

Avance en la Meta 6.3 del Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 por el Mejoramiento del Tratamiento de Aguas Residuales en Arequipa-Perú al año 2020

Progress on Target 6.3 of Sustainable Development Goal 6 by the Improvement of Wastewater Treatment in Arequipa-Peru by 2020

José Valverde-Ortiz, Magister¹, Gretel Gutiérrez-Calderón, Magíster^{1,2}, Elizabeth Vidal Duarte, Magister¹
Eveling Castro Gutiérrez, Magister¹,

¹Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú, jvalverdeor@unsa.edu.pe,
ggutierrezcald@unsa.edu.pe, evidald@unsa.edu.pe, ecastro@unsa.edu.pe,.

²Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, ggutcal@doctor.upv.es

Resumen. – El año 2015 la ciudad de Arequipa, Perú, con más de un millón de habitantes, tenía una sola planta de tratamiento de aguas residuales, ya obsoleta y que solo podía atender el 8 % de las aguas residuales producidas por su población, el resto era vertido en un cuerpo de agua natural sin ningún tratamiento afectando su calidad ambiental. Para solucionar esta problemática, y dejar de contaminar, se han construido dos plantas de tratamiento de aguas residuales, La Escalerilla y La Enlozada, con capacidad de atender la demanda total de tratamiento de aguas residuales. En el presente artículo se ha evaluado el avance en la Meta 3 del Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 por el Mejoramiento del Tratamiento de Aguas Residuales en Arequipa-Perú que busca garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos. La Meta 3 se refiere al tratamiento de aguas residuales de manera segura. Para determinar los indicadores de esta Meta, se ha utilizado la metodología propuesta por las Naciones Unidas que es aplicada a nivel mundial por los estados que firmaron el acuerdo de la Agenda 2030, y se ha ensayado su aplicación con data real. En este estudio se ha determinado la eficacia de la medida y se ha determinado la calificación de meta cumplida para la ciudad de Arequipa. Para determinar el valor de los indicadores se ha recopilado información de línea base (Antes de tratamiento) y el monitoreo de cinco años (2016 – 2020), período que vienen operando las Plantas de Tratamiento de aguas Residuales. Las conclusiones sirven para valorar el cierre de brechas y verificar la sostenibilidad de lo implementado que está alineado con la política número 33, “Manejo de Recursos Hídricos” del Estado Peruano.

Palabras clave—Agua Residual, Objetivos de Desarrollo Sostenible, ODS 6, Reúso de Agua, brecha.

Abstract: In 2015 the city of Arequipa - Peru, with more than a million inhabitants, had a single wastewater treatment plant, that could only serve 8% of the wastewater produced by its population, the rest was dumped into a natural water body without any treatment, affecting its environmental quality. To solve this problem, and stop polluting, two wastewater treatment plants have been built, La Escalerilla and La Enlozada, with the capacity to meet the total demand for wastewater treatment. This article has evaluated the progress in Target 3 of Sustainable Development Goal 6 by the Improvement of Wastewater Treatment in Arequipa-Peru, which seeks to guarantee the availability of clean water and sanitation for all. Target 3 refers to treating wastewater safely. To determine the indicators for this Target, the methodology proposed by the United Nations has been used, which is applied worldwide by the states that signed the 2030 Agenda agreement, and its application has been tested with real data. In this study, the effectiveness of the measure has been evaluated and it has been concluded that the target 6.3 has been achieved. To determine the value of the indicators, baseline information (Before treatment) and five years monitoring (2016-2020) have been compiled, the period in which the Wastewater Treatment Plants have been operating. The conclusions serve to assess the closure of gaps and verify the sustainability of what has been implemented that is aligned with policy number 33, "Water Resources Management" of the Peruvian Government.

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.437>
ISBN: 978-958-52071-8-9 ISSN: 2414-6390

I INTRODUCCIÓN

Mientras que en la ciudad de Arequipa, Perú, de más de un millón de habitantes, entraban en operación sus dos nuevas plantas de tratamiento de aguas residuales, La Escalerilla[1] en 2015 y La Enlozada[2] en diciembre de 2016, con capacidad instalada para atender el 100 % de las aguas residuales de la ciudad, con una proyección de diseño que va hasta el año 2036, en Durban (Sudáfrica), el 22 de marzo de 2017, se realizaba la presentación pública del Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos, titulado “Las aguas residuales – El recurso desaprovechado” en donde se planteó que “las ingentes cantidades de aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales vertidas a diario en el medio ambiente constituyen un recurso valioso, en vez de un problema oneroso”. Este Informe sostiene que las aguas residuales pueden ser un recurso inestimable para satisfacer la creciente demanda mundial de agua dulce y diversas materias primas [2].

Atendiendo una oportunidad de reúso de las aguas residuales municipales, mediante un acuerdo entre la entidad pública y la empresa privada en una ciudad que sólo trataba el ocho por ciento de éstas (2015), y el resto (92%), se descargaba al río sin ningún tratamiento, situación característica de la mayoría de ciudades en América Latina, en las que en promedio se vierten el 70% de aguas sin tratar en el medio ambiente[3], se ha logrado un avance importante hoy, al cubrir el 100% del tratamiento de las aguas residuales producidas en la ciudad que son recolectadas por la red de alcantarillado.

Entre 1.3 y 1.6 m³/s de aguas residuales eran vertidas en el río Chili, que llevaba solamente seis metros cúbicos por segundo (6 m³/s) en la zona de vertimiento. Esta descarga, equivalente al 25% de su caudal, lo contaminaban con materia orgánica que reducía drásticamente el oxígeno disuelto en el agua fresca, afectando la vida acuática y diversidad biológica, además de bacterias como coliformes fecales provenientes de las heces humanas, grasas y aceites provenientes de las actividades antropogénicas y comerciales, así como otros residuos sólidos suspendidos que ingresan al alcantarillado sanitario. Aguas abajo, las aguas de este río, son usadas para riego de campos de cultivo, bebida de animales e incluso como fuente para plantas potabilizadoras para algunas pequeñas comunidades con repercusiones negativas para la salud de la población y el medio ambiente [2].

