



Organización
de las Naciones Unidas
para la Educación,
la Ciencia y la Cultura



Programa
Hidrológico
Intergubernamental

CONSUMO DE ENERGÍA EN PLANTAS DE TRATAMIENTO – BENCHMARKING

Energy consumption in treatment plants - benchmarking



Florentino Vázquez A.¹, Kharla Aguilar L.², Víctor Villagrana R.³
Jimmy Loaiza N.^{4*}

Recibido: 23/02/2021

Aceptado: 14/03/2021

*Autor de correspondencia

Resumen

Se presenta consumo de energía en plantas de tratamiento de aguas residuales en el Estado de Nuevo León, México a cargo de Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey (SADM), utilizando tres indicadores: consumo de energía por población equivalente (kWh/PE/año), por kg removido de demanda bioquímica de oxígeno (kWh/kg DBO), y por metro cúbico tratado (kWh/m³); se observan resultados excelentes en las plantas bajo estudio, casi el 90% del agua residual que se trata en la Entidad ocupa menos energía que los señalados en el límite bajo de los criterios considerados, apenas planta Santa Rosa estaría en el rango respecto a kWh/m³ y kWh/PE/año, ya que entre 2014 y 2015 tuvieron lugar libranzas por trabajos de expansión. También se investigó en la red los índices energéticos de otras plantas de tratamiento de similar tamaño, pudiendo ver que ostentan índices que facialmente duplican los que tiene SADM, lo que las ubica en buena posición en un ejercicio de Benchmarking de primer nivel.

Palabras clave: planta de tratamiento, consumo de energía, benchmarking.

Abstract

Energy consumption is presented in wastewater treatment plants in State of Nuevo Leon State, Mexico, operated by Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey (SADM), using three indicators: energy consumption by equivalent population (kWh/PE/year), per kg removed of biochemical oxygen demand (kWh/kg BOD), and per cubic meter treated (kWh/m³). Excellent results are observed in the plants under study, almost 90% of the wastewater that is treated in Nuevo Leon uses less energy than those indicated in the lower limit of the criteria considered, only Santa Rosa plant would be in the range with respect to kWh/m³ and kWh/PE/year, since between 2014 and 2015 there were drafts for expansion works. The energy indices of other treatment plants of similar size were also investigated online, and it was possible to see that they have indices that are facially double those of SADM, which places them in a good position in a first-level benchmarking exercise.

Keywords: Treatment plant, energy consumption, benchmarking.

1 Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey SADM. Director de Proyectos, Operación y Saneamiento. fayala@sadm.go.mx

2 Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey SADM. Coordinador de Saneamiento. kaguilar@sadm.gob.mx

3 Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey SADM. Gerente de Tratamiento. vvillagrana@sadm.gob.mx

4 Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey SADM. Asistente Técnico. jloaiza@sadm.go.mx

1. INTRODUCCIÓN

El agua y la energía están relacionadas en una suerte de condición reversible que puede tornarse en un círculo virtuoso cuando ésta se utiliza adecuadamente. La energía se requiere para acercar el agua desde las fuentes hasta las ciudades para calmar la sed y las necesidades de la población, así como para los procesos de saneamiento; y por otro lado, el agua posee energía potencial que puede convertirse en energía eléctrica en las plantas hidroeléctricas y/o a través del vapor para mover máquinas.

Respecto al tratamiento de aguas residuales, existen varios métodos y procesos para tal fin; el enfoque más común utiliza un pre-tratamiento (cribado, desarenado, bombeo de influente, entre otros),

seguido de la clarificación primaria (opcional), para continuar con el tratamiento secundario de lodos activados (crecimiento aeróbico con biomasa suspendida) y la desinfección con cloro para reducir los patógenos. Adicionalmente está el tratamiento integral de bio-sólidos.

A mayor abundamiento, el proceso de aeración es el mayor consumidor de energía (50 a 70% del total), seguida por bombeo de aguas y lodos, digestión y desaguado de lodos. Ver figura 1. Aunque el proceso de lodos activados es el más utilizado, no suele ser muy eficiente en cuanto al consumo de energía, ya que la energía para mantener condiciones aeróbicas en los reactores es intensiva, como lo sugieren los operadores de las plantas de tratamiento.

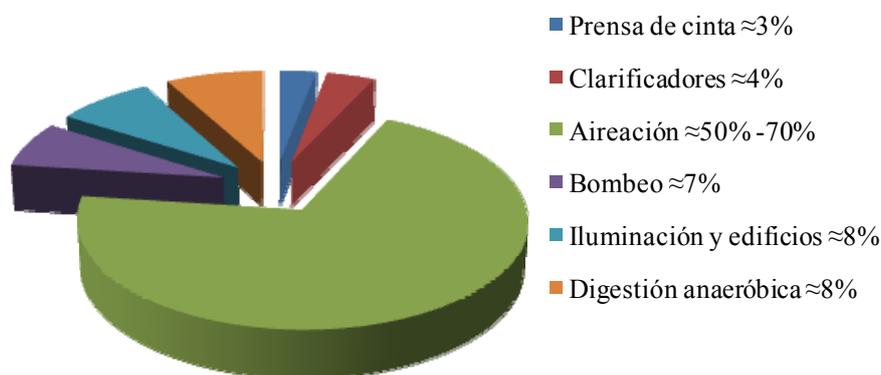


Figura 1. Requisitos de energía plantas de tratamiento

Las lagunas aeradas, filtros percoladores y discos rotatorios biológicos pudieran requerir menos energía, pero no han sido populares debido a que, por ejemplo, las lagunas aeradas requieren extensa superficie de terreno, mientras que los filtros percoladores y discos rotatorios biológicos no alcanzan el grado de calidad requerido para el reuso, por lo que suelen ser más aptos para aplicaciones en zonas rurales y pequeñas comunidades.

Sin embargo, los investigadores continúan en la búsqueda de sistemas y/o equipos que puedan hacer más eficiente el tratamiento, ya que en EU el consumo de energía por tratamiento de aguas residuales representó un 0.6% de la producción total en 2008, con una tendencia a la alza debido a mayores restricciones en la calidad del efluente.

