

Caudal ecológico de ciertos ríos que descargan al Golfo de Mexico y al Pacífico Mexicano

Guadalupe de la Lanza Espino, Rebeca González Villela, Ignacio Daniel González Mora & Salvador Hernández Pulido

To cite this article: Guadalupe de la Lanza Espino, Rebeca González Villela, Ignacio Daniel González Mora & Salvador Hernández Pulido (2018) Caudal ecológico de ciertos ríos que descargan al Golfo de Mexico y al Pacífico Mexicano, Ribagua, 5:1, 3-15, DOI: [10.1080/23863781.2018.1442187](https://doi.org/10.1080/23863781.2018.1442187)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/23863781.2018.1442187>



© 2018 The Author(s). Published by Informa UK Limited, trading as Taylor & Francis Group.



View supplementary material [↗](#)



Published online: 23 Mar 2018.



Submit your article to this journal [↗](#)



Article views: 1343



View related articles [↗](#)



View Crossmark data [↗](#)

Caudal ecológico de ciertos ríos que descargan al Golfo de México y al Pacífico Mexicano

Guadalupe de la Lanza Espino^a, Rebeca González Villela^b, Ignacio Daniel González Mora^c and Salvador Hernández Pulido^a

^aInstituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México; ^bInstituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), México;

^cWorld Wildlife Fund (WWF México), Programa del Agua, México

RESUMEN

Uno de los grandes problemas que enfrenta el manejo del recurso agua en México es el desconocimiento de su variabilidad espacio-temporal. Dicho manejo se ha enfocado en el consumo humano y sus actividades económicas, sin considerar aquel volumen requerido para los ecosistemas y los servicios ambientales que finalmente redundan en la sustentabilidad. Dado lo anterior, las instituciones gubernamentales, académicas y organizaciones de la sociedad civil propusieron una metodología para determinar el caudal ecológico en una serie de cuencas consideradas como futuras reservas de agua, con impacto tanto para la conservación como para su recuperación. Con el empleo de esa metodología, este trabajo tiene como objetivo el estimar al caudal ecológico ordinario estacional (Qecol*) de varios ríos prístinos o con diferentes grados de impacto y con condiciones climáticas distintas, tanto de la vertiente del Golfo de México como del Pacífico mexicano. En las cuencas estudiadas del Golfo de México, se destacaron por su Importancia Ecológica "Muy Alta," con un porcentaje de caudal ecológico (Qecol*): Pánuco (74%), Papaloapan (78%), Grijalva (68%), Palizada (81%), y Candelaria (62%). Por el lado del Pacífico sobresalieron por tener la "Mayor Presión del Uso del Agua" y un porcentaje de caudal ecológico bajo, las cuencas de Culiacán (4%) y Tehuantepec (15%).

Environmental flow of some rivers to discharge basins in the Gulf of Mexico and the Mexican Pacific

ABSTRACT

One of the major problems being faced by the management of water resources in Mexico is the lack of knowledge about temporal and space variability. Management has focused on human consumption and its economic activities, without considering the volume required for ecosystems and environmental services that ultimately lead to sustainability. Governmental and academic institutions, as well as civil organizations, have proposed a methodology to determine the environmental flow in a series of basins considered as future water reserves, with impact both for conservation and recovery. With the use of this methodology, the present work aims to estimate the ordinary seasonal environmental flow (Qecol*) of several pristine rivers with different degrees of impact and with different climatic conditions, from both the Gulf of Mexico and the Mexican Pacific. The studied basins of the Gulf of Mexico were noted for their "Very High" ecological importance and environmental flow (Qecol*): Pánuco (74%), Papaloapan (78%), Grijalva (68%), Palizada and Candelaria (62%). On the Pacific side, due to the greater pressure for water use and a lower percentage of Qecol*, the Culiacan (4%) and Tehuantepec (15%) basins stood out.

PALABRAS CLAVE

caudal ecológico; cuencas; México; recursos hidrológicos; ríos; sustentabilidad ecológico

KEYWORDS

ecologic sustainability; environmental flow; Mexico; hydrologic resources; river basins; water level

1. Introducción

Históricamente en México como en otros países, los asentamientos urbanos y sus diversas actividades económicas se han desarrollado en las márgenes de los ríos, lagos y cuerpos de agua costeros debido a su disponibilidad de agua, la utilización de bienes y servicios que proporcionan y a la eliminación de las descargas de aguas no tratadas o semi-tratadas. Generalmente

no se considera la amplia variabilidad temporal y espacial de los sistemas fluviales, ni los cambios ecológicos que generan estas actividades. La distribución del recurso del agua es el resultado de tanto el macro- y el micro-clima influenciado con diferencias inter- anuales o intra- anuales extremas, así como de la posición latitudinal y de la orografía [1]. Estos factores inciden en el país y se coadyuvan para que éste sea

semidesértico en un 61%, aproximadamente [2]. Asimismo, la distribución de agua es inequitativa [3], lo cual hace difícil atender las necesidades cada vez más crecientes del hombre, generando una desigualdad entre el crecimiento poblacional de los estados, municipios y pueblos, con graves conflictos por el abastecimiento de los cuantiosos volúmenes que se requieren para los diversos servicios humanos, fundamentalmente el agrícola [4].

Desde el punto de vista ecológico, que es el menos atendido, las cuencas hidrográficas mexicanas incluyen una rica variedad de ecosistemas acuáticos como ríos, lagos, lagunas, cenotes y humedales, algunos de ellos internacionalmente reconocidos por ser sitios “Ramsar” (sitios de importancia internacional para la conservación de la diversidad biológica, según el acuerdo intergubernamental firmado en 1971 para la protección de los humedales generadores de hábitats para la vida silvestre). Estos ecosistemas tienen requerimientos hídricos específicos, no considerados en la administración del agua por instancias oficiales, y sostienen una diversidad de hábitats y especies que están física y biológicamente articulados al agua y su régimen dinámico [5]. En el aspecto ecológico, es ineludible calcular el volumen requerido para la conservación de los ecosistemas, y por lo tanto de los servicios ambientales que brindan al propio ser humano. La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), en coordinación con la Alianza WWF del World Wildlife Fund y la Fundación Gonzalo Río Arronte, I.A.P. [6,7] identificaron las cuencas del país con disponibilidad de agua y que por su riqueza biológica, importancia ecológica y aun con presiones hídricas, presentan condiciones favorables para establecer como “Reservas de Agua” que garanticen los flujos hídricos para la protección ambiental bajo los términos de la Ley de Aguas Nacionales.

Antes de esa iniciativa no existía ninguna norma que permitiera la reservación de un volumen de escurrimiento de cualquier cuenca en México, con fines de conservación ecológica. Este vacío se resolvió a partir del establecimiento de la norma NMX-AA-159-SCFI-2012 [8] para la determinación del caudal ecológico, aplicable en el país para aguas tanto de condiciones prístinas, o de aquellas bajo una fuerte presión extractiva o ambiental. Esta norma, resultado del trabajo colaborativo de instituciones gubernamentales, académicas y organizaciones de la sociedad civil, contiene las especificaciones que deben de aplicarse en los estudios para determinar el régimen del caudal ecológico en corrientes o cuerpos de agua nacionales, a nivel de cuenca hidrológica. Esta norma parte del reconocimiento de las condiciones naturales del

régimen hidrológico, su estado de alteración y las posibilidades de conservación o de recuperación de los componentes del régimen, para alcanzar o mantener un estado ecológico deseado u objetivo ambiental. Además, los métodos hidrológicos de la NMX-AA-159-SCFI-2012 permiten entender adecuadamente la variabilidad natural de los ríos, ya que se basan en el estudio matemático-estadístico de la variación anual del régimen de caudales.

Existen escasas publicaciones en México que estén enfocadas en la cuantificación del caudal ecológico, aunque estén hechas con metodologías distintas, por ejemplo: González Villela y Banderas Tarabay [9] emplearon tres tipos metodológicos en el río Santiago, Nayarit; González Mora et al. [10] evaluaron el caudal ecológico (determinación holística) en las cuencas de bajo impacto Copalita-Zimatán-Coyula, Oaxaca; y de la Lanza Espino et al. [11] efectuaron el cálculo para el río Piaxtla Sinaloa (determinación hidrológica); y para el cálculo del caudal ecológico en ríos regulados por presas se analizaron varias metodologías [12]. Sin embargo, tomando en consideración las 720 cuencas principales de México [3] y las 189 cuencas pertenecientes al Programa Nacional de Reservas de Agua [7], se requiere hacer un esfuerzo de incluir el mayor número de evaluaciones para determinar el caudal ecológico.

