

## APLICABILIDAD DEL SISTEMA BP (BIOLOGICAL PATH) PARA EL TRATAMIENTO Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES EN CHILE

Brayan Miranda Godoy, Juan Enrique Illanes Bücher, Joel Barraza Soto, César Gómez Cáceres

IGD CHILE S.A.  
Los Copihues N°370 Coquimbo  
Teléfono: 56 9 74136977  
mail: brayan.miranda@igdchile.com

### RESUMEN:

En Chile al igual que en el resto del mundo la tecnología principal para tratar aguas residuales es el Sistema de lodos activados creado en los inicios del Siglo XX en Inglaterra, que utiliza procesos celulares metabólicos de microorganismos en un entorno aeróbico. Sin embargo, en el tiempo este sistema ha evolucionado y complejizado produciéndose fallas frecuentes debido a la falta de especialistas en su operación y mantenimiento insuficiente, especialmente en áreas rurales.

Una solución viable es el Sistema BP japonés, alternativa innovadora para tratar desagües con materia orgánica concentrada. Este Sistema destaca por reducir hasta el 80% de la producción de lodos y su operación combinada entre fases aeróbicas y anaeróbicas, de baja complejidad y mantención.

Desarrollado experimentalmente con éxito en la planta de Aguas del Valle en La Serena, se implementó comercialmente en la localidad de Vado de Morrillos, Río Hurtado, Región de Coquimbo en 2021. Beneficiando a una zona afectada por una sequía de más de 20 años, trató 11.4m<sup>3</sup> diarios de aguas servidas de una pequeña localidad de 16 viviendas, incluyendo la sede social, escuela y centro turístico. Hasta la fecha, el sistema BP ha proporcionado a la comunidad de Vado de Morrillos un tratamiento de aguas servidas de 11.4m<sup>3</sup>/día, con bajos costos de operación y mantenimiento, además de agua para riego en áreas verdes de la escuela y viviendas.

**Palabras Clave:** Sistema BP, Reúso, Tratamiento, Reutilización.

### ABSTRACT:

*In Chile, the predominant technology for wastewater treatment is the activated sludge system, which utilizes the metabolic cellular processes of microorganisms in an aerobic environment. However, these systems frequently experience failures due to insufficient maintenance, especially in rural areas.*

*A viable solution is the Japanese BP system, an innovative alternative for treating drains with highly concentrated organic matter. It stands out for reducing sludge production by up to 80% and its combined operation between aerobic and anaerobic phases, with low complexity.*

*Successfully developed at the Aguas del Valle plant in La Serena, it was implemented in Vado de Morrillos, Río Hurtado, Coquimbo Region in 2021. Benefiting an area affected by a drought of over 20 years, it treated 11.4m<sup>3</sup> of daily sewage from a hamlet of 16 houses, including the social headquarters and tourist center. To date, the BP system has provided the Vado de Morrillos community with sewage treatment of 11.4m<sup>3</sup>/day, with low operating and maintenance costs, as well as water for irrigation in green areas of the school and homes*

## INTRODUCCIÓN

El agua constituye un elemento fundamental para todas las formas de vida, y la mayoría de los organismos pueden subsistir durante un breve período sin ella, siempre y cuando no carezcan de las características específicas necesarias. Estas características, que definen los criterios de calidad del agua, se dividen en aspectos físicos, químicos y biológicos. Sin embargo, resulta difícil establecer un criterio absoluto de calidad del agua, ya que este depende del uso específico y del destino que se le asigna.

Las aguas residuales se refieren a los efluentes liberados al entorno después de su utilización en actividades domésticas, comerciales, industriales o recreativas, entre otros usos. Por lo general, estas aguas se descargan directamente en el medioambiente tras pasar por un proceso de tratamiento que incluye etapas físicas, químicas y biológicas. La calidad del agua vertida al entorno puede tener consecuencias ecológicas significativas si se libera sin un tratamiento adecuado. Es por ello que la gestión de efluentes resulta fundamental para preservar la integridad del medioambiente.

En este contexto, uno de los sistemas de tratamiento más comúnmente empleado en la IV Región, Chile, para el tratamiento de aguas residuales domiciliarias en áreas rurales es el de lodos activados, (FCH 2018). Este sistema aprovecha los procesos celulares metabólicos de los microorganismos en un entorno aeróbico para tratar residuos orgánicos. A pesar de ser un método eficaz, los sistemas de tratamiento de lodos activados suelen experimentar tasas elevadas de fallas, atribuibles a la operación y mantenimiento a cargo de operadores con conocimientos limitados sobre el funcionamiento adecuado del sistema. Además, las organizaciones enfrentan costos significativos relacionados con la energía y la disposición final de los lodos en un relleno sanitario.

