga los que más almacenamiento (positivo) registran. Por otro lado los meses en los que la recarga es baja o nula, se registra un cambio negativo en el almacenamiento del acuífero, es decir que el acuífero pierde agua. Todos los escenarios presentan una gran variabilidad en el cambio de almacenamiento para los meses húmedos del año (mayo a diciembre), mientras que para los meses secos (de enero a abril) todos los escenarios climáticos predicen un cambio en el almacenamiento de alrededor -40 millones de metros cúbicos al mes, lo cual es muy similar al valor histórico.

Discusión y Conclusiones

Los balances hídricos subterráneos simulados utilizando los escenarios de cambio climático sugieren que en general la tasa de recarga al acuífero será superior a la media histórica para los meses más húmedos del año (octubre y noviembre), mientras que para mediados de año (mes de julio) la tasa de recarga será menor que el promedio histórico. Esto está en línea con el aumento esperado de las precipitaciones y los eventos extremos en Panamá para la segunda mitad del siglo XXI (Kusunoki et al., 2019) y el aumento en la frecuencia de las sequías relativas a mediados de año (MIAMBIENTE & PNUD, 2018). Debido a que la recarga en esta simulación es asumida como un factor lineal de la precipitación que entra directamente a la zona saturada del modelo, es de esperar que los meses con más precipitación sean los que muestren más recarga y viceversa. Para estudiar con más detalle el cambio en los patrones de recarga debido al cambio climático, debería incluirse en el modelo la simulación la zona no saturada o vadosa.

El intercambio de agua entre del acuífero al río varía directamente con los cambios en la recarga a las aguas subterráneas, siendo los escenarios que predicen una mayor recarga también predicen un mayor caudal base del río y viceversa. Sin embargo, la respuesta del modelo a los cambios en la precipitación/recarga,

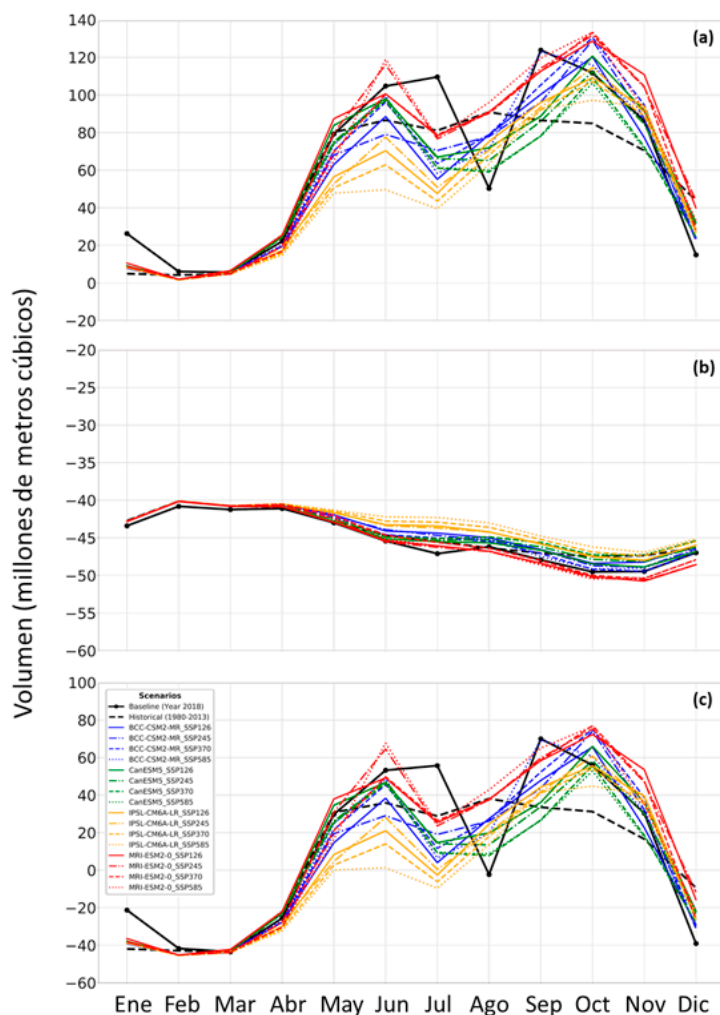


Figura 2. Variación mensual en (a) la recarga, (b) el intercambio de flujo entre el río y el acuífero, y (c) el cambio en el almacenamiento del acuífero como resultado de la simulación de los diferentes escenarios de cambio climático para la subcuenca del río Estibáná.

especialmente el intercambio de agua del acuífero al río, ocurre casi de inmediato cuando en realidad se ha observado que estos cambios tardan de dos a tres meses en reflejarse (Castrellon Romero et al., 2019). Este comportamiento se podría mejorar representando procesos como flujo en la zona no saturada y evapotranspiración en función de la cobertura boscosa.

Los resultados presentados en este estudio, aunque preliminares, muestran que el patrón de recarga durante el año 2018 (escenario base) se asemeja más al comportamiento de los escenarios de cambio climático que al comportamiento histórico, lo que refleja que en esta región del Arco Seco ya se están experimentando los efectos del cambio climático que se esperan para mediados de siglo (2041-2060). Por lo tanto, para alcanzar la seguridad hídrica y proteger los medios de vida de los habitantes en la región, es imperativo que las autoridades y los actores interesados empiecen a implementen estrategias para mitigar los efectos adversos de la variabilidad climática, como la cosecha de agua lluvia y la recarga artificial de acuíferos, antes de que sea demasiado tarde.

Agradecimientos

Agradecemos a la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) y al Sistema Nacional de Investigación de Panamá por apoyar a los investigadores de nuestro equipo. También agradecemos al Programa Mundial de Investigación Climática por la coordinación y promoción de CMIP6 y a los grupos de modelación climática por producir y poner a disposición los resultados de sus modelos.

Referencias

Boucher, O., Denvil, S., Levvasseur, G., Cozic, A., Caubel, A., Foujols, M.-A., Meurdesoif, Y., Cadule, P., Devilliers, M., Ghattas, J., Lebas, N., Lurton, T., Mellul, L., Musat, I., Mignot, J., & Cheruy, F. (2018). IPSL IPSL-CM6A-LR model output prepared for CMIP6 CMIP. Earth System Grid Federation. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.1534>

Castrellón, M. G., Muñoz, M., Guerra-Chanis, G., Leiva, J. A., Foglia, L., & Fábrega, J. (2021). Las aguas subterráneas en el Arco Seco de Panamá: Un tesoro por explorar. In J. Sanchez-Galán & D. Murillo-González (Eds.), Congreso Nacional de Ciencia y

Tecnología – APANAC (pp. 113–119). Universidad Tecnológica de Panama. <https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3180>

Castrellon Romero, M. G. (2018). Characterization and Modeling of a Tropical Groundwater Basin: La Villa Watershed, Panama. <https://search.proquest.com/openview/5d2795a1c9f10564fbcad7c2e95b1c0a/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>

Castrellon Romero, M. G., Fabrega, J. R., Foglia, L., Mojica, A., Ruiz, A., & Saavedra, S. (2019). Groundwater Model of A Fractured Rock System As A Tool For Groundwater Management: The Estibaná Sub-Catchment, Azuero Peninsula, Panama. In L. Calvo (Ed.), The Conference Proceedings of the 38th IAHR Congress "Water Connecting the World." IAHR. <https://doi.org/https://doi.org/10.3850/38WC092019-1794>

Donatti, C. I., Harvey, C. A., Martinez-Rodriguez, M. R., Vignola, R., & Rodriguez, C. M. (2019). Vulnerability of smallholder farmers to climate change in Central America and Mexico: current knowledge and research gaps. *Climate and Development*, 11(3), 264–286. https://doi.org/10.1080/17565529.2018.1442796/SUPPL_FILE/TCLD_A_1442796_SM1457.DOCX

ETESA. (2007). Mapa de Isoyetas Anuales (1971-2002). ETESA.

Eyring, V., Bony, S., Meehl, G. A., Senior, C. A., Stevens, B., Stouffer, R. J., & Taylor, K. E. (2016). Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geoscientific Model Development*, 9(5), 1937–1958. <https://doi.org/10.5194/GMD-9-1937-2016>

Fábrega, J., Nakaegawa, T., Pinzón, R., Nakayama, K., & Arakawa, O. (2013). Hydroclimate projections for Panama in the late 21st Century. *Hydrological Research Letters*, 7(2), 23–29. <https://doi.org/10.3178/hrl.7.23>

Harbaugh, A. W. (2005). MODFLOW-2005, The U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model—the Ground-Water Flow Process: U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A16.

Hill, M. C., & Tiedeman, C. R. (2007). Effective Groundwater Model Calibration. John Wiley & Sons, Inc.

Huffman, G. J., Stocker, E. F., Bolvin, D. T., Nelkin, E. J., & Tan, J. (2019). GPM IMERG Final Precipitation L3 1 month 0.1 degree x 0.1 degree V06. Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC). 10.5067/GPM/IMERG/3B-MONTH/06

Imbach, P., Beardsley, M., Bouroncle, C., Medellín, C., Läderach, P., Hidalgo, H., Alfaro, E., van Etten, J., Allan,

- R., Hemming, D., Stone, R., Hannah, L., & Donatti, C. I. (2017). Climate change, ecosystems and smallholder agriculture in Central America: an introduction to the special issue. *Climatic Change* 2017 141:1, 141(1), 1–12. <https://doi.org/10.1007/S10584-017-1920-5>
- Kusunoki, S., Nakaegawa, T., Pinzón, R., Sanchez-Galan, J. E., & Fábrega, J. R. (2019). Future precipitation changes over Panama projected with the atmospheric global model MRI-AGCM3.2. *Climate Dynamics*, 53(7–8), 5019–5034. <https://doi.org/10.1007/s00382-019-04842-w>
- Martínez, A. A., & Rodríguez, Z. S. (2021). Balance hídrico de la subcuenca del río Estibaná.
- MIAMBIENTE, & PNUD. (2018). Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático y Primer Informe Bial de Actualización para Panamá.
- O'Neill, B. C., Tebaldi, C., van Vuuren, D. P., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., Knutti, R., Kriegler, E., Lamarque, J.-F., Lowe, J., Meehl, G. A., Moss, R., Riahi, K., & Sanderson, B. M. (2016). The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geosci. Model Dev*, 9, 3461–3482. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-3461-2016>
- Petrie, R., Denvil, S., Ames, S., Levavasseur, G., Fiore, S., Allen, C., Antonio, F., Berger, K., Bretonnière, P. A., Cinquini, L., Dart, E., Dwarakanath, P., Druken, K., Evans, B., Franchistéguy, L., Gardoll, S., Gerbier, E., Greenslade, M., Hassell, D., ... Wagner, R. (2021). Coordinating an operational data distribution network for CMIP6 data. *Geoscientific Model Development*, 14(1), 629–644. <https://doi.org/10.5194/GMD-14-629-2021>
- Poeter, E. P., Hill, M. C., Lu, D., Tiedeman, C. R., & Mehl, S. (2014). UCODE 2014, with New Capabilities to Define Parameters Unique to Predictions, Calculate Weights using Simulated Values, Estimate Parameters with SVD, Evaluate Uncertainty with MCMC, and More.
- Riahi, K., van Vuuren, D. P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B. C., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., Fricko, O., Lutz, W., Popp, A., Cuaresma, J. C., KC, S., Leimbach, M., Jiang, L., Kram, T., Rao, S., Emmerling, J., ... Tavoni, M. (2017). The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change*, 42, 153–168. <https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2016.05.009>
- Ruíz, A. E. (2018). Geología del Río Estibaná, Reporte Final.
- Singhal, B. B. S., & Gupta, R. P. (2010). Applied Hydrogeology of Fractured Rocks. In *Applied Hydrogeology of Fractured Rocks (Second Edi)*. Springer. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Souifer, A. (2010). Delimitación de Acuíferos y establecimiento de zonas de recarga, para identificar su vulnerabilidad y el desarrollo de una estrategia para su protección y conservación en el Arco Seco del país.
- Swart, N. C., Cole, J. N. S., Kharin, V. v, Lazare, M., Scinocca, J. F., Gillett, N. P., Anstey, J., Arora, V., Christian, J. R., Jiao, Y., Lee, W. G., Majaess, F., Saenko, O. A., Seiler, C., Seinen, C., Shao, A., Solheim, L., von Salzen, K., Yang, D., ... Sigmond, M. (2019). CCCma CanESM5 model output prepared for CMIP6 ScenarioMIP. Earth System Grid Federation. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.1317>
- Theis, C. v. (1935). The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using ground-water storage. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 16(2), 519–524.
- Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM). (2011). TRMM (TMPA/3B43) Rainfall Estimate L3 1 month 0.25 degree x 0.25 degree V7 (TRMM_3B43). Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC). https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/TRMM_3B43_7/summary
- van der Zee Arias, A., van der Zee, J., Meyrat, A., Poveda, C., Picado, L., Castillo Vargas, J. C., Zelaya, C. A., & Meijer, S. (2012). Estudio de Caracterización del Corredor Seco Centroamericano.
- Winston, R. B. (2009). ModelMuse: A Graphical User Interface for MODFLOW-2005 and PHAST. In *U.S. Geological Survey Techniques and Methods* 6-A29. <http://pubs.usgs.gov/tm/tm6A29/tm6A29.pdf>
- Xin, X., Zhang, J., Zhang, F., Wu, T., Shi, X., Li, J., Chu, M., Liu, Q., Yan, J., Ma, Q., & Wei, M. (2018). BCC BCC-CSM2MR model output prepared for CMIP6 CMIP. Earth System Grid Federation. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.1725>
- Yukimoto, S., Koshiro, T., Kawai, H., Oshima, N., Yoshida, K., Urakawa, S., Tsujino, H., Deushi, M., Tanaka, T., Hosaka, M., Yoshimura, H., Shindo, E., Mizuta, R., Ishii, M., Obata, A., & Adachi, Y. (2019). MRI MRI-ESM2.0 model output prepared for CMIP6 CMIP. Earth System Grid Federation. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.621>

Gestión de Riesgos Asociados al Agua, en el Corredor Seco Centroamericano (CSC)

Luna Aroche, J.¹, Toruño, M.², D'Trinidad, K.² Gutiérrez, R.³, Ruíz, M.⁴, Castro, R.¹

1. Universidad de San Carlos de Guatemala. Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas. Escuela de Estudios de Postgrado, Facultad de Ingeniería.
2. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua. Instituto de Geología y Geofísica.
3. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León. Centro Universitario Regional de Somoto.
4. Universidad Nacional Autónoma de Honduras

Resumen: Los Riesgos asociados al agua se derivan principalmente de la calidad y disponibilidad del agua. Se considera que en el corredor seco la precipitación pluvial es más baja que en otras regiones, en cada uno de los países investigados, y la disponibilidad del agua está en función de la precipitación pluvial y su variabilidad estacional.

La escasez es concebida ampliamente como una variable definitoria de inseguridad de agua, sin embargo, la escasez es inducida por malas políticas de gestión de los recursos hídricos. Los especialistas en recursos hídricos suelen evaluar la escasez mediante la relación de población versus agua disponible, esto incluye los usos directos; abastecimientos, agricultura, industria, energía y medio ambiente. Es importante mencionar que la escasez está muy ligada al crecimiento demográfico alto, lo que reduce la disponibilidad de agua per cápita.

La sequía es un fenómeno que puede desencadenar numerosas crisis humanitarias y desastres con impactos sociales, económicos, ambientales y productivos (Mansilla, 2010).

El denominado Corredor Seco Centroamericano (CSC) se caracteriza por una errática distribución de la precipitación, dada por la interacción entre el relieve montañoso, a lo largo de la vertiente Pacífica y los fenómenos climatológicos propios de la zona. Estas anomalías se traducen en una prolongada época seca y recurrentes sequías durante la época lluviosa debido a la prolongación de la canícula o anomalías en la duración de la temporada (Calvo-Solano, Quesada Hernández, Hidalgo, & Gotlieb, 2018).

Las políticas públicas y el marco normativo regional, en lo relacionado a los riesgos asociados a los recursos hídricos, están estrechamente relacionados con los temas de salud y de seguridad alimentaria en general, especialmente con las zonas que forman parte del Corredor Seco Centroamericano.

Es importante mencionar que todo marco normativo regional se deriva del marco internacional vigente en lo relacionado a la Gestión de Riesgos de Desastres como son: el Marco de Sendai, los Objetivos de Desarrollo Sostenible, la Política Centroamericana de Gestión Integral del Riesgo, entre otros instrumentos regionales para sectores específicos como agricultura y seguridad alimentaria.

Palabras clave: Riesgos, sequía, legislación, adaptación, escasez

Abstract: The risks associated with water derive mainly from the quality and availability of water. It is considered that in the dry corridor rainfall is lower than in other regions, in each of the countries investigated, and the availability of water is a function of rainfall and its seasonal variability.

Scarcity is widely conceived as a defining variable of water insecurity, yet scarcity is induced by poor water resource management policies. Specialists in water resources usually assess scarcity through the ratio of population versus available water, this includes direct uses; supplies, agriculture, industry, energy and the environment. It is important to mention that scarcity is closely linked to high population growth, which reduces the availability of water per capita.

Drought is a phenomenon that can trigger numerous humanitarian crises and disasters with social, economic, environmental and productive impacts (Mansilla, 2010).

The so-called Central American Dry Corridor (CSC) is characterized by an erratic distribution of precipitation, given by the interaction between the mountainous relief, along the Pacific slope, and the climatological phenomena typical of the area. These anomalies translate into a prolonged dry season and recurrent droughts during the rainy season due to the prolongation of the heat wave or abnormalities in the duration of the season (Calvo-Solano, Quesada Hernández, Hidalgo, & Gotlieb, 2018).

Public policies and the regional regulatory framework, in relation to the risks associated with water resources, are closely related to health and food security issues in general, especially with the areas that are part of the Central American Dry Corridor.

It is important to mention that all regional regulatory framework is derived from the current international framework in relation to Disaster Risk Management, such as: the Sendai Framework, the Sustainable Development Goals, the Central American Policy for Comprehensive Risk Management, among other instruments. regional for specific sectors such as agriculture and food security

Keywords: Risks, drought, legislation, adaptation, scarcity

Introducción

El objetivo principal de este documento es revisar y sistematizar la información relacionada con los Riesgos Asociados al Agua en un sector de Centroamérica, que por sus características de precipitación y disponibilidad del agua es denominado Corredor Seco Centroamericano.

La información permitirá que futuras investigaciones consideren todos los elementos o acciones necesarias para que se logre un desarrollo integral y se encuentren soluciones que tiendan a reducir los Riesgos Asociados al Agua.

Se realiza aquí una revisión de los temas específicos: Disponibilidad de agua, Riesgos asociados al agua, Medidas de adaptación, Políticas públicas.

Método

El presente documento consta de cinco acápite los cuales se abordan a continuación:

A. Disponibilidad de agua en el corredor seco centroamericano

La región se caracteriza por una errática distribución de la precipitación, dada por la interacción entre el relieve montañoso a lo largo de la vertiente Pacífica y los fenómenos climatológicos propios de la zona. Estas anomalías se traducen en una prolongada época seca y recurrentes sequías durante la época lluviosa, debido a la prolongación de la canícula o anomalías en la duración de la temporada (Calvo-Solano, Quesada Hernández, Hidalgo, & Gotlieb, 2018).

Existe una región de baja precipitación pluvial de acuerdo con el ATLAS CLIMATOLÓGICO E HIDROLÓGICO DEL ISTMO CENTROAMERICANO (Instituto Panamericano de Geografía e Historia, 1976).

El mapa de la Figura No. 1 hace énfasis en Isoyetas trazadas a 500, 1000 y 1600 milímetros de precipitación anual.

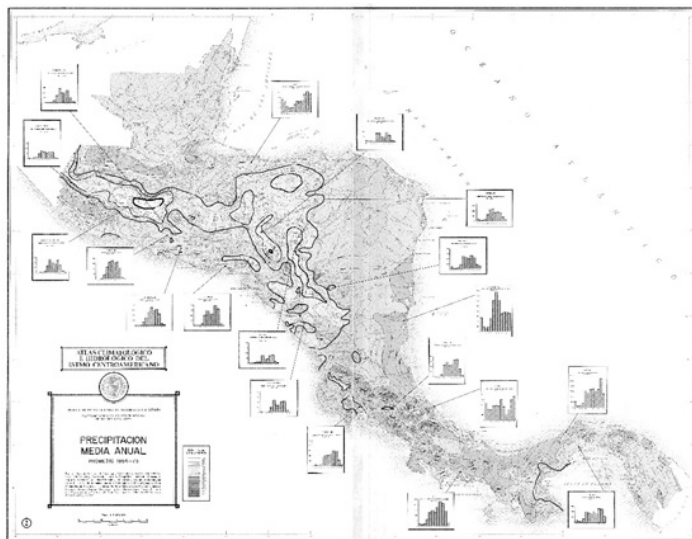


Figura No.1 Mapa de Precipitación media anual 1954-1973.
Instituto Panamericano de Geografía e Historia (1976)

y Degradación Ambiental - PREVDA - ALA/2005/017-550, financiado por la Unión Europea, generó un Mapa Centroamericano en el que indica déficit de lluvia menor a 1,500 milímetros anuales genera problemas de disponibilidad de agua. (PREVDA, 2010).

En Guatemala la precipitación en el sector considerado como Corredor Seco es menor a 1,000.00 mm/año. de acuerdo con el ATLAS CLIMATOLÓGICO publicado por el INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGÍA, VULCANOLOGÍA, METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA - (INSIVUMEH, 2018)

El porcentaje de incertidumbre que tienen los datos finales de disponibilidad hídrica no permiten generar un modelo representativo del fenómeno real.

En el estudio de las variables que intervienen en el proceso, es importante agregar la información geológica y de uso del suelo, ya que permite conocer la interacción que existe con los regímenes de lluvia y los datos de infiltración, así como los de calidad del agua y otros parámetros climáticos como radiación solar, horas de sol, presión atmosférica y altitud.

Pais	Guatemala	El Salvador	Honduras	Nicaragua	Costa Rica	Panamá
Disp. 2015 (Mm ³)	110,340	17,971	87,653	57,669	113,100	191,096
Disp. 2005 (Mm ³)	133,977	18,557	90,030	95,238	118,719	210,824
2015/2005	0.823574196	0.96842162	0.973598	0.6055241	0.9526697	0.9064243
Tasa %	-1.92%	-0.32%	-0.27%	-4.89%	-0.48%	-0.98%
n	100	565	133	75	195	201
Años escasez	2115	2580	2148	2090	2210	2216

Tabla 1. Disponibilidad hídrica 2005-2015. Fuente (Global Water Partnership C.A. Colom, Elisa, 2017)

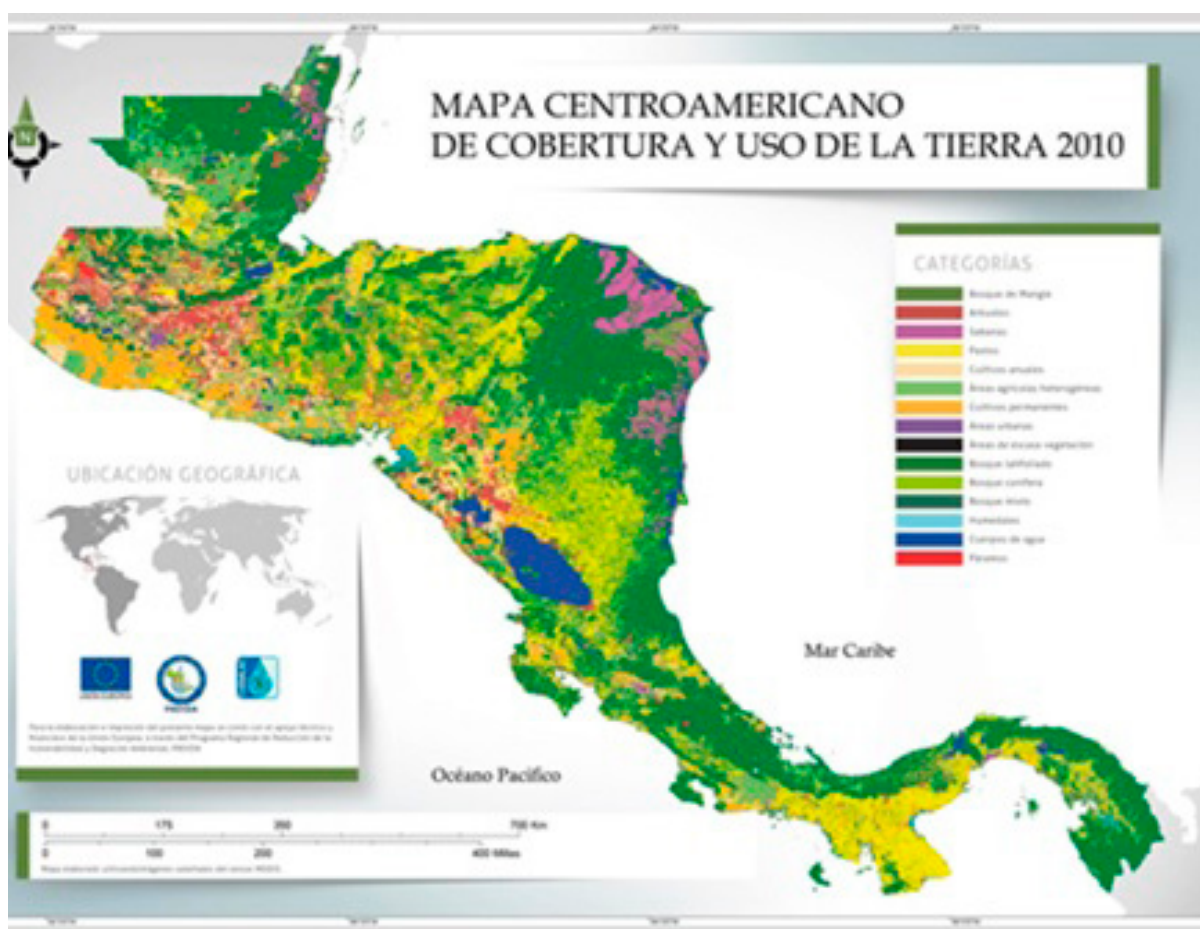


Figura 2. Mapa Centroamericano de cobertura y uso de la Tierra 2010.
Fuente: (Programa regional de reducción de la vulnerabilidad ambiental PREVDA, 2010).

B. Riesgos asociados al agua en el Corredor Seco Centroamericano

La escasez de agua es concebida ampliamente como una variable definitoria de inseguridad, sin embargo, la escasez es inducida por malas políticas de gestión de los recursos hídricos. Los especialistas en recursos hídricos suelen evaluar la escasez mediante la relación población vs agua disponible, esto incluye los usos directos; abastecimientos, agricultura, industria, energía y medio ambiente. Es importante mencionar que la escasez está muy ligada al crecimiento demográfico alto, lo que reduce la disponibilidad de agua per cápita.

El Corredor Seco Centroamericano (CSC) ha sido definido como la región tropical más sensible al cambio climático a nivel mundial según el Índice Regional de Cambio Climático (Vallejos, 2020). Es así mismo una de las zonas más vulnerables debido a la alta densidad poblacional, altos niveles de pobreza y la dependencia de su población a la disponibilidad de agua de precipitación, ya que depende de la agricultura de subsistencia.

Según el IPCC en su Quinto informe de 2014, la zona del CSC ha sido identificada como una zona de alta vulnerabilidad biofísica y de riesgos de climático debido a su exposición a eventos extremos como sequía, huracanes, tormentas tropicales, inundaciones y al evento de El Niño. Según la FAO (2012), el 79% de la población de los países centroamericanos viven en zonas secas y subhúmedas, el 80% de estas familias practican la agricultura de subsistencia y producen 96% de los granos básicos de la región.

C. Impacto de la sequía en el Corredor Seco Centroamericano

La sequía es un fenómeno que puede desencadenar numerosas crisis humanitarias y desastres con impactos sociales, económicos, ambientales y productivos (Mansilla, 2010).

En estos países la sequía tiene un comportamiento recurrente como atípico y complejo. Sin importar las particularidades de cada evento de sequía, en todos ellos pueden identificarse efectos con intensidades variables de daño o impacto sobre los ecosistemas, la disponibilidad del recurso hídrico de fuentes superficiales y subterráneas, la seguridad alimentaria y nutricional y la producción agrícola. Siendo los granos básicos y específicamente, el maíz y el frijól, dos de los principales alimentos en la dieta del segmento más pobre de la población centroamericana, las consecuencias de la sequía adquieren gran relevancia para la seguridad alimentaria y nutricional por la forma en la que puede afectar los rendimientos de esos y otros granos básicos (Vargas, 2014).

La fuerte sequía de 2014 destruyó entre un 70 y 80% de las cosechas en el corredor seco de Centroamérica, y que continuó durante el 2015 debido a las lluvias erráticas e insuficientes, que provocaron la pérdida de cosechas y muerte de ganado, agudizando la crisis de inseguridad alimentaria.

Durante los años 2015 y 2016 se dio una manifestación de la fase cálida del ENOS (Null, 2017), la cual tuvo efectos significativos asociados a la disminución de la precipitación sobre el sector agropecuario en las regiones del CSC.

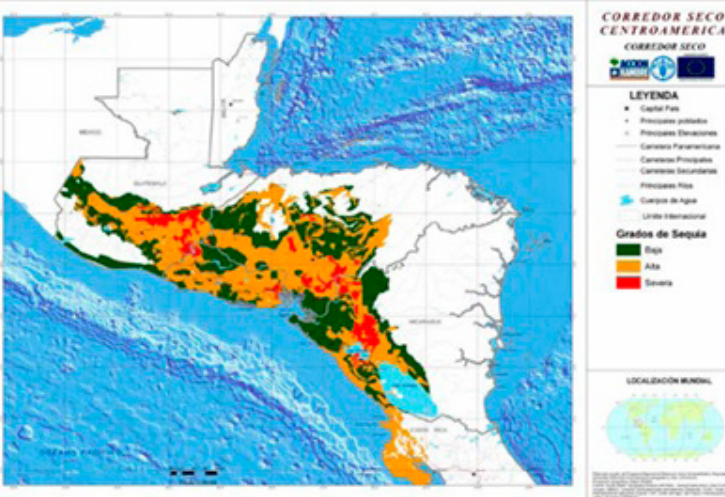


Figura 3. Mapa indicativo de los grados de sequía en el Corredor Seco Centroamericano. Fuente FAO. 2012.

Los impactos mencionados, han llevado a América Central a una situación de crisis, que se refleja en los indicadores sanitarios de los grupos en riesgo de la población centroamericana. Dentro de estos, sobresalen habitantes de zonas rurales y comunidades indígenas, cuyo medio de subsistencia y fuente principal de ingresos económicos es la actividad agrícola, y en la mayoría de los casos las cosechas son insuficientes para satisfacer sus necesidades alimentarias (FAO, s.f.).

D. Medidas de adaptación en los Recursos Hídricos del Corredor Seco Centroamericano

La adaptación constituye un elemento esencial de la respuesta de los seres humanos al cambio climático. Los impactos negativos del cambio climático en el sector de los recursos hídricos se experimentarán a nivel mundial, pero se prevé que se presentarán con mayor severidad en los países pobres en recursos, es por lo que el acceso a una

diversidad de tecnologías y prácticas de adaptación que sean apropiadas y asequibles en varios contextos es una necesidad imperiosa. La escala de estas tecnologías/prácticas de adaptación debería ir desde el nivel de la unidad familiar (por ejemplo, tratamiento de agua doméstica) pasando por la escala comunitaria (como la colecta de agua pluvial en pequeños reservorios), hasta grandes instalaciones que pueden beneficiar a una ciudad o región.

