Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad
ISSN: 2697-3510 **I** e-ISSN: 2697-3529 **I** Vol. 8, 2025
DOI: https://doi.org/10.46380/rias.v8.e445

GESTIÓN SUSTENTABLE DE RECURSOS HÍDRICOS

Modelo hidrológico conceptual para la caracterización dinámica del humedal Parque Nacional Palo Verde, Costa Rica.

Alisson Escobar García y
Belkis Alejandra Morales Guevara
Universidad Nacional, Costa Rica
alisson.escobar.garcia@est.una.ac.cr

Conceptual hydrological model for the dynamic characterization of the Palo Verde National Park wetland, Costa Rica.

Modelo hidrológico conceitual para a caracterização dinâmica da zona úmida do Parque Nacional Palo Verde, Costa Rica.

Artículo científico

Enviado: 20/9/2024
Aprobado: 27/6/2025
Publicado: 30/6/2025

RESUMEN

La investigación se centró en el humedal Parque Nacional Palo Verde, un ecosistema clave que actúa como frontera entre los sistemas acuáticos y terrestres, considerado un sitio Ramsar de importancia internacional. El objetivo general de la investigación fue desarrollar un modelo hidrológico conceptual para la caracterización dinámica anual del humedal. Localizado en la región Chorotega, el humedal depende del régimen hidrológico de la zona, con variaciones marcadas entre la época lluviosa y poco lluviosa. Durante la temporada de lluvias, los volúmenes de agua aumentan, lo que fue identificado mediante imágenes satelitales de Sentinel 2, mientras que en la época poco lluviosa la vegetación reemplaza al cuerpo de agua. Se usó el programa QGis para delimitar y caracterizar las subcuencas que alimentan el humedal, destacando mayores caudales en la cuenca del río Bebedero en comparación con el río Tempisque. Además, se realizaron mediciones de campo para registrar los niveles de agua y se analizaron datos meteorológicos de la estación Los Negritos, encontrando una relación entre la temperatura y la evapotranspiración, así como la influencia de la precipitación. Los datos obtenidos permitieron desarrollar un modelo hidrológico conceptual, delimitando las variables que influyen en la dinámica del humedal, principalmente la estacionalidad.

Palabras clave: Chorotega, espejo de agua, estacionalidad, fluviográficas, incidencia, río Bebedero, río Tempisque, sitio Ramsar.

ABSTRACT

The research focused on the Palo Verde National Park wetland, a key ecosystem that acts as a boundary between aquatic and terrestrial systems and is considered a Ramsar site of international importance. The general objective of the research was to develop a conceptual hydrological model for the annual dynamic characterization of the wetland. This wetland, located in the Chorotega region, depends on the hydrological regime of the area, with marked variations between the rainy and dry seasons. During the rainy season, the volumes of water increase, which was identified through satellite images from Sentinel 2, while in the dry season the vegetation replaces the body of water. The QGis software was used to delimit and characterize the subbasins that feed the wetland, highlighting higher flows in the Bebedero river basin compared to the Tempisque river. In addition, field measurements were made to record water levels and meteorological data from the Los Negritos station were analyzed, finding a relationship between temperature and evapotranspiration, as well

as the influence of precipitation. The data obtained allowed the development of a conceptual hydrological model, delimiting the variables that influence the dynamics of the wetland, mainly seasonality.

Keywords: Chorotega, fluviographic, incidence, Ramsar site, seasonality, Bebedero river, Tempisque river, water mirror.

RESUMO

A pesquisa concentrou-se na zona úmida do Parque Nacional de Palo Verde, um ecossistema chave que atua como fronteira entre os sistemas aquáticos e terrestres e é considerado um sítio Ramsar de importância internacional. O objetivo geral da pesquisa foi desenvolver um modelo hidrológico conceitual para a caracterização dinâmica anual da zona úmida. Esta zona húmida, localizada na região de Chorotega, depende do regime hidrológico da zona, com variações marcantes entre as estações chuvosa e seca. Durante o período chuvoso, os volumes de água aumentam, o que foi identificado através de imagens do satélite Sentinel 2, enquanto no período seco a vegetação substitui o corpo d'água. O programa QGis foi utilizado para delimitar e caracterizar as sub-bacias que alimentam a zona úmida, destacando vazões mais elevadas na bacia do rio Bebedero em comparação com o rio Tempisque. Além disso, foram feitas medições de campo para registrar os níveis de água e analisados dados meteorológicos da estação Los Negritos, encontrando-se uma relação entre temperatura e evapotranspiração, bem como a influência da precipitação. Os dados obtidos permitiram o desenvolvimento de um modelo hidrológico conceitual, delimitando as variáveis que influenciam a dinâmica da zona úmida, principalmente a sazonalidade.

Palavras-chave: Chorotega, espelho d'água, fluviográfica, incidência, rio Bebedero, rio Tempisque, sazonalidade, sitio Ramsar.