Con el objetivo de fortalecer la infraestructura sanitaria nacional, proponemos la adopción de un innovador proceso biológico de origen japonés para el tratamiento de aguas residuales, conocido como el sistema *Biological Path* (BP). La empresa KAWASE CO ha estado dedicada al desarrollo continuo de este sistema durante más de dos décadas, mientras que la Universidad Católica del Norte asumió la responsabilidad de estudiar esta planta en nuestro país.

Este sistema emplea un mecanismo de flujo pistón que posibilita el tratamiento de aguas residuales a través de una secuencia de procesos alternados aeróbicos y anaeróbicos. Desarrollada en Japón, esta tecnología ha demostrado su eficacia en la industria, particularmente en el tratamiento de aguas residuales con elevada carga de DBO en plantas de procesamiento de riles industriales.

El sistema BP se distingue por sus características destacadas, entre las cuales se encuentran su elevada eficiencia en la reducción de la carga orgánica, costos de mantenimiento bajos y la capacidad para generar efluentes libres de lodos.

## OBJETIVOS

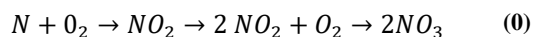
Se propone la adopción e integración de una alternativa tecnológica innovadora para el tratamiento y recuperación de aguas residuales, basada en una tecnología japonesa más económica y eficiente. Esta propuesta busca sustituir y/o complementar a las plantas tradicionales de tratamiento, especialmente en localidades rurales y centros urbanos del país.

## SISTEMA DE TRATAMIENTO BIOLOGICAL PATH

El principio de funcionamiento del sistema BP, ver Figura 1, se basa en un bioreactor de flujo continuo que combina en forma alternante

procesos anaeróbicos y aeróbicos para degradar eficientemente la materia orgánica, compuestos nitrogenados y fósforo. Estos se transforman biológicamente en componentes simples no eutrofizantes a través de bacterias quimioheterótrofas tanto aeróbicas como anaeróbicas.

La transformación que tiene lugar en un entorno aeróbico que se genera en el soporte de lecho fijo del sistema BP. El nitrógeno orgánico presente en esta fase se oxida primero a amoníaco y luego a ácido nitroso, culminando en la obtención de ácido nítrico, es así como:



La materia orgánica, una vez oxidada, y las bacterias que experimentan respiración endógena o autooxidación, especialmente después del agotamiento de las reservas de alimento en su fase anaeróbica, provocan que los microorganismos metabolizan su propio material celular sin reposición, resultando en la destrucción de sus células. La tasa de respiración endógena, también denominada coeficiente de autodestrucción de los organismos, disminuye la masa de células activas consumidas en un período determinado, lo que, en consecuencia, reduce la cantidad de materia orgánica presente en el sistema. De manera adicional, el ácido nítrico es reducido por las bacterias desnitrificantes, transformándose en gas de nitrógeno que se libera en el entorno, es así como:

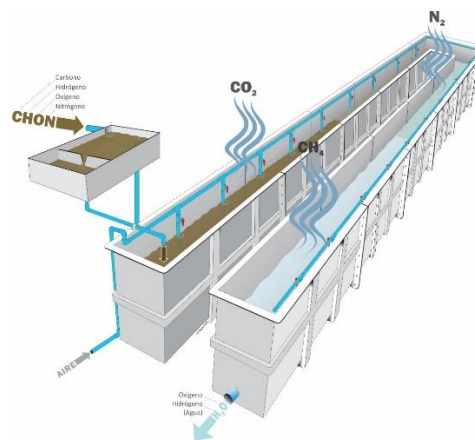
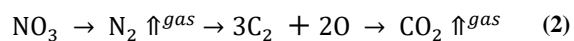


Figura 1. Representación sistema BP, Fuente J.Barraza et al. 2017.

## DESCRIPCIÓN Y RESULTADOS DEL PROYECTO PILOTO

Entre noviembre de 2016 y abril de 2017, La Universidad Católica del Norte, en colaboración con KAWASE CO de Japón, ha iniciado el desarrollo de un prototipo a escala piloto de una planta BP, financiado por el Gobierno Regional de Coquimbo a través de un Fondo de Innovación Competitiva (FIC, 2015).

El propósito de este piloto fue analizar diversas variables, tales como la eficiencia de degradación de la materia orgánica presente en aguas residuales domésticas, el impacto del tiempo de residencia hidráulica (TRH) y la velocidad de arrastre para la formación de biopelículas sobre sustratos de lecho fijo.