La adaptación no debe entenderse como una simple implementación de la tecnología o práctica correctas, sino que debe ser parte de una estrategia intersectorial coherente para garantizar la sostenibilidad de los recursos hídricos y el suministro de agua segura, y es por lo que se toman en consideración los instrumentos para la planificación y toma de decisiones para el cambio climático en dicho sector (Elliott, et al, 2011).

Las necesidades de adaptación abarcan un rango amplio de opciones que contemplan las necesidades físicas y ambientales, sociales, institucionales, de información y capacitación de recursos humanos, y de inclusión del sector privado en el proceso de adaptación (Magrin, 2015).

Para identificar las necesidades y opciones de adaptación y construir capacidades es preciso contar con información apropiada sobre el riesgo y la vulnerabilidad. Gran parte de los estudios destinados a identificar las necesidades de adaptación se han basado en el análisis del riesgo climático centrándose en las causantes de los impactos (lluvias, temperaturas, huracanes) y las opciones para moderarlos. Sin embargo, existen causas subyacentes de la vulnerabilidad (ó determinantes socioeconómicos) como: la disponibilidad de información y el acceso a la misma, el acceso a los recursos, la capacidad financiera, las capacidades institucionales y las necesidades tecnológicas que constituyen una parte esencial de las necesidades de adaptación (Magrin, 2015).

La adaptación al cambio climático es una de las prioridades, para enfrentar la disminución de rendimientos y disponibilidad de fuentes de agua, afectadas además por sobre explotación y contaminación de aguas subterráneas y la reducción de áreas forestales.

Algunas de las acciones estratégicas que se buscan implementar, son:

- ✧ Fortalecer los Comités de Agua Potable y Saneamiento en las comunidades.
- ✧ Protección de las zonas altas de las microcuencas.
- ✧ Reforestación y manejo de la regeneración natural.
- ✧ Plan de Prevención de incendios forestales

-Seguimiento y monitoreo de los vertidos de aguas residuales provenientes de sectores domésticos y agroindustrial.

-Manejo integral de desechos sólidos.

-Actualizar e implementar los Planes de Manejo con enfoque de cuencas y Planes de Gestión Integral de los recursos hídricos.

-Desarrollo de Campañas de educación y sensibilización ambiental.

Adicionalmente algunas otras tecnologías, tales como:

-Sistemas de cosecha de agua lluvia

Una alternativa a la explotación de fuentes de agua para sistemas de riego es la cosecha de agua lluvia. El sistema se basa en la recolección del exceso de precipitación in-situ, la cual es almacenada para su posterior uso en periodos de estrés hídrico.

Simples técnicas de captación de agua, combinadas con el almacenamiento adecuado, pueden proporcionar suficientes recursos hídricos para riego en áreas pequeñas de producción.

Existen una serie de factores fundamentales a considerar al momento de implementar el sistema, los cuales requieren el soporte de análisis hidrogeológicos, utilización de estudios topográficos, e información de clima, suelos y cultivos. Entre los factores a considerar está la selección del sitio, dimensionamiento del reservorio y estimación de los costos de construcción.

La implementación de sistemas de cosecha de agua se limita a productores con la disponibilidad e idoneidad de terreno para la construcción de reservorios y en regiones con oferta de precipitación suficiente para suplir la demanda hídrica estimada.

-Mejorando la capacidad de retención de agua en el suelo

Una alternativa para los productores con capacidades limitadas para la construcción de reservorios e imposibilitados de acceder a otras fuentes de riego, es incrementar la capacidad de retención de agua del suelo. A mayor cantidad de agua retenida en el suelo, mayor cantidad de tiempo que el cultivo puede crecer entre lluvias y menor probabilidad de sufrir estrés hídrico. Adicionalmente, al incrementar la retención de agua en el suelo, podrían recargarse los acuíferos y ser factible su posterior explotación.

E. Políticas públicas relacionados a los Recursos Hídricos del Corredor Seco Centroamericano

El análisis de las políticas públicas y del marco normativo regional en lo relacionado a los riesgos asociados al agua o



Figura 4. Prioridades del Marco de Sendai. Basado en diseño de infografía (Macrovector, 2020) y (UNISDR, 2015b)

los recursos hídricos están estrechamente relacionados con los temas de salud y de seguridad alimentaria en general, especialmente con las zonas que forman parte del Corredor Seco Centroamericano, por lo que este acápite está dedicado a las normativas públicas regionales.

El Marco de Sendai (UNISDR, 2015a) establece 4 prioridades de acción que deben ser adoptadas por los Estados miembros para lograr reducir el impacto negativo que traen consigo los Desastres.

Otra de las herramientas regionales a tomar en cuenta para la planificación y seguimiento para los países ya sea a nivel nacional o local es la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, aprobada en septiembre de 2015

por la Asamblea General de las Naciones Unidas, presenta una nueva oportunidad auténtica para América Latina y el Caribe. Esta Agenda plantea 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y cada uno de ellos está asociados a Metas, Objetivos e indicadores (CEPAL, 2018) muchos de estos ODS están directa o indirectamente ligados al agua, a continuación, se hace referencia a los relacionados al contexto que este documento propone:

-ODS2.Hambre Cero. Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible.

-ODS6. Agua limpia y saneamiento. Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos.

-ODS11. Ciudades y comunidades Sostenibles. Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.

-ODS12. Producción y Consumo Responsables. Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.

δ ODS13. Acción por el Clima. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.

δ ODS15. Vida de Ecosistemas Terrestres. Proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad.

La Política Centroamericana de Gestión Integral de Riesgos de Desastres, documento armonizado con el Marco de Sendai con el objetivo de contribuir al Desarrollo Sostenible y Seguro de Centroamérica (CEPREDENAC, 2017)

PCGIR se estableció como el instrumento de política pública regional de mayor nivel en temas de Gestión de Riesgos de Desastres y es parte de uno de los cinco ejes de la agenda del SICA, en la que se establecen las siguientes cinco prioridades.

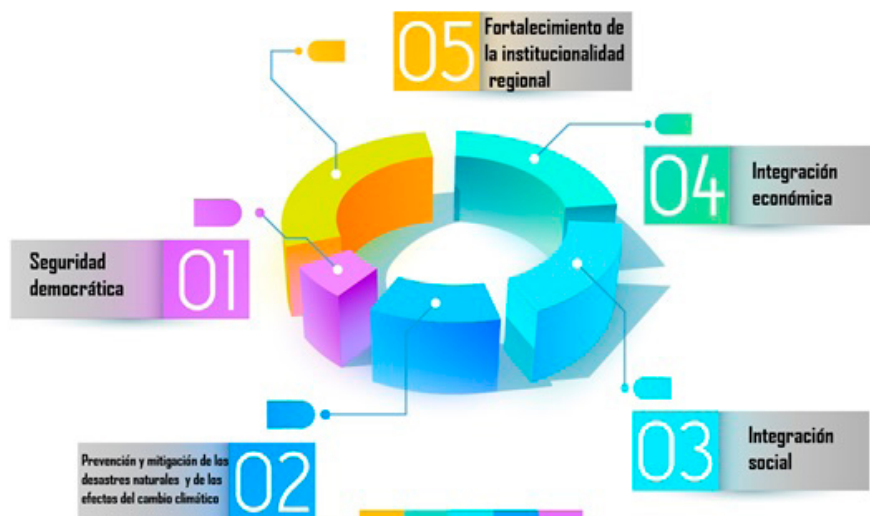


Figura No. 5. Ejes de la agenda del SICA (CEPREDENAC, 2017) y Basado en diseño de infografía (Starline, 2020a)

Todas las acciones que se desarrollan en el marco de esta política se acogerán a la normativa jurídica regional establecida en el Protocolo de Tegucigalpa, la Carta de la ODECA, el Convenio Constitutivo del CEPREDENAC, así como las normas nacionales y multilaterales, relacionadas con su ejecución velando por el cumplimiento de los principios, garantizando la prevención para el disfrute de los derechos de las comunidades de la Región Centroamericana para un ambiente seguro y sostenible.

Entre los principios a cumplir se puede mencionar los siguientes.

Entre los otros instrumentos regionales se puede mencionar a La Estrategia Regional para la Gestión del Riesgo de Desastres en el Sector Agrícola y la Seguridad Alimentaria y Nutricional en América Latina y el Caribe (2018-2030) (CELAC, 2018), la Estrategia Centroamericana de Desarrollo Rural Territorial (ECADERT) propuesta por el (Concejo Agropecuario Centroamericano, 2010) y la Estrategia de Montevideo para la implementación de la Agenda Regional de Género en el Marco del Desarrollo Sostenible hacia 2030.

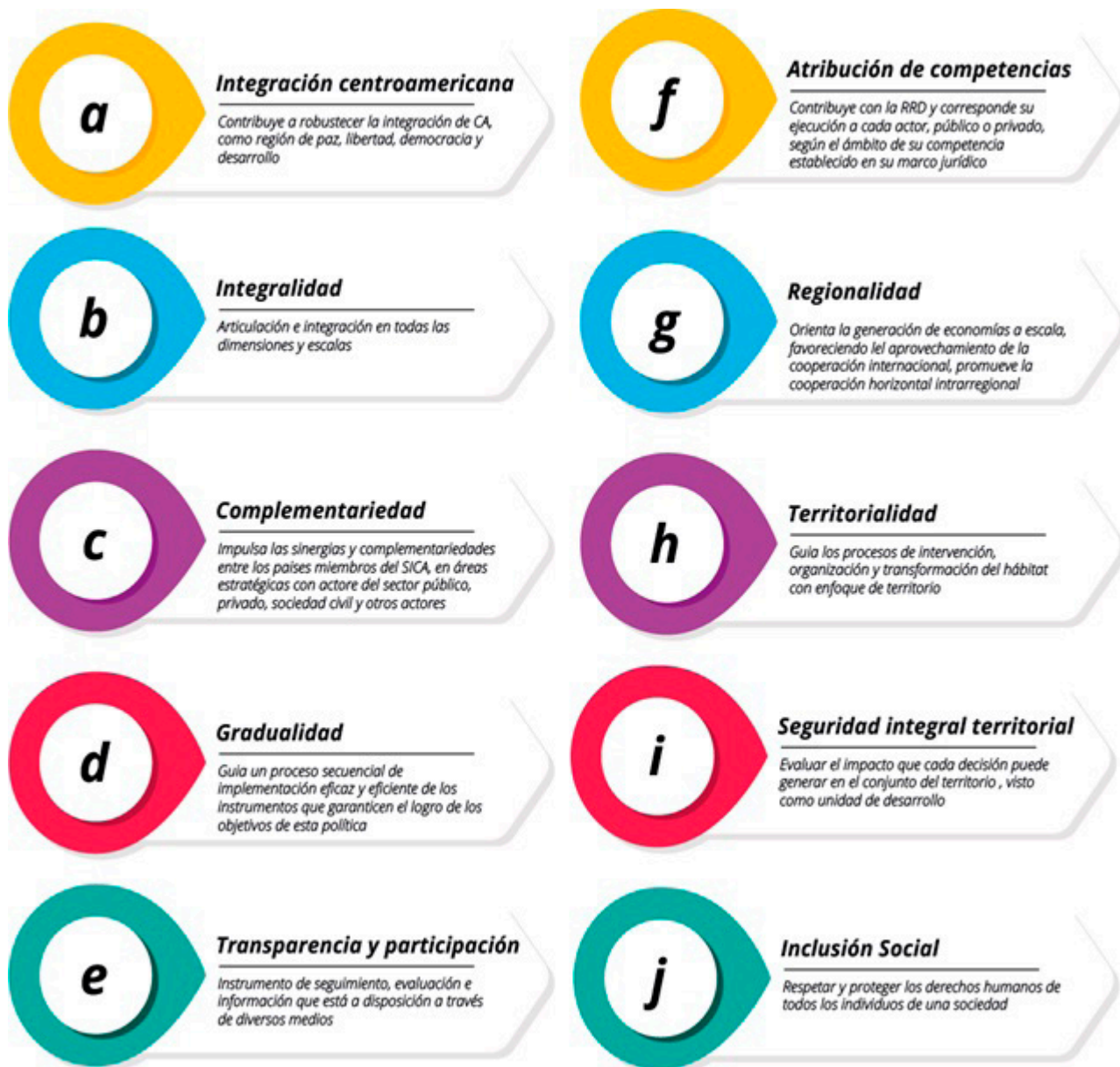


Figura 6. Principios de la PCGIR. (CEPREDENAC, 2017). Adaptado de infografía (Freepik, 2019)

Conclusiones y Recomendaciones:

1. Aplicar la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos -GIRH- herramienta fundamental que permite evaluar los aspectos de oferta y demanda del agua.
2. Armonizar los aspectos legales, técnicos, ambientales y sociales para lograr un desarrollo integral y gestión de recursos hídricos en el CSC.
3. Cumplir con las leyes y reglamentos que promuevan el buen uso, reutilización y manejo integral del recurso agua.
4. Implementar metodología agrícola para hacer eficiente el uso y manejo del agua para riego, teniendo control de consumos y reutilización del recurso.
5. Las técnicas de cosecha de lluvia, la mejora en la retención de agua en el suelo y la recarga controlada de acuíferos podría aportar soluciones o mitigar los impactos de la sequía en el CSC.
6. Desarrollar programas de reforestación y conservación en zonas donde se garantice la recarga hídrica de los acuíferos, zonas de recarga hídrica natural son los bosques los cuales deberán ser sujetos a planes de manejo especial y ser incentivados para su protección y conservación, recuperar áreas sin cobertura forestales.
7. Concientizar por medio de las empresas prestadoras de servicio, a su población servida, para lograr un mejor manejo del recurso hídrico por medio de campañas que se enfoquen especialmente al cuidado del recurso, en puntos como: inspeccionar los consumos y fugas dentro de sus sistemas, tener sistemas de almacenaje y aprovechamiento de aguas lluvias para ser reutilizadas, conservación del medio ambiente.
8. Proponer y desarrollar estudios hidrogeológicos en cuencas y regiones incluidas en el CSC.

Agradecimientos

A los compañeros de HidroREDCA, por su apoyo en la recopilación de información y en la redacción del presente documento, especialmente a los coordinadores y profesores de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.

Referencias

Acción contra el hambre, FAO. (2014). la sequía en el corredor Seco Centroamericano. Guatemala.
 Asamblea General de Naciones Unidas. (2015). Agenda 2030 para desarrollo sostenible.
 CELAC. (2018). Estrategia regional para la gestión del riesgo de desastres en el sector agrícola y la seguridad alimentaria y nutricional en América Latina y el Caribe.
 CEPAL. (2001). El impacto socioeconómico y ambiental de la sequía de 2001 en Centroamérica.

CEPAL, Issue 10. (2018). La agenda 2030 y sus objetivos de desarrollo sostenible, .
 CEPREDENAC. (02 de 2021). Política Centroamericana de gestión integral de riesgo de desastres. Obtenido de cepredenac.org: <http://cepredenac.org/wp-content/upload/2021/02/pcgir-informe.pdf>
 Concejo Agropecuario Centroamericano. (2010). Estrategia Centroamericana de Desarrollo Rural Territorial.
 FAO. (2012). Estudio de Caracterización del Corredor Seco Centroamericano. Obtenido de https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/tomo_i_corredor_seco.pdf
 Freepik. (2019). Set de elementos infográficos . Obtenido de <https://www.freepik.es/vector-gratis/elementos-infografia-empresarial-icone-personas-cuatro-opciones-grafico-circulo->
 Global Water Partnership C.A., Colom, Elisa. (2017). La situación de los recursos hídricos en Centroamérica. GWP Centroamérica.
 Gobierno de Guatemala. (2022). Estrategia Nacional de Sequía para Guatemala ENSG. Guatemala.
 Gobierno de Guatemala, Ministerio de Ambiente y recursos naturales. (2016). Informe de pérdidas y daños por efecto del cambio climático en Guatemala. Guatemala.
 IARNA. Gálvez, Juventino, Saubes, Nils. (2015). Balance Hidrológico de las subcuencas de la Republica de Guatemala. Guatemala: IARNA.
 INSIVUMEH. (2018). ATLAS CLIMATOLÓGICO, INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGÍA, VULCANOLOGÍA, METEOROLOGÍA E HIDROLOGIA de Guatemala. Guatemala.
 INSIVUMEH. (2014). Mapa de probabilidad de ocurrencia espacial de sequía para el período 1970 a 2014. Guatemala.
 Instituto Panamericano de Geografía e Historia . (1976). Atlas Climatológico e Hidrológico de Istmo Centroamericano (Mapa de precipitación media anual 1954-1973). En I. P. Historia, Atlas Climatológico e Hidrológico de istmo Centroamericano (Mapa de precipitación media anual 1954-1973).
 Macrovector. (2020). Elementos de infografía empresarial con icono de personas y cuatro opciones de gráfico de círculo colorido . Obtenido de <https://www.freepik.es/vector-gratis/elementos-infografia-empresarial-icone-personas-cuatro-opciones->
 Mansilla, E. (2010). Elementos y Patrones Constitutivos del Riesgo de Sequía en América Central. Angewandte Chemie International Edition, 6(11), 951–952. 951-952.
 Programa regional de reducción de la vulnerabilidad ambiental PREVDA, (2010). Atals Centroamericano para la gestión sostenible del territorio. Prevda.
 Starline. (2020). Macrovector . Obtenido de Diseño de plantilla de infografía empresarial moderna de cinco pasos : https://www.freepik.es/vector-gratis/disenio-plantilla-infografia-empresarial-moderna-cinco-pasos_10016525.htm#query=proceso&position=38

Toruño Álvarez, M. (2021). Prioridades Regionales y Subregionales sectoriales para Reducir el Riesgo de Desastres. In Maestría Latinoamericana en Gestión Integral del Riesgo de Desastres.

UNISDR. (2015). Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030. Resolución Aprobada Por La Asamblea General El 3 de Junio de 2015, 26. http://www2.ohchr.org/spanish/bodies/hrcouncil/docs/gaA.RES.60.1_Sp.pdf. Obtenido de http://www2.ohchr.org/spanish/bodies/hrcouncil/docs/gaA.RES.60.1_Sp.pdf

UNISDR. (2015). Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030. Resolución Aprobada Por La Asamblea General El 3 de Junio de 2015, 26. http://www2.ohchr.org/spanish/bodies/hrcouncil/docs/gaA.RES.60.1_Sp.pdf. Obtenido de http://www2.ohchr.org/spanish/bodies/hrcouncil/docs/gaA.RES.60.1_Sp.pdf

Vargas, A. B. (2014). Patrones de sequía en Centroamérica.

Revisión del estado de la resiliencia en comunidades rurales del Corredor Seco

Toruño Álvarez, Marjorie Isabel¹; Calderón Heyddy¹, Rubí Carlos¹, Pérez Elliot¹, Ballester Keila¹

¹Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. Instituto de Geología y Geofísica
marjorie@igg.unan.edu.ni

Resumen: La Resiliencia es un término que quizá suene muy nuevo en estos días, sin embargo, se viene hablando de esta expresión desde hace ya muchos años, y se ha abordado desde diferentes enfoques y disciplinas. Entre los autores más representativos se puede mencionar a (Rutter, 1993), (Fraser, Galinsky, & Richman, 1999), (Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna, 2017), (RAE, 2020) aunque la definición que se adopta en este trabajo es la propuesta por las Naciones Unidas en (UNISDR, 2009) como sigue: "La resiliencia de una comunidad con respecto a posibles eventos de peligro está determinada por el grado en que la comunidad tiene los recursos necesarios y es capaz de organizarse antes y durante los momentos de necesidad".

Se retoma también la definición propuesta por Twigg (2009) quien es uno de los autores más importantes para este trabajo, el que menciona que la Resiliencia del sistema o de una comunidad puede entenderse como la capacidad de absorber la presión o las fuerzas destructivas a través de la resistencia o adaptación, también como a la capacidad de gestionar o mantener ciertas funciones y estructuras básicas durante fatalidades y por último como la capacidad de recuperación después de un evento.

En este trabajo se pretende determinar el estado actual de la resiliencia comunitaria en Nicaragua en especial la ecorregión del Corredor Seco por lo que se ha propuesto un Matriz de recopilación y comparación que recoge todas las iniciativas y proyecto que se han desarrollado para fortalecer la resiliencia ante desastres en el país y la región centroamericana, clasificando cuál de los 5 componentes de la resiliencia comunitaria se ha trabajado como Gobernanza, Evaluación del Riesgo, Gestión de Riesgos y reducción de la vulnerabilidad, Conocimiento y Educación; Preparación y Respuesta, según la Metodología para evaluar resiliencia comunitaria propuesta por GOAL, (2015).

Se recoge también el contexto territorial sea esta rural, urbana o suburbana y por el alcance territorial del proyecto o estrategia desarrollada sea este municipal, departamental, nacional o regional, entre otros factores complementarios.

A partir de la revisión documental llevada a cabo hasta el momento, se puede mencionar que en Nicaragua y la región Centroamericana se han desarrollado importantes proyectos de intervención que han mejorado la comprensión y condición de las comunidades especialmente rurales en el tema de la Resiliencia Comunitaria ante Riesgos de Desastres.

Palabras clave: resiliencia, comunidades rurales, riesgo de desastres, metodología GOAL

Abstract: Resilience is a term that may sound very new nowadays, however, this concept has been talked about for many years, and has been approached from different approaches and disciplines. Some of most representative authors include (Rutter, 1993), (Fraser, Galinsky, & Richman, 1999), (International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, 2017), (RAE, 2020) Although "The resilience of a community with respect to potential hazard events is determined by the degree to which the community has the necessary resources and is able to organize itself before and during times of need."

The definition proposed by Twigg (2009), who is one of the most important authors for this work, is also taken up. It mentions that the resilience of the system or of a community can be understood as the capacity to absorb pressure or destructive forces through resistance or adaptation, as well as the capacity to manage or maintain certain basic functions and structures during disasters and, finally, as the capacity to recover after an event.

In this study we aim to determine the actual status of community resilience in Nicaragua, especially in the Dry Corridor ecoregion, so we have proposed a compilation and comparison matrix that gathers all the initiatives and projects that have been developed to strengthen resilience to disasters in the country and the Central American region, classifying which of the 5 components of community resilience have been studied as Governance, Risk Assessment, Risk Management and vulnerability reduction, Knowledge and Education; Preparedness and Response, according to the Methodology for assessing community resilience proposed by GOAL, (2015).

The territorial context is also taken into account, be it rural, urban or suburban, and the territorial reach of the project or strategy developed, be it municipal, departmental, national or regional, and other complementary factors.

The bibliographic review performed to date shows that in Nicaragua and the Central American region, important intervention

projects have been developed that have improved the understanding and condition of communities, especially rural communities, in the area of Community Resilience to Disaster Risks.

Keywords: : resilience, rural communities, disaster risk, GOAL methodology

Introducción

En los últimos 40 años se ha observado que el número de los eventos naturales que han generado desastres han aumentado en más de 70% sobre todo para el caso de los eventos hidrometeorológicos como las Inundaciones, Tormentas, Sequías y otros de acuerdo con el Análisis del total de desastres a nivel mundial presentados por tipo entre últimos 40 años desarrollado por (UNDRR & CRED, 2020), ver Figura 1.

de recopilación y comparación de los proyectos y estrategias que se han ejecutado en Nicaragua y la región, tomando en consideración los 5 componentes de la Resiliencia Comunitaria contemplados en la Herramienta de Evaluación de la Resiliencia Comunitaria propuesta por (GOAL, 2015), además del tipo de Amenaza para la cual se prepara la comunidad. También se recogen los contextos territoriales en lo



Figura 1. Análisis del total de desastres a nivel mundial presentados por tipo entre últimos 40 años, tomado del informe sobre El costo humano de los desastres Centro de Investigaciones sobre la Epidemiología de los Desastres (UNDRR & CRED, 2020).

Un análisis similar se puede observar en el reporte del Estado de los Servicios del Clima dedicado al Agua del Análisis del total de desastres a nivel mundial presentados por tipo entre últimos 40 años. Tomado de (El costo humano de los desastres Centro de Investigaciones sobre la Epidemiología de los Desastres CRED, 2020). (World Meteorological Organization, 2021).

A partir de estos reportes es que surge la necesidad de evaluar que se está haciendo en el país y en la región por mejorar las condiciones de Resiliencia para enfrentar los fenómenos que cada vez se están haciendo recurrentes y más intensos, por lo que se propone una metodología para recoger las experiencias de proyectos y estrategias desarrolladas.

Metodología

Para desarrollar el análisis se propone una Matriz

referido a rural, urbano, suburbano y el alcance territorial de los proyectos como municipal, departamental, nacional o regional y el nombre del país en que se desarrolla, además de indicar si el territorio se ubica en la ecorregión del Corredor Seco Centroamericano. Otros aspectos considerados son el año de ejecución, el organismo o institución que lo ejecuta, el nombre del proyecto y la referencia bibliográfica del documento, todo en una tabla de Microsoft Excel que permite el llenado y manejo de la matriz como se muestra en la Tabla 1.

Al terminar la llenar la Matriz de recopilación y Evaluación identificar en cuál de los componentes de la resiliencia comunitaria se ha fortalecido al territorio del Corredor Seco en Centroamérica en especial en Nicaragua, especialmente en cuales no se ha fortalecido al igual que se podrá determinar en qué territorios no se han desarrollado proyectos de fortalecimiento de la Resiliencia.

Tabla 1. Matriz de Recopilación y Comparación de los proyectos desarrollados en la Región

MATRIZ DE RECOPIACIÓN Y COMPARACIÓN															
Documento	Organismo	Proyecto	Región	CSC	Año Finalización	Zona			Amenaza	Gobernanza	COMPONENTES DE LA RESILIENCIA COMUNITARIA			Tipo de Resiliencia	Referencia
						Rural	Suburbana	Urbana			Evaluación del Riesgo	Conocimiento y Brucación	Gestión de Riesgo y Reducción de Vulnerabilidad		
Sistematización Taller Resiliencia y Medios de Vida	Save the Children	Construyendo capacidades para la seguridad alimentaria sostenible en comunidades nicaragüenses que cultivan café	Nicaragua, región centro-norte, departamentos Matagalpa y Jinotega, municipios Rancho Grande, Matagalpa, San Ramón Tuma-La Dalia, Jinotega, El Cuy y Wiwil.	✓	2015	✓			Cambio Climático / El Niño Huracanes / La Niña			✓			
	WFP / PMA	El Niño response in the Dry Corridor of Central America	El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua	✓	2018	✓			El Niño - fase seca en Centroamérica			✓			Arreaga, D. (2020). Resiliencia y Medios de Vida. Segundo Taller Informacional: Resiliencia y Medios de Vida. Retrieved from https://www.caspi.org/wp-content/uploads/2020/03/03-11-Resiliencia-y-Medios-de-Vida.pdf
	CARE Internacional en consorcio con ACH y Plan Internacional	Institucionalización de Procesos y Herramientas de Gestión de Riesgo a Sequía en Centroamérica	Honduras, Choluteca, Municipios de Manorcho, El Salvador, Municipios de la Misur, El Carmen y San Alejo	✓	2015	✓		✓	Deficit hídrico/ sequía			✓		✓	
Caracterización de la Resiliencia de los destinos turísticos prioritarios en Nicaragua	ACH en Conserción con IOL, CIDEU/UNAN, Managua, CANATUR, TROCAIRE	Caracterización de resiliencia de los destinos turísticos prioritarios de Nicaragua	San Juan del Sur y León	✓	2019	✓	✓	✓	Volcánica Tsunami Deslizamiento Inundaciones Huracanes Tormentas Marejada Tornado Inseguridad pública Incendios forestales Polvo arena	✓		✓		✓	ACH, Instituto de Geología y Geofísica, & UNAN Managua (2019) Caracterización de resiliencia de los destinos turísticos prioritarios de Nicaragua. Retrieved from https://www.ach.org.ni/wp-content/uploads/2020/03/03-11-Resiliencia-y-Medios-de-Vida.pdf

Resultados y discusión

Hasta el momento se han registrado 6 proyecto desarrollados en la región sin embargo se tiene recopilados 20 proyectos más que serán evaluados en el futuro cercano, sin dejar por fuera que se continua con la revisión bibliográfica.

Se observa una tendencia de que el componente más fortalecido de la Resiliencia Comunitaria hasta el momento es el correspondiente a Gestión de Riesgo y Reducción de la Vulnerabilidad, seguido de la Preparación y la Respuesta.

En cuanto a las Amenazas Naturales consideradas en el Fortalecimiento de la Resiliencia se encuentran las Amenazas Hidrometeorológicas en comparación con las Geológicas o Antropogénicas.

Un aspecto importante de remarcar es que la mayoría de los proyectos se desarrollan en zona del Corredor Seco Centroamericano, en especial en comunidades rurales y que los organismos que más presencia han tenido en el territorio son los derivados de la Cooperación de la Unión Europea, como FAO, PMA, ACH.

Conclusiones

Durante los últimos 20 años se han desarrollado

proyectos de Fortalecimiento de la Resiliencia comunitaria diversificadas en los diferentes componentes de ésta, los que están distribuidos espacialmente en el territorio abarcado por el Corredor Seco Centroamericano.

Este análisis puede servir de base para proponer nuevas propuestas de proyecto de intervención y desarrollo enfocados en componentes de la Resiliencia Comunitario o bien en territorios donde nunca se hayan desarrollado proyectos de esta índole

Agradecimientos

Agradecimientos al Instituto de Geología y Geofísica
por el apoyo para el desarrollo de este trabajo y al
equipo de trabajo de la Red RIFOREDEX

Referencias

Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna. (2017). Hoja de ruta hacia la resiliencia comunitaria. Retrieved from www.ifrc.org

Fraser, M. W., Galinsky, M. J., & Richman, J. M. (1999). Risk, protection, and resilience: Toward a conceptual framework for social work practice. *Social Work Research*, 23(3), 131–143. <https://doi.org/10.1093/swr/23.3.131>

GOAL. (2015). Herramienta para medir la resiliencia comunitaria ante desastres. Guía Metodológica

GOAL. Retrieved from <https://dipecholac.net/docs/herramientas-proyecto-dipecho/honduras/Guia-Medicion-de-Resiliencia.pdf>

RAE. (2020). resiliencia | Definición | Diccionario de la lengua española | RAE. Retrieved July 15, 2021, from <https://dle.rae.es/resiliencia?m=form>

Rutter, M. (1993). Resilience: Some conceptual considerations. *Journal of Adolescent Health*, 14(8), 626–631. [https://doi.org/10.1016/1054-139X\(93\)90196-V](https://doi.org/10.1016/1054-139X(93)90196-V)

Twigg, J. (2009). Characteristics of a Disaster-Resilient Community. A Guidance Note. (Latitude Graphic Desing, Ed.) (Ver.2). Latitude Graphic Desing. Retrieved from <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1346086/1/1346086.pdf>

UNDRR, & CRED. (2020). El costo humano de los desastres. Retrieved from <https://www.undrr.org/sites/default/files/inline-files/El Costo Humano de los Desastres 2000-2019.pdf>

UNISDR. (2009). 2009 UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction. International Strategy for Disaster Reduction (ISDR), 1–30. Retrieved from https://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologyEnglish.pdf

World Meteorological Organization. (2021). 2021 State of Climate Services. Water.

Lineamientos para la recarga gestionada de acuíferos frente al cambio climático en Guatemala.

Ochoa Orozco, Wener Armando¹; Gonzalez Chavajay, Bayron Geovany²; Cifuentes Castillo, Jorge Iván³

1Universidad de San Carlos de Guatemala, Escuela de Estudios de Postgrado Facultad de Agronomía e Ingeniería.

2Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro de Estudios Urbanos y Regionales

3Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de ingeniería

(Remitir correspondencias a wochoa@postgrado.ingenieria.usac.edu.gt, ciudad universitaria zona 12, código postal 01012)

Resumen: El agua sin duda alguna es vital para la vida. Sin embargo, a pesar de la importancia que tiene, la sociedad en general no ha sabido valorarlo y por lo tanto, existe preocupación a nivel mundial por lograr el uso racional y sostenible de dicho bien natural. Actualmente, las aguas subterráneas están sufriendo el efecto de ser extraídas en cantidades mas grandes que la recarga, teniendo como resultado la sobreexplotación y un desequilibrio en el balance hídrico. Asimismo, la perforación masiva y sin control alguno de pozos contribuye con la disminución de los niveles de agua subterránea, sumado a los efectos del cambio climático. En este contexto, la recarga gestionada de acuíferos cobra importancia como una alternativa de sostenibilidad, considerando los elementos hidrogeológicos y ecosistemicos con el objetivo estrategico de incrementar la disponibilidad hídrica de los acuíferos. Es por ello que en esta investigación se plantea determinar las características suelo, estratigrafía, climatología en el área del Campus universitario de la Universidad de San Carlos de Guatemala, a través de recorridos de campo, análisis estadístico de datos, perforación de pozo de observación. En cuanto a los patrones de precipitación media anual, se puede apreciar que en los últimos 10 años se manifiesta una disminución de 600 mm aproximadamente; el comportamiento del ciclo anual de temperatura muestra los valores más altos en los meses de abril mayo y julio, los valores más bajos en los meses de diciembre, enero y febrero y el acumulado anual promedio cercano a los 960 milímetros. La evapotranspiración en promedio alcanza los 880 milímetros al año, en términos generales el mes de Julio suele ser un mes deficitario dentro de la estación lluviosa. Al perforar 10 metros de profundidad, atravesamos la capa impermeable de piroclastos que tiene el área, con lo cual ya se alimenta el acuífero somero existente; ya que con esto logramos llegar a una zona con mayor porosidad y permeabilidad, con lo cual se garantiza eficiencia en la infiltración del agua de la recarga gestionada. Se determinó que el porcentaje de superficie impermeable de la ciudad de Guatemala está aumentando de manera acelerada debido a los proyectos de urbanización. Luego de conocer estos parametros, se determinó las especificaciones técnicas de diseño para recargar el acuífero, para finalmente plantear una propuesta de recarga gestionada de acuíferos.

Palabras clave: gestión, ciclo hidrogeológico, climatología, sostenibilidad

Abstract: Water is undoubtedly vital for life. However, despite its importance, society in general has not known how to value it and, therefore, there is worldwide concern about achieving the rational and sustainable use of said natural asset. Currently, groundwater is suffering the effect of being withdrawn in larger quantities than recharge, resulting in overexploitation and an imbalance in the water balance. Likewise, the massive and uncontrolled drilling of wells contributes to the decrease in groundwater levels, added to the effects of climate change. In this context, the managed recharge of aquifers becomes important as a sustainability alternative, considering the hydrogeological and ecosystem elements with the strategic objective of increasing the water availability of aquifers. That is why in this research it is proposed to determine the ecosystem characteristics (soil, stratigraphy, climatology) of the area, University Campus of the University of San Carlos de Guatemala, through field trips, statistical analysis of data, drilling of observation. Regarding the average annual precipitation patterns, it can be seen that in the last 10 years there has been a decrease of approximately 600 mm. The behavior of the annual temperature cycle shows the highest values in the months of April, May and July. The lowest values in the months of December, January and February. The average annual accumulated close to 960 millimeters. Average evapotranspiration reaches 880 millimeters per year. In general terms, the month of July is usually a deficit month within the rainy season. By drilling 10 meters deep, we cross the impermeable layer of pyroclasts that the area has, which already feeds the existing shallow aquifer; since with this we manage to reach an area with greater porosity and permeability, which guarantees efficiency in the infiltration of the

managed recharge water. It was determined that the percentage of impervious surface of Guatemala City is increasing rapidly due to urbanization projects. After knowing these parameters, the technical design specifications to recharge the aquifer were determined, to finally propose a proposal for managed aquifer recharge.

Keywords: management, hydrogeological cycle, climatology, sustainability

Introducción

Las aguas subterráneas tienen una importancia estratégica para el desarrollo de las sociedades. Es por ello, que la Recarga Gestionada de Acuíferos (RGA), actualmente es una técnica aplicada en varios países con problemas de gestión del bien hídrico, la cual consiste en la introducción de agua al acuífero, mediante variedad de sistemas como balsas de infiltración, pozos de recarga profunda, zanjas y otros mecanismos (Mamani, E. 2017). El objetivo primordial de la RGA es el incremento de la disponibilidad hídrica, partiendo de conocer las condiciones hidrogeológicas y ecosistémicas de interés, mediante pozos secos con agua recolectada de techos (Villaroel, E. 2021). Cada vez se hace importante analizar este tipo de técnicas para lograr la sostenibilidad del uso del agua subterránea, debido a los beneficios que representa, sobre todo porque los acuíferos funcionan como un almacenamiento de agua que, gestionados de manera eficaz y eficiente, juegan un papel crucial en la conservación y aprovechamiento sostenible del bien hídrico especialmente en zonas con problemas de acceso (FAO, 2013).

De acuerdo con Peña, Charca, & Condori (2015); aplicar la técnica de Recarga Gestionada de Acuíferos mejora la calidad del agua a través de su paso por el subsuelo. En ese mismo sentido, Custodio, Emilio, & Llamas, M. (1996) consideran que la falta de racionalidad en la explotación de las aguas subterráneas en general es fruto de desconocimiento, mala gestión, insolidaridad, falta de aplicación del principio de subsidiaridad y preferencia arrogante de alternativas preestablecidas. Asimismo, Alcantara (2013), la considera como una técnica de aprovechamiento del agua en el Perú, debido a que el acuífero tiene a recargarse por medio de la precipitación. Es por ello que con el fin de hacer frente a las severas condiciones climáticas que afectan el ciclo hidrogeológico y escenarios frecuentes de olas de calor, algunas comunidades locales han implementado muchos sistemas gestionados de recarga de acuíferos por medio del aprovechamiento de agua de lluvia (Shubo, T., Fernandes, L., & Gico, S. 2020). En comparación con países como EE.UU., Europa y Brasil, Guatemala aun se encuentra en una fase muy incipiente en cuanto a este tipo de iniciativas sobretodo porque necesita superar muchos desafíos financiero, técnicos científicos,

legales, socioeconómicos y culturales para implementar la estrategia de Recarga Gestionada de Acuíferos.

Materiales y métodos

Basicamente consiste en tres fases:

- De gabinete: recopilación, análisis e interpretación de información seria y confiable desde el punto de vista científico, gestión de datos de precipitación, geología, elaboración de mapas temáticos y procesamiento de datos.
- De campo: recorridos y observación en campo, levantamiento topográfico, prueba de infiltración y luego se procedió a dimensionar y diseñar el pozo de observación para la RGA de acuerdo a los datos de geología, permeabilidad, pendiente, precipitación y escorrentía.
- De gestión: tramitar los permisos correspondientes para llevar a cabo la investigación así como reuniones de acercamiento y coordinación con instituciones como la Facultad de Ingeniería de la USAC, FUNCAGUA, Municipalidad de San Antonio Aguas Calientes, Sacatepéquez, AMSA.

Resultados y discusión

En el Área Metropolitana de la Ciudad de Guatemala – AMCG-, se ha evidenciado que existen varios municipios que han comenzado a evidenciar descenso en los niveles piezométricos dinámicos y estáticos parciales de agua subterránea (FUNCAGUA, 2019). En cuanto a la oferta y demanda a nivel nacional, Guatemala cuenta con un aproximado de 100,599 millones metros cúbicos de agua superficial y 33,699 millones de metros cúbicos de agua



Figura 1. Ubicación del proyecto

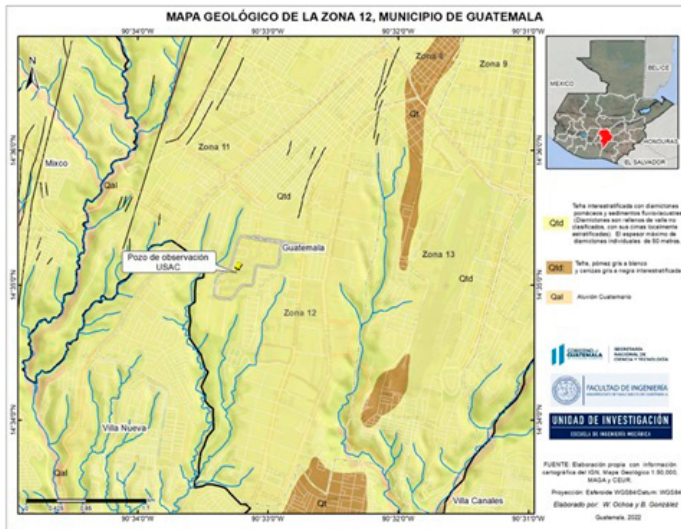


Figura 2. Mapa geológico del área de estudio Ubicación del proyecto.

subterránea, dando un total de 134,298 millones de metros cúbicos de agua en total (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales -MARN-, Secretaria General de Planificación -SEGEPLAN-, Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología -INSIVUMEH- y Ochoa, W. 2020).

Las fuentes de agua para consumo humano en el área urbana del AMCG son mayores y un 75% son de pozo. En cuanto a los patrones de precipitación media anual, se puede apreciar que en los últimos 10 años se manifiesta una disminución según datos de la estación meteorológica ubicada en el municipio de Guatemala (ver Figura 4).

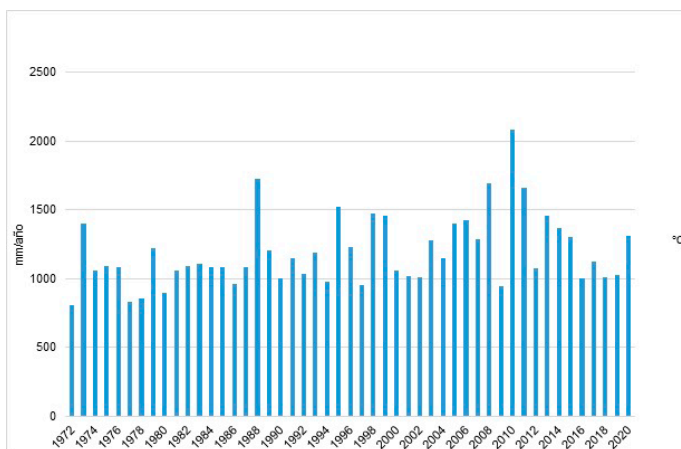


Figura 4. Comportamiento de la precipitación en el área de estudio.

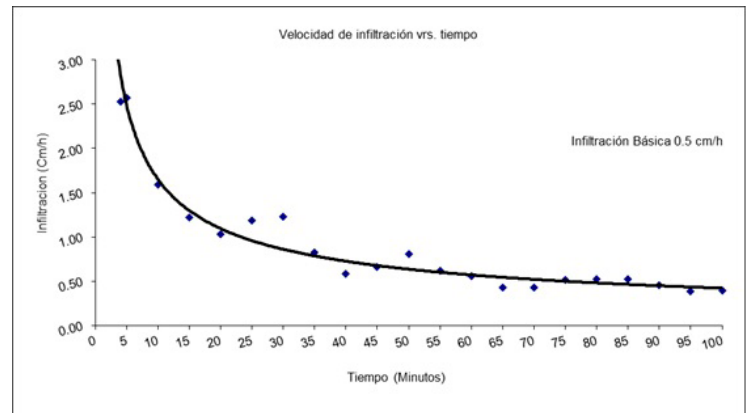


Figura 3. Prueba de infiltración del área de estudio.

El comportamiento del ciclo anual de temperatura muestra los valores más altos en los meses de abril mayo y julio, mientras que los valores más bajos en los meses de diciembre, enero y febrero. La precipitación muestra 2 máximos de precipitaciones característico de dos fases de la estación lluviosa del país, los meses de máxima precipitaciones en la primera fase de la estación lluviosa son abril y mayo, en segunda fase agosto y septiembre. El acumulado anual promedio cercano a los 960 milímetros. La evapotranspiración en promedio alcanza los 880 milímetros al año. En términos generales el mes de Julio suele ser un mes deficitario dentro de la estación lluviosa.

La geología del lugar corresponde a Tefra interestratificada con diamictos pomáceos y sedimentos flujo-lacustres. (Diamictos son rellenos de valle no clasificados, con sus cimas localmente estratificadas). El espesor máximo de diamictos individuales de 50 metros. Asimismo, esta cuenta en su cercanía con Tefra, pómez gris a blanco y cenizas gris a negra interestratificada, y también con aluvión cuaternario (ver mapa geológico). La superficie impermeable muestra un avance significativo (ver figura 5).

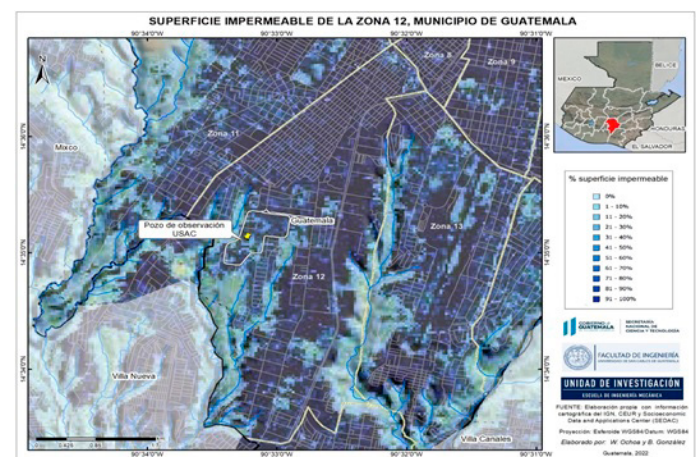


Figura 5. Superficie impermeable de la zona 12, municipio de Guatemala.

Al perforar 10 metros de profundidad, atraviesa la capa impermeable de piroclastos que tiene el área, con lo cual ya se alimenta el acuífero somero que existía antes que fuera poblada y urbanizada el área; ya que con esto se logra llegar a una zona con mayor porosidad y permeabilidad, con lo cual se garantiza eficiencia en la infiltración del agua de la recarga gestionada. Debido a que las condiciones hidroclimáticas en el área de estudio están manifestando una disminución de la lluvia en los últimos 10 años, se sugiere implementar de manera urgente la Recarga Gestionada de Acuíferos, para incrementar la disponibilidad hídrica, en especial porque el cambio climático está alterando el ciclo hidrogeológico. Esto conlleva, a que se debe considerar el principio elemental que indica que la cantidad de agua de lluvia que cae a la zona a ser recargada, la cual debe ser menor o igual a la que capta y a la que absorbe el pozo de observación, en un diferencial de tiempo (Ochoa, W. 2020; Rivera et al., 2021).

Si los regímenes de lluvia siguen siendo afectados como hasta ahora, es decir manifestando tendencia hacia la disminución, uno de los primeros problemas que se debe gestionar es, que los pozos menos profundos se secan, lo cual afecta la oferta de agua para el funcionamiento de los servicios básicos de la población. Sumado a ello, al quedar el terreno sin agua en sus poros se compacta, y también baja el nivel del terreno y todo lo que tiene arriba, dando como resultado el fenómeno denominado subsidencia. Los acuíferos se recargan de agua de lluvia o de ríos, que se infiltra, y se descargan hacia el mar o ríos, aguas abajo. Cuando nosotros bombeamos, también los estamos descargando y cuando extraemos mucha cantidad, los niveles de agua subterránea (nivel freático) bajan.

Los principales problemas e impactos del cambio climático evidenciados actualmente son el aumento de la evaporación y evapotranspiración en las nuevas condiciones ambientales, lo cual implica una mayor demanda del recurso hídrico, olas de calor, reducción de la oferta hídrica y extremismo en la escorrentía, afecciones a los humedales y menor producción de energía hidroeléctrica, con un efecto directo a la socioeconomía (Ochoa, W. 2020; Rivera, et al., 2021; & Fernández, E., et al., 2018). Asimismo, hay que tener claro que la recarga no solo está influenciada por la magnitud de las precipitaciones, sino también por su intensidad, estacionalidad, frecuencia y tipo. Otros factores son el ambiente geológico del área y los cambios en las propiedades del suelo o en el tipo de vegetación y en el uso del agua (Tilak Raj Kapoor, 2007).

El diseño del pozo de observación para implementar la Recarga Gestionada del Acuífero, debe considerar los resultados de la prueba de infiltración, así como las dimensiones y criterios topográficos del terreno y el monitoreo de la precipitación.

Conclusiones

El agua es un bien natural que debe gestionarse. Por lo tanto uno de los lineamientos estratégicos para la recarga gestionada de acuíferos es comprender que no podemos seguir administrando lo que se debe gestionar.

Otro lineamiento fundamental es que sin participación, investigación científica y transparencia no habrá sostenibilidad ni gobernanza del agua jamás.

Otros lineamientos técnicos a considerar son darles respuestas a las siguientes interrogantes: ¿Dónde se recarga el acuífero?, ¿Por donde transita el acuífero?, ¿Dónde descarga?, ¿Cuál es el uso que se le da?, ¿Cuáles son las características físico químicas e hidrogeoquímicas?, y ¿Cuál es su sistema de flujo?

La recarga gestionada de acuíferos en el AMCG es una de las estrategias de gestión del recurso hidrogeológico, que propone incrementar los niveles de agua en los acuíferos, mejorar la calidad de agua y promoverá la adopción de mejoras prácticas de gestión, mediante investigación científica e intercambio de conocimientos entre instituciones, disciplinas y comunidades.

Agradecimientos

A Geoingeniería, Agua y Ambiente 888, SINERGIA, al Centro de Estudios Urbanos y Regionales, al proyecto FINDECYT/ InterCti 02-2021 Digitalización de infraestructura verde para la gestión sostenible de los recursos hídricos y al Ing. Carlos Humberto Saravia por acompañar y compartir tanto los datos como participar en el análisis e interpretación de datos de manera multidisciplinaria.

Referencias

- Alcántara Salazar, G. (29 de 07 de 2013). Inclusión social del campesino peruano con "poncho verde" y "cosecha del agua". Lima.
- Custodio, Emilio, & Llamas, M. (1996). Hidrología subterránea. Barcelona.
- FAO. (2013). Captación y almacenamiento de agua de lluvia. Santiago (Chile): ISBN FAO.
- Fernández, E., Sebastián, J., Villanueva, M., & Calero, R. (2018). La recarga gestionada de los acuíferos como una técnica polivalente y efectiva de adaptación al cambio climático. Congreso Nacional de Medio Ambiente 2018.
- FUNCAGUA. (2019). Análisis piezométrico de pozos de agua para los municipios de la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur: Amatitlán, Mixco, San Miguel Petapa, Santa Catarina

Pínula, Villa canales y Villa Nueva, Guatemala. Fundación para la Conservación del Agua en la Región Metropolitana de Guatemala (FUNCAGUA). Guatemala.

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, Guatemala (INSIVUMEH). (2002). Mejoramiento de la Capacidad Técnica para Mitigar los Efectos de Futuros Eventos de la Variabilidad Climática (El Niño). Estudio Técnico. Guatemala. 176 p.

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales Renovables MARN. (2016). Informe Ambiental del Estado Guatemala. Guatemala.

Mamani, E. (2017). Recarga artificial de acuíferos en función de las características geohidráulicas para incremento de la disponibilidad hídrica en el manantial Collana – Cabanilla. Universidad Nacional del Altiplano. Puno-Perú.

Ochoa, W. (2020). Gestión del agua con enfoque participativo en Guatemala frente al cambio climático. (2020). Revista Científica del Sistema de Estudios de Posgrado de la Universidad de San Carlos de Guatemala. ISSN: 2707-2908 (versión digital). <https://doi.org/10.36958/sep.v3i01.30>

Peña Laureano, F., Charca Huaricallo, M. A., & Condori Quispe, E. (2015). Inspección hidrogeológica para la recarga artificial de acuíferos, en la sub cuenca Santa Eulalia. Lima.

PNUD, (2010). Gestión de aguas subterráneas en la GIRH. Cap-Net.

Rivera, P., Ochoa, W., & Gonzalez, B. (2021). Simulación de temperatura y precipitación estacional durante el período 1998-2000 en Centro América utilizando el modelo climático regional RegCM. Revista Ciencia, Tecnología y Salud, Vol. 8, Núm. 1, 2021 ISSN: 2410-6356 (impreso) / 2409-3459 (electrónico) <https://doi.org/10.36829/63CTS.v8i1.764>

SEGEPLAN. (2006). Política nacional de gestión integrada de los recursos hídricos (PNGIRH). Guatemala. p.33.

(2006a). Estrategia para la gestión integrada de los recursos hídricos de Guatemala. Guatemala. p. 83.

Shubo, T., Fernandes, L., & Gico, S. (2020). An Overview of Managed Aquifer Recharge in Brazil.

Tilak Raj Kapoor (2007); Role of Information and Communication Technology in Adaptive Integrated Water Resources Management; publicación de American Society of Civil Engineers. <http://cedb.asce.org/cgi/WWWdisplay.cgi?0603740>

Villaroel, M. (2021). Caracterización de Procesos de Recarga Artificial de Acuíferos como medios para Conservar el Balance Hídrico en el Abanico de Punata. Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia.

Análisis de Favorabilidad Hidrogeológica considerando Variabilidad Climática, en el municipio de San Juan de Limay, Estelí, Nicaragua

Aguilar Zeledón, Belkys Lorena¹; Calderón Palma, Heyddy¹

1. Instituto de Geología y Geofísica (IGG-CIGEO), Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, UNAN-Managua, Rotonda Universitaria Rigoberto López Pérez, 200 mts al Este. Apartado postal: A-131*
belkyslorena18@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9997-654>)

Resumen: El agua es uno de los recursos naturales más valiosos e indispensables. Siendo el agua subterránea la parte principal del suministro de agua en regiones con problemas de sequía. A medida que crece la demanda de agua en San Juan de Limay, crece la necesidad de conocer el potencial de aguas subterráneas en la zona.

Esta investigación tuvo como objetivo principal delimitar zonas con favorabilidad hidrogeológica en el municipio de San Juan de Limay, mediante el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) basado en el conocimiento y opinión de expertos, utilizando un modelo de sistema de información geográfica (SIG). El principal objetivo de la metodología AHP es apoyar a los tomadores de decisiones en la selección de la mejor alternativa para la aplicación de métodos futuros o pozos de exploración de aguas subterráneas, utilizándose como una herramienta sencilla para la evaluación de favorabilidad hidrogeológica. Esta metodología puede ser aplicada en regiones con escasez de datos, ahorrando tiempo y costos.

La integración de las capas temáticas indicó que la geología, calidad del agua, topografía, textura del suelo, lineamientos y drenaje juegan un papel crucial en la delimitación de zonas con favorabilidad hidrogeológica, brindando como resultado un mapa clasificado en 5 clases: Favorabilidad muy alta, Favorabilidad alta, Favorabilidad Moderada, Poca favorabilidad y No favorable.

Los resultados que emanan de este estudio pionero realizado en el municipio de Limay se pueden utilizar para conocer la disponibilidad los recursos de agua subterránea y encontrar sitios adecuados para exploración de aguas subterráneas.

La investigación revela que aproximadamente el 12.83% del municipio posee una favorabilidad muy alta, 26.80% zonas con una favorabilidad alta, 30.71% zonas con favorabilidad moderada y las zonas favorablemente bajas o no potenciales se observan en un 23,34% y 6, 32% respectivamente.

Palabras clave: Favorabilidad hidrogeológica, sistema de información geográfica (SIG), AHP, aguas subterráneas, San Juan de Limay.

Abstract: Water is one of the most valuable and indispensable natural resources. Groundwater being the main part of the water supply in regions with drought problems. As the demand for water in San Juan de Limay grows, the need to know the potential of groundwater in the area grows.

The main objective of this research was to delimit areas with hydrogeological favorability in the municipality of San Juan de Limay, through the Hierarchical Analysis Process (AHP) based on the knowledge and opinion of experts using a geographic information system (GIS) model. The main objective of the AHP methodology is to support decision makers in the selection of the best alternative for the application of future methods or groundwater exploration wells, being used as a simple tool for the evaluation of hydrogeological favorability. This methodology can be applied in regions with scarce data, saving time and costs. The integration of the thematic layers indicated that geology, water quality, topography, soil texture, guidelines and drainage play a crucial role in delimiting areas with hydrogeological favorability, resulting in a map classified into 5 classes: Very high favorability, High Favorability, Moderate Favorability, Low Favorability and Not Favorable.

This pioneering study in the municipality of Limay explores baseline data for possible groundwater zones. The results that emanate from this study can be used to know the availability of groundwater resources and find suitable sites for groundwater exploration.

The investigation reveals that approximately 12.83% of the municipality has a very high favorability, 26.80% zones with a high favorability, 30.71% zones with moderate favorability and the favorably low or non-potential zones are observed in 23.34% and 6, 32 % respectively.

Keywords: Hydrogeological favorability, geographic information system (GIS), AHP, groundwater, San Juan de Limay

Introducción

Nicaragua, es un país especialmente privilegiado en cuanto a recursos hídricos. A pesar de ello, la contaminación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos ha tenido un gran impacto en la disponibilidad, debido a variaciones espaciales y temporales en su distribución (FAO, 2007). Según (Rahmati et al., 2015), el agua es uno de los recursos naturales más valiosos e indispensables. Siendo el agua subterránea la parte principal del suministro de agua en regiones con problemas de sequía.

El presente trabajo investigativo se localiza en el municipio de San Juan de Limay, Departamento de Estelí, donde la ocurrencia de aguas superficiales se da efímeramente y las sequías son recurrentes; siendo así de gran relevancia tener conocimiento sobre los recursos existentes de aguas subterráneas, convirtiéndose en un tema relevante de investigación especialmente durante el déficit hídrico en períodos de sequía.

La investigación tiene como objetivo realizar un análisis hidrogeológico mediante un mapa de favorabilidad, con el propósito de delimitar zonas con potencial hidrogeológico. Desde el punto de vista de la exploración de aguas subterráneas, el término favorabilidad o potencial de aguas subterráneas se puede definir como la posibilidad de presencia de agua subterránea en un área, permitiendo la eficiencia de la exploración de este recurso (Bernardes et al., 2017; Rahmati et al., 2015).

Es de suma importancia realizar un análisis que nos permita optimizar la elección de sitios para estudios detallados, que impliquen una inversión económica importante y la ubicación de futuras perforaciones, que ayuden a contribuir a la generación e intercambio de información relacionada al potencial hídrico de San Juan de Limay, y apoyar al desarrollo económico y aumento de la resiliencia ante eventos climáticos.

Nicaragua es un país privilegiado en cuanto a recursos hídricos, a pesar de ello, la contaminación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos ha tenido un gran impacto en la disponibilidad debido a variaciones espaciales y temporales (FAO, 2007).

Materiales y métodos

Localización del área de estudio

El municipio de San Juan de Limay está situado en el departamento de Estelí, este último ubicado en la Región de la Zona Norte del país. Está ubicado entre las coordenadas $13^{\circ} 10'$ de Latitud norte y $86^{\circ} 36'$ de Longitud oeste, con una altura de 280 msnm. Posee una extensión territorial de 428 km² siendo el segundo municipio más grande luego de Estelí, Nicaragua. Hidrográficamente se localiza en la unidad hidrográfica de El Pacífico (9533), de la cual se subdivide la unidad hidrográfica (Río Negro, 9533762), con una longitud de 77 km (INETER et al., 2014). La unidad Río Negro se subdivide en un nivel 8 en las cuencas (95337629) y (95337627), localizadas en el municipio de San Juan de Limay.

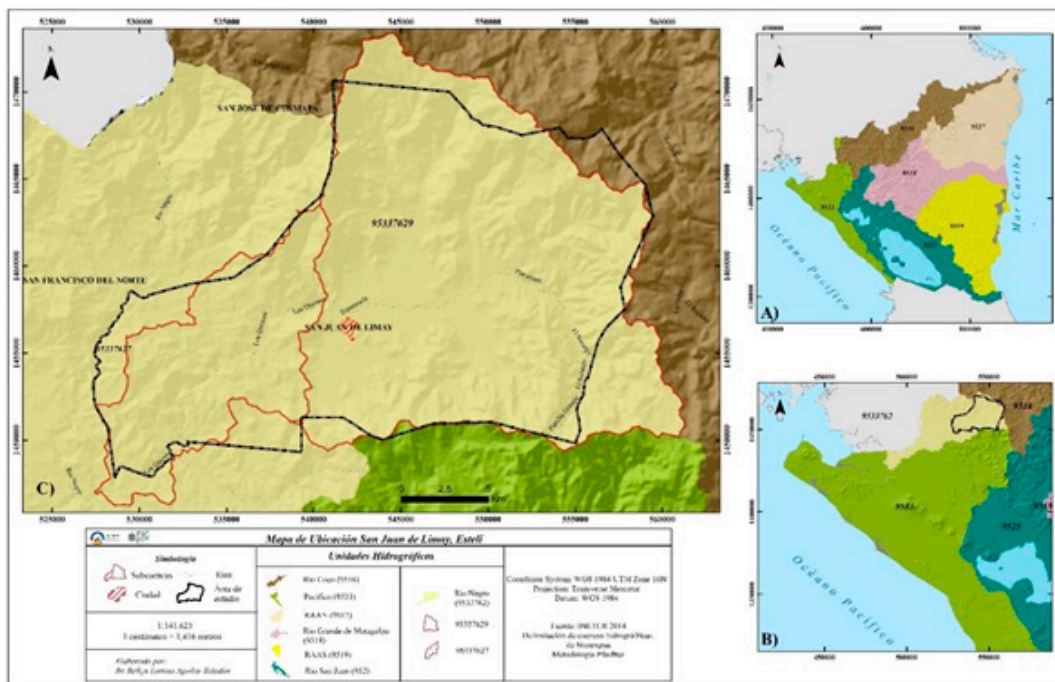


Figura 1. Mapa de localización del área de estudio, a) Unidades hidrográficas nivel 4, b) Unidad Hidrográfica del Pacífico (9533) como parte de esta unidad se encuentra la unidad Río Negro (9533762); c) unidades hidrográficas nivel 8 (95337629 y 95337627), ubicadas dentro del municipio de Limay.

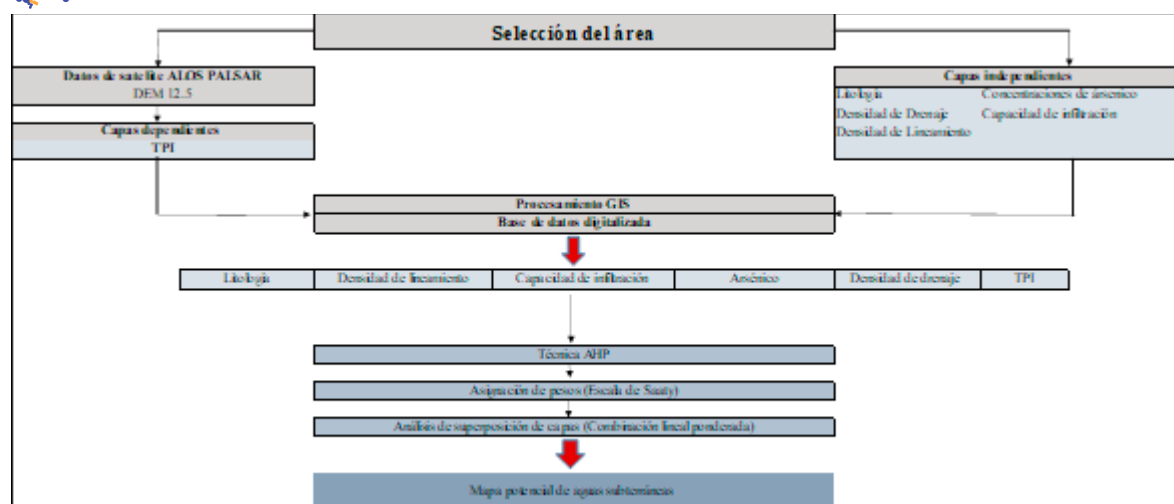


Figura 2. Plan y procesamiento.