INTRODUCCIÓN

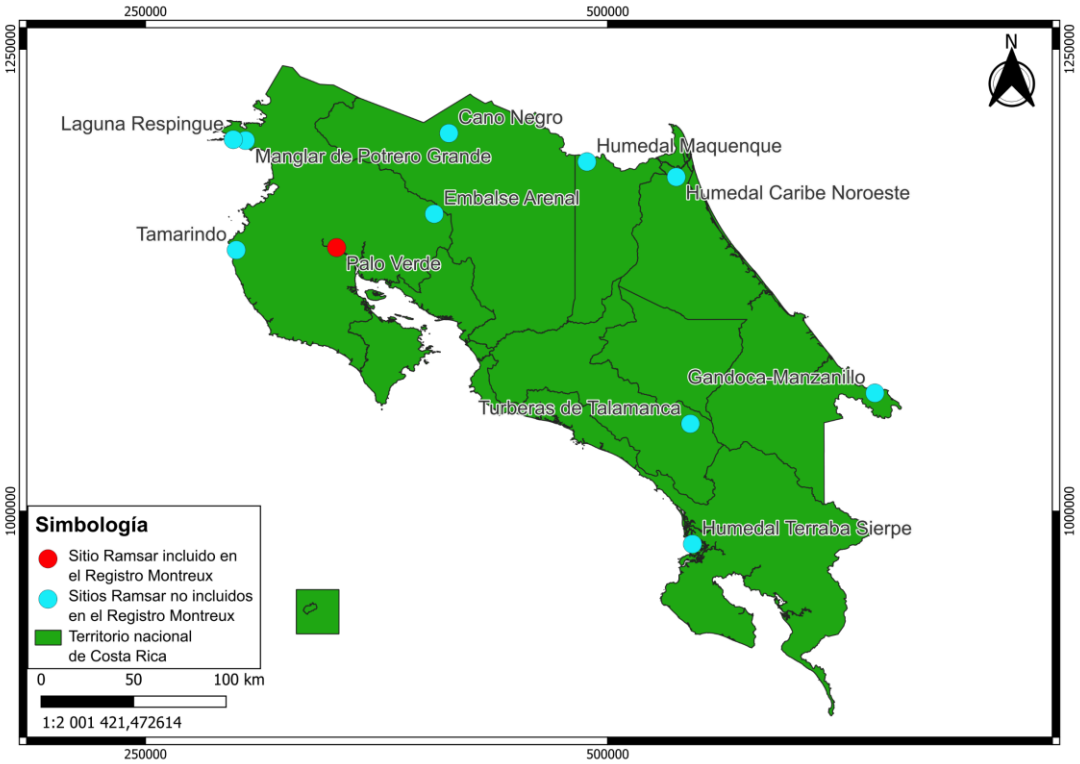
El humedal Parque Nacional Palo Verde (PNPV), pertenece a la provincia de Guanacaste, al noroeste de Costa Rica. En esta zona la temperatura media anual ronda los 27°C y la precipitación anual es de 2 296 mm (Mora y Castañeda, 2022), la estación poco lluviosa se extiende por cinco meses, va de diciembre a abril y la estación lluviosa de siete meses, la cual va de mayo a noviembre (Rojas *et al*., 2015). El PNPV ofrece diversos servicios ecosistémicos, entre los cuales destacan soporte, regulación, provisión y culturales, estos son valorados en promedio en unos 654 765 823 de dólares anuales (Murillo y Miranda, 2018).

Costa Rica en el año 1991 ratificó la Convención Ramsar donde incluye al PNPV en la Lista de Humedales de Importancia Internacional, mismo que se designó según los criterios de Ramsar, al ser un humedal representativo a nivel hidrológico, biológico y ecológico en el funcionamiento natural de una cuenca hidrográfica, sistema costero y transfronterizo. El gobierno de Costa Rica solicitó en 1993 la inclusión al Registro Montreux, misma que fue aceptada dado a los cambios en las características ecológicas en el sitio, cambios generados en sus características hidrológicas a efectos de actividades agrícolas y ganaderas en sus alrededores (Convención Ramsar, 1998).

En la actualidad es el único de los 12 sitios Ramsar en Costa Rica que aún sigue dentro del Registro Montreux, como se aprecia en la *figura 1*. A pesar de que en el año 1997 el gobierno de Costa Rica solicitó a la Oficina de la Convención Ramsar la aplicación del Procedimiento de Orientación para la Gestión, coordinado por el Sistema Nacional de Áreas de Conservación y el Ministerio del Ambiente y Energía, dado que aún existen problemas de degradación y pérdida del ecosistema, llevado a un

nivel de decisiones administrativas y políticas, tanto a nivel espacial como temporal, dentro de los límites del humedal como fuera de ellos.

Figura 1. *Lista del Registro Montreux de humedales amenazados en Costa Rica.*



Fuente: *Elaborada por las autoras.*

En el año 2011 el gobierno de Costa Rica solicitó a la Secretaría de la Convención Ramsar un asesoramiento en el sitio, mismo que evaluó las medidas implementadas para la conservación del humedal y su eventual retiro del Registro Montreux. En el informe se menciona que es imprescindible realizar estudios hidrológicos a la brevedad posible, recomendado así, su no retiro del Registro (Convención Ramsar, 2012). Es por esto por lo que instituciones como el Sistema Nacional de Áreas de Conservación, con el apoyo técnico de Servicio Nacional de Aguas subterráneas, Riego y Avenamiento, han unidos esfuerzos para dar seguimiento a las recomendaciones generadas.

Por otro lado, de acuerdo con la Convención Ramsar (2021) en Palo Verde no se cuenta con iniciativas para mejorar la sostenibilidad del uso del agua, evidenciando que no se han adoptado las medidas de gestión adecuadas para la contribución al desarrollo sostenible de las subcuencas circundantes. Aunado a lo anterior se desconoce de información preliminar técnica de la distribución hídrica del sistema del humedal desde un enfoque de aporte, por lo tanto, este proyecto contribuye a los estudios hidrológicos que se requieren en la zona.

Las condiciones hidrológicas presentes tienen un papel fundamental en las acciones a tomar sobre la protección y gestión del humedal Palo Verde, cuyo ecosistema posee gran valor ecológico, económico y turístico en el Área de Conservación Arenal-Tempisque. Por lo tanto, dicho estudio es relevante para las instituciones públicas interesadas en realizar próximas gestiones/proyectos en la zona.

El objetivo general de esta propuesta se basa en elaborar un modelo hidrológico conceptual para la caracterización dinámica anual del funcionamiento del humedal. Para alcanzar este objetivo se

