

# Tratamiento biológico con microorganismos eficientes, para reducir la carga contaminante en aguas residuales de la industria azucarera y los derivados

Karen Rodríguez-Jorge<sup>1</sup>, Rocio Aguila-Michelena<sup>1</sup>, Jessica de la Caridad Bello-Céspedes<sup>1</sup>, Lianys Ortega-Viera<sup>1</sup> y Georgina Michelena-Álvarez<sup>2\*</sup>

1. Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” (CUJAE). Calle 114, No. 11901, entre Ciclo Vía y Rotonda, Marianao. La Habana, Cuba.
2. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). Vía Blanca y Carretera Central, No. 804, San Miguel del Padrón. La Habana, Cuba.

\* [georgina.michelena@icidca.azcuba.cu](mailto:georgina.michelena@icidca.azcuba.cu)

## RESUMEN

Las aguas residuales de la industria azucarera y sus derivados constituyen una fuente de contaminantes de Cuba, por su alta demanda química de oxígeno (DQO) y los volúmenes de residuales que se emiten al medioambiente, por lo que es de vital importancia tratarlos. Una de las alternativas para disminuir la contaminación es la inclusión de microorganismos eficientes en dichas aguas. La aplicación de un tratamiento adecuado, en función de las características específicas de los efluentes y velar por los requerimientos de depuración apropiados, permiten que el agua pueda cumplir con los requisitos exigidos por la normativa ambiental y ser aprovechada para otros usos. Los microorganismos eficientes han sido informados en la literatura como una alternativa para solucionar los problemas de contaminación hídrica. Se trata de un conjunto probiótico natural que incluye, únicamente, microorganismos que existen en la naturaleza, que no son manipulados genéticamente. Pueden utilizar los compuestos contaminantes presentes en las aguas como fuente de carbono y energía, para su metabolismo y desarrollo.

**Palabras clave:** aguas residuales, contaminación, tratamiento, Microorganismos eficientes.

## ABSTRACT

Wastewater from the sugar and derivatives industry constitutes the largest source of pollutants in Cuba due to the high chemical oxygen demand (COD) and the volumes of residuals that are emitted into the environment, so it is vitally important to reduce the volume and reduce the pollutant load. One of the alternatives to reduce contamination is its inclusion of efficient microorganisms in said waters. The application of an adequate treatment, taking into account both the specific characteristics of the effluents and the purification requirements, allows the water to meet the requirements demanded by environmental regulations, and likewise, it can be used for other uses. Efficient microorganisms have been reported in the literature as an alternative to solve water pollution problems. It is a natural probiotic set that includes only microorganisms that exist in nature, and not genetically engineered microorganisms. They can use the polluting compounds present in the water as a source of carbon and energy for their metabolism and development.

**Key words:** wastewater, pollution, treatment, efficient microorganisms.

## INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso imprescindible para la vida de todos los seres vivos, en especial para el hombre, que la emplea en múltiples actividades que garantizan la supervivencia y el desarrollo de su existencia. Ella cubre más del 70 % de la superficie del planeta, distribuida en océanos, lagos, ríos, glaciales, en el aire y en el suelo, pero la cantidad de agua dulce disponible para uso industrial, agrícola, doméstico y, de algún otro tipo, es limitada, pues es sólo del 0.003 % (1). El agua empleada para consumo industrial no siempre ha sido usada de forma racional y esto ha provocado, en los últimos años, un aumento considerable de los volúmenes de residuales, que atentan contra la disponibilidad del recurso hídrico y el equilibrio natural de los ecosistemas.

La industria de la caña de azúcar se encuentra entre las de mayor demanda de agua, además de ser una fuente importante de contaminación orgánica (2). En Cuba, la industria azucarera es una de las mayores consumidoras de agua, situación que la convierte en una alta generadora de aguas residuales al medioambiente, pues la carga contaminante de sus fábricas representa aproximadamente del 80 % del total que aportan las industrias (3). Estas aguas, si se descargan sin un tratamiento previo, producen problemas de contaminación tanto en ecosistemas acuáticos como terrestres, y cuando no se tratan completamente, al ser liberadas generan un olor desagradable, (2).