Crterios generales de benchmarking.-

De acuerdo con las nuevas directrices, es menester enfocar los procesos de saneamiento al concepto de población equivalente, cuyo objetivo es determinar presencia de sobrecargas contaminantes con las que operan las plantas de tratamiento, que define como aportación per cápita 60 g DBO/d. Otro aspecto importante para descartar sesgo en el análisis, es el concepto de energía utilizada para remover la masa del parámetro de caracterización, que generalmente es la DBO. Finalmente está el parámetro más ampliamente utilizado y difundido para el Benchmarking que es la energía para tratar un volumen definido de agua residual (kWh/m^3), como se indica en la figura 2.

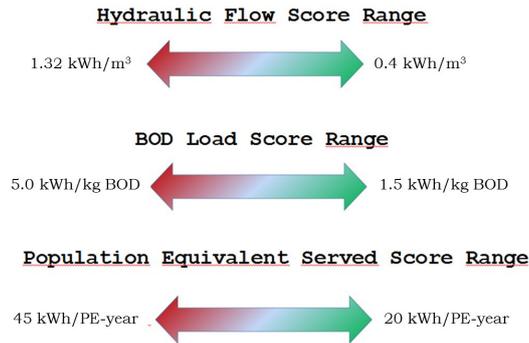


Figura 2. Rangos aceptables para consumo de energía en plantas de tratamiento (Fuente: Vanyo Jon C.E.M. (2018), Minnesota Technical Assistance Program)

En tal virtud, el presente documento preparado por la Gerencia de Tratamiento de SADM es con el fin de establecer puntos de cotejo entre las plantas de tratamiento que opera SADM y de esta forma distinguir áreas de oportunidad para alcanzar los objetivos estratégicos de la Alta Dirección, así como también para comparación con plantas de tratamiento similares en otras latitudes.

Por tal motivo, la Coordinación de Saneamiento actualiza mensualmente en el siguiente portal <https://web.sadm.gob.mx/areas/saneamiento> la información del volumen tratado, calidad del efluente y el consumo de energía en plantas AMM.



El volumen de agua en cada planta, actualizada a Diciembre 2020.

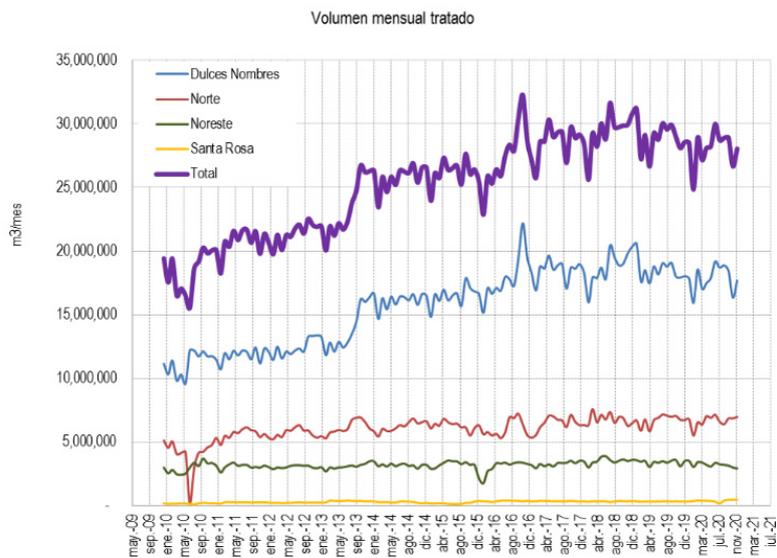


Figura 3. Imagen de la página <https://web.sadm.gob.mx/areas/saneamiento>

2. ANTECEDENTES

A lo largo de más de 20 años, el 100% de las aguas residuales que se generan en el Área Metropolitana de Monterrey se descargan al cuerpo receptor bajo tratamiento, en cumplimiento con NOM-001-SEMARNAT-1996, por lo que han operado de manera eficaz y se ha establecido la rutina del seguimiento al consumo de energía eléctrica; ya que SADM mantiene en cuenta reservada los recursos presupuestados para el pago de este servicio (Operación y Saneamiento), con lo cual se subraya la importancia de asegurar la disponibilidad de energía para dichos procesos y hacer uso eficiente de este commodity, como dirían los economistas.

Adentrando en el ámbito de saneamiento en SADM, destacan las modificaciones al sistema de aeración en planta Dulces Nombres, al cambiar la planta de oxígeno por un sistema de difusores de fondo de burbuja fina (reemplazando un sistema de más de 8,000 HP por otro de 4,500 HP), en planta Noreste

también hubo modificaciones al reemplazar 20 turbinas de aeración de baja velocidad por difusores de fondo de burbuja fina (retirando equipos de 2,000 HP e instalando otro sistema de 1,200 HP) además de ampliar la capacidad de 500 a 1,000 L/s, sin requerir incremento en volumen de reactor.

Las anteriores acciones fueron motivadas por necesidades operativas y/o requerimiento de usuarios de agua residual tratada, más que buscando ahorro de energía, lo cual vino por consecuencia, sin embargo, es de destacar el diseño hidráulico de los tanques en ambas plantas (reactores biológicos tipo pistón) y las temperaturas de proceso (acorde a la ubicación y altitud), que contribuyeron a los logros que se mencionan.

Así mismo, es importante señalar en el presente documento, los indicadores que se tienen para el consumo de energía, y que forman parte del Sistema Institucional de Calidad (SIC), que se presentan a continuación. Ver figura 4.



Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, IPD Objetivos de Calidad e Indicadores de la Gerencia de Tratamiento

Fecha Revisión 31-mayo-2020

OBJETIVO	INDICADOR	FÓRMULA	RESPONSABLE	PROCESO	INTERVALO MEDICIÓN	META
Consumo Energía	Consumo mensual de kWh respecto al volumen tratado (*1)	$EE = \frac{\text{Energía_consumida_kWh}}{\text{Volumen_tratado_m}^3}$	Superintendente	Plantas AMM	Mensual	< 0.33 kWh/m ³
				Plantas NM > 10 L/s		< 1 kWh/m ³
				Plantas NP < 10 L/s		< 1.5 kWh/m ³

*1er. Supuesto.- El cumplimiento de este indicador tiene dependencia del volumen tratado. Para fines de seguimiento de este indicador, el volumen tratado deberá ser mayor del 25% de la capacidad nominal, en caso contrario se tendrá que evaluar otras opciones que seguramente demandarán recursos de inversión, lo que puede tomar más tiempo en encontrar solución de fondo. Antecedentes.- En las plantas pequeñas se suele utilizar equipos de menor cuantía y que normalmente no están dotados de variación de frecuencia y es necesaria garantizar transferencia de oxígeno y mezclado

Figura 4. Extracto de objetivos e indicadores Gerencia de Tratamiento (2020)

Destacando que las plantas AMM (DN, N y NE) tienen como límite 0.33 kWh/m³, las plantas foráneas mayores a 10 L/s (incluyendo SR) hasta 1.0 kWh/m³, y las menores de 10 L/s tienen límite de 1.5 kWh/m³; en atención de que las plantas de mayor tamaño tienen siempre mejor desempeño en lo que se refiere a la utilización de energía, como lo señala la literatura.