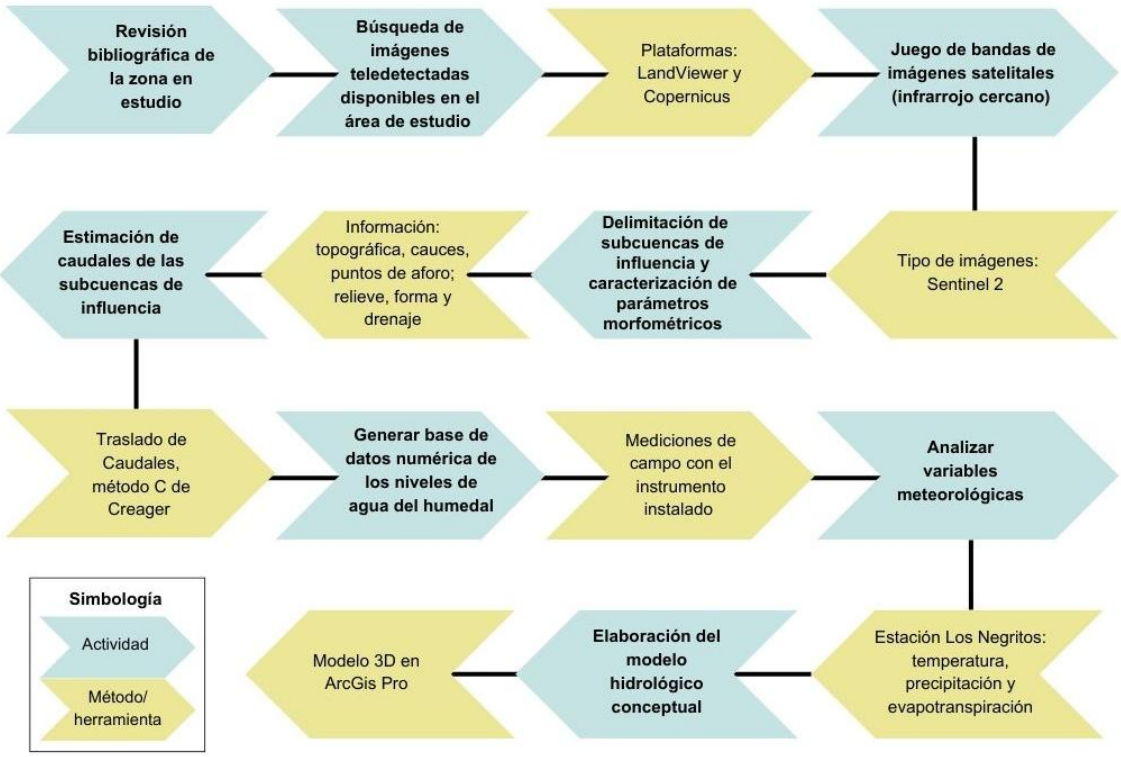
plantearon los siguientes objetivos específicos: describir los cambios en la superficie del agua mediante imágenes satelitales para la comparación de la dinámica estacional que atraviesa el humedal, establecer la delimitación espacial de las subcuencas de influencia mediante sistemas de información geográfica para la estimación de los aportes de agua que recibe el humedal, determinar el comportamiento dinámico mediante la medición de campo de los niveles del agua para la identificación de las condiciones de frontera que rigen en el humedal, analizar las variables meteorológicas mediante métodos matemáticos para estimación de la incidencia sobre el balance de agua del humedal y finalmente, elaborar el modelo mediante sistemas de información geográfica para la delimitación espacial dinámica del humedal.

MATERIALES Y MÉTODOS

En esta investigación se asumió la población como la totalidad del área protegida del PNPV, no obstante, se realizó un muestreo no probabilístico, usando el método intencional. Se seleccionó el cuerpo de agua presente en la zona por el enfoque del análisis, por ende, solo se contempló el humedal y donde se identificó su comportamiento dinámico referente a sus entradas y salidas en el marco de la hidrología.

Basado en las actividades principales acerca de los objetivos propuestos se ejecutó la investigación en ocho etapas como se muestra en la *figura 2*. Para el procesamiento de las imágenes satelitales, así como la delimitación de las cuencas se usó el programa QGis versión 3.16.15.

Figura 2. *Diagrama de flujo del proceso metodológico.*



Fuente: *Elaborada por las autoras.*

Las imágenes satelitales abarcaron los años 2018, 2019, 2020 y 2021, comparando la estacionalidad entre la época poco lluviosa y lluviosa. Asimismo, el procesamiento de los datos se realizó a partir del infrarrojo cercano (Sentinel 2), se empleó para realizar las delimitaciones directas de masas de agua, en este caso, el humedal. Se delimitaron las subcuencas de mayor influencia en el humedal

considerando la red hídrica, y a partir de las mismas se obtuvieron los parámetros morfométricos, dicha información permitió interpretar la funcionalidad hidrológica.

Finalmente se calcularon los caudales a partir del método de traslado de caudales en el periodo del 2018 al 2021, lo que implicó el traslado de datos de una cuenca con registro a otra cuenca que no se posee información de caudales. Para ello se contó con datos de seis estaciones fluviográficas, las cuales son Corobicí, Tilarán, Paso Hondo, Rancho Rey, La Guinea y Bebedero, mismas que tenían registro mensual y que incidían en el humedal.

En cuanto a la cuantificación de los niveles de agua en el humedal, se realizaron visitas de campo mensuales para llevar un registro a través de Microsoft Excel, la duración comprendió de junio 2023 a enero 2024. Inicialmente se usó una regla medidora de nivel del agua existente en la zona, no obstante, este se obstaculizó por el crecimiento de plantas invasoras, por lo que se acudió a un plan estratégico, el cual consistió en utilizar una nueva regla, misma que se calibró con el instrumento anterior, por ende, se mantuvieron las condiciones de medición iniciales. Se analizó la influencia de la estación meteorológica Puestos Negritos ubicado dentro del humedal, contemplando parámetros de precipitación máxima mensual en milímetros y la temperatura en grados Celsius. Aunado a lo anterior, con respecto a la disponibilidad de parámetros, se utilizó el método Thornthwaite para estimar la evapotranspiración real.

Referente al modelo hidrológico conceptual se realizó una cartografía 3D en el programa ArcGisPro, representando así las diversas variables como red hídrica, subcuencas de influencia, datos hidrológicos e hidrometeorológicos y las imágenes satelitales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

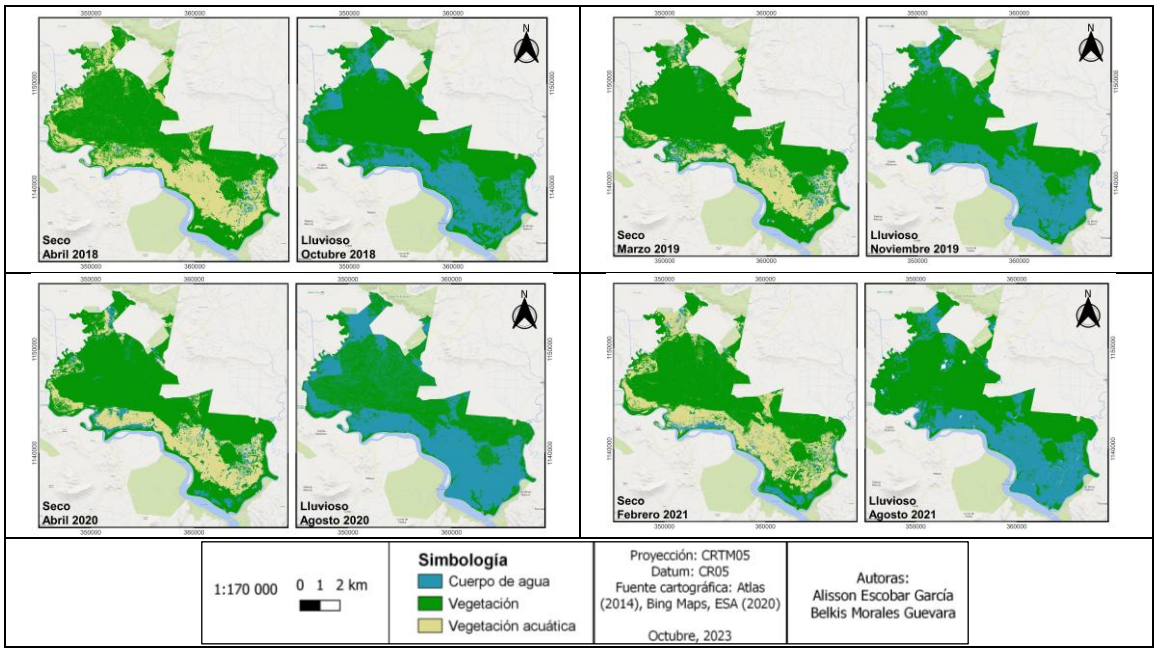
Comparación de la dinámica estacional del humedal