Con base en lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo estimar y comparar los caudales ecológicos ordinarios estacionales de ciertos ríos de sus cuencas o subcuencas que descargan a las vertientes del Golfo de México y algunas al Pacífico mexicano, que por su ubicación geográfica representen características climatológicas, de tamaño, de escurrimiento y de asentamientos urbanos distintos; asimismo, tiene también como objetivo contribuir al incremento de las valoraciones del caudal ecológico dentro de las “Reservas de Agua” para su conservación ambiental y manejo.

2. Materiales y métodos

Las diferentes cuencas hidrológicas analizadas se subdividieron para ser comprendidas mejor en función de la problemática regional que enfrenta el uso del recurso, de la importancia de sus afluentes, de la localización de los diferentes usuarios y la información hidroclimatológica disponible. Nuestro método de análisis se basó en la “Aproximación Hidrológica Detallada de la Norma” [8] para obtener el régimen de caudales ecológicos ordinarios estacionales. La “Norma” brinda los alineamientos para establecer un porcentaje del escurrimiento medio anual, y también un régimen de caudales que se asume

Tabla 1. Importancia ecológica de acuerdo con los aspectos bióticos, integridad ecológica y alteración ecohidrológica (tomado de la NMX-AA-159-SCFI-2012).

Importancia ecológica	Aspectos bióticos	Aspectos de integridad ecológica	Alteración ecohidrológica
Muy Alta	Una o más especies endémicas en la región o de relevancia internacional, que se encuentren en algún estado de protección según la NOM-059-SEMARNAT-2010, y/o en otros listados similares internacionales.	Hábitat único por su diversidad y funcionamiento, que mantienen su estructura natural y una integridad ecológica asociada a los servicios ecosistémicos aportados, y que están intactos. La zona de captación se conserva.	Nula o mínima. Se conserva el régimen natural.
Alta	Al menos una especie de relevancia regional o nacional está bajo algún estado de protección en la NOM-059-SEMARNAT-2010, o en listados similares internacionales.	Hábitat único por su diversidad y funcionamiento, en los que predomina su estructura natural, y que básicamente conserva su integridad ecológica. En consecuencia, los servicios ecosistémicos que aportan. La zona de captación se conserva.	Presencia mínima de infraestructura antropogénica (camino, granjas, descargas domésticas de aguas residuales). Alteraciones moderadas al régimen natural.
Media	Presencia de poblaciones de diferentes especies de relevancia regional por su aportación a servicios ecosistémicos o al desarrollo socioeconómico.	La zona de captación y el hábitat se encuentran moderadamente alteradas. Conservan en alguna medida su funcionamiento, estructura y servicios básicos, a pesar de haber presentado cambios físicos.	Presencia evidente de infraestructura antropogénica. Alteraciones evidentes y significativas, pero que se mantienen como ciertos componentes del régimen hidrológico.
Baja	Nula o muy baja presencia de especies nativas, con presencia de especies exóticas.	Zona de captación sometida a fuerte presión por el agua y un cambio de uso del suelo. Cauces invadidos, obstruidos, abandonados, modificados, canalizados o destruidos por actividades de extracción, cuyos cambios en casos extremos son irreversibles. Integridad ecológica completamente perdida y en ocasiones solo se conservan los servicios ambientales más básicos.	Alta presencia de infraestructura antropogénica. Régimen completamente alterado.

mantendrán los atributos biológicos en cierto nivel de conservación. Los pasos iniciales fueron: determinar la importancia ecológica (Tabla 1) y la presión por el uso del agua (Tabla 2) para definir un objetivo ambiental para cada uno de los ríos, como se señala en la Tabla 3.

Para la determinación del caudal ecológico, se tomó en cuenta la base de datos de la estación hidrométrica disponible en el BANDAS [13] para cada uno de los ríos estudiados con registros mayores a 20 años continuos, como lo recomienda la NMX-AA-159-

Tabla 2. Presión por el uso del agua (tomado de la NMX-AA-159-SCFI-2012).

	Muy Alta	Alta	Media	Baja
Presión de uso	≥ 80%	≥ 40%	≥ 11%	≥ 10%

Tabla 3. Matriz de objetivos ambientales (tomado de la NMX-AA-159-SCFI-2012).

Importancia Ecológica	Presión de uso del agua			
	Baja	Media	Alta	Muy Alta
A	A	A	B	C
A	A	B	C	D
B	B	C	C	D
B	B	C	D	D

A = Objetivo ambiental con estado o nivel de conservación deseado muy bueno; B = Objetivo ambiental con estado o nivel de conservación deseado bueno; C = Objetivo ambiental con estado o nivel de conservación deseado moderado; D = Objetivo ambiental con estado o nivel de conservación deseado deficiente

SCFI 2012, o 10 años, según lo determinado por De la Lanza Espino et al. [14].

Eliminados los datos erróneos en las series históricas de datos hidrométricos, se organizaron los datos de acuerdo con lo descrito por Sánchez Navarro y Barrios Ordoñez [15], la Norma [8] y el Anexo 1. Para determinar el régimen de caudales ecológicos ordinarios estacionales (Qecol*) para cada condición hidrológica (húmeda, media, seca y muy seca), se realizó el siguiente procedimiento: a partir de los datos hidrológicos diarios disponibles se calcularon los caudales medios mensuales; se organizaron estos en años naturales; se calcularon porcentajes para cada mes del año natural con los percentiles 75, 25, 10 y 0; se asociaron estos caudales ordinarios estacionales (húmedo, medio, seco y muy seco) a los percentiles que aparecen en la Tabla 4.

3. Áreas de estudio

Se eligieron 17 ríos del Golfo de México y 11 del Pacífico. Algunos registros hidrométricos formaron parte como afluentes de cuencas de mayores dimensiones. En la Tabla 6 y la Figura 1, se muestra la ubicación de estos ríos y de las estaciones hidrométricas estudiadas para conseguir el cálculo del caudal ecológico.

Tabla 4. Criterios para la elección del régimen de caudales ordinarios estacionales para años con diferentes condiciones hidrológicas (tomado de la NMX-AA-159-SCFI-2012).

Condiciones Hidrológicas	Percentiles
Régimen de caudales ordinarios estacionales para años húmedos	75
Régimen de caudales ordinarios estacionales para años medios	25
Régimen de caudales ordinarios estacionales para años secos	10
Régimen de caudales ordinarios estacionales para años muy secos	0

Considerando el objetivo ambiental definido y los caudales ordinarios estacionales calculados, se eligieron las frecuencias de ocurrencia dadas en la [Tabla 5](#).

Tabla 5. Criterios para la integración de los caudales ordinarios a partir de las frecuencias de ocurrencia bajo distintas condiciones hidrológicas para los objetivos ambientales (tomado de la NMX-AA-159-SCFI-2012).

Objetivo ambiental	Frecuencias de ocurrencia de los regímenes de caudales ordinarios estacionales			
	Húmedo	Medio	Seco	Muy seco
A	0.1	0.4	0.3	0.2
B	0.0	0.2	0.4	0.4
C	0.0	0.0	0.4	0.6
D	0.0	0.0	0.0	1.0

Para determinar el Qecol* de los diferentes regímenes de caudales ordinarios estacionales (húmedos, medios, secos y muy secos), se tomó el volumen anual de cada uno de ellos, se multiplicó por sus correspondientes frecuencias de ocurrencia definidas y se sumaron para consolidar el volumen de caudales ecológicos ordinarios estacionales (detalle del método en el Anexo 1). Finalmente, estos volúmenes se dividieron entre los escurrimientos medios anuales, obteniendo el porcentaje dado.

4. Resultados

Por su ubicación geográfica, orográfica y climática, en todos los ríos estudiados del Pacífico se observó una variación en el régimen de sus caudales ordinarios en cuatro tipos de años, marcándose dos épocas climáticas: la de lluvias (de junio a septiembre) y el resto de los meses, aunque con diferencias entre los volúmenes de escurrimiento. Sin embargo, el río Tehuantepec no mostró patrón alguno. Las diferencias que ocurrían entre las dos épocas climáticas en los ríos del Pacífico no fueron observadas claramente en los ríos del Golfo.