3. METODOLOGÍA

Se realizó investigación en publicaciones en Internet, relacionadas con el consumo de energía en plantas de tratamiento de aguas residuales, utilizando los tres indicadores señalados anteriormente: consumo de energía específico expresado por equivalentes de población (kWh/PE/año), por unidad de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) removida

(kWh/kgDBO), así como por metro cúbico tratado (kWh/m³).

Cabe mencionar que en las plantas de tratamiento del AMM, en ocasión del proyecto Monterrey IV (DN, N y NE), se decidió tener alimentación en 115 kv con la CFE, debido al nivel de consumo de energía (para lo cual se tuvo que costear la extensión de las líneas de transmisión), actualmente se tienen contratos con la tarifa DIST (Demanda Industrial en Sub-Transmisión) en dichas plantas. Para el caso de las demás plantas, la alimentación es en media tensión (34.5 o 13.8 kv) y corresponde a la tarifa GDMTH (Gran Demanda en Media Tensión Horaria) para SR y las plantas más importantes del área foránea, como es el caso de Linares.

Las anteriores tarifas incluyen horario punta, en el cual el costo por kWh es más oneroso, por lo que se llevan a cabo programas de ahorro de energía, que

incluye reducción de equipos en servicio durante dicho horario, principalmente de sopladores. Otras plantas foráneas tienen contrato en la tarifa GDMTO (Gran Demanda en Media Tensión Ordinaria), la cual está exenta de horario punta.

En tal virtud, la Gerencia de Tratamiento gestiona la toda información pertinente con los formatos de ISO 9001:2015, como es el volumen tratado, concentración DBO de influente y efluente, así como la estimación de población que descarga en las cuencas de aportación de las plantas de tratamiento en el Área Metropolitana de Monterrey (AMM), información confiable de larga data para sustentar los reportes.

En las plantas del área metropolitana se tratan (promedio 2020) unos 11,000 L/s (250 MGD), de los cuales corresponden 7,000 L/s (159 MGD) a Dulces Nombres, 2,600 L/s (59 MGD) a Norte, 1,250 L/s (28.5 MGD) a Noreste y 150 L/s (3.5 MGD) a Santa Rosa. Por otro lado, y al ser un sitio de interés en el presente documento, la planta Linares que pertenece a la Zona Citrícola, trata en promedio 145 L/s (3.3 MGD), similar a SR.

En esta planta recientemente se instaló a manera de prueba un turbo soplador de 200 HP, previo a su instalación, el consumo diario era de 5,364 kWh/d y posteriormente promedió 3,910 kWh/d, lo que representa 27% en ahorro de energía. Ver figura 5.

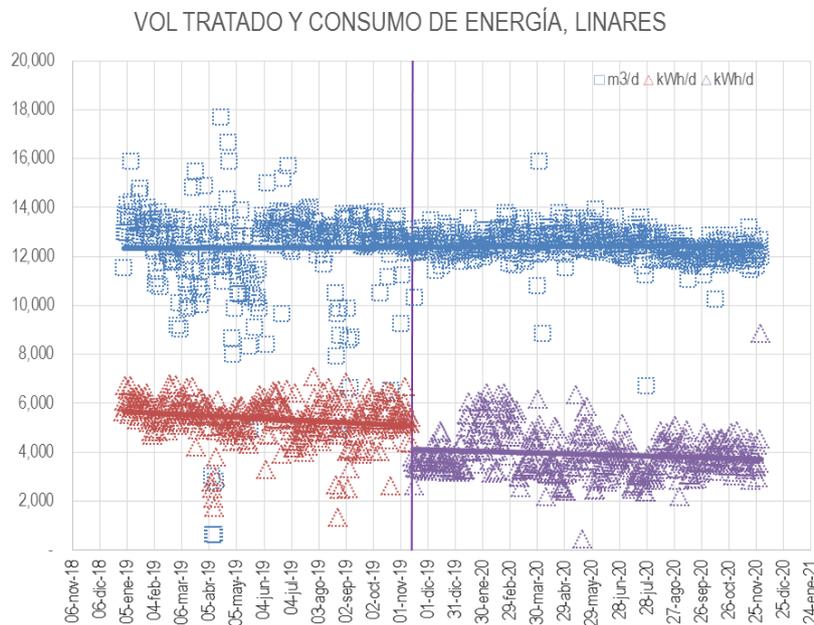


Figura 5. Consumo de energía en Planta Linares, antes y después del turbo-soplador. (Fuente propia SADM).

Lo anterior derivó en la decisión histórica para migrar a tecnologías más eficientes, al reemplazar sopladores del tipo centrífugo multi-etapa por turbo-sopladores de alta velocidad (tipo Air-Foil) en Dulces Nombres, Norte, Santa Rosa, Linares y Cadereyta 1; y cuyo costo de capital es muy importante, mismos que se espera instalar el año 2021, con lo que se pretende mejorar los índices de consumo energético, lo que va alineado con los objetivos estratégicos de la Institución.

Calidad Influyente AMM

La calidad del agua residual (ponderada AMM) presenta la siguiente tendencia (figura 5) en la que se

observa tendencia a la baja en DBO y SST, pero no así en la DQO, lo cual revela vocación de ciudad industrial, al incrementar la presencia de contaminantes orgánicos inertes (soluble y/o particulado) en el vertido al drenaje. Esta característica repercute en los indicadores y la producción de lodo.

Para el presente documento, se han considerado datos mensuales de 2019 y 2020, en virtud de que el turbo-soplador a prueba se instaló en Linares en diciembre de 2019, a fin de poder distinguir el comportamiento en el consumo de energía a partir de dicho evento; el índice relativo a población equivalente es anual.

