

EVALUACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO Y GENERADOR EN UNA CUENCA ALTAMENTE REGULADA Y DEGRADADA. EL CASO DE LA CUENCA DEL RÍO ZAZA (CUBA)

Diana García Láinez 1

C/Fernando el Católico 6, 28015 Madrid (España) dianagarcialainez90@gmail.com

Pablo Jiménez Gavilán 2

Departamento de Ecología y Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Málaga.
29071 – Málaga, Spain. pgavilan@uma.es

RESUMEN

Desde la construcción de la presa Zaza en la provincia de Sancti Spíritus (Cuba) hace más de cuatro décadas, con los objetivos de laminar las avenidas y dotar de recursos a las plantaciones de arroz (principal alimento de la población), los impactos negativos en el tramo final del río Zaza han ido en aumento, debido a que esta infraestructura regula la mayor parte de las avenidas naturales del río, aunque la administración cubana fijó desde su construcción un caudal ecológico mínimo constante (gasto sanitario).

Mediante un proyecto cooperación internacional entre las Universidades de Málaga y Sancti Spíritus, se ha estudiado el alcance de estas afecciones ambientales en los ecosistemas ubicados aguas abajo de la presa, evaluando la idoneidad del gasto sanitario establecido y la posibilidad de implementar valores más elevados que permitan el mantenimiento de unas condiciones adecuadas de vida, tanto piscícola como de la flora asociada. Además, aunque existe una carencia generalizada de datos e infraestructuras para calcular de manera adecuada un caudal generador que ayude a la regeneración de los ecosistemas afectados, se realiza una propuesta preliminar de este caudal ambiental basada en los resultados de aplicar varias metodologías sencillas en función de la información existente.

1. INTRODUCCIÓN

El río Zaza (Cuba) hasta hace cuarenta años sufría grandes crecidas durante el periodo de intensas lluvias, que asolaban las poblaciones localizadas en la zona de la desembocadura. Las avenidas suponían grandes pérdidas económicas en el país: pérdida de los cultivos, traslado de la población a la ciudad de Sancti Spíritus, reconstrucción de viviendas arrasadas, etc. Pero, a su vez, producían la movilización del sedimento situado aguas arriba que, posteriormente, era depositado en la zona deltaica y provocaba el crecimiento del delta hacia el mar debido al depósito de fango y limo, imprescindible para el desarrollo del bosque de mangle situado en la zona de ribera, en el delta y en primera línea de costa.

Por otro lado, las grandes avenidas recargaban de agua dulce las lagunas situadas en ambos márgenes del río (Figura 1), conectadas naturalmente a este mediante canales o esteros. Estas lagunas eran el hábitat de especies endémicas como el camarón de costa, la lisa y la tilapia, que ascendían desde el mar para desovar en ellas.

El cultivo de arroz es fundamental para la población cubana debido a que es su fuente principal de alimento. Las pérdidas anuales de estos cultivos son devastadoras, sin contar con los traslados, reconstrucciones, etc. Por consiguiente, en 1973, se planifica y construye una presa con dos objetivos: la laminación de avenidas y una reserva de agua para el riego de las plantaciones de arroz. Es el mayor embalse de Cuba, con una capacidad de 1180 hm³.

En esta planificación se tuvieron en cuenta los valores social y económico, y desde este punto de vista, la construcción del embalse Zaza traía solo beneficios. No se tuvo en cuenta la perspectiva ambiental, ecológica, y nadie valoró los posibles daños a los ecosistemas situados aguas abajo de la presa. Su cierre rompió la cadena natural de transporte de sedimentos del río y, por consiguiente, desapareció la sedimentación.

El Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, encargado de la gestión del recurso hídrico, define el caudal ecológico como “El gasto sanitario debe ser siempre superior al gasto medio del mes más seco y como mínimo, debe ser el 10% del caudal medio del río” (INRH, 2016), es decir, asume la conservación y mantenimiento de los ecosistemas aguas abajo de la presa Zaza, con una descarga mínima idéntica para cada mes del año.

El presente trabajo se llevó a cabo para demostrar el proceso de planificación de la asignación de los recursos hídricos, considerando las necesidades de los diferentes usuarios, buscando un equilibrio que ayude a recuperar los ecosistemas asociados al río Zaza y conservarlos, sin influir negativamente en las necesidades básicas de la población cubana. Para la determinación de un caudal ecológico que considere un hábitat adecuado para las especies piscícolas, se recurre a la aplicación de métodos hidrológicos, basados en el análisis de series temporales de los caudales de un curso de agua. Estos datos pueden obtenerse de estaciones de aforo o mediante modelización numérica hidrológica. Para la recuperación de los ecosistemas aguas abajo de la presa, se propone de forma preliminar, un caudal generador, es decir, un caudal suficientemente elevado para ocupar plenamente el cauce ordinario del río y definirlo.

2. ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca hidrográfica del río Zaza, situada en la provincia de Sancti Spíritus (en el centro de la isla de Cuba), tiene un área total de 2413 km², esto la convierte en la segunda más grande de todo el país (Figura 1). El río Zaza con sus 155 km de longitud es el más grande de toda la cuenca. Nace en la provincia vecina de Villa Clara (situada al NNW de la provincia de Sancti Spíritus), y desemboca en el mar Caribe.

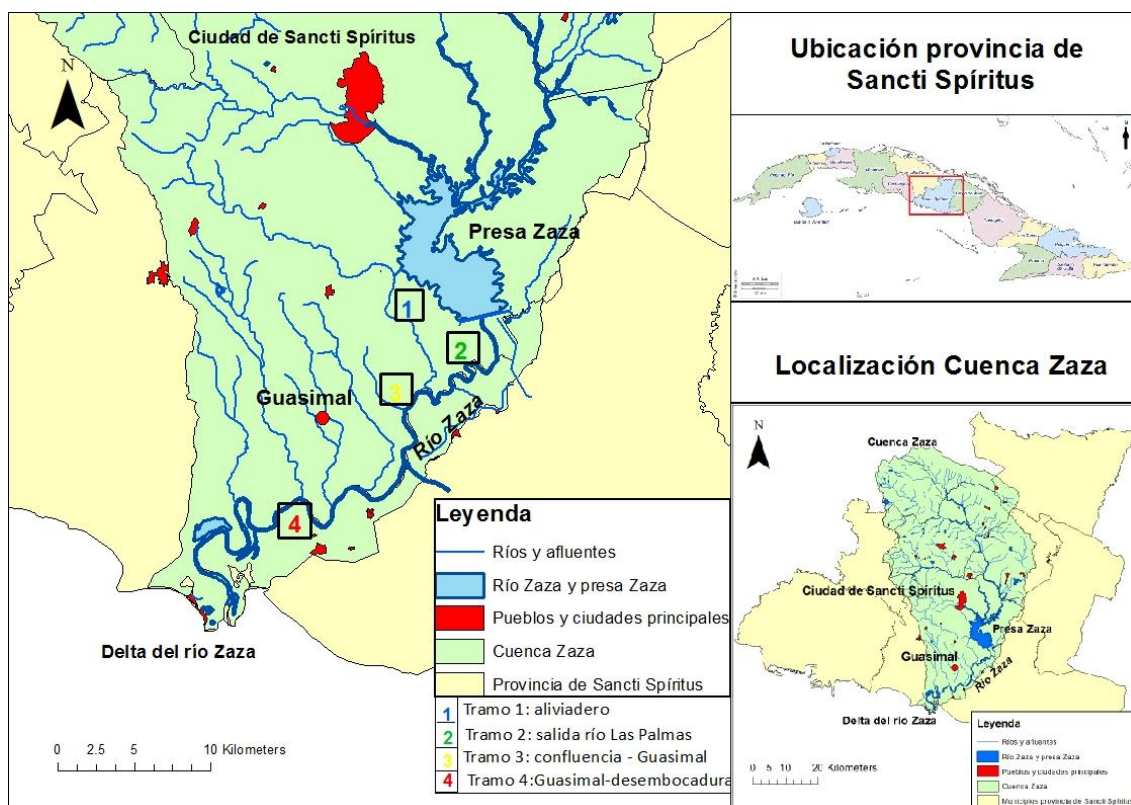


Figura 1. Mapa de localización de la provincia de Sancti Spíritus, la cuenca Zaza y los puntos más significativos: río Zaza, Presa Zaza, núcleos de Sancti Spíritus y Guasimal y desembocadura.

En el río Zaza se pueden individualizar cuatro tramos bien diferenciados (Figura 1): 1) el aliviadero principal, 2) el tramo desde la compuerta del río Las Palmas hasta la confluencia con el aliviadero, 3) el tramo entre la confluencia y el puente situado en el asentamiento de Guasimal y 4) el tramo de la desembocadura. Por otro lado, se encuentra el Canal Magistral que distribuye el agua para las plantaciones de arroz ($500 \text{ hm}^3/\text{año}$), que además de ser el mayor demandante de recursos, constituye el que mayores pérdidas presenta, ya que el sistema que transporta el agua a todos los campos de cultivo de arroz se compone de canales excavados en la tierra sin ningún tipo de aislamiento. El sistema está organizado para que el agua sobrante, mediante otro sistema de canales, desemboque en las lagunas ayudando a su mantenimiento, si bien en la actualidad no existe control de qué cantidad retorna ni con qué calidad (fertilizantes, pesticidas, etc.).

El tramo del aliviadero principal (Figura 1) está comprendido entre la presa de derivación del río Zaza y la confluencia con el cauce procedente de la presa Zaza (gasto sanitario). Tiene una longitud de 12,5 km y sólo es utilizado durante las avenidas y ciclones, cuando el embalse sobrepasa sus límites de capacidad y es necesario un vaciado urgente que no puede ser realizado por el cauce principal, lo que ocurre a partir de un volumen embalsado de 800 hm^3 .