En el presente artículo, se presenta un análisis del impacto positivo en la gestión del agua de la cuenca al haber reducido la brecha del tratamiento de aguas residuales en esta ciudad, con un acuerdo público – privado, dando solución al vertido de aguas sin tratar en el río, con la implementación de plantas de tratamiento, destinando parte del agua depurada para el

reúso en operaciones mineras, que se traduce en la mejora de la calidad del agua ambiental, el uso eficiente de los recursos hídricos, la protección de ecosistemas relacionados con el agua, y la participación de stakeholders en la gestión del agua, lo que a su vez mejora la salud pública y contribuye en la reducción de la pobreza.

Para determinar el impacto positivo de la medida implementada, se ha utilizado la metodología e indicadores de las metas del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 6 de la Agenda al 2030 de las Naciones Unidas, y se ha medido el avance en la Meta 6.3, por el Mejoramiento del Tratamiento de Aguas Residuales en Arequipa-Perú al año 2020

El aporte de este artículo atiende a varios fines, pueden ayudar a los encargados de la formulación de políticas y de la toma de decisiones en todos los niveles de gobierno a detectar las brechas y establecer las prioridades para que las políticas y las inversiones en materia de agua y saneamiento sean efectivas, aprender de las buenas prácticas para una implementación más eficiente, comunicar los avances y las necesidades, concienciar, lograr apoyo político y estimular la acción, incluida la inversión financiera.[4]

El logro de la meta 3 del ODS 6, contribuye con los avances en materia de agua potable (meta 6.1) y a la reducción de las enfermedades transmitidas por el agua (meta 3.3). La reutilización sin riesgos de las aguas residuales contribuye a aumentar la producción de alimentos (meta 2.4) y a mejorar la nutrición (meta 2.2), al tiempo que mitiga la escasez de agua (meta 6.4), aumenta el uso eficiente de los recursos hídricos (meta 6.4) y contribuye a la urbanización sostenible (meta 11.2) [5].

Además, esta medida, está alineada con la política de estado número 33 del estado peruano, “Política de estado sobre los recursos hídricos”[6] en aspectos de manejo de cuencas, ciclo del agua y reúso y reciclaje entre otros.

I. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)

En setiembre de 2015, los 193 Estados Miembros de la Asamblea General de las Naciones Unidas acordaron de forma unánime aprobar la “Agenda 2030” para el Desarrollo Sostenible[7]. La Agenda 2030 es una agenda transformadora, que pone a la igualdad y dignidad de las personas en el centro y llama a cambiar nuestro estilo de desarrollo, respetando el medio ambiente[8]. Los Estados Miembros resolvieron “poner fin a la pobreza en todas sus formas”, adoptar medidas audaces y transformativas para “reconducir al mundo por el camino de la sostenibilidad y la resiliencia” y asegurarse de que “nadie se quedará atrás”. La Agenda 2030 estableció 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y 169 metas mundiales para ser trabajados y cumplidos en el período 2015–2030 [9].

En este artículo evaluamos los avances en el ODS 6, específicamente en sus Meta 6.3, en una ciudad de más de un millón de habitantes en Perú, que mejoró exitosamente su sistema de tratamiento de aguas residuales.



Fig. 1 Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 – ODS 6

El ODS 6 tiene el Objetivo de Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos al 2030.

Los Estados Miembros reconocen de manera generalizada los derechos humanos al agua y el saneamiento. Los recursos hídricos están integrados en todas las formas de desarrollo, como en la seguridad alimentaria, la promoción de la salud, la reducción de la pobreza, el crecimiento económico y la conservación de ecosistemas saludables[10].

El objetivo específico sobre agua y saneamiento, ODS 6 [11], representa una versión más avanzada de los Objetivos Del Milenio (ODM) [12], ODM 7, Objetivo 7C sobre agua potable y saneamiento, ya que incluye la gestión segura del agua, las aguas residuales y de los ecosistemas. En ese sentido, la estimación de indicadores plantea un desafío importante, en la recolección de los datos, así como en el monitoreo de los mismos, que cubra todo el ciclo de producción de los servicios del agua, o de los otros servicios relacionados con estas metas[13].

II. METAS E INDICADORES DEL ODS 6

El ODS 6 tiene seis metas mundiales que son de aplicación universal y expresan aspiraciones a nivel global. Sin embargo, cada gobierno debe decidir la forma de incorporar esas metas en los procesos de planificación, las políticas y las estrategias nacionales en función de las realidades, las capacidades, los niveles de desarrollo y las prioridades de cada país. En el caso de Perú se ha revisado los documentos que muestran avances en el monitoreo indicadores del ODS 6 referidos a agua y saneamiento[13].

Las metas del ODS 6 abarcan el ciclo completo del agua, el cual incluye: el suministro de agua potable (meta 6.1) y servicios de saneamiento e higiene (meta 6.2), el tratamiento y la reutilización de las aguas residuales y la calidad del agua ambiente (meta 6.3), el uso eficiente de los recursos hídricos y la escasez de agua (meta 6.4), la gestión integrada de los recursos hídricos, incluso mediante la cooperación transfronteriza (meta 6.5), la protección y el restablecimiento de los ecosistemas relacionados con el agua (meta 6.6), la

cooperación internacional y la creación de capacidad (meta 6.a), así como la participación en la gestión del agua y el saneamiento (meta 6.b) [7].

La meta 6.3 insta a mejorar la calidad del agua reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y exhorta a los países a aumentar la recogida y el tratamiento de las aguas residuales de modo que los efluentes cumplan sistemáticamente las normas nacionales. Para ello, deben implementarse sistemas de tratamiento de aguas residuales in situ y externas, con tecnologías que garanticen la depuración adecuada. Asimismo, la producción de aguas residuales industriales debe ser monitoreada y regulada mediante permisos de vertimiento, tanto en el alcantarillado como en el medio ambiente. Contar con recursos financieros y técnicos para operarlas adecuadamente, cumplir con las normativas de calidad de agua tratada, condiciones y facilidades para el reúso seguro del agua tratada, leyes en materia de contaminación hídrica y la existencia de instituciones encargadas de supervisar el cumplimiento y sancionar las violaciones. También contribuye al ejercicio del derecho humano al agua y el saneamiento, especialmente el derecho a no sufrir perjuicios a causa de una gestión incorrecta de las aguas residuales[5].