Datos obtenidos

Se presentan para cada variable el valor promedio mensual con su correspondiente desviación estándar para fines estadísticos, ya que la concentración de contaminantes suele variar en forma errática. En la

tabla 1 se vacían los datos de registros operativos, como es el caso del volumen mensual tratado (m³/mes), concentraciones de DBO de influente y efluente, así como los kWh consumidos promedio mensual.

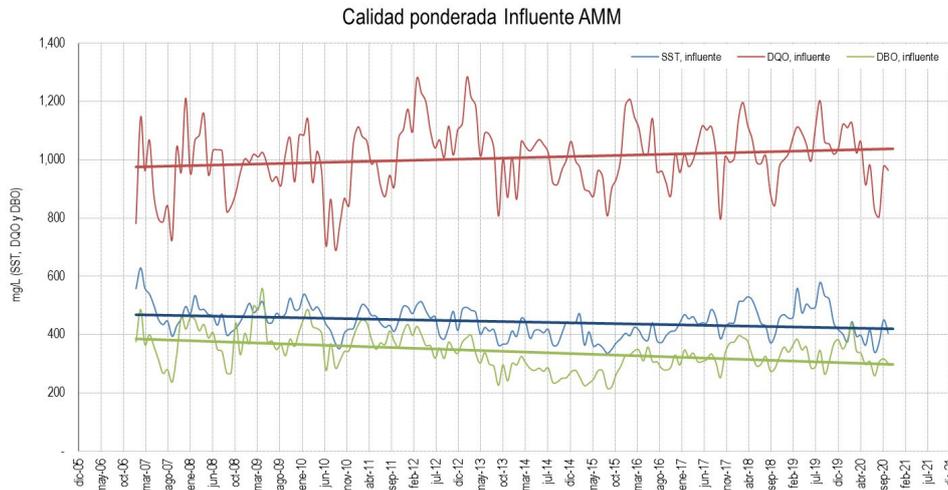


Figura 5. Calidad influente ponderada en AMM (Fuente Reporte interno SADM).

Tabla 1.- Datos Operativos de 2019 y 2020

Planta	Vol tratado, m ³ /mes		DBO, influente		DBO, efluente		kWh/mes	
	Mensual	Desv Std	Mensual	Desv Std	Mensual	Desv Std	Mensual	Desv Std
AMM	28,519,359	1,333,121	334.32	42.37	8.93	1.72	7,369,849	322,404
Dulces Nombres	18,173,336	969,537	332.03	51.46	9.49	2.73	4,287,215	285,814
Norte	6,672,056	418,779	412.88	43.50	8.03	2.78	2,211,121	122,135
Noreste	3,325,269	188,961	187.55	30.94	7.05	1.78	728,340	25,111
Santa Rosa	348,698	57,941	364.43	48.26	16.56	12.62	143,172	18,191
Linares	376,667	20,392	407.21	234.44	5.94	1.46	138,033	24,392

Mientras que en la tabla 2 se presentan los índices de la gestión operativa, como kWh por m³ tratado, kWh por kg de DBO removida y de kWh/año respecto a la población equivalente, considerando 60 g DBO/d/PE. Esto nos indica que las plantas operan con sobrecarga de contaminantes, debido a la aportación de efluentes industriales en la red de drenaje, que repercute en su desempeño. También se ha observado importante diferencia de sólidos disueltos totales en el agua residual tratada respecto al agua potable, lo que supone descarga de rechazos de procesos de acondicionamiento de agua para la industria. Según datos de la tabla 2, la población total equivalente en AMM sería de 5,215,398 hab como promedio de

últimos dos años. Sin embargo, de acuerdo con las cifras de la encuesta intercensal de 2015, la población del AMM rondaba los 4,245,510 hab, con una distribución estimada en las cuencas de aportación de 2,290,317 (DN), 1,135,311 (N), 760,161 (NE) y 59,721 (SR). Es decir, la población equivalente sería 22.8% mayor; lo anterior pone en evidencia la condición de sobrecarga de contaminantes con la que operan las plantas de tratamiento, y aun así, ostentan buenos índices energéticos. Cabe mencionar que difícilmente se dispone de información relativa a consumo de energía en plantas similares en la República Mexicana, con suficiente detalle para ejercitar alguna comparativa.

Tabla 2.- Índices de Gestión de 2019 y 2020

Planta	kWh/m ³		kWh/kg DBO		kWh/PE/año		Pob Equivalente	
	Mensual	Desv Std	Mensual	Desv Std	Anual	Desv Std	Anual	Desv Std
AMM	0.26	0.01	0.81	0.09	17.09	1.50	5,212,609	632,126
Dulces Nombres	0.24	0.01	0.75	0.10	16.37	2.20	3,297,486	493,968
Norte	0.33	0.02	0.83	0.08	16.68	1.37	1,503,537	135,039
Noreste	0.22	0.01	1.26	0.27	23.65	3.01	341,592	59,672
Santa Rosa	0.42	0.05	1.22	0.23	30.26	6.73	69,995	16,987
Linares	0.37	0.07	1.25	0.79	19.95	4.43	83,418	3,444

3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo con los criterios de la figura 1, se observa (tabla 2) resultados más que excelentes, en todas las plantas, casi el 90% del agua residual que se trata en la Entidad ocupa menos energía que los señalados en el límite bajo de los criterios publicados en la red, lo que resume la eficacia de la gestión de los procesos de saneamiento.

Cabe mencionar que planta Noreste muestra un valor demasiado bajo (0.22 kWh/m³), lo cual puede deberse a que parte de la red de drenaje atraviesa zonas de nivel freático alto (ojo de agua La Cieneguita, entre otros), lo que provoca efecto de dilución, ya que la DBO influente está por debajo de 200 mg/L; otro caso es planta Santa Rosa, que estaría dentro del rango en lo que respecta a kWh/m³ y kWh/PE/año, debido a que durante 2014 y 2015 tuvieron lugar libranzas por la implementación de un tercer reactor.

Respecto a planta Norte, se observa valores superiores para kWh/m³ y kWh/kg DBO, lo cual se debe a que en su cuenca de aportación, está asentada gran parte de la industria tradicional, adicionalmente el flujo no ha crecido como estaba previsto, sin embargo, se mantiene acorde a la tabla de objetivos e indicadores, anteriormente mencionados. En los anexos se incluyen las gráficas del comportamiento de cada una de las plantas bajo estudio, con los criterios señalados en el presente documento.

