

DISEÑO DE UNA ESTACIÓN DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS CON REDUCCIÓN DE NUTRIENTES EN LA PROVINCIA DE AREQUIPA: PROCESO BIOLÓGICO DE FANGOS ACTIVOS Y REDUCCIÓN DE NUTRIENTES CON REUTILIZACIÓN DEL AGUA TRATADA Y APROVECHAMIENTO DE FANGOS ESTABILIZADOS EN TAREAS AGRÍCOLAS CON MÁXIMO APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA GENERADA EN FORMA DE METANO

DESIGN OF A URBAN WASTEWATER AND NUTRIENT REDUCTION STATION IN THE PROVINCE OF AREQUIPA: BIOLOGICAL PROCESS OF ACTIVATED SLUDGE AND THE REDUCTION OF NUTRIENTS BY THE REUSE OF TREATED WASTEWATER AND THE USE OF STABILIZED SLUDGE IN AGRICULTURE WITH MAXIMUM USE OF ENERGY GENERATED FROM METHANE

LLAMOCCA A., M. V., ADUVIRE M., M. & QUISPE S., M.

RESUMEN

Este proyecto propone el diseño de una estación de tratamiento de aguas residuales ecoeficiente, factible y sustentable, mediante la implementación y el estudio de tecnologías avanzadas, que servirá para el reciclaje de nutrientes para abonos o generación de energía en forma de metano, entre otras posibilidades, y tiene la intención de ser aplicable a diversas ciudades de nuestra nación, previa caracterización de sus efluente. Esta planta de tratamiento de aguas residuales de alta tecnología permitirá convertir las aguas residuales de los núcleos urbanos en recursos tan esenciales como energía o agua de riego.

A partir del correcto diseño y dimensionamiento del sistema y la apropiada tecnología aplicada, es que se pretende aprovechar como recurso la materia generada por el tratamiento del agua residual, que se genera continuamente y en grandes cantidades en las ciudades. El diseño propuesto en este proyecto, al ser aplicado en la ciudad de Arequipa, como resultado va a tratar un caudal punta de 350 l/s y un caudal máximo de 560 l/s, que permitirá aumentar el porcentaje de aguas residuales depuradas en la provincia de Arequipa, tomando en cuenta que es un diseño compacto lo que permite una mejor adaptabilidad que otros sistemas de tratamientos, así mismo se tendrá una disminución significativa en el coste total, ya que facilita el mantenimiento y se requiere menos espacio para su instalación.

Con el proceso de depuración se pudo tratar el agua residual, beneficiando a una población de 100,500 habitantes equivalente, cumpliendo con los requerimientos mínimos de vertido, y con los rendimientos de eliminación de nutrientes, se obtuvo una calidad de agua que puede ser reutilizada en tareas agrícolas. Con la implementación de procesos de aprovechamiento energético a la planta, se llegó producir un volumen de gas de 2,182 (Nm³/día) y de este caudal se aprovechó un caudal de gas de 2,108 (Nm³/día), logrando almacenar un sobrante de 74 (Nm³/día) en un gasómetro que podrá ser aprovechado en otros procesos.

Palabras claves: Estación de tratamiento de aguas residuales, fangos activos, reducción de nutrientes, digestión anaerobia.

ABSTRACT

This project proposes the design of a treatment plant eco-efficient, feasible and sustainable wastewater through the implementation and study of advanced technologies, which serve to recycle manure nutrients for energy generation or as methane, among other possibilities. And it has the intention to apply to various cities in our nation, previous characterization of their effluent, the plant wastewater treatment tech can convert sewage from urban centers such essential resources as energy or irrigation water.

From the correct design and sizing of the system and the appropriate applied technology is that it intends to use as a resource material generated by wastewater treatment, which is continuously and in large quantities generated in cities. The proposed project, to be implemented in the city of Arequipa, as a result will treat a peak flow of 350 l / s and a maximum flow of 560 l / s, which will increase the percentage of waste water purged in the Province design Arequipa, considering it's a compact design that allows better adaptability than other treatment systems, also will have a significant decrease in the total cost, and easy maintenance and less space is required for installation.

With the debugging process was achieved treating wastewater, benefiting a population of 100,500 equivalent inhabitants, meeting the minimum requirements of discharge, and the nutrient removal efficiencies, they managed to obtain quality water that can be reused in farming. Implementing processes energy use at the plant, was achieved to produce a volume of gas of 2,182 (Nm³ / day) and this flow rate was achieved seize a gas flow rate of 2.108 (Nm³ / d) achieving store a surplus of 74 (Nm³ / day) in a gasometer which may be exploited in other processes.

