

Diseño de un sistema integrado de producción agropecuaria de tipo VAC para la cuenca del río Ariporo

Design of an Integrated VAC-Type Agricultural Production System for the Ariporo River Basin

Laura Sofía Díaz Bonilla¹, Gonzalo Alberto Forero Buitrago², Paula Alejandra Bautista Arcila³

¹<https://orcid.org/0000-0002-9559-8281>. Universidad El Bosque, Bogotá, Colombia, lsdiabz@unbosque.edu.co

²<http://orcid.org/0000-0002-9739-4741>. Universidad El Bosque, Bogotá, Colombia, gforerob@unbosque.edu.co

³<http://orcid.org/0000-0002-2789-6447>. Universidad El Bosque, Bogotá, Colombia, pbautistaa@unbosque.edu.co

Fecha de recepción: 19/07/2021

Fecha de aceptación del artículo: 21/12/2021



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No comercial-SinObraDerivada 4.0 internacional.

DOI: <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.17710>

Cómo citar: Díaz Bonilla, L. S., & Forero Buitrago, G. A. (2022). Diseño de un sistema integrado de producción agropecuaria de tipo VAC para la cuenca del Río Ariporo. *Avances Investigación En Ingeniería*, 19(1). <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.17710>

Resumen

Se analizaron datos hidrometeorológicos de toda la cuenca hidrográfica del río Ariporo (Casanare) desde 1996 hasta 2019, para verificar sus ciclos y estadísticas. Se realizó una simulación hidrológica de la cuenca utilizando machine learning para obtener los datos desconocidos y se delimitó el área aferente con base en el punto de medición de caudal del Ideam, empleando un modelo de elevación digital de 12,5 metros de precisión. Como resultado, entre 2013 y 2014 disminuyó la precipitación, se perdió la infiltración de agua lluvia de los acuíferos y ello evitó que el río se supliera en la temporada de sequía, lo cual se asocia con alta mortandad de especies animales. Entre 2011 y 2016 aumentó el nivel pluviométrico debido al fenómeno de La Niña. Los resultados permiten plantear un modelo tipo VAC como estrategia para que los tomadores de decisiones incorporen estrategias productivas que maximicen la infiltración del agua lluvia para asegurar que el río tenga agua en la temporada seca. En este sentido, el artículo es una propuesta sostenible para la cuenca hidrográfica del río Ariporo, a partir de la simulación hidrológica y del diagnóstico de la cuenca alta del río Paz de Ariporo.

Palabras clave: Cuenca hidrográfica, infiltración, precipitación, VAC

Abstract

The Ariporo river basin (Casanare), has presented ecological disasters evidenced in a great mortality of animals such as the one that occurred in 2014 due to a severe drought. For this reason, hydrometeorological data from the entire basin were analyzed from 1996 to 2019, to verify their cycles and statistics using Google Colaboratory. Organized the data, a hydrological simulation of the basin was performed using machine learning to obtain the unknown data. Afferent area was obtained at the Ideam flow measurement point of Paz de Ariporo code 36015010, using a digital elevation model from the Alos Palsar mission with 12.5 meters of precision. As a result, between 2013 and 2014 the rainfall decreased causing a loss in the infiltration of rainwater into the aquifers, preventing the river from being supplied in the dry season, causing a high mortality rate. During 2011 and 2016 increased the rainfall level due to the phenomenon of La Niña, generating floods. Due to this vulnerability of the basin, decision makers must consider these data and propose, within

the land use regulation, productive strategies that maximize the infiltration of rainwater to ensure that the river has water in the dry time. In this sense, this document seeks to generate a sustainable proposal for the hydrographic basin of the Ariporo river, based on the hydrological simulation and the diagnosis of the upper basin of the Río Paz de Ariporo at the Ideam flow measurement point, historical data of precipitation and flow in the upper basin of the Río Paz de Ariporo.

Keywords: Basin, groundwater, hydrographic, infiltration, precipitation

Introducción

El río Ariporo, ubicado en la parte oriental de Colombia, en el departamento del Casanare, está condicionado por las corrientes de aire húmedo que entran desde el norte del país con un gran contenido de vapor de agua, generador de las altas precipitaciones de la Orinoquia [1]. La cuenca hidrográfica del río Ariporo está definida como una subzona hidrográfica por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), que nace a 2200 m s.n.m. y drena en sentido oeste a este, y su desembocadura se da sobre el río Meta a 110 m s.n.m. [1], [2].

La cuenca presenta una forma alargada, con una longitud aproximada de 265 km y un ancho promedio de 25 km, con predominio de paisaje de planicie y una pendiente de 0,7%. En zonas de montaña alcanzan pendientes del 15% [2], [3]. Por otro lado, la capacidad de uso de tierras dentro de la cuenca se encuentra predominantemente dentro de las clases 4 (55%) y 6 (cerca del 25%), es decir, unidades con predominancia de restricciones por pendiente y suelos. Las tierras en clases 2 y 3 ocupan en total cerca del 4,42% del área de la subzona hidrográfica y permiten en su mayoría cultivos intensivos y actividades ganaderas. Excepcionalmente, las áreas dedicadas a los vallecitos intermontanos (que deben dedicarse a actividades forestales de protección), previstas dentro de la clase 5, alcanzan el 12,88% [4].

Así mismo, el Plan de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (Pomca) del río Ariporo establece que las tierras de la subzona hidrográfica presentan un uso adecuado dominante (92,7%); mientras que existe una subutilización moderada y severa en el 5,64% de su área. Por otro lado, apenas el 1,62% del área refleja una sobreutilización de las tierras. Además, las tierras de la subzona hidrográfica del río Ariporo guardan un uso actual asociado con su potencial. La subutilización se presenta especialmente en zonas de potencial agropecuario, sin uso actual o abandonadas, o tierras de potencial agrícola usadas en la actualidad para ganadería extensiva; mientras que el sobreuso se ocasiona en zonas de pendiente alta, utilizadas para actividades agrícolas limpias [4].