6.3	De aquí a 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial	6.3.1	Proporción de aguas residuales tratadas de manera adecuada
		6.3.2	Proporción de masas de agua de buena calidad

Fig. 2 Meta 6.3 del ODS 6 y sus Indicadores

Los indicadores que sirven para cuantificar y monitorear el avance de la Meta 6.3 del ODS 6 son el Indicador 6.3.1, Proporción de aguas residuales tratadas de manera adecuada y el Indicador 6.3.2, Proporción de masas de agua de buena calidad[4].

A. Indicador 6.3.1 – Proporción de Aguas Tratadas de manera segura.

1) Metodología

Las aguas residuales se definen como aquellas que han dejado de tener un valor inmediato con respecto al fin para el que fueron utilizadas o producidas debido a su calidad, volumen o momento en el que están disponibles. El indicador 6.3.1 consta de dos subindicadores: 6.3.1a: Porcentaje de aguas residuales domésticas tratadas de manera adecuada, y 6.3.1b: Porcentaje de aguas residuales industriales tratadas de manera adecuada[5].

Los subindicadores evalúan el desempeño real del tratamiento a partir de los datos sobre la calidad de los efluentes y los permisos de vertimiento en los cuerpos receptores disponibles [5].

La metodología también indica que estos dos subindicadores podrían combinarse en un solo indicador. En el caso de Arequipa, se aplica un solo indicador, el 6.3.1 debido a que las descargas de las industrias, debidamente identificadas son controladas con los Valores Máximos Admisibles (VMA)[14], que resguardan la calidad del afluente que llega a las plantas de tratamiento. Por otro lado, la red de alcantarillado sanitario es separada, es decir no conecta con red de drenajes pluviales que arrastran las escorrentías de la ciudad. Las aguas residuales recolectadas por la red de alcantarillado sanitario de la ciudad, se enmarcan en la definición de “residuales municipales” del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) de Perú[15].

La efectividad en el cumplimiento de la meta 6.3 de los ODS depende del progreso hacia el acceso universal a los servicios de saneamiento, indicador 6.2.1 (en el caso de Arequipa, la cobertura de la red de alcantarillado sanitario es del 80% [16]), de la mejora del desempeño en el tratamiento de las aguas residuales domésticas (6.3.1a), el control y el tratamiento de las fuentes de aguas residuales industriales (6.3.1b) y la reducción de la contaminación difusa procedente de la agricultura y las escorrentías urbanas [5].

La contaminación difusa que se vierte en el cuerpo receptor de agua, en el caso de este estudio, no se considera de manera directa. La contaminación difusa está incluida en el indicador 6.3.2 que evalúa el impacto combinado de todos los vertidos de aguas residuales en la calidad de las aguas ambientales.

Los datos para el indicador 6.3.1 son recopilados por los ministerios e instituciones nacionales, en caso de Perú se realiza a través del Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento y el Instituto Nacional de Estadística (INE). En el caso del presente estudio, los datos han sido recolectados directamente de la entidad responsable de la administración del servicio de agua y saneamiento de la ciudad de Arequipa que administra el sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad[17].

La recolección, el tratamiento y la reutilización de aguas residuales de las viviendas y la industria, la reducción de la contaminación difusa y la mejora de la calidad del agua son desafíos importantes para el sector hídrico y sus diferentes usuarios. La calidad del agua dulce ambiental es más contaminada día a día en todo el mundo. De acuerdo con las estimaciones preliminares en 79 países de altos y medianos ingresos, el 76% y el 18% respectivamente de las aguas residuales tienen un nivel de tratamiento seguro [10]. En el

caso de Perú, en el año 2015 reporto un índice de tratamiento de 39% [16]. En la ciudad de Arequipa, una ciudad de más de un millón de habitantes, el nivel de tratamiento de aguas residuales era de 8% en el año 2015, tomado como línea base de este indicador[18].

El control de la calidad del afluente de aguas residuales a la PTAR es fundamental para garantizar la eficiencia de tratamiento, para ello, el control y fiscalización de los vertidos industriales con la norma de VMA es fundamental. La buena operación, además de un adecuado y oportuno programa de mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales, así como los controles de los parámetros físico químicos y bacteriológicos con laboratorios de proceso, que debe ser obligatorio en las plantas, es un factor decisivo para la sostenibilidad de la inversión y la sostenibilidad del ODS 6, Meta 6.3, considerando que estas aguas tratadas son reusadas, y parte de ellas son devueltas a un cuerpo receptor.

En el caso de Arequipa, un volumen tratado de 1 m³/s es destinado al reúso en actividad minera[19] y el resto es descargado a un cuerpo natural de agua que es el Río Chili, cuyas aguas son utilizadas en agricultura especialmente. El control de la calidad de las aguas tratadas que salen de la planta de tratamiento (efluente) es fiscalizado por el Ministerio de Vivienda de Perú, exigiendo cumplimiento de la norma Límites Máximos Permisibles (LMP)[20], y una entidad del Ministerio de Agricultura, la Autoridad Nacional del Agua, vigila que el vertimiento de efluentes tratados de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el cuerpo receptor no alteren su calidad natural mediante el control de los parámetros de calidad especificados en el Estándar de Calidad Ambiental del Agua (ECA)[21].

Para determinar el valor del Indicador 6.3.1, se ha tomado la metodología de monitoreo sugerida por la Naciones Unidas, que fue elaborada y puesta a prueba en consulta con expertos en aguas residuales, expertos nacionales del sector saneamiento y autoridades en materia de estadística. La metodología se ha armonizado con las Recomendaciones internacionales para las estadísticas del agua (DAES, 2012) y con los mecanismos regionales de monitoreo establecidos[5].

