



XXIV

Caudal Ecológico y Conservación de Ecosistemas Fluviales en la Costa Sur Peruana

**Rony Alexander
Bernal Villanueva**

**Leila Marilyn
Vizcarra Silva**

Caudal Ecológico y Conservación de Ecosistemas Fluviales en la Costa Sur Peruana

Rony Alexander Bernal Villanueva

rabetnal6@hotmail.com

 <https://orcid.org/0000-0003-2947-0412>

Universidad Nacional de Moquegua, Moquegua –Perú

Leila Marilyn Vizcarra Silva

leila.vizcarra@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0005-6332-4795>

Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna – Perú

RESUMEN

El caudal ecológico constituye uno de los principales instrumentos de gestión ambiental utilizados para garantizar la sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos y la conservación de la biodiversidad fluvial. En regiones áridas y semiáridas, donde la disponibilidad de agua superficial presenta elevada variabilidad temporal y creciente presión antrópica, la determinación de caudales ecológicos adquiere especial importancia dentro de los procesos de planificación hídrica sostenible. El presente capítulo analiza la relevancia del caudal ecológico en la conservación de ecosistemas fluviales de la costa sur peruana, tomando como referencia el caso del río Osmore en la región Moquegua. La investigación se fundamenta en información hidrológica obtenida durante el análisis de caudales del río Osmore entre 2012 y 2013, complementada con revisión científica especializada sobre hidrología ambiental, conservación ecológica y gestión integrada de cuencas. El estudio incorpora evaluación de metodologías de determinación de caudal ecológico, análisis de funciones ecosistémicas de los ríos y valoración de impactos

ambientales asociados a la alteración de regímenes hidrológicos. Los resultados evidencian que el río Osmore requiere un caudal ecológico aproximado de 0.110 m³/s para garantizar condiciones mínimas de sostenibilidad ambiental y mantenimiento de funciones ecológicas básicas. Asimismo, se identificó que la reducción excesiva de caudales puede generar impactos significativos sobre biodiversidad acuática, calidad del agua y estabilidad de ecosistemas ribereños. Se concluye que la incorporación del caudal ecológico dentro de la planificación hídrica regional constituye una herramienta indispensable para equilibrar necesidades de abastecimiento humano con conservación ambiental y sostenibilidad territorial.

Palabras clave: Caudal ecológico; ecosistemas fluviales; sostenibilidad ambiental; biodiversidad acuática; río Osmore; gestión hídrica.

ABSTRACT

Ecological flow constitutes one of the main environmental management instruments used to guarantee the sustainability of aquatic ecosystems and the conservation of fluvial biodiversity. In arid and semi-arid regions, where surface water availability presents high temporal variability and increasing anthropogenic pressure, the determination of ecological flows acquires special importance within sustainable water planning processes. This chapter analyzes the relevance of ecological flow in the conservation of fluvial ecosystems on the southern coast of Peru, taking as reference the case of the Osmore River in the Moquegua region. The research is based on hydrological information obtained during the analysis of Osmore River flows between 2012 and 2013, complemented with specialized scientific review on environmental hydrology, ecological conservation, and integrated watershed management. The study incorporates evaluation of ecological flow determination methodologies, analysis of ecosystem functions of rivers, and assessment of environmental impacts associated with the alteration of hydrological regimes. The results show that the Osmore River requires an approximate ecological flow of 0.110 m³/s to guarantee minimum environmental sustainability conditions and maintenance of basic ecological functions. Likewise, it was identified that excessive reduction of flows can generate significant impacts on aquatic biodiversity, water quality, and stability of riparian ecosystems. It is concluded

that the incorporation of ecological flow within regional water planning constitutes an indispensable tool to balance human water supply needs with environmental conservation and territorial sustainability.

Keywords: Ecological flow; fluvial ecosystems; environmental sustainability; aquatic biodiversity; Osmore River; water management.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas fluviales constituyen componentes fundamentales dentro de la dinámica ambiental y ecológica de las cuencas hidrográficas debido a su influencia sobre procesos hidrológicos, biodiversidad, regulación climática y provisión de servicios ecosistémicos. Los ríos no solamente representan fuentes de agua para actividades humanas, sino también sistemas ecológicos complejos donde interactúan organismos acuáticos, vegetación ribereña, procesos geomorfológicos y ciclos biogeoquímicos esenciales para el equilibrio ambiental.