En la actualidad, existen varias técnicas y métodos que se pueden emplear para el saneamiento de las aguas residuales pero, en la mayoría de los casos, se buscan alternativas que sean económicamente viables, eficientes y autónomas; además, deben tenerse en cuenta compuestos o procesos amigables con el medioambiente (4), entre ellos se encuentran los tratamientos biológicos que garantizan el aprovechamiento de las altas concentraciones de materia orgánica, presentes en este tipo de aguas.

Uno de los tratamientos biológicos más utilizados son los Microorganismos eficientes (ME) que, mediante un proceso de fermentación, aceleran la descomposición natural de los compuestos orgánicos y eliminan los microorganismos patógenos que promueven la putrefacción y la producción de gases nocivos, los cuales contaminan el agua y producen malos olores.

De modo que el objetivo principal de la tecnología de los ME es revertir situaciones de contaminación en efluentes que no cumplan con las normas de vertimiento de aguas residuales, como los de la industria azucarera y lograr un producto de alta calidad a bajo costo, sin generar subproductos contaminantes, de ahí su importancia, pues constituyen una alternativa biotecnológica sostenible para el saneamiento ambiental (5).

En teoría la caña de azúcar (materia prima) podría aportar agua suficiente para todos los procesos industriales del ingenio, puesto que el agua alcanza proporciones del 70 % del peso de la caña de azúcar; sin embargo, la industria azucarera se encuentra entre las industrias con mayor demanda de agua ya que depende, en alto grado, de un abastecimiento adecuado, como componente de productos, en el control del proceso de producción; así como en el enfriamiento de máquinas que generan calor o en la limpieza de determinadas operaciones y partes del proceso productivo. En los últimos años el consumo de agua ha aumentado a razón de 1 a 1.5 % por año, fundamentalmente en los países desarrollados.

Entre los factores que motivan un consumo de agua adicional en este proceso se pueden valorar razones de origen operativo como las frecuentes paradas en el proceso; el despilfarro incontrolado en labores de limpieza y enfriamiento y otras de origen tecnológico.

Son numerosos los estudios que se han realizado sobre los Microorganismos eficientes, el vertimiento de aguas residuales, la contaminación medioambiental y las normas que deben cumplirse, entre esos estudios se destacan:

La aplicación de Microorganismos eficientes resultó eficaz en el tratamiento de aguas residuales provenientes de una granja porcina, que desembocaban en una gran poza, donde eran captadas

por un período de tiempo determinado y, luego, se descargaban libremente, sin un pretratamiento que garantizara la mitigación de posibles impactos negativos al hábitat y los ecosistemas. La investigación se desarrolló en la provincia de El Oro, cantón Piñas, en Buenos Aires, allí se capturaron los microorganismos y en Panupalí se recolectaron las aguas residuales de una granja porcícola. Los tratamientos que se diseñaron para la gestión ambiental de las aguas residuales provenientes de la granja fueron: 4 g/L, 8 g/L, 12 g/L, 16 g/L; el primer tratamiento fue el que más redujo la DQO, de 155 mg/L a 109.15 mg/L, esto demostró que los ME son una alternativa importante que puede sustituir los tratamientos convencionales de aguas residuales que, en muchas ocasiones, resultan costosos.

También se evaluó el efecto de los Microorganismos eficientes sobre la calidad del agua residual doméstica (ARD) del distrito de Pátapo, y realizaron un seguimiento, durante algún tiempo, de los parámetros microbiológicos y físico-químicos del agua residual tratada, con la finalidad de monitorear los cambios, evaluar su efecto y establecer la relación de los parámetros evaluados con la calidad del agua. Entre los parámetros analizados se encontraban: pH, demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO), dureza total, nitratos, cloruros, color, olor, coliformes totales y coliformes termotolerantes. De acuerdo con los resultados, antes y después del tratamiento, se observó la disminución eficientemente mínima de partículas suspendidas presentes en el ARD y la disminución de olores desagradables. Se observaron los cambios en el tratamiento de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del ARD. En conclusión, se comprobó que la adición de ME en las ARD de las lagunas de oxidación de Pátapo redujo la DQO (68.11 %), DBO (65.83 %), cloruros (28.53 %), nitratos (81.87 %), dureza total (15.30 %), coliformes totales (99.96 %), después de mes y medio desde su aplicación.