2) Determinación del Indicador 6.3.1

La proporción de aguas residuales tratadas de manera segura se define con la siguiente relación:

$$I_{6.3.1} = \frac{VARR}{VARTS}$$

Donde:

VARR : Volumen de Aguas Residuales Recolectadas por la red de alcantarillado.

VARTS : Volumen de Aguas Residuales Tratadas de manera Segura.

El componente VARR se obtiene en función de la cantidad de agua potable entregada a los usuarios de la misma red de alcantarillado atendida por las plantas de aguas residuales, y se define de la siguiente manera:

$$VARR = 0.80 * VAPD$$

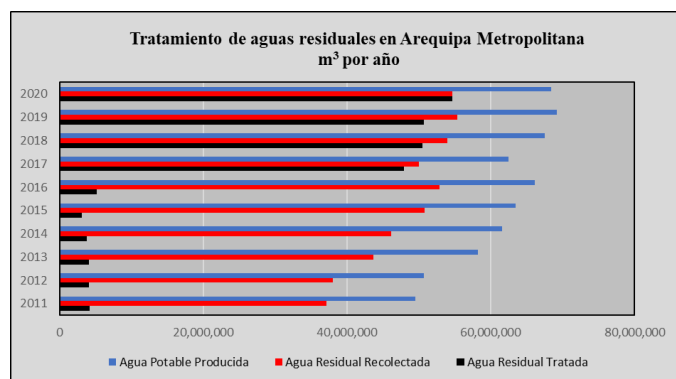
Donde:

VAPD: Volumen de Agua Potable Distribuida

En Perú, se aplica lo indicado en su Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma OS.100[22], que estipula que la proporción de aguas residuales recogidas de los usuarios domésticos mediante el sistema de alcantarillado equivale al 80% del agua distribuida desde sus plantas de agua potable. Se ha aplicado este concepto considerando que la red tiene un adecuado registro y control de medición del total de agua potable distribuida en la misma área de la red de alcantarillado. El volumen de aguas residuales es medido con flujómetros electromagnéticos a la llegada de las plantas de aguas residuales.

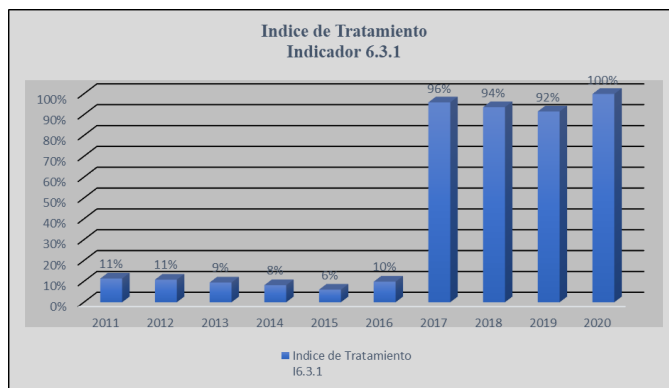
En la Tabla I se muestra la evolución de la relación entre el agua potable distribuida, el agua residual recolectada y el agua residual tratada de manera segura en el periodo 2011 a 2020. Se puede apreciar claramente la escalada en el tratamiento de aguas residuales que casi cubre el 100% en el año 2020.

TABLA I
RELACION ENTRE AGUA RESIDUAL RECOLECTADA Y AGUA TRATADA EN LA CIUDAD DE AREQUIPA



En la Tabla II, se muestra el Índice de tratamiento que refleja el avance de la Meta 6.3, y se obtiene con la aplicación del Indicador 6.3.1. Se observa que el índice de tratamiento de aguas residuales ha subido de un 6%, estipulado en los registros del año 2015, hasta niveles cercanos al 100% al 2020.

TABLA II
AVANCE EN LA META 6.3.1



En base a la lectura de la metodología, se debe clarificar que la eficacia de este indicador depende de la cobertura de la red de alcantarillado en la ciudad, y está relacionado con la Meta 6.2, indicador 6.2.1, sobre los servicios de saneamiento gestionados sin riesgos y mide el tratamiento con tecnologías secundarias o de nivel superior. En el caso de Arequipa, la cobertura declarada de red de alcantarillado es de 80%. Debe considerarse que la zona no cubierta por infraestructura de red de alcantarillado, corresponden a zonas con asentamientos humanos informales, la mayor parte invasiones a tierras eriazas que son urbanizadas irregularmente sin ninguna planificación urbana, incluso en zonas de riesgo naturales (inundaciones, huaycos, terrenos no adecuados para edificación). Los asentamientos más recientes muestran un desarrollo y ocupación de vivienda muy bajo, y los más antiguos son los que gradualmente implementan infraestructura de agua y saneamiento. Esta circunstancia merece un estudio específico y estrategia si se desea llegar a cumplir las metas del ODS6 al 100% al 2030. Al no contar con sistema de alcantarillado o sistemas de tratamiento in situ, en estas zonas se practica la defecación al aire libre o uso silos.

3) Análisis de resultados del indicador 6.3.1

Del análisis realizado con el indicador 6.3.1 en la ciudad de Arequipa se concluye lo siguiente:

- a) Desde la implementación de las plantas de tratamiento aguas residuales a finales del año 2016, un promedio de 95% de las aguas residuales domésticas de la población se desechan a través de un sistema de alcantarillado, y pasan por un tratamiento adecuado cumpliendo los parámetros de calidad de efluente de las normas.
- b) Se estima que hay un 5% o menor de aguas residuales que no se recogen y corresponden a zonas sin servicios sanitarios, con prácticas de defecación al aire libre o utilización de letrinas.

- c) El 100% de las aguas residuales domésticas captadas a través del sistema de alcantarillado se trata de manera adecuada.
- d) Un 0.5% de población urbana no están conectadas al sistema de alcantarillado, y descargan sus aguas residuales en el río sin tratamiento.