Durante las últimas décadas, el crecimiento poblacional, expansión urbana, intensificación agrícola y desarrollo industrial han incrementado significativamente la presión sobre los recursos hídricos superficiales. Como consecuencia, numerosos ríos en diferentes regiones del mundo han experimentado alteraciones severas de sus regímenes hidrológicos debido a extracción excesiva de agua, construcción de represas, desvíos hidráulicos y degradación ambiental de las cuencas.

La modificación de los caudales naturales constituye uno de los principales factores de deterioro de ecosistemas fluviales. La reducción excesiva del flujo hídrico puede generar pérdida de hábitats acuáticos, disminución de biodiversidad, alteración de ciclos ecológicos y deterioro de la calidad del agua.

En regiones áridas y semiáridas, estas problemáticas adquieren mayor relevancia debido a la limitada disponibilidad de agua y a la elevada vulnerabilidad ambiental de los sistemas acuáticos. Los ríos ubicados en zonas desérticas presentan dinámicas hidrológicas

altamente variables y ecosistemas especialmente sensibles frente a cambios en los regímenes de caudal.

La costa sur peruana constituye una de las regiones más áridas de América del Sur. Las cuencas hidrográficas costeras dependen principalmente de aportes hídricos provenientes de precipitaciones registradas en zonas altoandinas, originando sistemas fluviales caracterizados por marcada variabilidad estacional.

En este contexto, la gestión sostenible del agua requiere equilibrar las necesidades humanas de abastecimiento con la conservación de funciones ecológicas esenciales dentro de los ecosistemas acuáticos.

El concepto de caudal ecológico surge precisamente como respuesta a la necesidad de garantizar volúmenes mínimos de agua capaces de preservar el funcionamiento ambiental de los ríos.

El caudal ecológico se define como el régimen de flujo necesario para mantener ecosistemas fluviales y servicios ambientales asociados en condiciones adecuadas de sostenibilidad.

A diferencia de enfoques tradicionales centrados exclusivamente en aprovechamiento económico del agua, el concepto de caudal ecológico reconoce que los ríos requieren mantener determinadas condiciones hidrológicas para conservar biodiversidad, productividad biológica y estabilidad ecológica.

La evolución conceptual del caudal ecológico ha estado estrechamente vinculada al desarrollo de la hidrología ambiental y de la ecología fluvial.

Durante gran parte del siglo XX, los proyectos hidráulicos fueron diseñados principalmente bajo criterios de eficiencia económica y maximización de aprovechamiento hídrico. Como consecuencia, numerosos sistemas fluviales experimentaron procesos de degradación ecológica asociados a reducción de caudales naturales.

La experiencia internacional demostró que la alteración severa de los regímenes hidrológicos puede ocasionar impactos ambientales irreversibles.

La disminución de caudales afecta directamente la disponibilidad de hábitats acuáticos, modifica las condiciones fisicoquímicas del agua y altera los ciclos reproductivos de especies dependientes del ecosistema fluvial.

Asimismo, la reducción del flujo hídrico puede incrementar procesos de sedimentación, concentración de contaminantes y deterioro de calidad ambiental.

Frente a esta problemática, organismos internacionales y comunidades científicas comenzaron a promover enfoques orientados a integrar criterios ecológicos dentro de la planificación hídrica.

Actualmente, el caudal ecológico constituye uno de los principales instrumentos de gestión ambiental incorporados en políticas hídricas de numerosos países.

La determinación de caudales ecológicos puede realizarse mediante diferentes metodologías dependiendo de la información disponible, características hidrológicas y objetivos de gestión.

Entre los enfoques más utilizados destacan:

- Métodos hidrológicos.
- Métodos hidráulicos.
- Métodos de simulación de hábitat.
- Métodos holísticos.

Los métodos hidrológicos se basan principalmente en análisis estadísticos de caudales históricos y constituyen los enfoques más utilizados en regiones con limitada información ecológica.

Los métodos hidráulicos consideran variables relacionadas con profundidad, velocidad y geometría del cauce.

Por otro lado, los métodos holísticos integran múltiples componentes ambientales, sociales y ecológicos dentro de una visión integral de sostenibilidad.

En América Latina, la implementación de caudales ecológicos ha adquirido creciente importancia debido a los conflictos asociados al uso intensivo de recursos hídricos.