Keywords: Plant wastewater treatment, activated sludge, nutrient reduction, anaerobic digestion.

Introducción

El agotamiento del agua subterránea y la eliminación no regulada de las aguas residuales y los desechos sólidos están creando problemas que podrían llegar a ser irreversibles. En el año 2006, el grupo técnico sobre aguas servidas en Arequipa, estimaba que el volumen recolectado de aguas servidas durante el año, ha sido de 35'829,665.50 m³, correspondiente a un caudal promedio 1,136.19 l/s, de los cuales el 89.50% fue evacuado directamente al río Chili y Sabandía, y que solo el 10.5 % de las aguas residuales recolectadas en Arequipa recibía algún tipo de tratamiento. Este porcentaje tiende a disminuir debido a la falta de construcción de nuevas depuradoras que traten los caudales de aguas residuales, que cada vez son mayores por el aumento de las poblaciones y la escasez del agua que va en aumento, principalmente a causa del excesivo consumo en las zonas urbanas, la falta de una gestión de la demanda (tarifas bajas, bajo porcentaje de micromedición, limitada sensibilidad en cuanto al medio ambiente), y la degradación de las cuencas de agua.

Debido a la problemática planteada anteriormente, las administraciones se han visto obligadas a controlar y/o regular a través de políticas de regeneración y reutilización de las aguas residuales para así maximizar el aprovechamiento del recurso. Esta reutilización del agua residual no puede hacerse al libre albedrío, sino que se rige por una serie de parámetros, los cuales varían según el uso al que se destine esa agua, por lo que también serán variables los procesos a que deba someterse antes de ser reutilizada o regenerada, atendiendo básicamente a las condiciones de partida de esa agua, al nivel de descontaminación y en función del uso deseado. Por lo expuesto anteriormente, el presente trabajo tendrá como objetivo el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la provincia de Arequipa, con el fin de aportar una solución al problema de la contaminación del agua. Es necesario mantener el buen estado del medio ambiente, así como también contribuir a mantener los recursos hídricos de las cuencas.

En el trabajo que aquí se presenta, se analizarán los procesos con las que cuenta una estación de tratamiento de aguas residuales (ETAR), procesos que permitan convertir las aguas residuales en recursos esenciales. Para llevar a cabo esta tecnología aplicada al sistema de depuración, se usará un tratamiento biológico mediante el proceso de fangos activos con aireación prolongada. Se realizará

en un reactor biológico en forma de Carrusel, con aireación mediante difusores.

A diferencia de los reactores biológicos convencionales, el reactor en circulación del Carrusel, impulsado y oxigenado gradualmente por difusores, es capaz de disponer zonas alternativas ricas en oxígeno y anóxicas, creando una gran variedad de microorganismos que permita establecer en el canal sucesivas zonas de tratamiento diferenciado, aplicable a la eliminación del nitrógeno de forma eficaz. Por otro lado, en el tratamiento de fangos, para evitar costos elevados, se optó por un proceso anaerobio de alta carga. El lodo contenido en el reactor será calentado y mezclado, manteniendo tiempos de retención de entre 30 y 15 días. La digestión anaerobia presenta varias ventajas comparado con otros métodos de tratamiento, ya que mediante este proceso se logra obtener un producto estabilizado, una reducción neta del volumen de lodos y el biogás generado puede ser aprovechado para la cogeneración eléctrica.

El diseño se realizará a partir de unas bases iniciales de partida y unos niveles de vertido finales que cumplan con todos los requisitos marcados por la legislación aplicable. El proceso de tratamiento considera etapas de pretratamiento (desbaste de gruesos y finos, desarenado, desengrasado), sedimentación primaria, tratamiento secundario (reactor biológico mediante fangos activos) y decantación secundaria, todo ello para la línea de aguas. Los sólidos generados en el proceso serán espesados por gravedad, estabilizados y deshidratados antes de su disposición final. El rendimiento del sistema considera la eliminación del 91.67% de DBO₅, el 89.50% de los SST y una reducción de N Y P hasta sus valores permisibles. También considera una sequedad de los fangos del 22% y una reducción de sólidos volátiles del 40%, el aprovechamiento del biogás producido en el proceso de digestión, con un aproximado de caudal de gas producido de 2.300 (Nm³/día).

Materiales y métodos

La metodología empleada para la obtención de los datos y procesamiento de la información en el marco de la investigación, pretende hacer especial hincapié en los aspectos de mayor importancia en el diseño de una ETAR. y posterior confección del proyecto que lo lleve a cabo. Dichos aspectos, que serán estudiados en apartados independientes, son los que se relacionan a continuación.