En cuanto a los usos se identificaron vegetación de humedal referente a su espejo del agua y vegetación acuática. Respecto a esta última, el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (2016) menciona que en el humedal PNPV hay especies de plantas acuáticas como la tifa (*Typha domingensis*) y platanilla (*Thalia geniculata*); evidenciando un exceso que cubre los espejos del agua del humedal.

Para el año 2018, en la época poco lluviosa, la vegetación acuática era de 30,4%, y la vegetación de 68,5%; para la época lluviosa el humedal abarcó un 30,7% y la vegetación un 69,3%. En el 2019 la vegetación acuática representada en época seca fue de 19,3%, mientras que la vegetación alcanzó el 71.5% y en menor presencia está el humedal con un 9,2%. En cuanto a la época lluviosa el humedal se encontraba en un 35,5% mientras que la vegetación rondaba el 64,5%.

En el 2020, durante la época poco lluviosa, un 69,4% de la superficie fue cubierta por vegetación, mientras que un 23,8% de vegetación acuática, en contraste, solo un 6.8% de la superficie refleja el cuerpo de agua. Por otro lado, en la época lluviosa se percibió un notable cambio en la distribución de la superficie, siendo un 48% vegetación, mientras que el 52% corresponde al cuerpo de agua. Para el año 2021, durante la época lluviosa un 62,6% fue cubierta por vegetación y un 36,8% cuerpo de agua representativo del humedal, cabe destacar que el 0,6% fueron nubes, producto del proceso de teledetección que hace lectura de estos elementos atmosféricos. Con respecto a la época poco lluviosa, el 64% fue vegetación, 6,7% cuerpo de agua y 29,3% vegetación acuática.

Figura 3. *Estacionalidad del PNPV en los periodos de 2018, 2019, 2020 y 2021.*

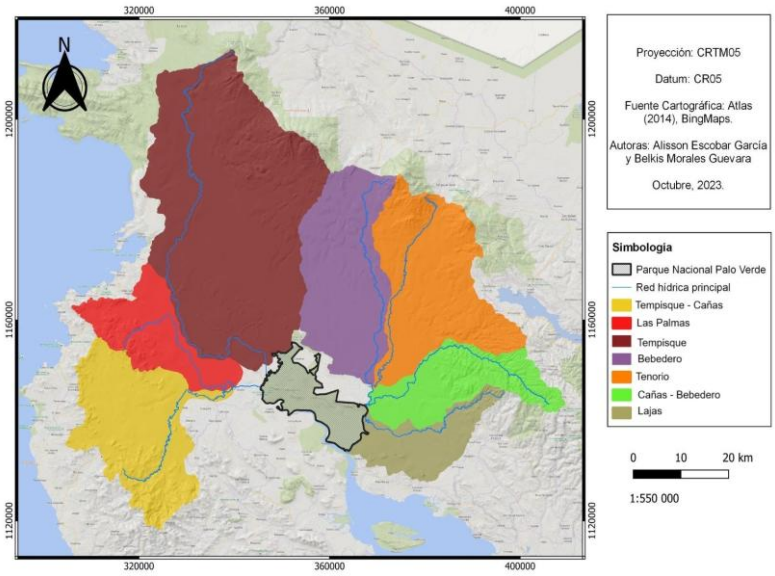


Fuente: *Elaborada por las autoras.*

Delimitación espacial de las subcuencas de influencias

Se obtuvieron siete subcuencas, siendo tres que escurren sus ríos principales y tributarios en el margen izquierdo del humedal, los cuales son, río Cañas, Las Palmas y Tempisque, pertenecientes a la cuenca hidrográfica del río Tempisque. Mientras que en el margen derecho está el río Bebedero, Tenorio, Cañas y Lajas, formando parte de la cuenca hidrográfica del río Bebedero. Cabe resaltar que las dos grandes cuencas hidrográficas desembocan en el Golfo de Nicoya.

Figura 4. *Subcuenca de influencias al PNPV.*



Nota: L*os colores representan las diferentes subcuencas*.
Fuente: *Elaborada por las autoras.*

Como se observa en la *tabla 1*, la subcuenca de mayor área es la del río Tempisque, misma tiene el río principal con mayor longitud, por ende, obtiene el tiempo de concentración más prolongado. Por otro lado, con respecto al coeficiente de compacidad, la subcuenca del río Las Palmas es la que posee el valor más alto, determinándola como rectangular. Además, refiriéndose al factor de forma, de

acuerdo con Zhica (2020), todas se caracterizan por ser alargadas, ya que son menores a 1. Por otra parte, siguiendo el criterio de Baldeón (2016), las subcuencas que se encuentran en la cuenca del río Bebedero son las que presentan las pendientes más altas y destacan la del río Tenorio y río Cañas.