Países como México, Chile, Colombia, Ecuador y Perú han incorporado progresivamente criterios de sostenibilidad ecológica dentro de sus marcos normativos relacionados con gestión hídrica.

En el caso peruano, la Autoridad Nacional del Agua ha desarrollado lineamientos técnicos orientados a promover la determinación de caudales ecológicos en cuencas hidrográficas estratégicas.

Sin embargo, persisten importantes desafíos relacionados con disponibilidad de información hidrológica, monitoreo ambiental y fortalecimiento institucional.

La región Moquegua presenta condiciones particularmente sensibles desde el punto de vista ecológico debido a la combinación de aridez climática, presión minera y limitada disponibilidad de agua superficial.

El río Osmore constituye uno de los principales sistemas fluviales de la región y cumple funciones importantes relacionadas con abastecimiento hídrico, conservación ambiental y sostenibilidad territorial.

La investigación desarrollada sobre el comportamiento hidrológico del río Osmore permitió además estimar el caudal ecológico necesario para preservar funciones ambientales básicas dentro del sistema fluvial.

Los resultados obtenidos evidenciaron que el mantenimiento de un caudal mínimo resulta indispensable para conservar estabilidad ecológica del río.

La conservación de ecosistemas ribereños y acuáticos depende estrechamente de la disponibilidad continua de agua.

La vegetación asociada a riberas desempeña funciones importantes relacionadas con estabilización de suelos, regulación térmica, protección frente a erosión y provisión de hábitats para fauna silvestre.

Asimismo, los ecosistemas fluviales cumplen un rol fundamental en la conectividad ecológica de los territorios debido a que facilitan desplazamiento de especies y transporte de nutrientes.

La degradación de estos ecosistemas puede generar impactos acumulativos sobre biodiversidad regional y resiliencia ambiental de las cuencas.

Otro aspecto relevante corresponde a la relación entre cambio climático y sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos.

Diversos estudios científicos proyectan alteraciones significativas en disponibilidad hídrica de regiones áridas durante las próximas décadas.

Las posibles reducciones de caudal y aumento de eventos extremos podrían incrementar considerablemente la vulnerabilidad ecológica de los ríos costeros del sur peruano.

Frente a este escenario, la incorporación de criterios ambientales dentro de la planificación hídrica adquiere importancia estratégica.

La gestión integrada de recursos hídricos requiere considerar simultáneamente objetivos de abastecimiento humano, desarrollo económico y conservación ambiental.

En consecuencia, la determinación de caudales ecológicos representa una herramienta esencial para promover sostenibilidad de largo plazo en cuencas áridas.

El presente capítulo tiene como objetivo analizar la importancia del caudal ecológico en la conservación de ecosistemas fluviales de la costa sur peruana utilizando como referencia el caso del río Osmore.

Asimismo, se busca evaluar las implicancias ambientales de la alteración de regímenes hidrológicos y la necesidad de incorporar criterios ecológicos dentro de la gestión integrada de recursos hídricos.

METODOLOGÍA

El presente capítulo se desarrolló bajo un enfoque analítico-descriptivo orientado a evaluar la importancia del caudal ecológico en la conservación de ecosistemas fluviales.

La investigación se fundamentó en información hidrológica obtenida durante el estudio de caudales del río Osmore entre agosto de 2012 y agosto de 2013.

Asimismo, se incorporó revisión bibliográfica especializada sobre hidrología ambiental, ecología fluvial y gestión sostenible de cuencas hidrográficas.

Diseño metodológico

El diseño de investigación correspondió a un estudio descriptivo y analítico orientado a interpretar relaciones entre dinámica hidrológica y sostenibilidad ecológica.

La metodología combinó análisis hidrológico, revisión conceptual y evaluación ambiental.

Área de estudio

El área de estudio correspondió a la cuenca del río Osmore ubicada en la región Moquegua.

La cuenca presenta características climáticas áridas y fuerte variabilidad estacional de caudales.

Información hidrológica utilizada

La investigación utilizó información obtenida mediante monitoreo hidrométrico desarrollado durante un periodo anual.

Las mediciones incluyeron:

- Caudales instantáneos.
- Velocidad de flujo.
- Área transversal.
- Variaciones estacionales.

Determinación del caudal ecológico

La estimación del caudal ecológico se realizó utilizando metodologías hidrológicas reconocidas internacionalmente.