TABLA 1
RENDIMIENTOS DE PROCESOS EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL

Tratamiento	GRADO DE TRATAMIENTO OBTENIDO POR PROCESOS UNITARIOS EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL					
	% Rendimiento en eliminación					
	DBO	DQO	SS	P _{total}	N-Org	NH3-N
Rejas (*)	Nulo	Nulo	Nulo	Nulo	Nulo	Nulo
Desarenadotes	0-5	0-5	0-10	Nulo	Nulo	Nulo
Decantación primaria	30-40	30-40	50-65	10-20	10-20	0
Fangos Activos	80-95	80-85	80-90	10-25	15-50	8-15
(Proceso convencional)						
Filtros percoladores	65-85	60-85	60-85	8-12	15-50	8-15
Biodiscos	80-85	80-85	80-85	10-25	15-50	8-15
Cloración	Nulo	Nulo	Nulo	Nulo	Nulo	Nulo

Alcance del proyecto

El alcance del trabajo, para el diseño de una estación de tratamiento de aguas residuales, tendrá que tener en principal consideración y comprenderá en mayor o menor medida los siguientes puntos: Conexión red de saneamiento-ETAR, que puede incluir estaciones de bombeo a planta, la propia ETAR, conexión con servicios auxiliares (agua potable, electricidad, gas), conexión de la planta por colector o emisario con el punto de vertido y esta suele realizarse por gravedad.

Trabajos de campo

Reconocimiento de toda la zona de estudio en varias oportunidades y en periodos de tiempo distintos (época seca y época lluviosa) para una mejor comprensión de la situación existente. Aforo de caudales y un continuo seguimiento de la evolución de los caudales, de los principales colectores que desembocan en la zona de estudio. Mediciones de pH, sólidos suspendidos totales, DBO, y otros contaminantes en el efluente de los colectores y en el cuerpo receptor (ríos y canales).

Obtención y cálculo de datos de partida

La importancia de los datos de partida en el desarrollo del proyecto es básica ya que estos supondrán en definitiva, las bases del diseño y el compromiso de resultados a obtener. Dichos datos que se procesaran serán:

- Para colectores de saneamiento a ETAR: Caudales de diseño (reales y pluviales).
- Para la planta de tratamiento: Caudales (medio diario, máximo diario, punta horaria, mínima), contaminación.
- Resultados a obtener: Legislación, pliegos de condiciones, exigencias particulares.

Tanto los rendimientos requeridos como los consu-

mos unitarios límites o guía serán valores que vendrán siempre impuestos y por tanto que no requerirán determinación especial, sin embargo tanto caudales a tratar como contaminación del agua son datos que es preciso definir con la suficiente precisión y fiabilidad. En ausencia de datos fiables puede contemplarse la posibilidad de usar plantas piloto durante el tiempo necesario (temporadas invierno/verano, puntas de carga, etc.) o bien será necesario recurrir a ratios o estándares.

Selección del proceso de tratamiento y garantía de rendimientos

Definidos los objetivos de depuración, es preciso elegir el proceso de tratamiento adecuado. Serán posibles, en general, varias soluciones de diseño que permitan alcanzar los parámetros ocasionando el mínimo impacto ambiental. El conjunto de tratamientos a aplicar en función de los contaminantes a eliminar en cada caso, quedara relacionada, hacemos ahora especial mención, en las tablas adjuntas, a los factores a tener en cuenta en la selección y evaluación de los procesos así como los rendimientos que cabe esperar de cada uno de ellos (Tabla 1).

El rendimiento de la planta de tratamiento será nuestra medida de éxito del diseño, tanto si se analiza por la calidad del efluente como si se analiza en base a los porcentajes de eliminación alcanzados para los contaminantes más importantes. Es conveniente repasar cuidadosamente los factores que afectan al rendimiento antes de determinar la aplicabilidad de un proceso y su elección para el tratamiento.

Predimensionamiento

El siguiente paso, consiste en determinar el número y dimensiones de los elementos físicos necesarios. A la hora de abordar el dimensionamiento es necesario tener presente los condicionantes físicos (disponibilidad

de terreno), las condiciones ligadas a la explotación de la planta (la partición del caudal, el equilibrio de cargas) y las operaciones de mantenimiento (elementos de reserva). La determinación del número de líneas depende del tamaño de la ETAR y de las oscilaciones de caudal que se puedan dar. En líneas generales se puede aconsejar:

TABLA 2
NÚMERO DE LÍNEAS EN FUNCIÓN DEL
NÚMERO DE HABITANTES

Tipo de población	N.º DE HABITANTES EQUIVALENTES			
	<10.000	10.000-20.000	20.000-50.000	50.000-200.000
Estable	1 línea	1 línea	2 líneas	>2 líneas
Estacional	1 línea	2 líneas	2 líneas	>3 líneas

Las líneas siempre deberán ser iguales. Las estaciones para poblaciones superiores a 200,000 habitantes equivalentes caen fuera de posibles estimaciones y deberán ser estudiadas aparte, así como aquellas en las que la variación estacional sea superior a cinco veces.