Dentro de las cuencas del Golfo destacan resultados extremos; por ejemplo, para el río Bravo se le definió una importancia ecológica Baja, resultado de una presión por el uso del agua Muy Alta. Por lo mismo, se le asignó un objetivo ambiental deficiente D con un Qecol* de 4.5% ([Tablas 3 y 7](#)). En acorde con algunos autores [17], [12], este tipo de caudal se considera como el mínimo recomendable a corto plazo para mantener el hábitat a nivel de sobrevivencia para la mayoría de las formas de vida en el cauce.

Por el contrario, las mejores condiciones correspondieron al estado de Veracruz, especialmente para los

ríos Pánuco y el Papaloapan. Por lo mismo, se les asignó un Qecol* correspondiente a un porcentaje del 74% y 78%, respectivamente, debido a que ambos están catalogados con una importancia ecológica Muy Alta y con Baja presión en el uso del agua ([Tabla 7](#)). Esta condición permite asignar al río un caudal que genera un hábitat que es excelente a excepcional para la mayoría de las formas de vida acuática durante el periodo de crecimiento inicial, así como para diversos usos recreativos.

En el estado de Tabasco se destacó la cuenca Alto Grijalva, a la cual se le calculó un porcentaje de Qecol* del 68%, debido a que tiene una Alta importancia ecológica y una Baja presión de uso del agua. Por lo tanto, se le ha asignado un objetivo ambiental A (Muy Bueno), con un caudal catalogado como excelente a excepcional. Sin embargo, el río Samaria, afluente del Grijalva con un alto escurrimiento, se le caracterizó por condiciones ambientales contrastantes como se observa en la [Tabla 7](#), y por lo tanto, se le ha asignado un porcentaje de Qecol* de 33%, por la presión del uso del agua Baja (objetivo ambiental B = Bueno). El río Champotón fue el calificado de importancia ecológica Baja y con una presión del uso del agua Baja, por lo tanto se le asignó un caudal Qecol* del 20%, aunque presenta modificaciones en su geomorfología.

Los caudales correspondientes al 20–30% permiten adecuar el hábitat para la sobrevivencia de las diferentes formas de vida acuática en los ríos, porque el ancho de la superficie libre del agua, la profundidad y la velocidad son satisfactorias [12].

Dentro de las cuencas del Pacífico mexicano, estaban en orden de importancia los ríos Verde, Ometepe y Piaxtla; con porcentajes de Qecol* de 72%, 71%, y 71%, respectivamente, debido a su importancia ecológica Muy Alta o Alta, y a que la presión del uso del suelo sobre ellos es Baja. Por lo mismo, se les puede asignar un objetivo ambiental A (Muy Bueno), y concederles un caudal que generará un hábitat excelente a excepcional para la mayoría de las formas de vida acuática durante el periodo de crecimiento inicial, así como para diversos usos recreativos. Sin embargo, los ríos de condiciones opuestas y extremas en el Qecol* fueron el Culiacán con 4% y Tehuantepec con 15%, dadas sus presiones de uso del Agua entre Media y Muy Alta, y el objetivo ambiental elegido fue D o Deficiente ([Tabla 3](#)). Por lo tanto, el caudal asignado se considerará como el mínimo recomendable a corto plazo para mantener el hábitat a nivel de sobrevivencia para la mayoría de las formas de vida en el cauce.

Los resultados del caudal ecológico obtenidos para las diferentes condiciones hidrológicas permiten visualizar la variabilidad de los Qecol* en los meses del año.

Tabla 6. Ubicación de las estaciones hidrométricas con sus correspondientes ríos y el número de años para el cálculo ecológico.

Estado	Nombre del Río	Estación Hidrométrica	Latitud N	Longitud W	Años de Registros
GOLFO DE MEXICO					
Tamaulipas	Bravo-Matamoros	25098 Matamoros	25° 59' 21"	98° 29' 06"	62
	Bravo- Brownsville	24323 Brownsville	25° 52' 33"	97° 27' 18"	62
Veracruz	Pánuco	26424 Pánuco	22° 03' 27"	98° 10' 14"	34
	Tecolutla	27048 El Remolino	20° 23' 35" 19° 04' 06"	97° 14' 22"	38
	Jamapa	28040 El Tejar	19° 02' 30"	96° 09' 36"	54
	Coaxtla	28039 Paso del Toro	18° 09' 02"	96° 08' 24"	59
	Papaloapan	28014, Veracruz	17° 26' 17"	96° 05' 55"	59
	Coatzacoalcos	29005 Las Perlas		94° 52' 00"	58
Tabasco	Tonalá	29010 San José del Carmen	19° 53' 00"	95° 08' 00"	31
	Grijalva	30083 Gaviotas	17° 58' 00"	92° 55' 00" 93° 17' 30"	49
	Samaria	30005 Samaria	17° 58' 45"	92° 58' 00"	65
	Teapa	30032 Teapa	17° 34' 00"	93° 00' 00"	62
	Carrizal	30062 González	17° 58' 30"	92° 36' 00"	41
	Macuspana	30055 Macuspana	17° 46' 00"		56
Campeche	Palizada	30199 Palizada	18° 18' 32"	91° 05' 54"	19
	Candelaria	30181 Candelaria	18° 10' 58"	91° 03' 01"	57
	Champotón	31002 Canasayab	19° 18' 00'	90° 31' 00"	54
PACIFICO MEXICANO					
Sonora	Mayo	09067 San Bernardo	27° 24' 45"	108° 52' 55"	51
Sinaloa	Culiacán	10018 Puente Sud-Pacífico	24° 48' 20"	107° 24' 15"	68
	Piactla	10111, Piactla	23° 56' 00"	106° 25' 30"	45
	Presido	11058 Siqueiros	23° 00' 30"	106° 15' 00"	56
	Baluarte	11016 Baluarte II	22° 59' 00"	105° 50' 30"	62
Colima	Armería	16034 Peñitas	19° 19' 00"	103° 49' 00"	57
Jalisco	San Nicolás	15014, Higuera Blanca II	19° 39' 39"	105° 09' 45"	42
Guerrero	Papagayo	20031 La Parota	16° 55' 45"	99° 37' 30"	42
	Ometepec	20043 Quetzala	16° 25' 28"	97° 36' 55"	47
Oaxaca	Verde	20016 Carrizo	16° 39' 30"	98° 30' 25"	31
	Tehuantepec	22032 Canal Principal	16° 22' 15"	95° 16' 15"	51

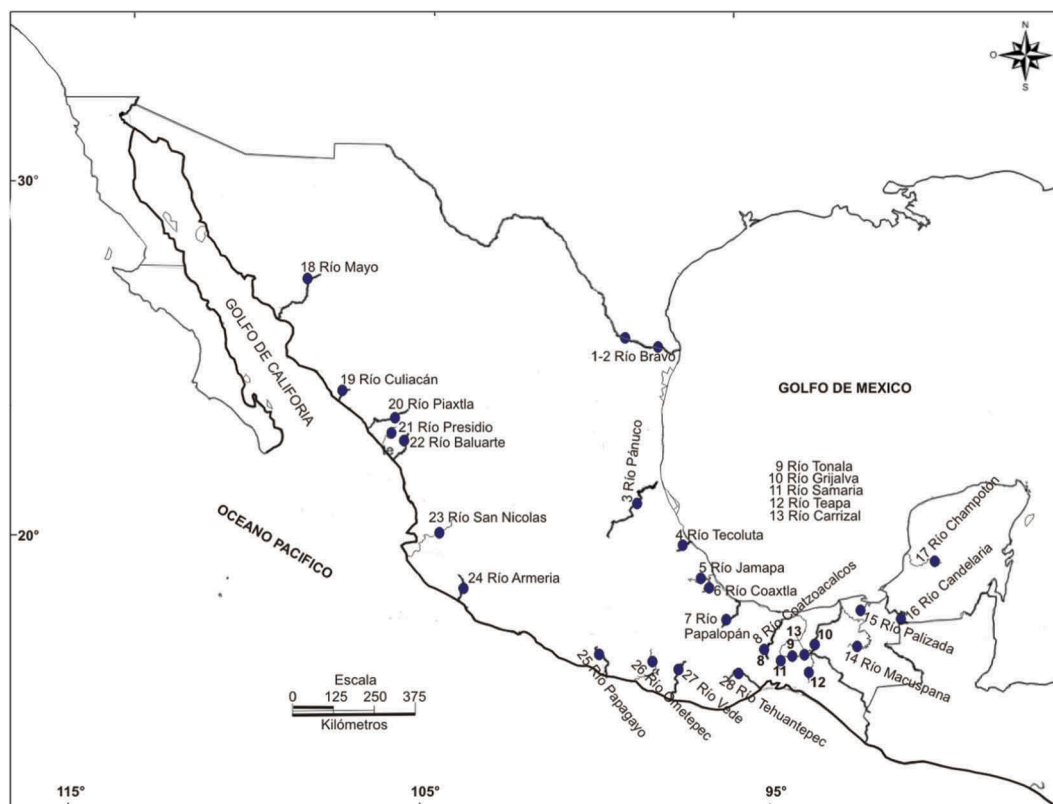
**Figura 1.** Ubicación de las estaciones hidrométricas, por río elegido.