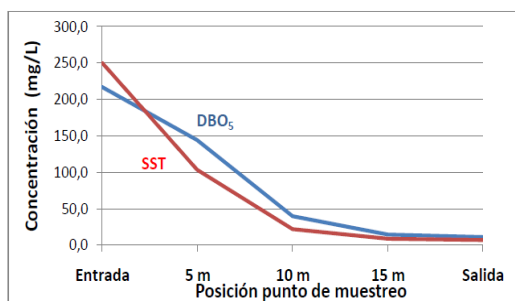
Este prototipo operó a temperatura ambiente en la planta base del emisario submarino de Aguas del Valle en la ciudad de La Serena, tratando flujos de 5 m<sup>3</sup>/día y 10 m<sup>3</sup>/día de agua residual doméstica, que previamente había sido sometida a un tratamiento primario mediante un tamiz para la eliminación de partículas de mayor tamaño.

En este contexto, se estableció un caudal de tratamiento de 5 m<sup>3</sup>/día a través de un estanque de tratamiento de 20 metros de longitud con un tiempo de residencia hidráulica (TRH) de 24 horas, al cual se le asignaron cinco puntos de monitoreo a distancias de 0 m, 5 m, 10 m, 15

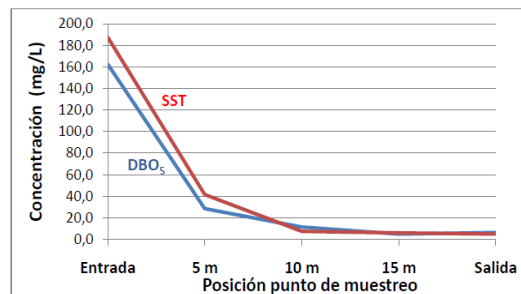
m y 20 m desde la entrada del afluente, permitiendo obtener un TRH de 24 horas. Estos puntos de monitoreo fueron objeto de estudio entre diciembre de 2016 y febrero de 2017.

Los resultados obtenidos durante el pilotaje se presentan en la Figura 2. En promedio, el afluente ingresó con concentraciones de 162 mg/l de DBO5 y 187.4 mg/l de SST. Después de 6 horas de tiempo de residencia o al avanzar 5 metros desde la entrada al sistema, se logró una reducción a 28.5 mg/l (82.4%) para DBO5 y 28.5 (84.8%) para SST. Después de 24 horas, al avanzar 20 metros desde la entrada del sistema, se alcanzó una reducción de 4 mg/l (97.9%) para DBO5 y 5 mg/l (97.3%) para SST.

Posteriormente, se duplicó el caudal del afluente a 10 m<sup>3</sup>/día y se repitieron las mediciones en los mismos puntos de monitoreo, lo que resultó en una disminución del TRH a 12 horas. Los resultados se muestran en la Figura 3 e indican que, en promedio, el afluente ingresó con concentraciones de 216 mg/l de DBO5 y 250 mg/l de SST. Después de 3 horas de tiempo de residencia o al avanzar 5 metros desde la entrada al sistema, se logró una reducción a 143 mg/l (33.8%) para DBO5 y 103 mg/l (58,8%) para SST. Después de 12 horas, al avanzar 20 metros desde la entrada del sistema, se alcanzó una reducción de 8 mg/l (96.4%) para DBO5 y 6.5 mg/l (97.4%) para SST.



**Figura 2:** Resultado promedio de DBO5 y SST con 5 m<sup>3</sup>/día y 24 horas de TRH. Fuente J.Barraza et al. 2017.



**Figura 3:** Resultado promedio de DBO5 y SST con 10 m<sup>3</sup>/día y 12 horas de TRH. Fuente J.Barraza et al. 2017.

### IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO EN ENTORNO REAL

Después del exitoso piloto llevado a cabo en la ciudad de La Serena, el sistema BP fue sometido a evaluación por la SEREMI de Salud de la Región de Coquimbo, donde se obtuvo la Resolución Sanitaria del Ministerio de Salud, autorizando su funcionamiento y aplicabilidad en Chile.

En el año 2021, el Municipio de Río Hurtado presentó una solicitud de fondos a la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo del Ministerio del Interior para abordar un problema sanitario en la localidad de Vado de Morrillos. En esta área, un sistema de fosa dren colapsado afectaba la calidad de vida de los residentes, siendo parte de un conjunto de 16 viviendas SERVIU desde 2005, junto con una escuela, una sede social y un camping turístico, dando como resultado un caudal de tratamiento de 11.4 m<sup>3</sup>/día proyectado a 20 años.