Este artículo se enfocó en generar una propuesta sostenible para la cuenca hidrográfica del río Ariporo, partiendo de la simulación hidrológica. Con este fin, mediante herramientas computacionales (Google Colaboratory y QGIS), se diagnosticó la cuenca alta del río Paz de Ariporo en el punto de medición de caudal del Ideam, analizando datos históricos de precipitación y caudal en la cuenca alta del río Paz de Ariporo, con el fin de construir un modelo que indique cómo es el balance de entradas y salidas, en cuanto a caudal superficial, precipitación, agua subterránea y evapotranspiración. Para tal fin se utilizó machine learning, que soluciona las variables faltantes, en este caso evapotranspiración y agua subterránea dentro de todo el balance de datos organizados.

El VAC System es un tipo de sistema productivo, empleado principalmente en el entorno rural, porque puede ubicarse en diferentes condiciones agroecológicas, y se presenta como un sistema cerrado, en el que se combina agricultura, ganadería y acuicultura, evitando lo máximo la generación de residuos. En la actualidad, estos sistemas no se han difundido fuera de Asia, pero en Vietnam, país con características agroecológicas similares a las de Colombia, esta alternativa ha estabilizado el estándar de nutrición en la zona rural. Los sistemas VAC son una opción económica, ecológica y socialmente viable [5].

1. Método

El método se dividió en cuatro fases:

1. Selección de estaciones y organización de la información: desde la herramienta Dhome del Ideam se descargaron los datos de precipitación y caudal para el periodo 1996-2019.

2. Procesamiento de los datos en Google Colaboratory y QGIS: se organizaron y procesaron los datos promedios mínimos, máximos, medias y sus gráficas con el propósito de tener los ciclos climáticos de la zona con más de 20 años de datos diarios de las estaciones de precipitación y caudal. Además, se delimitó la cuenca hidrográfica a partir de un DEM obtenido de la misión Alos Palsar con 12,5 metros resolución espacial.

3. Modelamiento con machine learning: utilizando los datos históricos medios de caudal y precipitación a fin de obtener un modelo descriptivo numérico que permitiera visualizar el comportamiento del agua subterránea y la evapotranspiración como variables dentro de un balance de entradas y salidas del modelo. Esto permitió visualizar el comportamiento de dichas variables desconocidas.

4. Fase final: consistió en el diseño piloto de una propuesta experimental para los tomadores de decisión de tipo VAC, de acuerdo con los datos analizados en el modelo numérico de comportamiento del sistema, a través del cual se contemplan sistemas productivos que permiten maximizar la infiltración de

agua lluvia para asegurar que el río tenga caudal en la temporada de sequía.

Las fases se pueden evidenciar dentro de la figura 1.

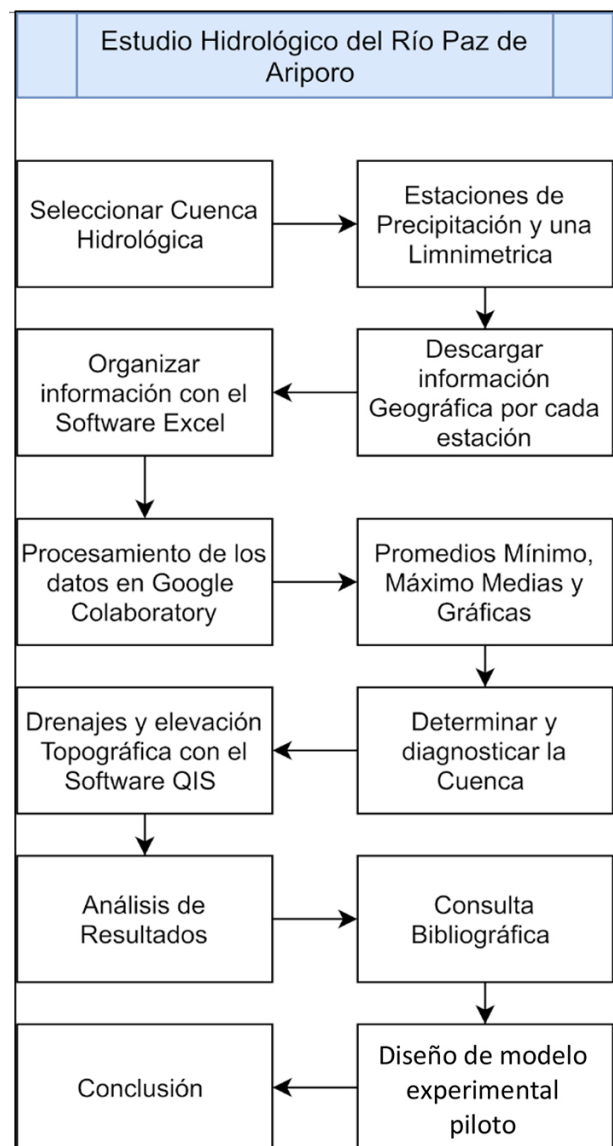


Figura 1. Metodología de trabajo

2. Resultados

La librería panda de Python y Google Colaboratory permiten el procesamiento efectivo y veloz de datos, agrupamiento y graficado, para realizar un análisis rápido de esta gran cantidad de datos. Así se pudo establecer el modelo con la mayor cantidad de datos posible de caudal y de precipitación en toda la zona de influencia de la cuenca [6]. Para ello se estableció una escala temporal que va desde 1996 hasta o 2019, debido a que es cuando la mayoría de las estaciones coinciden en la recopilación de datos.

De acuerdo con las figuras 2 y 3, faltan datos de diferentes años. Por ello, se utilizó la librería Sklearn para rellenar los faltantes, mediante una regresión y a fin de poder realizar el modelo de manera correcta. En la figura 2, a partir de una cuadrícula y en columnas verticales (barras), se incluyen subgrupos o pilas de datos. Mientras tanto, la figura 3 grafica cada estación. Utilizando la librería panda y el groupby, se agruparon en día, mes y año, y se analizaron los datos de precipitación y caudal de todas las estaciones para obtener la media de manera mensual y para los años comprendidos entre 1996 y 2019.