Reconocimiento previo del terreno para la implantación de los elementos de la ETAR

Algunos de los aspectos que hay que tener en cuenta a la hora de distribuir espacialmente los elementos de la planta son los siguientes: Geometría de las parcelas disponibles, topografía, condiciones del terreno y de cimentación, posición que ocupa el colector afluente, punto de vertido, estética, control medioambiental, y previsiones para futuras ampliaciones.

Resultados

En el documento original del proyecto de investigación, se diseñó y dimensionó cada uno de los procesos unitarios de la planta depuradora. En el presente infor-

me de resultados, por ser amplio el tema, solo se enfatizó los resultados obtenidos en los procesos de: Obtención del agua tratada, proceso para estabilización del fango (producto de la separación del agua y lodo) y proceso para la obtención del biogás. Todos estos procesos se verán condicionados por datos de procesos anteriores. Tales datos serán proporcionados por el documento original.

a) Bases iniciales de diseño: Resultados obtenidos para una población de 100.500 (heq) en un caudal medio de 838 (m³/h) y 241.200 (heq) para un caudal máximo de 2010 (m³/h), dotación en litros de 200 (l/heq/día) y dotación en peso de DBO₅ en 60 (gr DBO₅/heq/d). Los rendimientos del sistema serán dados según la calidad del efluente de salida. Estos datos están dados como rendimientos porcentuales y como requerimientos de calidad establecidos por la legislación y por el correspondiente pliego de condiciones (Tabla 3).

b) Tratamiento primario: Los rendimientos fijados para la decantación, del tipo circular por gravedad, fueron considerados sin un tratamiento físico-químico previo. El cálculo del peso que pasará al proceso biológico y el caudal de fangos totales retenidos serán un dato importante para el posterior diseño del reactor biológico y digestor anaerobio para la producción del biogás (Tabla 4).

c) Tratamiento biológico: las características del reactor serán, el tipo en forma de carrusel con nitrificación y desnitrificación. El suministro de aire estará establecido por soplantes ROOT con velocidad variable. La aireación será por domos difusores de membrana de burbuja fina y el agitador de la zona anóxica será sumergido y de velocidad lenta (Tabla 5).

Para el dimensionamiento del reactor, se tomó en cuenta la temperatura (mínima 14°C y máxima 25°C) ya que a menor temperatura el volumen aumenta, el diseño se realizó para el caso más desfavorable, y se consideró también una fracción MLSS en anoxia (fx) de 0.20 (Tabla 6).

TABLA 3
RENDIMIENTOS MÍNIMOS Y CALIDAD DEL EFLUENTE DE SALIDA

	CARGAS		CONTAMINANTES		
	CONCENTRACIÓN	CARGA DIARIA	RENDIMIENTOS	CONCENTRACIÓN	SALIDA DE PLANTA
	mg/l	Kg/día	%	mg/l	Kg/día
Eliminación S.S.T	333	6.699	89,50	35	704
Eliminación DBO ₅	300	6.030	91,67	25	503
Eliminación DQO	500	10.050	75,00	125	2.513
Eliminación P	45	905	66,67	15	302
Eliminación N	13	267	84,96	2	40

TABLA 4
RENDIMIENTOS DE LA DECANTACIÓN PRIMARIA

DBO5	
Peso diario de entrada (kg/día)	6.030
Rendimiento decantación (%)	30
Peso DBO5 retenido (kg/día)	1.809
Peso DBO5 en agua a tratamiento biológico (kg/día)	4.221

S.S.T	
Peso diario de entrada (kg/día)	6.699
Rendimiento decantación (%)	60
Fangos retenidos (kg/día)	4.020
Fangos totales retenidos (kg/día)	4.020
Peso en S.S. en agua a biológico (kg/día)	2.680
Concentración. fangos retenidos (kg/m3)	10
Volumen de fangos a extraer (m3/día)	402