Tabla 7. Características hidrológicas para determinar el caudal ecológico elegido proveniente de los caudales ordinarios estacionales (Qecol*) en ríos perennes, a través de la aproximación hidrológica detallada.

Nombre del Río	Nombre de la estación	Área en km ²	Long km	Importancia Ecológica	Presión por el uso de agua	Objetivo ambiental	Porcentaje recomendado del caudal (Qecol*)	Escurrimiento medio anual hm ³ reportado	Escurrimiento medio anual hm ³ calculado
Golfo de México									
Bravo	Brownsville-Matamoros	225,242	3059	Baja	Muy Alta	D	4.5%	794	1003
Pánuco	Pánuco	84,956	510	Muy Alta	Baja	A	7.4%	14,038	12,587
Tecolutla	El Remolino	7342	375	Muy Alta	Media	A	69%	6026	5931
Jamapa	El Tejar	1924	181	Alta	Muy Alta	D	33%	560	566
Cotaxtla	Paso del Toro	1679	178	Alta	Media	B	5.4%	1359	1421
Papaloapan	Papaloapan	46,517	354	Muy Alta	Baja	A	7.8%	19,995	17,992
Coatzacoalcos	Las Perlas	23,956	325	Media	Baja	B	5.3%	14,597	14,872
Tonalá	Choapas	6000	325	Media	Baja	B	4.7%	4124	4680
Grijalva (Alto Grijalva)	Las Gaviotas II	6640	600	Muy Alta	Baja	A	6.8%	9600	9093
Samaría	Samaría	687	57	Baja	Baja	B	3.7%	16,312	15,440
Teapa	Teapa	476	SD	Alta	Baja	A	6.4%	1261	1251
Carrizal	González	1160	62	Muy Alta	Baja	A	5.5%	6745	7541
Macuspana	Macuspana	1739	SD	Media	Baja	B	4.3%	4428	5191
Palizada	Palizada	1273	120	Muy Alta	Baja	A	8.1%	7362	7235
Candelaria	Candelaria	13,713	402	Muy Alta	Baja	A	6.2%	1692	1702
Champotón	Canasayab	649	57	Baja	Baja	B	2.0%	592	521
Continuación, ríos desembocando en el Pacífico									
Mayo	San Bernardo	11,000	386	Media-Alta	Muy alta-Baja	B,D	3.3%	950	947
Culliacán	Puente Sud-Pacífico	17,700	875	Alta/Media	Muy Alta	D	4%	2900	3139
Piaxtla	Piaxtla	11,473	220	Muy Alta/Media	Baja	B	7.1%	1288	987
Presido	Siqueiros	5218	167	Media	Baja	B	2.8%	1082	1024
Baluarte	Baluarte II	5180	155	Alta/Media	Baja	A,B	3.9%	1580	1586
Armería	Colima	10,254	240	Alta	Muy Alta	D	4.6%	325	451
San Nicolás	Higuera Blanca II	2319	92	Muy Alta/Alta	Baja	A	6.4%	1248	1406
Papagayo	Papagayo	1793	200	Alta/Baja	Alta/Baja	A,B,C	6.1%	4386	4127
Ometepec	Quetzala	6922	115	Alta/Baja	Baja/Media	A,B,C	7.1%	4459	3069
Verde	Carrizal	18,812	342	Alta	Baja	A	7.2%	5250	4953
Tehuantepec	Canal Principal	10,090	240	Alta/Baja	Mediar/Muy Alta	D	1.5%	950	827

Dentro de los caudales más importantes del estado de Veracruz, vertiendo en el Golfo de México, se destacaron dos ríos: Pánuco con dos máximos (julio y octubre) y el Papaloapan, que comprendió el mayor número de meses (desde julio a octubre), los que mantuvieron un caudal ecológico Muy Bueno y un objetivo ambiental A, que son ejemplos de una buena dinámica fluvial.

Para las cuencas vertiendo al Pacífico, sólo el río Verde presentó dos máximos (julio y septiembre), con un Qecol* Muy Bueno; los demás ríos mostraron sólo un pico en septiembre, como fue evidente en los ríos Ometepepec y Papagayo. Los ríos Culiacán y Tehuantepec, con un objetivo ambiental deficiente, fueron los de más bajo Qecol*.

5. Discusión

A pesar de que la cuenca del río Bravo tiene grandes dimensiones (abarca parte de los estados de Coahuila, Durango, Chihuahua, Tamaulipas y Nuevo León), presenta dos grandes presas, y esto disminuye su escurrimiento (o régimen de caudal ordinario) antes de llegar al Golfo de México. Las ciudades del norte del país, ubicadas en climas desérticos o semidesérticos, les han demandado agua dirigida fundamentalmente a la agricultura. Sin embargo, en la actualidad se ha registrado un abandono de tierras de uso agrícola, un aumento de las áreas cubiertas por uso urbano y un incremento sustancial de pastizales probablemente derivado del abandono de áreas para la agricultura, como lo señalan Días Caravantes et al. [18]. Esta cuenca está caracterizada por largos periodos de baja escurrimiento [19]. El caudal ecológico asignado conforme a su objetivo ambiental (D = Muy Bajo), por la alta presión sobre el recurso acuático, generará condiciones ambientales que implican la reducción significativa de su ancho, profundidad y velocidad del flujo, con una degradación del hábitat acuático. La mitad del substrato o posible perímetro mojado del río quedará expuesto a la intemperie y la exposición será mayor, excepto en las áreas anchas, en los rápidos de poca profundidad y en las barras. Los canales laterales y las barras mostrarán desecación severa o total y las islas dejarán de funcionar como hábitat para nidos, guaridas, criaderos y refugios de la fauna silvestre. La cobertura vegetal de la ribera disminuirá notablemente por la falta de agua y se perderá su utilidad como hábitat para peces y madrigueras para mamíferos. En los tramos someros, la temperatura del agua será con frecuencia un factor limitante que reducirá de manera considerable la presencia de invertebrados, especialmente durante los meses cálidos. Esto inducirá la concentración de peces en las pozas y en

los rápidos más profundos a favor de la pesca, pero aumentará el riesgo de sobreexplotación [17], [12].

Las corrientes que tienen drenaje a la región del Golfo Centro son de régimen torrencial y en el estiaje se aprovechan para la generación de energía eléctrica. El río Pánuco presenta cinco afluentes y solamente una presa importante (Las Ánimas) y El Papaloapan tiene dos presas en sus afluentes. En la región Golfo Sur, que es la más húmeda del país, el Coatzacoalcos, Tonalá y Grijalva-Usumacinta (los dos últimos nacen en Guatemala y buena parte de la cuenca se encuentra en el estado de Tabasco, México) presentan un caudal ecológico acorde con el objetivo ambiental A = Muy Bueno, por la Baja presión de uso sobre el agua; y como lo señala Tennat [17], el ancho del río, su profundidad y la velocidad de la corriente favorecerán los hábitats en estos ríos. La mayor parte del substrato estará cubierto con agua, incluyendo rápidos y áreas de poca profundidad, como los cauces laterales. Algunas barras de grava estarán expuestas y la mayoría de las islas serán aptas para que la fauna silvestre anide, críe, se guardezca o refugie. La vegetación ribereña tendrá suficiente agua y proveerá zonas seguras para los peces y cobertura para madrigueras de la fauna silvestre. Las pozas y rápidos estarán cubiertos con agua suficiente para brindar un excelente hábitat para la crianza y alimentación de peces, y no representará problema para su migración. Las temperaturas del agua no serán un factor limitante para la vida en ningún tramo del río. Los invertebrados serán variados y abundantes. La calidad y cantidad de agua serán excelentes para la pesca y la navegación en canoas, balsas y barcas mayores, así como para la recreación en general.