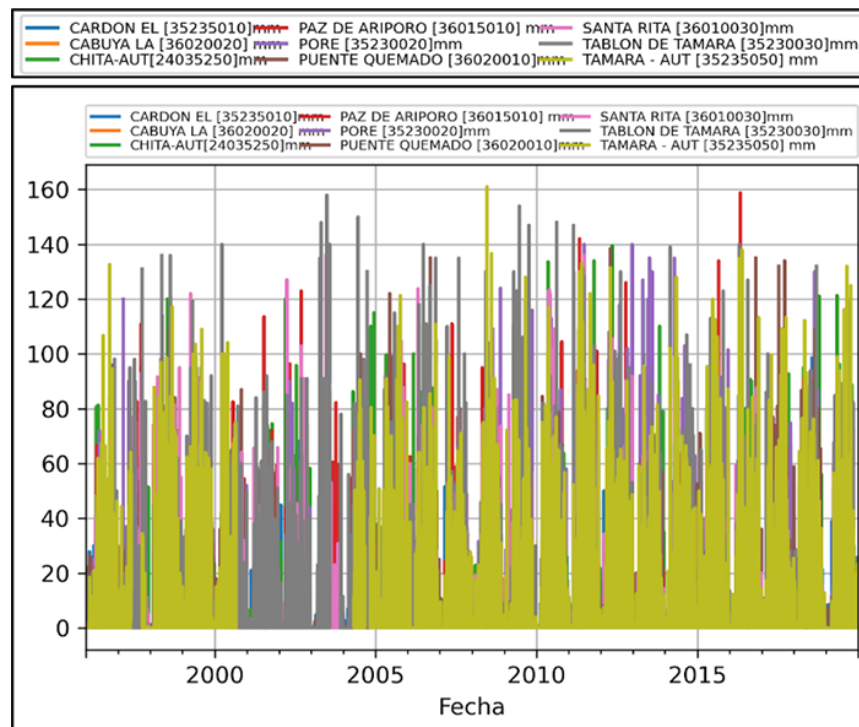


Figura 2. Resultados de la precipitación diaria en milímetros de las estaciones de la cuenca del río Ariporo

En la figura 4 se evidencia la correlación entre estaciones, teniendo presente que el número 1 es el valor perfecto de correlación. La mayor relación la tienen las estaciones con una similar altitud o ubicación espacial, y las más alejadas o donde la topografía difiere tienen diferencia cada vez mayor en los datos de correlación de Pearson. La correlación más elevada que existe entre dos estaciones de lluvia se da entre la estación de Paz de Ariporo y Santa Rita, ya que dan el valor más cercano a 1 de todos los resultados: 0,58. Esta correlación se debe a que estas dos estaciones están en un área de elevación similar y de cercanía, lo cual permite que los vientos y la topografía incidan y den lugar a lluvias distribuidas de manera similar en términos espaciotemporales [7].

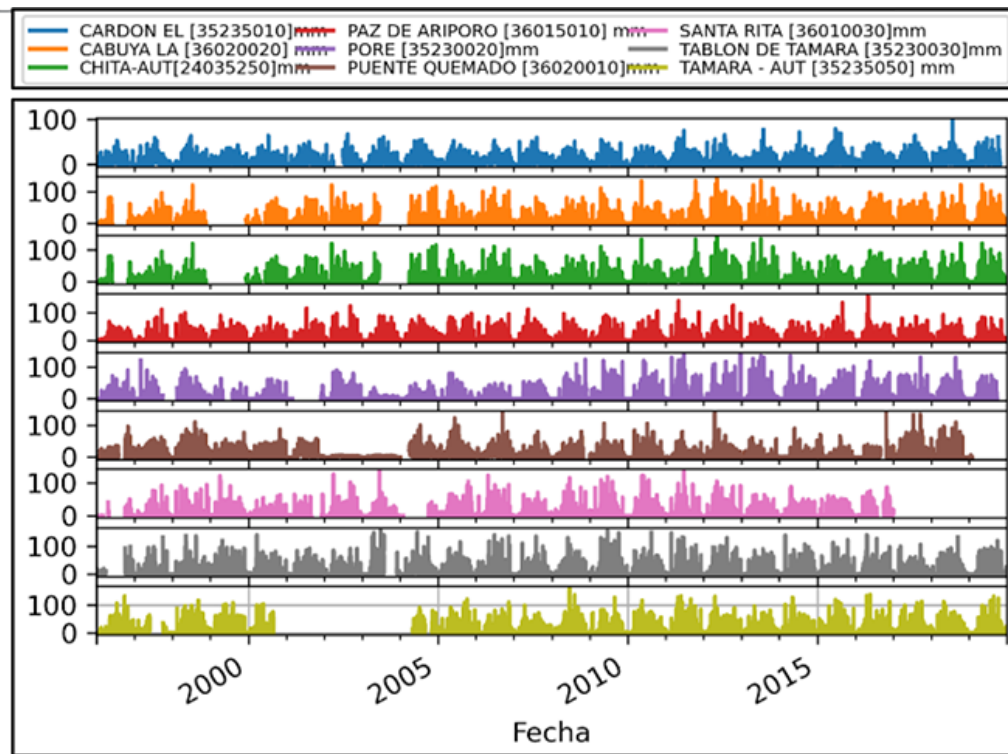


Figura 3. Resultados de la precipitación diaria en milímetros de las estaciones de la cuenca del río Ariporo por estación.