El tramo desde la compuerta del Río Las Palmas hasta la confluencia tiene una longitud de 12,4 km y posee una lámina de agua continua. Este tramo es el que alimenta el caudal ecológico (llamado gasto sanitario en Cuba), que según la Empresa de Aprovechamiento

Hidráulico y, basado en el mínimo establecido del 10% de la escorrentía de la cuenca, corresponde a un caudal invariable de 2,45 m³/s.

El tramo entre la confluencia de los dos tramos anteriores y un pequeño puente situado aguas abajo, a la altura del asentamiento de Guasimal, tiene una longitud de 6,2 km. La información recogida mediante un sistema de encuestas realizadas para este estudio en el asentamiento de Guasimal (situado a pocos kilómetros del río Zaza), puso de manifiesto la salinización de algunos pozos de la localidad. Actualmente no existen estudios que analicen el origen de este fenómeno, pero, teniendo en cuenta la información suministrada por la Empresa de Flora y Fauna (existencia de fauna piscícola de agua dulce aguas arriba del puente de Guasimal y fauna piscícola marina aguas abajo de éste), parece demostrar que el avance de las aguas marinas son el causante del índice elevado de salinidad.

El tramo de la desembocadura del río Zaza tiene una longitud de 33,8 km y debido a la influencia marina, presenta un gradiente de conductividad creciente aguas abajo.

3. METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL CAUDAL ECOLÓGICO Y CAUDAL GENERADOR

Para valorar la influencia del caudal ecológico actual sobre el ecosistema de manglar y las especies de fauna y flora asociadas, en la zona de desembocadura del río Zaza, es necesario calcular el caudal ecológico aplicando otras metodologías. Existen cuatro categorías de metodologías científicas, agrupadas por Tharme (2003): Holística, eco – hidráulica (o de simulación de hábitats), hidráulica e hidrológica (Gippel et al., 2009). La Empresa de Aprovechamiento Hidráulico y el INRH (Instituto Nacional de Recursos Hídricos) utilizan la metodología hidrológica para el cálculo del gasto sanitario actual.

Este trabajo pretende dar una visión preliminar de las soluciones que podrían aplicarse para recuperar y mantener el bosque de manglar localizado en la zona de la desembocadura del río Zaza y de los ecosistemas asociados, por lo que el estudio se ha estructurado en tres partes:

1. Análisis del manglar actual y estudio de su evolución desde la construcción de la presa (últimos cuarenta años).
2. Cálculo del caudal ecológico aplicando la metodología de Tennant, perteneciente a la categoría de métodos hidrológicos. Este método fue aplicado con anterioridad en Cuba para el cálculo del caudal ecológico del Río Chambas en la provincia de Ciego de Ávila (Brown Manrique et al., 2016) y constituye un método basado en 10 años de observaciones y mediciones de carácter biológico (trucha) para establecer de manera empírica las relaciones entre los parámetros físicos del cauce (ancho, profundidad y velocidad) y la disponibilidad del hábitat para dicha especie (Castro et al., 2010). Este método estima el caudal ecológico para diferentes niveles de flujo como un porcentaje de los caudales medios: el 60% del caudal medio proporciona un hábitat de los peces

"óptimo"; el 30% un hábitat "excelente" y en los que los caudales sostenidos son inferiores al 10% del flujo medio se produce una "severa degradación" del hábitat (McClain et al., 2013).

3. Cálculo del caudal generador, para la recuperación del ecosistema de manglar, ya que este constituye el motor de movilización y transporte de gran cantidad de sedimentos y define la geometría del río tanto en sección como en planta. Así, en primer lugar, se obtuvieron los datos del hidrograma correspondiente a las entradas en la presa Zaza (Alarcón, 2016) y se calcularon los máximos mensuales, anuales y del periodo húmedo (mayo – octubre). A continuación, se seleccionaron los eventos de mayor entrada de agua al embalse Zaza y se realizó la misma operación para estos máximos. El objetivo era ver cuál se ajustaba mejor a los eventos de intensas lluvias ocurridos en el año 2002 y 2012, ya que durante estos eventos se tuvieron que abrir las compuertas de la presa Zaza debido al elevado volumen embalsado. Además, se realizó una comparativa de los resultados obtenidos con los valores medios de intensidad máxima de precipitaciones para diferentes periodos de retorno y, por último, se procedió a realizar una comparación con otros estudios de cuencas, en las cuales se han realizado estimaciones del caudal ecológico y del generador.