Cabe señalar que en los ríos de Tabasco se ubican cuatro grandes presas: Angostura, Chicoasén, Malpaso y Peñita, que incluyen también al estado vecino de Chiapas. Aún con la presencia de esos embalses, sus regímenes de caudal ordinario no han marcado gran diferencia anual, ya que se ubican en cuencas que presentan un clima cálido e húmedo en un 95%, y reciben lluvias todo el año [1]. Solamente en años muy secos, los ríos Samaria y Teapa (afluentes del Grijalva) han mostrado condiciones de bajo escurrimiento. Sin embargo, cabe señalar que el Samaria es un río que frecuentemente ha presentado inundaciones, condición que ha implicado un manejo de su cauce a través de la construcción de muros de retención. Esto se ha sumado a otros impactos como la substitución de la vegetación primaria en un 90% para destinar el uso del suelo a actividades antropogénicas como la agricultura y la ganadería [20], [21]. Asimismo, Bueno et al. [21] se refieren a

que las condiciones de este río, aun cuando fueran similares a las del Mezcalapa-Carrizal en cuanto al flujo rápido y abundante, determinaron una baja diversidad de organismos bentónicos y la presencia de asentamientos humanos a lo largo de los márgenes, lo que significó un aumento de las descargas urbanas y la desaparición de la cobertura vegetal; dichas razones fueron las que justificaron que fuera calificado con objetivo ambiental B, con un bajo porcentaje del Qecol* (37%). En acorde con González-Villela y Banderas [12], para el 30% del caudal medio anual, el hábitat para la sobrevivencia de las formas de vida acuática será adecuado. El ancho de la superficie libre del agua, su profundidad y la velocidad son satisfactorias. El agua cubre la mayor parte del substrato, excepto en las zonas muy anchas, en los rápidos de poca profundidad o en las barras. La mayoría de los cauces laterales llevan poca agua y sus barras de grava están parcialmente hundidas. Muchas islas son hábitat para nidos, guaridas, criaderos y refugios de vida silvestre. Las riberas con cobertura vegetal proveen hábitats y guaridas para peces y animales silvestres. Muchos rápidos y pozos son suficientemente profundos para ser habitados por peces. A la vegetación ribereña no le falta agua y genera un paisaje agradable. Los peces grandes pasan por los rápidos. La temperatura del agua no es limitante para el desarrollo de la vida acuática, en la mayor parte del río. Los invertebrados se han reducido, pero no son un factor limitante en la producción pesquera. La cantidad y la calidad del agua favorecen la pesca, la flotación y el recreo, especialmente con canoas, balsas de caucho y embarcaciones pequeñas de poco calado.

Un caso particular es el río Teapa, en donde se le calculó un porcentaje Qecol* del 64% basado en una importancia ecológica Alta, situación poco explicable porque se le conoce como un arroyo, y además se ubica la Presa la Cangrejera, cuya función es solamente abastecer de agua en bloque a los complejos petroquímicos de PEMEX y a la industria asentada en el margen derecho del río Coatzacoalcos, por lo tanto las características bióticas del río corresponderán con un objetivo ambiental A = Muy Bueno.

El río Champotón, en el estado de Campeche, a pesar de tener un objetivo ambiental bueno (B) presenta un volumen de escurrimiento bajo, y consecuentemente un Qecol* también bajo, del 20%. Aunque la presión por el uso del agua es Baja, se ha azolvado tanto en forma natural como por diferentes impactos antropogénicos, entre otros: la desecación, los rellenos, la pérdida de vegetación y las obras de construcción. Respecto a los del Pacífico, los regímenes ordinarios de escurrimiento mostraron claramente la diferencia entre

la época lluviosa y el estiaje, a excepción del Tehuantepec. Cabe mencionar que, de las cuencas con mayor escurrimiento, solamente la del Río Verde tuvo una importancia ecológica Alta, con Baja presión sobre el recurso; y por lo tanto, se le puede asignar un Qecol* de 72%. Aunque cuenta con la presa derivadora Flores Magón en la parte baja de su cuenca, que implicaría consecuentes cambios en la morfología del río [22] [23], no disminuye su escurrimiento (objetivo ambiental A = Muy Bueno). Sin embargo, cuencas como la de Culiacán, en donde se ha incrementado la presión del uso del agua y se le han construido varias presas en su cuenca (por ejemplo: las presas Sanalona, Adolfo López Mateos, Varejonal), debido a la alta presión se le calculó un Qecol* muy bajo (4%) y una condición deficiente; caso parecido al río Tehuantepec, que tiene la presa Benito Juárez y alcanza un 15% del Qecol* (Tabla 7).

Dado que las bases de datos de escurrimiento no presentan registros recientes para ciertas estaciones hidrométricas, en muchos casos no se acoplaron con el incremento de las actividades antropogénicas como en los ríos Baluarte y Presidio (con presas Picacho y Siqueiros); y con un aumento en las actividades agrícolas, acuícolas, e incluso mineras, y un acelerado crecimiento poblacional. Es decir, una presión intensa del uso del agua en una latitud de por sí semiárida, con regímenes ordinarios bajos en años secos en donde se puede incluir también al Río Armería.

En todos aquellos tramos en donde se han construido obras hidráulicas (como grandes presas o derivadoras), o tomas de agua (como para bombeo de pozos y derivaciones), ha existido una baja en los escurrimientos. Ejemplo de ello ha sido la cuenca del Río Armería y sus afluentes, donde se determinó una disminución en su escurrimiento por la presencia de 61 presas, además de la derivadora Peñitas [24], lo que ha modificado significativamente el régimen hidrológico natural, y consecuentemente, el aporte a los ecosistemas acuáticos asociados: por lo tanto su estado ecológico ha sido calificado como deficiente, con un caudal solo recomendable a corto plazo para mantener el hábitat a nivel de sobrevivencia para la mayoría de las formas de vida dependientes del cauce.

Los ríos entre Jalisco y Oaxaca, en el Pacífico, nos han mostrado una disminución en su régimen de caudales ordinarios, lo cual puede ser resultado de la diferente intensidad del uso del agua, de la latitud y del clima local (cálido subhúmedo con lluvias de verano). Cabe destacar que el Río Papagayo, en el estado Guerrero, es caudaloso, con un clima subhúmedo en el 85% [1], con una mayor incidencia de eventos extraordinarios como ciclones tropicales [25] [26], con un

régimen ordinario semejante en sus diferentes tipos de años, con una sola presa (La Venta) y una presión del uso del agua Mediana. Dado todo lo anterior, se le puede asignar un Qecol* del 61% (objetivo ambiental A = Muy Bueno).

Como se muestra en la [Tabla 7](#), las cuencas elegidas del Golfo de México todas son alóctonas distantes. Por su superficie y longitud destacan las de: el Bravo, el Pánuco, el Papaloapan, el Grijalva con sus grandes afluentes, el Coatzacoalcos y el Candelaria, en ese orden de magnitud; son consideradas todas ellas como exorreicos, basado en la clasificación de Ortiz-Pérez [27].

De los 11 ríos estudiados del lado del Pacífico, en su mayoría alóctonos distantes, se pudo registrar un mayor número de cuencas con importancia ecológica Alta y con una presión de uso del agua Muy Alta, dada por la densidad agrícola, fundamentalmente. El cálculo ecológico mensual del Río Verde (Oaxaca), se estimó en 13.2 a 15.8 m³/s para la época muy seca (abril), con una base de datos de escurrimiento de 32 años de la estación hidrométrica El Carrizo [28]. Por su parte, González Villela y Banderas Tarabay [12] calcularon su caudal por el método de Tennant de 12.75 a 30 m³/s para la época seca (abril), con una base de escurrimiento tomada por 42 años en la misma estación hidrométrica. Ambos resultados, aunque presentan diferencias metodológicas, están dentro del intervalo estadísticamente aceptable, dada la variabilidad en los escurrimientos interanuales.