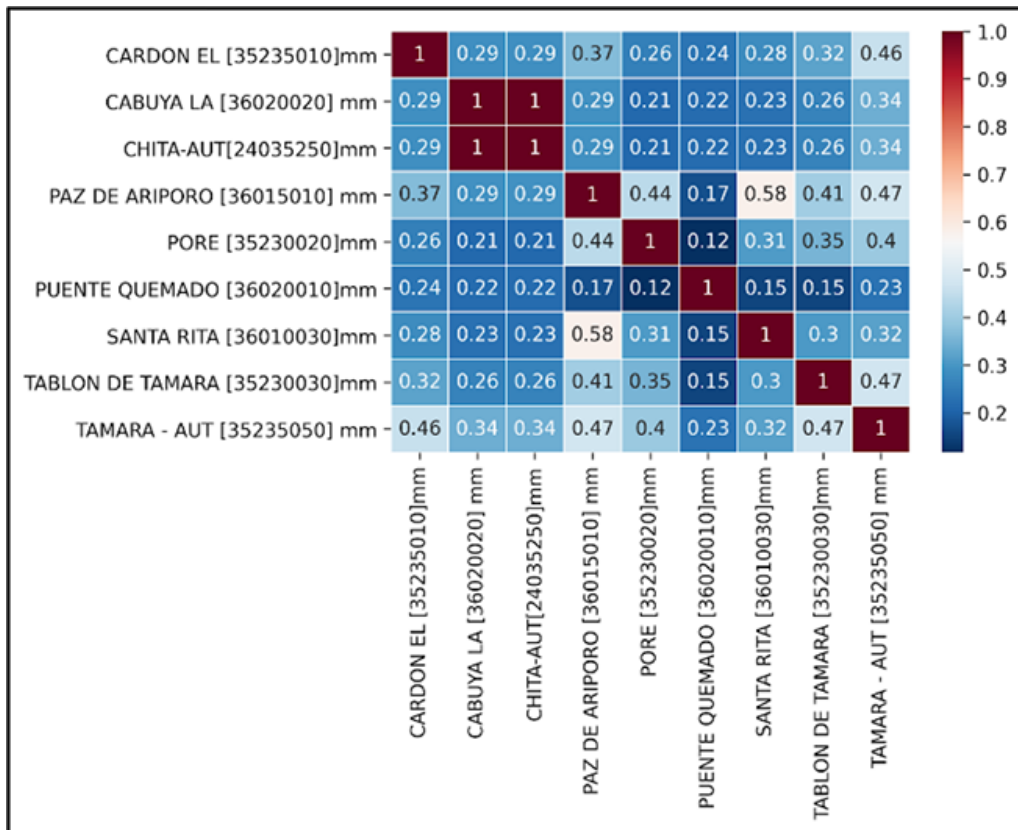


Figura 4. Matriz de correlación entre estaciones por el método de Pearson

En la figura 5 se observa el resultado de la delimitación de la cuenca hidrográfica del río Ariporo, utilizando QGIS en el punto donde se da la medición de caudales por parte del Ideam. Así mismo, se localizaron las estaciones de medición de precipitación, a fin de tener el área utilizada en la simulación de la cuenca con algoritmos genéticos.

Para la delimitación del área de interés, se descargó un modelo de elevación digital con beam mode FBS de 12,5 metros de resolución espacial de la misión Alos Palsar, teniendo como criterios las temporadas de menor cantidad de lluvias, a fin de evitar el error por nubes.

La figura 5 es la representación de la cuenca río Paz de Ariporo. Allí se observan los diferentes cauces que lo nutren y la topografía —representada en colores acorde con los metros sobre el nivel del mar (modelo de alturas)—. Se puede evidenciar el comportamiento del drenaje, la topografía y el área aferente calculada de 487,37 kilómetros cuadrados, que se utilizó como insumo para el modelo de balance con algoritmos genéticos.

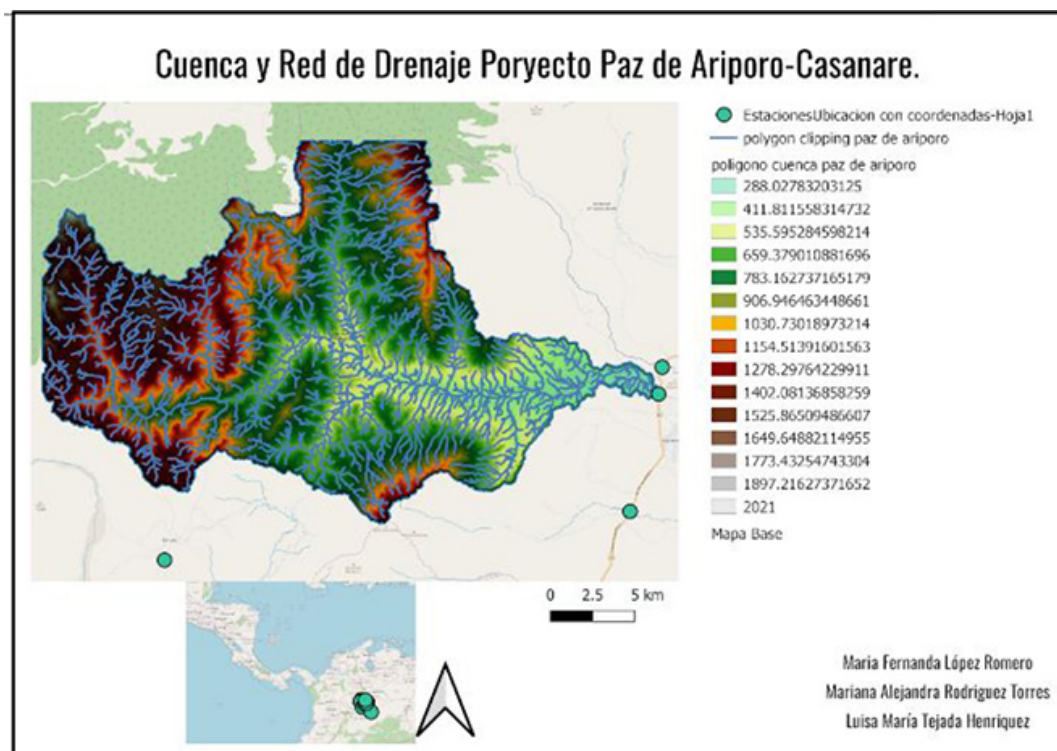


Figura 5. Representación geoespacial de la cuenca río Paz de Ariporo. Delimitación del área.

Por su parte, la figura 6 muestra el modelo de simulación de la cuenca del río Ariporo, a partir de los datos medios de todos los años. La media de precipitación mensual multianual se sacó de todas las estaciones de lluvia. Con estos datos multianuales se realizó un balance de entradas y salidas de la cuenca con machine learning, de manera que el área de captación de la cuenca y los datos de precipitación dieran lugar a los datos de caudal, realizando así un modelo que involucra el balance de entradas y salidas donde las entradas al sistema son la lluvia y el agua subterránea, y las salidas del sistema corresponden a la infiltración y evapotranspiración. Al establecer el balance con todos los datos, se llegó a los siguientes resultados y se obtuvo un modelo global del funcionamiento de la cuenca con todos los datos existentes [8].