Metodología

a. Recolección de datos e información

Consistió en la recopilación y revisión bibliográfica, antecedentes de estudios previos en el área de estudio, sirviendo de base primordial para la caracterización de la zona; se realizó una base de datos con información de mapas geológicos, topográficos, hidrogeológicos en combinación de modelos de elevación digital, así mismo, se recolectaron datos de la estación meteorológica Condega en un período (2002-2020)

b. Etapa de campo

Mediante la etapa de campo se logro corroborar la información obtenida en gabinete, esto mediante un reconocimiento geológico superficial del municipio, inventario de pozos, mediciones de parámetros físico-químicos y mediciones de concentraciones de arsénico in situ.

Resultados y discusión

Para la obtención de las zonas con favorabilidad hidrogeológica se utilizó un sistema de información geográfica y sensores remotos mediante el proceso de jerarquía analítica basándose en 6 capas temáticas, las cuales se seleccionaron de acuerdo a la disponibilidad de información como su influencia en las aguas subterráneas como lo son, geología, concentraciones de arsénico, TPI, capacidad de infiltración, densidad de lineamiento y densidad de drenaje.

Luego, estas variables fueron procesadas y sobre ellas se aplicó el análisis multicriterio (AMC) el cual proporciona un proceso lógico y bien estructurado para identificar y clasificar una serie de criterios o variables normalmente jerarquizados mediante la metodología AHP, asignándoles un peso según una escala de idoneidad común.

Resultados

Geología Local

El municipio de San Juan de Limay se encuentra ubicado dentro de la Provincia Meridional de América Central, la que a su vez está dentro del bloque Chortis y del bloque Chorotega. Está comprendida entre el límite Sur de la provincia del Norte, al Oeste con la provincia de la Depresión, al Sur por el Río Indio y al Este con la provincia de los Llanos de la Costa Atlántica (Hodgson, 2000).

Geológicamente en el municipio predominan las rocas volcánicas del Terciario que datan desde la época del Eoceno hasta el Cuaternario volcánico, las cuales cubren toda la extensión de la provincia.

En el área de estudio se reconocen rocas de tipo intrusivas y extrusivas, así como diferencia en los grados de erosión, meteorización, alteración y fracturamiento de las mismas. Entre ellas predominan las rocas pertenecientes al Grupo Coyol Superior y rocas pertenecientes al Grupo Coyol Inferior.

Las unidades presentes en el municipio no disponen de una secuencia uniforme dentro del área, presentan variabilidad en textura, contenido mineral y contacto entre unidades. Esta varianza se atribuye a depósitos que tienen origen posiblemente en distintos centros volcánicos, y a la presencia de agentes que han intervenido en la meteorización y alteración de las unidades.

Conforme a la caracterización superficial realizada, se detalla a continuación unidades litológicas del área, ordenadas cronológicamente desde su depositación, tomando en cuenta la definición de las unidades de registros previos: (Chavarria & Martínez, 2017; Hodgson, 2000; Schliz, 2009), realizando una correlación e intercalación de información litológica.



		Columna Litostrográfica Generalizada				
Era	Período	Unidad Litostrográfica	Espejor	Litología	Descripción	
Cenozoico	Terciario	Plioceno	Cerro Superior	Aluvial (Qa)	0	Aluvión reciente y sedimentos aluviales, compuesto de gran cantidad de volúmenes de materiales volcánicos.
				Yerres (Qy)	25 m	
				Indiferenciado (Qz)	35 m	Esta unidad está relacionada con calderas de construcción de calderas. Los afloramientos son masivos.
				Cerro Superior (gremita) (Tps)	70 m	
				Cerro Superior (Bambas, Taba) (Tpb)	95 m	Esta unidad también aflora en bloques meteorizados los cuales son usados a presión por los habitantes.
	Intrusivo Intermedio (Tb)	120 m				
	Mioceno	Cerro Inferior	Cerro Inferior (Dacita) (Tmc)	150 m	Unidad formada por cerros a la unidad de la roca, con matriz aluvial. Dificultad. Esta roca presenta un alto grado de alteración. Caracterizada por cerros a la unidad de la roca, con matriz aluvial. Dificultad. Esta roca presenta un alto grado de alteración.	
			Cerro Inferior (Dacita) (Tmc)	175 m		
			Cerro Inferior (Dacita) (Tmc)	190 m		
			Cerro Inferior (Dacita) (Tmc)	200 m		
Cerro Inferior (Dacita) (Tmc)			210 m			
Cuaternario	Actual	Sedimento Agua Nueva (Aa)	220 m	Sedimentos recientes, relacionados al N. en la comunidad Agua Nueva.		

Figura 3. Columna litoestratigráfica generalizada del área.

Mediante el análisis de los datos de precipitaciones, evaporaciones y temperaturas medias se realizó un balance hídrico climático para un período de 18 años (2002-2020).

Mes	Temperatura Media (°C)
Enero	23.2
Febrero	24.2
Marzo	25.5
Abril	27.1
Mayo	26.6
Junio	24.9
Julio	24.6
Agosto	24.9
Septiembre	24.8
Octubre	24.1
Noviembre	23.3
Diciembre	23.0

Figura 5. Temperatura media.

El análisis del balance hídrico climático muestra que existe predominio de las evaporaciones mensuales sobre las precipitaciones mensuales, presentando la variabilidad y cambio que existe en el almacenamiento de las aguas (Figura 6).

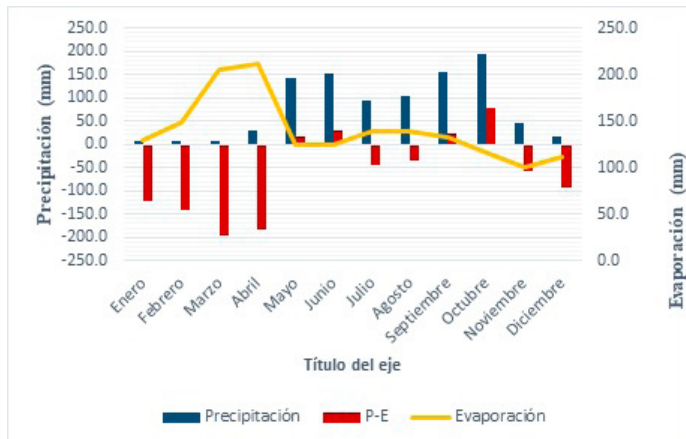


Figura 6. Balance hídrico climático.

Temperatura (°C)

La temperatura se encuentra en rangos desde los 21,8 °C hasta los 34,46 °C.

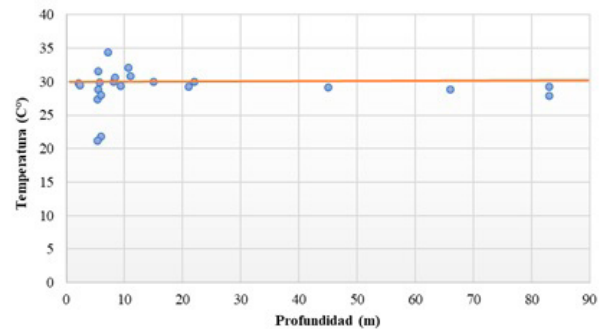


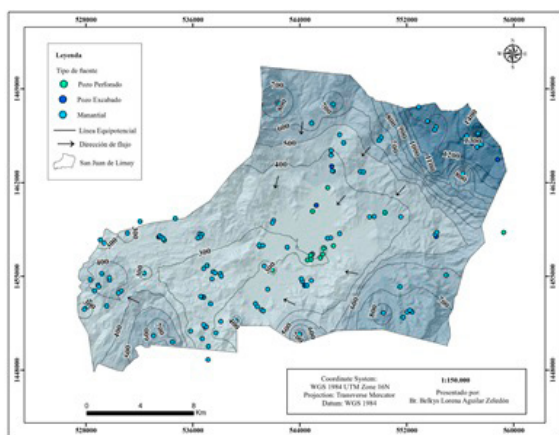
Figura 8. Parámetros físico químicos Temperatura.

Superficie piezométrica y dirección de flujo

De acuerdo al Mapa, la carga hidráulica (h) o elevación del Conductividad Eléctrica (CE)

nivel agua subterránea en el municipio, con referencia al nivel medio del mar; se encuentra entre los 1400 m hasta los 1314 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el pozo ubicado en la Comunidad los 300 m, siendo las cotas más bajas las ubicadas en el Redes de Esperanza. Las concentraciones se encuentran fuera del rango admisible por las normas de la legislación nicaragüense, estando arriba de los 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

La dirección del flujo subterráneo, va en dirección Noreste-Suroeste, tomando como zona de descarga las planicies y valles, en este caso el Valle de San Juan de Limay.



Mapa 2. Mapa piezométrico del municipio.

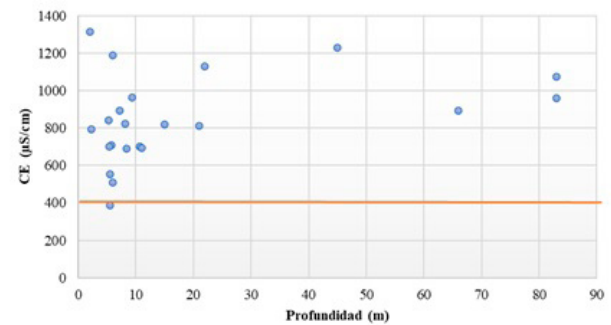


Figura 9. Parámetros físico químicos Conductividad eléctrica.

Sólidos Totales Disueltos (TDS)

Las concentraciones de sólidos totales oscilan en rangos muy cercanos entre 189 mg/l a 651 mg/l, exceptuando el pozo La Palma con una concentración de 1537 mg/l.

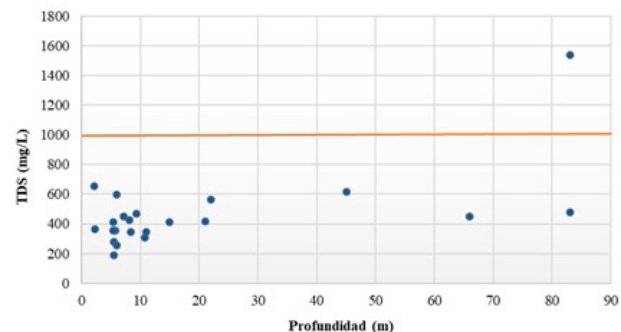


Figura 10. Parámetros físico químicos TDS.

Parámetros físico-químicos

pH: En el municipio el pH varía desde 7,58 hasta los 9,3.

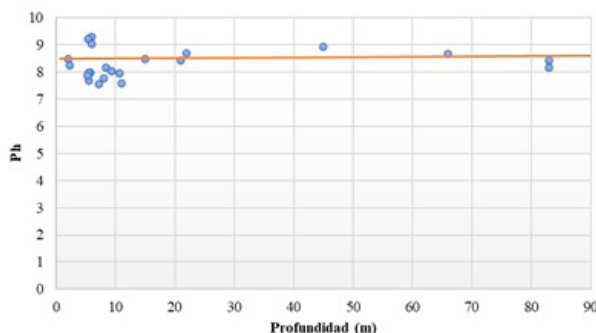
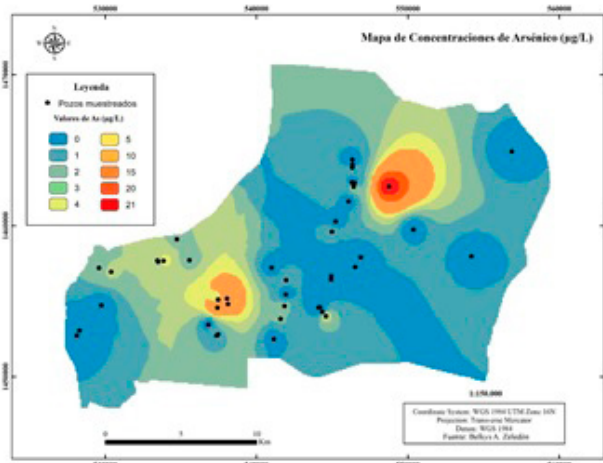


Figura 7. Parámetros físico químicos Ph.

Concentraciones de arsénico

Se realizaron pruebas in situ de las concentraciones de arsénico en el área, y se combinaron con la información de las pruebas realizadas en el municipio por el Centro de Investigaciones de Recursos Acuáticos (CIRA) en el 2012, este nos proporcionó una visión general amplia de la contaminación de las fuentes de agua potable en el área de estudio.

En total se muestrearon 22 pozos, distribuidos en todo el municipio de San Juan de Limay, 17 pozos perforados y 5 excavados. De los 22 pozos muestreados se identificaron 3 fuentes con presencia de concentraciones de arsénico, de los cuales el que presento mayor concentración fue el pozo excavado en la comunidad La Naranja con 11µg/L. Según las normas CAPRE el valor máximo admisible para la ingesta de arsénico es de 10 µg/L.



Mapa 3. Concentraciones de arsénico.

Índice de Precipitación Estandarizado (SPI)

El valor del SPI mensual representa la intensidad de la sequía, es decir, que tan grande es el déficit de precipitación. Se utilizaron datos meteorológicos mensuales continuos de la estación Condega, Estelí para estudiar el comportamiento del municipio de San Juan de Limay, Estelí.

Los valores negativos del SPI muestran condiciones de sequía, como se observa en la Figura, el análisis del SPI de 12 meses muestra que los valores extremadamente secos se presentaron desde el 2003 al 2008 con un SPI por debajo de -2, seguida desde el 2009 por niveles de precipitación promedio y luego los niveles bajos de precipitaciones comenzaron nuevamente desde el 2013 al 2016, esta última asociada a anomalías de lluvias durante el período de El Niño de 2015-2016.

El municipio continúa teniendo condiciones de lluvia por debajo de los promedios, experimentando períodos o escalas cortas de humedad y aún más secos agrupados en escalas de tiempo por lo que se hacen más recurrentes

los cambios en los regímenes de precipitación de un año a otro.

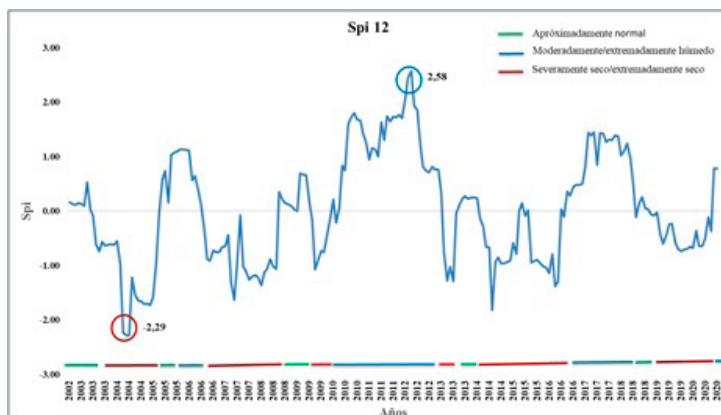


Figura 11. Índice de precipitación estandarizada SPI.

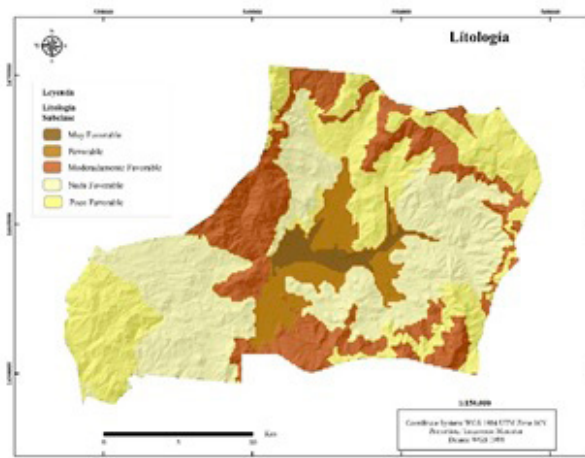
Análisis de capas temáticas

Litología

El entorno geológico juega un papel vital en la ocurrencia y distribución de aguas subterráneas, influyendo en la porosidad como en la permeabilidad. La capa de litología se preparó digitalizando (Mapa Geológico Nicaragua, 1: 50,000. Hoja 2855-I San Juan de Limay, Hoja 2855-II Achupapa, Hoja 2955-III Estelí y la Hoja 2955-IV La Sirena. Catastro e Inventario de Recursos Naturales, Managua, 1971).

La geología del área fue reclasificada en subclases de acuerdo a la metodología AHP, asignándoles los pesos más bajos a los materiales volcánicos terciarios masivos, debido a que se consideran inadecuadas para la infiltración de agua al acuífero, por la poca permeabilidad y la baja capacidad de transmitir agua (Tabla 1).

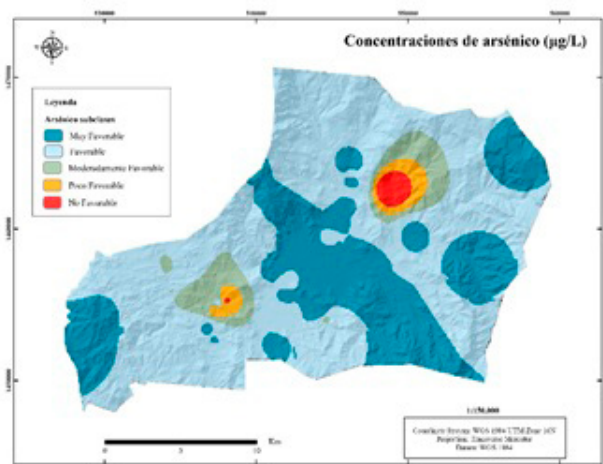
Siendo los que poseen mayores pesos la formación Cuaternaria constituida por sedimentos aluviales, con intercalación de rodados volcánicos, debido a que estos presentan una mayor permeabilidad y son más favorables para el almacenamiento de aguas subterráneas que rocas masivas.



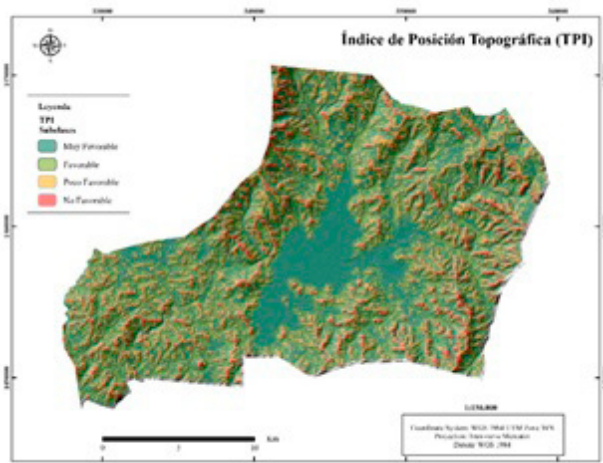
Mapa 4. Litología.

Concentraciones de arsénico

Conocer las concentraciones de arsénico en el área es una base importante para determinar si el agua está dentro de los parámetros admisibles para uso y consumo. En esta investigación se les asignó un mayor peso a las zonas que presentaron concentraciones en rangos admisibles para consumo que van desde 0 µg/L hasta 5 µg/L, siendo las zonas con mayores concentraciones de arsénico las que poseen pesos menores.



Mapa 5. Concentraciones de arsénico.



Mapa 6. Índice de posición topográfica.

Índice de Posición Topográfica (TPI)

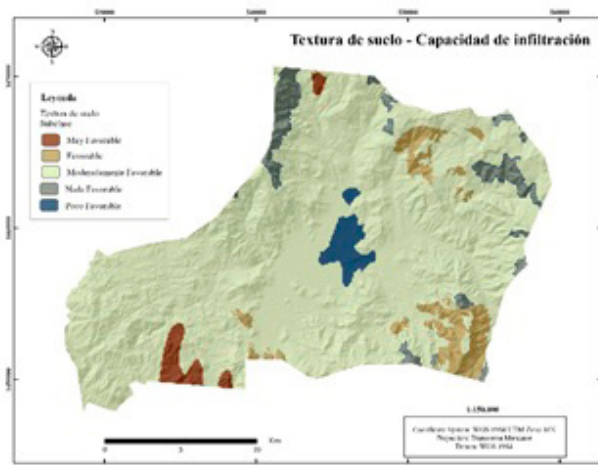
El índice de posición topográfica permitió una clasificación del terreno basado en la escala de (Weiss, 2001). El análisis del modelo Digital de Elevación ayudó a obtener el mapa basado en el TPI clasificando las zonas en: Cimas, Pendientes pronunciadas, Pendiente media, Pendiente suave, Planicies y Valles. Se asignaron mayores pesos a las zonas con relieves planos, valles y pendientes medias debido a que favorecen el proceso de infiltración y recarga hídrica, al permitir un mayor período de tiempo de estadía del agua en el suelo.

Por otra parte, las zonas con pendientes fuertes y pronunciadas aumentan la velocidad y cantidad de escorrentía superficial lo que influye en la capacidad de recarga hídrica, asignándoles un peso bajo ya que se asume no favorable.

Textura de suelo/Capacidad de infiltración

La textura del suelo es un factor determinante en la cantidad de agua que pueda infiltrarse o influir en la recarga hídrica. Los diferentes tipos de suelo suelen poseer una permeabilidad de suelo diversa, que depende en gran medida de la textura del suelo, su estructura y la cobertura del suelo en el área (Ponnusamy, 2020).

Los tipos de texturas presentes en el área son: Franco arenoso (grueso), franco arenoso limoso (medio), franco arcilloso (fino), materiales arcillosos muy finos y basamento rocoso. La textura más gruesa con intercalaciones de arena, grava y limo se consideró la más adecuada asignándole el mayor peso, mientras que suelos arcillosos y compactos (basamento rocoso) debido a que tienen menor capacidad de infiltración se les asignó un menor peso (Mapa 7).



Mapa 7. Texturas del suelo.

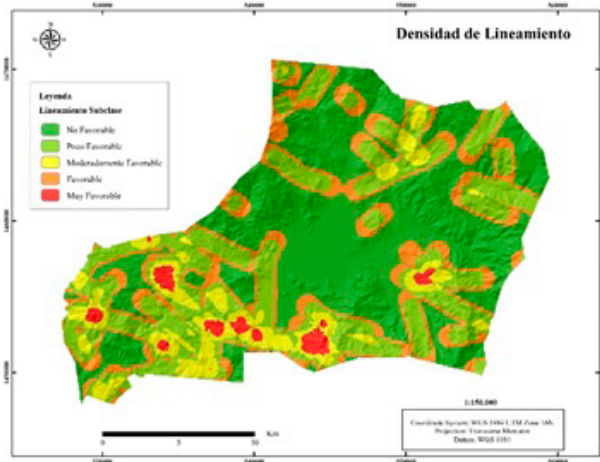
Densidad de lineamiento

Los lineamientos se pueden describir como estructuras o entidades lineales o curvilíneas en la superficie de la tierra y son indicadores de zonas más débiles del basamento rocoso. Los lineamientos representan las zonas de fallas y fracturas que dan como resultado una mayor porosidad y permeabilidad secundaria.

Juegan un papel fundamental en el potencial de las aguas subterráneas, ya que las zonas de alto potencial de aguas subterráneas son seguidas por una alta densidad de lineamientos (Ahmadi et al., 2021).

Se les asignó el peso más alto a las áreas con alta presencia de lineamiento considerándose las más adecuadas, a diferencia de las zonas que no tienen presencia de

lineamientos o fallas, consideradas zonas menos favorables por ello se les asigno menor peso.

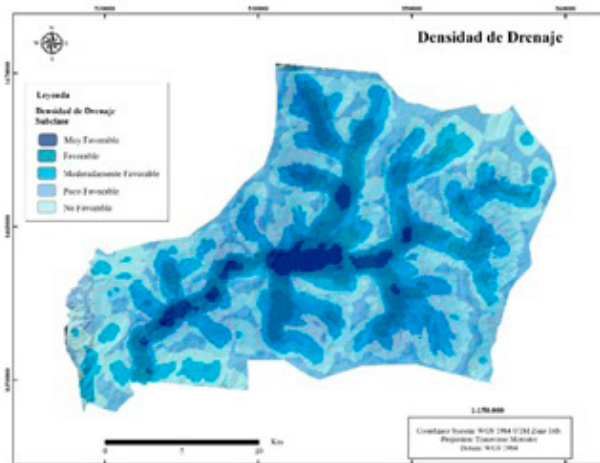


Mapa 8. Densidad de lineamiento.

Densidad de drenaje

La densidad de drenaje tiene una influencia significativa en la escorrentía y la infiltración del agua subterránea. El sistema de drenaje de un área está determinado por la naturaleza y la estructura del basamento rocoso, el tipo de vegetación, capacidad de absorción, infiltración de lluvia de los suelos y el gradiente de pendiente del terreno.

El sistema de drenaje del área de estudio se obtuvo a partir del modelo digital de elevaciones DEM, generando los drenajes de la zona de estudio para luego calcular su densidad en km/km². La densidad de drenaje en el área se reclasifico en cinco zonas, el peso más alto es asignado a la densidad alta, debido que en la zona los manantiales alimentan los caudales de los cauces influyendo en la capacidad de los pozos ubicados en la cercanía de los ríos. Al contrario de las zonas con poca densidad, asignados pesos más bajos (Mapa 9).



Mapa 9. Densidad de drenaje.

Asignación de pesos normalizados

En la aplicación del Análisis de Decisión Multicriterio, se utilizó el Proceso de Análisis Jerárquico, permitiendo establecer como primer paso los pesos normalizados para cada capa temática. La jerarquía de cada capa se obtuvo mediante la escala de comparación (1-9) establecida por (Saaty, 1980), tomando como base la opinión de expertos (Tabla 1).

Tabla 1. Matriz de comparación por pares para el proceso AHP.

Capas temáticas	Litología	D.L	D.D	TPI C.	Inf	As
Litología	1	3	7	3	3	1
Densidad de lineamiento	1/3	1	3	1/7	1/5	1/9
Densidad de drenaje	1/7	1/3	1	1/7	1/7	1/9
TPI	1/3	7	7	1	3	1/3
Capacidad de infiltración	1/3	5	7	1/3	1	1/5
Concentraciones de arsénico	1	9	9	3	5	1
Suma	3.14	25.33	34	7.62	12.34	2.76

Generada la matriz por pares se procede a calcular el peso normalizado (W) para cada una de las capas temáticas como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2 Determinación de los pesos normalizados para cada capa temática.

Capa	Litología	D. Lin	D. dre	TPI	C. Inf	As	Suma	W
Litología	0.32	0.12	0.21	0.39	0.24	0.36	1.64	0.27
D. Lin	0.11	0.04	0.09	0.02	0.02	0.04	0.31	0.05
D. dre	0.05	0.01	0.03	0.02	0.01	0.04	0.16	0.03
TPI	0.11	0.28	0.21	0.13	0.24	0.12	1.08	0.18
C. inf	0.11	0.20	0.21	0.04	0.08	0.07	0.71	0.12
As	0.32	0.36	0.26	0.39	0.41	0.36	2.10	0.35
suma	1	1	1	1	1	1		1

Para verificar la validez de los pesos normalizados obtenidos fue necesario calcular la relación de consistencia (CR) de acuerdo a la ecuación 1.

$$CR = CI / RI \quad (1)$$

Donde, RI es el índice aleatorio de consistencia, el cual depende del orden de la matriz, en este caso para el orden n=6, RI= 1,24 (Tabla 3)

Tabla 3. Orden de la matriz RCI.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Valor RCI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48

CI, es el índice de consistencia, el cual es dado por:

$$CI = \frac{\delta_{\max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

Siendo, $\delta_{\max}$ = es el valor propio principal de la matriz y se calculó a partir del cociente

obtenido que en este caso fue 6,63

n= es el número de factores considerados para el análisis de favorabilidad

hidrogeológica, el cual es 6.

Se obtuvo: CI= 0,13 y CR= 0,13/1,24= 0,10.

Obteniendo una matriz con pesos consistente. Se indica que el valor de CR no debe de ser mayor que 0,10 para que los pesos normalizados sean consistentes; de lo contrario, los pesos correspondientes deberían ser verificados para evitar incoherencias (Saaty, 1990).

Pesos normalizados para las subclases de las capas temáticas

Las categorías de cada capa temática fueron jerarquizadas y se calculó el peso normalizado, ver Tabla 4.

Capa temática	Subclase Ranking	Ranking	Peso normalizado(W)
Litología	Aluvial	9	9/45=0.200
	Indiferenciado	8	8/45=0.178
	Terraza	8	8/45=0.178
	Basalto	3	3/45=0.067
	Dacita	4	4/45=0.089
	Andesita	2	2/45=0.044
	Intrusivo	2	2/45=0.044
	Caliza (agua zarca)	2	2/45=0.044
	Riolita	3	3/45=0.067
	Ignimbrita	4	4/45=0.089
		45	1

Densidad de Lineamiento	1.168	2	0.083
	5.169	3	0.125
	11.526	5	0.208
	17.320	6	0.250
	113.911	8	0.333
		24	1

Capacidad de infiltración	Franco arenoso (20-25 mm/h)	9	0.310
	Franco arenoso limoso (15-20 mm/h)	7	0.241
	Franco arcilloso (5-10 mm/h)	5	0.172
	Arcillo arenoso (8-10 mm/h)	5	0.172
	Arcilla pesada (8 mm/h)	2	0.069
	Basamento rocoso	1	0.034
		29	1

TPI	Cimas	1	0.042
	Pendiente pronunciada	2	0.083
	Planicie	9	0.375
	Pendiente suave	3	0.125
	valle	9	0.375
		24	1

Densidad de drenaje	43,811	7	0.370
	21,390	6	0.300
	14,073	4	0.200
	8,567	2	0.100
	2,017	1	0.050
		20	1

Concentraciones de arsénico	0-1	9	0.231
	1-2	8	0.205
	2-3	8	0.205
	3-5	6	0.154
	5-9	5	0.128
	9-14	2	0.051
	14-21	1	0.026
		39	1

con favorabilidad baja constituyen un 23,34% y las zonas no favorables un 6,32 %.

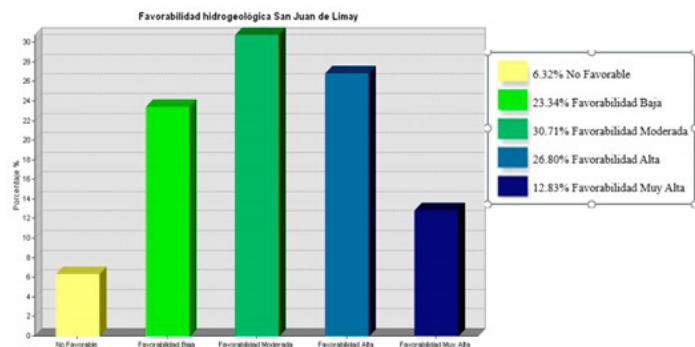


Figura 12. Porcentaje de las zonas con favorabilidad de aguas subterráneas.

Índice de Favorabilidad de aguas subterráneas (GWFI)

El índice de favorabilidad o potencial de aguas subterráneas es una cantidad adicional que se utilizó para cuantificar la probabilidad de existencia de agua subterránea en la zona de estudio. A partir de los pesos normalizados, se realiza una combinación lineal ponderada estimando el GWFI de acuerdo a,

(3)

$$GWFI = \sum_{i=1}^n (XA * YB)$$

Dónde, GWFI es el potencial de agua subterránea, X representa el peso de las capas temáticas; Y representa el rango de las subclases de las capas temáticas. El rango A representa el mapa temático y el término B representa las clases de las capas temáticas.

