

ARTICLE / INVESTIGACIÓN

Levantamiento y evaluación del catastro del recurso hídrico en tres microcuencas del Río Sampile

Survey and evaluation of the water resource cadastre in three micro-basins of the Sampile River

Kelly Almendares-Rivera^{1*}, Saúl García-Santos², Tania Peña-Paz² and Marcio Chirinos-Escobar¹ DOI. [10.21931/RB/2022.07.03.32](https://doi.org/10.21931/RB/2022.07.03.32)

¹ Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra (IHCIT), Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Tegucigalpa, Honduras.

² Centro Experimental y de Innovación del Recurso Hídrico, Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Tegucigalpa, Honduras.

Corresponding author: kelly.almendares@unah.edu.hn

Resumen: Investigación basada en el levantamiento y análisis del catastro de fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano presentes en tres microcuencas pertenecientes al Río Sampile en la zona sur de Honduras. Esta iniciativa nace ante la necesidad de tener en el país, y principalmente en el área de estudio, información hídrica de oferta, demanda, sus condiciones sociales y ambientales. Para lograrlo, se analizó oferta, usando valores de parámetros climáticos, y estudios de descripción física, y para, el análisis de demanda y análisis del contexto social, ambiental y del agua, mediante campo, el catastro de fuentes de agua dentro de cada microcuenca en estudio, utilizando una ficha de levantamiento de información. Los resultados muestran una oferta hídrica con la valoración de precipitación, escorrentía, recarga y evapotranspiración, la demanda actual y futura, carece y proyecta carencia de cobertura en un 100% a la población, se identificó también, falta de personería jurídica de las juntas administradoras de agua, y amenazas como, presencia de ganadería, agricultura y zonas cafetaleras dentro de las microcuencas, zonas con susceptibilidad a inundaciones, sequías y deslizamientos, y carencia de análisis de calidad de agua. La investigación es una herramienta de gestión integrada de los recursos hídricos.

Palabras clave: Fuentes de agua, catastro, oferta hídrica, abastecimiento, demanda hídrica, dinámica social, dinámica ambiental del agua.

Abstract: Research based on the surveying and analyzing the cadaster of water sources available for human consumption in three micro-watersheds of the Sampile River, in the southern region of Honduras. This initiative comes from the necessity of having available in the country, mainly in the geographical area of study, water information on the offer and the demand, as well as the social, environmental and water status. To achieve this objective, the offer was analyzed using climate parameters and physical description studies, while the demand and the social, environmental and water context were analyzed through field research, using a surveying format to obtain the cadaster of the water sources available in each micro-watershed. The results show a water offer that, based on the values of precipitation, runoff, groundwater recharge and evapotranspiration, is insufficient to fulfill in one-hundred percent of the demand requirements for the current and future population. Additionally, the lack of proper legal status of the water administration councils was identified as well as some other essential threats such as the presence of cattle raising, agriculture and coffee farms within the micro watersheds, areas vulnerable to flooding, droughts or landslides, or the lack of water quality testing. This research represents an important tool for the integrated management of water resources.

Key words: Water sources, cadaster, water offer, supply, water demand, social dynamics, environmental dynamics of water.

Introducción

El área de estudio se localiza en la zona sur de Honduras, políticamente en los municipios de Choluteca, El Corpus, Santa Ana de Yusgüare y Namasigüe, todos ellos, ubicados dentro del departamento de Choluteca. Desde el punto de vista hídrico, la zona de investigación está dentro de la parte alta y media de la Cuenca del Río Sampile, específicamente tres microcuencas El Calero, Calderas y Santa Isabel.

La Cuenca del Río Sampile, que es vertiente al Océano Pacífico, presenta un dinamismo desde su parte alta por

ser fuente del agua superficial a la ciudad de Choluteca (a través del cerro Guanacaure), la parte media – alta con actividad minera artesanal y la parte baja por tener la agroindustria de caña, melón y sandía.

Geomorfológicamente es una cuenca rodeada por montañas, al norte por el Cerro de Piedra, al noreste se encuentra el Cerro Calaire, en la parte media de la cuenca se encuentra el Cerro Caleros, al este se encuentra la reserva forestal Cerro Guanacaure, al noreste encontramos el Cerro San Judas que comprende parte del territorio del

Citation: Almendares, K.; García-Santos, S.; Peña-Paz, T., Chirinos-Escobar, M.; Levantamiento y evaluación del catastro del recurso hídrico en tres microcuencas del río Sampile; *Revis Bionatura* 2022;7(3) 32. <http://dx.doi.org/10.21931/RB/2022.07.03.32>

Received: 21 March 2022 / **Accepted:** 27 July 2022 / **Published:** 15 August 2022

Publisher's Note: Bionatura stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Copyright: © 2022 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



municipio de El Corpus y el Cerro Los Coyotes ubicado en el Valle de Choluteca.

La geología del área de estudio está representada por rocas volcánicas tobáceas, siendo las principales las ignimbritas dacíticas y riolíticas, siendo las riolíticas las que mayor presencia tienen en la zona, las cuales se encuentran compactadas, también, se encontraron tobas ignimbriticas, las cuales se muestran alteradas, poco compactas y porosas, con presencia de líticos de pómez, basalto, cuarzo y biotita, igualmente en gran parte de la microcuenca El Calero se encontraron brechas con fragmentos de basalto, poco compactadas por lo que casi no presentan fracturas. Además, se encontraron depósitos aluviales depositados en las partes bajas de las microcuencas que se caracterizan por ser materiales no consolidado de gravas, arenas gruesas y arcillas, producto de la alteración de las rocas piroclásticas, andesitas y granitoides. Algunos depósitos coluviales, que se constituyen principalmente de grandes bloques de ignimbritas, tobas y andesitas, ocasionalmente bloques de granitos, y depósitos residuales, las rocas que han sido alteradas y no han sufrido erosión y transporte significativo se les conocen como residual, estas han sido alteradas y forman conos de deyección, principalmente las ignimbritas, lo que ha originado el desarrollo de gruesas capas de material alterado, principalmente arcillas, arenas arcillosas y suelos limosos. La geología estructural, muestra un sistema de fallas, con mayor frecuencia en campo corresponde a NW-SE a NE-SW, con movimientos lateral derecho, también se observa una tendencia oblicua generalmente a la izquierda, este sistema es dominante en las diaclasas y fracturas que afecta las rocas¹⁻⁴. En algunos casos se han observado movimientos amplios que han desarrollado grandes bloques basculados, separados por un conjunto paralelo de fracturas con alta rugosidad.