Tabla 1. *Parámetros morfométricos de las subcuencas de influencia.*

Parámetro Morfométrico	Unidad	S. Tempisque	S. Las Palmas	S. Cañas (Tempisque)	S. Bebedero	S. Tenorio	S. Cañas (Bebedero)	S. Lajas
Área	km^2	1659.44	336.61	618.456	634.93	698.2	368.43	264.57
Perímetro	km	192.642	133.5	64.6	125.794	147.573	117.252	106.253
Coeficiente de Compacidad	sin unidad	1.32	2.04	0.73	1.40	1.56	1.71	1.83
Elevación Máxima	m s. n. m	1280	555	546	599	1211	1344	923
Elevación Mínima	m s. n. m	52	3	4	10	2	3	6
Factor de Forma Horton	sin unidad	0.07	0.17	0.15	0.19	0.20	0.12	0.06
Longitud del Cauce Principal	km	150.81	44.07	64.6	58.17	58.397	54.62	67.99
Pendiente Media Río	%	8.1	12.5	8.4	10.1	20.7	24.6	13.5
Tiempo de Concentración Kirpich	Hr	4.46	1.11	1.89	1.58	1.21	1.06	1.66

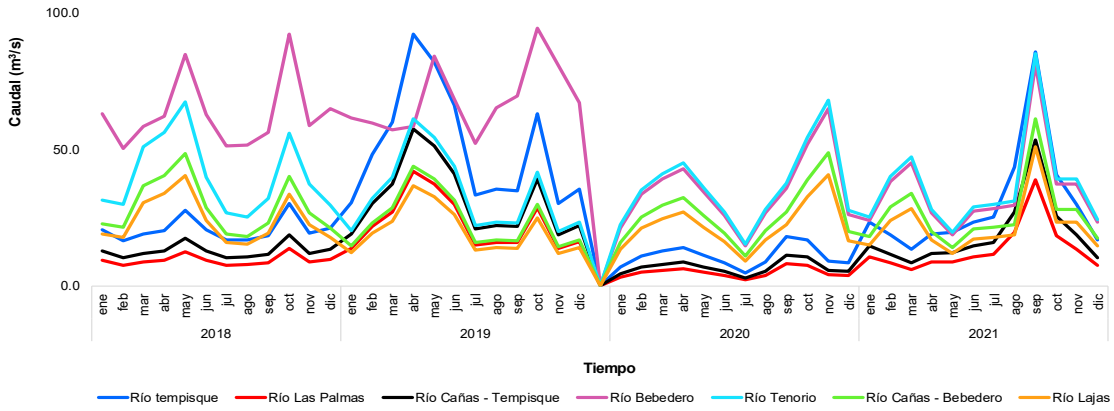
Nota: *la "S" representa Subcuencas.* **Fuente:** *Elaborada por las autoras.*

La subcuenca del río Tempisque, al tener un área mayor respecto a las demás subcuencas, sus caudales estimados (*figura 5)* fueron menores respecto a la subcuenca del río Tenorio que es la segunda con mayor área, indicando que esta subcuenca recibe menos entrada de agua anualmente. No obstante, en la subcuenca del río Cañas, al tener un área mayor de acuerdo con la cuenca del río Las Palmas, se evidenció la influencia del área, donde los aportes son superiores. Los caudales más altos registrados entre los cuatro años de análisis corresponden a la subcuenca del río Tempisque en el año 2019. Es apreciable la estacionalidad en los meses poco lluviosos y lluviosos, incidiendo en el caudal.

Las dos grandes cuencas hidrográficas (Tempisque y Bebedero) son regidas por la climatología de la zona, según Ramírez (1986) la región del Pacífico Norte se rige por la precipitación característica del Pacífico donde sus periodos poco lluvioso y lluvioso están bien definidos, además, se da una interrupción de la estación lluviosa en la vertiente del Pacífico, disminuyendo las precipitaciones

entre los meses de julio y principios de agosto. La variabilidad climática de las precipitaciones incide en la entrada de volumen del caudal que reciben las subcuencas según el mes.

Figura 5. *Tendencia de los caudales en las subcuencas de influencia.*



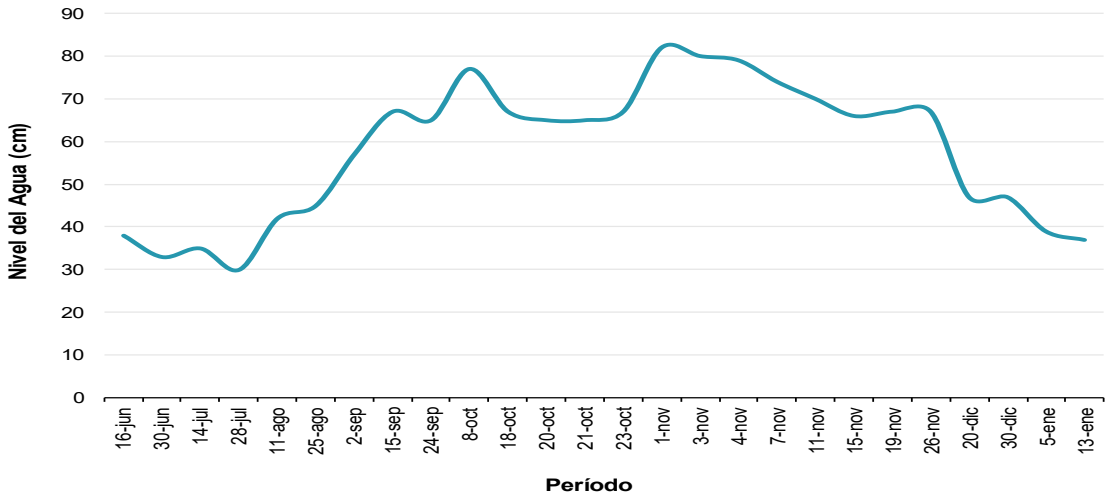
Fuente: *Elaborada por las autoras.*

Comportamiento dinámico de los niveles del agua que rige el humedal

Como se observa en la *figura 6*, el registro comprende desde junio del 2023 hasta el mes de enero del 2024, niveles de mediciones que variaron de una fecha a otra, en su mayoría el nivel del agua en centímetros fue ascendiendo, considerando que las expediciones en gran parte se desarrollaron en la época lluviosa. El nivel de agua más alto fue el primero de noviembre, este se relaciona con la intensidad de lluvia que se presentó en la provincia de Guanacaste debido a la influencia indirecta de la tormenta tropical Pilar, aunado a las crecidas de los ríos de influencia al humedal. Además, en ese periodo también se presentaba marea alta en el Pacífico (Instituto Meteorológico Nacional, 2023).

El humedal recibe entrada de agua dulce por medio de las cuencas hidrográficas y agua salada provenientes de las mareas del Golfo de Nicoya, convirtiendo las aguas del humedal en salobres.