4. RESULTADOS

4.1. Estudio de la evaluación del manglar desde la construcción de la presa Zaza

El bosque de manglar es la primera barrera natural que protege la costa ante los eventos ciclónicos. En 1973, el cierre de la presa Zaza provocó la interrupción del ciclo natural del río, disminuyendo la llegada de sedimento terrestre a la zona de la desembocadura y limitando su llegada a los periodos ciclónicos o de intensas lluvias, donde es necesaria la apertura de la compuerta del aliviadero. Esto ha provocado en los últimos cuarenta años un deterioro generalizado del área deltaica (Ceballos Melendres, 2017), entre los que cabe destacar: un aumento de la sedimentación marina en la zona de confluencia de aguas, que disminuye la profundidad de esta área, colmatando los canales y esteros que aíslan los ecosistemas lagunares de los potenciales aportes de agua dulce y que provocan una salinización de este ecosistema autóctono dulceacuícola; limitación de las grandes avenidas a eventos climáticos de periodicidad decenal como ; erosión de parte del delta, en concreto, de un cayo constituido por sedimento y mangle que se había formado en su boca y, por último, la fragmentación y limitación de la regeneración del bosque de mangle.

Con respecto a esto último, en la zona de estudio se encuentran cuatro tipos de mangle, localizados en franjas paralelas a la línea de costa. Así, el mangle rojo vive en la zona de contacto entre el mar y el continente, donde abunda sedimento procedente de ambos lados. Esta especie de mangle requiere de unas condiciones muy particulares para su supervivencia y desarrollo (Chapman, 1976), ya que necesita la existencia de una mezcla fangosa óptima para que sus semillas puedan germinar. Además, el nivel del agua debe ser suficiente para que el mangle pueda respirar y no demasiado elevado para que las

semillas puedan llegar al sustrato fangoso. Este sedimento fangoso es principalmente de origen terrestre, por lo que la disminución del sedimento continental y el avance del mar (aumento del sedimento marino) provoca una disminución del fango, que limita la regeneración natural de esta especie.

En segunda línea se encuentra el mangle prieto. Se ubica en las zonas donde las mareas no provocan inundación constante o zonas de laguna. El problema de la colmatación de los esteros y canales es la causa principal que afecta al mangle prieto que habita en las lagunas, y como efecto a la fauna que en ellas vive. El aumento de la salinidad de éstas, la falta de sedimento terrestre y organismos, así como el aumento de la temperatura del agua, producido por la colmatación que hace que sean menos profundas dichas lagunas, está impidiendo la reproducción de las especies marinas, como el camarón o la lisa, que venían a desovar en ellas. La apertura de los esteros y canales facilitarían de nuevo el flujo del río a las lagunas, produciendo el intercambio y oxigenación de estas y la posibilidad de una pesca futura. En épocas anteriores a la construcción de la presa, las especies que vivían en las zonas arrecifales, subían en algunos periodos del año a las lagunas a desovar. Por este motivo los pescadores intentan anualmente reabrir de manera manual estos canales, para que el ciclo no se cierre y poder pescar especies como el camarón de costa, la lisa, la liseta o la tilapia.

En tercera línea se encuentran el patabán y yana, que han sido las especies más taladas durante la construcción de los estanques de camarón y que se encuentran en las zonas más periféricas (Menéndez Carrera y Priego, 1994).

4.2. Resultados de caudal ecológico a partir de la metodología de Tennant

Los cambios en las estaciones del año permiten diferenciar épocas más húmedas y otras más secas, o con menores precipitaciones, por lo tanto suponer un caudal ecológico idéntico para todos los meses del año es inexacto. A partir del hidrograma de las aportaciones mensuales a la presa Zaza, se calculan los caudales ecológicos para cada periodo del año, aplicando la metodología de Tennant (Brown Manrique et al., 2016), con el fin de establecer unos caudales mínimos, que satisfagan las necesidades del ecosistema aguas abajo de la presa Zaza.

Los resultados se van a comparar con el gasto sanitario liberado mensualmente por la Empresa de Recursos Hidráulicos, así como, con el volumen de agua embalsado en la presa cada periodo. Con ello, se constatará la disponibilidad de recurso hídrico regulado, utilizable para complementar el caudal ecológico. La morfología singular del resultado de los caudales ecológicos, se debe a las particularidades del periodo de lluvias en la isla de Cuba. Para cada año hidrológico representado en la figura 2, se observa un valle durante el periodo seco (noviembre – abril) y un doble pico, durante el periodo húmedo. Este doble pico se debe a que, en los meses de mayo y junio, se registran grandes precipitaciones, así como en los meses de septiembre y octubre.

El INRH regula la cantidad de agua disponible en el embalse (para el riego de las plantaciones de arroz, el riego de otros cultivos, uso para ganadería, etc.), en función del llenado de éste. En primer lugar, estima la cantidad de agua disponible para el cultivo del arroz, ya que es su fuente de alimentación principal y uno de los recursos económicos más importantes. A estas plantaciones cede un 75% del volumen total del embalse en cada mes del año. Así, en la presente propuesta se va a suponer que, el porcentaje de agua establecida para el riego de las plantaciones de arroz sea inamovible y, por lo tanto, se van a realizar los cálculos a partir del 25% de agua restante, disponible para otros usos. (Figura 3).