Con base a la información geológica presentada se han definido tres unidades hidrogeológicas principales; sedimentos no consolidados, rocas porosas y rocas fracturadas. Los elementos no consolidados pueden formar acuíferos locales o discontinuos, pero solamente de moderada a poco productivos, moderadamente productivos en sedimentos del Cuaternario no consolidados de ambiente fluvial, las rocas porosas pueden formar acuíferos locales, discontinuos o extensivos de moderada a alta productividad, formando acuíferos confinados a semiconfinados, estimando un espesor de aproximadamente 220 m, y para el caso de las rocas fracturadas, generalmente este tipo de rocas permite el desarrollo de acuíferos menores con recursos locales y limitados, presentan baja a nula productividad⁵, se ha estimado un espesor de 190 m, en ambientes geológicos similares en Nicaragua, República Checa y Bohemia, han demostrado que el fracturamiento de estas rocas no supera los 30 m, por lo tanto la zona con mejores posibilidades de almacenar y permitir la circulación de agua debe de estar en un rango no superior a los 35 m; por lo que se identificaron acuíferos libres, fracturados, confinados y semiconfinados, asociando principalmente a la granulometría, porosidad y fracturamiento.

El comportamiento climatológico de la Cuenca del Río Sampile está relacionado con fenómenos meteorológicos de diferentes escalas que modulan las variables climáticas en esta región, asociándose al desplazamiento norte-sur de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), la convección y el transporte de humedad desde el Océano Pacífico, ondas tropicales, vaguadas, brisa marina (Monzón) y ocasionalmente ciclones tropicales, lo cual genera régimen pluviométrico bimodal, presentándose dos estaciones bien definidas: una seca que va desde noviembre a abril y otra lluviosa desde mayo a octubre, teniendo valores pico, en-

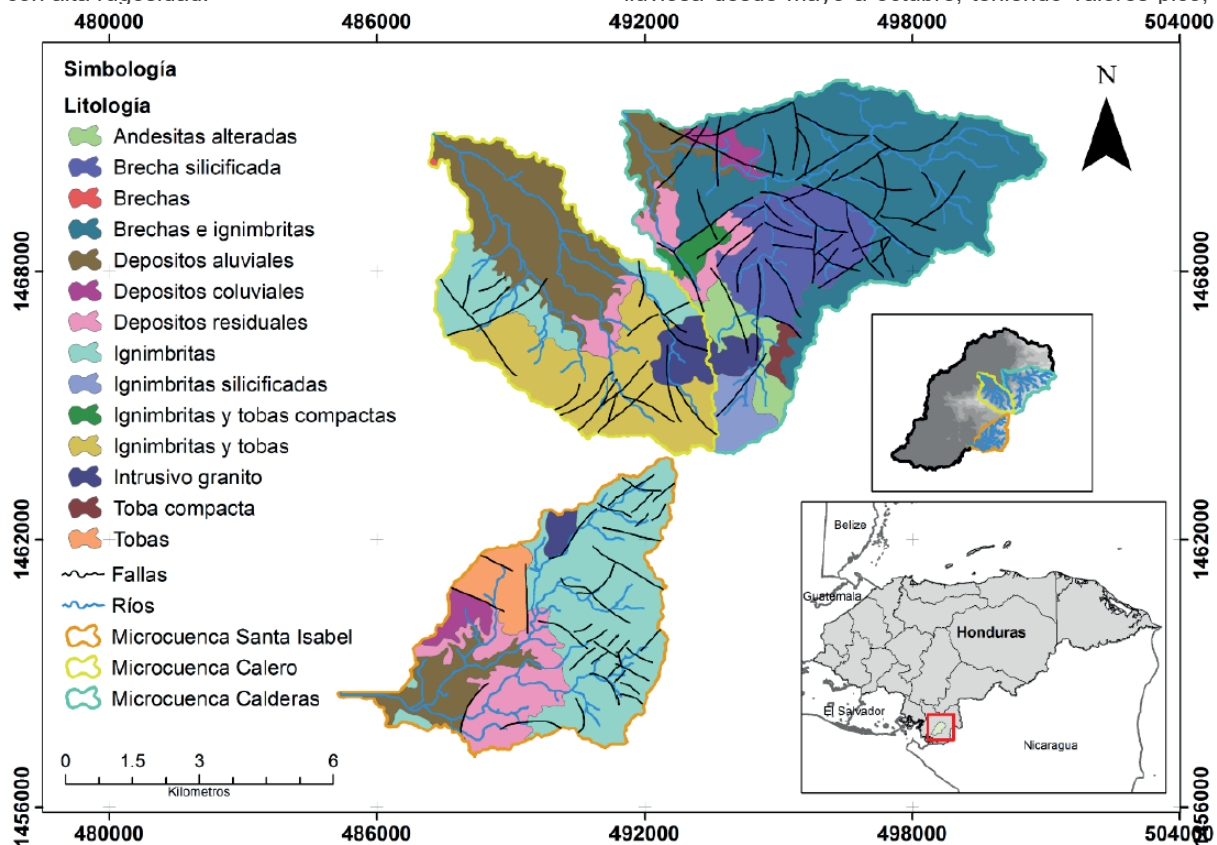


Figura 1. Mapa de la litografía y fallas de las microcuencas de Santa Isabel, Calero y Calderas.

tre mayo y junio y septiembre y octubre, y con una reducción de la precipitación entre julio y agosto relacionados a la canícula o veranillo, y es en el mes de septiembre que se presentan las precipitaciones más intensas, con valores promedio que oscilan entre 1666 a 2180 mm anuales. Para el caso de la temperatura, los datos reflejan un comportamiento anual marcando un ciclo estacional, sin embargo, la orografía del territorio hondureño juega un papel importante, por lo que la temperatura se comporta inversamente proporcional a la altura, debido a esto la cuenca alta y media presenta valores más bajos de temperatura, siendo el promedio anual de las temperaturas, valores que oscilan alrededor de 25.60°C en las partes altas de la cuenca y 28.80°C en las partes bajas de la cuenca.

De acuerdo con la caracterización hidrológica la cuenca presenta características morfológicas tales como la pendiente media de 18.32%, indicando que se encuentran discurriendo sobre una superficie fuertemente accidentada, donde el 20% de 370 km² de área de la cuenca se presentan pendientes pronunciadas. De acuerdo con el factor de compacidad esta unidad hidrológica se identifica de forma rectangular a oblonga, generando drenaje de baja tendencia a las crecidas, alejándose de la forma circular lo que indica que las crecientes tendrán menor coincidencia debido a que los tiempos de concentración serán distintos desde diferentes puntos de la cuenca⁶. Además, sus cauces principales se encuentran en su etapa de vejez lo que indica poca fuerza de erosión dando lugar a la sedimentación. La delimitación de las microcuencas como su hidrografía fue en base a los modelos de elevación digital que, debido a la resolución de las celdas de información, el producto final del modelamiento, requirió correcciones manuales las cuales se basaron en información proporcionada por hojas cartográficas e imágenes satelitales de la zona de estudio.

El agua es de suma importancia para el humano, pues no solo es vital para el funcionamiento adecuado del organismo, sino también, está relacionado al desarrollo de las poblaciones del mundo⁷. En Honduras la Ley General de Agua vigente, establece que el agua es un recurso fundamental para el desarrollo social y económico de la población, por lo tanto, la protección y conservación del recurso hídrico son acciones prioritarias del Estado. Toda gestión integrada del recurso hídrico en el país debe tener la participación y responsabilidad de las instancias de gobierno, sus organizaciones y el pueblo organizado, por lo tanto, los mecanismos de administración del agua a nivel local llamadas juntas de agua, patronatos u otra, tienen la responsabilidad de salvaguardar este recurso⁸.