Figura 6. *Registro de medición de los niveles del agua, periodo junio 2023-enero 2024.*



Fuente: *Elaborada por las autoras.*

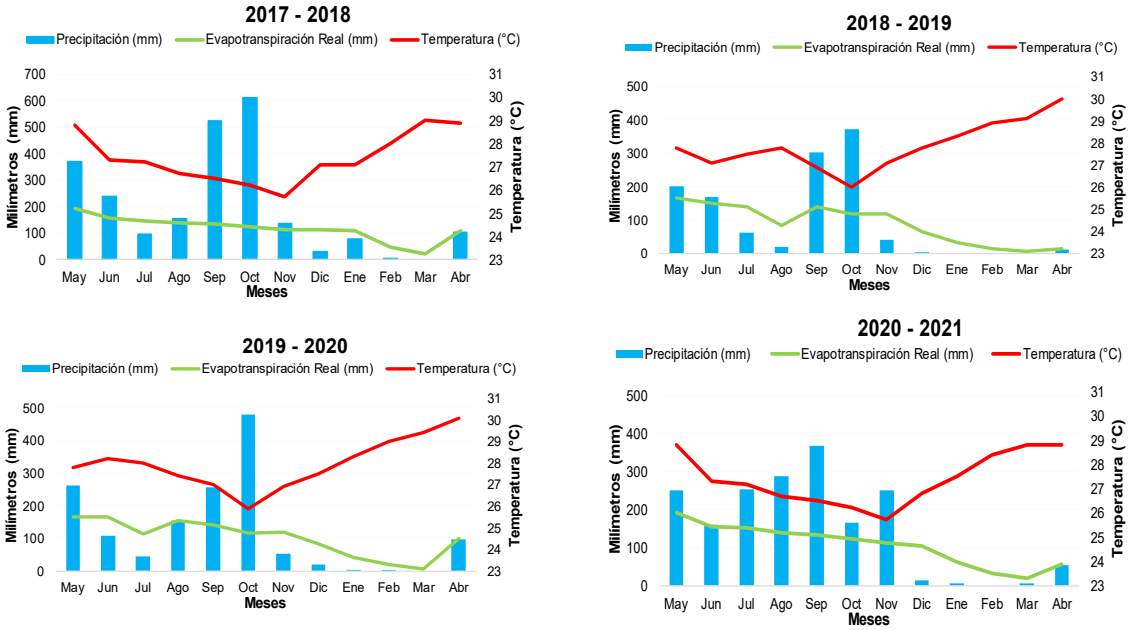
Análisis de variables meteorológicos para la estimación de la incidencia sobre el balance de agua del humedal

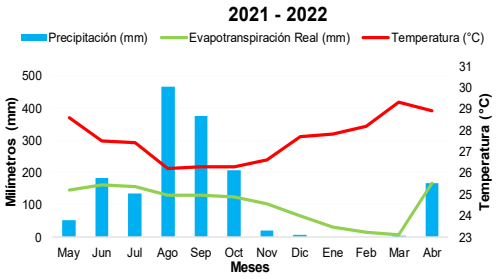
En cuanto al análisis de variables meteorológicas, como la temperatura, la precipitación y la evapotranspiración, en el periodo 2018-2021 se observó que las precipitaciones más altas fueron las del año 2019 (*figura 7*), específicamente en octubre, cuyo año coincide con el caudal más alto registrado.

Por otro lado, se observa que la temperatura no varía considerablemente de un mes a otro, no obstante, las precipitaciones son muy marcadas debido a la estacionalidad que posee el área objeto de estudio. Tras realizar un análisis de correlación entre las variables temperatura y evapotranspiración, se determinó que existe relación directa entre ellas, ya que, en los meses con temperaturas más elevadas se presenta la tasa de evapotranspiración más alta, cuyas características se visualizan de mejor manera en la época poco lluviosa, un ejemplo específico es el mes de marzo del 2021. De igual manera se observa en la época lluviosa del 2020, donde la evapotranspiración más alta se registró en el mes más cálido, cuyo reflejo es mayo.

Las barras de precipitación mostradas en los gráficos de la *figura 7* poseen un comportamiento característico de precipitaciones de tipo convectiva, donde según Brenes y Saborío (1995) este tipo de precipitación está más asociada a zonas llanas, el aire de esa zona se convierte más cálido y ligero que el aire alrededor, lo cual hace que ascienda como una columna vertical. La temperatura de ese aire elevado llega a ser igual o superior al aire circundante, cuando eso sucede se detiene y empieza a condensarse. Las gotas de la precipitación se caracterizan por ser gruesas y caen de forma rápida, esto causa un gran impacto en el suelo y esparce partículas en todas direcciones. La región Chorotega en sus partes llanas se caracteriza por presentar este tipo de precipitación.

Figura 7. *Relación de variables meteorológicas, periodo 2017-2023.*



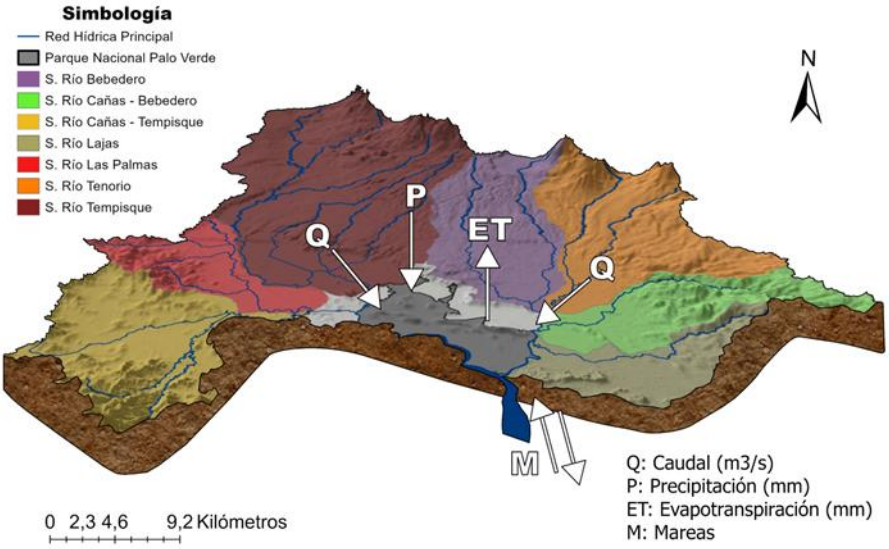


Fuente: *Elaborada por las autoras.*

Modelo hidrológico conceptual del humedal

Se desarrolló el modelo hidrológico conceptual del humedal a partir de los resultados anteriores (*figura 8*), detallándose las variables que funcionan como entradas y salidas, siendo el caudal, precipitación y mareas las entradas, mientras que la evapotranspiración y mareas son las salidas. Aunado a lo anterior, según Guizada (2018) los principales componentes de aporte hidrológico de un humedal son la precipitación, evapotranspiración, las inundaciones y las mareas, similar al modelo en estudio.

