

La generación de energía hidroeléctrica como estrategia de solución al cambio climático, el caso del proyecto hidroeléctrico “Las cruces”, en Nayarit, México

^{1*}Javier García Velasco, ²Sergio Contreras Rodríguez, ¹Martha G. Orozco Medina, ²A. Frías Castro, ²Noe Paredes Guajardo, ¹Gabriela Hernández Pérez, ¹Miriam Evelia Pérez Vázquez, ¹Liliana García Hernández, ¹Montserrat Vega Sánchez, ¹Julio César Navarro Alcalá

The hydroelectric project “Las Cruces” in Nayarit, México, a environmentally sustainable alternative of green energy

^{1*}Laboratorio de Enseñanza en Salud Ambiental. Centro de Estudios del Medio Físico². Departamento de Ciencias Ambientales. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Camino Ing. Ramón Padilla Sánchez No. 2100 La Venta del Astillero, Zapopan, 45110, Jalisco, México

2

autor de correspondencia: garcia-velasco@gmail.com.

Resumen

El proyecto hidroeléctrico (PH) “Las Cruces” se ubica en el occidente de México, en un área de influencia que presenta valores paisajísticos de ecosistemas costeros altamente productivos, y de integridad ecológica, lo cual requiere la evaluación del impacto ambiental aunado al proyecto propuesto. De igual forma las afectaciones al sistema social y productivo son altamente sensibles, puesto que la ubicación del proyecto detonará en desarrollos productivos y sociales a considerar. El PH plantea para tener una capacidad neta de 240 MW en tres unidades de 80 MW cada una. Consiste en la construcción de una central hidroeléctrica con una cortina de hormigón de 185 m de altura (medido desde sus cimientos) con talud vertical en la cara de aguas arriba y talud 0.8:1 en la cara de aguas abajo. Esta central aportará 751 GWh/año de generación neta. Se presentan resultados de la identificación, evaluación y descripción de los impactos ambientales que en el estudio en la modalidad regional se obtuvieron y sus respectivas propuestas de medidas de mitigación.

Palabras clave: Impacto ambiental, México, Medidas de mitigación, Hidroeléctricas

Abstract

The hydroelectric project (PH) “Las Cruces” is located in western Mexico, in an area of influence which has scenic, highly productive coastal ecosystems and ecological integrity, which requires environmental impact assessment that may arise with the proposed project. Similarly repercussions on social and productive system are highly sensitive because the project location and detonate productive to consider social developments. The PH is raised to have a net capacity of 240 MW in three units of 80 MW each. It involves the construction of a hydroelectric dam with a concrete curtain 185 m in height (measured from the ground) with a vertical slope on the upstream face and slope 0.8: 1 in the downstream face. This center will provide 751 GWh / year of net generation. Some results of the identification, evaluation and description of the environmental impact study on the regional pattern are obtained as well as the proposed mitigation measures.

KeyWords: Environmental impact, Mexico, Mitigation Measures, Hydroelectric

Introducción

El PH tiene como objetivo contribuir a satisfacer la demanda de energía eléctrica pronosticada para el área Occidente de México, en los que se basa el programa de obras e inversiones del sector eléctrico 2012-2026. Se estima que la demanda máxima en el área Occidental crecerá anualmente 3,7 % de promedio durante 2012-2026. Por ello, se ha programado instalar 240 MW adicionales de capacidad neta del PH Las Cruces, el cual contribuirá a satisfacer la demanda del sistema al menor costo total a largo plazo (SEMARNAT, 2000).

Material y Métodos

El presente proyecto esta conformado por distintas obras para generar electricidad. El esquema de obras propuesto, está integrado por una cortina de hormigón compactado con rodillo de 188 m de altura (incluyendo desplante de 20 m), obra de desvío compuesta por dos túneles excavados por margen izquierdo, vertedor controlado por compuertas por margen izquierdo, planta hidroeléctrica exterior a pie de presa en el cauce del río, equipada con tres grupos turbogeneradores con capacidad de 80 MW cada uno, generando un total de 751 GWh/año mediante un factor de planta de 0.36 (8.64 horas al día en promedio al año).