Por lo tanto, el estudio tiene por objetivo el levantamiento y la evaluación del catastro del recurso hídrico en la Cuenca del Río Sampile específicamente en las microcuencas: El Calero, Calderas y Santa Isabel; que involucra un censo y muestreo de estas fuentes, un análisis de la oferta, demanda, y los aspectos sociales, ambientales y del agua.

Dentro de los principales hallazgos, se puede mencionar que, el porcentaje de recarga hídrica de la precipitación anual para las microcuencas en estudio es bajo, y esta es adquirida por el sistema a través de fallas identificadas en el área, además, que la evapotranspiración es el elemento principal en la oferta hídrica, pues es el que presenta un mayor porcentaje de pérdida de precipitación. En cuanto a la demanda se registraron y analizaron en las tres microcuencas un total de 64 tomas de agua para consumo humano, abasteciendo alrededor de 3275 familias, de las fuentes de agua identificadas, 45 son de tipo superficial y 19 de tipo subterránea (pozos artesanales y perforados), resultando que en ese momento no cubría la demanda actual, y una proyección al futuro de la población, indicaría

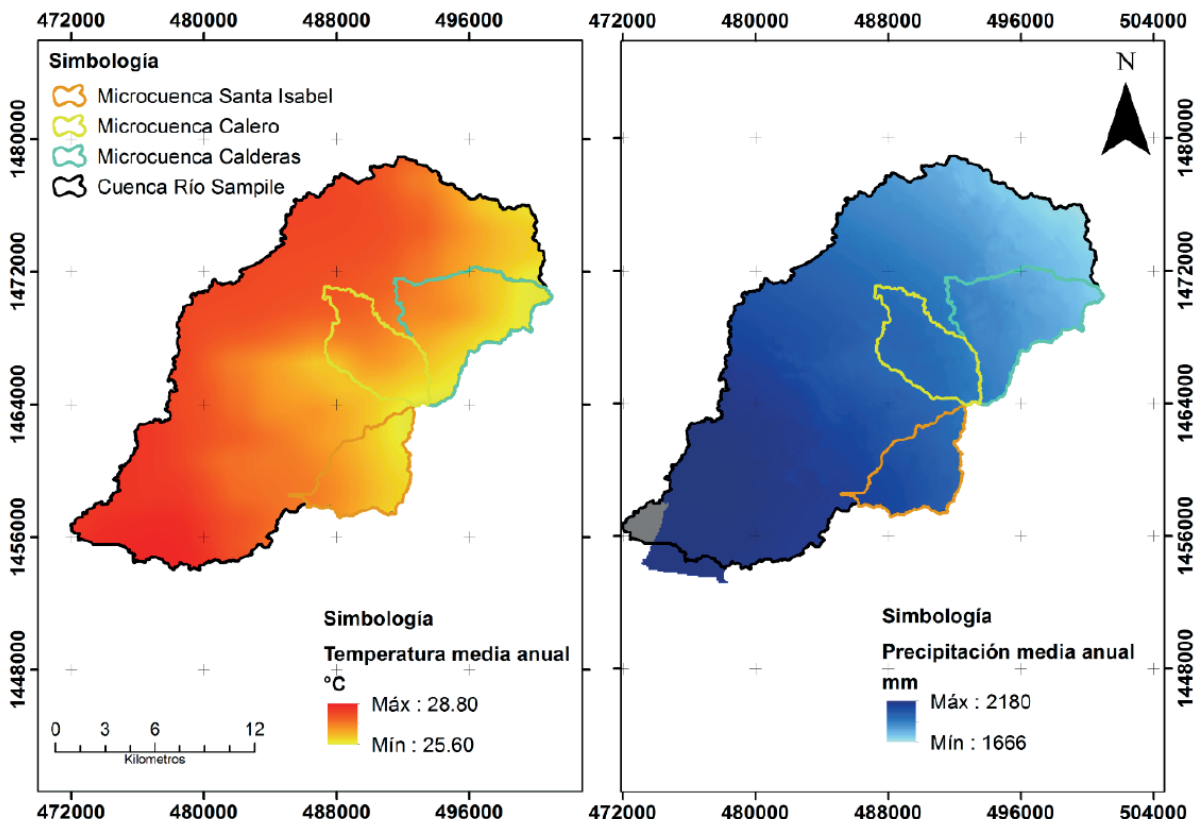


Figura 2. Mapa del comportamiento climático de las microcuencas de Santa Isabel, Calero y Calderas representando las variables de precipitación en mm y temperatura en °C.

una reducción aun mayor en el abastecimiento. Y de acuerdo al contexto social, ambiental y del agua analizado, las fuentes de agua identificadas son administradas por juntas de agua, y aproximadamente la mitad de ellas se encuentran legalizadas, es decir, cuentan con personería jurídica, y dentro de las principales amenazas reconocidas están las de tipo antropogénico como la agricultura, la ganadería, cafetales y viviendas en la parte alta de las fuentes de agua, y las de tipo natural, se identificaron la sequía, derrumbes/deslizamientos e inundaciones.

Materiales y métodos

Oferta hídrica

La caracterización climática del área en la que se emplaça la Cuenca del Río Sampile se desarrolló en el año 2017 con los datos meteorológicos observados en las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y de la secretaria de Recursos Naturales y Ambiente (MiAmbiente) que se ubican próximas a la Cuenca en estudio con un período de datos de 1976-2005.

También se realizó una evaluación de las estaciones meteorológicas en la zona de estudio mediante visitas de campo para validar las variables de medición y el funcionamiento de las mismas, y así la realización de propuesta de una red de estaciones para el seguimiento del monitoreo de la zona de estudio con más datos recolectados.

El cálculo considera las estaciones ya existentes en la

zona y su lámina media de precipitación caída en el área de estudio, se calcula para el área el coeficiente de variación de las láminas de lluvia en la red existente, mediante la expresión⁹:

$$Cv(\%) = \frac{\sigma}{\bar{x}} * 100 \quad (1)$$

Cv: Coeficiente de variación de la precipitación en n estaciones existentes en porcentaje

El número de pluviógrafos (N) es:

$$N = \left(\frac{Cv}{\rho} \right)^2 \quad (2)$$

Siendo es el error admisible en porcentaje, siendo el valor para la zona de estudio del 5%.

Debido a la falta de información de datos históricos en los causes de las microcuencas se requirió realizar aforos puntuales en los puntos de control de cada unidad hidrológica, para determinar el caudal que cada una de las microcuencas percibe en un tiempo específico y comparar dichas magnitudes obtenidas en campo con las magnitudes teóricas de caudales producidos por escorrentía a partir de un balance hídrico de la zona de estudio.