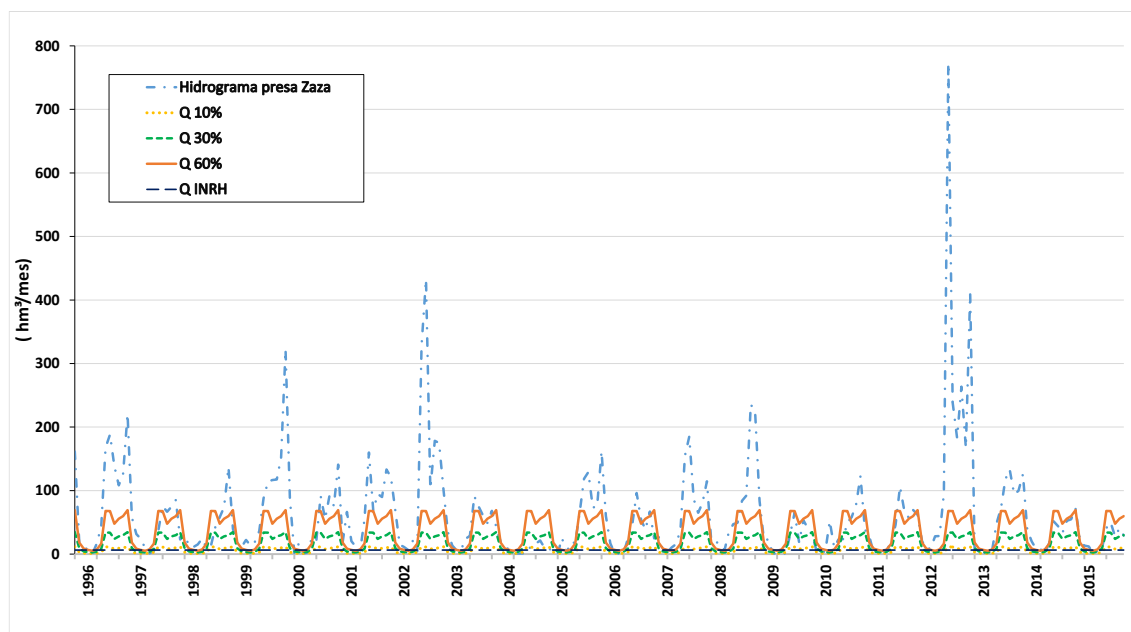


Figura 2. Confrontación de los resultados obtenidos en hm³/mes por el método de Tennant (Q10%, Q30% y Q60%) con el gasto sanitario establecido por el INRH (QINRH) y el hidrograma de entrada a la presa Zaza.

Como se puede constatar, el gasto sanitario liberado por la Empresa de Recursos Hidráulicos no considera las épocas más húmedas y los periodos más secos, por lo que durante todo el año, la cantidad de agua vertida es la misma, siendo inferior, en algunos casos, al criterio mínimo del Q_{Ecológico} 10% calculado mediante el Método de Tennant. Además, también se observa que los caudales calculados en base a los criterios del 10% y el 30% se pueden liberar en todos los años analizados (Figura 3). Sin embargo, el caudal calculado a partir del criterio del Q_{Ecológico} 60%, es superior en algunos de los años examinados. Una posible solución para la liberación de este último caudal, es la complementación a partir del agua disponible en el embalse Zaza.

El INRH regula la cantidad de agua disponible en el embalse (para el riego de las plantaciones de arroz, el riego de otros cultivos, uso para ganadería, etc.) en función del llenado de éste. En primer lugar estima la cantidad de agua disponible para el cultivo del arroz, ya que es su fuente de alimentación principal y uno de los recursos económicos más importantes. A estas plantaciones cede un 75% del volumen total del embalse en cada mes del año. Así, en la presente propuesta se va a suponer que, el porcentaje de agua

establecida para el riego de las plantaciones de arroz sea inamovible y, por lo tanto, se van a realizar los cálculos a partir del 25% de agua restante, disponible para otros usos (Figura 3).