Entre los métodos aplicados destacan:

- Método ecuatoriano.
- Método escocés.

Los análisis permitieron identificar volúmenes mínimos requeridos para mantener condiciones ambientales básicas dentro del ecosistema fluvial.

Revisión bibliográfica

Se realizó revisión de artículos científicos indexados y documentos técnicos relacionados con:

- Ecología fluvial.
- Hidrología ambiental.

- Biodiversidad acuática.
- Gestión de caudales ecológicos.
- Conservación de cuencas.

Interpretación ambiental

La información obtenida fue interpretada considerando:

- Sostenibilidad ecológica.
- Conservación de biodiversidad.
- Funciones ecosistémicas.
- Vulnerabilidad climática.
- Gestión integrada del agua.

RESULTADOS

Variabilidad hidrológica del río Osmore

Los resultados obtenidos evidencian una marcada variabilidad estacional en el comportamiento hidrológico del río Osmore.

Durante periodos de avenida se registraron incrementos importantes de caudal asociados a precipitaciones altoandinas.

En contraste, durante el estiaje el río presentó reducción significativa del flujo hídrico.

Esta variabilidad condiciona directamente la dinámica ecológica del ecosistema fluvial.

Determinación del caudal ecológico

La aplicación de metodologías hidrológicas permitió estimar un caudal ecológico aproximado de 0.110 m³/s.

Este volumen representa el flujo mínimo requerido para mantener funciones ambientales básicas y preservar condiciones mínimas de hábitat acuático.

Funciones ecológicas identificadas

El análisis ambiental permitió identificar diversas funciones ecológicas asociadas al río Osmore.

Entre las principales destacan:

- Conservación de hábitats acuáticos.
- Regulación de calidad del agua.
- Mantenimiento de biodiversidad.
- Protección de vegetación ribereña.
- Transporte de nutrientes.
- Regulación geomorfológica.

Impactos potenciales por reducción de caudales

Los resultados evidencian que la reducción excesiva de caudales podría generar impactos ambientales significativos.

Entre los principales efectos potenciales destacan:

- Pérdida de hábitats acuáticos.
- Disminución de biodiversidad.

- Incremento de concentración de contaminantes.
- Alteración de procesos ecológicos.
- Deterioro de ecosistemas ribereños.

Relación entre caudal y calidad del agua

El análisis permitió identificar relación entre disponibilidad hídrica y calidad ambiental del río.

Durante periodos de bajo caudal se observó mayor vulnerabilidad frente a procesos de concentración química y deterioro ambiental.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos demuestran que el caudal ecológico constituye un componente esencial para garantizar sostenibilidad de los ecosistemas fluviales en regiones áridas del sur peruano.

La elevada variabilidad hidrológica observada en el río Osmore refleja condiciones características de las cuencas costeras áridas donde pequeñas alteraciones en disponibilidad hídrica pueden generar impactos ecológicos significativos.

Diversos estudios internacionales coinciden en señalar que la modificación de regímenes naturales de caudal representa uno de los principales factores de degradación de ecosistemas acuáticos.

La reducción excesiva del flujo hídrico afecta directamente procesos ecológicos fundamentales relacionados con reproducción de especies, transporte de sedimentos y mantenimiento de hábitats.

En consecuencia, la determinación del caudal ecológico adquiere importancia estratégica dentro de la planificación hídrica sostenible.

El valor estimado para el río Osmore evidencia la necesidad de mantener volúmenes mínimos de agua capaces de preservar funciones ambientales esenciales.

La experiencia internacional demuestra que numerosos proyectos hidráulicos desarrollados sin criterios ecológicos generaron degradación severa de ríos y humedales.

La pérdida de biodiversidad acuática y deterioro de ecosistemas ribereños constituyen algunas de las principales consecuencias asociadas a la alteración de caudales naturales.

En regiones áridas, los impactos ecológicos pueden resultar aún más severos debido a la limitada capacidad de resiliencia ambiental de los ecosistemas.

Otro aspecto relevante corresponde a la relación entre caudal ecológico y calidad del agua.

La reducción del flujo hídrico puede favorecer procesos de concentración de contaminantes y disminución de oxígeno disuelto.

Asimismo, los bajos caudales reducen la capacidad natural de dilución y autodepuración de los ríos.