Este método consiste en medir en un área transversal de la corriente, previamente determinada, las velocidades de flujo con las cuales se puede obtener luego el caudal. El

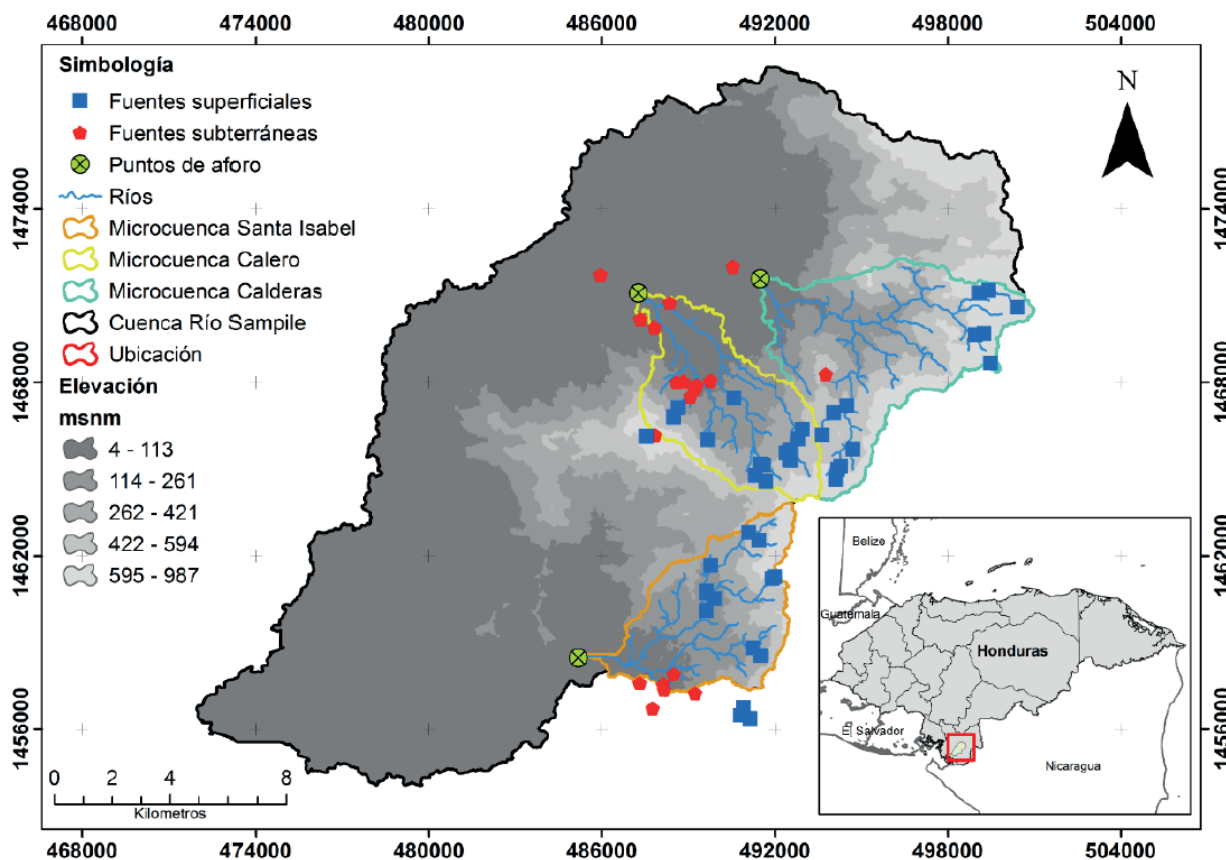


Figura 3. Mapa de distribución de fuentes de agua censadas en las microcuencas del Santa Isabel, Calero y Calderas (subterráneas y superficiales), puntos de aforo, delimitación de microcuencas y comportamiento de la elevación en el área de estudio.

Estación	Coord. X (UTM)	Coord. Y (UTM)	Altitud (msnm)
Choluteca	483373	1472316	39
Namasigüe	485252	1459810	40
Marcovia	466121	1468920	10
El Corpus	496539	1469052	440
El Triunfo	501053	1450037	100
San Marcos de Colon	521499	1485526	960

Tabla 1. Ubicación de estaciones meteorológicas en la zona estudio utilizadas para la caracterización climática y cálculo de estaciones adicionales.

Microcuenca	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada Z
Santa Isabel	485081	1458662	39
El Calero	487336	1471204	44
Calderas	491679	1472354	62

Tabla 2. Ubicación de puntos de monitoreo de caudales de los cauces principales de las microcuencas del Santa Isabel, Calero y Calderas.

molinete tipo pigmeo empleado para el aforo en flujos menores¹⁰, posee la ecuación para el cálculo de velocidades:

$$Vel = \left(0.9604 * \left(\frac{\text{revoluciones}}{\text{tiempo}} \right) + 0.0312 \right) * 0.3048 \quad (3)$$

Se realizó el aforo a finales del mes de octubre de 2017 en los puntos de cierre de cada una de las microcuencas para determinar el caudal que fluye a través de las secciones de los distintos cauces principales de cada microcuenca.

La metodología empleada para determinar el balance hídrico fue el modelo desarrollado por Thornthwaite y Matter^{11,12} (Thornthwaite & Matter, 1955) (Herrera W, 1988), el cual involucra los datos de precipitación (PP), precipitación efectiva (Po), cantidad de escorrentía (ESC) en base al número de curva que relaciona la precipitación acumulada (PPa), la cobertura del suelo, el uso del suelo y las condiciones de humedad¹³, infiltración (INF), que es el resultado de la diferencia entre la precipitación y la escorrentía previamente calculada, evapotranspiración potencial (ETP) mensual en la zona de estudio, humedad del suelo disponible actual (HA) por mes, la cual está determinada por el factor de campo, el punto de marchitez permanente y la profundidad de las raíces cuando los valores de PPa son positivos y además por la pérdida potencial acumulada cuando son negativos, cambio de humedad en el suelo mensual (CH) que se obtiene de la diferencia de la humedad del suelo de un mes a otro. Los valores negativos indican la cantidad de agua cedida a las plantas, los positivos muestran que el suelo se recarga hasta alcanzar la cantidad máxima que puede retener. La Evapotranspiración real es igual a la potencial cuando los valores de PPa son positivos y la recarga (REC) se refiere a aquella agua que infiltra hacia capas inferiores del suelo, cuando la precipitación excesiva origina un aumento progresivo de humedad, la cual rebasa la humedad que el suelo puede retener¹⁴.

Demanda hídrica

La metodología del trabajo realizado consistió en el levantamiento de la información mediante un instrumento de encuesta¹⁵ la cual fue llenada con la intervención de directivos de las juntas de agua de cada comunidad como los encargados de administrar, operar y realizar el respectivo mantenimiento a los sistemas de agua, del mismo modo se realizó la verificación in situ de cada fuente y la respectiva memoria fotográfica. La encuesta incluye las siguientes temáticas: A) Datos generales y georreferenciación de la fuente. B) Usos del agua. C) Tiempos de servicio. D) Parámetros fisicoquímicos del agua. E) Estado actual de los sistemas de conducción, distribución y almacenamiento. F) Reconocimiento de la problemática. Se evaluaron los datos de las poblaciones y se realizó el cálculo de consumo de acuerdo con la dotación diaria por persona establecida por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para satisfacer sus necesidades en condiciones óptimas¹⁶, realizando una evaluación de escenario de crecimiento de la población al 2040 de acuerdo a las metodologías utilizadas por el Instituto Nacional de Estadística (INE)¹⁷.