Asociada al proyecto hidroeléctrico, aproximadamente 6 km hacia aguas abajo de la cortina, se plantea una estructura de cambio de régimen. Su función será garantizar una regulación del caudal turbinado, de tal forma, que no existan fluctuaciones abruptas en los niveles fluviales, debido al alivio durante el tiempo de operación de la central. Su ubicación está planteada aproximadamente a 250 m hacia aguas arriba de la confluencia del río San Pedro con el arroyo El Naranja, la que se denomina “PCR Presidio”. El costo de construcción del proyecto se considera una inversión de económica de 7, 995.00 millones de pesos mexicanos, equivalentes a 639,60 millones de dólares estadounidenses. Respecto al programa

de obras, se consideran 49 meses para su desarrollo.

Se realizó la Manifestación de Impacto Ambiental modalidad Regional. La metodología utilizada para la identificación y evaluación de los impactos ambientales, se basó en una combinación de diferentes métodos y herramientas de uso frecuentes en procesos de evaluación de impacto ambiental, tales como: desarrollo de línea de base ambiental preliminar, matrices de impactos ambientales causa-efecto, fichas de caracterización de impactos, redes de interacción, trabajo inter-disciplinario (talleres, foros y cuestionarios interactivos a expertos del tipo Delphi) y, guías de descripción de impactos identificados. En este caso las áreas clave fueron: hidrología, medio socioeconómico, vegetación, fauna, suelos, aspectos legales y geología (Miranda y Hernández, 1963; Rzedowski, et al., 2001, Rivas, et al., 2005 y González y Banderas 2007). Esto se determinó con base en la fase de scoping ¹ a la que promueve el uso del método Delphi ya que esta técnica se utiliza para generar ideas, predecir impactos en las distintas fases y áreas del proyecto.

El Sistema Ambiental Regional (SAR) delimitado, comprende una superficie de 1,592,937.04 ha y circunscribe las cuencas medias y baja del río San Pedro (incluyendo una porción significativa de la Sierra Madre Occidental) y la mayor parte de la planicie costera del estado de Nayarit, recibe el 95% de la precipitación pluvial del total de la cuenca del río San Pedro (Romo, 1994). Se delimitaron unidades ambientales que se describen en la figura 1.

En términos generales, dentro del SAR el gradiente altitudinal permite, en el sentido este – oeste principalmente, la existencia de

¹Scoping es el proceso rápido mediante el cual se determinará el alcance de las acciones que se contemplan del estudio a realizar; posterior a esta etapa vendrá el establecimiento de la línea de base para identificar el estado inicial y luego hacer la identificación y evaluación de impactos ambientales con sus respectivas medidas de compensación o mitigación. Así, la etapa de scoping y línea de base es un proceso muy importante (muchas veces clave) para el desarrollo de la identificación de impactos y para la elaboración de escenarios futuros y pasados.

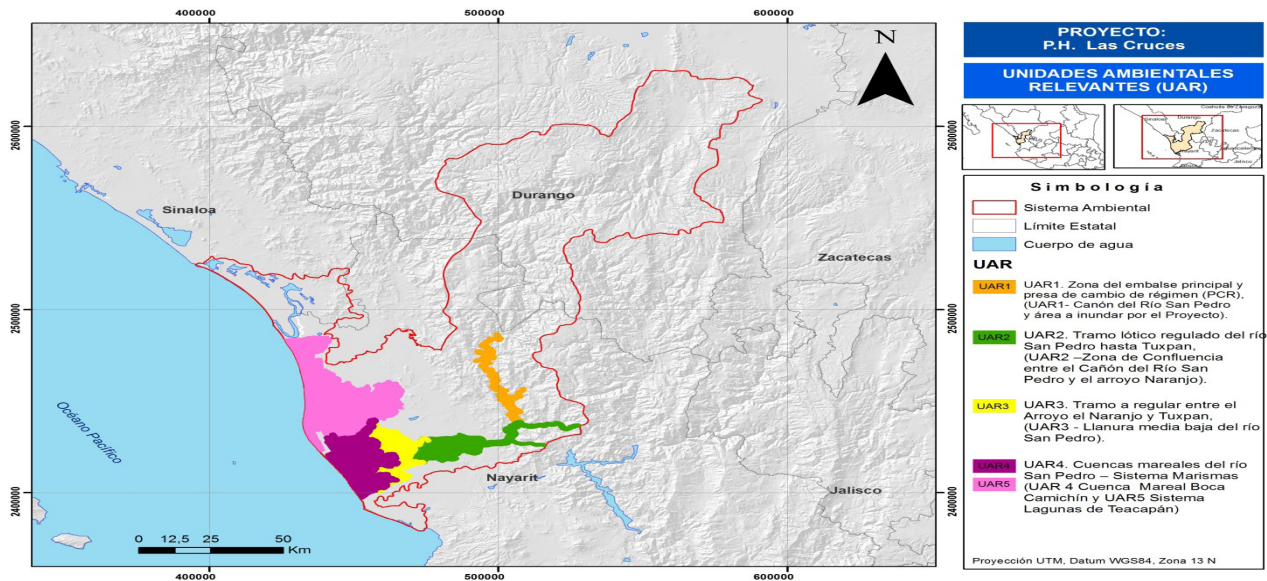


Figura 1. Unidades Ambientales que conforman el Área de Influencia del proyecto.