Claves para lograr la eficiencia energética

A manera de observar el trasfondo de la búsqueda en el consumo eficiente de energía en los procesos de saneamiento, y a sabiendas que este es el insumo de mayor costo, se pueden distinguir tres factores, el capital humano, los procesos y la tecnología, como se mencionan en la figura 6.



Figura 6. Interrelación de factores para la eficiencia energética
(Fuente: <https://fornieles.es/gestion-energetica/tres-factores-exito-plan-eficiencia-energetica/>)

- SADM tiene como su activo de mayor valor a su gobernanza (Consejo de Administración) aunado a su capital humano, que lo han ubicado como el organismo operador más eficaz de agua y saneamiento en la República Mexicana, y por qué no decirlo, fuera de nuestras fronteras.
- En el ámbito de saneamiento, el 100% del agua residual generada en el área metropolitana de Monterrey se descarga a cuerpos receptores y/o usuarios ART en cabal cumplimiento con la normatividad, lo que revela eficacia de los procesos de saneamiento (lodos activados con aeración a base de difusores de fondo de burbuja fina y sopladores del tipo centrífugo, actualmente). Habrá que añadir como parte de los procesos al Control de Descargas, que monitorea los efluentes industriales descargados al sistema de drenaje de la ciudad.
- El componente tecnológico se da en la implementación de los reactores biológicos, con diseño de mezcla completa y construidos en forma de flujo tipo pistón y con aeración

escalonada, con mayor densidad al inicio del reactor. Así mismo, destaca la próxima migración de la tecnología de turbo-sopladores en las principales plantas de tratamiento.

Considerando los anteriores factores, será posible mantener el récord de los indicadores en la inteligencia de los efectos del cambio climático provocada por gases de efecto invernadero que se alimentan de mayor uso de combustibles para producir más energía.

Benchmarking con plantas de otras latitudes

Se investigó en páginas de internet índices energéticos, como ejemplo, en la Unión Americana el consumo promedio oscila alrededor de 0.52 kWh/m³, en contraste, los países asiáticos muestran (0.31 kWh/m³ en China, 0.304 en Japón y 0.243 en Corea; mientras que, en países europeos, el consumo de energía es alrededor de 0.42 kWh/m³. Un factor que influye en lo anterior son las transformaciones del nitrógeno, cuyo tema puede ser motivo de otro tipo de análisis.

Tabla 3. Comparativa con otras plantas de tratamiento

	Q, L/s	PE	L/hab/d	DBO Influyente	DBO Efluente	kWh/m ³	kWh/kg DBO	kWh/PE/ año
Dulces Nombres	6,906	3,297,486	180.94	332.03	9.49	0.24	0.75	15.60
Killarney WWTP, Irlanda	120	54,000	192.00	300.00	5.00	0.25	0.82	17.52
Norte	2,534	1,503,537	145.63	412.88	8.03	0.33	0.83	17.65
Santa Rosa	133	69,995	163.68	364.43	16.56	0.42	1.22	24.84
Linares	143	83,418	148.24	407.21	5.94	0.37	1.25	19.89
Noreste	1,264	341,592	319.67	187.55	7.05	0.22	1.26	25.62
Bergen WWTP (NY)	1,320	350,000	325.85	200.00	20.00	0.74	1.32	88.01
Kipevu, Mombasa Kenia	198	196,000	87.24	560.23	5.00	0.90	1.60	28.58
Bratislava, Slovak WWTP	1,400	360,000	336.00	300.00	10.00	0.49	1.92	59.48
AC WWTP Canadian	1,654	367,000	389.39	193.00	8.00	0.41	2.20	57.81
AB WWTP Canadian	1,362	345,000	341.09	220.00	1.50	0.55	2.50	67.92
Himmerfjärdsverket, Sweden	1,300	350,000	320.91	250.00	15.00	0.27	2.50	32.18
Pensilvania AS-WWTP's	220	360,000	52.80	250.00	20.00	0.42	2.64	8.09
AE WWTP Canadian	3,773	860,000	379.05	198.00	6.40	0.52	2.72	72.11
AD WWTP Canadian	2,593	457,000	490.23	153.00	29.90	0.59	4.77	105.00

Una vez analizada la información se vació en una tabla comparativa (tabla 3), con base a kWh/kg DBO, pudiendo ver que en plantas de tamaño similar ostentan índices que facialmente duplican los que tiene la Coordinación de Saneamiento, lo que las ubica en buena posición en un ejercicio de Benchmarking de primer nivel.

Cabe mencionar que el costo de energía eléctrica en las plantas bajo estudio, representa entre 20 y 40% del costo total de operación, ya que la gran mayoría de las plantas son de menor tamaño, y cuyo promedio ponderado está alrededor de 2 pesos/m³, lo que

magnifica el afán de seguimiento y benchmarking sobre este importante insumo.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las aguas residuales generadas en el área metropolitana de Monterrey, que representa casi el 90% del agua residual tratada en la Entidad, utilizan 0.26 kWh/m³, valor menor al rango de la figura 1 (0.4 kWh/m³), así mismo, para remover un kg de DBO se utiliza 0.81 kWh/kg DBO, que contrasta con el valor mínimo del rango (1.5 kWh/kg DBO), finalmente la energía anual utilizada respecto a la población

equivalente tiene un promedio de 17.09 kWh/PE/año, valor por debajo del rango de 20 kWh/PE/año. Lo que evidencia eficacia en la utilización de energía para el saneamiento.