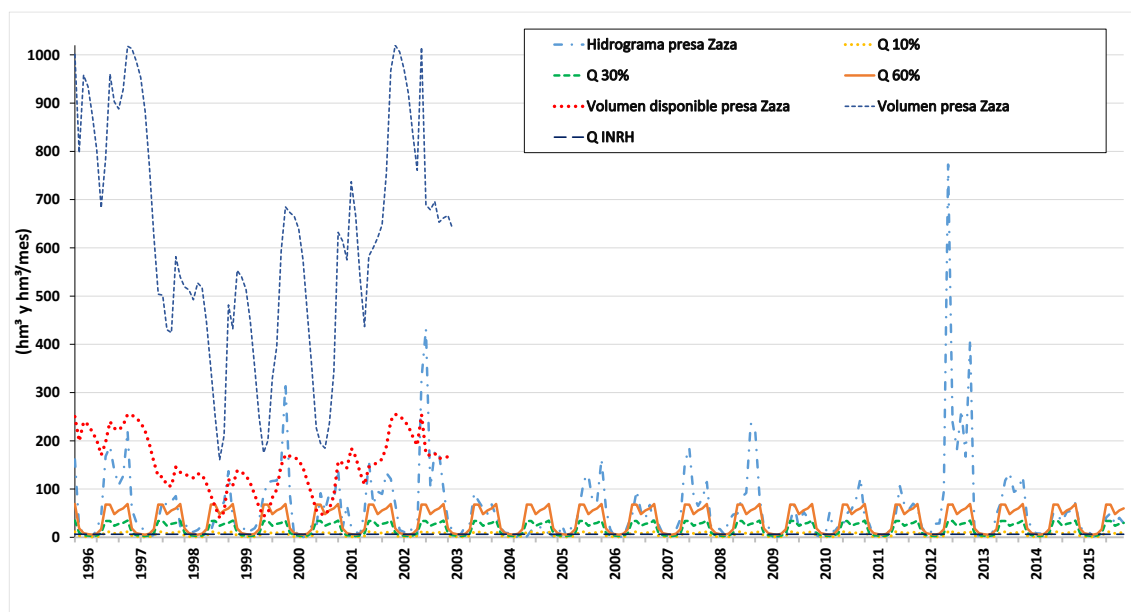


Figura 3. Confrontación de los resultados obtenidos en hm^3/mes por el método de Tennant (Q10%, Q30% y Q60%) con el gasto sanitario establecido por el INRH (QINRH), el hidrograma de aportaciones a la presa Zaza y los volúmenes totales y disponibles en el embalse (en hm^3).

Se observa en la figura 3 que, las reservas disponibles de la presa Zaza, es decir, el 25% restante, podrían cumplimentar el caudal ecológico calculado a partir del criterio del 60% establecido mediante el método de Tennant, por lo que se concluye que: 1) los tres criterios establecidos por el método de Tennant pueden ser liberados para generar el caudal ecológico del río Zaza sin reducir el porcentaje reservado al riego de las plantaciones de arroz; 2) el gasto sanitario (caudal ecológico mínimo) establecido por el INRH y aplicado por la Empresa de Recursos Hidráulicos es notablemente insuficiente para conservar los ecosistemas asociados al río Zaza, situados aguas abajo de la presa y 3) en este estudio se selecciona como caudal ecológico el criterio del 30% para no tener que recurrir a las reservas del embalse.

4.3. Propuesta preliminar de caudal generador

Para el cálculo del caudal generador se ha partido a partir de tres hipótesis de análisis, cuyos valores se recogen en la tabla 1. La hipótesis 1 corresponde al volumen medio de los meses máximos del hidrograma de la presa Zaza y otorga información de las máximas aportaciones mensuales a la presa Zaza. En particular, se ha elegido la media de los cuatro meses de mayores lluvias del periodo registrado, ya que la lámina de agua coincide con la estimada para un tiempo de retorno de cinco años, calculado como la media de los pluviómetros de la cuenca Zaza (hipótesis 2). La hipótesis 3 corresponde a los eventos de

intensas lluvias ocurridos en los últimos 20 años, en junio de 2002 y mayo de 2012 (inicio del periodo húmedo) que obligaron a desembalses importantes (Tabla 1)

Tabla 1. Resultados de las tres hipótesis y selección de los resultados que se aplican para la propuesta del caudal generador.

<i>Parámetro</i>	<i>Hipótesis 1</i>	<i>Hipótesis 2</i>	<i>Hipótesis 3 (2002)</i>	<i>Hipótesis 3 (2012)</i>
<i>Volumen medio (hm³/mes)</i>	179,7			
<i>Volumen medio cuatro mayores(hm³/mes)</i>	440,7			
<i>Lámina de agua media mensual (mm/mes)</i>	86,4			
<i>Lámina de agua media cuatro mayores (mm/mes)</i>	211,9			
<i>Tiempos de retorno</i>				
<i>T5 (mm/mes)</i>		206,9		
<i>T10 (mm/mes)</i>		248,5		
<i>T15 (mm/mes)</i>		271,5		
<i>T20 (mm/mes)</i>		292,0		
<i>T50 (mm/mes)</i>		339,6		
<i>T100 (mm/mes)</i>		378,2		
<i>Caudal máximo (m³/s)</i>			3270	3141,5
<i>Caudal medio (m³/s)</i>			2380	2694,9
<i>Caudal punta (m³/s)</i>			5910	5643,5
<i>Volumen total (hm³)</i>			616,8	1164,2