Se debe mencionar la importancia de la ubicación de las estaciones hidrométricas en un mismo cauce, considerando que no es el mismo escurrimiento si es que existen afluentes o efluentes con variaciones, tanto espaciales como temporales. Por esta razón, se pueden encontrar en la literatura diferentes porcentajes del caudal ecológico. Por ejemplo, en el presente estudio en la estación Piactla 1 en Sinaloa, se le calculó un 71 % de Qecol*, con un objetivo ambiental clase B. Por su parte, de la Lanza Espino et al. [11], en el mismo río pero en la cuenca Piactla 2, estimaron un Qecol* del 61% con un objetivo ambiental A, lo que significa que en una misma cuenca, el trayecto del río puede presentar varias condiciones ambientales y de presión del recurso, que pueden conducir a la asignación de diferentes porcentajes de caudal ecológico en sus diferentes tramos.

Es recomendable incluir el mayor número de estaciones hidrométricas, tanto en la cuenca alta, media y baja, para disminuir la incertidumbre de los registros y la adecuada asignación de los caudales ecológicos. Con base en lo último, González Mora et al. [10], en la cuenca Copalita-Zimatán-Huatulco (en el estado de

Oaxaca), determinaron los caudales ecológicos en dos condiciones: para los años húmedos y secos, entre el 84% y 42% respectivamente, tomando en cuenta las cuencas alta, media y baja, y además dejando las avenidas como naturales, es decir sin calcular los componentes de esa parte del régimen de caudales, porque allí no hay infraestructuras de control. Esto es posible, siempre y cuando se cuentan con las bases de datos para esos tres niveles, y por lo menos con 20 años de registros, que incluirían años muy secos, secos, húmedos y muy húmedos. En la misma vertiente del Pacífico, y tomando como base la presente metodología, Sánchez Navarro y Barrios Ordoñez [15] calcularon 63% para el Río San Pedro Mezquital (en Nayarit) que difiere escasamente de los ejemplos anteriores, pero en condiciones climáticas, hidrográficas y presiones del uso del agua distintas. En este caso, como en el del Piactla [11], sí se calculó la parte correspondiente a las avenidas. Éste es otro factor que debe considerarse al comparar los resultados de caudal ecológico de las cuencas. Finalmente, ante la variabilidad espacio-temporal y la calidad o incertidumbre de la base de los datos, los presentes resultados deben considerarse en un marco hidrológico instantáneo.

En los ríos regulados por presas, la drástica reducción en el régimen de caudales puede modificar la abundancia de una o más especies en las zonas de inundación, y el abatimiento o desaparición de la vegetación ripariana. Un decremento en los caudales del río puede reducir las áreas rocosas y afectar a las grandes especies depredadoras y territoriales, que prefieren áreas profundas con un sustrato rocoso para la crianza y la anidación. Los repentinos e incontrolables incrementos en el caudal debido a el manejo de la presa pueden erosionar al sustrato y arrastrar a la comunidad de invertebrados río abajo, los mismos que son la fuente principal de alimento para los peces. También se ve afectada la cubierta vegetal que es importante para diversas actividades de los peces, originando un cambio en su abundancia y diversidad [17].

La variación natural intra- e inter-anual de los regímenes del caudal son necesarios para sostener la biodiversidad y la evolución potencial del ecosistema ripario, y de los humedales. Es necesario proteger y/o restaurar el caudal natural para proteger a las especies asociadas al río. El manejo efectivo del ecosistema ripario requiere de la determinación de los regímenes del caudal, caracterizados utilizando parámetros hidrológicos biológicamente relevantes, cuantificando el grado de uso del recurso y la alteración de los caudales, para determinar los objetivos ambientales con base en las condiciones de la biota y sus tendencias [30], [31]. Por lo mismo, dada la problemática en

México y el continente asociada a la disminución del agua en los cauces, y derivada de la competencia entre usos y la falta de regulación conforme la disponibilidad del recurso, esta norma puede ser de aplicación generalizada, dada su plasticidad y a la necesidad de garantizar un régimen de caudal ecológico en las corrientes o los escurrimientos de los ríos, para tratar de mantener el equilibrio de los elementos naturales que intervienen en el ciclo hidrológico, así como la protección de los ecosistemas riparios, y los ecosistemas acuáticos, terrestres y costeros.

La determinación del caudal ecológico en los ríos es un proceso iterativo en el cual las acciones adoptadas por el administrador del agua para la restauración del sistema ripario deben ser evaluadas y monitoreadas continuamente, para generar las recomendaciones y los cambios a través de la observación, prueba y evaluación adaptativa e integral. Por lo mismo, las políticas del manejo de los caudales deben de considerar los problemas sociales, políticos, económicos y ambientales con la intención de evitar conflictos entre los usuarios [22], [23], [25].

El método utilizado de la Norma (NMX-AA-159-SCFI) es fácil y rápido de aplicar, y puede ser utilizado en las fases tempranas del manejo integral y adaptativo de las cuencas hidrográficas; y también se ajusta a las sugerencias y enfoques emitidos por varias instancias internacionales, que consideran que en la cuantificación del caudal ecológico se obtiene un valor umbral por encima del cual una especie indicadora se recupera de las perturbaciones ocasionadas por la falta de escurrimiento. Es decir, los cambios originados en una especie dejan de ser irreversibles, y más bien dependen de la duración de los mismos y de la resiliencia ecológica de la especie. Además de fijar un umbral mínimo y/o máximo destinado a la satisfacción de las necesidades establecidas de manera “ad-hoc” por la sociedad, como se señala en la propuesta argentina [33], [12].

Así mismo, con esta Norma se cumple lo señalado en la legislación española del 2007, donde el objetivo del manejo es la recuperación o conservación de determinados aspectos del régimen natural de caudales, encargados de mantener adecuadas las condiciones del hábitat y de generar los procesos ecológicos, hidrológicos y geomorfológicos. Estos procesos son necesarios para conservar a largo plazo las comunidades biológicas en un estado previamente definido por un panel de expertos en conjunto con la sociedad y los políticos. También cumple con la declaración de Brisbane, Australia de 2007, donde se señala que el caudal ecológico deberá proveer el flujo que sostiene a los ecosistemas de agua dulce y costeros en

coexistencia con la agricultura, la industria y las ciudades, dado el objetivo de restaurar y mantener la integridad del ecosistema, los bienes y servicios que presta, así como la resiliencia de los mismos. Estos son puntos que deben evaluarse socialmente, con la participación de equipos bien informados y científicamente sustentados. De la misma manera, concuerda con lo sugerido en la metodología IFIM, señalado en la VI Jornada del CONAPHI-CHILE [34].

6. Conclusiones

La necesidad de contar con estaciones hidrométricas cuyas bases de datos de escurrimiento sean de por lo menos 20 años y continuos, como lo marca la Norma, es elemental para poder estimar el volumen requerido para la conservación del caudal ecológico; asimismo, es relevante determinarlo en tres niveles de una misma cuenca (nivel alto, medio y bajo), y así permitir integrar las características geomorfológicas, micro-climáticas, e hidrológicas, inclusive las antropogénicas por la presión del uso del agua.

La propuesta del Qecol* es estimativa y determinada en acorde con el régimen de caudales obtenido, el crecimiento poblacional de la región considerada y sus actividades económicas, especialmente las creadas por la presión del uso del agua. Por lo mismo, la metodología empleada determinó la variabilidad espacio-temporal de los escurrimientos, teniendo influencia los represamientos para diversas actividades antropogénicas (consuntivas y no consuntivas), que han disminuido los escurrimientos; y, en consecuencia, en el caudal ecológico para la conservación ambiental.

Las cuencas del Golfo de México se caracterizaron por su objetivo ambiental entre A y B (Bueno a Muy Bueno), resultado de su importancia ecológica Alta y presión del uso del agua Baja, con excepción de los ríos Bravo y Jamapa, con un Qecol* de los más bajos, consecuencia de una Alta presión del uso del agua, especialmente para la actividad agrícola. Sin embargo, el resto de las cuencas mostraron una menor presión hídrica, con un porcentaje recomendado de caudal ecológico entre el 47% y 78%, con excepción del río Champotón, cuyo Qecol* fue 20%. Esto es el resultado de diferentes impactos antropogénicos, debido a modificaciones estructurales no asociadas directamente a la presión por el uso del agua. Los ríos del lado Pacífico se caracterizaron por tener un objetivo ambiental deficiente (D), debido a las diversas actividades antropogénicas y el mayor número de represamientos. Esto se tradujo en una disminución del escurrimiento, agravado por el tipo de años (desde muy seco a seco) con tendencia a la sequía, y por lo tanto en un volumen recomendado para la conservación ambiental o caudal ecológico que varió entre 4% al 72%. Las dos vertientes

que se destacan por un Qecol* muy bajo: el Río Bravo en el Golfo de México y el Río Culiacán en el Pacífico; esta situación viene sumada a los problemas sociopolíticos, socioeconómicos y climáticos del área de sus cauces.