El proyecto implicó el redireccionamiento de las aguas servidas de la localidad mediante una tubería de 250 metros. atravesando la Ruta D-595 y empleando dos plantas elevadoras para conducir las aguas a un sistema que comprende un filtro de rejillas, desarenador, ecualizador, biodigestor, proceso de cloración y desinfección, tal como se indica en el diagrama de flujo de proceso de la Figura 4.

Este sistema incluye paneles fotovoltaicos que han contribuido significativamente a reducir los costos de energía eléctrica para un ahorro del 50% de consumo de la planta.

El agua tratada mediante la tecnología BP exhibe una calidad destacada, como se evidencia en la Figura 5. Después de pasar por un proceso de almacenamiento, cloración y un tratamiento terciario, se destina al riego de áreas verdes tanto en la localidad como en las propiedades de los residentes. Estos últimos emplean este recurso para el riego de plantas ornamentales y cultivos frutales, en pleno

cumplimiento de las normativas establecidas por la NCh 1333.

### COSTOS DE MANTENCIÓN Y OPERACIÓN PLANTA BP

La Figura 6 muestra el consumo promedio de la planta BP instalada en la localidad de Vados de Morrillos, la cual lleva más de 2 años desde

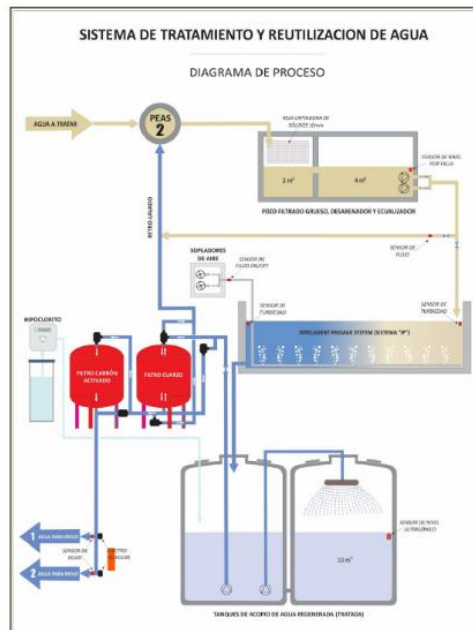


Figura 4: Diagrama de flujo de proceso del sistema BP.



(a)



(b)

Figura 5: Imágenes tomadas en mayo 2023, en Vado de Morrillos comuna de Río Hurtado en donde se observa: (a) afluente del sistema, (b) Efluente del sistema.

su funcionamiento. Los valores indican que el costo promedio por concepto de energía es de \$ 88.821 CLP por mes.

La Tabla 1 presenta el consumo efectivo de la planta con tecnología BP en la localidad de Vados de Morillo. El gasto más significativo

corresponde al salario de un operador, que se estima trabaja 20 horas a la semana, enfocándose principalmente en la gestión del agua y la supervisión del sistema. A continuación, el costo eléctrico adquiere relevancia, aunque se ve reducido en un 50% gracias a la implementación de paneles fotovoltaicos. Este valor no solo abarca el consumo del reactor biológico BP, sino también la inclusión de dos plantas elevadoras, almacenamiento, sistemas terciarios y de reimpulsión a riego.

Adicionalmente, la Tabla 1 incluye una proyección del costo de mantenimiento de la planta de tratamiento BP, en estos casos para el operador se asume un incremento en sus horas de trabajo a 30 horas. Un aspecto destacado de los resultados es que al comparar el costo de tratamiento y mantenimiento de la planta con la cantidad de agua disponible para su uso, se observa una reducción continua. Este costo disminuye de \$966/m<sup>3</sup>, para la planta de Vados de Morillo, a \$411/m<sup>3</sup> al proyectarse a una planta capaz de tratar un afluente de 70 m<sup>3</sup>/día, tal como se muestra en la Figura 7.

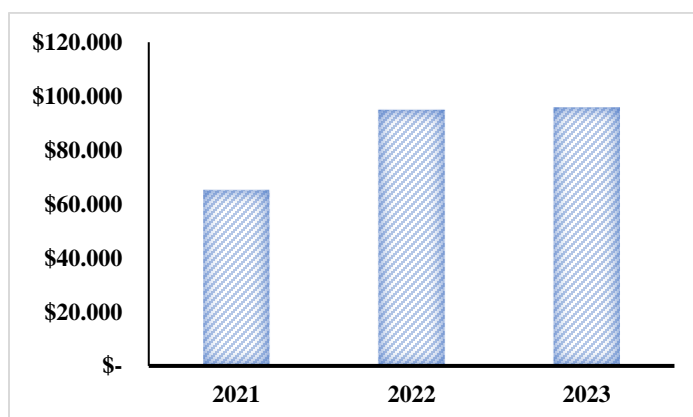


Figura 6: Costo eléctrico medio de la planta BP en Vados de Morillo, 2021-2023.