B. Indicador 6.3.2, Porcentaje de masas de agua de buena calidad.

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) es la agencia de custodia del indicador 6.3.2 y su socio implementador es el Sistema Mundial de Vigilancia del Medio Ambiente para el Agua Dulce (GEMS/Agua). Todos los indicadores del Objetivo 6 son coordinados por ONU-Agua bajo la Iniciativa de Monitoreo Integrado para el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 (IMI-SDG6)[23].

El indicador 6.3.2 proporciona el mecanismo para determinar si los esfuerzos para mejorar la calidad del agua están funcionando.

Recordemos que la Meta 6.3 apunta a mejorar la calidad del agua: “De aquí a 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial”.

Un cuerpo de agua puede ser: (i) una sección o un afluente de un río; (ii) un lago; o (iii) un acuífero. Idealmente, los cuerpos de agua de los ríos deberían estar delineados para garantizar que sean homogéneos en términos de calidad del agua. Esto permite que la calidad del cuerpo de agua se clasifique como “buena” o “no buena”, utilizando menos estaciones de monitoreo.

El desarrollo sostenible depende de una fuente constante y confiable de agua dulce. En el nivel individual más básico, confiamos en estas fuentes para beber, lavar y preparar alimentos. También dependemos de este recurso para riego, recreación, generación de energía y para el uso en múltiples industrias. Los ecosistemas de agua dulce sirven para atender estas necesidades, pero su capacidad de continuar haciéndolo está bajo amenaza. Las presiones de las actividades humanas, como la liberación de efluentes no tratados y los cambios en las cuencas hidrográficas, que incluyen intensificación agrícola y deforestación causan daños a estos frágiles ecosistemas[23].

1) Metodología

El indicador 6.3.2 utiliza un enfoque basado en objetivos para clasificar la calidad del agua. Esto significa que los valores medidos se comparan con valores numéricos que representan “buena calidad del agua”. Estos objetivos pueden ser estándares de calidad del agua definidos por la legislación nacional o pueden derivar del conocimiento del estado natural o de línea de base de los cuerpos de agua. La calidad del agua ambiental dentro del marco del indicador 6.3.2 no está definida en términos de un “uso” particular del agua. Esto se debe a que es importante que la calidad del agua en nuestros ríos, lagos y acuíferos se compare con las condiciones naturales antes de que se designe para un uso humano en particular[23].

La metodología establecida por la ONU presenta dos niveles para la calificación del cuerpo de agua.

Para el Nivel 1 evalúa un conjunto de parámetros físico químicos, y establece que un cuerpo receptor “tiene buena calidad de agua ambiental” si 80% o más de los valores de monitoreo cumplen los objetivos, es decir, están dentro de los parámetros de calidad de agua natural establecidos en la norma nacional. La calificación de la calidad del agua ambiental es “buena” o “no buena”[23].

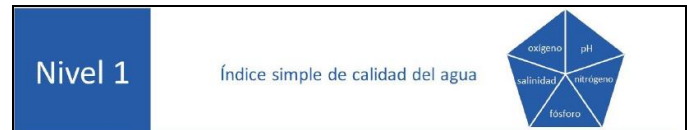


Fig. 3 Parámetros para determinar el índice simple de la calidad del agua. Nivel 1

Según la metodología, los parámetros a considerar para establecer la calidad del cuerpo de agua en nivel 1, en este caso, un río, se muestran en la Tabla III

TABLA III
PARAMETROS DE CALIDAD DEL AGUA – Nivel 1

Grupo de parámetros	Parámetro	Río	Lago	Agua Subterránea	Razón para su inclusión / Presión
Oxígeno	Oxígenos disueltos	•	•		Medida de agotamiento de oxígeno
	Demanda biológica de oxígeno, demanda química de oxígeno	•			Medida de contaminación orgánica
Salinidad	Conductividad eléctrica Salinidad, sólidos disueltos totales	•	•	•	Medida de salinización . Ayuda a caracterizar el cuerpo de agua.
Nitrógeno*	Total de nitrógeno oxidado Nitrógeno total, nitrito, nitrógeno amoniacal	•	•		Medida de contaminación por nutrientes.
	Nitrato**			•	Preocupación de salud para el consumo humano
Fósforo	Ortofosfato Fósforo total	•	•		Medida de contaminación por nutrientes.
pH	pH	•	•	•	Medida de acidificación. Ayuda a caracterizar el cuerpo de agua.

*Los países deben incluir las fracciones de N y P que son mas relevantes en el contexto nacional
** Se sugiere nitrato para el agua subterránea debido a los riesgos asociados para la salud humana

Para el Nivel 2, se deben considerar otros controles más, tales como análisis de metales pesados, análisis de contaminantes patógenos, realizar enfoques biológicos, modelamientos, enfoques ciudadanos entre otros.



Fig. 4 Controles Adicionales Sugeridos para el Nivel 2

Con respecto a los parámetros patógenos, se han monitoreado coliformes totales, coliformes termotolerantes y echericha coli.

En este caso, el cuerpo natural de agua que estudiamos en este artículo es un río, dado que la intención del estudio es presentar los resultados de monitoreo de la calidad de sus aguas después de la detención de los vertimientos de aguas residuales sin tratar en su cauce, y confirmar si esta medida está dando resultados.

La Línea Base con la información de calidad del cuerpo de agua antes del retiro de vertidos figura en el Estudio de Impacto Ambiental del proyecto de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Arequipa, y después de la eliminación del vertido, los controles del cuerpo de agua se realizan en base a un programa rutinario de monitoreo de la calidad del agua ambiental con muestreo de los parámetros establecidos en el Estándar de Calidad Ambiental del Agua (ECA) en varios puntos de control en el río procesados en laboratorio.