ecosistemas de montaña: como bosques de pino, pino – encino y selva mediana, hasta selvas bajas, humedales, manglares y sistemas costeros. Las principales secciones terrestres son: una región montañosa, con elevaciones que van desde los 100 m. de la ladera, hasta los 3,000 m. de las cimas (esta región se encuadra dentro de la cuenca media del río San Pedro). Una llanura aluvial irrigada por los cauces, en orden de norte a sur, de los ríos Baluarte, Escuinapa, Acaponeta, Las Cañas, Rosamorada, Bejuco, San Pedro, Santiago y San Francisco (Ortiz y Romo, 1994). Un sistema de lagunas costeras y cordones litorales con alta influencia mareal que va desde San Blas/Matanchén, Nayarit, hasta prácticamente la desembocadura, al norte del río Baluarte (en la franja de la costa, los límites del SAR coinciden con el polígono del sitio RAMSAR 732, denominado Marismas Nacionales).

El proyecto se encuentra en el río San Pedro, que tiene su nacimiento en la sierra de La Magdalena, Durango. En su recorrido por la sierra Madre Occidental, fluye dentro de un cañón en dirección norte-sur, cambiando su dirección hacia el oeste al llegar al pie de monte, aproximadamente 20 km al este de la población de Tuxpan, Nayarit. Desemboca en el sistema

lagunar de Mexcaltitán, teniendo influencia de las aguas marinas provenientes del estero de Camichín a través de una red de canales que han sido modificados por el hombre en los últimos 30 años. Tiene un volumen medio anual aforado de 2,734.57 hectómetros cúbicos, y gasto medio de 84,06 m³/s con caudales medios mensuales que oscilan entre los 3 y 303 m³/s.

La calidad del agua en términos generales es adecuada para la protección de vida acuática, en el tramo estudiado desde el lugar de la cortina hasta Tuxpan, donde el río pierde las características lólicas, para adentrarse en la zona de laguna y marismas costeras, los sólidos suspendidos totales aumentan durante la temporada de lluvias, por el arrastre de sedimentos en la cuenca. Las demandas bioquímica y química de oxígeno son parámetros de calidad del agua que reflejan el grado de contaminación por materia orgánica aportadas por actividades humanas, industriales, agrícolas y municipales. En términos de riqueza, se cuantificaron 164 familias, 731 géneros y 2,004 especies vegetales, de las cuales, 25 se encuentran bajo alguna protección por la NOM-059-SEMARNAT-2010. Respecto a la fauna, la distribución de los peces en el SAR mostró, que en marismas se presentan el mayor número de

especies con 52, seguido del área de embalse y PCR con 20 especies, se registraron en total ocho especies de anfibios, agrupados en un orden, cinco familias y ocho géneros. En cuanto a los reptiles se registraron 33 especies en el SAR, de tres órdenes, 13 familias y 26 géneros; 22 de las especies están incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2010, 15 con protección especial (Pr) y siete como amenazadas (A). Un total de 18 especies de reptiles registrada en el SAR, endémicas para México, dominan especies de la familia Colubridae y Phrynosomatidae. De las 52 especies de mamíferos registrados, 39 se observaron en la zona de embalse, y para el caso de los quirópteros fueron registradas 19 especies en el SAR. Respecto a las aves se registraron mediante avistamiento directo un total de 188 especies para el SAR. Un número importante de especies de este grupo intervienen en procesos de polinización, dispersión de semillas, controladores de poblaciones de insectos y carroñeras (Pascual y Saura, 2007).

Resultados

Partiendo de las acciones y obras del proyecto generadoras de cambio, se decidieron analizar seis variables, para priorizar los impactos dentro de un análisis cualitativo multidisciplinario del equipo integrador del estudio, y se establecieron los impactos originados por la construcción y creación y operación del embalse (Gómez, 2007; UDDP, 2007).