DQO	
Peso diario de entrada (kg/día)	10.050
Rendimiento decantación (%)	30
Peso DQO retenido (kg/día)	3.015
Peso DQO en agua a tratamiento biológico (kg/día)	7.035
Concentración en DQO agua a biológico (mg/l)	350

NTK	
Peso diario de entrada (kg/día)	905
Rendimiento decantación (%)	10
Peso NTK retenido (kg/día)	90
Peso NTK en agua a tratamiento biológico (kg/día)	814
Concentración en NTK agua a biológico (mg/l)	40,5

FÓSFORO	
Peso diario de entrada (kg/día)	267
Rendimiento decantación (%)	10
Peso fósforo retenido (kg/día)	26,7
Peso fósforo en agua a tratamiento biológico (kg/día)	241
Concentración en fósforo agua a biológico (mg/l)	12,0

Vamos a realizar el cálculo de las necesidades de oxígeno según el modelo de Eckenfelder, con una necesidad total de 7,437 kg O₂/día y un coeficiente de transferencia de 0.472. Conocidos los kilogramos de O₂ que realmente necesitamos, aplicaremos a este dato el coeficiente de punta (se sitúa en torno a 1.4) para trabajar con las necesidades reales y asegurarnos de cubrir las puntas, considerando también la eficacia del difusor que es del 18% (Tabla 7).

Consideramos los siguientes cálculos para el rendimiento de eliminación de nitrógeno: NTK retenido en fangos 9.26 mg/l, NTK evacuado con el agua declarifi-

TABLA 5
EDAD DEL FANGO, CARGA MÁSCA Y PRODUCCIÓN DE FANGOS

PARÁMETROS SELECCIONADOS	
Edad fango necesaria (días)	10,77
Carga máscica seleccionada (Kg DBO5/Kg MLSS)	0,14
MLSS en reactor (M) (Kg/m3)	3,500
PRODUCCIÓN DE FANGOS	
Índice producción de fangos teóricos (Kg fangos/Kg DBO5 elim)	0,78
Índice producción de fangos adoptado (Kg fangos/Kg DBO5 elim)	0,85
Fangos en exceso (Kg/día)	3.161
Peso de DBO5 eliminado (kg/día)	3.719

TABLA 6
DIMENSIONES DEL REACTOR

REACTOR BIOLÓGICO	
Caudal de tratamiento (m3/día)	20.100
Altura de agua (m)	4,00
Ancho canal (m)	7,50
Volumen de Reactor (m3)	8.873
Volumen Zona Anóxica (m3)	1.775
DBO5 entrada reactor biológico (Kg/día)	4.221
Concentración de MLSS (Kg/m3)	3,50
DBO5 eliminado (kg/día)	3.719

TABLA 7
CALCULO DEL OXIGENO REAL Y DEL CAUDAL DE AIRE NECESARIO PARA LA AIREACIÓN

NECESIDADES REALES DE OXÍGENO	
Oxígeno real diario (Kg O ₂ /día)	15.756
Oxígeno real medio (kg O ₂ /h)	656,5
Oxígeno real punta (kg O ₂ /h)	874,4
Kg.O ₂ suministrado / Kg.DBO eliminado Q _{med}	4,2

CAUDAL DE AIRE NECESARIO	
- Diario (Sm3/d)	293.473
- Medio diario (Sm3/h)	12.228
- Punta (Sm3/h)	16.286
Caudal adoptado (Sm3/h)	16.000

cada filtrada 3.5 mg/l y N asociado a los SST efluente 1.8 mg/l (Tabla 8).

d) Digestor anaerobio: Digestor de alta carga de una etapa con sistema de agitación de lanzas de gas. Para el diseño se consideró los siguientes parámetros, tiempo de retención hidráulico igual a 19 días y carga volumé-

TABLA 8
RENDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN
DE NITRÓGENO

N ELIMINADO COMO N ₂	
NITRIFICACIÓN	
Nitrógeno Nitrificado N-NO ₃ (mg/l)	26,0
DESNITRIFICACIÓN	
Relación DQO biodeg. /DQO rápidam. Biodeg.	0,33
Nitrógeno teórico que puede desnitrificarse (mg/l)	23,82
N. oxidado que se desnitrifica (mg/l) N-N ₂	7,25
Rendimiento de la desnitrificación (%)	27,9

TABLA 9
DIMENSIONES DEL DIGESTOR

DIMENSIONAMIENTO DEL DIGESTOR	
Volumen de digestión	4265
Volumen unitario de digestión	2132
Altura de digestor	11,2
Superficie de digestor	190
Radio digestor	7,8

trica de sólidos volátiles igual a 1,2 (kg Sv/m³/día) (Tabla 9).