El Cuerpo natural de agua estudiado para este artículo, es el río Chili, que pertenece a la cuenca Qilca-Vitor-Chili. El río Chili nace de la confluencia del río Sumbay y el río Blanco en las montañas de Los Andes en Arequipa, después de 88 km. de recorrido toma el nombre de río Vitor y luego río Quilca recorriendo 90 Km. mas hasta alcanzar el océano Pacífico. El flujo del río es regulado por las compuertas de la represa Aguada Blanca a un promedio de flujo anual de 10 m³/segundo[24].

El río, desde el inicio de su recorrido, no recibe mayor contaminación antropogénica hasta después de 50 km., donde, después de pasar por la zona urbana, se descargaban en él las aguas residuales sin tratar de la ciudad de Arequipa mediante 5 colectores [25].

La contaminación bacteriológica registrada en la línea base, después del punto de vertimiento, muestra más de un

millón de coliformes fecales NMP por 100 mililitros de agua del río, así como el contenido de bacterias Echericha Coli, que producen enfermedades gastrointestinales que pueden ocasionar incluso la muerte en niños y adultos con bajas defensas inmunológicas. La contaminación orgánica medida con el parámetro Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) superaba los 125 mg./L debiendo ser de 15 mg/L.

La calidad del agua tratada (efluente) de la planta de tratamiento agua residual descargada en el cuerpo de agua es controlada con frecuencia semanal y mensual, mediante muestras de agua y análisis de laboratorio y los reportes son enviados al Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento.

Los parámetros de control obtenidos están por debajo de lo estipulado en el estándar nacional peruano para calidad de agua tratada (efluente), norma de Límites Máximos Permisibles (LMP), lo que asegura que no se afecte la calidad natural del agua del río definida por la autoridad en Categoría 3 del ECA[26], que corresponde a un agua apta para riego de plantas y consumo de animales. Los parámetros correspondientes al ECA son monitoreados de manera trimensual desde el 2015, y es fiscalizado por la Autoridad Nacional del Agua.

2) Determinación del Indicador 6.3.2 Nivel 1

Se ha realizado muestreos en cinco puntos a lo largo del río con mas de 60 controles por punto en los últimos cuatro años. Se han seleccionado los parámetros de nivel 1 y se han comparado con el estándar. Los resultados se muestran en el Figura 5.

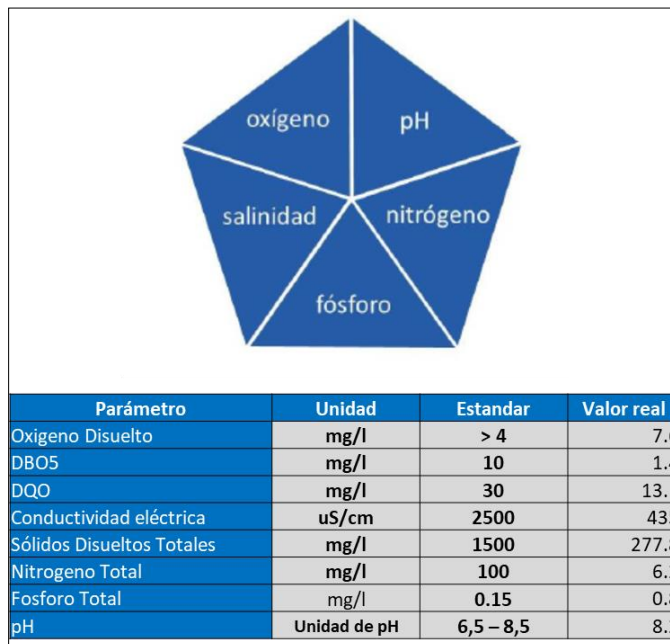


Fig. 5 Cumplimiento de Parámetros de Calidad. Nivel 1

3) Análisis de Resultados del Indicador 6.3.2

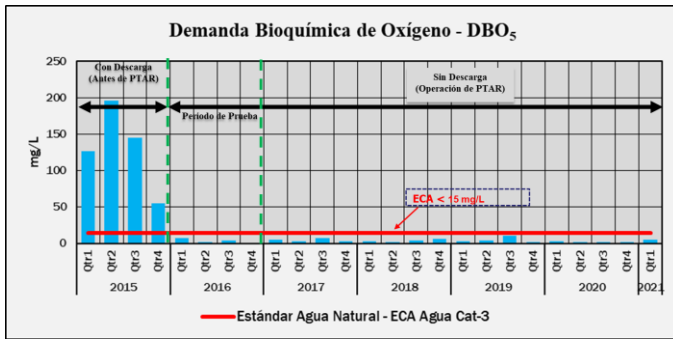
Del análisis realizado con el indicador 6.3.2, Nivel 1, en el cuerpo de agua en la ciudad de Arequipa se concluye lo siguiente:

Los parámetros de control del cuerpo de agua están dentro de lo estipulado por el estándar para agua fresca, en lo referido a Oxígeno Disuelto está por encima del mínimo, 4 mg/l, y en los otros parámetros están por debajo del límite de norma, con lo que se califica las aguas del cuerpo de agua como “agua de buena calidad”.

Más del 95% de los controles están respetando los parámetros establecidos en la norma.

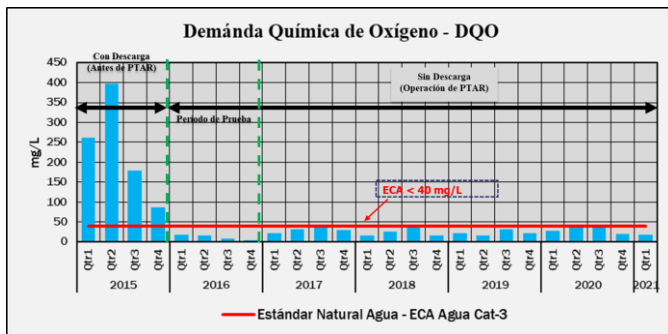
En la Tabla IV, se muestra cómo ha descendido el parámetro Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) desde que entró en operación la PTAR Enlozada. La norma establece que este parámetro debe ser menor a 15 mg/Litro.