Figura 8. *Modelo Hidrológico Conceptual del Humedal del PNPV.*



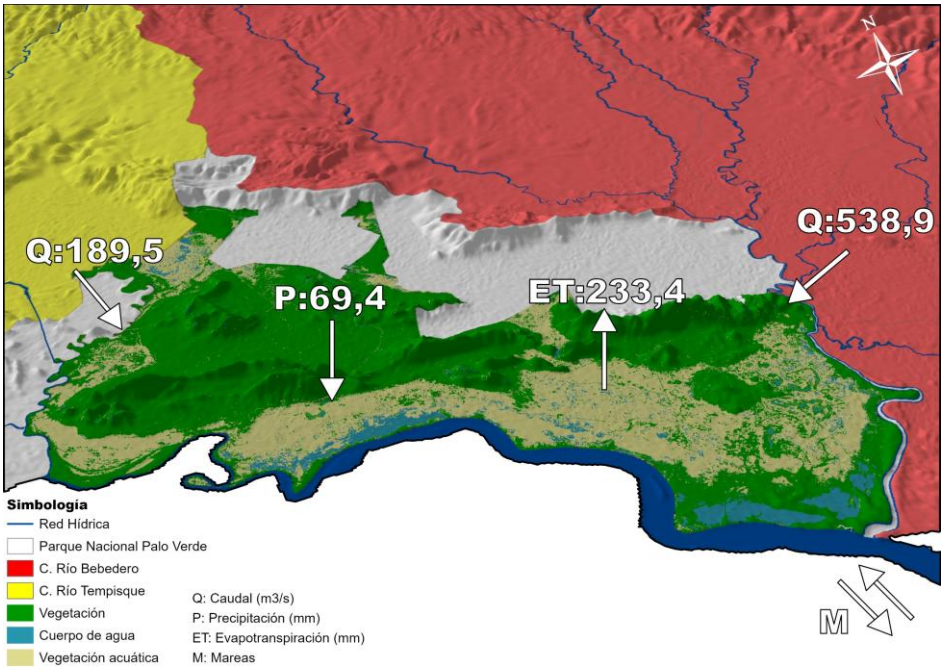
Fuente: *Elaborada por las autoras.*

Al ubicarse el humedal en la desembocadura de dos cuencas hidrográficas importantes para la región Chorotega se obtuvieron las subcuencas delimitadas, estas aportan un determinado caudal (Q) de entrada a través de sus afluentes, es decir, agua superficial que llega a incidir en el sistema. De igual manera, está la influencia directa de la precipitación (P), tomada de la estación meteorológica Los Negritos, luego se observa tanto la entrada como la salida de mareas (M) provenientes del Golfo de Nicoya. Con respecto a esta última, mediante expediciones de campo realizadas en la desembocadura del río Tempisque, así como la visita a puerto Chamorro, se corroboró que la dirección de la corriente del río se rige de acuerdo con la entrada de las mareas, teniendo incidencia en las partes aledañas al manglar.

Por otro lado, de acuerdo con lo mencionado por B. Fallas (comunicación personal, 2023), encargado del Departamento de Hidroclimatología del Instituto Costarricense de Electricidad, en la estación fluviográfica del río Bebedero los registros son afectados por las mareas. Asimismo, se contempla como salida la evapotranspiración (ET) que se genera en el humedal.

Por otro lado, se analiza el modelo hidrológico conceptual a partir de las estaciones climáticas que presenta el humedal, primeramente, se observa el funcionamiento de la época poco lluviosa (*figura 9*), con los respectivos datos teóricos, los cuales muestran una dinámica regida principalmente por la evapotranspiración y las mareas. Estas últimas pueden llegar a inundar partes del humedal con agua salada (Corrales y Murillo, 2018). No obstante, con referente a los caudales de los ríos al mermar sus volúmenes, producto de las características climáticas de la región, el aporte que recibe el humedal disminuye y a su vez el nivel del cuerpo de agua se modifica.

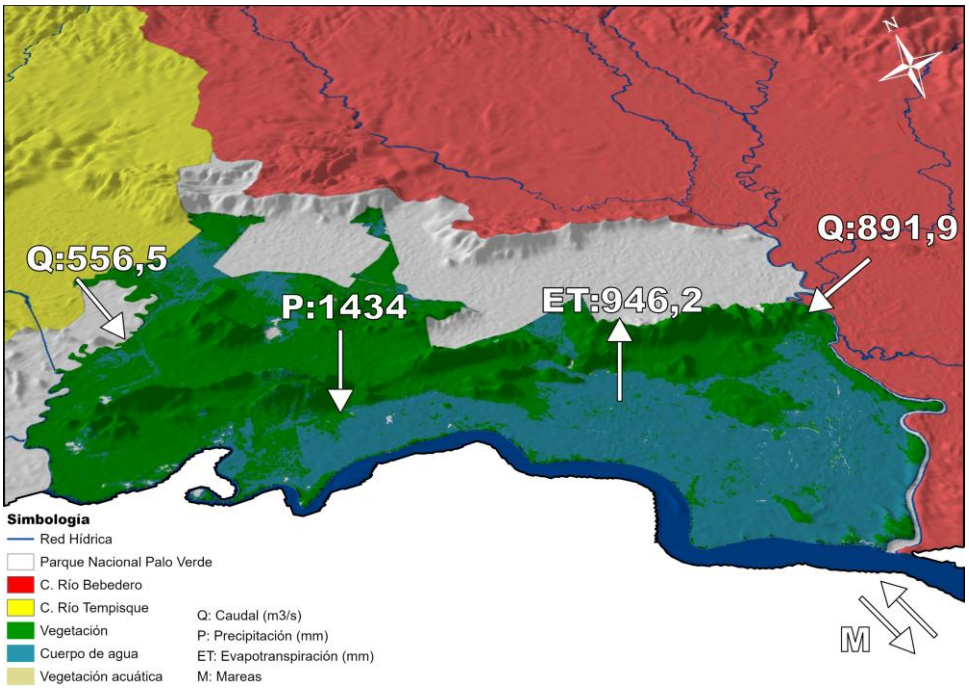
Figura 9. *Modelo Hidrológico Conceptual del humedal del PNPV, estación poco lluviosa 2021.*



Fuente: *Elaborada por las autoras.*

La dinámica hidrológica y climatológica del humedal está fuertemente influenciada por factores como la estacionalidad de las lluvias, el escurrimiento superficial desde las colinas cercanas y la alta evapotranspiración, lo que determina tanto su volumen como su profundidad y provoca que durante los meses de marzo y abril el humedal se seque por completo (Corrales y Murillo, 2018). Aunado a lo anterior, al realizar una comparación entre los dos modelos se comprueba que el humedal es estacional, cuya dinámica en la época lluviosa, es más evidente que la poco lluviosa, ya que los volúmenes de entrada y salida son significativos, además, se comprueba mediante las imágenes satelitales que el cuerpo de agua posee mayor área, producto de todas sus entradas. En el caso del modelo de la época lluviosa (*figura 10*), las precipitaciones aumentan alrededor de 20 veces más que en la época poco lluviosa. Respecto a los caudales, el volumen del río Tempisque es aproximadamente el triple, mientras que el río Bebedero aumenta alrededor de un 60%.