• El proceso de digestión se debe llevar a cabo a una temperatura de 35°C. La composición volumétrica del gas generado contiene entre un 65-70% de metano y 25-30% de dióxido de carbono, tipo de intercambiadores centrífugo espiral con una eficiencia del 90% (Tabla 10).

TABLA 10
RESULTADOS DE LA PRODUCCIÓN,
DEMANDA Y CONSUMO DEL GAS

PRODUCCIÓN DE GAS	
Kg M. volátil entrada a Digestión (Kg/día)	5.387
Reducción de M Volátil (Kg/día)	2.424
Volumen de gas producido (Nm ³ /día)	2.182
Volumen de gas consumido (Nm ³ /día)	2.108
Volumen de gas en exceso (Nm ³ /día)	74
Volumen de almacenamiento (gasómetro) (m ³)	545

DEMANDA TÉRMICA TOTAL	s/Aisla.	c/Aisla.
Necesidades para calentamiento fangos (Kcal/h)	233.819	233.819
Total de pérdidas por transferencias (Kcal/h)	157.485	111.936
Demanda Térmica total (Kcal/h)	391.305	345.756

CONSUMO DE GAS	s/Aisla	c/Aisla.
Demanda Térmica de calor (kcal/h)	483.092	426.859
Capacidad calorífica metano (Kca/m ³)	5.500	5.500
Caudal de gas consumido (m ³ /h)	87,8	77,6
Exceso de gas (m ³ /día)	74	314

TABLA 11
COMPOSICIÓN Y PRODUCCIÓN DE FANGOS

DATOS DE COMPOSICIÓN DE FANGOS	
Volumen de fangos a digestión (m ³ /día)	224,47
Concentración de los fangos a digestión (%)	3,45
Kg de fangos a Digestión (Kg/día)	7.739
Mv de los fangos a Digestión (Kg/día)	5.387
Mnv de los fangos a Digestión (Kg/día)	2.352

PRODUCCIÓN DE FANGOS	
Kg M no volátil salida digestor (Kg/día)	2.352
Kg M volátil salida digestión (Kg/día)	2.963
Kg MS salida digestión (Kg/día)	5.315

TABLA 12
RESULTADOS DE ESPESAMIENTO Y DESHIDRATACIÓN
DE FANGOS FINALES

CAUDALES DE SALIDA	
Concentración de fangos espesados (%)	5
en mg/l	50.000
Volumen de salida (m ³ /día)	106,30
Nº horas de purga	8,00
Caudal de salida (m ³ /h)	13,29

FANGOS DESHIDRATADOS	
Kg de MS de fangos Deshidratados (Kg/día trabajo)	6.697
Volumen de fangos Deshidratados (m ³ /día trabajo)	27
Caudal unitario (m ³ /h)	3,83
Almacenamiento	
Tipo de almacenamiento	Tolva elevada
Capacidad de almacenamiento (días)	1
Volumen de almacenamiento (m ³)	27

• Espesado de fangos salida de digestión de forma circular por gravedad, con carga de sólidos de 48.30 (kg/día/m²) y tiempo de retención de fangos 56.26 (h), acondicionamiento del fango con polielectrolito, método de deshidratación del tipo centrífuga (Tablas 11 y 12).

Discusión

Con el proceso de depuración se pudo tratar el agua residual, beneficiando a una población de 100,500 habitantes equivalente, cumpliendo con los requerimientos mínimos de vertido (Tabla 3), y con los rendimientos de eliminación de nutrientes, con resultados en la (Tabla

8) se logró obtener una calidad de agua que puede ser reutilizado en tareas agrícolas.

Implementando procesos de aprovechamiento energético a la ETAR, se logró producir un volumen de gas de 2,182 (Nm³/día) y de este caudal se aprovechó un caudal de gas de 2,108 (Nm³/día) logrando almacenar un sobrante de 74 (Nm³/día) en un gasómetro que podrá ser aprovechado en otros procesos.

Para el aprovechamiento agrícola de lodos se tomó muy en cuenta la protección de recursos: suelo, agua y aire para evitar futuros impactos por una mala gestión de lodos. En la (Tabla 11) se menciona el rendimiento de eliminación de materia volátil del fango que fue 2,424 kg M volátil, con esto se obtuvo un fango estabilizado, y con un posterior proceso de deshidratación (Tabla 12) obtendremos un abono orgánico (compost) que permitirá el mantenimiento de la fertilidad de los suelos, la producción de cultivos de calidad y la conservación del entorno.

En el trabajo de investigación se pudieron apreciar cosas importantes que no debemos dejar de pasar por alto. En este caso, serán convertidas en recomendaciones.