Dinámica social

En este apartado se utilizó una descripción del contexto social, ambiental y del agua por medio del análisis de la información recolectada durante las giras de levantamiento de información de las diferentes tomas de agua en las microcuencas de Santa Isabel, Calero y Calderas, cabe resaltar que para este análisis solamente se consideró lo expresado por las personas de la comunidad durante las giras. La descripción evalúa la dinámica social-legal que comprende a la organización administradora de agua en cada comunidad y las zonas de aprovechamiento hídrico (zona alrededor de la obra toma), la dinámica ambiental – antropogénicas, (evaluación las amenazas en la toma y su alrededor) y la dinámica de los recursos hídricos, donde se habla un poco del sistema de distribución (cantidad) y la calidad del agua.

Resultados

Oferta hídrica

De acuerdo con el análisis referente a la cantidad óptima de estaciones meteorológicas en función del análisis de la precipitación se determinó un número de catorce (14) estaciones adicionales a las existentes describiendo las coordenadas y elevaciones de la ubicación en la zona de estudio que comprende la Cuenca del Río Sampile.

Coordenada X	Coordenada Y	Elevación Z
488946	1473963	49
493601	1468876	415
489285	1465991	454
490716	1461486	444
497977	1475316	786
498973	1470330	699
495652	1476478	623
495086	1471947	536
485666	1466254	467
484056	1464227	369
481970	1465628	187
487753	1461604	284
480032	1460739	102
473358	1456635	5

Tabla 3. Ubicación de estaciones adicionales para el área de estudio calculadas a partir de las estaciones meteorológicas existentes en la zona de estudio.

Los caudales calculados para las microcuencas de Santa Isabel, Calero y Calderas presentan los valores de 880.46 lts/seg, 1063.71 lts/seg y 1512.27 lts/seg respectivamente teniendo en cuenta que estos fueron tomados en uno de los picos lluviosos de la región por lo que estaríamos midiendo valores máximos en cada una de las microcuencas.

En cuanto a la oferta y disponibilidad del recurso hídrico, la microcuenca de Santa Isabel presenta un periodo de no lluvia (noviembre y abril), donde se percibe aproximadamente el 8.64% (4,487 m³ de agua) de la precipitación anual, en contraste al 91.36% (47,439 m³ de agua), 8.35% (4,336 m³ de agua) de la precipitación anual, en contraste al 91.65% (47,577 m³ de agua) de la época lluviosa para la microcuenca de Calero y de 8.60% (6,199.00 m³ de agua) de la precipitación anual, en contraste al 91.40% (65,909.00 m³ de agua) en la microcuenca de Calderas, donde se presenta una tendencia bimodal en la precipitación presentando el primer pico entre mayo y junio, y el segundo en el mes de septiembre, alcanzando valores medios de precipitación de hasta 305.45 mm, 316.63 mm y 480.87 mm respectivamente para el caso de la microcuenca Santa Isabel, de hasta 303.05 mm, 308.05 mm y 476.70 mm para Calero y 292.03 mm, 294.95 mm y 451.59 mm para Calderas. Para la microcuenca de Santa Isabel dentro de la época lluviosa el 40.44% (20,996 m³ de agua) de la precipitación anual se convierte en escorrentía, el 49.46% (25,684 m³ de agua) se evapotranspira, y en el periodo comprendido

entre julio y octubre se produce una recarga a los cuerpos de agua subterráneos equivalente al 8.27% (4,293 m³ de agua) de la precipitación anual, para la microcuenca de Calero dentro de la época lluviosa el 38.76% (20,116 m³ de agua) de la precipitación anual se convierte en escorrentía, el 52.33% (27,166 m³ de agua) se evapotranspira, y en el periodo comprendido entre julio y octubre se produce una recarga a los cuerpos de agua subterráneos equivalente al 8.92% (4,628 m³ de agua) de la precipitación anual y para la microcuenca de Calderas dentro de la época lluviosa el 38.20% (27,544 m³ de agua) de la precipitación anual se convierte en escorrentía, el 54.22% (39,099 m³ de agua) se evapotranspira, y en el periodo comprendido entre julio y octubre se produce una recarga a los cuerpos de agua subterráneos equivalente al 7.58% (5,464 m³ de agua) de la precipitación anual.

Demanda hídrica

En la microcuenca Santa Isabel se contabilizaron catorce (14) tomas de agua superficiales, las cuales abastecen a cuatro comunidades y ubicadas en la parte media-alta y alta de la microcuenca. Las tomas subterráneas (pozos) suman seis (6), abasteciendo a seis comunidades, todas pertenecientes al municipio de Namasigüe; estos pozos alcanzan profundidades de entre los 24-36 metros y su nivel freático entre los 5 – 17 metros, ubicados en la parte baja de la microcuenca. Un total aproximado de 665 familias abonadas, es decir conectadas al sistema formalmente (3,719 personas) que están siendo beneficiadas por estos sistemas de distribución de agua, teniendo una mayor demanda las fuentes de San Rafael (138 abonados) y las dos de San Agustín (225 abonados). Importante mencionar, que todas las fuentes superficiales poseen tanques de almacenamiento que van desde 4,000 – 15,000 galones, los cuales la mayoría requiere mejoras considerables. La demanda actual con una dotación de 100 litros por persona por día (l/p/d) y en relación con la disponibilidad del agua (Disponibilidad en tanque) no es cubierta en la mayoría de las comunidades, que en promedio es el 74% de la población. Con un escenario de crecimiento de la población al 2040 se prevee reducirá al menos al 50% de la población según la disponibilidad almacenada. En cuanto a la demanda agrícola, la comunidad censada que cuenta con una mayor área cultivada es San Rafael con 35 Mz de maíz y frijoles con muy escasos sistemas de riego.