En esta propuesta se considera crear una avenida coincidente con el periodo húmedo, de tal forma que el terreno esté saturado en agua y las pérdidas iniciales por infiltración sean muy reducidas. Además, al referenciar los eventos ciclónicos de los años 2002 y 2012, cuyo caudal medio es de 2600 m³/s, se propone un caudal menor debido a que no habrá grandes pérdidas por infiltración. A causa de la inexistencia de datos de batimetría, ancho del cauce, etc., que puedan validar los resultados, se decide hacer una propuesta preliminar conservadora. Así, a partir de la lámina de agua media de los cuatro meses de mayores aportaciones a la presa Zaza (Tabla 1), igual a 211 mm/mes (volumen correspondiente a 440 hm³), se procede a definir un caudal generador, cada cinco años, que desaloje el mismo volumen, con un tiempo de paso de 5 días, por lo que se estima un caudal medio de 1000 m³/s. Por último, si bien en próximos estudios se pretende comprobar la operatividad del caudal generador propuesto, en el presente trabajo se ha realizado una comparación con otras dos subcuencas (parte alta de la cuenca Zaza y la

subcuenca del río Yayabo) localizadas en la misma cuenca hidrográfica de estudio (Figura 4), con el objetivo de validar la presente propuesta.

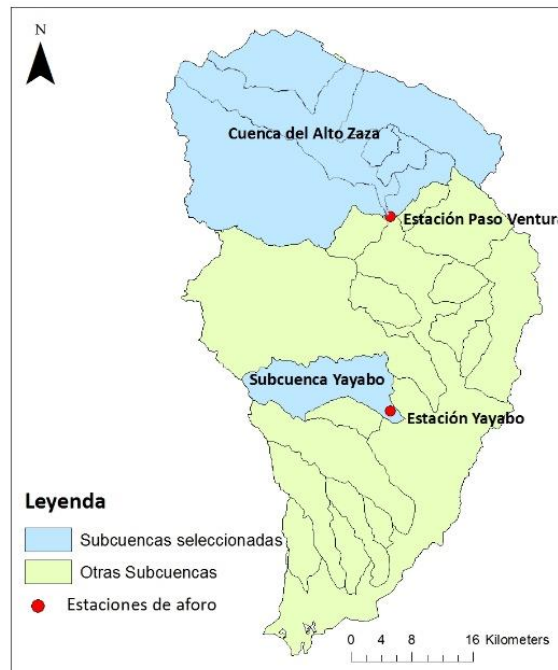


Figura 4. Mapa de localización de la cuenca alta del río Zaza y de la subcuenca Yayabo.

Los resultados del modelo de lluvia – escorrentía (Rodríguez y Marrero de León, 2015) para los hidrogramas de los años 1978, 1996 y 1999, que corresponden a episodios intensos de lluvias que tuvieron lugar al final del periodo húmedo, muestran un caudal máximo para la estación de Paso Ventura, en el intervalo entre 750 – 1800 m³/s con un error del 10% (Tabla 2). Mientras que para la estación Yayabo, el caudal máximo se encuentra entre 182 y 1016 m³/s, con un error del 16%. El modelo ha sido planteado con una duración de 24 horas, ajustándose a las intensas lluvias de los años evaluados. El modelo lluvia – escorrentía está calculado para un periodo de retorno de 10 años, por consiguiente, si se comparan los resultados se observa que el caudal generador propuesto en el presente trabajo, es algo superior a la mitad del caudal máximo establecido para la cuenca alta del río Zaza (Tabla 2). Estos resultados demuestran que, para dos cuencas de medidas similares, los caudales para 10 años y 5 años coinciden proporcionalmente. Por otro lado, para la subcuenca del río Yayabo (Figura 4), más pequeña que las cuencas alta y baja del río Zaza (Figura 4), se estimó un caudal máximo de 1016 m³/s (correspondiente a un volumen de 87,8 hm³) para un periodo de retorno de 10 años. El modelo de lluvia – escorrentía en esta subcuenca ha servido para comprobar la cantidad de agua diaria que se puede liberar en la cuenca baja del río Zaza y, por lo tanto, validaría la propuesta de caudal generador de este estudio (Tabla 2).

Tabla 2. Comparativa de los parámetros considerados en los estudios de la cuenca alta del río Zaza y la subcuenca Yayabo con los propuestos para el caudal generador en la cuenca baja del río Zaza.

<i>Cuencas</i>	<i>Volumen total (hm³) (min – max)</i>	<i>Número de días</i>	<i>Caudal (m³/s) (min – max)</i>
<i>Cuenca alta del río Zaza</i>	64,8 – 155,5	1	750 – 1800
<i>Subcuenca del río Yayabo</i>	15,7 – 87,8	1	182 - 1016
<i>Cuenca baja del río Zaza</i>	440	5	1000

5. CONCLUSIONES

El manglar, es un tipo de vegetación, que se desarrolla en ecosistemas con características muy específicas. Es un sistema muy vulnerable, las variaciones de parámetros como la salinidad, los flujos naturales de nutrientes o la cantidad de agua y sedimento que reciben, le afecta bruscamente, llegando a provocar la muerte de los manglares. La construcción de la presa Zaza ha modificado las condiciones de flujo natural, de manera que el gasto sanitario (caudal ecológico) liberado por la Empresa de Recursos Hidráulicos es insuficiente para satisfacer las necesidades ecosistémicas del manglar, ubicado en la zona de la desembocadura del río.