Ante la posibilidad de entrar en vigencia las modificaciones a NOM-001-SEMARNAT-1996, en la que destaca reducción en el valor de nitrógeno total, se tendría mayor demanda de energía, lo que seguramente repercutirá en los indicadores, sin embargo, la Coordinación de Saneamiento ha procurado en la presente gestión, la reposición de sopladores del tipo centrífugo multi-etapa por la moderna tecnología de turbo-sopladores de alta

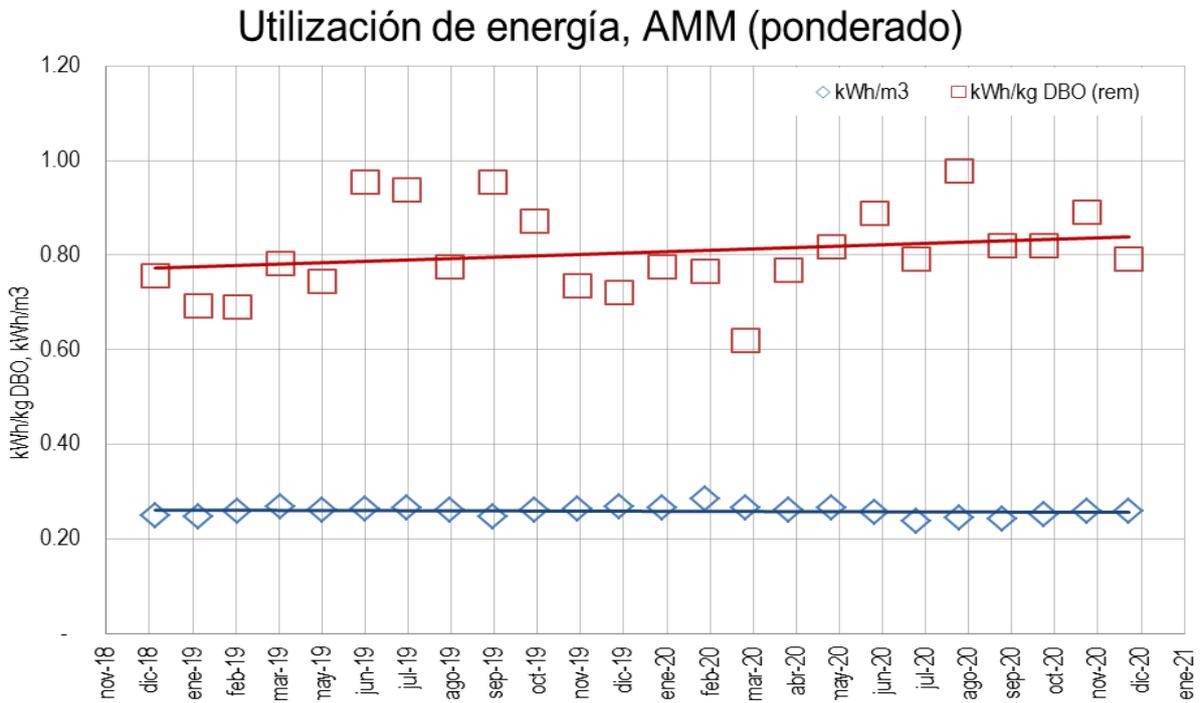
velocidad, que además de ser más eficientes, operan con variadores de frecuencia, lo que permitirá mantener el actual desempeño de las plantas, aún con los nuevos requerimientos de energía.

Otro dato a considerar es también la reciente renovación de difusores de fondo de burbuja fina en la totalidad de las plantas, lo que soporta la buena calidad del efluente tratado en las plantas de tratamiento. Por lo que será bueno tener seguimiento con el ejercicio del Benchmarking, a fin de mantener el buen desempeño en el consumo de energía eléctrica para el tratamiento de aguas residuales de SADM.