Asimismo, Pontaza, valoró la eficiencia de los Microorganismos eficientes en las aguas residuales de una planta de tratamiento. El caudal de la planta excede el 75.85 %, esto ha generado la necesidad de brindarle un tratamiento extra, con empleo de ME, para mejorar la calidad del efluente. La investigación duró 3 meses y se tomaron 20 muestras compuestas, 10 en entrada y 10 en salida. Como resultado, el parámetro de Sólidos sedimentables, sin aplicar ME mostró una eficiencia de 97.21 %, al aplicar ME 99.78 % y aumentó la eficiencia a 2.57 %; DQO, sin aplicar ME, 46.62 %, al aplicar ME se obtuvo un valor de 198 mg/L (46.30 %) y disminuyó la eficiencia a -0.30 %; DBO, sin aplicar ME 29.53 %, al aplicar ME se obtuvo un valor de 148 mg/L (48.60 %) y aumentó la eficiencia a 19.07 %; Sólidos suspendidos, sin aplicar ME 75.72 %, al aplicar ME se obtuvo un valor de 98 mg/L (84.74 %) y aumentó la eficiencia a 9.02 %. Al emplear los Microorganismos eficientes, aumentó la remoción de materia orgánica en un 19.07 %, mayor al valor de 14.93 % que se invertiría anualmente en la operación y mantenimiento de la planta; por lo que resultó factible su implementación, pues los parámetros cumplieron con la norma ambiental (6).

También Noles, evaluó la eficiencia de los Microorganismos eficientes (ME) in vitro, para minimizar la contaminación de las lagunas de oxidación. La metodología de investigación tuvo un análisis deductivo, con nivel explorativo, que aplicó 3 tratamientos con 3 reiteraciones y con dosificaciones de 1, 5 y 10 ml de ME, por 15 días, con registros cada 5 días (5, 10, 15); utilizó las técnicas de: observación, entrevista, muestreo, análisis y cálculos; la población estuvo constituida por 3 675 m<sup>3</sup>/día de agua residual (AR). Los resultados indicaron que la dosis óptima fue de 5 ml /L de AR, para un tiempo de 15 días, ya que se obtuvo una máxima remoción de DBO de 5 mg/L, que equivale al 99 % y con respecto a DQO se obtuvo un resultado de 10 mg/L, para un 98 %, los cuales garantizan el cumplimiento de los límites de descarga a un cuerpo dulce. A comparación de la dosis de 1 mL para un tiempo de 5 días en el que se presentó la remoción más baja para DBO de 292 mg/L (27 %) y con respecto a DQO de 290 mg/L (40 %). En conclusión, las dosificaciones establecidas fueron muy fiables en las lagunas y se evitaron problemas tales, como: malos olores y la contaminación descargada en el río (7).

Por otra parte, se reportaron los resultados obtenidos del uso del Versaklin, como vía para mejorar la calidad del agua. Versaklin es un producto desarrollado en Cuba, basado en la tecnología Microorganismos eficientes (ME); en el Instituto Carlos J. Finlay ha sido aplicado en aguas naturales, aguas residuales, lagunas, zanjas y fuentes de abasto en las que, principalmente, se han detectado afectaciones en la calidad de las aguas terrestres, con peligro para la salud humana. Los residuales a evaluar con el tratamiento de Versaklin fluyen por las zanjas del municipio de Güines, en Maya-beque.

Durante el monitoreo, el pH se mantuvo constante, con un valor promedio de 7.3, la temperatura osciló entre 25.5 °C y 28.2 °C, condición que beneficia el crecimiento de los microorganismos; se notó que, transcurrido un día de aplicado el producto, en la mayoría de los puntos, la (DBO) disminuyó notablemente, en cuanto al oxígeno disuelto, en tres puntos, se presentaron concentraciones inferiores a 2 mg/L, valores considerados bajos y fundamentados, posiblemente, por los aportes territoriales que se producen en las zonas colindantes a la zanja. Por otra parte, en el punto 2 no se presenció aumento del oxígeno disuelto y se alcanzaron, en todos los muestreos, concentraciones de 1 mg/L; lo que posiblemente pueda contribuir a que la DQO presentara valores hasta de 63 mg/L. Los coliformes fecales, después de incorporado el producto, disminuyeron en nueve de los 10 puntos de muestreo, lo que corroboró la efectividad del tratamiento.