Figura 10. *Modelo Hidrológico Conceptual del Humedal del PNPV, estación lluviosa 2021.*



Fuente: *Elaborada por las autoras.*

CONCLUSIONES

Se identifica la complejidad de las interacciones de las variables de entrada (precipitación, caudales y mareas) y las variables de salida (evapotranspiración y mareas) dentro del humedal. Los valores generados en el modelo muestran una interpretación descriptiva y cuantitativa teórica del funcionamiento del humedal bajo la estacionalidad del lugar.

El modelo conceptual permite comprender hidrológicamente las entradas y salidas del recurso hídrico existentes dentro del humedal.

La subcuenca de influencia del río Bebedero es la que aporta mayor caudal al humedal, dadas las condiciones morfométricas y meteorológicas de la zona, siendo esta última referida a las precipitaciones.

Durante el evento hidrometeorológico asociado a la Tormenta Tropical Pilar, se identificó el valor más alto en el nivel de humedad, alcanzando los 82 centímetros, este incremento refleja una influencia indirecta de dicho fenómeno, de acuerdo con los registros disponibles.

Se identifican variaciones extremas en el cuerpo de agua debido a la estacionalidad característica de la zona, en el cual, durante la época poco lluviosa la presencia de dichos cuerpos es escaso, mientras que en la temporada lluviosa aumenta significativamente; como es el caso del año 2020, donde en época poco lluviosa era de 6,8%, mientras que en época lluviosa fue de 52%.

La iniciativa desarrollada en cuanto a la medición de los niveles de agua del humedal es un punto de partida de registro para el monitoreo en tiempo real, no obstante, al no contar con una base histórica de registro genera desventaja comparativa, lo cual queda en plano descriptivo la determinación del comportamiento dinámico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Baldeón, J. (2016). *Modelamiento Hidrológico de la Subcuenca del Río Achamayo* [Tesis de Posgrado, Universidad del centro del Perú.]. Repositorio institucional. https://bit.ly/3hZWiby

Brenes, A. y Saborío, V. F. (1995). *Elementos de Climatología su Aplicación Didáctica a Costa Rica*. Editorial Universidad Estatal a Distancia. https://goo.su/emcWd03

Convención Ramsar. (1998). *Procedimiento de Orientación para la Gestión. Informe Final*. https://acortar.link/ogczWT

Convención Ramsar. (2012). *Misión Ramsar de Asesoramiento No. 73. Humedal de Importancia Internacional Palo Verde, Costa Rica*.

Convención Ramsar. (2020). *Lista de Humedales de Importancia Internacional incluidos en el Registro de Montreux*. https://bit.ly/42s39g5

Convención Ramsar. (2023). *7 buenas prácticas para la restauración de humedales*. https://bit.ly/3nUWiNk

Corrales, L. y Murillo, W. (2018). Diseño e implementación de acciones de adaptación al cambio climático en el humedal Ramsar del bosque seco. *Revista Ambientico, 266*, 41-49. https://acortar.link/uAt4Wf

Guizada, L. (2018). *Integridad ecológica de humedales de la cuenca baja del río Tempisque, caso Humedal Protegido Internacional Palo Verde, Costa Rica* [Tesis de Maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza Escuela de Posgrado]. Repositorio Institucional. https://goo.su/WycRtPa

Instituto Meteorológico Nacional. (2023). *#IMN_Imágenes (10:30 a.m.) Nubes dispersas en el Pacífico. Un foco de calor con presencia de columna de humo hacia la península de Nicoya*. Facebook. https://bit.ly/3BMOvV6

Mora, J. M. y Castañeda, F. E. (2022). Terrestrial movements, activity patterns and habitat use by Kinosternon scorpioides (Testudines: Kinosternidae) in Palo Verde National Park, Costa Rica. *Phyllomedusa*: *Journal of Herpetology*, *21(*1), 3-15. https://acortar.link/wUbJMq

Murillo, W. y Miranda, M. (2018). Rehabilitación de ecosistemas de humedal como medida de adaptación a los impactos de la variabilidad climática: El caso del sitio Ramsar Palo Verde, sector Catalina. *Revista Ambientico, 266*, 50-57. https://acortar.link/TrJSP7

Ramírez, P. (1986). *Estudio Meteorológico de los veranillos en Costa Rica*. Ministerio de Agricultura y Ganadería / Instituto Meteorológico Nacional. https://goo.su/3qhg0IJ

Rojas-Chaves, P. A., Vílchez-Alvarado, B., Moya-Roque, R., y Sasa-Marín, M. (2015). Combustibles forestales superficiales y riesgo de incendio en dos estadios de sucesión secundaria y bosques primarios en el Parque Nacional Palo Verde, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, *12*(29), 29–45. https://doi.org/10.18845/rfmk.v12i29.2253

Sistema Nacional de Áreas de Conservación. (18 de febrero 2016). *Misión y Visión del Sistema Nacional de Áreas de Conservación Costa Rica*. https://bit.ly/45jnAh8

Zhica, J. (2020). *Caracterización morfométrica y estudio hidrológico de la microcuenca del río San Francisco, Cantón Gualaceo* [Tesis de Pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional. https://bit.ly/3EndRtj

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al M.C. William Gómez, M.C. Erik Gerardo Orozco, M.C. Dorian Mauricio Carvajal y Dr. Ronald Sánchez Brenes por su acompañamiento en diferentes etapas del proyecto. También al equipo que facilitó el trabajo en el área de estudio: M.C. Jacklyn Rivera, coordinadora del Programa Nacional de Humedales y M. C. Sonia Castro, funcionaria del Servicio Nacional de Aguas subterráneas, Riego y Avenamiento. Un agradecimiento también para el personal del Departamento de administración del área de conservación, en especial a Manrique Montes, Fabián Chávez, Fabricio Obando, Juan Antonio Ramírez, Alejandro Cordero y Juan Alvarado. Finalmente, se agradece a las instituciones por la información brindada, al ICE e IMN sobre datos hidrológicos e hidrometeorológicos.