Se aconseja realizar más estudios del comportamiento cinético de nitrificación y desnitrificación, aplicando diferentes temperaturas, para observar con más detalle la influencia de este parámetro en estos procesos de eliminación biológica de nutrientes. Del mismo modo, se recomienda hacer un seguimiento más exhaustivo de la alcalinidad en los reactores para asegurar que no se produzcan procesos de inhibición, así como realizar ensayos con aguas residuales con concentraciones de amonio diferentes para observar si este produce una inhibición en el proceso de nitrificación.

Relevancia del resultado y su aporte a la realidad nacional, regional o local

La principal función, objetivo o aplicación del proyecto es poner a disposición de las entidades encargadas del saneamiento y de los ingenieros inmersos en este tema, una nueva forma de tratar las aguas residuales de una manera más eficiente, ecológica y sustentable, presentando una forma de configuración de una planta ecoeficiente, teniendo en cuenta varios aspectos como la calidad final del agua tratada (Tabla 3), el balance energético del tratamiento, tanto para el consumo y producción de energía (Tabla 10) y la recuperación de los recursos del agua residual como el agua tratada, los fangos estabilizados o compost y la energía generada en forma de metano.

La ETAR, al estar diseñada en base a una tecnología apropiada, logrará regenerar el agua, a la vez que recuperar los recursos esenciales. Comparado con otras tecnologías de depuración de aguas residuales, las ventajas que ofrece este proceso son muchas, por ejemplo, ofrece buenos rendimientos de eliminación de sólidos en

suspensión y materia orgánica. El agua depurada no tiene problemas de vertidos, cumpliendo con las condiciones de las legislaciones más exigentes; y en cuanto a la obtención final del fango estabilizado, mediante un proceso eficiente, logrará que, en lugar de gastar, generará energía, y una desventaja apreciable es el mayor consumo de energía asociado al equipo de aireación que conlleva este proceso, el cual es compensado por la mayor simplicidad de explotación y gestión.

En la ciudad de Arequipa, solo el 10.5 % de las aguas residuales recolectadas recibe algún tipo de tratamiento, y recientemente se están implementando nuevas tecnologías de depuración que solucionen el problema de contaminación del río Chili, comparando las nuevas tecnologías de depuración aplicada a la ciudad con el modelo propuesto en este proyecto obtenemos que:

- La ETAR Chilpina cuenta con un sistema muy convencional en cuanto a su tratamiento primario y tratamiento de fangos, supera los niveles de vertido en concentración de contaminantes del efluente y la estabilización de fangos es de poco rendimiento.
- La ETAR la Enlozada si bien desarrolla un proceso adecuado para el tratamiento del agua, no cuenta con un proceso de tratamiento de sus residuos generados y los costos de energía para el bombeo son muy elevados.
- La ETAR Escalerilla no trata ni lleva una buena gestión de sus residuos generados.
- El modelo de la ETAR, propuesto en este proyecto, va a cumplir con todo el pliego de condiciones en cuanto a la calidad de vertido. Los residuos generados serán estabilizados y podrán usarse como compost orgánico para la agricultura, lo que significará un buen balance energético del tratamiento (el aprovechamiento del gas metano). Por todas estas ventajas nuestra ETAR va a ser muy ecoeficiente, ya que no va a producir residuos y va a considerar al agua residual como un recurso que vamos a aprovechar.

El Área Temática de la Agenda de Investigación Ambiental se relaciona con el uso y tratamiento del agua, y en cuanto a la línea de investigación se relaciona al Desarrollo de Tecnologías para el reúso del agua residual doméstica, y a la Evaluación de Opciones para el tratamiento y disposición final de lodos originados en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Los sistemas de tratamiento de aguas residuales urbanas, industriales o mineras sirven como un método para mitigar el impacto causado por estas áreas urbanas, industrias o centros mineros. En muchos países, las industrias implementan este sistema, por norma, que se debe cumplir con los estándares de calidad y LMP, en cuanto al vertido, dados por la legislación, pero debemos saber que la adopción de un sistema de tratamiento de aguas residuales debería de ser una decisión estratégica de la organización, debido a las ventajas mencionadas con anterioridad, de utilizar el agua residual como

un recurso que la empresa deba aprovechar, con bajos costos de operación y mantenimiento. Este proceso conlleva a un desarrollo sustentable y ayuda a mejorar la imagen de la empresa u organización.