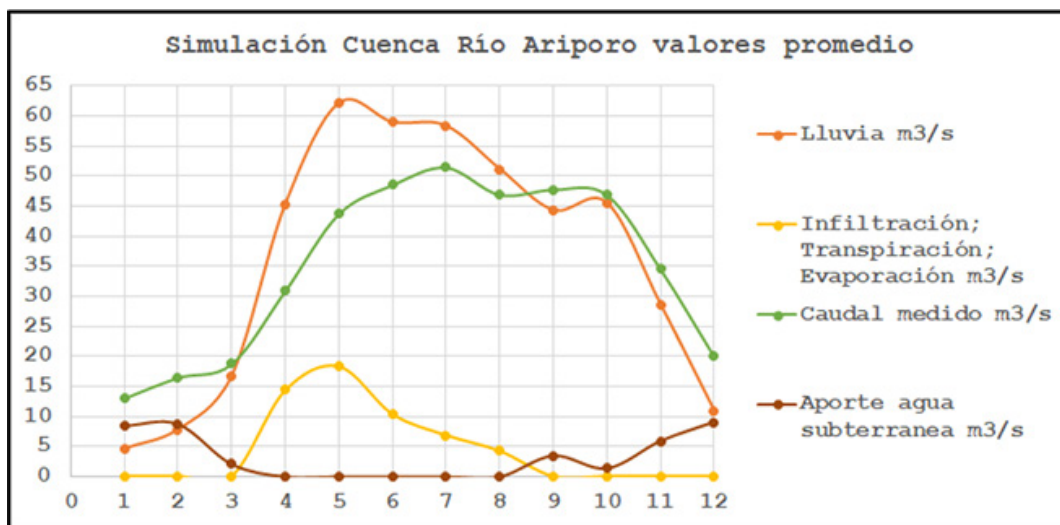


Figura 6. Simulación de la cuenca del río Ariporo utilizando algoritmos genéticos evolucionarios.

Además, la figura 6 muestra las relaciones entre los diferentes aportes de agua al caudal principal, es decir, el río Paz de Ariporo. En esta figura se observa que entre abril y agosto (4 y 8, respectivamente) se presenta el periodo de máxima precipitación, durante el cual el caudal del río aumenta significativamente. La misma situación sucede con los datos de infiltración, transpiración y evaporación. En contraposición, el aporte de agua subterránea no se incrementa. Esto se debe a que existe una recarga y almacenamiento de agua subterránea en esta temporada. Esto presumiblemente se deba a que, durante el periodo de sequía, los acuíferos empiezan a vaciarse, y en el de lluvia, se llenan nuevamente.

Por el contrario, durante los meses secos, el aporte de agua subterránea se vuelve indispensable para el río. Los datos de lluvia son menores a los datos de caudal, razón por la cual el aporte de agua subterránea es vital para que exista el río en esta temporada.

Con lo expuesto, se propone realizar un estudio posterior mediante sensores remotos y la ubicación de los puntos de mayor infiltración, para dejar estas áreas de máxima infiltración como áreas protegidas y cubiertas de bosque nativo, de manera que se maximice la infiltración en la cuenca y se eviten procesos de deforestación de estas áreas para pastos de ganadería o establecimiento de otros cultivos que pudiesen disminuir la infiltración de agua lluvia indispensable, como se mostró en la simulación. De forma, se busca contribuir a perpetuar el correcto uso del suelo que, según el Pomca, se presenta en la cuenca del río Ariporo.

El agua para riego del sector arrocero en el Casanare presenta un gran requerimiento hídrico (con un 48%). Por ello, es indispensable el aprovechamiento de los excesos de agua lluvia para inundación, de manera que se utilice la topografía de precisión a fin de que se optimice el recurso y se evite al máximo el uso de agua subterránea o el agua del río para tal fin [9].

De igual forma, se propone establecer, mediante sensores remotos y Google Earth Engine, la clasificación de uso del suelo, a fin de hacer un plan piloto de mejoramiento de zonas productivas a través de la utilización de los sistemas VAC, los cuales, como se ha expresado con anterioridad, son sistemas productivos agropecuarios que optimizan el uso de recursos maximizando la

producción de alimentos por unidad de área, estableciendo pequeños embalses en áreas de captación de áreas reducidas que permitan maximizar la infiltración de agua lluvia en la cuenca, al tiempo que se obtienen producciones grandes por unidad de área de alimentos sin el uso de agroquímicos [10]-[12].

3. Discusión

En las figuras 1 y 2 se pudo observar que durante los periodos de 2011 y 2016 aumentó la cantidad de lluvia, debido a la presencia en esa temporada del fenómeno de La Niña. Este fenómeno provocó gran afectación sobre las zonas aledañas. Durante estos periodos, estaciones como Pore y Cabuya evidencian picos más altos. Según Corantioquia, en el fenómeno de La Niña 2010/2011, “el saldo en pérdidas de vidas humanas, damnificados, daños materiales y muertes de animales ha configurado la última temporada invernal como la que mayores daños ha causado en toda la historia reciente” [13]. En 2016, la alerta de probabilidad del 76% de ocurrencia del fenómeno y la experiencia del mencionado periodo 2010/2011, hizo que Corporinoquia (jurisdicción del río Ariporo) y demás corporaciones autónomas regionales instaran al Gobierno nacional a tomar medidas preventivas de gestión del riesgo [14], considerando que, a mayo de 2016, durante la época de invierno se habían visto afectadas 7500 familias en todo el país, principalmente por eventos asociados con inundaciones y deslizamientos [15].

En la figura 2 se refleja con mayor detalle el comportamiento de cada una de las estaciones. Para el caso de la estación de Tablón de Tamara, presenta la mayor precipitación no solo durante los periodos mencionados, sino al cabo de todo el periodo evaluado. Es de resaltar que es una estación ubicada en la parte media de la cuenca, lo cual puede ser factor de altas precipitaciones en ese punto de medición.

De igual manera, de la figura 2 se observa una merma en la precipitación de todas las estaciones durante 2013 y 2014, lo cual representa un periodo de sequía extrema. También se evidencia en las noticias de la época, cuando murió mucha fauna por esta sequía.