La demanda de agua en la microcuenca Calero en general se tiene para uso agrícola y consumo humano, con un total de veintinueve (29) tomas de agua (entre superficiales y subterráneas) identificadas como fuentes formales (Juntas de Agua), teniendo siempre la incertidumbre de tener fuentes de agua no registradas y de uso individual en el área de la microcuenca. En este sentido, las tomas de agua superficiales contabilizadas son dieciocho (18), las cuales abastecen a 8 comunidades incluyendo el casco urbano del municipio de Santa Ana de Yusguare, ubicadas en la parte media-alta y alta de la microcuenca, las tomas subterráneas (pozos) suman once, abasteciendo a 7 comunidades en donde se encuentran dos barrios o sectores del casco urbano de Santa de Yusguare; estos pozos alcanzan profundidades entre los 3-86 metros y su nivel freático entre los 1 – 36 metros, ubicados en la parte media-baja y baja de la microcuenca. La población que se abastece hace un total aproximado de 2,037 familias abonadas, es decir conectadas al sistema formalmente (10,271 personas beneficiadas). De estas, las que tienen mayor demanda serían las

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
PP (mm)	4.97	3.94	16.39	55.50	305.45	316.63	146.00	325.01	480.87	285.07	78.04	17.04	2034.91
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.24	128.52	136.94	27.01	143.31	270.08	113.61	3.09	0.00	822.81
INF (mm)	4.88	3.87	16.10	54.25	171.41	173.98	116.30	175.71	202.07	166.08	73.55	16.74	1174.95
ETR (mm)	23.65	10.07	17.99	54.61	150.23	132.46	101.68	132.43	117.75	111.19	96.49	57.97	1006.53
REC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.18	0.00	27.90	84.30	54.88	0.00	0.00	168.26

Tabla 4. Balance hídrico de la microcuenca de Santa Isabel donde PP: precipitación, ESC: escorrentía, INF: infiltración, ETR: evapotranspiración real y REC: recarga.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
PP (mm)	4.99	3.55	15.91	55.66	303.05	308.08	135.81	293.57	476.70	283.56	70.00	14.02	1964.90
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.15	123.36	127.10	20.64	116.50	263.24	109.16	1.34	0.00	761.51
ETR (mm)	24.84	11.32	19.04	56.43	153.79	136.13	100.42	135.86	120.77	114.55	98.47	56.58	1028.21
INF (mm)	4.99	3.55	15.91	55.51	179.69	180.98	115.17	177.06	213.46	174.39	68.66	14.02	1203.40
REC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.00	21.69	92.61	59.85	0.00	0.00	175.19

Tabla 5. Balance hídrico de la microcuenca de Calero donde PP: precipitación, ESC: escorrentía, INF: infiltración, ETR: evapotranspiración real y REC: recarga.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
PP (mm)	4.96	3.56	15.75	54.29	292.03	294.95	126.45	259.45	451.59	256.35	66.17	13.38	1838.92
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.18	120.19	122.37	18.37	96.60	249.05	94.59	1.11	0.00	702.45
ETR (mm)	21.27	8.88	17.35	54.43	151.46	133.86	96.33	133.84	118.98	112.77	95.85	52.08	997.11
INF (mm)	4.96	3.56	15.75	54.11	171.84	172.59	108.08	162.85	202.53	161.77	65.06	13.38	1136.48
REC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.53	0.00	7.18	82.66	48.99	0.00	0.00	139.36

Tabla 6. Balance hídrico de la microcuenca de Calderas donde PP: precipitación, ESC: escorrentía, INF: infiltración, ETR: evapotranspiración real y REC: recarga.

Balance Hídrico

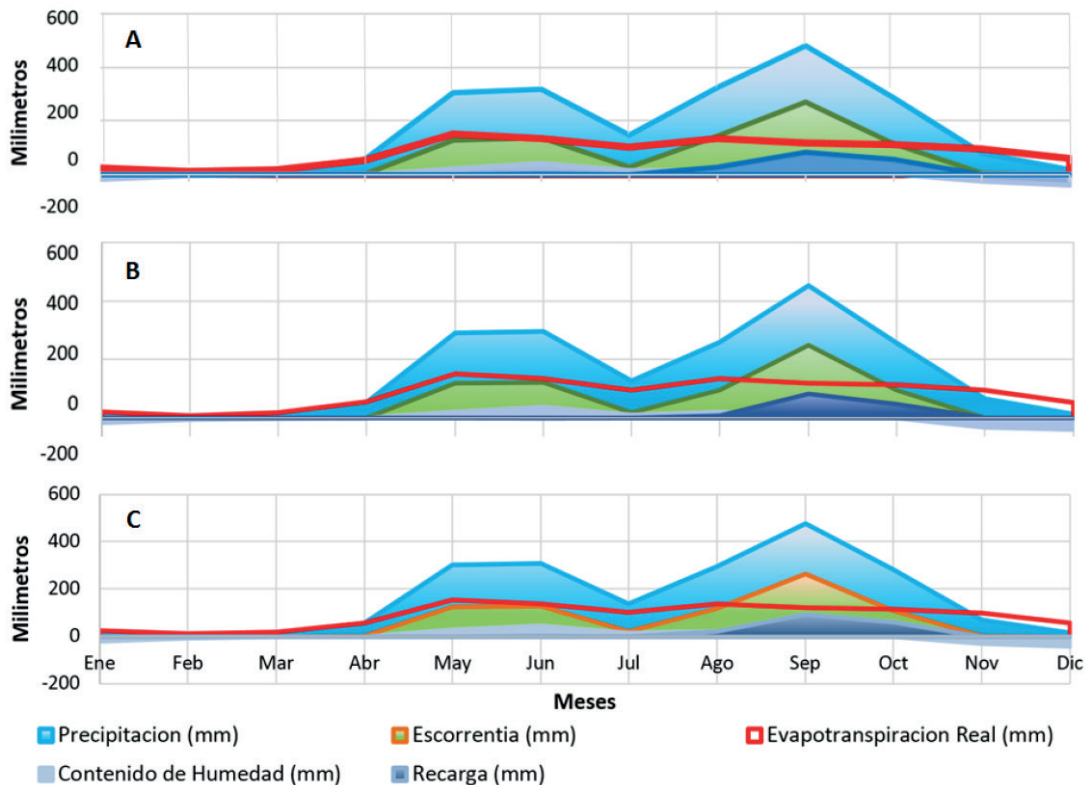


Figura 4. Gráfico del comportamiento del balance hídrico en el área de estudio, A: microcuenca Santa Isabel, B: microcuenca Calero y C: microcuenca Calderas.

fuentes de Barrio los Mangos en Santa Ana de Yusguare (650 abonados) y la del Puente (520 abonados). Todas las fuentes superficiales poseen tanques de almacenamiento que van desde 1,500 – 20,000 galones, los cuales la mayoría requiere mejoras considerables. La demanda actual con una dotación de 100 l/p/d y en relación con la disponibilidad del agua (Disponibilidad en tanque) no es cubierta en la mayoría de las comunidades, que en promedio es el 62% de la población. Con un escenario de crecimiento de la población al 2040 se prevee reducirá al menos al 69% de la población según la disponibilidad almacenada. En la demanda para uso agrícola, la comunidad censada que cuenta con una mayor área cultivada es El Puente con 150 Mz de oca, la cual cuenta con riego por goteo.