Otra de las herramientas y metodologías utilizadas para la identificación, y descripción de las potenciales interacciones de los impactos generados por la posible construcción y operación del PH Las Cruces es la elaboración de redes de interacción de impactos en estaciones de trabajo y luego resumidos con ayuda del software Mind Manager. En estas redes se identificaron para cada una de las UAR los siguientes aspectos:

a). Procesos de cambio existentes en la UAR sin la presencia del proyecto, vistos desde diversas disciplinas, y considerando los receptores (¿a quién o a quiénes afecta el proceso de

cambio?) y los generadores del proceso (¿cuáles son los generadores directos que disparan o favorecen el proceso de cambio identificado?). La identificación de estos procesos fue de gran utilidad para identificar los impactos acumulativos que se podrían generar con la presencia del PH Las Cruces.

b). Principales cambios generados por el PH Las Cruces: se identificaron los principales cambios que se generarían con la presencia del PH Las Cruces y junto con ello se reconocieron:

- I. Los impactos generados por los cambios identificados.
- II. Los receptores para cada impacto (¿a quiénes afecta de manera relevante el impacto? Componentes del ecosistema/receptores humanos/sistema productivo).
- III. Si los impactos identificados representan un nuevo generar de cambio en la UAR y porqué.
- IV. Si los impactos identificados atenúan, acentúan o no interactúan con otros generadores de cambio en la UAR, y de ser así, cómo interactúa, acentúa o atenúa los procesos de cambio ya existentes sin la presencia del proyecto.
- V. Las posibles medidas de mitigación que pudieran minimizar o eliminar el impacto identificado.
- VI. Los impactos residuales, es decir, los efectos de los impactos que no pueden ser mitigados total o parcialmente.

Además, se utilizaron diversos formatos de redes, unos que contenían lo que indican los puntos anteriores y otros que en lugar de partir de las UAR se inició el análisis a partir de los CVA's (Componentes Valiosos del Ambiente) o tomando en cuenta los procesos de cambio de acuerdo a las distintas fases del proyecto (fase de construcción, fase de operación y fase de abandono).



Figura 2. Esquema general de obras para la cortina de CCR.

La estrategia adoptada por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en la planeación y diseño del PH Las Cruces, de acuerdo con su política ambiental, ha sido evitar en la medida de lo posible los impactos al ambiente que pudieran derivarse por el desarrollo del mismo (Abernethy, 2001). En ese sentido, se incluyen las medidas de mitigación propuestas para atender los impactos identificados en un “Plan de Manejo Ambiental” (figura 2), que establece las principales líneas estratégicas y acciones que deberán implementarse durante la preparación, construcción y operación del PH Las Cruces, con el objetivo general de prevenir, mitigar, corregir y/o compensar los impactos ambientales negativos y fortalecer los positivos, así como seguimiento y monitoreo de variables ambientales que permitan lograr que el proyecto evaluado se integre adecuadamente a su entorno o área de influencia.

Discusión y Conclusiones

De los estudios realizados y consultados para la presente MIA es claro que todos los ríos dentro del SAR – y no solamente el río San Pedro –

tienen una importancia definitiva en el traslado de materia, energía, seres vivos y germoplasma. Históricamente, su aprovechamiento consuntivo y modificaciones al paisaje, drenaje y flujos dentro de los cuerpos de agua han introducido inestabilidad y cambios significativos. Por este motivo, cualquier variación significativa de los caudales, estacionalidad y parámetros físicos y químicos deberá monitorearse rigurosamente y de manera integral, considerando el funcionamiento regional y no sólo local de las cuencas y microcuencas que conforman el SAR.

Los impactos relevantes de carácter estructural – aquellos derivados de la creación del embalse son:

- I. La transformación de 4,500 ha de ecosistemas terrestres a un ecosistema acuático de tipo léntico estratificado. Este impacto no es mitigable; sólo es compensable mediante los mecanismos dispuestos para la autorización por excepción del cambio de uso del suelo en terrenos forestales.
- II. La fragmentación local de ecosistemas terrestres regionales. Este impacto no