En la figura 6 hay una relación entre las aguas subterráneas y el agua recogida por las lluvias. Cuando el agua aportada por las lluvias a la cuenca es baja, el agua subterránea se convierte en el principal aporte para el caudal medio. Esto debido a que, en las zonas de montaña y lomerío, entre otras, existe una recarga de acuíferos profundos que, debido a las rocas fracturadas y rocas porosas, permiten el movimiento del agua hacia el acuífero y de allí hacia el exterior, alimentando el río en la temporada de sequía. Por esta razón, debe darse prioridad en el manejo integral de la cuenca, con la infiltración de zonas estratégicas para asegurar que el río tenga agua en la temporada de sequía.

4. Diseño del sistema VAC

Se ha propuesto un sistema VAC con el cual se maximice la infiltración en la cuenca. Este consta de un cultivo integrado de peces y horticultura basado en la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, particularmente en la experiencia en Vietnam anteriormente expuesta. Una de las ventajas que tiene este sistema es la obtención de ingresos gracias al cultivo tanto de frutas como de verduras, aprovechando el estanque de los peces [16].

Para establecer el sistema, en primer lugar, deben seleccionarse los estanques. Se revisan, se reparan y se protegen las entradas y salidas para evitar el escape de los peces, así como para que otros peces no deseados ingresen. En cuanto a la profundidad, el estanque debe poder retener más de un metro de agua durante los periodos de sequía. Los diques deben fortalecerse y en terrazas se plantan los cultivos [16].

La maleza se remueve y con esta se realiza abono que luego será de utilidad. También se retira toda la población de peces existente en el estanque y se drena, de ser necesario. Para un estanque de 1000 m² pueden añadirse 15 kg de polvo blanqueador y 15 kg de urea para eliminar cualquier contaminación orgánica. Ahora bien, se abona el estanque con la maleza retirada, aunque esto puede hacerse con algunos intervalos de tiempo y no todo de una sola vez [16].

Posterior a siete días de la aplicación de los químicos, el estanque se llena con alevines; para este caso se ha elegido la especie *Brycon amazonicus* (Spix & Agassiz, 1829) o yamú, como se muestra en la figura 7. De acuerdo con la Lista Roja de la IUCN, el *B. amazonicus* se encuentra en preocupación menor, por lo cual no estaría de más su preservación en este estanque [16]-[18].



Figura 7. *Brycon amazonicus*. Fotografía de M. Landines [18]

El yamú es dulceacuícola neotropical de talla mediana, y el más común entre los brycónidos de los Llanos Orientales de Colombia (se encuentra en departamentos como lo es Casanare), donde el cultivo en estanques de tierra es de 500-2000 m², y se dice que puede ser una alternativa rentable. Adicionalmente, es la especie más explorada para piscicultura, debido a su hábito alimenticio omnívoro. Dicho factor, además, puede ser útil a la hora de la limpieza del estanque; y considerando el hecho de que prefieren alimentos vegetales, como frutos y semillas, los productos de la horticultura servirían para alimentarlos [17].

Este pez se caracteriza por un crecimiento rápido, de gran eficiencia alimenticia con proteína de origen vegetal, buena calidad de su carne e implementación en la pesca deportiva. Por ello se propone el considerar también la opción de este tipo de pesca dentro del estanque [17].

Las pesquerías de esta especie en Colombia se concentran en el río Meta, y más precisamente en la época de inicio de las lluvias. Se registran hasta 10 toneladas/mes con una talla total media

de captura de 52 cm. Para el estanque, los peces que alcancen un tamaño comercial deben recolectarse y el resto debe dejarse crecer. La producción del yamú en cautiverio implica tanto la reproducción confinada como el cultivo en sí; y a menudo se obtienen alrededor de 120.000 huevos por hembra [16], [17], [19].

En cuanto a la horticultura, se plantea cultivar bananos, papayas, calabazas, espinacas, berenjenas, tomates y pepinos, que luego pueden ser vendidos. Primeramente, los diques se refuerzan, se ponen terrazas y se preparan y fertilizan aplicando limo del estanque; también se aplica fertilizante inorgánico y los cultivos son regados con el agua del estanque [16].