La demanda de agua en la microcuenca Calderas cuenta con un total de quince (15) tomas de agua (entre superficiales y subterráneas), las tomas de agua superficial contabilizadas son trece, las cuales abastecen a cinco (5) aldeas del municipio de El Corpus, ubicadas en la parte alta de la microcuenca. Las tomas subterráneas (pozos) suman dos, abasteciendo una de ellas a la comunidad de San Isidro en El Corpus, y la otra a la comunidad de Pueblo Nuevo en el municipio de Santa Ana de Yusguare, estos pozos alcanzan profundidades entre los 7-79 metros y su nivel freático entre los 2 – 5 metros, ubicados entre la parte media-baja y baja de la microcuenca. La población que se abastece hace un total aproximado de 573 familias abonadas, es decir conectadas al sistema formalmente (3,087 personas beneficiadas aproximadamente). De estas las comunidades que tienen mayor demanda son las fuentes de San Juan Abajo (130 abonados) y la de Barrio Nuevo (120 abonados), ambas del municipio de El Corpus. Todas las fuentes superficiales poseen tanques de almacenamiento que van desde 1,500 – 56,000 galones, los cuales la mayoría requiere mejoras considerables. La demanda actual con una dotación de 100 l/p/d y en relación con la disponibilidad del agua (Disponibilidad en tanque) no es cubierta en la mayoría de las comunidades, que en promedio es el 56% de la población. Con un escenario de crecimiento población al 2040 se prevee reducirá al menos al 67% de la población según la disponibilidad almacenada. En cuanto a la demanda agrícola, la comunidad censada que cuenta con una mayor área cultivada es Pueblo Nuevo con 1,000 Mz de melón y 150 Mz de caña.

Dinámica social y ambiental

En el tema de organización de las nueve comunidades de la microcuenca Santa Isabel ocho de las nueve están legalizadas, además, mencionar que seis comunidades son dueños del terreno donde está la toma de agua. En la microcuenca de Calero, once de las doce comunidades están constituidas como juntas de agua y otra es manejada por autoridades municipales, de las doce, solamente cuatro están legalizadas y siete de las doce comunidades son dueños del terreno donde está la toma de agua y para la microcuenca de Calderas de las doce comunidades, once son administradas a través de juntas de agua y una es de la alcaldía municipal, solamente cuatro están legalizadas y siete comunidades son dueños del terreno donde está la toma de agua.

En general las amenazas que se presentan en la zona de recarga hídrica de las tres microcuencas son la agricultura, ganadería, la actividad cafetalera, presencia de viviendas y actividades mineras (en la microcuenca Calderas), y en cuanto a las naturales las amenazas son las inundacio-

nes cuando hay lluvias intensas, sequía (disminución del caudal) en la época de no lluvia y deslizamiento/derrumbes.

La infraestructura hídrica (obras de captación, líneas de conducción, almacenamiento y red de distribución) todas las comunidades de Santa Isabel cuentan con todo el esquema, reportándose comunidades con disminución en la cantidad del agua en verano. En el caso de las Microcuencas de Calero y Calderas sólo seis y ocho comunidades respectivamente cuentan con el esquema completo de infraestructura quedando a una mayor vulnerabilidad en el tema de aprovechamiento del recurso hídrico.

Discusión

Este estudio muestra que la oferta pluviométrica es alta, con valores aproximados de los 1400mm anual, pues la Región Centroamericana es privilegiada por la disponibilidad debido a las cantidades de lluvia que caen en la zona, ya que tiene una influencia directa de las dos vertientes Pacífico y el Atlántico, además, por su cercanía a la línea del Ecuador su clima es considerado Tropical¹⁸, sin embargo, debido a la presencia de zonas agrícolas y ganaderas, genera poca cobertura boscosa, provocando que, la recarga en sistemas acuíferos sea baja, observándose en la oferta hídrica un mayor porcentaje de precipitación que se evapotranspira y escurre, y si se analiza ese comportamiento en las tres microcuencas en estudio, la que presenta un mayor porcentaje de recarga es la del Calero, la de mayor porcentaje de escurrimiento es la microcuenca de Santa Isabel y la que presenta mayor evapotranspiración es en Calderas.

En cuanto a la demanda hídrica, es de reconocer que el crecimiento poblacional en los últimos años ha generado problemas ambientales, siendo uno de ellos la escasez de agua, la cual es asociada por un limitado abastecimiento^{19, 20}, y esa realidad se ve reflejada en la zona de estudio, pues de acuerdo al total de fuentes de agua que se evidenciaron y a la población total que se abastece de ellas, que es aproximadamente 3275 familias distribuidas en 35 comunidades, la cobertura en términos de abastecimiento es limitada, para el caso de cada microcuenca, es la microcuenca de Caldera la que presenta mayor abastecimiento, con un 44% de población abastecida, seguido de Calero con 38% y Santa Isabel con un 26%, lo que muestra claramente que hay un déficit de abastecimiento de agua para consumo en la zona de estudio, esto, de acuerdo a la oferta hídrica presentada, y, además, a que la infraestructura de almacenamiento presente en las comunidades de las tres microcuencas en estudio, es insuficiente.

Además, es importante mencionar que, en temas de gestión integrada de los recursos hídricos, las juntas de agua, que son las instancias de administración del agua a nivel de comunidades, deben estar debidamente legalizadas, es decir, contar con la personería jurídica, la cual es la herramienta legal, que permite a las comunidades acceder a la adquisición de terrenos en busca de acciones de protección y conservación de las fuentes de agua, y también, les aprueba a tener una representación oficial ante el Ente Regulador de Servicios de Agua Potable y Saneamiento (ERSAPS) y otras instancias institucionales del país, y con ello también a tener acceso a ayudas del estado y otras instituciones del país^{21, 22}, para el caso del área de estudio los resultados reflejan un bajo porcentaje de juntas de agua legalizadas, siendo las de la microcuenca de San Isabel la que presenta un mayor porcentaje de legalización, segui-

das, las juntas de Calderas y con un porcentaje más bajo las de Calero, los porcentajes bajos, son atribuidos a que, la población desconoce los beneficios de obtener la personería jurídica, en otras ocasiones hay temor y tratan de ser cuidadosos en someterse a este tipo de trámites, y en algunos casos, no tienen el apoyo institucional adecuado, que los oriente o dé apoyo técnico requerido en la inscripción²³. Adicionalmente, a esta deficiencia de gobernanza local, se observó la evidente problemática de sequía pluviométrica y deslizamientos por lluvias intensas, y a la presencia de grupos de agricultores, cafetaleros y ganaderos dentro de las microcuencas, provoca que la gestión integrada del recurso hídrico en la zona sea limitada.

En general, esta investigación es una herramienta para diferentes instancias de gobierno y no gubernamentales, que tengan relación e influencia en la Cuenca del Río Sampile, y específicamente en las tres microcuencas en estudio, para establecer acciones que vayan encaminadas a fortalecer la gestión del recurso hídrico en la zona.

Conclusiones

El comportamiento hidrológico de las tres (3) microcuencas de Santa Isabel, El Calero y Calderas, es similar, con diferencias mínimas en sus magnitudes tanto en precipitación, escorrentía, infiltración y evapotranspiración, con una tendencia bimodal en la precipitación presentándose el primer pico entre los meses de mayo y junio y el segundo pico en el mes de septiembre, donde en dicha temporada se da la recarga de los cuerpos subterráneos, produciéndose una recarga de aproximadamente el 9% de la precipitación anual que adquiere el sistema, donde el 40% de la precipitación anual escurre sobre la superficie y el 51% de la precipitación se evapotranspira.