Esta metodología no sólo proporciona un caudal ecológico recomendado. Además, propone objetivos ambientales, asociados a las consecuencias de los cambios de caudal para un rango de posibilidades. Esto permite a los tomadores de decisiones generar una estrategia de manejo para el uso sostenible del agua, regular el volumen anual de extracción de agua superficial, y determinar los volúmenes anuales correspondientes a las reservas [35].

En este estudio se pretende demostrar que la metodología de la aproximación hidrológica detallada, propuesta por la Alianza WWF-Fundación Gonzalo Río Arronte, es útil para el manejo de los datos y para la elaboración de un plan estructurado con base en la información hidrológica disponible. Con la determinación del Qecol* se pretende abatir la pérdida de hábitats naturales, reducir los impactos generados por el uso antrópico del agua, asegurar las fuentes de agua, y mejorar la eficiencia del uso del agua, protegiendo a los humedales, zonas de almacenamiento y la recarga de las aguas subterráneas.

En el caso de los proyectos de desarrollo, la determinación de los caudales ambientales es un componente esencial en las evaluaciones de impacto. La alteración del régimen de caudales en los ríos siempre mantendrá una condición de impacto potencialmente severa. Estos impactos pueden frecuentemente ser mitigados a través del diseño e implementación de los caudales ecológicos, caudales de compensación o programas de desarrollo de las comunidades.

Bibliografía

- [1] García Amaro de Miranda, E. (2003). Distribución de la precipitación en la República Mexicana. *Investig. Geográf.*, 50, 67–76.
- [2] Mosiño, P. A. (1974). Los climas de la República Mexicana. Es un Capítulo. En de Z. Cserna (Ed), *El escenario geográfico*. (pp. 57–172). México: Secretaría de Educación Pública, Instituto Nacional de Antropología e Historia. Recuperado de: <http://www.funprover.org>.
- [3] De la Lanza Espino, G., & García Calderón, J. L. (1995). *Lagos y Presas de México*. Ciudad de México, Distrito Federal: Centro de Ecología y Desarrollo.
- [4] Abarca F. J., & Herzig M. (2002). *Manual para el Manejo y Conservación de los Humedales en México*. Lugar: PRONATURA, SEMARNAT, DUMAC, NAWCC.
- [5] CONAGUA-WWF-Alianza Gonzalo Río Arronte (2012). *Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012 que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas*.
- [6] Alianza World Wildlife Fund (WWF)-Fundación Gonzalo Río Arronte (FGRA)-CONAGUA (2011). *Identificación de reservas potenciales de agua para el medio ambiente en México*. Comisión Nacional del Agua-WWF-FGRA. Recuperado en: http://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/fs_reservas_de_agua_esp.pdf.
- [7] CONAGUA (2011). *Identificación de las Reservas Potenciales de Agua para el Medio Ambiente en México*. Ciudad de México, Distrito Federal, Comisión Nacional del Agua, SEMARNAT. Recuperado en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGT-3-11Media.pdf>.
- [8] Gobierno Mexicano (2012). Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012; Recuperado en: <http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166834/NMX-AA-159-SCFI-2012.pdf>.
- [9] González Villena, R., & Banderas Tarabay, A. (2007). *Estudio Comparativo de Tres Metodologías para en Manejo y Cálculo de Caudales Ambientales en el Río Santiago*; Libro electrónico del Congreso Nacional y Reunión Mesoamericana para el manejo de cuencas hidrográficas del UAQ-INE, Nayarit, México.
- [10] González Mora, I. D., de la Lanza Espino, G., & Sánchez Navarro, R. (2009). *Propuesta de caudal ecológico en la cuenca Copalita-Zimatán-Huatulco* (pp.13–19). World Wildlife Fund (WWF-México), Fundación Río Arronte Gonzalo.
- [11] De la Lanza Espino, G., Salinas Rodríguez, S., & Carbajal Pérez, J. L. (2015). Cálculo del flujo ambiental como sustento para la reserva de agua al ambiente del río Piaxtla, Sinaloa, México. *Investig. Geográf.*, 85, 25–38.
- [12] González Villela, R., & Banderas Tarabay, A. (2015). *Metodologías Para el Cálculo de Caudales Ecológicos y Ambientales en Ríos Regulados por Presas*. Ciudad de México, Mexico: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- [13] Banco Nacional de Datos (BANDAS), CONAGUA (2006). Recuperado de: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/Portada%20BANDAS.htm>
- [14] De la Lanza Espino G., Carbajal Pérez J.L., Salinas Rodríguez S., & Barrios Ordoñez E. Medición del caudal ecológico del Río Acaponeta, Nayarit, comparando distintos intervalos de tiempo. *Investig. Geográf.*, 78, 62–74.
- [15] Sánchez Navarro, R., & Barrios Ordoñez, E. (2011). Caudal ecológico: propuesta metodológica. Ejemplo de caso río San Pedro Mezquitlan, Marismas Nacionales, Nayarit. Este es un capítulo. 21En Hernández Pulido S. de la Lanza Espino (Ed.), *Ambiente, Biología, Sociedad, Manejo y Legislación de Sistemas Costeros Mexicanos* (pp. 437–468). México: Ciudad de México. Recuperado en: <http://www.funprover.org/Geomatica/PDFs/CLIMAREPMEX.pdf>.
- [16] Tharme, R. E. (2003). A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. *Riv. Res. Appl.*, 19, 397–441.
- [17] Tennant, D. L. (1976). *Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources* [Regímenes de flujo de agua para peces, animales,