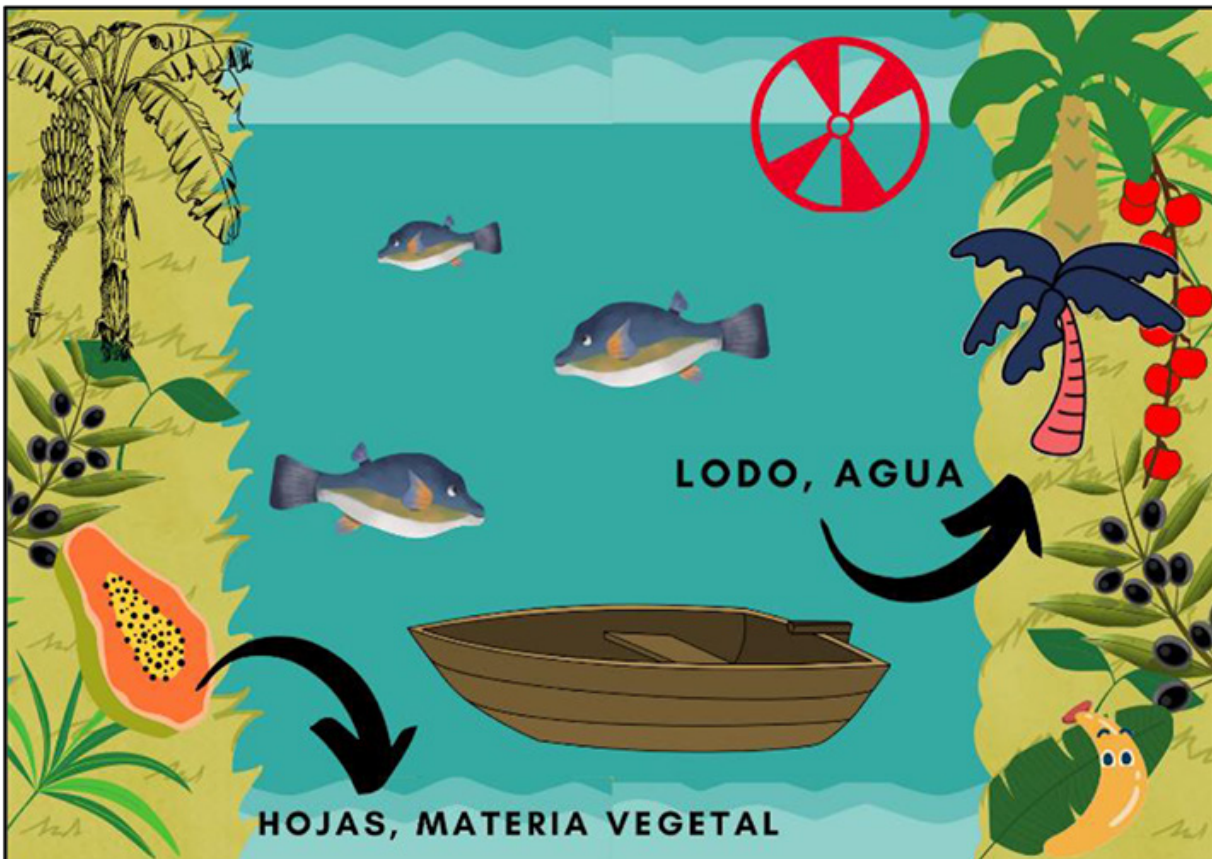


Figura 8. Propuesta modelo del sistema VAC.

En la figura 8 se muestra el diseño del sistema VAC. Como se había mencionado, se propone la pesca deportiva de ser posible y, adicionalmente, el contar con una turbina hidroeléctrica. En el modelo se evidencia cómo las salidas de un sistema son las entradas del otro, y viceversa. El lodo del estanque se utiliza como fertilizante para los cultivos, lo cual además supone un ahorro en abonos orgánicos. Entre tanto, el agua del estanque sirve para regar las plantas, y los residuos de las frutas y verduras se utilizan para alimentar a los peces. Por último, las plantas fortalecen los diques [16].

En la figura 9 se tiene un aproximado de las actividades que deben realizarse cada mes para poder llevar a cabo el sistema VAC propuesto, acorde con los datos hidrometeorológicos.

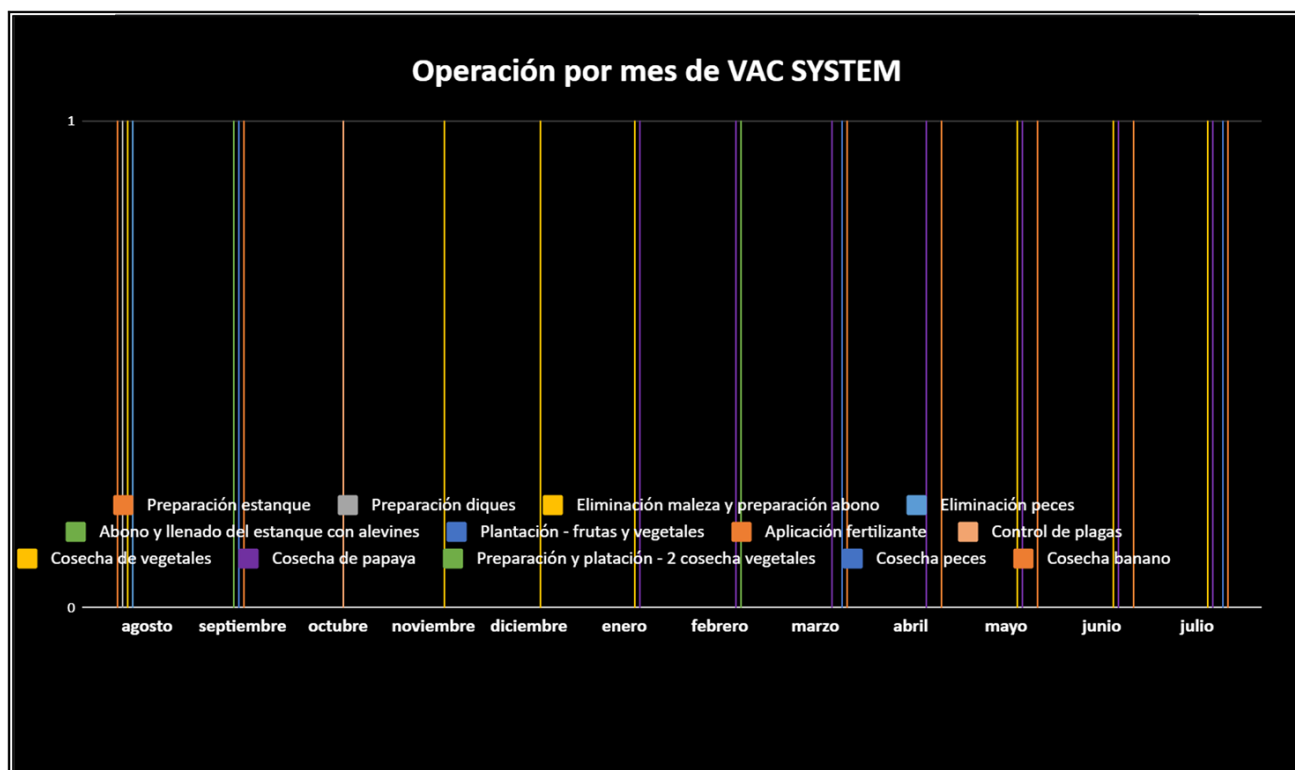


Figura 9. Actividades que deben realizarse mes a mes para el desarrollo del sistema VAC.

Conclusiones

El río Ariporo presenta unas condiciones climatológicas propias de la zona, es decir, periodos de lluvias prolongados (ocho meses) desde abril a noviembre, con cuatro meses secos que pueden ser definitivos a la hora de establecer las estrategias para la producción y conservación del ecosistema de la región.

La cuenca hidrográfica cuenta con un gran número de zonas de planicie que son altamente inundables, por la dominancia de los periodos de lluvia, algunos de estos relacionados con el fenómeno de La Niña. Tales zonas son potencialmente aprovechables para el cultivo de arroz, por su necesidad de estar inundado.

Actualmente, no se cuenta con estaciones limnimétricas en las zonas de planicie inundables, lo que limita el análisis, por lo cual se requiere una mayor cobertura por parte del Ideam para obtener datos de la región y establecer más modelos aguas abajo del punto actual de medición.

El déficit hídrico se presentó en 2013 y principios de 2014, y causó un desbalance hídrico de la cuenca e incrementó las pérdidas por evapotranspiración y disminución en el agua causa principal de la tragedia ambiental con una gran mortandad de animales en 2014.