Conclusiones

Está claro que la depuración de las aguas residuales es una realidad necesaria y obligada legalmente, que repercute directamente beneficiando la calidad de las aguas de los ríos, al evitar su deterioro ambiental y paisajístico. En nuestro proyecto propuesto, la mejora medio ambiental de la depuración no solo alcanzó la reducción de los vertidos contaminantes a los cauces receptores, sino que planteó interesantes mejoras colaterales, en consecuencia, de nuestro sistema de depuración propuesto, se ha logrado realizar el diseño de una estación de tratamiento de aguas residuales ecoeficiente, factible y sustentable, mediante la implementación y el estudio de tecnologías externas más avanzadas, y también innovadoras propias de los investigadores, que pueden ser aplicables a diversas ciudades de nuestra nación, previa caracterización de sus efluentes.

Se alcanzaron los estándares establecidos para la reutilización del agua residual, el uso de biosólidos en agricultura y la producción de biogás y energía, en el proceso de tratamiento de aguas residuales propuesta en la provincia de Arequipa.

Se logró aprovechar, como recurso, la materia generada por el tratamiento del agua residual, que se produce continuamente y en grandes cantidades en nuestra ciudad, convirtiéndose en una fuente de productos de gran interés: agua reutilizable para riego, compost orgánico para agricultura y energía en forma de metano.

Otro resultado y objetivo realizado fue el compartir conocimientos de tecnologías limpias, que pueden utilizarse en el tratamiento de aguas, incentivando, en cierta forma, el interés en la investigación de nuevas tecnologías (más ecoeficientes) en tratamientos de aguas residuales, que permitan mejorar continuamente, y llevar una mejor gestión de estas aguas en nuestra ciudad.

Finalmente, para poder lograr óptimos resultados que mejoren la calidad de vida de Arequipa, debemos proponer actualizar día a día nuestros conocimientos y habilidades, tomando y haciendo tomar conciencia ecológica a las comunidades y pueblos, sobre la base de la experiencia propia. Para ello, el aporte económico sería un condicionante pero no un impedimento para la realización de esta iniciativa y proyecto.

Agradecimientos

Quiero agradecer de forma muy especial a todos mis compañeros, profesores y coordinadores de Ingeniería Sanitaria, por su acogida, dedicación y paciencia. Nombrarlos a todos podría suponer olvidarme de alguno y no

sería justo. Pero sí quiero detenerme en los compañeros y camaradas con los que desarrollamos nuestro trabajo de campo, en la recolección de información, y compañeros de laboratorio: IES Evelyn, Yesica III Mayra, y Raúl. Reitero mi agradecimiento a mis *informantes clave*, en la mayoría de los casos, docentes de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

Referencias

- BUENO J. L. y otros. (1997). *Contaminación e Ingeniería Ambiental*. Tomo Contaminación del Agua. 2a edición. Madrid: Editorial FyDSA.
- CHERNICHARO, C. (1997). *Principios do Tratamento Biológico de Aguas Residuárias*. Vol. V. Brazil: Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Engenharia Sanitaria y Ambiental.
- COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS AGRÓNOMOS DE CENTRO Y CANARIAS (1993). *Tratamiento de aguas residuales, basuras y escombros en el ámbito rural*. Serie Técnica. Madrid: Ed. Agrícola Española, s. A.
- COLLADO LARA, R. (1992). *Depuración de aguas residuales en pequeñas comunidades*. Colección Señor N.º 12. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y puertos. Madrid: Ed. Paraninfo S. A.
- DEGREMONT. (1999). *Manual técnico del agua*. Bilbao: Editorial Grijelmo.
- LAY J., LI Y., y NOIKE T. (1997). On the methane production in high-solids sludge digestion Influences of pH and moisture content. *Water Research*, 31: 1518-1524.
- MARTÍNEZ G. et al. (2002). *Guía I: Depuración de aguas residuales urbanas*. E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Granada: Universidad de Granada.
- SAINZ SASTRE J. A. (2007). *Tecnologías para la sostenibilidad. Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales*. Madrid. Fundación EOI.
- RAMALHO, R. (1996). *Tratamiento de aguas residuales*. España: Reverte S. A.
- RETANA A. y HAUNG, J. (2006). *Biodigestores: energía renovable y tratamiento de desechos*. *Rescatemos el Virilla*, 12 (30): 29-30.
- SAINZ, J. A. (2005). *Sostenibilidad. Tecnologías para la sostenibilidad. Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales*. Ed. Fundación EOI. Madrid.
- UMAÑA, A. (1985). *Tratamiento anaerbio de desechos agroindustriales: factibilidad técnica y beneficios ambientales. Diseño y construcción de biodigestores*, pp. 57-77. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.