Se inventariaron en las tres microcuencas un total de 64 tomas de agua para consumo humano, de las cuales 45 son de tipo superficial y 19 de tipo subterránea (pozos artesanales y perforados), teniendo para la microcuenca de Santa Isabel 20 tomas (14 superficiales y 6 subterráneas), para microcuenca El Calero 29 tomas (18 superficiales y 11 subterráneas) y para Calderas 15 tomas (13 superficiales y 2 subterráneas).

Para la microcuenca Santa Isabel el 89% de las juntas de agua están legalizadas, de ellas el 67% cuentan con título de propiedad de al menos el lugar donde se encuentra la fuente de agua, para El Calero 20% de las juntas de agua están legalizadas, de ellas 50% cuentan con título de propiedad de al menos el lugar donde se encuentra la fuente de agua, y para Calderas 36% de las juntas de agua están legalizadas de ellas 64% cuentan con título de propiedad de al menos el lugar donde se encuentra la fuente de agua. Las principales amenazas identificadas son de tipo antropogénico siendo la agricultura, la ganadería, cafetales y viviendas en la parte alta de las tomas, y así mismo se identificaron las de tipo natural como la sequía, derrumbes/deslizamientos e inundaciones.

Contribuciones de los autores

Hidrología, José Max Ayala; geología, Maynor Ruíz; climatología, Edgar Josué Mejía; recopilación, desarrollo y análisis de base de datos, y elaboración de mapas, Karla Hernández, Luis Miguel Castillo, Josseline Faviola Núñez, Andrea Eloiza Contreras, Johan Edin Rodas y Jorge Carranza.

Financiamiento

Esta investigación fue financiada con fondos de la Cooperación Suiza para el Desarrollo (COSUDE), a través del Programa de Gobernanza Hídrica Territorial Región 13 Golfo de Fonseca (PGHTR13GF), siendo su implementación facilitada por el Consorcio Gesellschaft für Agrarprojekte en Übersee (GFA), la International Development Enterprises (IDE) y Ecopsis S.A.

Conflictos de Interés

Los autores declaran que no hay conflicto de intereses en este estudio.

Referencias bibliográficas

1. Manton, William I.. Tectonic interpretation of the morphology of Honduras. *Tectonics* (1987), Volume 6, pp. 633-651.
2. Burkart, Burke y Stephen Self. Extensión y rotación de bloques corticales en el norte de Centroamérica y efecto sobre el arco volcánico. *Geología* (1985), Volume 13, pp. 22-26.
3. Rogers, R., Mann, P., DeMets, C., Tenorio, C. and Rodríguez, M.. Two styles of active transtensional deformation along the western North America-Caribbean plate boundary zone. *Geological Society America* (2005).
4. Muehlberger, W.. The Honduras Depression. *Publicaciones Geológicas del ICAITI* (1976), Volume 5(4), pp. 43-51.
5. Krásný, J.; Sharp, John M.. *Groundwater in Fractured Rocks*, 1st ed.; Publisher: London, Inglaterra, 2007; pp 666. <https://doi.org/10.1201/9780203945650>.
6. Aparicio Mijares, F.J.. *Fundamentos de Hidrología de Superficie*, 1st ed.; Publisher: México, D. F., México, 1989; pp. 152.
7. Global Water Partnership - GWP. Available online: https://www.gwp.org/es/GWP-Centroamerica/EN_ACCION/NOTICIAS/Una-nueva-estrategia-para-GWP/ (07 07 2022)
8. Poder Judicial Republica de Honduras. Available online: [https://www.poderjudicial.gob.hn/CEDIJ/Leyes/Documents/Ley%20General%20de%20Aguas%20Decreto%20181-2009%20\(8,1mb\).pdf](https://www.poderjudicial.gob.hn/CEDIJ/Leyes/Documents/Ley%20General%20de%20Aguas%20Decreto%20181-2009%20(8,1mb).pdf) (07 07 2022)
9. Juncosa, R., *Hidrología: Ciclo hidrológico*. España: Rep. del Noroeste, 2005.
10. Izabá-Ruiz, R., & García, D., Estimación de la disponibilidad hídrica superficial en la microcuenca del río Mapachá, San Lorenzo, Boaco. *Agua y conocimiento*, 2018, pp 23-37.
11. Thornthwaite, C., & Matter, J., *The water balance*. Laboratory of climatology, N8 Criterion, 1955, N.J.
12. Herrera W., *Análisis Climático de siete variantes del balance hídrico aplicado a costa rica*. Costa Rica, 1988 pp 298.
13. Ven Te, C., *Handbook of Applied Hydrology*. EEUU: McGraw Hill Book Company, 1984.
14. Beita, L. A., *Análisis de Factores Hídricos de la subcuenca del Río Sarafí*. *Revista Geográfica de América Central* N27, 1993, pp. 11-31.
15. Casas Anguita, J., Repullo Labrador, J., & Donado Campos, J.. *La encuesta como técnica de investigación*. Aten Primaria, 2003, pp 527-538.
16. Cáceres, S. H., & Chambilla, I. G., *Análisis del consumo de agua potable en el centro poblado de Salcedo*, Puno. *Investigación y Desarrollo*, 2019, pp. 133-144. doi:10.23881/ido-bo.019.1-9i
17. INE, I. N., *Metodología de proyecciones poblacionales*, 2013, Obtenido de INE: <https://www.ine.gob.hn/V3/censo-de-poblacion-y-vivienda/>
18. Vargas Ulate, Gilbert. *Las lluvias en América Central: Una climatología geográfica*. *Anuarios de Estudios Geográficos* (2001), Volumen 27, pp. 07-19
19. Hardoy, Jorge Enrique; Satterthwaite, David E.. *Las ciudades del Tercer Mundo y el medio ambiente de pobreza*. *Foro mundial de la salud* 1987, Volumen 8(1); pp. 87-96. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/50653>

20. Romero Guzmán, E. T.; Romero Guzmán, L.. Estrés hídrico y escasez del agua: ¡No al día cero del agua!. Revista Glo-sa (2020), Volumen 8(14), 28-30. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Elizabeth-Teresita-Romero-Guzman/publication/341322998_ESTRES_HIDRICO_Y_ESCASEZ_DEL_AGUA_NO_AL_DIA_CERO_DEL_AGUA/links/5ebac13592851c11a861345d/ESTRES-HIDRICO-Y-ESCASEZ-DEL-AGUA-NO-AL-DIA-CERO-DEL-AGUA.pdf
21. Ente Regulador de Servicios de Agua Potable y Saneamiento-ERSAPS. Available online: <https://www.ersaps.hn/21122020.html> (08 07 2022)
22. Instituto de Acceso a la Información Pública-SINAIP. Available online: https://portalunico.iaip.gob.hn/portal/ver_documento.php?uid=MTE3MzU5ODkzNDc2MzQ4NzEyNDYxOTg3MjM-0Mg== (08 07 2022)
23. Tribunal Superior de Cuentas. Available online: <https://www.tsc.gob.hn/web/Denuncia%20Ciudadana/2007/95-2007%20SANAA.pdf> (08 07 2022)