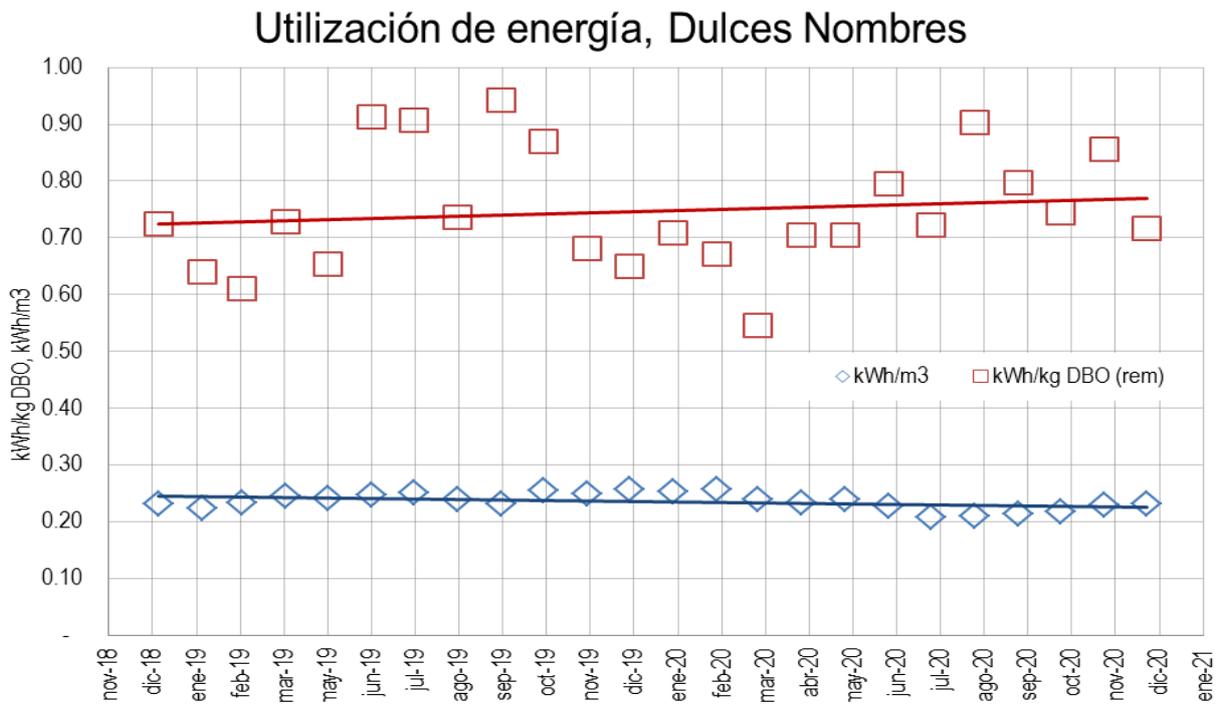
REFERENCIAS

- Municipal Wastewater Treatment Plant Energy Evaluation for Town of Tonawanda WWTP, Agreement N° 7185, prepared for The New York State, Energy Research and Development Authority, Albany, NL, October 1985.
- Municipal Wastewater Treatment Plant, Energy Baseline Study, PG&E New Construction Energy Management Program, San Francisco, CA
- Electric Costs Survey, City of Newberg, OR WWTP, 1987
- Reportes mensuales de plantas AMM y foráneas operadas por SADM
- Andrea G. Capodaglio¹, OrcID and Gustaf Olsson², Energy Issues in Sustainable Urban Wastewater Management: Use, Demand Reduction and Recovery in the Urban Water Cycle. Department of Civil Engineering and Architecture, University of Pavia, 27100 Pavia, Italy (1), Department of Biomedical Engineering, Division of Industrial Electrical Engineering and Automation, Lund University, Box 117, 221 00 Lund, Sweden (2), <https://doi.org/10.3390/su12010266>
- Vanyo Jon C.E.M. (2018), “The Value of Benchmarking: Wastewater Treatment”, Minnesota Technical Assistance Program (MnTAP), University of Minnesota https://www.betterenergy.org/wp-content/uploads/2018/03/JonVanyo_TheValueofBenchmarkingWastewaterTreatmentFinal.pdf
- https://www.researchgate.net/publication/272209841_Leveraging_the_Energy_of_the_Group_to_Manage_the_Energy_of_the_Utility_The_NWWBI_Adopts_Industry_Tools_to_Improve_Energy_Performance
- <https://docplayer.es/13690696-Las-lineas-base-de-intensidad-energetica-evaluacion-comparativa.html>
- <https://slideplayer.com/slide/3500964/>
- <https://www.slideshare.net/TippEnergy/optimising-energy-performance-of-water-supplies>

Anexo 1.



Anexo 2.



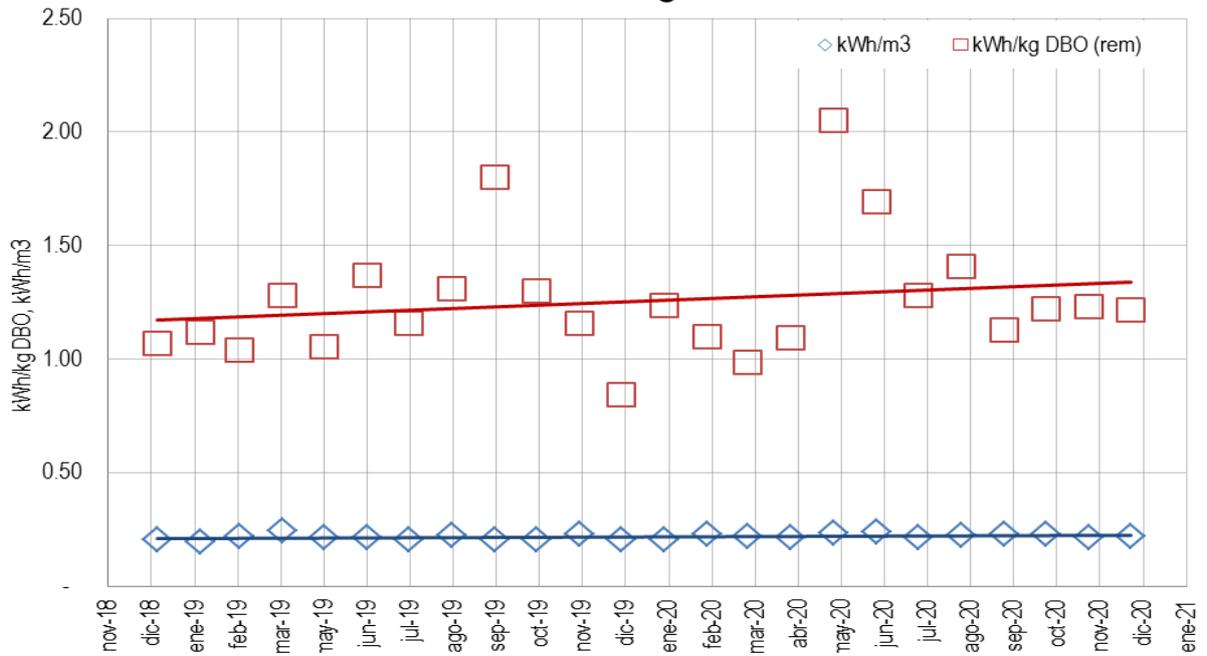
Anexo 3.

Utilización de energía, Norte

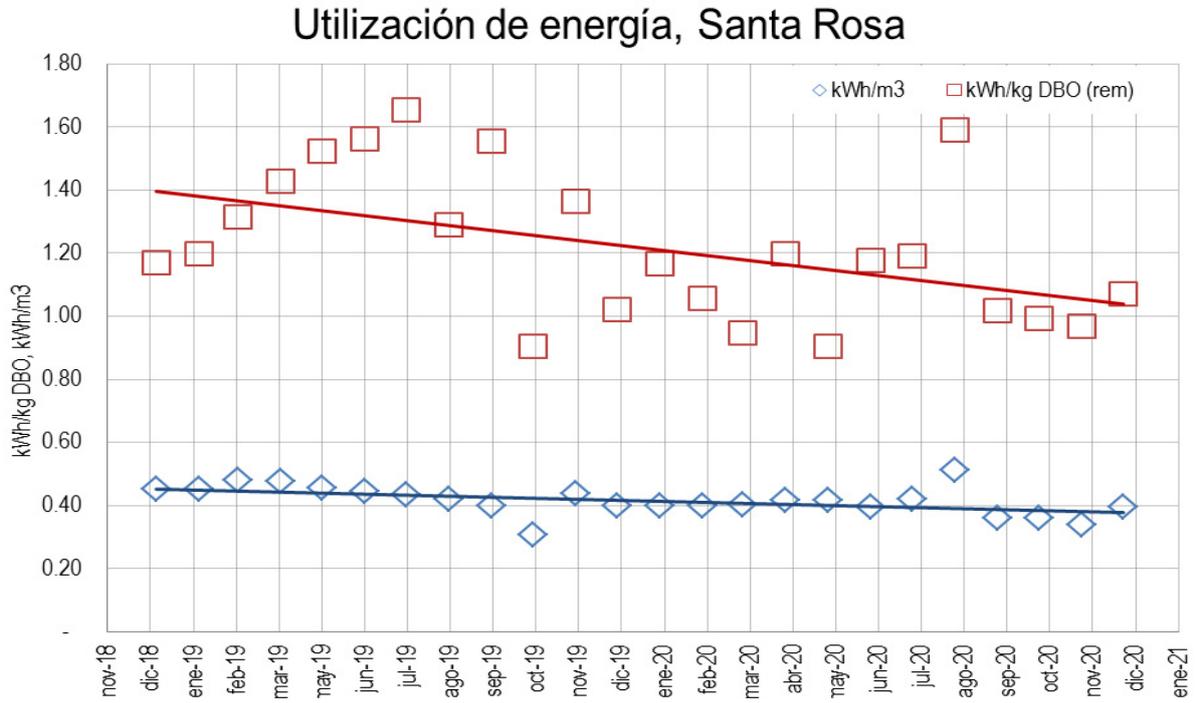


Anexo 4.