La propuesta del caudal ecológico, calculado a partir de los criterios de la metodología de Tennant, demuestra la posibilidad de liberar un caudal mayor, que ayude a reconectar el río con las lagunas, y logre unas excelentes condiciones de hábitat en estos ecosistemas asociados al río Zaza.

Para la sostenibilidad y regeneración del bosque de manglar en la desembocadura, es necesaria la movilización y el transporte de sedimentos terrestres a las zonas más bajas del río. Así, se ha comprobado que las avenidas generadas artificialmente cada diez años (durante los eventos de intensas lluvias), para la regulación del volumen de agua de la presa Zaza, son insuficientes para la acumulación de sedimento terrestre aguas abajo: la acción marina arrastra este sedimento terrestre hacia mar adentro, sustituyéndolo por depósitos de grano más grueso de origen marino, que no permiten la germinación de las semillas de mangle. El caudal generador propuesto para cada cinco años, pretende acortar los periodos de ausencia de sedimentación terrestre. En función de los resultados que se observen en los próximos años, se podrán reducir más aún los tiempos entre avenidas, o alejarlos.

Agradecimientos.

Este trabajo es una contribución al Proyecto de “Estudio y mejora de la planificación y Gestión de los Recursos Hídricos en la cuenca del río Zaza (Cuba). Definición de políticas y estrategias de adaptación a los futuros impactos del cambio climático global (ESGEREHIZA)” del Programa de Voluntariado en Cooperación Internacional para el

Desarrollo de la Universidad de Málaga (2015/2016).). Por último un agradecimiento especial a los investigadores Osmany Ceballo Melendres y Yarisbey Fuentes de la Universidad de Sancti Spíritus

REFERENCIAS

ALARCÓN, S. (2016). *Diseño y aplicación de un modelo de simulación de la gestión de los recursos hídricos en las cuencas de los ríos Zaza y Jatibonico del sur, Cuba*. Memoria de trabajo Fin de Máster en Recursos Hídricos y Medio Ambiente, Universidad de Málaga (España).

BROWN MANRIQUE, O., GALLARDO BALLAT, Y., WILLIAMS HARRIOTE, P. W. y TORRES MARTÍNEZ, Y. (2016). Caudal ecológico del río Chambas en la provincia Ciego de Ávila. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 37(1), 58-71.

CASTRO HEREDIA, L., CARVAJAL ESCOBAR, Y. y MONSALVE DURANGO, E. (2010). Enfoques teóricos para definir el caudal ambiental. *Ingeniería y Universidad: Engineering For Development*, 10(2): 179-195.

CHAPMAN, V. (1976). *Mangrove vegetation*. J. Cramer, New York, 477 pp.

CEBALLO MELENDRES, O. (2017). *Implementación de Herramientas para la Evaluación y Gestión Integrada de los Recursos Hídricos a Nivel de Paisaje en la Cuenca Hidrográfica del Río Zaza. Provincia Sancti Spíritus, Cuba*. Dottorado di ricerca in Scienze Agrarie Alimentari ed Ambientali. Università Politecnica delle Marche, Ancona (Italia), 224 pp.

GIPPEL, C. J., BOND, N. R., JAMES, C. AND WANG, X. (2009). An Asset - based, Holistic, Environmental Flows Assessment Approach. *International Journal of Water Resources Development*, 25 (2): 301-330.

INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS HIDRÁULICOS –INRH- (2016). *Datos de caudal y volumen total de la provincia de Sancti Spíritus*. Informe inédito

MCCLAIN, M. E., KASHAIGILII, J. J. AND NDOMBA, P. (2013). Environmental flow assessment as a tool for achieving environmental objectives of African water policy, with examples from East Africa. *International Journal of Water Resources Development*, 29 (4): 650-665.

MENÉNDEZ CARRERA, L. y PRIEGO SANTANDER, A. (1994). Los manglares de Cuba: Ecología. En El ecosistema de manglar en América latina y la cuenca del Caribe: manejo y conservación. *Rosenthal School of Marine and Atmospheric Science and The Tinker Foundation*, 64-75.

RODRÍGUEZ, Y. Y MARRERO DE LEÓN, N. (2015). Simulación hidrológica en dos subcuencas de la cuenca del río Zaza de Cuba. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 36(2), 109-123.

THARME, R. E. (2003). A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. *River Res. Applic.*, 19: 397–441.