- recreación y recursos del medio ambiente]. MT: US Fish and Wildlife Service.
- [18] Díaz Caravantes, R. E., Bravo Peña, L. C., Alatorre Cejudo, L. C., & Sánchez Flores, E. (2014) Análisis geoespacial de la interacción entre el uso del suelo y del agua en el área peri-urbana de Cuauhtémoc, Chihuahua. Un estudio socioambiental en el norte de México. *Investig. Geográf.*, 83, 16–130.
- [19] Aguilar, I., & Mathis, M. La Cuenca del Bravo. (2005) Esto es un capítulo. En A. A. Cortez, S. Whiteford, & M. Chávez M. (Eds.), *Agua y desarrollo económico en la región binacional del bajo Río Grande/Río Bravo, en Estados Unidos/México* (pp. 99–124). Tijuana, México: Colegio de la Frontera Norte (COLEF). Recuperado en: <http://www.colsan.edu.mx/investigacion/aguaysociedad/proyectofrontera/Documentos/LA%20CUENCA%20DEL%20BRAVO.pdf>.
- [20] SEMARNAT-CONAGUA-Comisión NACIONAL DEL AGUA (Conagua) Dirección Local Tabasco Coordinación del PHIT (2003). Recuperado de: <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/tab/estudios/2011/27TA2011H0025.pdf> (mayo 2017).
- [21] Bueno Soria, J., Santiago Fragoso, S., & Barba Álvarez, R. (2005). Insectos acuáticos. Este es un capítulo. En J. Bueno, F. Álvarez, & S. Santiago S. (Eds.), *Biodiversidad del Estado de Tabasco* (pp. 195–224). CONABIO; Instituto de Biología, UNAM.
- [22] Abal, E. G., Bunn, S. E., & Dennison, W. C. (Eds.) (2005). *Healthy Watersheds. Healthy Catchments: Making the connection in South East Queensland, Australia*. [Cauces Saludables. Pozos de captura de agua saludables: Haciendo la conexión en el SE de Queensland, Australia.] Brisbane, Australia: Moreton Bay Waterways and Catchments Partnership.
- [23] Arthington, A. S., Poff Bunn, L., & Naiman, R. J. (2006). The challenge of providing environmental flow rules to sustain river ecosystems. [El reto de proveer reglas de flujo para sostener los ecosistemas de los ríos] *Ecolog. Applicat.*, 16, 1311–1318.
- [24] Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (2017). *Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios técnicos de aguas nacionales superficiales de la subregión hidrológica Río Armería de la Región Hidrológica*. Armería, Coahuila, 16. Recuperado de: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5280549, y http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp_025.html.
- [25] CONAGUA (2012). *Atlas Digital del Agua. Sistema Nacional de Información del Agua*. México City, México. Recuperado de: <http://siga.cna.gob.mx/Atlas/>.
- [26] Rosengaus Moshinsky, M., Jiménez Espinosa, M., & Vázquez Conde, MT. (2014). *Atlas climatológico de ciclones tropicales en México*. México: CENAPRED-IMTA.
- [27] Ortiz Pérez, M. A. (2009). *Clasificación eco-geográfica de cuencas hidrográficas de México*. Recuperado de: <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/639/clasificacion.pdf>.
- [28] Espinoza Ayala, J., González, A. J., Rocchiccioli, H., Xiangyue, L., Mejía, M. Á., & González Hita, L. (2011). El Río Verde, Oaxaca: estudio de sus cambios de morfología. *Tecnolog. Ciencias Agua, II*, 31–147.
- [29] Richter, B. D., Warner, A. T., Meñyer, J. L., & Lutz, K. (2006). A collaborative and adaptive process for developing environmental flow recommendations [Un proceso colaborativo e adaptativo para hacer recomendaciones de flujo para el ambiente natural]. *River Res. Applicat.*, 22, 297–318.
- [30] Richter, B. D., Baumgartner, J. V., Powell, J., & Braun, D. P. (1996). A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems [Un método para evaluar alteraciones hidrológicas dentro de ecosistemas]. *Conservat. Biol.*, 10, 1163–1174.
- [31] Brown, C., & King, Y. J. (2003). Environmental flows: concepts and methods [Flujo de agua en el medio ambiente: conceptos y métodos]. En: R. Davis, & R. Hirji (Eds.). *Water Resource and Environment Technical Note 1*. Washington, D.C.: The International Bank for Reconstruction and Development of The World Bank.
- [32] Poff, N. L., Richter, B., Arthington, A.H., Bunn, S., Naiman, R. J., Kendy, E., Acreman, M., Apse, C., Bledsoe, B. P., Freeman, M. C., Henriksen, J., Jacobson, R., Kennen, J. G., Merritt, D., O’Keeffe, J., Olden, J., Rogers, K., Tharme, R. E., & Warner, A. (2009). The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): a new framework for developing regional environmental flow standards [Los límites ecológicos de la alteración hidrológica: un nuevo encuadro para formular estándares de flujo regional]. *Freshwater Biol.*, 55, 147–176.
- [33] Gaviño N. M. (2007). *Propuesta para la realización de un Curso-Entrenamiento para la determinación de caudales ecológicos y ambientales con particular mención al Método DRIFT*. Argentina: Marcelo Gaviño Novillo y Asociados.
- [34] Espinoza, C. C., Vargas, M. X., & Pardo, P. M. (2007). *Metodología Incremental para la Asignación de Caudales Mínimos Aconsejables*, IFIM, Chile: VI Jornadas del CONAPHI.
- [35] NOM-011-CONAGUA (2015). Recuperado en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5387027&fecha=27/03/2015

APÉNDICE NORMATIVO D

Metodología hidrológica para determinar el régimen de caudal ecológico en corrientes o cuerpos de agua nacionales a nivel de cuenca hidrológica. Aproximación metodológica propuesta por la Alianza WWF-fundación Gonzalo Río Arronte, I.A.P.

Aproximación hidrológica detallada.

La información requerida es la siguiente:

- Información hidrológica. Se requiere una serie basada en un régimen natural (donde no existen cambios significativos por efecto del hombre, en términos del APÉNDICE NORMATIVO B *Procedimiento para la determinación de la alteración del régimen hidrológico natural en una corriente, por la presencia de infraestructura*), hecha a escala diaria, y con al menos 20 años de información completa. No se trata de identificar el período con condiciones prístinas de la cuenca, sino aquel período donde las acciones humanas que modifican el régimen hidrológico no afecten significativamente a las comunidades biológicas.
- Para tamaños menores que la serie se deberá analizar la representatividad de la misma en cuanto a la presencia de años húmedos, medio-secos y muy secos. Asimismo, en casos donde la serie sea mayor a los 20 años y en los términos del APÉNDICE NORMATIVO B, donde el régimen hidrológico no se encuentre significativamente alterado, podrá utilizarse la serie completa.

Procedimiento a seguir.

El procedimiento para determinar el régimen de caudales ecológicos, y posteriormente el volumen anual de reserva con finalidad ambiental de una corriente o cuerpo de agua nacional a nivel de cuenca hidrológica, es el siguiente:

- (1) Identificar los lugares donde se realizarán los estudios de los caudales ecológicos. Para lo anterior, considerar los criterios establecidos por la Comisión Nacional del Agua.
- (2) Identificar el objetivo ambiental para cada sitio de estudio conforme al APÉNDICE NORMATIVO A, o aplicando las tablas 1, 2 y 3 de la norma.
- (3) Determinar el régimen de caudales ecológicos ordinarios estacionales para cada condición hidrológica (húmeda, media, seca y muy seca), según el procedimiento que se detalla a continuación:
 - a. Organizar la información hidrológica disponible en caudales medios mensuales. En caso de partir de una serie hidrológica en caudales diarios, calcular los valores medios mensuales;
 - b. Organizar los caudales mensuales en años naturales y obtener una matriz de años en las filas y en las columnas por los 12 meses;
 - c. Sobre las series ya ordenadas, calcular para cada mes del año los percentiles 75, 25, 10 y 0. Así se obtiene una matriz de percentiles y meses del año;
 - d. Asociar el tipo de régimen de caudales ordinarios estacionales (húmedo, medio, seco y muy seco) a los percentiles 75, 25, 10 y 0, respectivamente, que aparecen en la siguiente TABLA An1
 - e. Según la clase del objetivo ambiental definido, considerar para la implementación del régimen de caudales ordinarios estacionales las siguientes frecuencias de ocurrencia dadas en la TABLA An2:

Tabla An1. Criterios para la elección del régimen de caudales ordinarios estacionales en años con diferentes condiciones hidrológicas.

CONDICIONES HIDROLOGICAS	PERCENTILES
Régimen de caudales ordinarios estacionales para años húmedos	75
Régimen de caudales ordinarios estacionales para años medios	25
Régimen de caudales ordinarios estacionales para años secos	10
Régimen de caudales ordinarios estacionales para años muy secos	0

Tabla An2. Criterios para la integración de los caudales ordinarios a partir de las frecuencias de ocurrencia de distintas condiciones hidrológicas para los objetivos ambientales.

OBJETIVO AMBIENTAL	FRECUENCIAS DE OCURRENCIA DE LOS REGIMENES DE CAUDALES ORDINARIOS ESTACIONALES			
	HÚMEDO	MEDIO	SECO	MUY SECO
A	0.1	0.4	0.3	0.2
B	0.0	0.2	0.4	0.4
C	0.0	0.0	0.4	0.6
D	0.0	0.0	0.0	1.0

- (4) Determinar el volumen de reserva final o caudal ecológico para integrar a los estudios de disponibilidad, a partir del régimen obtenido mediante esa aproximación.

El cálculo se deberá realizar de la siguiente forma:

Para los diferentes regímenes de caudales ordinarios estacionales (húmedos, medios, secos y muy secos), se considerará el volumen anual de cada uno multiplicado por sus correspondientes frecuencias de ocurrencia, definidas en el inciso 3.e). Este volumen se determina mediante la siguiente expresión:

$$V_{tCoe} = (f_{CoeH} \times V_{CoeH}) + (f_{CoeM} \times V_{CoeM}) + (f_{CoeS} \times V_{CoeS}) + (f_{CoeMS} \times V_{CoeMS})$$

Donde:

V_{tCoe} es el volumen total del caudal ecológico ordinario estacional; para este trabajo se le denominó **Qecol***.

f_{Coe} es la frecuencia de ocurrencia de un régimen H=Húmedo, M=Medio, S=Seco y MS=Muy Seco (Tabla An2)

V_{Coe} es el volumen del régimen de caudales ordinarios estacionales, siendo H=Húmedo, M=Medio, S=Seco y MS=Muy Seco.

La adaptación de este procedimiento se realizó con el apoyo de: Salinas Rodríguez, S. A. (2011). *Guía rápida para la determinación de caudales ecológicos. Aproximaciones hidrológicas*. Ciudad de México, México, Alianza WWF – Fundación Gonzalo Río Arronte. Consultado en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/GUIA.pdf> (Fecha de consulta 11 de mayo del 2017).