Generación del mapa de favorabilidad hidrogeológica
Todas las capas temáticas fueron procesadas en el modelo de datos Ráster, las cuales fueron reclasificadas con el peso establecido en la matriz, para finalmente calcular el GWFI mediante la superposición o combinación lineal ponderada en ArcGis.

Delimitación de zonas hidrogeológicamente favorables
El mapa de favorabilidad hidrogeológica se clasificó en 5 zonas de acuerdo al esquema metodológico, que van desde zonas no favorables, favorabilidad baja, favorabilidad moderada, favorabilidad alta y favorabilidad muy alta (Mapa 10).

El análisis de las zonas con favorabilidad hidrogeológica muestra que las zonas con mayor favorabilidad constituyen el 12,83 % del municipio de San Juan de Limay, favorabilidad alta es constituida por el 26,80 %, la zona de favorabilidad moderada ocupa la mayor extensión de área con 30,71 %; mientras tanto las zonas

La superposición de los mapas con el mapa de favorabilidad hidrogeológica encuentra que el área con favorabilidad muy alta comprende parte de los depósitos Cuaternarios aluviales, un área sin presencia de arsénico, zonas de valles y planicies y una textura de suelo moderada lo que favorece al potencial de las aguas.

Zonas con una favorabilidad alta se caracterizan por presencia de materiales volcánicos fracturados que permiten la infiltración y recarga hídrica. Según (Ahmadi et al., 2021) la existencia de fracturas sobre rocas ígneas es eficaz para la recarga de aguas subterráneas

Las zonas con favorabilidad moderada, se caracterizan por zonas de pendientes medias y valles, una densidad alta de drenaje y lineamientos y una textura de suelo moderada. Las zonas con favorabilidad moderada tienen una distribución amplia en todo el municipio.

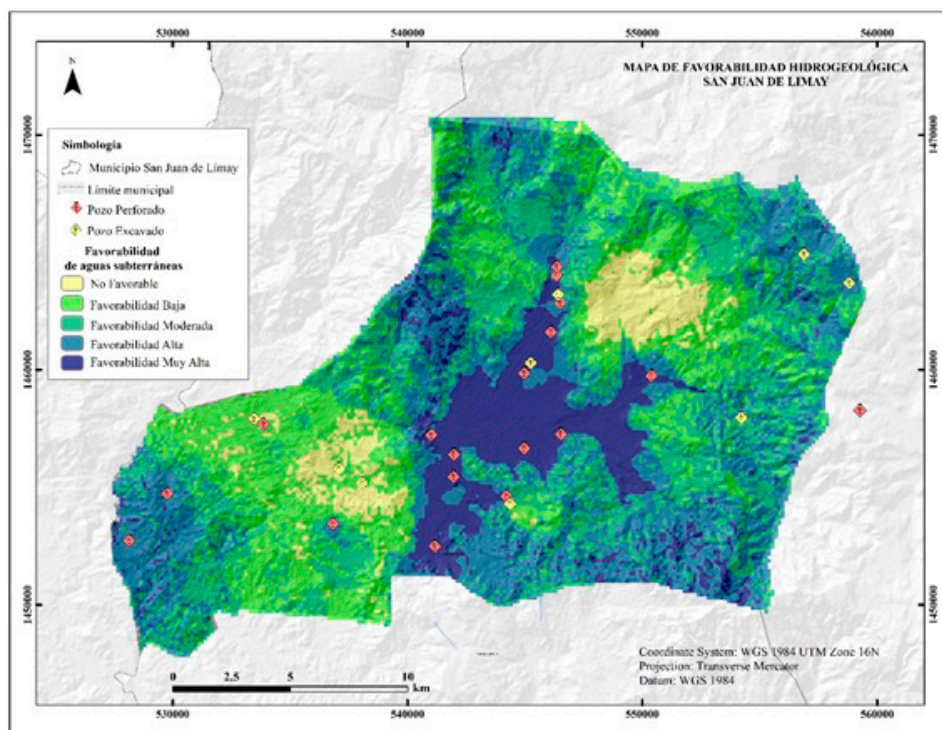
Por último, las zonas con poca favorabilidad o no favorables presentan características topográficas con pendientes pronunciadas, cimas, concentraciones de arsénico fuera de los límites establecidos, basamento rocoso y una baja densidad de lineamiento.

Favorabilidad Hidrogeológica y Variabilidad Climática

Los resultados observados en el SPI muestran que casi el 50% del período estudiado abarca años con anomalías negativas presentando precipitaciones por debajo de los promedios. De manera que las zonas favorables hidrogeológicamente pueden verse limitadas en cuanto a mecanismos de recarga para los acuíferos por el déficit hídrico que se presenta en temporadas.

Conclusiones

El mapa de favorabilidad hidrogeológica para el municipio de San Juan de Limay ha sido obtenido mediante el enfoque AHP basado en SIG, aplicándolo con éxito para el mapeo



de zonas con favorabilidad hidrogeológica, obteniendo como resultado el mapa siendo este de gran relevancia, mostrando las zonas más significativas y sitios idóneos para la exploración de aguas subterráneas. Siendo una herramienta eficiente en la toma de decisiones para la gestión sostenible de los recursos de agua subterránea y la evaluación integral del desarrollo de la exploración de aguas subterráneas para la planificación futura.

Los resultados generales concluyen que la metodología AHP junto con la opinión de expertos ayuda a construir un modelo hidrogeológico prospectivo del área, aplicado sobre todo en regiones con escasez de datos, siendo una herramienta eficiente en la toma de decisiones para la gestión sostenible de los recursos de agua subterránea, reduciendo tiempo, costos y minimizando así, el riesgo de pozos mal ubicados.

Agradecimientos

Agradecemos a la Red de Investigación Hidrogeológica para el Corredor Seco Centroamericano (HidroREDCA) y al Instituto de Geología y Geofísica (IGG/UNAN-Managua) por el apoyo brindado. De igual manera, se le agradece a la Alcaldía del Municipio de Limay por acompañarnos en la etapa de campo.

Referencias

Ahmadi, H., Kaya, O. A., Babadagi, E., Savas, T., & Pekkan, E. (2021). GIS-Based Groundwater Potentiality Mapping Using AHP and AHP and FR Models in Central Antalya, Turkey. *Environmental Sciences Proceedings*, 1–15.
Bernardes, J., Trovo, D., & Yoshinaga, S. (2017). Uso de

geotecnologías na avaliação da favorabilidade hidrogeológica em aquíferos fraturados. *Águas Subterráneas*, 31(3), 15. <https://doi.org/10.14295/ras.v31i3.28773>

Chavarria, H., & Martínez, A. (2017). Caracterización de las condiciones geológicas para el diseño de cosechas de agua en las comunidades de Ocotillo y La Grecia, Municipio de San Juan de Limay, Estelí. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, UNAN-Managua.

FAO. (2007). Los Recursos Hídricos de Nicaragua. Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura, 217, 78.

GWP. (2016). Gestión integrada de los recursos hídricos en Centroamérica: gestionando las aguas transfronterizas como desafío primordial. www.gwp.org

Hodgson, G. (2000). Geología Regional de Nicaragua. Introducción al léxico estratigráfico de Nicaragua.pdf.

INETER, ANA, UNI, & GIZ. (2014). Cuencas Hidrográficas de Nicaragua bajo la metodología Pfafstetter. <http://www.ana.gob.ni/DocumentosSiAGUA/slideshow/AlbumCuencasNicRevisado.pdf>

Ponnusamy, D. (2020). Mapping of Potential Groundwater Recharge Zones : A Case Study of Maputaland Coastal Plain , South Africa. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-566699/v1> License:

Rahmati, O., Nazari Samani, A., Mahdavi, M., Pourghasemi, H. R., & Zeinivand, H. (2015). Groundwater potential mapping at Kurdistan region of Iran using analytic hierarchy process and GIS. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(9), 7059–7071. <https://doi.org/10.1007/s12517-014-1668-4>

Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational*

Research, 48(1), 9–26. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I)

Schliz, M. (2009). Interpertración Geoestructural de las Hojas Topográficas de Cinco Pinos y San Juan de Limay en el NW de Nicaragua. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.

Weiss, A. D. (2001). Topographic Position and Landforms Analysis. The Nature Conservancy, 64, 1. <http://scholar.google.com/>

Mapa 7 Texturas del suelo 15

Mapa 8 Densidad de lineamiento 16

Mapa 9 Densidad de drenaje 17

Mapa 10 Mapa de favorabilidad hidrogeológica del municipio de San Juan de Limay, Estelí 24

Apéndices

Tablas

Tabla 1 Matriz de comparación por pares para el proceso AHP 17

Tabla 2 Determinación de los pesos normalizados para cada capa temática 17

Tabla 3 Orden de la matriz RCI 18

Tabla 4 Valores de CI y CR 19

Tabla 5 Rankings y pesos normalizados para cada subclase 19

Figuras

Figura 1 Mapa de localización del área de estudio, a) Unidades hidrográficas nivel 4, b) Unidad Hidrográfica del Pacífico (9533) como parte de esta unidad se encuentra la unidad Río Negro (9533762); c) unidades hidrográficas nivel 8 (95337629 y 95337627), ubicadas dentro del municipio de Limay 4

Figura 2 Plan y procesamiento 5

Figura 3 Columna litoestratigráfica generalizada del área 7

Figura 4 Representación de las variables climáticas en el área 7

Figura 5 Temperatura media 8

Figura 6 Balance hídrico climático 8

Figura 7 Parámetros físico químicos Ph9

Figura 8 Parámetros físico químicos Temperatura 10

Figura 9 Parámetros físico químicos Conductividad eléctrica 10

Figura 10 Parámetros físico químicos TDS 11

Figura 11 Índice de precipitación estandarizada SPI 12

Figura 12 Porcentaje de las zonas con favorabilidad de aguas subterráneas 23

Mapas

Mapa 1 Geología del área de estudio 6

Mapa 2 Mapa piezométrico del municipio 9

Mapa 3 Concentraciones de arsénico 11

Mapa 4 Litología 13

Mapa 5 Concentraciones de arsénico 14

Mapa 6 Índice de posición topográfica 14

Armonización del enfoque de cadenas de valor con la resiliencia climática en medios de vida rurales

Ivan Leonardo Soto Díaz¹

¹Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua

(Remitir correspondencias a ivanleonardosotodiaz@gmail.com)

Resumen: El presente estudio pretende realizar un análisis conceptual y teórico sobre la importancia de la implementación del enfoque de cadena de valor en el aumento de la resiliencia climática de familias rurales del corredor seco Nicaragüense. La investigación se basará en el potencial del enfoque participativo de las cadenas de valor como plataformas de co-gestión y concertación vinculadas al uso y aprovechamiento de los recursos naturales relacionados con servicios ecosistémicos, así como el desarrollo de estrategias de adaptación basadas en comunidades.

Para el desarrollo teórico de la propuesta, se retomará la investigación "Estrategia de competitividad para la cadena productiva del carbón vegetal en parvas, producido a partir de residuos de aprovechamiento forestal y agroforestal en el occidente de Nicaragua (Soto 2013)", la cual permitirá, como estudio de caso, comprender bajo circunstancias reales la aplicación de este enfoque.

La propuesta se desarrollará en dos secciones específicas del documento, denominadas análisis de puntos críticos en la competitividad de la cadena de valor con enfoque climático y Estrategia de competitividad para la cadena productiva de carbón vegetal en parva, con enfoque climático.

Palabras clave: Cadenas de Valor, Resiliencia Climática, Cogestión

Abstract: This study aims to carry out a conceptual and theoretical analysis of the importance of implementing the value chain approach in increasing the climate resilience of rural families in the Nicaraguan dry corridor. The research will be based on the potential of the participatory approach of value chains as co-management and agreement platforms linked to the use and exploitation of natural resources related to ecosystem services, as well as the development of community-based adaptation strategies.

For the theoretical development of the proposal, the research "Strategy of competitiveness for the production chain of charcoal in heaps, produced from residues of forestry and agroforestry in western Nicaragua (Soto 2013)" will be taken up, which will allow, as a case study, to understand the application of this approach under real circumstances.

The proposal will be developed in two specific sections of the document, called analysis of critical points in the competitiveness of the value chain with a climate focus and Competitiveness Strategy for the charcoal production chain in Parva, with a climate focus. The rest of the document will be kept according to the original article.

Keywords: Value Chains, Climate Resilience, Co-management

Introducción

Nicaragua anualmente demanda una gran cantidad de biomasa (10115 tm/año de carbón) para dar respuesta a las necesidades energéticas del país. Para satisfacer esta necesidad de combustible de biomasa, un número importante de dueños de bosques, carboneros, comerciantes e intermediarios han conformado pequeñas redes de producción y comercialización de carbón que generalmente operan de forma ilegal, sin ningún tipo de regulación ambiental (MEM 2007; Vega 2009; Ampí 2002).

Estudios previos realizados por el Ministerio de Energía y Minas de Nicaragua (MEM), identificaron que cerca

del 99% del carbón proviene de procesos de producción artesanal, denominadas parvas. Esta tecnología de carbonización rudimentaria utiliza la tierra para cubrir la madera a carbonizar como una barrera física que aísla la madera de su entorno exterior, evitando la entrada del oxígeno que incinere la madera a transformar. Los rendimientos obtenidos mediante esta técnica de carbonización están valorados según el MEM en una proporción de 6:1; es decir, 6 partes de leña producirán 1 de carbón (MEM 2007).

El gobierno nicaragüense a través de la estrategia nacional de leña y carbón (INAFOR 2010), estableció pautas para reducir el impacto causado por la creciente demanda de

estos combustibles a nivel nacional, enfocadas en un adecuado aprovechamiento del recurso y un cambio en la cultura energética de los consumidores. Estas acciones sin duda ayudarán a reducir la presión ejercida a los recursos forestales (Barrance 2000; Dunn et al 2005). Sin embargo, estas medidas no contemplan estrategias destinadas a mejorar las condiciones competitivas de las cadenas productivas de carbón vegetal, dejando de un lado los intereses de los distintos actores involucrados en el desarrollo de la cadena de carbón a nivel nacional (Humphrey et al 2000).

En este sentido, la situación de los carboneros en el sector de El Bosque y Tololar, Chinandega es similar a la de los carboneros en otras regiones en el occidente de Nicaragua, en donde el carbón es una fuente de energía e ingreso de las poblaciones rurales (Finnfor 2013). En estas regiones, la producción, transporte, y distribución del carbón son actividades que se realizan en un marco de informalidad y subsistencia (Martínez 1999).

La investigación "Estrategia de competitividad para la cadena productiva del carbón vegetal en parvas, producido a partir de residuos de aprovechamiento forestal y agroforestal en el occidente de Nicaragua" contribuyó al desarrollo de una estrategia de competitividad que generó alternativas para mejorar la capacidad competitiva de la cadena de carbón vegetal localizada en El Bosque y Tololar, la cual podrá ser retomada con algunas modificaciones en otras regiones del país para la optimización de la capacidad productiva y el fortalecimiento de las cadenas productivas de carbón vegetal en parvas.

De igual manera, sobre la base de los resultados obtenidos y a través de un análisis conceptual y teórico que involucró la evaluación de modelos climáticos del área de estudio, se diseñó una metodología de priorización basado en la determinación de factores de riesgo climático que permitieron la identificación de elementos de sensibilidad y exposición de los actores de la cadena, así como las necesidades en términos de recursos para la adaptación y sus implicaciones en la competitividad de la cadena.

Los resultados obtenidos, permitieron el desarrollo de una hoja de ruta para la implementación de la acción climática, asociada con el uso potencial del enfoque participativo de las cadenas de valor como plataformas de cogestión y concertación vinculadas al uso y aprovechamiento de los recursos naturales relacionados con servicios ecosistémicos, así como el desarrollo de estrategias de adaptación basadas en comunidades.

Investigación "Estrategia de competitividad para la cadena productiva del carbón vegetal en parvas, producido a partir de residuos de aprovechamiento forestal y agroforestal en el occidente de Nicaragua"

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El departamento de Chinandega posee una extensión territorial de 4,926 Km², localizándose a 134 kilómetros de la capital del país, Managua. Su topografía es en su mayoría plana con un clima promedio estimado entre 21 y 30 °C, con una precipitación anual estimada entre 700 mm a 2000 mm (Juarez et al 2004). El departamento de Chinandega está ubicado entre las coordenadas 12° 37' de latitud norte y 87° 07' de longitud oeste (figura 1). Es limítrofe al Norte con los municipios de Somotillo y Villanueva, al Sur con los municipios de Chichigalpa, El Realejo y Posoltega, al Este con los Municipios de Villanueva y Telica y al Oeste con los municipios de El Viejo y Puerto Morazán (BVSDSS 2012).

El territorio de Chinandega está comprendido por diversas regiones ecológicas, comenzando por la zona

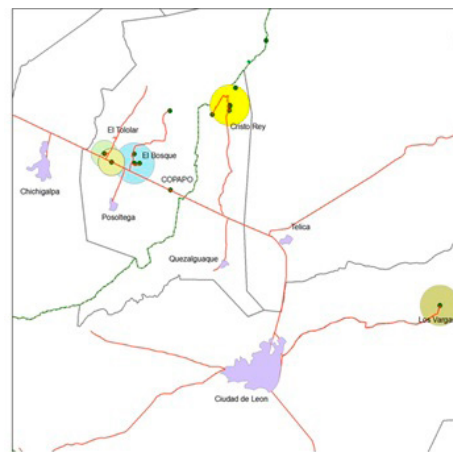


Figura 1. Mapa de la región de León y Chinandega, Nicaragua.

Fuente: Finnfor 2013.

sudoeste del departamento, en donde se estableció la cabecera municipal que lleva el mismo nombre, la cual hace parte de una llanura de origen volcánico y presenta un interesante potencial agrícola. A su vez el departamento se extiende a través de la cordillera de los Maribios, teniendo incidencia sobre el complejo volcánico constituido por los volcanes Choncho, San Cristóbal y Casita, presentando esta zona suelo arenosos un clima ligeramente más fresco (BVSDSS

2012).

El municipio de Posoltega, se encuentra localizado en el departamento de Chinandega, limitando al Norte con el municipio de Chinandega, al Sur con el municipio de Quezalguaque, al Este con el municipio de Telica y al Oeste con el municipio de Chichigalpa. Posee una extensión de 124 Km², con una temperatura media anual de 27 °C y una precipitación anual que oscila entre 800 y 1,500 mm. El municipio de Posoltega está caracterizado por presentar una topografía plana con una amplia tradición pecuaria y forestal, localizado dentro de las planicies de Nagraandana, consideradas como parte de los mejores suelos para el desarrollo de actividades agropecuarias de Nicaragua (BVSDSS 2012).

Metodología

Dentro de la metodología para el diseño de una estrategia de competitividad, se encuentran inmersos procesos de planificación, levantamiento de información secundaria, identificación de actores claves dentro de la cadena, diagnóstico de competitividad de la cadena, diseño de la estrategia de competitividad, así como también el diseño de un sistema de evaluación y monitoreo para la estrategia de competitividad elaborada CIAT (2003).

Mediante revisión bibliográfica, se recopiló información acerca de la situación del mercado del

carbón vegetal y la cadena del carbón vegetal en parvas en el occidente de Nicaragua, así como la identificación de aspectos analíticos metodológicos necesarios para una correcta investigación con enfoque de "cadena productiva".

Dentro del levantamiento de la información (primaria y secundaria), se buscó información relacionada con los actores pertenecientes a la cadena, localizada en los sectores de El Bosque y Tololar en el occidente de Nicaragua. El proceso de levantamiento de información fue a través de visitas continuas a campo y la aplicación de entrevistas semiestructuradas a los diferentes actores de la cadena.

Metodología para el diagnóstico de la competitividad de la cadena del carbón vegetal en parvas en El Bosque y Tololar, Nicaragua

Para el desarrollo del diagnóstico de la competitividad de la cadena del carbón vegetal, se describieron elementos claves de la competitividad de la cadena del carbón, realizando un análisis de "benchmarking" el cual tuvo como objetivo principal identificar la situación actual de la cadena en relación a sus competidores.

Los criterios utilizados fueron: Acceso a mercados claves, calidad del producto, productividad de la tecnología empleada, costos de producción o precios de venta, presentación o empaque del producto,

Talleres	Contenido	Resultados
Taller 1	• Presentación del proceso para elaborar una estrategia de competitividad • Presentación de participantes del taller • Visualización de la cadena • Gráfico histórico • Servicios de apoyo	• Mapeo de la cadena • Gráfico histórico de actividades de apoyo e innovación en la cadena • Oferta, demanda y calidad de servicios de apoyo
Taller 2	• Identificación de puntos críticos por eslabón de la cadena • Análisis de causas y efectos de los puntos críticos	• Árboles de problemas por cada eslabón de la cadena • Árbol de problema general para la cadena
Taller 3	• Identificación de posibles soluciones para los puntos críticos • Generación de un camino lógico provisional	• Árbol de soluciones para la cadena • Camino lógico provisional para discutir
Taller 4	• Negociación entre actores de la cadena • Definición de la estrategia de competitividad final	• Acuerdos entre actores para mejorar la cadena • Insumos para la sistematización de la estrategia de competitividad

Cuadro 1. Pasos a seguir durante la creación de la estrategia de competitividad.

canales de distribución, estacionalidad de la oferta durante el año, marca o imagen del mercado, servicios asociados.

Metodología empleada en el diseño de la estrategia de competitividad de la cadena del carbón vegetal en parvas

Para el diseño de la estrategia de competitividad se dispusieron 4 talleres, los cuales fueron realizados con la participación de actores focales pertenecientes a cada uno de los eslabones de la cadena. Los talleres presentaron una periodicidad de 20 a 30 días entre cada uno de los talleres.

Los temas tratados en cada uno de los talleres son expuestos en el cuadro 1, siendo analizados de manera participativa entre cada uno de los actores involucrados.

Resultados y discusión

La cadena del carbón vegetal proveniente de parvas del estudio está constituida por los eslabones de proveedores de insumos, transformación, comercialización y prestadores de servicios que se muestran en la Figura 2.

Proveedores de insumos

Son los encargados de abastecer de materia prima a la cadena del carbón vegetal, distribuidos en un radio de aproximadamente 7 Km con respecto al sitio en donde se encuentran ubicadas las parvas

en la comunidad El Bosque y Tololar, departamento de Chinandega. Se identificaron como principales abastecedores de leña productores agroforestales que comercializan los desperdicios de aprovechamiento forestal (ramas, raíces) y comunidades aledañas que comercializan los árboles caídos dentro de sus propiedades.

Transformación

Se identificaron diez carboneros. Todos utilizan la metodología tradicional de carbonización en parvas para la elaboración de carbón vegetal. Esta técnica de carbonización consiste en cubrir la madera a carbonizar con una barrera física de tierra que la aísla de su entorno exterior, evitando la entrada del oxígeno que pudiera incinerar la madera a transformar.

El grupo de carboneros cuenta con un total de seis parvas en el sector del Bosque y cuatro en el sector de Tololar, con un potencial de producción de 20 sacos semanales / parva, para un total anual de 9600 sacos para las diez parvas, equivalente a un total de 336 toneladas métricas (tm) de carbón vegetal al año.

Comercialización

Existen diferentes actores responsables de la comercialización del carbón vegetal representados por mayoristas localizados en los departamentos de León y Chinandega, los cuales distribuyen el carbón a



Figura 2. Cadena del carbón vegetal en el sector del Bosque y Tololar, Chinandega, Nicaragua. Fuente Soto, 2013.

minoristas (pulperías y diferentes establecimientos de los mercados de la zona) y fritangas (restaurantes formales e informales de comida tradicional nicaragüense).

Los parveros también comercializan directamente su producto a fritangas localizadas en el departamento de Chinandega, específicamente en los municipios de Posoltega, Chichigalpa y Chinandega. Además, le venden carbón a los polvoreros del sector de León, quienes demandan carbón de guarumo (*Cecropia peltata*) para la fabricación de pólvora.

Prestadores de servicios

Instituto Nacional Forestal, INAFOR: ente gubernamental encargado de la regulación del sector forestal de Nicaragua. Responsable de la entrega de permisos de aprovechamiento, guías para la movilización de productos forestales por carreteras nacionales y la coordinación e implementación de la estrategia nacional de leña y carbón de Nicaragua. Su participación dentro de la cadena es necesaria para alcanzar la regulación de la actividad carbonera.

Ministerio de Energía y Minas, MEM: prepara, coordina y ejecuta el plan estratégico y las políticas públicas del sector energía, recursos geológicos, recursos mineros, recursos geotérmicos, recursos hidroeléctricos e hidrocarburos. En la actualidad trabajan en conjunto con el INAFOR para la puesta en marcha de la estrategia nacional de leña y carbón de Nicaragua. Este ministerio trabaja en la implementación de nuevas tecnologías necesarias para alcanzar una eficiencia energética en la utilización de biomasa en el país, por lo cual el trabajo en conjunto garantizaría información necesaria para la toma de decisiones en relación a las acciones adelantadas en la cadena.

Proyecto Finnfor del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE: brindó cooperación técnica sobre el manejo forestal en Centroamérica y fortalecimiento de cadenas de valor forestales.

ProLeña: brinda asistencia técnica en plantaciones energéticas y asesoría en tecnologías para mejor uso energético de leña y carbón vegetal.

Responsable directo de dar inicio a las actividades de producción del carbón vegetal mediante parvas en la región, para el aprovechamiento de los árboles caídos durante el paso del Huracán Mitch en Nicaragua en el año 1998. Actualmente se encuentran trabajando en la optimización de tecnologías necesarias para el aprovechamiento calórico en cocinas que operan con leña y construcción de cocinas ecológicas basadas en carbón vegetal.

Motosierristas y trozadores de leña: personas pertenecientes a las comunidades de El Bosque y Tololar. Responsables del corte y trozado de la leña. Cuentan con motosierras y hachas, que facilitan el proceso de preparación de la madera para el trabajo de carbonización. En la actualidad no existen alianzas permanentes con este grupo de actores, siendo su participación necesaria solo en momentos puntuales del proceso productivo del carbón.

Empacadores: principalmente mujeres y niños de las comunidades de El Bosque y Tololar, responsables del proceso de llenado de sacos y bolsas para la comercialización del carbón vegetal. En su mayoría estos actores pertenecen al grupo familiar de los productores de carbón, ofreciendo su servicio a un costo de C\$ 50 el llenado de 100 bolsas o de C\$ 10 el saco de 35 Kg (costos identificados al momento del estudio)

Crédito: actores encargados de suministrar recursos a la cadena mediante préstamos con tasas de interés variado.

Prestamistas particulares: actores independientes que financian dinero a tasas de interés igual o superior al 12% mensual. Generalmente originarios del municipio de Chinandega. Son el principal recurso de financiamiento debido a sus características informales, baja exigencia con respecto al respaldo de la deuda y rápido desembolso del dinero.

Pro mujer: micro financiera ubicada en los municipios de León y Chinandega, que brinda préstamos con tasas de interés activa nominal sobre saldo, entre 14.13 y 17.7% anual.

Si bien algunos productores han solicitado créditos a través de estos entes financieros, el 60% de los

carboneros de los sectores de El Bosque y Tololar no cuentan con una fuente de financiación establecida, argumentando dificultades en el proceso de solicitud de créditos y bajo historial crediticio que respalde un crédito en un banco.

Arrendatario de terrenos para la ubicación de las parvas: propietario de las dos manzanas y media de terreno en donde se encuentran localizadas las cinco parvas del sector de El Bosque, Posoltega. Cobra un monto de aproximadamente 100 córdobas / parva en cada uno de los procesos de producción de carbón vegetal.

Análisis sobre los criterios utilizados para medir la

competitividad relativa de la cadena del carbón vegetal de parvas

A continuación se muestra un análisis comparativo realizado entre las cadenas de carbón vegetal en parvas y la cadena de carbón vegetal en hornos TPI de la Cooperativa de Productores Agroforestales de Posoltega (COPAPO) en el departamento de Chinandega. Para el estudio se tuvo como parámetro de evaluación los patrones de competitividad existentes entre el carbón ofrecido por los carboneros dedicados a la producción mediante la metodología artesanal y el carbón proveniente de hornos metálicos o TPI (Cuadro 2).

Calidad del producto

Criterios de competitividad relativa	Carbón proveniente de parvas	Carbón <i>Eucalyptus camaldulensis</i> COPAPO
Acceso a mercados claves	Alta, con fuerte incidencia en el mercado local	Alta, con potencialidad para mercado selectos e internacional
Calidad del producto	Baja, materia prima heterogénea con problemas de contaminación por tierra	Alta, materia prima homogénea de buena calidad, limpio y fácil encendido
Tecnología empleada	Fosas bajo Tierra	Hornos <u>semi</u> industriales y TPI
Origen materia prima	Plantaciones registradas y bosque Natural Sacos de 60 – 70 libras	Plantaciones registradas
Presentación o empaque del producto	Bolsas <u>plásticas</u> de 1 Kilogramo aproximadamente	Sacos de 60 – 70 libras
Canales de distribución	Productor – consumidor. Productor – intermediario- consumidor. Producto-intermediario mayorista- minorista - consumidor.	Cooperativa-consumidor. Cooperativa-intermediario- consumidor. Cooperativa-intermediario mayorista-minorista – consumidor.
Estacionalidad de la oferta durante el año	La oferta disminuye en los meses entre junio - diciembre (Invierno)	Sin estacionalidad durante el año
Volumen de Producción	20 sacos por parva	22 sacos por horno TPI
Costos de producción	C\$1834,75 (US\$ 74.89)	C\$2070 (US\$ 84.5)
Marca o imagen del mercado	Ninguna	Ninguna
Precios de venta	C\$150 – 180 por saco de carbón en invierno y C\$120-150 en verano	C\$180 por saco en invierno y C\$120-160 verano
Diversificación del producto	Carbón para la elaboración de pólvora	Sin intención de diversificar el producto

Cuadro 2. Análisis de la competitividad relativa de la cadena de carbón vegetal en parvas de El Bosque y Tololar, Chinandega.

El carbón vegetal elaborado de manera artesanal (parvas), presenta diferencias significativas con respecto al carbón producido de manera industrial a consecuencia del tipo de materia prima y la tecnología de carbonización utilizada. Para el caso del carbón vegetal elaborado de manera artesanal (parvas), la madera utilizada como materia prima es proveniente de residuos de aprovechamiento forestal y bosque secundario. Esta característica no permite estandarizar la calidad del producto debido a las diferentes especies, densidades y características de la madera.

Con respecto a las características derivadas de la tecnología de carbonización, las parvas al realizarse en fosas en el suelo presentan problemas de contaminación con tierra, por la presencia de pequeños fragmentos por debajo del tamaño ideal y chispas durante su combustión, este último producto de un proceso de carbonización inconcluso y la heterogeneidad en la madera.

El carbón vegetal producido mediante la tecnología de hornos industriales o TPI, utiliza materia prima proveniente de plantaciones de eucalipto camaldulensis localizadas en el occidente de Nicaragua. La homogeneidad en la madera a carbonizar brinda al carbón vegetal características deseables en relación a parámetros internacionales del producto, presentando un interesante potencial para la exportación. Dentro de las características encontradas están encendidos rápido de 2 a 3 minutos, buen tamaño a partir de 5 cm de diámetros, 20 a 30 cm largo, libre de impurezas, buen peso, sin liberación excesiva de humo.

Acceso a mercados clave

Teniendo en cuenta las características de los competidores, el acceso a los mercados dependerá en gran medida del canal de comercialización en el que se desee distribuir el producto. El carbón vegetal proveniente de parvas aunque no posee las características ideales que le permitan ingresar a canales de comercialización selectos (supermercados y mercado internacional), dentro de su segmento de mercado (fritangas y hogares) estas desventajas son rápidamente equiparables debido a su bajo costo en relación a su competidor,

generando no solo su rápida distribución en el mercado local sino también una caída de los precios del carbón vegetal a nivel regional.