TABLA IV
EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO)



En el Tabla V se observa cómo ha descendido el parámetro Demanda Química de Oxígeno (DQO) desde que entró en operación la PTAR Enlozada. La norma establece que este parámetro debe ser menor a 40 mg/Litro.

TABLA V
EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)



4) Determinación del Indicador 6.3.2 Nivel 2

Parámetros adicionales: Se ha realizado monitoreo de otros parámetros físico químicos, parámetros inorgánicos (metales pesados), y patógenos (Coliformes y E Coli). Los resultados se muestran en la Tabla VI.

TABLA VI.
PARÁMETROS ADICIONALES DE CONTROL

ECA: DS 004-2017 - MINAM		UNIDAD	CATEGORIA 3 SUBCATEGORIA D1: Riego de vegetales (Agua para riego no restringido)	REGISTRO PROMEDIO
No. PARAMETRO FISICO QUIMICOS				
10	Detergentes (SAAR)	mg/l	0.2	0.1
12	Fluoruros	mg/l	1	0.2
14	Nitratos	mg/l	**	6.0
16	Nitritos	mg/l	10	0.2
20	Sulfatos	mg/l	1000	55.7
21	Temperatura	°C	Δ 3	17.1
No. PARAMETROS INORGANICOS				
22	Aluminio	mg/l	5	0.7
23	Arsénico	mg/l	0.1	0.0
24	Bario	mg/l	0.7	0.0
26	Boro	mg/l	1	0.4
28	Cobre	mg/l	0.2	0.0
31	Hierro	mg/l	5	0.4
33	Manganeso	mg/l	0.2	0.1
35	Níquel	mg/l	0.2	0.0
No. MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS				
43	Coliformes Termotolerantes (44,5°C)	NMP/100 ml	1000	11,000.0
44	Escherichia coli	NMP/100 ml	1000	2,200.0

En la tabla VII (Escala logarítmica) observamos como ha descendido el parámetro Coliformes Termotolerantes (o coliformes Fecales) desde que entró en operación la PTAR Enlozada. La norma establece que este parámetro debe ser menor a 1000 NMP/100 ML.

TABLA VII
PARÁMETRO COLIFORMES TERMOTOLERANTES

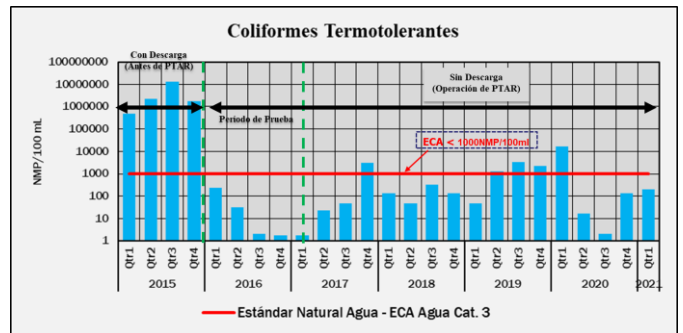
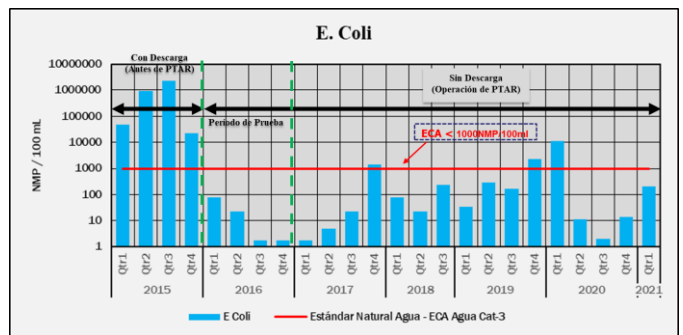


TABLA VIII
PARÁMETRO E. COLI



En la tabla VIII (Escala logarítmica) se evidencia como ha descendido el parámetro Echerichia Coli desde que entró en operación la PTAR Enlozada. La norma establece que este parámetro debe ser menor a 1000 NMP/100 ML.

Adicionalmente, se han realizado controles microbiológicos con frecuencia semestral que muestran una recuperación de la masa biótica, sin embargo, no se ha llegado aún a calificar como masa biológica saludable. Se han realizado monitoreos participativos que acompañan a las autoridades e involucrados para los controles y visitas al cuerpo de agua con los respectivos reportes que aprueban el estado del cuerpo de agua.

5) *Análisis de Resultados Nivel 2:*

- a) En los parámetros físico químicos adicionales se cumple con los estándares de calidad.
- b) En los parámetros inorgánicos se cumple con los estándares de calidad.
- c) En lo referido a los patógenos, se ha reducido la contaminación bacteriológica en un 99%, los parámetros, en algunas ocasiones están ligeramente por encima del estándar de calidad, sin embargo, mas del 95% de resultados cumplen el estándar. Se presume algunas desviaciones por impactos del 0.5% de agua residual descargada el río por las viviendas urbanas sin conexión a la red de alcantarillado.

6) *Conclusiones del Indicador 3.6.2.*

Como cuerpo de agua, el río Chili se califica como "cuerpo de agua de buena calidad" según los resultados de Nivel 1.

En Nivel 2, el río Chili aún mantiene ligera contaminación patógena que supera el parámetro para agua superficial natural y está en recuperación microbiológica, sin embargo, los avances son muy cercanos a la meta para declararlo como aguas de buena calidad.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo de investigación se ha llegado a las siguientes conclusiones:

El análisis y resultado del indicador 6.3.1, referido a Proporción de aguas residuales tratadas de manera segura muestra el avance de 8% a aproximadamente 100% de tratamiento de aguas residuales de la ciudad. Mostrando la eficacia de la medida.

El análisis y resultado del indicador 6.3.2, referido a Porcentaje de masas de agua de buena calidad, concluye que la masa de agua, río Chili, muestra aguas de buena calidad, cumpliendo los parámetros físico químicos, parámetros

inorgánicos como metales pesados y la reducción de contaminación bacteriológica de mas de 1 millón NMP/100 ml. de coliformes a un promedio de 2,200, que equivale a 98 % de reducción de la contaminación bacteriológica.