Tabla 1: Proyección de costos de mantención y operación para diferentes tratamientos de afluente con sistema de tratamiento BP, el cual incluye el costo de reimpulsión para riego.

Ítem	Planta Vados de morillo	Proyección 1	Proyección 2	Proyección 3
Afluente (m <sup>3</sup> /día)	11.4	20	40	70
Familia	18	27	60	100
Costo eléctrico (100%)	\$177,642	\$298,587	\$365,892	\$721,094
Costo eléctrico (50% ahorro energía)	\$88,821	\$149,294	\$182,946	\$360,547
Costo mensual operador	\$204,480	\$306,720	\$408,960	\$408,960
Costo insumo	\$37,036	\$74,072	\$148,144	\$259,252
Costos mantención y operación planta mensual	\$330,337	\$530,086	\$740,050	\$1,028,759
Costo mantención y operación por hogar mensual	\$18,352	\$19,633	\$12,334	\$10,288
Costo tratamiento agua (\$/m <sup>3</sup> )	\$966	\$883	\$617	\$490

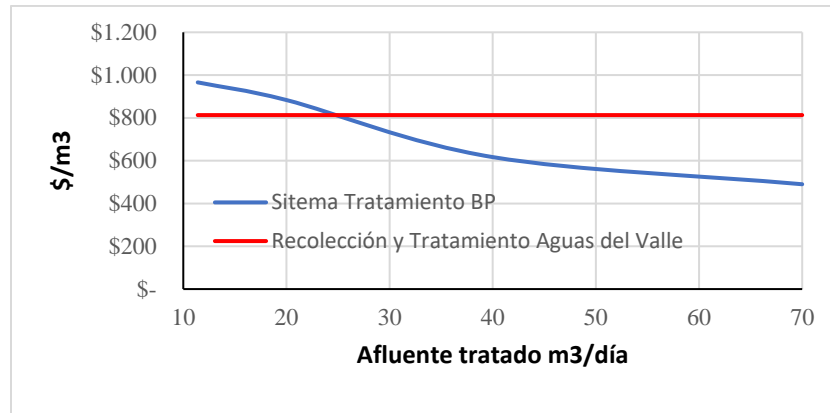


Figura 7: Costo de tratamiento de agua en función del tamaño de la planta.

## CONCLUSIÓN

Tanto el pilotaje desarrollado en la planta base del emisario submarino de Aguas del Valle de la ciudad de La Serena, así como el proyecto desarrollado en la localidad de Vado de Morrillos Comuna de Río Hurtado han sido de gran interés para autoridades locales como de otras regiones, profesionales del área y usuarios y administradores de sistemas de tratamiento de aguas residuales. El mayor interés resulta por la capacidad de esta tecnología de no producir lodos en su proceso de depuración, además es compacta, no produce olores, no requiere personal especializado y casi no requiere mantención.

En la actualidad, la tecnología BP constituye una alternativa atractiva para las diversas municipalidades e industrias que hasta ahora debían optar por instalar proyectos para tratamientos de aguas residuales utilizando procesos convencionales de depuración, sin considerar además el alto costo operacional asociado, y que no resuelven del todo el impacto sobre el medio ambiente que genera la disposición de lodos.

Es importante también considerar que el sistema permite un aprovechamiento del 100% del agua tratada lo que se condice con las exigencias de estos sistemas y su aporte a desarrollar nuevas fuentes de agua disponible principalmente para riego.

## Referencias

- Barraza, J., Illanes J., Morales, M., Basulto, C., Orrego, R., Tagushi, S., Uki, N. & Merino, G. (2017). Sistema Intelligent Passage Una Tecnología emergente para depuración de Aguas Residuales. Departamento de Acuicultura, Universidad Católica del Norte, Coquimbo, Chile.
- FIC. (2015). Análisis Tecnología para Depuración de Aguas Residuales, código BIP 30403172-0.
- SUBDERE. (2020). Construcción Sistema de Alcantarillado Colectivo Localidad de Vado de Morrillos, Comuna de Río Hurtado
- FCH. (2018). Claves para la Gestión de las Aguas Residuales.
- SUBDERE. (2011). Manual de soluciones de Saneamiento Sanitario para zonas rurales