Las propiedades ofrecidas por el carbón vegetal producido en hornos TPI al ser superiores con respecto a su competidor, hacen de este un producto de mejor calidad pero de un mayor precio. Esto abre una oportunidad interesante para la penetración del producto en mercados nacionales e internacionales más selectos que ofrezcan un mayor precio por el producto.

Tecnología Empleada

Las parvas son el método más tradicional y rudimentaria utilizada para la elaboración del carbón vegetal, esta técnica consiste en cubrir la madera a carbonizar con una barrera física de tierra que aísla la madera de su entorno exterior, evitando la entrada del oxígeno que incinere la madera a transformar (FAO, 1983). Estos hornos presentan agujeros que facilitan el ingreso de aire y tienen como función el controlar el proceso de carbonización, siendo cubiertos con tierra conforme se carboniza la madera. Una vez la madera se ha carbonizado se tapan todos los huecos, evitando la entrada del aire para enfriar el carbón deteniendo el proceso.

La producción de estos hornos se adapta a producciones esporádicas como a producción a gran escala, siendo una ventaja comparativa con las demás técnicas los bajos costos que se requieren para la transformación (Massai, 1986). Los rendimientos de producción mediante esta técnica son inciertos, sin embargo debido a los bajos costos de producción y la no depreciación del horno representa una opción interesante para pequeños productores.

La cooperativa COPAPO cuenta con dos tecnologías para la producción de carbón vegetal (un horno semi industrial y un horno TPI), sin embargo debido a su fácil manipulación y menores tiempos de carbonización la actividad carbonera se centra en el horno industrial o TPI. Navas (1992) los describe como dispositivos de carbonización cilíndrico, que presenten entradas y salidas de aire en la base y se encuentren divididos en secciones que permitan su transportabilidad. El horno metálico posee diferentes piezas denominadas

virolas, de diversas formas, que se superponen y que son tapadas con otra pieza metálica llamada tapadera (Marcos, 1989). Su capacidad varía de 4 a 9m³ de madera según Carbonización industrial (2004). Por último el costo aproximado del honor TPI es de 3500 dólares.

Origen materia prima

La materia prima utilizada por los productores en parvas para la elaboración del carbón vegetal proviene de diversas fuentes, dentro de las que se destacan el subproducto de aprovechamiento en plantaciones forestales y bosques secundarios. Según Ramón Quezada productor de la región de Posoltega, la materia prima es suministrada mediante la compra de "carretadas o trailadas" de madera a productores forestales de la región, teniendo un costo de 2000 córdobas por trailada de madera, 300 córdobas por carretada y 150 por cochada. Los productores de carbón vegetal mediante la tecnología de parvas no cuentan con plantaciones propias que suministren la materia prima que necesitan para carbonizar.

Para el caso del carbón vegetal proveniente de los hornos semi industriales y hornos TPI, la materia prima es proveniente de plantaciones de Eucalyptus camaldulensis propiedad de socios de la cooperativa COPAPO y plantaciones aledañas de la misma especie. Según datos suministrados por COPAPO, la cooperativa, al momento del estudio, contaba con aproximadamente 150 manzanas de plantaciones de Eucalipto registradas ante el INAFOR y cerca de 450 manzanas se encontraban sin registrar, significando un interesante potencial de materia prima para la producción de carbón vegetal. Los precios ofertados por la cooperativa para la compra de materia prima estaban en 400 pesos por carretada de eucalipto y cochadas a 200 córdobas puestas en la cooperativa (precios identificados al momento del estudio).

Presentación o empaque del producto

El carbón proveniente de las parvas es vendido en presentaciones de sacos de 60 - 70 libras aproximadamente, contando además con presentación en bolsas plásticas transparentes de 2 a 3 libras aproximadamente. La presentaciones

del carbón vegetal proveniente de la técnica de carbonización en hornos metálicos o TPI consisten en sacos de 60 – 75 libras, en el pasado se intentó vender en pequeñas presentaciones en bolsas de papel kraft de 2 kilogramos, sin embargo debido a las características rústicas del producto la bolsa se rompía en poco tiempo. En ambos casos el peso equivalente para las presentaciones del carbón vegetal es un aproximado teniendo como base para la medición el volumen ocupado dentro del empaque a comercializar.

Canales de distribución

Dentro de los canales de comercialización encontrados se encuentra la venta de carbón vegetal hacia Chichigalpa y Posoltega, siendo algunas veces el producto redistribuido hacia el mercado de León y Chinandega. La forma de comercialización se basa en la venta del carbón directamente al consumidor en su local o residencia y la venta mediante intermediarios comercializadores que redistribuyen el producto a sus clientes. Un pequeño segmento de compradores son las tiendas o pulperías, que compran el producto para luego venderlo al consumidor final.

El carbón proveniente de hornos metálicos de la cooperativa COPAPO comparte las mismas zonas de distribución del producto, sin embargo la forma de comercializar en su mayoría se hace a través de intermediarios y venta directa en las instalaciones de la cooperativa que se encuentra a un costado de la carretera panamericana en el sector de Posoltega.

Según información obtenida mediante encuestas, los principales consumidores del carbón vegetal son los puntos de venta de comida tradicional denominadas Fritangas, que se encuentran ampliamente distribuidas por la región y demandan una buena proporción de carbón para el proceso de cocción de la carne.

Estacionalidad de la oferta durante el año

La oferta del carbón vegetal proveniente de parvas presenta cierta fluctuación en la oferta durante el año, obedeciendo a las condiciones meteorológicas de la zona en donde se produce. Para el caso de León y Chinandega se identificó que la oferta de carbón es mayor durante la época seca, que comprende los meses entre enero a mayo, mostrando una reducción en la oferta durante la época de invierno que comprenden

los meses de julio a diciembre.

Esta fluctuación en la oferta es producto de los mayores tiempos requeridos para el secado de la madera y a la tecnología empleada para la carbonización que para el caso de las parvas es a cieloabierto lo que dificulta las labores de producción durante la lluvia. Según datos de los carboneros la producción se reduce aproximadamente en un 40% durante los meses de lluvia.

Para el caso del carbón vegetal proveniente de hornos metálicos, la producción no se ve afectada por la temporada invernal debido a que las instalaciones en donde se lleva a cabo la transformación cuentan con un techo que sirve de protección contra la lluvia. Sin embargo durante esta época la madera utilizada para la elaboración del carbón vegetal debe contar con un proceso de secado previo que aunque retarda el proceso de transformación no resulta ser una limitante para la producción continua del carbón vegetal durante esta época del año.

Volumen de producción

El tiempo estimado para alcanzar óptimos resultados de transformación de la madera en parvas están entre 3 y 5 días, dependiendo del contenido de humedad de la madera. Los rendimientos obtenidos mediante la implementación de esta técnica de carbonización son de aproximadamente 4 sacos de carbón de 60 – 70 libras por carretada de leña, conteniendo cada parva una aproximado de 4 carretadas de leña, dando un rendimiento general aproximado de entre 16 a 20 sacos de carbón vegetal por parva.

Para el caso de los hornos metálicos, el tiempo de carbonización fluctúan dependiendo de la tecnología de carbonización utilizada, para el caso del horno TPI el proceso de carbonización puede tardar aproximadamente 3 días. Los rendimientos alcanzados por el horno TPI son de 22 sacos por cada 3 carretadas que se requieran para el llenado del horno.

Costos de producción

Al momento del estudio, se estableció en C\$1834,75 (US\$ 74.89) los costos de producción

de carbón vegetal en parvas, mientras que para los hornos TPI se estableció en C\$2070 (US\$ 84.5) el costo total de producción por proceso de carbonización en hornos TPI. Los costos de carbonización en parvas resultaron C\$235,25 (US\$ 9.60) menos en relación al carbón producido en el horno TPI, debido a los costos incurridos en la depreciación del equipo en carbonización en hornos TPI.

Marca o imagen del mercado

Debido al margen de ilegalidad que representa la producción de carbón vegetal en parvas y a la manera tradicional con la que se comercializa, este carbón vegetal no cuenta con un código de barras ni una imagen corporativa que lo represente, imposibilitando su identificación por parte del consumidor una vez ingrese en el mercado. Para el caso del carbón vegetal proveniente de la cooperativa COPAPO, durante el desarrollo del proyecto Cuenta Reto del Milenio se logró impulsar junto con AFOCNIC (Asociación Forestal del Occidente de Nicaragua) la marca Carbón Vegetal para el carbón vegetal ofertado por la cooperativa, sin embargo en el momento del estudio, aún no se comercializa bajo esta imagen en el mercado.

Precios de venta

Al momento del estudio el carbón vegetal proveniente de parvas era comercializado a un precio que oscila entre 150 – 180 córdobas por saco de 60 – 70 libras durante el invierno y 120 – 150 córdobas durante la época seca, el precio ofertado por las bolsas de 1 kilogramo aproximadamente es de 7 córdobas. Para el caso del carbón fabricado en hornos metálicos, el precio del saco de carbón de 60 – 70 libras es de 180 córdobas durante el invierno y 120-160 durante la época de verano. En ambos casos las fluctuaciones en los precios obedecen a los cambios en las condiciones meteorológicas en la zona.

Diversificación del producto

Algunos parveros comercializan carbón proveniente de la madera del árbol *Guarumo Cecropia peltata*, que presenta características que son requeridas por los fabricantes de pólvora en la región. Este producto si bien no se comercializa de manera constante representa un buen margen de ganancia para el producto que lo vende a un precio de 200 córdobas por saco.

Para el caso de la cooperativa COPAPO que comercializa el carbón proveniente de hornos metálicos, durante el estudio no se había identificado un nuevo mercado

que demande una diversificación de su producto. Por lo que se comercializaba exclusivamente el carbón vegetal de Eucalipto.

Identificación de puntos críticos de la cadena del carbón vegetal "parvas"

Siguiendo la metodología planteada por el CIAT para el fortalecimiento de cadenas productivas mediante el desarrollo de una estrategia de competitividad, como parte del estudio se realizó un levantamiento de información preliminar en campo que posteriormente fue triangulado mediante una reunión con actores pertenecientes a la cadena del carbón vegetal (Acuña 2009). El objetivo de la reunión fue la identificación de las causas y efectos de las diferentes problemáticas identificadas en la cadena para luego ser analizadas mediante la metodología de árbol de problemas. De esta reunión se desprendieron dos árboles de problema uno de manera general de cadena y uno específico por problemática identificados. A continuación se describen cada uno de los cuellos de botella identificados al momento del estudio.

Análisis de puntos críticos en la competitividad de la cadena de valor

En base al proceso descrito anteriormente, se identificaron los puntos críticos o cuellos de botella por cada uno de los eslabones de la cadena del carbón vegetal proveniente de parvas en los sectores de El Bosque y Tololar, del departamento de Chinandega. Los resultados se describen a continuación.

Proveedores de insumos

- Desconocimiento de los abastecedores de materia prima: se sabe que los parveros compran residuos de árboles (ramas, raíces y troncos de árboles caídos) en las fincas agropecuarias que están en un radio de aproximadamente 7 km a la ubicación de cada parva, pero aún no han sido identificados los proveedores más permanentes que podrían incluirse dentro del proceso de producción de carbón de manera sostenible.

- Falta de alianzas estratégicas entre eslabones: no existe una vinculación directa de los actores responsables del abastecimiento de

materia prima y los transformadores de la cadena de carbón vegetal en parvas en el sector de El Bosque y Tololar, careciendo de alianzas estratégicas entre eslabones que garanticen un suministro constante de materia prima para la producción, así como para reducir costos y mejorar la calidad del producto. Estas características dificultan la transición de esta cadena productiva hacia una cadena de valor, que garantizaría una mayor competitividad de la cadena, fortaleciendo la respuesta de cadena hacia la demanda.

- Falta de suficientes áreas propias de los parveros para la producción de materia prima: debido a las características socioeconómicas de los actores involucrados en la cadena que imposibilitan la compra de terrenos para la reforestación, los productores de carbón vegetal de parvas en el sector de El Bosque y Tololar no cuentan con suficientes áreas de terreno para establecer plantaciones propias que les garantice un suministro permanente de la materia prima, por lo que una de las principales limitantes es la disponibilidad de leña para una producción de carbón de manera continua.

- Sin registro de la materia prima: como consecuencia del origen de la materia prima (desperdicios de aprovechamiento forestal, limpieza de senderos y árboles caídos), la leña utilizada en el proceso de carbonización no cuenta con registro de aprovechamiento, los cuales son necesarios para gestionar la solicitud de permisos de transporte ante el INAFOR. Esta limitante ha creado un distanciamiento de la actividad carbonera con los entes reguladores, obligando a los productores de carbón de los sectores de El Bosque y Tololar a trabajar al margen de la ley forestal nicaragüense.

- Sin material para la regeneración de plantaciones: al no existir productores de materia prima vinculados directamente a la cadena del carbón vegetal en los sectores de El Bosque y Tololar, no se realiza una reposición adecuada del material forestal utilizado en proceso de carbonización, afectando no solo la estabilidad del ecosistema sino también las relaciones con los entes reguladores (INAFOR, MARENA, POLICÍA).

- Falta de conocimiento en relación a políticas

forestales: Al momento del estudio, no se conocen los términos regulatorios para la puesta en marcha de la estrategia nacional de leña y carbón en el contexto forestal nicaragüense. En este sentido existe un desconocimiento generalizado en torno a los beneficios y restricciones que conllevaría la correcta aplicación de la ley por parte de los actores involucrados en la cadena del carbón en el sector de El Bosque y Tololar.

Transformación

- **Calidad:** se identificaron problemas relacionados con la calidad del producto como consecuencia de la materia prima heterogénea proveniente de diferentes especies arbóreas y las formas artesanales de carbonización utilizadas para la producción de carbón en parvas. Dentro de los problemas identificados está el tamaño irregular del carbón que es comercializado, el cual en algunas ocasiones no logra satisfacer las necesidades de los consumidores, presentando tamaños pequeños que dificultan el trabajo y manipulación del carbón.

- **Sin control sobre la materia prima:** la madera utilizada como materia prima es proveniente de residuos de aprovechamiento forestal y bosque secundario, así como de extracción maderable de sistemas agroforestales, imposibilitando la selección de la madera a carbonizar y presentando fragmentos de leña de diferentes edades y especies arbóreas. Esta característica no permite estandarizar la calidad del producto, debido a las diferentes densidades y características de la madera presentes en las especies arbóreas utilizadas.

- **Tecnología deficiente con respecto a las características derivadas del proceso de carbonización:** debido a que las parvas se construyen de manera artesanal en fosas en el suelo, presentan problemas de carbonización no homogénea y de contaminación con tierra. Estos problemas en algunas ocasiones generan el rechazo del producto por parte del consumidor.

- **Sin equipo especializado para la carbonización:** El grupo de carboneros en el sector de El Bosque y Tololar presenta problemas de

calidad debido a la falta de herramientas especializadas de carbonización (palas, rastrillos, trinchetes, guantes y equipo de seguridad) que faciliten y optimicen la producción de carbón. Estos equipos representan un cambio tecnológico importante, garantizando mejor calidad del producto y una optimización de las condiciones laborales de los productores de carbón en parvas.

- **Baja organización:** en las comunidades de El Bosque y Tololar no existía al momento del estudio, ninguna figura asociativa legal que permita promover y organizar la producción del carbón en parvas; salvo algunas pequeñas alianzas productivas que se han presentado entre actores de la cadena (padres – hijos – hermanos) que han permitido satisfacer demandas específicas de carbón. Sin embargo, prevalece en este grupo de productores el trabajo individual. Por lo tanto, un modelo de organización social legal como por ejemplo, asociación con fines de lucro o micro-empresa, facilitaría el acceso a financiamiento, tecnología, compra de materia prima, asistencia técnica, gestiones ante INAFOR y ampliaría la posibilidad de negociar volúmenes considerables del producto con mayoristas a nivel local y nacional.

- **Ilegalidad:** debido al carácter informal de la actividad y no contar con un debido registro de la materia prima, los productores de carbón vegetal no cuentan con el aval de las autoridades competentes, forzándolos a operar ilegalmente e imposibilitando el acceso a los permisos de movilización del carbón por parte del INAFOR.

- **Bajos rendimientos:** como resultado de la forma artesanal de producción, los productores de carbón vegetal de parvas presentan bajos rendimientos en el proceso de carbonización, reflejados en la pérdida de material por incineración y madera sin carbonizar. Comparado con otros métodos de carbonización, las parvas presentan un 30,5% menos de eficiencia en relación al horno media naranja u horno de ladrillo, el cual presenta mejores márgenes de rendimiento, con un mayor aprovechamiento de la materia prima y una mejor calidad del carbón.

- **Bajo acceso al capital:** los productores de carbón de El Bosque y Tololar, Chinandega, no cuentan

con acceso al crédito necesario para la compra de materia prima y las necesidades propias de los actores. Esta incapacidad es debida a la falta de garantías económicas que respalden un crédito en una entidad financiera y la baja capacidad de endeudamiento de los productores, debido a que presentan una economía de subsistencia.

- Sin acceso a mercados selectos: debido a las características artesanales de producción de carbón que no permiten obtener un producto con mejores características (buen peso, estructura, buen tamaño y limpio) y la falta de inteligencia de mercados que garantice el acceso a canales de comercialización que generen mayores márgenes de ganancias a los productores. En la actualidad los productores de El Bosque y Tololar distribuyen su producto de manera desordenada, sin ninguna garantía de alcanzar una estabilidad económica que compense el esfuerzo realizado durante la producción de carbón.

Comercialización

- Baja cantidad del producto a la venta en época de invierno: las lluvias excesivas llenan de agua las fosas de las parvas, con lo cual se disminuye la producción y además, se oferta carbón más húmedo a menor precio, lo cual se podría mejorar mediante la construcción de bodegas simples que permitan almacenar carbón que se produce en los días secos o de menor lluvia.

- Incautación del producto y problemas legales: debido a su característica ilegal, los parveros y comercializadores son susceptibles a sufrir decomisos del carbón durante su transporte por las carreteras nacionales, por lo tanto el productor de carbón se ve en la necesidad de movilizar su producto en horas de la madrugada, siendo víctimas además de comerciantes que aprovechando su condición, demandan precios bajos por el carbón vegetal.

- Dificultad en la comercialización del producto: el carbón al no poseer permisos de aprovechamiento ni guías de movilización, imposibilita entablar negocios con mercados selectos que generarían un mayor ingreso al productor, dificultando además la posibilidad de movilizar el carbón hacia sectores

a nivel nacional que oferten un mejor precio para su producto.

- Sin control sobre el mercado: la falta de mecanismos que ayuden a regularizar el mercado del carbón vegetal a nivel local ocasiona márgenes de utilidad variables al productor durante el año, generados por la saturación del mercado y la estacionalidad en la producción debido a la entrada de la época de lluvia en la zona de producción.

- Deficiente inteligencia de mercados: la falta de medios de comunicación que garanticen un adecuado flujo de información con respecto al mercado del carbón, ocasiona un desconocimiento generalizado de los precios y de la demanda del producto, siendo los productores de carbón de los sectores de El Bosque y Tololar víctimas de especuladores que ofertan precios por debajo de los establecido a nivel local y nacional.

- Falta de información en relación a la aplicación de instrumentos forestales: la información asimétrica con respecto a los temas relacionados al sector forestal, la mala aplicación de la normativa y la falta de garantías legales que defiendan los intereses de los productores de carbón vegetal de los sectores de El Bosque y Tololar, ha provocado en algunas ocasiones violaciones a los derechos de los productores por parte de los entes reguladores y el decomiso del carbón vegetal.

- Falta de experiencia en negocios formales con enfoque de cadena: la falta de una estructura organizacional no ha permitido articular adecuadamente la producción y transformación con el comercio y la distribución del producto en los sectores de El Bosque y Tololar. Esta limitante ha debilitado la respuesta de la cadena hacia la demanda, imposibilitando la realización de negocios formales con clientes potenciales o intermediarios que demandan un flujo importante y constante del producto.

- Tendencia decreciente en los precios: los productores de carbón vegetal han identificado una reducción gradual en los precios del carbón vegetal a nivel local (C\$30), en relación a los dos años anteriores en donde el carbón era comercializado a C\$180. Esta tendencia se debe según los entrevistados a una

mayor oferta del producto en el mercado.

Estrategia de competitividad para la cadena productiva de carbón vegetal en parvas

Como parte de los resultados del Estudio, se identificaron las siguientes estrategias:

Organización

- Adecuar un modelo asociativo que mejore la sinergia entre actores y eslabones que facilite la toma de decisión en conjunto dentro de la cadena y aumente la posibilidad de acceder a beneficios brindados por el gobierno nicaragüense a la cadena.

- Estimar el volumen total y potencial de carbón producido por las parvas pertenecientes a los socios. Todo esto con el fin de poder realizar negociaciones conjuntas que garanticen un flujo constante del producto (carbón).

Desarrollo del producto

- Establecer una estrategia de trabajo con el INAFOR a fin de identificar puntos en común que permitan buscar soluciones a la falta de regularización de la materia prima utilizada en las parvas, facilitando de esta manera la solicitud de permisos de movilización del producto a nivel nacional.

- Establecer un plan de capacitaciones con los actores de la cadena en temas relacionados a los términos y condiciones de la ley forestal y la estrategia nacional de leña y carbón en Nicaragua.

- Diseñar e implementar estrategias de reposición de materia prima (madera) que permitan reducir la presión de la actividad carbonera sobre el bosque.

- Estimular la creación de alianzas estratégicas entre los eslabones de proveedor de insumos y transformación que garantice un suministro constante de materia prima, por lo que se deben diseñar e implementar estrategias de reposición de materia prima (madera) que permitan reducir la presión de la actividad carbonera sobre el bosque, manteniendo la sostenibilidad en la fuente de materia prima.

- Homogeneizar la materia prima utilizada

para la elaboración de carbón vegetal en parvas, analizando las especies forestales que presentan mejores rendimientos y calidades de carbón.

- Gestionar recursos para la inyección de capital semilla para compra de herramientas y materia prima, mediante la modalidad de un fondo revolvente a través del proyecto Finnfor que tiene presencia sobre la cadena.

Distribución del producto

- Diseñar una estrategia de comercialización de carbón que incluya elementos vinculados a la promoción de productos de alto valor agregado y productos para distribución al detalle en los principales barrios de las ciudades ubicadas en los departamentos de León, Chinandega y Managua.

- Gestionar fondos para la creación de bodegas de almacenamiento que permitan acopiar el producto en invierno. Con esto se garantizará el acceso a mejores precios por el carbón debido a las fluctuaciones positivas en los precios de compra del carbón durante el invierno.

- Solicitar capacitaciones que brinden apoyo a cadenas forestales en la zona, en temas relacionados a técnicas de comercialización y fortalecimiento de las capacidades de los productores en el establecimiento de negocios de forma más directa y rentable.

- Analizar el mercado del carbón vegetal a nivel local (Chinandega, Chichigalpa, León) a fin de caracterizar plenamente el mercado actual del carbón.

- Explorar nuevos canales tentativos para la comercialización del producto a nivel nacional (Managua, Estelí y Nagarote)

- Establecer canales de información de precios que permita mantener al productor al tanto de las fluctuaciones en el mercado del carbón.

- Establecer alianzas estratégicas con el INAFOR para la obtención de permisos de movilización del carbón (guías de transporte), que permitan el transporte del producto a zonas de mayor demanda.

■ Facilitar ruedas de negocios que permita conocer consumidores potenciales del carbón y el ingreso a nuevos canales de comercialización.
Precios

■ Analizar los costos y rendimiento en la producción del carbón vegetal para evaluar la flexibilidad del producto a cambios en el precio de venta que permita implementar estrategias agresivas de comercialización.

Análisis de puntos críticos en la competitividad de la cadena de valor con enfoque climático

Sobre la base de los resultados obtenidos en la

investigación “Estrategia de competitividad para la cadena productiva del carbón vegetal en parvas, producido a partir de residuos de aprovechamiento forestal y agroforestal en el occidente de Nicaragua (Soto 2013)”, se realizó un análisis conceptual y teórico que involucró la evaluación de amenazas climáticas del área de estudio y el diseño una metodología de identificación y priorización de los efectos del cambio climático en la cadenas y su repercusión en la competitividad. De igual manera, se identificaron las necesidades en términos de recursos para la adaptación y las capacidades instaladas con potencial para la acción climática en la región. A continuación, el cuadro 3 presenta los principales resultados obtenidos.

Cuadro 3. Análisis de puntos críticos en la competitividad de la cadena de valor con enfoque climático.

Valoración	Efecto en la cadena	Necesidades y limitantes identificadas	Afectaciones en la competitividad de la cadena
Eslabón de producción			
Media	○ Afectación de caminos todo tiempo que limita el acceso al recurso ○ Pérdida de plántulas en procesos de restauración <u>dendroenergéticos</u> ○ Inseguridad alimentaria de la familia durante periodos ENSO	○ Comunidad no capacitada y sensibilizada en términos de cambio climático ○ Ausencia de planes de planes de aprovechamiento que restrinja el aprovechamiento de árboles en áreas de recarga hídrica. ○ Difusión y masificación de estructuras de cosecha de agua en el corredor seco Nicaragüense, vinculado a viveros de plántulas necesarias para la restauración. ○ Limitada diversificación económica de fincas que permita la vinculación de especies arbóreas en sistemas productivos. ○ Falta de tierra para el desarrollo de prácticas de conservación de servicios <u>ecosistémicos</u> y reforestación ○ Necesidad de apertura de nuevas líneas de financiamiento inclusivo para productores que garanticen el crédito al pequeño productor, con condiciones crediticias adecuadas	○ Problemas con el acceso a la materia prima ○ Reducción de material <u>dendroenergetico</u> ○ Aumento en los tiempos de producción por problemas logísticos. ○ Aumento de precios de la materia prima

Eslabón de la transformación			
Media	- o Afectación de caminos todo tiempo que limita la salida del producto. - o Afectación en infraestructura productiva durante eventos de lluvia extrema. - o Olas de calor que dificulta el manejo de los hornos	- o Limitada investigación aplicada para procesos de innovación tecnológica en sistemas de producción de carbón de bajas emisiones. - o Incipiente conocimiento y acceso a tecnologías que promuevan la <u>bio</u> economía circular para el manejo efectivo de residuos de la carbonización. - o Necesidades de fortalecimiento de mecanismo de extensión rural sobre prácticas y tecnologías para la resiliencia en sistemas productivos - o Ausencia de mecanismos financieros en la banca privada para el acceso de pequeños y medianos productores a tecnologías climáticamente apropiadas - o Costo elevado de tecnologías que supera los márgenes de ganancia del productor, limitando el acceso al pequeño y mediano dueño de finca	- o Reducción de la productividad durante eventos climáticos extremos - o Aumento en los tiempos de producción - o Afectación en la calidad final del producto (Humedad) - o Limitada generación de subproductos para la diversificación productiva - o Altas emisiones de CO2 producto del proceso de combustión de la madera - o Inseguridad alimentaria de la familia
Eslabón de comercialización			
Medio	o Déficit del producto en temporada de lluvias extremas favorecidas por huracanes.	- o Limitada capacidad de acopio de producto para aprovechar las fluctuaciones del mercado. - o Los mercados locales no ofrecen precios diferenciados para Carbón proveniente de sistemas sostenibles.	- o Insuficiente oferta para satisfacer la demanda del mercado - o Pérdida de competitividad con competidores de carbón en hornos media naranja e industriales.

Estrategia de competitividad para la cadena productiva de carbón vegetal en parva, con enfoque climático

Los resultados obtenidos durante el análisis de puntos críticos en la competitividad de la cadena de valor con enfoque climático, permitieron el desarrollo de una hoja de ruta para la implementación de la acción climática, asociada con el uso potencial del enfoque participativo de las cadenas de valor como plataformas de cogestión y concertación vinculadas al uso y aprovechamiento de los recursos naturales relacionados con servicios ecosistémicos, así como el desarrollo de estrategias de adaptación basadas en comunidades. A continuación, se presente los resultados alineados a tres grandes componentes:

Estrategia de capacitación e investigación experimental

- En conjunto con la academia, desarrollar investigación aplicada en la implementación

de arreglos silvopastoriles y agroforestales para el abastecimiento de material dendroenergéticos para la carbonización.

- Evaluación de costo de oportunidad de nuevas tecnologías para la carbonización, mediante la inserción de tecnologías de hornos media naranja y hornos Tropical Product Institute (TPI). Estos hornos permitirán mejorar la calidad de vida del productor y mantener la productividad durante la lluvia intensa provocados por huracanes.
- Establecimiento de campañas de sensibilización a productores en relación a la conservación del bosque y la generación de servicios ecosistémicos necesarios para la resiliencia climática.
- Incorporar el enfoque de género en el desarrollo de la cadena de valor, mediante el análisis de sensibilidad de la mujer sobre impactos del cambio climático en sistemas productivos.

- Investigación aplicada sobre rendimientos efectivos de carbonización de especies endémicas forestales propias del trópico seco, resistentes a proceso de sequía, con el objetivo de capacitar a los productores en chapia selectiva con fines dendroenergéticos.

Innovación técnica y tecnológica

- Facilitar la diversificación económica en finca, mediante la producción, transformación y comercialización de subproductos derivados del proceso de carbonización, favoreciendo la economía circular.
- Promover la eficiencia energética mediante la promoción de cocinas mejoradas en hogares de la comunidad, necesaria para reducir la presión sobre el recurso natural a nivel local.
- Determinar las emisiones asociadas a la carbonización de madera en parvas, versus otras tecnologías disponibles en el mercado. Esta información podrá ser utilizada para el apalancamiento de recursos a través de fondos climáticos, encaminados a procesos de mitigación.
- Inserción de tecnologías de sistemas de riego eficiente en viveros forestales, con el objetivo de aumentar el porcentaje de germinación y supervivencia de plantas utilizadas en la restauración de áreas degradadas.
- Ordenamiento territorial y cumplimiento de la legislación ambiental para garantizar la trazabilidad de la madera y la reducción de aprovechamiento de árboles en áreas de recarga hídrica y ladera de ríos.

Financiamiento

- Apertura de nuevas líneas de financiamiento inclusivo para productores que garanticen el crédito al pequeño productor, con condiciones crediticias adecuadas. Esta estrategia involucra a prestadores de servicios financieros locales.

- Establecimiento de zonas de acopio comunitario para el mantenimiento de la oferta de carbón vegetal durante eventos de lluvia extrema, mejorando la competitividad del producto en el mercado.

- Análisis de mercado para la identificación de nuevos nichos de mercados con mayor valor agregado e incentivos para la producción sostenible resilientes y de bajas en
- emisiones de gases de efecto invernadero.

Conclusiones

Los resultados obtenidos, permitieron el desarrollo de una hoja de ruta para la implementación de la acción climática, asociada con el uso potencial del enfoque participativo de las cadenas de valor como plataformas de cogestión y concertación vinculadas al uso y aprovechamiento de los recursos naturales relacionados con servicios ecosistémicos, así como el desarrollo de estrategias de adaptación basadas en comunidades.

En la actualidad la deficiencia en la presentación y la imagen del producto refleja la falta de organización y estandarización del carbón vegetal proveniente de las parvas. Esta característica es una consecuencia del mercado poco exigente que se genera en torno al carbón vegetal en la región de León y Chinandega, que no estimula la diferenciación del producto, provocando un aumento en la vulnerabilidad de la cadena ante cambios repentinos en las condiciones del mercado.

Teniendo en cuenta que el fenómeno de la competitividad es dinámico y relativo, la mayor fortaleza del carbón proveniente de las parvas es su bajo costo lo cual lo hace sobresalir con respecto a su principal competidor en el mercado local (la cadena de carbón vegetal en hornos TPI), sin embargo la tendencia decreciente en los precios del carbón vegetal repercuten de manera negativa en la competitividad de la cadena, obligando a los productores de carbón en parvas a optar por un cambio radical de tecnología de carbonización.