Línea Estratégica	Programas	
Prevención y Control	Manejo y control de emisiones atmosféricas y ruido	
	Manejo integral de residuos sólidos municipales	
	Manejo de sustancias y materiales peligrosos	
	Manejo de aguas residuales	
	Información y capacitación ambiental	
Mitigación	Control de erosión	
	Manejo y rescate de vegetación	
	Manejo y rescate de fauna	
	Efecto barrera	
	Restauración y rehabilitación	
	Restauración de manglar	
Compensaciones	Compensación de vegetación	
	Corredor biológico	
	Plan de manejo de la cuenca baja	
Sociales	Reasentamiento de la localidad de San Blasito	
	Fortalecimiento de actividades productivas	
	Atención al crecimiento demográfico en los poblados cercanos al sitio del proyecto	
Contingencias y Respuesta a Emergencias	Prevención y control de incendios forestales	
	Prevención y control de derrame de combustibles y aceites	
Seguimiento y control	Cumplimiento Legal	Monitoreo de la calidad del aire
		Monitoreo de residuos sólidos
		Monitoreo de sustancias y materiales peligrosos
	Cumplimiento de mitigación	Conservación de Suelos
		Calidad del agua y sedimentos
		Régimen hidrológico
		Ecosistema acuático
		Ecosistema terrestre
	Estudio complementarios	Sedimentos
		Protección del patrimonio cultural

Figura 3 Estructura del plan ambiental por líneas estratégicas.

- es mitigable; se planea compensarlo mediante el establecimiento y mantenimiento de corredores de fauna identificados dentro del SAR entre la sierra y la costa, de valor para grandes depredadores.
- III. La fragmentación del sistema hidrológico, alterando los ecosistemas acuáticos existentes y su continuidad biológica. Este impacto sería mitigado mediante la puesta en operación de programas de traslado manual de individuos y germoplasma de especies indicadoras y de valor comercial.
 - IV. Las afectaciones a las poblaciones de flora y fauna, derivadas de la transformación de los hábitats. Estos impactos se compensarían o mitigarían mediante las medidas descritas en otros puntos y mediante un programa de restauración de hábitats acuáticos.
 - V. La retención de una cantidad significativa de nutrientes y sedimentos dentro del embalse, que alterarían los procesos geomorfológicos y productivos del río, la llanura inundable y de las lagunas costeras, estuarios y línea de costa. Este impacto se mitigaría mediante el diseño y ubicación de la presa de cambio de régimen en un punto que permita la incorporación de hasta 13% aproximadamente de los sedimentos (de finos a gruesos) por tributarios del San Pedro, al sistema.
 - VI. La afectación a las actividades de extracción de materiales pétreos.
 - VII. La generación de gases de efecto de invernadero por los procesos de descomposición anaeróbica de la materia orgánica capturada en el embalse. Este impacto sería mitigado, en sentido amplio, por la disminución de las emisiones de gases de efecto de invernadero producidas por el consumo de combustibles fósiles de las centrales de combustión que serían necesarias sin el proyecto.
 - VIII. La alteración del paisaje local y regional por la instalación del embalse y su cortina, que podría mitigarse mediante la instalación de geomembranas y vegetación adosada a la pared de la cortina principal.
 - IX. La inundación de un poblado con 19 viviendas y de algunos sitios de importancia patrimonial para los habitantes de la región. Este impacto sería compensado por la reubicación del poblado, su infraestructura y algunos de los sitios de valor patrimonial y cultural.
 - X. El cambio en las actividades productivas, básicamente agropecuarias de autoconsumo y ganaderas itinerantes a pesca y servicios turísticos. Este es un impacto positivo que podría potenciarse con el Plan de Negocios que se presenta como parte de las medidas de mitigación, para minimizar los conflictos por los nuevos recursos y maximizar la producción.
- Los impactos relevantes de carácter funcional – aquellos derivados de la operación de las turbinas son:
- I. Modificación del régimen de caudales del río. Mitigada mediante la operación del Proyecto bajo la norma de caudal ecológico, pero con impactos residuales.
 - II. Variaciones en la velocidad y flujo del agua del río San Pedro discordantes con las condiciones naturales del ecosistema. Incremento del caudal de agua dulce disponible en la temporada de secas, que alterará el balance de agua salada – dulce en el sistema de lagunas costeras y estuarios. Mitigada mediante la operación del proyecto bajo la norma de caudal ecológico, pero con impactos residuales.
 - III. Alteraciones en los procesos

geomorfológicos del río San Pedro. A pesar de la operación del proyecto bajo el régimen de caudal ambiental, las modificaciones de los caudales – especialmente el aumento de caudal con respecto a las condiciones naturales durante la temporada de estiaje – aunadas a la disminución significativa de sedimentos (principalmente medianos a gruesos), ocasionará cambios en el río:

- IV. Profundización del cauce – incremento de la profundidad del lecho del río.
- V. Inmovilización del cauce – detención del proceso de migración de meandros del río.
- VI. Cambios en la red de drenaje, patrones de escurrimiento y ubicación de los

puntos de descarga del río San Pedro, ocasionadas por las dos anteriores.