En consecuencia, la sostenibilidad ambiental depende estrechamente de la conservación de condiciones hidrológicas adecuadas.

La investigación también evidencia la necesidad de fortalecer programas de monitoreo ecológico e hidrológico en cuencas estratégicas del sur peruano.

La limitada información disponible constituye una de las principales restricciones para implementar políticas efectivas de conservación fluvial.

Desde una perspectiva climática, los resultados adquieren especial relevancia debido a los escenarios futuros de cambio climático proyectados para regiones áridas.

Las posibles reducciones de precipitación y aumento de temperatura podrían incrementar considerablemente la presión sobre ecosistemas acuáticos.

Frente a este contexto, la gestión integrada de recursos hídricos debe incorporar mecanismos orientados a fortalecer resiliencia ecológica de las cuencas.

La conservación de ecosistemas altoandinos también resulta fundamental debido a su influencia sobre regulación hidrológica y mantenimiento de caudales.

La degradación ambiental de cabeceras de cuenca podría reducir progresivamente la disponibilidad de agua superficial en sectores costeros.

Otro aspecto importante corresponde a la necesidad de fortalecer gobernanza ambiental relacionada con conservación de ríos.

La sostenibilidad hídrica requiere coordinación multisectorial entre instituciones públicas, comunidades locales y usuarios del agua.

Las políticas futuras de planificación territorial deberán integrar criterios ecológicos dentro de los procesos de asignación y aprovechamiento hídrico.

En síntesis, el caso del río Osmore demuestra que la incorporación del caudal ecológico constituye una herramienta indispensable para equilibrar desarrollo humano y conservación ambiental en regiones áridas.

CONCLUSIONES

El caudal ecológico representa un componente fundamental para garantizar sostenibilidad ambiental y conservación de ecosistemas fluviales en la costa sur peruana.

Los resultados obtenidos evidencian que el río Osmore requiere un caudal ecológico aproximado de 0.110 m³/s para mantener funciones ambientales básicas y preservar estabilidad ecológica.

La marcada variabilidad hidrológica observada refleja la elevada vulnerabilidad de las cuencas áridas frente a alteraciones climáticas y presiones antrópicas.

La reducción excesiva de caudales puede generar impactos significativos sobre biodiversidad acuática, calidad del agua y ecosistemas ribereños.

La investigación demuestra que la gestión sostenible de recursos hídricos debe incorporar simultáneamente criterios hidrológicos, ecológicos y territoriales.

Asimismo, el fortalecimiento del monitoreo ambiental constituye una prioridad para mejorar procesos de planificación hídrica y conservación de cuencas.

La incorporación de caudales ecológicos dentro de políticas públicas relacionadas con gestión del agua permitirá promover modelos más sostenibles de aprovechamiento hídrico.

Finalmente, el estudio evidencia la necesidad de fortalecer investigación científica orientada a comprender relaciones entre dinámica hidrológica, biodiversidad y sostenibilidad ambiental en regiones áridas del Perú.

REFERENCIAS

- Acreman, M., & Dunbar, M. (2004). Defining environmental river flow requirements. *Hydrology and Earth System Sciences*, 8(5), 861–876.
- Autoridad Nacional del Agua. (2016). Lineamientos para la determinación de caudales ecológicos. ANA.
- Bernal Villanueva, R. A. (2014). Análisis del caudal del río Osmore en tiempo de estiaje y avenida, como alternativa de solución al alto contenido de arsénico y boro de la fuente de abastecimiento de Locumba-Ite, provincia de Ilo 2012-2013. Universidad Nacional de Moquegua.
- Dyson, M., Bergkamp, G., & Scanlon, J. (2008). *Flow: The essentials of environmental flows*. IUCN.

Ministerio del Ambiente. (2018). Conservación de ecosistemas acuáticos y gestión hídrica. MINAM.

Poff, N., Allan, J., Bain, M., Karr, J., Prestegard, K., Richter, B., Sparks, R., & Stromberg, J. (1997). The natural flow regime. *BioScience*, 47(11), 769–784.

Richter, B., Baumgartner, J., Powell, J., & Braun, D. (1996). A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. *Conservation Biology*, 10(4), 1163–1174.

UNESCO. (2021). Agua y ecosistemas fluviales en regiones áridas. UNESCO.

World Wildlife Fund. (2019). Environmental flows and river conservation. WWF.