En este sentido, si bien la elaboración de los hornos media naranja representa una inversión cercana a los \$600, con la adquisición de esta tecnología los parveros garantizarán mejores rendimientos (cerca al 24%), necesarios para aumentar la resiliencia de la cadena

ante los desafíos de la demanda.

Dentro de los cuellos de botella identificados en cada uno de los eslabones (problemas de calidad, baja organización, ilegalidad, bajos rendimientos, bajo acceso al capital, sin acceso a mercados clave), la ilegalidad es una de las principales problemáticas identificadas. Por lo tanto uno de los ejes centrales de trabajo en la estrategia es la regularización de la actividad carbonera, lo que conllevaría a un aumento en la competitividad de la cadena al permitir negociaciones más estables con sus clientes y la exploración de nuevos mercados a nivel local y nacional.

El diseño de la estrategia para la cadena de carbón vegetal en parvas contempla además cinco líneas de trabajo identificadas (organización, desarrollo del producto, distribución del producto, precios de venta e innovación tecnológica), las cuales fueron priorizadas por los actores de la cadena para el fortalecimiento y aumento de la competitividad de la cadena productiva de carbón vegetal en parvas.

Referencias

Asocam 2018. Consideraciones del cambio climático en cadenas de valor agropecuarias, Quito, Ecuador.

Acuña, Z. 2009. Guía metodológica de facilitación en cadenas de valor. Lima, Perú, GTZ- Agencia Lima. 109 p.

Vega R, 1992. Principales productos no maderables de México. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

Ampié, E. 2002. La producción forestal no controlada en el Municipio de Puerto Cabezas, Región Atlántico Norte. Nicambiental, Managua, Nicaragua.

Barrance, A. 2000. A demand study of the priority researchable constraints for four groups of forest-dependent poor people in the management of forest and tree resources in Central America.

Chatham, UK, Natural Resources International. 81 p.

Vega, R. 1992. Principales productos no maderables de México. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

Finnfor (Bosques y Manejo Forestal en América Central). 2012. Cadena de valor carbón vegetal proveniente de las plantaciones de eucalipto en Chinandega y León, Nicaragua. Turrialba, CR

BVSDSS (Biblioteca Virtual en Salud - Información y Conocimiento en Ciencias de la Salud - Desarrollo Sostenible y Salud). 2012. Managua, Nicaragua. Consultado el 1 de octubre del 2012. Disponible en http://www.bvsde.org.ni/Web_textos/INIFOM/CDdeCaracterizaciones/Caracterizaciones/Chinandega/Chinandega.html

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2004. Métodos simples para fabricar carbón vegetal. Roma, Italia.

GIZ 2013. Guía para integrar adaptación al cambio climático en cadenas de valor (en base a experiencia de Ecuador). Quito, Ecuador.

INAFOR (Instituto Nacional Forestal). 2010. Estrategia nacional de leña y carbón vegetal de Nicaragua 2011 – 2022. Managua, Nicaragua, INAFOR. 46 p.

MEM (Ministerio de Energía y Minas). 2007. Dirección general de políticas energéticas, balances energéticos nacionales 2006 – 2008. Managua, Nicaragua, MEM. sp.

CIAT. 2003. Diseño de estrategias para aumentar la competitividad de cadenas productivas con productores de pequeña escala. Cali, Colombia

CIAT 2007. Gestión de Cadenas Productivas. Serie Metodológica Para el Desarrollo Empresarial Rural. Cali, Colombia

Sepp S 2010. Analysis of Charcoal value chains-general considerations

Soto, 2013. Estrategia de competitividad para la

cadena productiva del carbón vegetal en parvas, producido a partir de residuos de aprovechamiento forestal y agroforestal en el occidente de Nicaragua, Managua, Nicaragua.

Humphrey, J. and O. Memedovic (2006) "Global Value Chains in the Agrifood Sector" UNIDO Working Papers.

Chavarría, I; Rojas, P; Sepúlveda, S. 2002. Competitividad: cadenas agroalimentarias y territorios rurales, Elementos conceptuales. San José, Costa Rica, IICA. 380 p. (Serie Documentos Técnicos (IICA) No 1)

Donovan, J; Stoian, D; Grouwels, S; Macqueen, D; Leeuwen, A; Boetekees, G; Nicholson, K. 2006. Hacia un ambiente favorable para el desarrollo de pequeñas y medianas empresas forestales. Recursos Naturales y Ambiente (49/50):163-168.

Dunn, E; Villeda, L. 2005. Weaving Micro and Small Enterprises into Global Value Chains. The Case of Guatemalan Textile Handicrafts. Microreport 31. United States Agency for International Development (USAID).

Giuliani, E; Pietrobelli, C; Rabellotti, C. 2005. Upgrading in Global Value Chains: Lessons from Latin American Clusters. World Development 33(4):549-573.

Hallberg, K. 2000. A market-oriented strategy for small and medium scale enterprises. Washington, D.C, World Bank Publications. 40 p.

Humphrey, J; Schmitz, H. 2000. Governance and Upgrading in Global Value Chains. In PPatBVC Workshop (Brighton, UK). Institute of Development Studies (IDS) - University of Sussex.

Diseño de una metodología que permita priorizar las medidas de uso y aprovechamiento de agua para la adaptación al Cambio Climático en el Corredor Seco de Nicaragua, período 2020–2030

Gutiérrez Corea, Rolando José¹

1 Estudiante de doctorado en Gestión y Calidad de la Investigación Científica II Cohorte 2020–2023 (UNAN-Managua). Docente de Biología y Oficial de Investigación, UNAN León, CUR Somoto.

<https://orcid.org/0000-0001-9087-6118>

rolando.gutierrez@curs.unanleon.edu.ni

Resumen: El agua es un recurso indispensable para mantener la vida de los ecosistemas terrestres; así como las actividades que garantizan la obtención de recursos para los humanos, pero debido a las condiciones actuales del clima que no garantizan las cantidades suficientes de agua se han incorporado prácticas y tecnologías en la Subcuenca Aguas Calientes. El objetivo del estudio es el diseño de una metodología que permita priorizar las medidas de uso y aprovechamiento del agua para la adaptación al Cambio Climático en la Subcuenca Aguas Calientes, departamento de Madriz, año 2022. Como resultado del estudio se identificaron medidas de adaptación al cambio climático para los recursos suelo, agua y bosque, así como la optimización y reutilización de éste recurso. Estas nuevas tecnologías se orientan a reducir el impacto negativo en el ambiente, y la degradación de los recursos renovables, como el agua, el aire y el suelo (FAO, 2016). Una desventaja de la tecnología es que la disponibilidad de agua se limita a las temporadas de precipitación altas y varía para cada región del país, además depende del tamaño del área de captación y del tamaño de tanque o cisterna de que se disponga, los que deben estar en correspondencia con el nivel de precipitaciones evaluadas (Mola Fines, 2021). Esta investigación, se fundamenta en el paradigma cualitativo interpretativo de tipo exploratorio y descriptivo que permite evaluar la efectividad de las tecnologías en recursos hídricos proporcionadas a la subcuenca, para la adaptación al Cambio Climático en el Corredor Seco de Nicaragua.

Palabras clave: Metodología, medidas de adaptación, tecnologías, subcuenca, agua

Abstract: Water is an essential resource to maintain the life of terrestrial ecosystems; as well as the activities that guarantee the obtaining of resources for humans, but due to current climate conditions that do not guarantee sufficient quantities of water, practices and technologies have been incorporated in the Aguas Calientes Sub-basin. The objective of the study is the design of a methodology that allows prioritizing the measures of use and exploitation of water for adaptation to Climate Change in the Aguas Calientes Sub-basin, department of Madriz, year 2022. As a result of the study, adaptation measures to climate change were identified for soil, water and forest resources, as well as the optimization and reuse of this resource. These new technologies are aimed at reducing the negative impact on the environment, and the degradation of renewable resources, such as water, air and soil (FAO, 2016). A disadvantage of the technology is that the availability of water is limited to the high rainfall seasons and varies for each region of the country, it also depends on the size of the catchment area and the size of the available tank or cistern, which must be in correspondence with the level of rainfall evaluated (Mola Fines, 2021). This research is based on the qualitative interpretive paradigm of an exploratory and descriptive type that allows evaluating the effectiveness of technologies in water resources provided to the sub-basin, for adaptation to Climate Change in the Dry Corridor of Nicaragua.

Keywords: Methodology, adaptation measures, technologies, sub-basin, water

Introducción

El presente estudio pretende el diseño de una metodología que permita priorizar las medidas de uso y aprovechamiento de agua para la adaptación al Cambio Climático en el Corredor Seco de Nicaragua, se desarrolla en la subcuenca Aguas Calientes, que ha sido escenario de la implementación de tecnologías en recursos hídricos. Esta metodología podrá ser utilizada por una amplia variedad de actores o grupos interesados (stakeholders), entre ellos, entidades de gobierno, comités comunitarios, organizaciones no gubernamentales y empresas del sector privado para la toma de decisiones. La adaptación constituye un elemento esencial de la respuesta de los seres humanos al cambio climático (Elliott, Armstrong, Lobuglio y Bartram, 2011).

Este producto, corresponde al primer objetivo de investigación, que consiste en describir las tecnologías en recursos hídricos proporcionadas a la subcuenca Aguas Calientes, para la adaptación al Cambio Climático en el Corredor Seco de Nicaragua, período 2020–2030. Para Elliott, et al. (2011) indicaron que los recursos hídricos y el suministro de agua estarán sujetos cada vez a mayor presión como resultado del cambio climático. Asimismo destacar que el cambio climático ha aumentado la incidencia de eventos extremos como sequías, inundaciones, y huracanes, que han ocasionado grandes pérdidas humanas y económicas (Milán, 2012). Es por eso que los procesos de adaptación constituye un elemento esencial de la respuesta de los seres humanos al cambio climático.

Elliott, et al. (2011) Plantean que los impactos negativos del cambio climático en el sector de los recursos hídricos se experimentarán a nivel mundial, pero se prevé que se presentarán con mayor severidad en los países pobres en recursos, es por ello que el acceso a una diversidad de tecnologías y prácticas de adaptación que sean apropiadas y asequibles en varios contextos es una necesidad imperiosa. La escala de estas tecnologías/prácticas de adaptación debería ir desde el nivel de la unidad familiar (por ejemplo, tratamiento de agua doméstica), pasando por la escala comunitaria (como la colecta de agua pluvial en pequeños reservorios), hasta grandes instalaciones que pueden beneficiar

a una ciudad o región (como podría ser una planta de desalinización).

La implementación de sistemas de captación de agua de lluvia requiere un análisis técnico de la ubicación del depósito, transporte y distribución de agua, mantenimiento y operación del sistema, consideraciones económicas y el apoyo del gobierno (Sharon, y otros, 2014). Es en este contexto que la validación y difusión de prácticas y tecnologías para el uso sostenible del agua en Centroamérica son fundamentales para contar con una cultura de manejo racional del agua como factor coadyuvante al bienestar económico y social, principalmente de las familias menos favorecidas (Global Water Partnership, GWP, 2013).

Esta investigación se enmarca en los Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS), que constituyen la nueva agenda para el desarrollo sostenible para los próximos años, culminando en el 2030, que son una serie de metas establecidas por Naciones Unidas en las que el agua ha sido considerada como un objetivo primordial de desarrollo. El Objetivo 6: Asegurar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos, busca garantizar la cobertura universal del derecho al agua y saneamiento, a través de un enfoque más integrado que en los ODM, al considerar temas como la calidad del agua, la gestión de ecosistemas hídricos, la GIRH y la gestión de cuencas transfronterizas, entre otros (Global Water Partnership, GWP, 2017).

Estas nuevas tecnologías se orientan a reducir el impacto negativo en el ambiente, y la degradación de los recursos renovables, como el agua, el aire y el suelo (FAO, 2016). Una desventaja de la tecnología es que la disponibilidad de agua se limita a las temporadas de precipitación altas y varía para cada región del país, además depende del tamaño del área de captación y del tamaño de tanque o cisterna de que se disponga, los que deben estar en correspondencia con el nivel de precipitaciones evaluadas (Mola Fines, 2021).

Esta investigación, se fundamenta en el paradigma cualitativo de tipo exploratorio y descriptivo que permite comprender la realidad y describir las tecnologías en recursos hídricos proporcionadas a la subcuenca Aguas Calientes, para la adaptación al

Cambio Climático en el Corredor Seco de Nicaragua. El proceso inició con la recolección de información primaria y secundaria relevante a los actores clave y visitas de campo para el reconocimiento de las tecnologías en la zona.

Materiales y métodos

El estudio se realizó con énfasis en tres comunidades de la subcuenca Aguas Calientes (El porcal, Uniles y Aguas Calientes), en el departamento de Madriz para describir la efectividad de las tecnologías en recursos hídricos y las medidas de adaptación ante Cambio Climático en el Corredor Seco de Nicaragua, período 2020–2030."

El área de estudio

La subcuenca intermunicipal del río Aguas Calientes se localiza entre las coordenadas:

13°24'10" y 13° 29'28" Norte y 86°34'12" y 86° 39'39" Oeste, en el departamento de Madriz, Nicaragua; abarca un área de 47 km², el 84,53% corresponde al municipio de Somoto y el 15,47% al municipio de San Lucas (Umaña y Mendoza 2000).

Las comunidades de la Subcuenca Aguas Calientes, en el departamento de Madriz comprende 10

comunidades:

1. El Volcán
2. El Porcal
3. Mansico
4. Quebrada de Agua
5. Rodeo II
6. Uniles
7. Sta. Isabel
8. Los Copales
9. Sta. Rosa
10. Aguas Calientes.

Muestra

La muestra seleccionada para el estudio, la conformaron 3 comunidades de la Subcuenca Aguas Calientes, las cuales fueron elegidas por cada uno de los estratos de la subcuenca y por poseer ser áreas priorizadas de intervención de proyectos con tecnologías en recursos hídricos por parte de organismos e instituciones para la adaptación de medidas al cambio climático. Las comunidades que formaron parte del estudio fueron las siguientes:

1. Comunidad El Porcal (Parte alta de la Subcuenca)
2. Comunidad Uniles (Parte media de la Subcuenca)

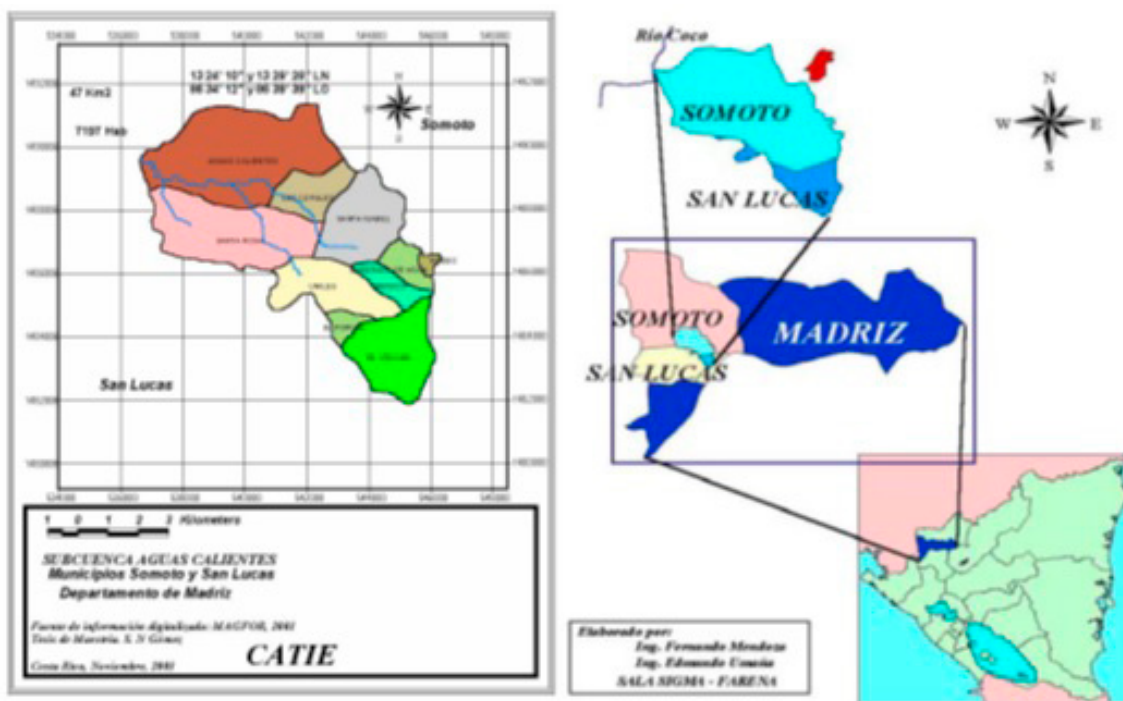


Figura 1. Mapa de localización de las zonas de recarga hídrica de las fuentes de agua. Fuente: MAGFOR, 2001.

3. Comunidad Aguas Caliente (Parte baja de la Subcuenca)

Fuentes de recolección de datos

Para la recolección de los datos se procede con la revisión de literatura bibliográfica de alto nivel científico y de estudios realizados en la subcuenca Aguas Calientes, posteriormente de con la aplicación de los métodos y técnicas como es la observación participantes, entrevistas semiestructuradas a informantes claves y beneficiarios de las tecnologías. Las técnicas para la recolección de la información se describen a continuación:

a. Informantes clave: esta técnica es una variante de la entrevista general con la condición especial que se realiza con un individuo que posee conocimiento, destrezas o experiencias únicas o especializados dentro de una organización, comunidad, o que está dispuesto a compartirlos con el investigador (Palacios Ruiz, 2012 como citó a McKernan, 2001). Esta técnica permitió la captura de información clave a bajo costo y en corto tiempo. La información de estas personas se obtuvo a través de entrevistas semiestructuradas.

b. Observación participante: la observación participante es una técnica utilizada donde el investigador comparte con los investigados su contexto, experiencias y vida cotidiana, es una de las maneras de captar las conductas e interacciones de las personas (Palacios Ruiz, 2012 como citó a Berdegué et ál 2007). Durante la visita a las informantes claves sobre tecnologías en recursos hídricos fue una excelente oportunidad de observar la localización, infraestructura, utilidad y mantenimientos de las tecnologías proporcionadas para la captación de agua en la zona. Asimismo se constató aquellas que han tenido éxitos.

c. Entrevista semiestructurada: como su propio nombre indica, es una entrevista con guión previo, pero abierto, se utilizó porque tiene la ventaja de alternar preguntas estructuradas y con preguntas espontáneas.

d. Lista de chequeo, permite realizar la observación en las comunidades y se diseña para registrar actividades repetitivas y controlar el

cumplimiento de una serie de requisitos o recolectar datos ordenadamente y de forma sistemática. Se señalan además los principales usos, cómo usarlos, cuales son los aspectos que se verifican.

Fuentes primarias

Las fuentes primarias para la recolección de datos se obtuvo a partir de entrevistas semiestructuradas realizadas a líderes comunitarios de la zona que se han estado involucrados directamente en la ejecución de proyectos relacionados con la implementación de tecnologías en recursos hídricos en sus comunidades, se entrevistó a las siguientes líderes:

1. Francisca Obando, comunidad El Porcal en el municipio de San Lucas.
2. Marvin Enrique Gómez Casco, comunidad de Uniles en el municipio de Somoto.
3. Cristóbal Miranda, comunidad Aguas Calientes en municipio de Somoto.

Fuentes secundarias

Las fuentes secundarias la constituyen la literatura y estudios realizados sobre los recursos hídricos en la subcuenca Aguas Calientes como: artículos científicos, tesis, informes, documentos oficiales de gobierno y publicaciones en revistas científicas indexadas.

Etapas de la investigación

1. Identificación y reconocimiento de la zona
Se realizó visita de campo para conocer experiencias sobre tecnologías en diferentes estratos de la subcuenca Aguas Calientes, que cuentan con tecnologías en recursos hídricos para conocer aspectos relacionados sobre: organismo que financió el proyecto, la contra parte de la comunidad, la infraestructura, uso del agua captada, duración de la tecnología, la factibilidad y sostenibilidad de la misma.

2. Interacción con instituciones y organismos
Se realizó una entrevista a informantes claves (Líderes comunitarios y responsables de instituciones) para iniciar el levantamiento de datos en las comunidades; se analizaron los planes operativos anuales de las diferentes instituciones sobre las tecnologías en recursos hídricos, su cobertura dentro de la subcuenca, objetivos, misión, visión de cada institución, resultados de proyectos ejecutados y metodología de trabajo.

3. Interacción con las comunidades y recopilación de información primaria

- Se entrevistó a 30 informantes clave y líderes comunitarios de tres comunidades en la subcuenca Aguas Calientes, con el objetivo de evaluar la efectividad de las tecnologías en la zona para con relación a las medidas de uso y aprovechamiento del agua y la adaptación al cambio climático.

4. Procesamiento y análisis de la información

El procesamiento de la información se realizó mediante la técnica de triangulación de instrumentos a través de la elaboración de tablas donde se compararon las respuestas de los informantes durante el proceso de investigación. El análisis de la información obtenida tiene el propósito de recoger insumos relación al tema en estudio, así como las variables y criterios más relevantes de la investigación.

Resultados y discusión

Como resultado del estudio se identificaron 3 medidas de adaptación ante el cambio climático y 14 tecnologías utilizadas para la captación y almacenamiento de agua, así como la optimización y reutilización de este recurso.

Para priorizar el área de la Subcuenca, se tomaron cuenta las recomendaciones del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) que propone acciones y medidas para la adaptación al cambio climático en agricultura, recursos hídricos, manejo sostenible de la tierra y bosque; retomando el concepto de medidas de adaptación definido como los ajustes que se producen en un ecosistema, como respuesta para moderar el daño causado por el cambio climático, o para aprovechar oportunidades en respuesta a esos cambios (MARENA, 1993).

De acuerdo a entrevistas realizadas a los líderes comunitarios, las medidas de adaptación y las tecnologías identificadas fueron propuestas por técnicos en consenso con productores/as de acuerdo a las necesidades de cada comunidad, las que se basan principalmente en el manejo y aprovechamiento sostenible de los recursos suelo, agua y bosque; dirigiendo su prioridad a aquellas

que contribuyen con el recurso agua.

Las medidas de adaptación identificadas y tecnologías en recursos hídricos se analizaron mediante técnicas cualitativas, como la entrevista, la observación participante y lista de chequeo con la finalidad de responder a los objetivos específicos del estudio.

Objetivo específico 1: Identificar información relevante sobre tecnologías en recursos hídricos en la subcuenca Aguas Calientes.

Revisión de Literatura

La revisión de la literatura permitió acceder a investigaciones realizadas en la Subcuenca Aguas Calientes relacionadas con estudios de tesis, proyectos, intervenciones, artículos e informes publicados en revistas científicas y portales de organismos como CATIE, con reconocimiento Centroamericano en temas relacionados el manejo de recursos hídricos en las subcuencas. Esta selección de información permitió obtener la fuentes secundarias para la reconstrucción de los procesos, reflexión, análisis e interpretación de la experiencias adquiridas por los comunitarios.

Entrevista a actores clave

La principal fuente de información en el estudio son los participantes directos de los proyectos, como líderes comunitarios y usuarios de tecnologías, los cuales describirán las experiencias relacionadas con la adopción de tecnologías como medidas de adaptación al cambio climático.

Objetivo específico 2: Describir las experiencias sobre medidas de uso y aprovechamiento del agua en la subcuenca Aguas Calientes.

Visita de Campo a tres comunidades de la subcuenca

Para el cumplimiento de este objetivo se realizaron 3 visitas de campo a tres comunidades de la subcuenca aguas Calientes (El Porcal, Uniles y Aguas Calientes), para conocer las principales medidas de uso y aprovechamiento del agua por parte de los jefes de familia, así como las principales tecnologías en recursos hídricos que han sido implementadas en la subcuenca, las cuales se señalan en el cuadro:

Area de Intervención	Medidas	Tecnologías	Comentarios/Indicadores
Subcuenca Aguas Calientes	Captación de agua de lluvia.	1. Cisternas 2. Pilas 3. Tanques plásticos	Esta medida es utilizada de forma general en las tres comunidades, pero con mayor énfasis en la comunidad del Porcal y Uniles, siendo menos utilizada en la comunidad de Aguas Calientes. La principal tecnología adoptada por las familias es la Cisterna, seguida de las pilas de concreto y en menor proporción los tanques plásticos. Esta medida es adoptada principalmente para la captación de agua para uso doméstico y producción de alimentos a pequeñas escalas como los huertos <u>biointensivos</u> .
	Retención y almacenamiento de agua de esorrentía.	1. Reservorios en laderas 2. <u>Micropresas</u> desmontables 3. Acequias a nivel con barreras vivas 4. Diques de piedras y <u>prendones</u> 5. <u>Lagunetas</u> o embalses 6. Terrazas individuales 7. Cubetas individuales	Esta medida se evidencia de forma general en las tres comunidades, pero con la aceptación de diferentes tecnologías debido a posición geográfica o condiciones socioeconómicas de las comunidades. En la comunidad de El Porcal las tecnologías más efectivas han sido: 1, 3, 4, 6 En la comunidad de Uniles las tecnologías más efectivas han sido: 2, 4, 5, 6 y 7. En la comunidad de Aguas Calientes las tecnologías más efectiva ha sido: 5, 6 y 7.
	Optimización y reutilización del recurso agua	1. Riego por goteo con cinta 2. <u>Biofiltro</u> para aguas grises 3. Beneficio ecológico 4. Riego por goteo con botellas plásticas y uso de <u>mulch</u>	Esta medida es adoptada en toda la <u>subcuenca</u> , pero las tecnologías varían según las comunidades, debido a condiciones y capacidad de brindar mantenimiento a la tecnología. En la comunidad El Porcal se ha adoptado la tecnología 1 y 4. En la comunidad Uniles se ha adoptado la tecnología 1, 2, 3 y 4. En la comunidad Aguas Calientes la tecnología 1.

Objetivo específico 3: Determinar la efectividad de las medidas y tecnologías hídricas de adaptación al cambio Climático la subcuenca Aguas Calientes. Paradarcumplimientoalobjetivosobrelaefectividad de las medidas de adaptación y las tecnologías en recursos hídricos se aplicó una entrevista semiestructurada a los líderes comunitarios para indagar sobre los procedimientos que ejecutan los organismos o instituciones para la introducción de una nueva tecnología en la zona.

Doña Francisca Sánchez, Originaria de la Comunidad El Porcal, municipio de San Lucas, expresa: "La mayoría de las tecnologías que han venido a la comunidad han sido traídas con los proyectos que ejecuta la alcaldía y organismos que apoyan con el tema del agua, pero en el inicio del proyecto nos capacitan, antes de la implementación o instalación de la tecnología".

Las líderes expresan que tecnologías aplicadas en la zona tienen su efectividad en dependencia del comportamiento de las lluvias de cada invierno, para garantizar la captación de agua que es almacenada para su uso posterior.

El almacenamiento del agua superficial es un desafío para las comunidades, por lo que se debe tener en cuenta los criterios siguientes:

- Localización de la tecnología
- Cantidad de agua por esorrentía
- Permeabilidad del suelo
- Porosidad del suelo
- Costos de los materiales
- La disponibilidad del beneficiario
- El mantenimiento de la tecnología.

Las medidas adecuadas del uso y aprovechamiento permiten a la población asegurar recursos hídricos para las actividades domésticas y productivas de la zona a pequeña escala.

Las tecnologías proporcionadas a la zona han sido diseñadas para que las comunidades adopten medidas de adaptación al cambio climático y desarrollen competencias en el manejo adecuado de los recursos hídricos, pero es necesario el seguimiento técnico para asesorar las familias que presenten problemas en el manejo la infraestructura.

La efectividad de las medidas y tecnologías hídricas, según los líderes comunitarios va en dependencia de la capacitación que brinde el proyecto, los costos de los materiales, el lugar, la asistencia técnica. El maestro Marvin Enrique Gómez de la comunidad de Uniles, explica que en muchas ocasiones el mantenimiento de dichas tecnologías es muy costoso o la cantidad de agua captada es muy escasa, por lo que la población opta por otras prácticas más tradicionales como la excavación de pozos artesanales o la gestión de pozos perforados rechazando así la continuidad de tecnologías para la captación del agua de lluvia.

Objetivo específico 4: Describir el proceso de adopción de tecnologías que favorecen el uso eficiente en recursos hídricos ante efectos del cambio climático.

De acuerdo a las entrevistas realizadas, el proceso



Gráfico 1. Criterios de aceptación de las tecnologías.

de adopción de tecnologías debe contemplar los siguientes requerimientos:

1. Aceptación del proyecto por parte de comunidad.
2. Involucramiento de comunidad en el proyecto.

3. Disponibilidad de recursos, tiempo y espacio para la tecnología.
4. Asesoría técnica por parte del organismo o institución.
5. Intercambio de experiencias exitosas sobre tecnologías en recursos hídricos.
6. Necesidad de las medidas de adaptación al cambio climático.

Se entrevistó a 30 productores que cuentan con tecnologías en recursos hídricos y expresaron que los criterios que se utilizaron con muy frecuentes fueron la aceptabilidad de la tecnología por parte de la comunidad, las necesidades de agua de las familias y que no necesitan mano de obra calificada, los criterios que fueron tomados como frecuentes son el volumen de almacenamiento y los pocos frecuentes facilidad de dar mantenimiento, uso de material local y costos de construcción moderados.

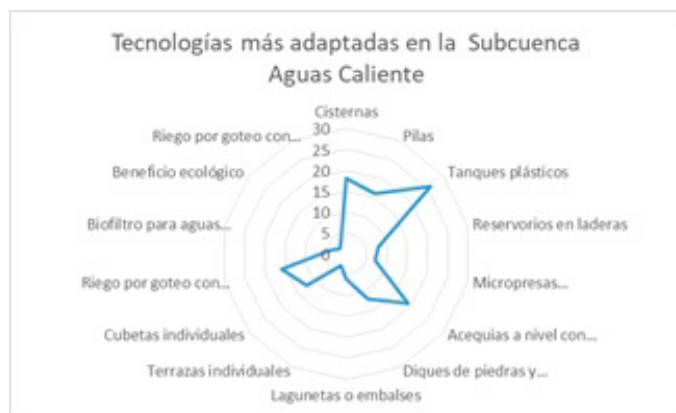


Gráfico 2. Tecnologías más adaptadas en la subcuenca Aguas Calientes



Gráfico 3. Criterios que favorecen la efectividad de las tecnologías.

Las Tecnologías más adaptadas en la subcuenca Aguas Calientes, han sido los tanques plásticos, las cisternas, las acequias, lagunetas o embalases, riego por goteo y cubetas individuales, las que menos han sido adoptadas por las comunidades tenemos beneficio ecológico, las micropresas, terrazas individuales, el biofiltro para aguas, otras.

Según los entrevistados los criterios que han sido tomados en cuenta para la implementación de tecnologías en recursos hídricos ha sido la pendiente del terreno, la textura del suelo, la disponibilidad de agua o reservorio; los criterios menos considerados han sido la capacidad de infiltración del suelo, profundidad del suelo y los promedios de precipitación anual.

Conclusiones

Las principales conclusiones del estudio responden a los objetivos planteados, siendo las siguientes:

1. La subcuenca Aguas Calientes, ha sido el escenario de numerosos estudios sobre el manejo de los recursos naturales (agua, suelo y bosque) y por la intervención de proyectos de gubernamentales y no gubernamentales con la finalidad de desarrollar en la población competencias de resiliencia para enfrentar los nuevos escenarios climáticos relacionados con recursos hídricos superficiales y subterráneos.