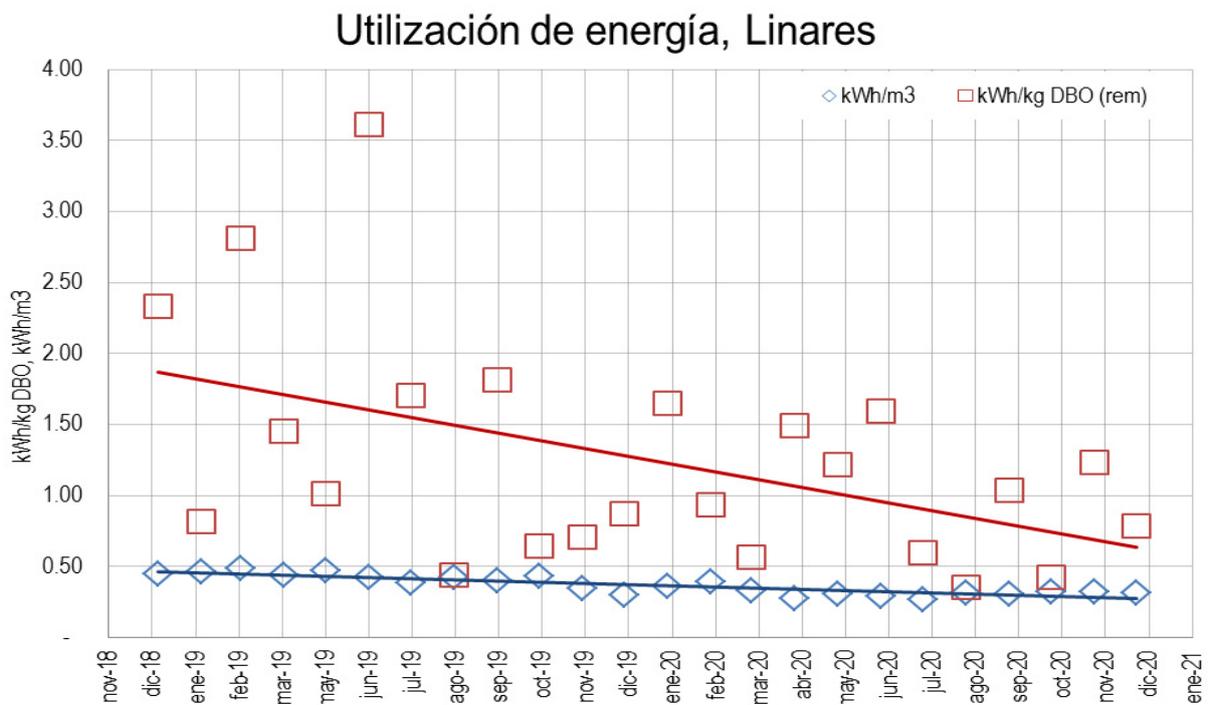
Utilización de energía, Noreste



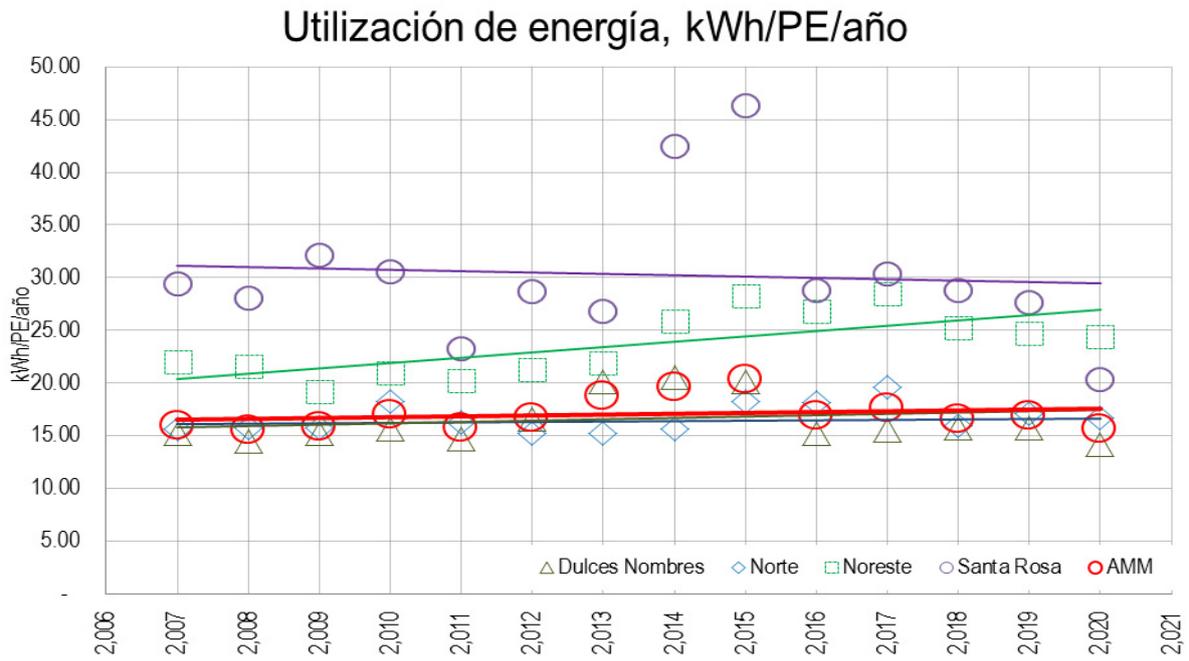
Anexo 5.



Anexo 6.



Anexo 7.



Como citar este artículo:

Vázquez A., et al. (2021). Consumo de energía en plantas de tratamiento-benchmarking. *Aqua-LAC* Volumen 13(1), 45-57. doi: 10.29104/phi-aqualac/2021-v13-1-04



Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International
CC BY-NC-SA 4.0 license