Los sensores remotos y análisis de datos con Python son indispensables en este tipo de estudios, puesto que permiten visualizar el comportamiento de la mayor cantidad de

datos posible, con el fin de establecer relaciones entre los sistemas, visualizar los eventos extremos y definir tendencias para realmente definir una estrategia acorde a los datos existentes.

Es indispensable para los tomadores de decisiones institucionales como alcaldes, gobernadores y la autoridades ambientales (corporaciones autónomas regionales) que tengan información de este tipo de simulaciones, a fin de plantear estrategias que tiendan hacia la planeación y la prevención en cuanto a obras, sistemas productivos, entre otros; estrategias preventivas y productivas distintas a corregir, por ejemplo, un río con un dique, o realizar una gran cantidad de pozos subterráneos a alto costo para abastecimiento como solución a la inundación o sequía, generados por la misma causa.

Tal como han demostrado experiencias anteriores de implementación de los sistemas VAC en países como Vietnam, con características agroecológicas similares a las de Colombia, se trata de un modelo altamente efectivo, viable y fácilmente replicable, que puede contribuir al manejo de problemáticas sociales, como la necesidad de nutrición en zonas rurales y ambientales, como la gestión integral del recurso hídrico. Los resultados obtenidos a partir del modelamiento indican una favorabilidad para aplicar esta herramienta, considerando los regímenes de precipitación, los usos del suelo observados en herramientas de planificación como es el Pomca del río Ariporo, y las particularidades hidrológicas de la zona bajo estudio.

Referencias

- [1] Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), "Reporte sobre la cuenca del río Ariporo", 2015. [En línea]. Disponible: http://portal.anla.gov.co/sites/default/files/biblioteca_web_anla_pdf/reportesobre_la_cuenca_del_rio_ariporo.pdf
- [2] S. H. Corredor Jiménez, "Revisión y comparación del índice de fragmentación de coberturas naturales para cuatro cuencas hidrográficas en estudio", tesis de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia, 2019.
- [3] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), Reporte de avance del Estudio Nacional del Agua ENA 2018. Bogotá, 2018.
- [4] Corporación Autónoma Regional de la Orinoquía, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y Ministerio de Hacienda, "Resumen ejecutivo Pomca Río Ariporo: formulación del plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Ariporo Código 3601", 2015.
- [5] L. T. Luu, The VAC system in Northern Viet Nam, Integrated Agriculture-Aquaculture. Roma: FAO, 2001.
- [6] G. A. Forero Buitrago, J. C. Ramírez Barreto y G. A. Ramírez Feo, "Propuesta de almacenamiento de agua lluvia para suministrarla al municipio de Albán utilizando HEC-GeoHMS", *Avances*, vol. 17, n.º 11, 2020. <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.6031>
- [7] E. D. Velásquez García, G. A. Forero Buitrago y G. P. González Angarita, "Simulación hidrológica para sistemas de drenaje sostenible aplicada en jardines verticales en el humedal La Vaca, Bogotá DC", *Inventum*, vol. 15, n.º 28, pp. 88-103, 2020. <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.15.28.2020.88-103>
- [8] D. A. Roza Gómez, L. C. Velásquez Osorio y G. A. Forero Buitrago, "Simulación computacional hidrológica del río Cali en la escala temporal 2011-2019", *Rev. Tecnol.*, vol. 17, n.º 2, 2018. <https://doi.org/10.18270/rt.v17i2.3334>
- [9] C. A. Machado, *Ingeniería de la investigación* (4.ª ed.). Bogotá: Editorial Universidad El Bosque, 2013.
- [10] G. A. Forero Buitrago, "Integrated farming system for the foothill-regions of Colombia-Ariporo System (AS)", *Rev. Tecnol.*, vol. 12, n.º 2, pp. 24-34, 2013.
- [11] Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA), "Formulación del plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Ariporo Código 3601. Informe consolidación y estructuración del documento Plan de ordenamiento y manejo de cuenca hidrográfica", 2015. [En línea]. Disponible: http://www.corporinoquia.gov.co/files/A%20MAPAS%20/DOC_RESUMEN_FINAL.pdf
- [12] D. A. Romero Rubiano, "Aprovechamiento de aguas superficiales para mini-distrito de riego en la vereda 'Labrancitas', en Paz de Ariporo, Casanare", tesis de grado, Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia, 2017. [En línea]. Disponible: <http://hdl.handle.net/11634/4567>
- [13] Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia, "Plan de Acción para la Atención y Mitigación de la Emergencia Invernal en la Jurisdicción de Corantioquia", 2011.
- [14] Corporación Autónoma Regional de la Orinoquía, "Corporaciones Autónomas hacen llamado a Gobierno Nacional a articular acciones y atender posible Fenómeno La Niña", junio de 2016. [En línea]. Disponible: <http://www.corporinoquia.gov.co/index.php/pages/2015-02-02-15-01-12/332-cars-fen-nina.html>
- [15] Corporación Autónoma Regional de la Orinoquía, "Aumentan probabilidades de ocurrencia del fenómeno de La Niña", mayo de 2016. [En línea]. Disponible: <https://www.corporinoquia.gov.co/index.php/pages/2015-02-02-15-01-12/317-fen-nina.html>
- [16] S. D. Tripathi y B. K. Sharma, "Integrated fish-horticulture farming in India", FAO, 2001. [En línea]. Disponible: <http://www.fao.org/3/Y1187E/y1187e00.htm#TopOfPage>
- [17] J. A. Arias, "Estado actual del conocimiento sobre el yamú, *Brycon amazonicus*", *Rev. Colomb. Cienc. Pec.*, vol. 19, n.º 2, pp. 125-133, 2006. [En línea]. Disponible: <http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-06902006000200002&script=sciabstract&lng=pt>
- [18] "Brycon amazonicus (Spix y Agassiz, 1829)." FishBase. [En línea]. Disponible: <https://fishbase.se/summary/Brycon-amazonicus.html#>
- [19] Peces Migratorios, "Yatorana". [En línea]. Disponible: <https://pecesmigratoriosdebolivia.com/index.php/yatorana-brycon-amazonicus/>