2. Se identificaron 3 tipos de medidas de uso y aprovechamiento del agua y 14 tecnologías en recursos hídricos que se aplicaron en la zona como medida de adaptación al cambio climático, aunque algunas funcionan por poco tiempo debido a: el sitio donde se ubica, el nivel de conocimiento, falta de asistencia técnica continua, capacidad económica baja, la falta de mano de obra disponible, acceso a insumos o materiales externos para el restablecimiento, tipo de rubro productivo y experiencia en prácticas sostenibles.

3. La subcuenca Aguas Calientes, está ubicada en la Región del Corredor Seco de Nicaragua, por lo que se deben de priorizar medidas de uso y aprovechamiento del agua para la adaptación al cambio climático haciendo una combinación de tecnologías que permitan la obtención de agua

por períodos de tiempo considerables como para las cosechas de agua, la retención y almacenamiento de agua de escorrentía y la optimización y reutilización del recurso agua.

4. La efectividad de las tecnologías, como medida uso y aprovechamiento sostenible del agua y de las fuentes hídricas está ligada a la selección adecuada de los criterios ambientales y físicos de la zona como: precipitación promedio anual, disponibilidad de agua, pendiente del terreno, textura del suelo, profundidad del suelo, Capacidad de infiltración del suelo.

5. La efectividad de las tecnologías en recursos hídricos incrementa cuando se combinan tecnologías para una mayor captación de agua para uso doméstico y productivo, pero debe de estar claro la finalidad de éstas y para lo que fueron diseñadas, así como las condiciones socioeconómicas de los propietarios para el mantenimiento que determinan los objetivos que tiene la familia o el productor.

6. Todas las tecnologías para la captación y almacenamiento de agua tienen potencial positivo para contribuir a la adaptación al cambio climático, pues permiten almacenar el agua de la precipitación durante la temporada lluviosa para hacerla disponible en la producción agrícola durante la época seca.

7. En cambio las tecnologías para retención y almacenamiento de agua de escorrentía y Optimización y reutilización del recurso agua han tenido menos efecto positivo en la población debido a que éstas han presentado problemas asociados a las condiciones naturales y socioeconómicas del territorio o la zona de influencia.

Agradecimientos

Especial agradecimiento a PhD. Heyddy Calderón, directora del Instituto de Geología y Geofísica de Nicaragua o IGG-CIGEO de UNAN Managua, por haber extendido invitación al congreso Recursos Hídricos y Resiliencia Hidroclimática en el Corredor Seco Centroamericano. A Todos los miembros de la Red HidroREDCA por los las recomendaciones para seguir construyendo mi tesis doctoral.

Referencias

Daus, A. (2019). Almacenamiento y Recuperación de Agua de en Acuíferos: Mejoramiento de la Seguridad en el abastecimiento de Agua en el Caribe. Oportunidades y Desafíos. Obtenido de https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Almacenamiento_y_recuperaci%C3%B3n_de_agua_en_acu%C3%ADferos_Mejoramiento_de_la_seguridad_en_el_abastecimiento_de_agua_en_el_Caribe._Oportunidades_y_desaf%C3%ADos_es.pdf

Del Río, O. (2011). El proceso de investigación: etapas y planificación de la investigación, en Vélchez, L (Coord). La investigación en comunicación. Métodos y Técnicas en la era digital. Barcelona.: Ed. Gedisa.

Elliott, M., Armstrong, A., Lobuglio, J., & Bartram, J. (2011). Tecnologías de Adaptación al Cambio Climático-Sector de Recursos Hídricos. Cochabamba, Bolivia: UNEP.

FAO. (2016). Día Mundial del Agua 2016. Usos a nivel agrícola ganadero. Roma, Italia. Obtenido de <https://diamundialdelagua2016.wordpress.com>.

Global Water Partnership, GWP. (2013). Tecnologías para el Uso sostenible del Agua: Una contribución a la seguridad alimentaria y la adaptación al cambio climático. Tegucigalpa, Honduras.

Global Water Partnership, GWP. (Marzo de 2017). La Situación de los Recursos Hídricos en Centroamérica. Hacia una Gestión Integrada. Obtenido de GWP Centroamérica: https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/situacion-de-los-recursos-hidricos_fin.pdf

Graterol Matute, E., Pulver, E., Jaramillo Cardona, S., Urioste Daza, S. A., Labarta, R., Arana Salazar, J. A., . . . Moreno, C. (Diciembre de 2019.). Estrategia de diversificación y aumento de la productividad agropecuaria en el Corredor Seco de Nicaragua con base en la Gestión Integral del Recurso Hídrico. 142 p.

MAGFOR. (2013). Agricultural Production Statistics. Obtenido de http://magfor.simas.org.ni/estadisticas_cosecha/.

Magrin, G. O. (2015). Adaptación al Cambio Climático en América Latina y el Caribe. Santiago de Chile: CEPAL.

MARENA. (1993). Inventario de prácticas y

tecnologías para adaptación al cambio climático. Managua: Editorial: MARENA.

MARENA. (2017). Estudio de tecnologías de adaptación al Cambio Climático en Sectores priorizados. Managua, Nicaragua.

Milán, J. (2012). Apuntes sobre el cambio climático en Nicaragua. Managua.

Mola Fines, B. B. (2021). ecnologías para el uso eficiente de los recursos hídricos en fincas ganaderas. Revista Ingeniería Agrícola. Obtenido de <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/view/1401/2553>

Palacios Ruiz, E. J. (2012). Sistematización de la experiencia, implementación de un modelo de cogestión adaptativa de cuencas hidrográficas en la subcuenca bimunicipal Aguas Calientes, Nicaragua. CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Sharon, G., Mathias, C., Rebekah, S., Diego, P. d., Eleonora, C., Mauricio, G., . . . Martina, L. y. (2014). Oportunidades de desarrollo sustentable en el nexos de Clima, Suelo, Energía y Agua para Nicaragua. Nicaragua: Working Papers.

UNDP, United Nations Development Programme. (2015). G E N D E R A N D C L I M A T E C H A N G E. New York, USA: 2016.

Conjuntos de datos climatológicos en América Central, evaluando la importancia de los registros instrumentales en la evaluación de climas históricos, actuales y futuros

Diego Pons ¹, Irma Ayes Rivera ², Heyddy Calderon ³, Wilmar Loaiza ⁴

1 Colorado State University, Denver, United States of America

2 Alliance Biodiversity-CIAT, Tegucigalpa, Honduras

3 Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, Nicaragua

4 Universidad del Valle, Calí, Colombia

Resumen: A pesar de que el calentamiento global y el cambio climático son temas de agendas globales y nacionales, la variabilidad climática natural aún hoy no es muy comprendida en algunas regiones. Los sistemas climáticos tropicales, por ejemplo, son susceptibles a un arreglo de distintos mecanismos que precisan ser estudiados antes de poder establecer los efectos que el calentamiento global genera en los climas tropicales. La topografía, es un componente clave de los climas tropicales de América, lo cual dificulta el entendimiento y modelaje de los procesos climáticos de la región. La resolución tanto espacial como temporal de los conjuntos de datos es una dificultad adicional para el entendimiento en los trópicos, siendo que el istmo centroamericano no es la excepción. Por ejemplo, para Centro América distintos estudios describen tendencias positivas y negativas en la precipitación usando datos observados (Aguilar et al 2005; Alexander et al 2006; Hidalgo et al. 2019), datos basados en satélites (Anderson et al 2019) y datos modelados (Rauscher et al 2008). Lo cual genera variables señales y tendencias estadísticamente significativas. No solo las tendencias de precipitación se construyen sobre procesos multiescala (Alfaro-Córdoba et al 2020) y para diferentes períodos, sino que hasta ahora existe incertidumbre con respecto a la captación y el control de calidad de los conjuntos de datos observados, el algoritmo de los productos de precipitación basados en satélites y los procesos físicos que no están bien representados en los modelos climáticos generales. Incluso con la falta de tendencias significativas en la precipitación interanual, la intensidad y la frecuencia de la lluvia pueden tener cambios significativos en escalas de tiempo más cortas. En una región con una alta vulnerabilidad y con escasos recursos como es Centro América, la optimización de las estrategias de adaptación es crucial. En este sentido, antes de invertir grandes cantidades de recursos en modelos sofisticados, los países deben trabajar en evaluar la incertidumbre de las bases de datos y abordar de forma crítica la información (Hidalgo, 2021). Con el propósito de evaluar los registros instrumentales con datos climáticos de modelos, reanálisis y datos basados en satélite, este trabajo buscará evaluar la capacidad que tienen las distintas bases de datos en comprender la dinámica espacial y temporal de Centro América.

Palabras clave: Centro América, registros instrumentales, datos satelitales, datos de reanálisis

Abstract: Although global warming and climate change are topics on global and national agendas, natural climate variability is still not well understood in some regions today. Tropical climate systems, for example, are susceptible to an arrangement of different mechanisms that need to be studied before being able to establish the effects that global warming generates in tropical climates. Topography is a key component of tropical climates in America, which makes it difficult to understand and model climatic processes in the region. The spatial and temporal resolution of the data sets is an additional difficulty for understanding in the tropics, and the Central American isthmus is no exception. For example, for Central America, different studies describe positive and negative trends in precipitation using observed data (Aguilar et al 2005; Alexander et al 2006; Hidalgo et al. 2019), satellite-based data (Anderson et al 2019) and modeled data. (Rauscher et al 2008). This generates statistically significant signal variables and trends. Not only are precipitation trends built on multiscale processes (Alfaro-Córdoba et al 2020) and for different periods, but so far there is uncertainty regarding the collection and quality control of the observed data sets, the algorithm of satellite-based precipitation products and physical processes that are not well represented in general climate models. Even with the lack of significant trends in interannual precipitation, rainfall intensity and frequency can have significant changes on shorter time scales. In a region with high vulnerability and scarce resources such as Central America, the optimization of adaptation strategies is crucial. In this sense, before investing large amounts of resources in sophisticated models, countries must work on evaluating the uncertainty of the databases and critically approach the information (Hidalgo, 2021). With the purpose of evaluating the instrumental records with climate data from models, reanalysis and satellite-based data, this work will seek to evaluate the capacity of the different databases to understand the spatial and temporal dynamics of Central America.

Keywords: Central America, instrumental records, satellite-based data, reanalysis data

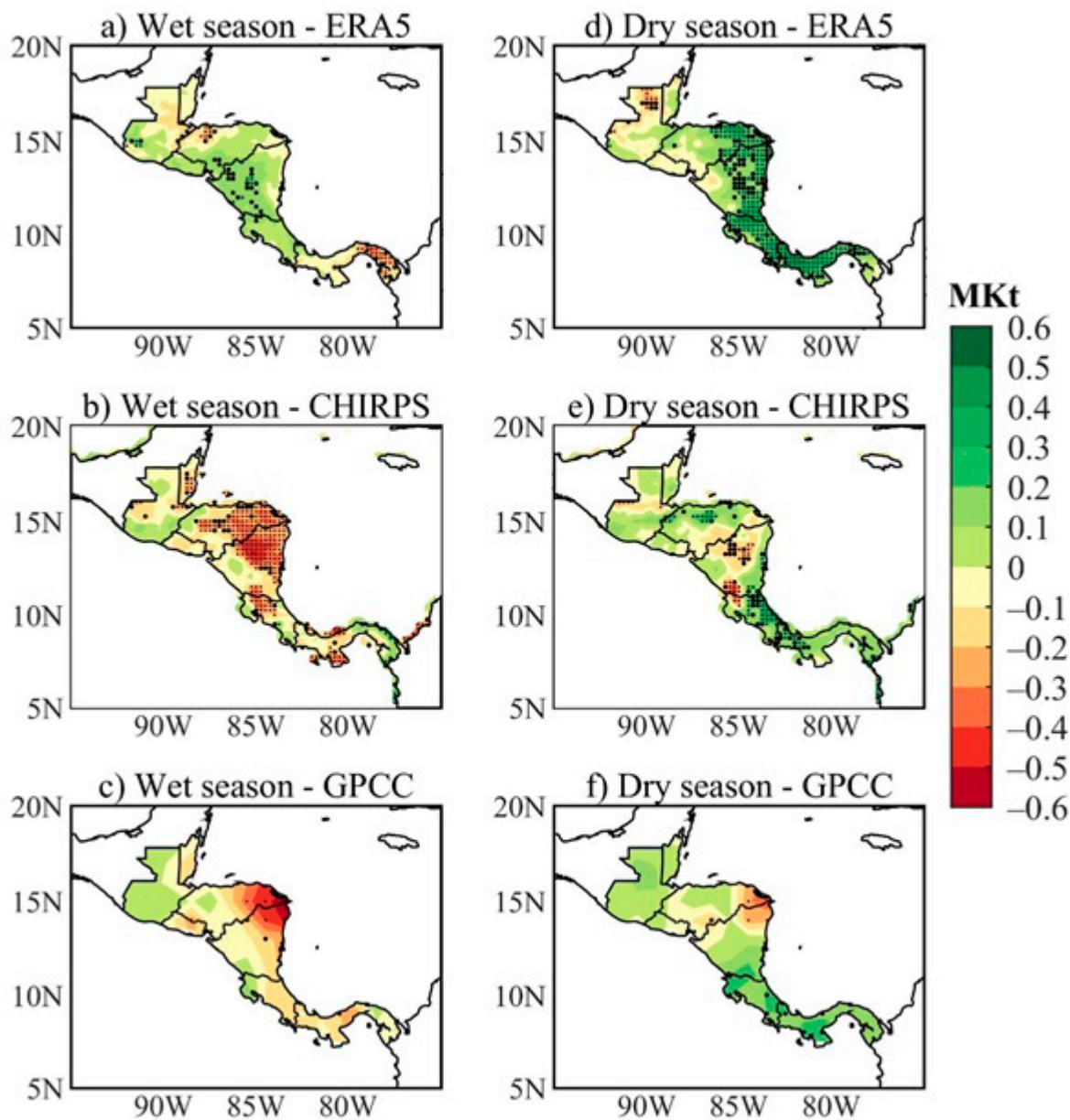


Figura 1 Tendencias para la estación lluviosa (columna izquierda) y estación seca (columna derecha) a) y d) datos ERA5, b) y e) datos CHIRPS y, c) y f) datos GPCC.

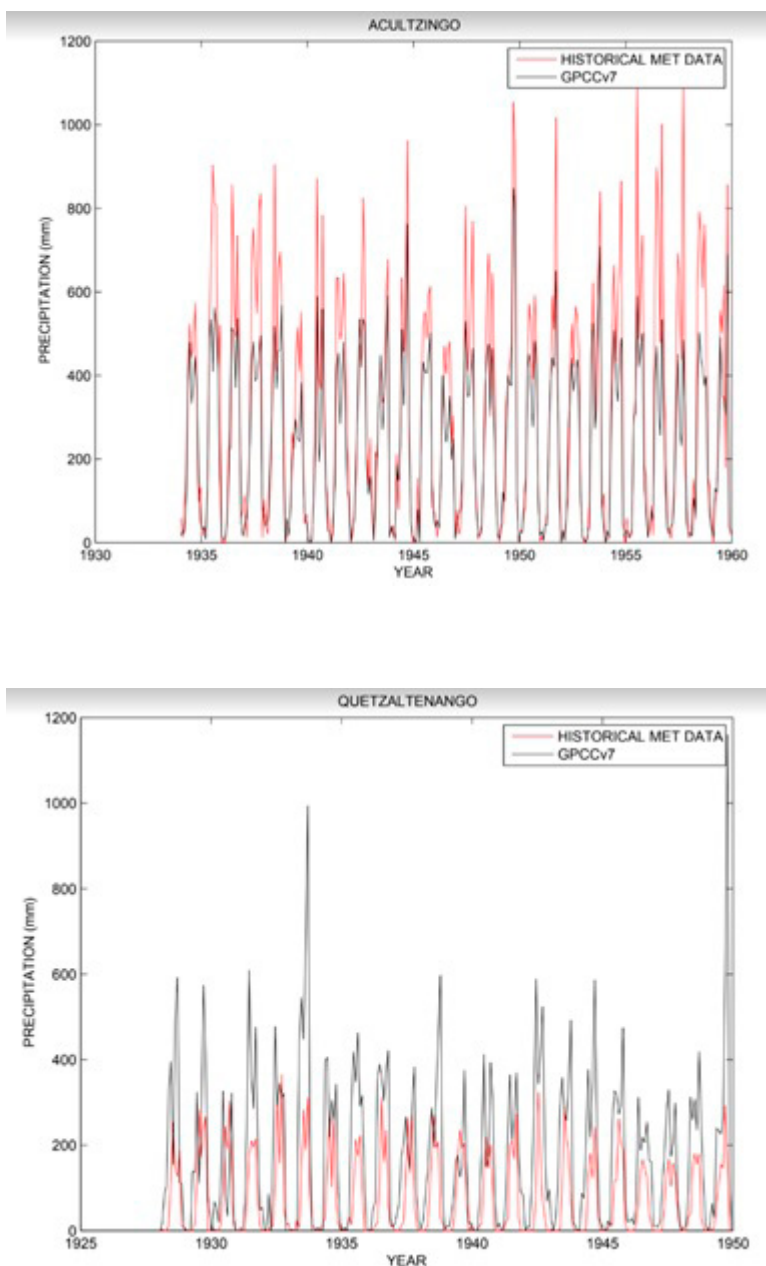


Figura 2 Sub-estimación de datos GPCPv7 para Acultzingo y sobre-estimación de datos GPCPv7 para Quetzaltenango.

Red institucional y sus vínculos con espacios vulnerables en el sector agropecuario del corredor seco de Honduras

Carlos Eduardo Gonzalez R. ¹, Rafael Renteria-Ramos ², Irma Ayes Rivera ³ y Jean Francois Le Coq ⁴

¹ Alliance Biodiversity-CIAT, Calí, Colombia

² Universidad Nacional Abierta y A Distancia de Colombia, Colombia

³ Alliance Biodiversity-CIAT, Tegucigalpa, Honduras

⁴ Alliance Biodiversity-CIAT, CIRAD, Francia

Resumen: El corredor seco de Honduras presenta una alta variabilidad climática natural debido a su ubicación en la región del Pacífico de América Central, donde casi la mitad de la población hondureña desarrolla sus actividades socioeconómicas. Para poder enfrentar los desafíos de la mitigación y adaptación al cambio climático en el sector agropecuario, un primer paso es la exploración de la situación inicial, en la que se identifican actores locales y externos. La multiplicidad de actores y sus intervenciones genera una red institucional con varios encajes y desajustes colaborativos. Por lo tanto, esta investigación tiene como objetivo analizar la red institucional estructural a través de un enfoque de Análisis de Redes Sociales para investigar la coherencia, consistencia y relevancia de las intervenciones en 153 municipios de Honduras. El análisis bipartito entre instituciones y municipios describió un núcleo dinámico dentro de dos redes de ego diferentes. Una red de ego a favor de un municipio (Distrito Centro donde se ubica la capital) y más de cinco redes de ego a favor de una sola institución. Esto último es más evidente para los municipios cercanos a las fronteras con El Salvador y Guatemala. En cuanto a la coincidencia espacial entre las intervenciones institucionales y la vulnerabilidad al cambio climático de los municipios, nuestros resultados revelan un desajuste espacial, ya que solo el 9% de las acciones directamente vinculadas para hacer frente a la adaptación al cambio climático se realizan en municipios altamente vulnerables. Estos resultados sugieren que aún hay mejoras para las acciones colaborativas en la red institucional, así como para la priorización espacial de las intervenciones hacia los municipios vulnerables.

Palabras clave: Corredor Seco en Honduras, redes institucionales, vulnerabilidad, agricultura, análisis de redes sociales

Abstract: The Honduras' dry corridor presents a high natural climate variability since its location in the Pacific region of Central America, where nearly half of the Honduran populations develop their socio-economic activities. To be able to face the challenges of climate change mitigation and adaptation in the agriculture sector, a first step is the exploration of the initial situation, which identifies local and external actors. The multiplicity of actors and their interventions generates an institutional network with several collaborative fit and misfits. Hence, this research aims to analyze the structural institutional network through a Social-Network Analysis approach to investigate the coherence, consistency, and relevance of interventions in 153 municipalities of Honduras. The bipartite analysis between institutions and municipalities, described a dynamic core within two different ego networks. An ego network in favor of one municipality (Central District where the capital is located) and more than five ego networks in favor to only one institution. The latter is more evident for the municipalities near the frontiers with El Salvador and Guatemala. Regarding the spatial coincidence between the institutional' interventions and the climate change vulnerability of the municipalities, our results reveal spatial misfit, as only 9% of the actions directly linked to cope climate change adaptation are undertaken in highly vulnerable municipalities. These results suggest that there is still improvement for collaborative actions in the institutional network as well as for spatial prioritization of interventions towards vulnerable municipalities.

Keywords: Honduras dry corridor; institutional network; vulnerability; agriculture; social-network analysis

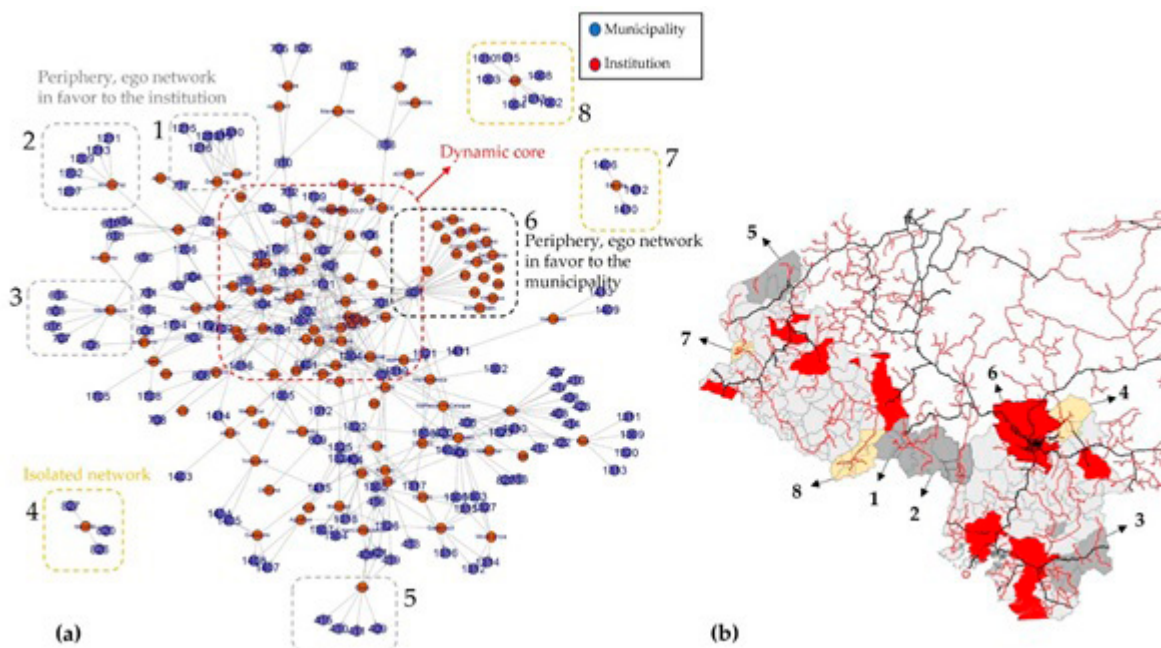


Figura 1 Conexiones de instituciones y municipios, a modo de gráfico de red social (a) y características específicas de la misma descritas en el mapa (b). En el mapa, el área de estudio está sombreada en gris claro, en gris más oscuro para cuatro redes ego, en rojo para las capitales departamentales en el núcleo de la red, incluido el Distrito Central, y en naranja para las tres redes aisladas. Las líneas negras representan las carreteras principales y las líneas rojas las carreteras sin asfaltar. Los números están relacionados entre ambas figuras.

Evaluación de la Seguridad Hídrica en el “Corredor Seco” de Guatemala: Caso de la Cuenca del Río Plátanos

Requena, J.; Luna, J.; Machorro, R.

Resumen: La presente investigación de desarrollará en el corredor seco de Guatemala, particularmente en la cuenca del río Plátanos (CRP), con el objeto principal de evaluar la seguridad hídrica en la región. Se fundamenta en una de las líneas de investigación denominada Modelos de Gestión de Proyectos Hidrogeológicos, de la Escuela de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Por otro lado, también se basa en la existencia de una región hidroclimática en Mesoamérica (UNESCO-FAO, 2012) y en nuestro país (MAGA, 2002), con características de extremas y recurrentes sequías, conocida como el “corredor seco”. Esta condición ha afectado en Guatemala al menos a 8 departamentos (54 municipios, 10,200 KM2) de forma recurrente en los últimos 60 años. Aquí conviven 2,929,023 habitantes (INE, 2002) con un crecimiento poblacional del 5 % (INE, 2018), con características poco resilientes, con alta demanda de producción de alimentos (MAGA, 2020), afecciones por cambio climático (INSIVUMEH, 2005) y sus impactos económicos negativos, aumento de demanda de recursos de agua (INFOM, 2016) y con el denominador común de padecimiento de estrés hídrico e inseguridad hídrica.

El conocimiento actual del corredor seco en Guatemala indica amplia variación espacial y temporal del déficit de humedad, indicando que el período de sequías afecta de diciembre a abril (Machorro, R. y Cortez, S., 2014). Los departamentos más afectados son El Progreso y Zacapa. La precipitación anual no es inferior a los 800 mm/año (Machorro, R. y Valdez, S.; 2020; Bardales, y otros, 2016).

De acuerdo a los antecedentes hasta ahora revisados, se entiende por seguridad hídrica (GPW, 2000) como una función de cuatro variables estrechamente relacionadas: disponibilidad, accesibilidad a los servicios, seguridad y calidad, y gobernanza de los recursos hídricos. Recabar, sistematizar y analizar información de acuerdo a las variables mencionadas y a los objetivos aquí planteados, permitirá elaborar y proponer una estrategia de gestión integrada de recursos hídricos, que garantice de forma sostenible la seguridad hídrica en la CRP.

De tal manera que el desarrollo de la investigación, deberá mostrar los resultados de al menos las siguientes actividades: diseño y estructuración del sistema de información geográfico de la CRP; estructuración y análisis de variables útiles para realizar el balance hídrico de la CRP; construcción de banco de datos de usuarios y demandantes de los servicios de agua potable en la CRP; monitoreo trimestral de la calidad de agua: superficial y subterránea; monitoreo trimestral de la niveles y profundidades del agua: superficial y subterránea, respectivamente; análisis de campo y oficina para calcular las cantidades de agua disponibles en la CRP; encuestas y construcción de bases de datos: usuarios, problemáticas, niveles de gobernanza y organización social; y de la elaboración, análisis y planteamiento del plan de manejo integral de los recursos hídricos de la CRP.

Palabras clave: inseguridad hídrica, sequía, Río Plátanos, balance hídrico

Abstract: This research will be carried out in the dry corridor of Guatemala, particularly in the Plátanos River basin (CRP), with the main purpose of evaluating water security in the region. It is based on one of the research lines called Hydrogeological Project Management Models, of the School of Postgraduate Studies, Faculty of Engineering of the University of San Carlos de Guatemala. On the other hand, it is also based on the existence of a hydroclimatic region in Mesoamerica (UNESCO-FAO, 2012) and in our country (MAGA, 2002), with characteristics of extreme and recurrent droughts, known as the “dry corridor”. This condition has affected in Guatemala at least 8 departments (54 municipalities, 10,200 KM2) recurrently in the last 60 years. Here coexist 2,929,023 inhabitants (INE, 2002) with a population growth of 5% (INE, 2018), with low resilient characteristics, high demand for food production (MAGA, 2020), climate change affections (INSIVUMEH, 2005) and its negative economic impacts, increased demand for water resources (INFOM, 2016) and with the common denominator of suffering from water stress and water insecurity. Current knowledge of the dry corridor in Guatemala indicates wide spatial and temporal variation of moisture deficit, indicating that the drought period affects from December to April (Machorro, R. and Cortez, S., 2014). The most affected departments are El Progreso and Zacapa. Annual precipitation is not less than 800 mm/year (Machorro, R. and Valdez, S.; 2020; Bardales, et al., 2016). According to the background so far reviewed, water security (GPW, 2000) is understood as a function of four closely related variables:

availability, accessibility to services, safety and quality, and governance of water resources. Gathering, systematizing and analyzing information according to the variables mentioned above and the objectives set out here will make it possible to develop and propose an integrated water resources management strategy that will guarantee water security in the PRC in a sustainable manner.

Thus, the development of the research should show the results of at least the following activities: design and structuring of the geographic information system of the PRC; structuring and analysis of useful variables to carry out the water balance of the PRC; construction of a database of users and demanders of drinking water services in the PRC; quarterly monitoring of the quality of surface and ground water; quarterly monitoring of the quality of water: surface and groundwater; quarterly monitoring of water levels and depths: surface and groundwater, respectively; field and office analysis to calculate the quantities of water available in the PRC; surveys and construction of databases: users, problems, levels of governance and social organization; and the preparation, analysis and approach of the integrated management plan for the PRC's water resources.

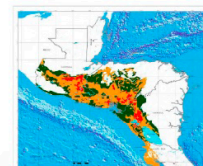
Keywords: water insecurity, drought, Río Plátanos, water balance



Escenario del Corredor Seco en Guatemala

- El corredor seco de Centroamérica (ONU-FAO, 2012):
- Guatemala: 10,200 km², 8 departamentos, 54 mun (MAGA, 2002).
- 2,929,023 habitantes (INE, 2002)
- Crecimiento poblacional 5% anual (INE, 2018)
- Afecciones por Cambio climático (INSIVUMEH, 2005)
- Aumento de demanda de recursos de agua (INFOM, 2016)
- Alta demanda de producción de alimentos (MAGA, 2020)
- Baja resiliencia y pérdidas de recursos
- Estrés hídrico e **inseguridad hídrica** (disponibilidad, accesibilidad, seguridad y calidad, y gobernanza). (GPW, 2000).

(MAGA, 2002).



(ONU-FAO, 2012):

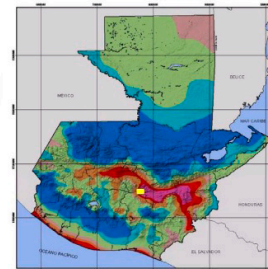


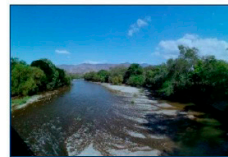
Figura 1. Escenario del Corredor Seco en Guatemala.



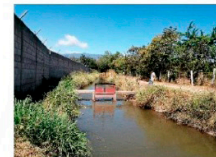
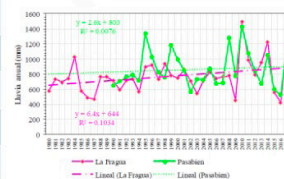
Análisis de tendencias de lluvia en el corredor seco de Zacapa, Guatemala

(Machorro, R.; Valdez, S., 2020).

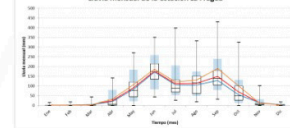
	Estación La Fragua	Estación Pasabién
Latitud	14°57'51"	15°01'48"
Longitud	89°35'04"	89°40'48"
Altura (msnm)	210	260
Serie	1980 – 2017	1990 – 2017
Magnitud de incremento (ARL)	6.4 mm/año	2.6 mm/año
Incremento anual de lluvia	3.7 %	2.7%
Eventos anómalos	Positivos: La Niña Negativos: El Niño	
Ascenso anual	Significativo	No significativo
Tendencia Ascendente	Octubre	
Tendencia descendente	Julio	



Río Grande, Zacapa (Izq); Canales de riego (60's): principal, 22 km de largo; secundaria 120 km (derecha).



Lluvia mensual de la estación La Fragua



Comportamiento de lluvia mensual, Est. La Fragua. Serie 1971-2014. Línea roja, promedio. (Bardales, et al., 2016).

Figura 2. Análisis de tendencias de lluvia en Zacapa, Guatemala.