Gracias al tratamiento adecuado de las aguas residuales, en la ciudad de Arequipa se está aplicando el reciclaje y reúso de las aguas tratadas cumpliendo así la Meta 6.3, del ODS 6, "De aquí a 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial" ha sido cumplida en la Ciudad de Arequipa - Perú.

La Metodología de las Naciones Unidas, empleada para determinar los indicadores ha sido adecuada para cuantificar los avances en la meta 6.3 del ODS 6, sin embargo, podría mejorarse con un factor numérico el Indicador 6.3.2 como referencia, para visualizar cuanto se avanzó, en que hay que trabajar y cuanto falta para alcanzar la meta, por ejemplo, cuanto se redujo la contaminación de las aguas y cuanto falta para lograr la meta, como el caso de nuestro resultado de Coliformes Fecales.

Las Metas del ODS 6 tienen una relación directa entre ellas, por lo que, el siguiente paso debe ser evaluar el estado de las otras metas en la Ciudad de Arequipa y determinar la estrategia para cumplir este ODS.

La implementación de plantas de tratamiento condicionadas a una operación y mantenimiento adecuado, con controles de rutina de los parámetros de calidad, garantizan buenos resultados, contribuyendo decisivamente en el avance del ODS 6 hacia la meta.

Esta acción, fruto de una alianza entre la empresa de agua y la empresa privada ha contribuido con la política de estado número 33 del estado peruano referido al manejo de los recursos hídricos, y debe ser valorada con la intención de motivar las alianzas para reducir las brechas.

REFERENCIAS

- [1] "PTAR La Escalerilla –Arequipa: Infraestructura sanitaria para la Ciudad Blanca -PerúConstruye." [Online]. Available: <https://peruconstruye.net/2018/11/16/ptar-la-escalerilla-arequipa-infraestructura-sanitaria-para-la-ciudad-blanca/>. [Accessed: 25-Feb-2021].
- [2] C. Innovation, "La Enlozada Waste Water Treatment Plant in Arequipa , Peru," pp. 42–45, 2018.
- [3] UNESCO - Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura, "¿Son las aguas residuales el nuevo 'oro negro'?", 2019-03-21, 2017. [Online]. Available: <https://es.unesco.org/news/son-aguas-residuales-nuevo-oro-negro>.
- [4] Un-Water, "Guía para el monitoreo integrado del Objetivo de Desarrollo Sostenible 6. Buenas prácticas para los sistemas de monitoreo nacionales," 2017.

- [5] UN, *Agua limpia y saneamiento. Progresos en el tratamiento de las aguas residuales.*, vol. 1. 2018.
- [6] Acuerdo-Nacional, "Política de Estado sobre los Recursos Hídricos," no. Agosto 2012, 2012.
- [7] J. A. Sanahuja and S. T. Vázquez, "From millennium to sustainability: Challenges and prospects of the 2030 agenda for sustainable development [Del milenio a la sostenibilidad: Retos y perspectivas de la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible]," *Polít. y Soc.*, vol. 54, no. 2, pp. 521–543, 2017.
- [8] Naciones Unidas/CEPAL, "La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. Objetivos, metas e indicadores mundiales," *Publicacion de las Naciones Unidas*. 2019.
- [9] C. Gomez, "Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)," *Rev. la Univ. La Salle*, vol. 2016, no. 70, p. 141, 2016.
- [10] ONU-Agua, "Informe de Síntesis de 2018 sobre el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 relacionado con el agua y el saneamiento," *UNITED NATIONS*, vol. 1, no. 2018, p. 20, 2018.
- [11] "ODS 6. Agua potable y saneamiento | Objetivos de Desarrollo Sostenible | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura." [Online]. Available: <http://www.fao.org/sustainable-development-goals/goals/sdg-6/es/>. [Accessed: 25-Feb-2021].
- [12] WWAP, "Water for the Millennium Development Goals." p. 2, 2010.
- [13] OPS/OMS, "Objetivos de desarrollo sostenible 2015-2030," *ETRAS*, vol. 76, no. 2. 2016.
- [14] Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (MVCS), "VMA - DS.010-2019-Vivienda," *El Peruano*. p. 16, 2019.
- [15] "OEFA."
- [16] Gerencia-de-Planeamiento-y-Desarrollo, "Indicadores de Gestión de SEDAPAR S.A. a junio de 2020," 2020.
- [17] "Indicadores :: SEDAPAR - Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Arequipa." [Online]. Available: <https://www.sedapar.com.pe/gestion/indicadores/>. [Accessed: 27-Feb-2021].
- [18] Gerencia-de-Planeamiento-y-Desarrollo-Empresarial, "Indicadores de Gestión 2015 SEDAPAR S.A.," Arequipa, 2016.
- [19] The World Bank Group, "Wastewater: From Waste to Resource. The Case of Arequipa - Peru," *Waster Glob. Pract.*, pp. 1–6, 2020.
- [20] Ministerio del Ambiente (MINAM), "Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales," *El Peru.*, vol. 202472, p. 11, 2008.
- [21] Ministerio del Ambiente, "ECA AGUA - 569076 Normas Legales," pp. 569076–569082, 2015.
- [22] R. Norma OS.100, "Consideraciones Básicas de Diseño de Infraestructura Sanitaria," *Relaciones*, vol. 202472, p. 11, 2008.
- [23] Naciones Unidas, "Una introducción al indicador 6.3.2 de los ods: proporción de masas de agua de buena calidad," pp. 1–9, 2017.
- [24] G. Perú, *Plan de Gestión de los Recursos*. .
- [25] Autoridad Nacional del Agua ANA, "Plan de Gestion de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Quilca Chili - ANA - 2015 vol 1.pdf," Autoridad Nacional del Agua (ANA) - Peru, Arequipa, 2015.
- [26] MINAM, "Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias," *El Peru.*, pp. 6–9, 2017.