De acuerdo con los lineamientos de la Junta Ejecutiva del Mecanismo de Desarrollo Limpio de la ONU, las emisiones evitadas por un proyecto de generación de electricidad a partir de fuentes renovables, con la entrada en operación del PH Las Cruces, se puede asegurar que se logrará evitar la emisión de 304,807 tCO₂eq al año por la generación limpia de energía (Rangel y Ortiz, 2013 y Rodríguez-Gallego, et al., 2011), asimismo, se adiciona al parque de generación de energía eléctrica 751 GWh de energía renovable, siendo congruentes con los Políticas de la Estrategia Nacional de Energía. Se considera que para el año 2017 estaría funcionando la hidroeléctrica.

Literatura citada

- Abernethy, C. L. 2001. Intersectoral Management On River Basins, Paper Presented At International Workshop On “Integrated Water Management In Water-Stressed River Basins”, Deutsche Stiftung Für Internationale Entwicklung, International Water Management Institute, Colombo.
- Gómez Orea, D. 2007. Evaluación Ambiental Estratégica Un Instrumento Para Integrar El Medio Ambiente En La Elaboración de Planes y Programas, 366 P. Pp., Mundi-Prensa, Madrid.
- González Villela, R y Banderas Tarabay A. 2007. Cálculo de caudales en ríos regulados por presas para la conservación del hábitat, caso de estudio: río Santiago, Nayarit. En: De la Lanza Espino G y Hernández Pulido S (Compiladores). AGT Editor, S. A. Aguas Interiores de México. Conceptos y Casos. México. p. 647-672.
- Miranda, F. y E. Hernandez-X. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. Boletín de la Sociedad Botánica de México, 28: 29-179.
- NORMA Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001. Diario Oficial de la Federación 15 de diciembre de 2010. Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. 94 pp.
- Ortiz Pérez M. y Romo Aguilar M.L. 1994. Modificaciones de la trayectoria meándrica en el curso bajo del Río Grande de Santiago, Nayarit, México. ISSN 0188-4611”, Investigaciones Geográficas Boletín del Instituto de Geografía, v.29, pp.9-23
- Pascual, H. L. y Saura, M. S. 2007. Integración de la conectividad ecológica de los Bosques en los instrumentos de planificación forestal a escala comarcal y regional. Propuesta metodológica y nueva herramienta de decisión. Revista Montes, España. 13 pp.
- Rangel Peraza, J.G. y M.A. Ortiz Jiménez. 2013. Balance hídrico de la presa de Aguamilpa. En: De Anda Sánchez, J. y F. González-Farías (Eds.) Calidad del Agua en la Presa de Aguamilpa, Nayarit, México. CIATEJ. 266 p. ISBN: 978-607-8074-18-1: Cap. V.
- Rodríguez-Gallego, L., C. Chreties, M. Crisci, M. Fernández, N. Colombo, B. Lanzilotta, M. Saravia, C. Neme, V. Sabaj y D. Conde. 2011. Fortalecimiento del concepto de caudales ambientales como herramienta para la gestión integrada de los recursos hídricos. Informe final PNUMA y Vida Silvestre Uruguay. Montevideo, Uruguay. 138 pp.
- Rivas, D., O.U. Velasco-Fuentes and J. Ochoa, 2005. Topographic effects on the dynamics of gravity currents in a rotating system. Dyn. Atmos. Oceans, 39:227-249.
- Rzedowski, G. C. de, J. Rzedowski y colaboradores. 2001. Flora fanerogámica del Valle de México. 2ª. ed., Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro. 1406 pp.
- Semarnat. 2000. Reglamento De La Ley General Del Equilibrio Ecológico Y La Protección Al Ambiente En Materia

De Evaluación Del Impacto Ambiental, Edited By Semarnat. Romo Aguilar M.L. 1994. Observaciones geomorfológicas del abanico deltáico del Río San Pedro, Nayarit, Compendio, v.1, pp.174

Unep Dams and Development Project (UDDP). Secretariat. 2007. Dams And Development: Relevant Practices For Improved Decision-Making: A Compendium Of

Relevant Practices For Improved Decision-Making On Dams And Their Alternative, XIII, 176 P. Pp., Unep, Ddp Secretariat, Nairobi.