De igual forma, se evaluó la tecnología de Microorganismos Eficientes (ME) en estado sólido y líquido para el tratamiento de aguas residuales domésticas (ARD) en la vereda Cerro Alto, municipio de Caldon, departamento del Cauca, mediante tres fases: la primera correspondió al diagnóstico, la segunda al monitoreo de las ARD, mediante corridas experimentales en reactores tipo Batch, a escala de laboratorio; y, la tercera, a la aplicación de la tecnología con mayor eficiencia en el sistema piloto de tratamiento ARD, instalado en la finca La Legua de Caldon. Para evaluar los resultados se utilizaron los porcentajes de remoción de los parámetros físico-químicos de calidad del agua y resultó que, con la aplicación de la tecnología de ME en estado líquido se obtuvo mayor eficiencia de remoción, dado que la DBO fue de 38 % en 72 horas, la DQO en 48 horas generó la remoción del 44 % y SST 81 %, en 48 horas. Con el propósito de mejorar el porcentaje de remoción de carga contaminante se realizó una corrida experimental adicional en la que se inocularon ME en forma líquida en un medio poroso y resultó que para la DBO la remoción fue del 32 %, DQO de 50.07 % y SST 88.04 % a las 72 horas de monitoreo. Para continuar con la siguiente fase de experimentación se procedió a aplicar la tecnología de ME en un sistema piloto de tratamiento de aguas residuales, el cual consta de una trampa de grasas, un tanque séptico construido de manera artesanal y resultó que el porcentaje de remoción del sistema completo fue de: DBO de 64.93 %, DQO de 62.79 % y SST de 90.07 %.

Espinoza y Zambrano, investigaron también sobre la eficiencia de microorganismos (*Saccharomyces spp*, *Lactobacillus spp*, *Rhodospseudomonas spp*) en el tratamiento de aguas residuales de ESPAM, su objetivo fue evaluar la eficiencia de los Microorganismos eficientes (ME) en las aguas residuales, para resolver problemas de contaminación hídrica. La metodología de investigación fue de tipo cuantitativo- deductivo, con un diseño experimental que aplicó 3 tratamientos, con 3 reiteraciones, en concentraciones de (0.75; 1.25 y 2.00 %) de ME, con una duración de 7 días. Los resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos evidenciaron que las aguas residuales necesitaban un tratamiento que removiera la DBO y DQO, porque no cumplen con los límites máximos permisibles; pero al aplicar los ME, los parámetros cumplieron los criterios de calidad del agua; la dosis óptima fue al 2 % de ME, que presentó la máxima remoción de DBO de 304 mg/L (58.70 %) y, con respecto a la DQO, se obtuvo un resultado de 395 mg/L (56.97 %). En comparación con la dosis de 1.25 %, en la que se presentó la remoción más baja para la DBO, de 632 mg/L (14.67 %) y con respecto a la DQO se obtuvo un resultado de 734 mg/L (19.06 %). En conclusión, los tratamientos

aplicados, estadísticamente, presentaron valores significativos de  $p < 0.05$  en la DBO y DQO; por lo tanto, se aceptó la hipótesis establecida en el estudio (8).

Se abordó también la tecnología de Microorganismos eficientes (ME) para remover la materia orgánica del agua residual municipal a nivel de prueba piloto, con el objetivo de determinar su dosis óptima y el tiempo de retención hidráulica (TRH) que maximiza la remoción de materia orgánica, en la planta de tratamiento de aguas residuales de Yauli, Huancavelica. La metodología contó con un diseño experimental y factorial que integró 4 tratamientos: 0, 10, 20, y 30 ml de ME; con 3 repeticiones en tiempos de retención: 11, 22 y 33 días. Se recolectaron los datos en dos etapas: en la primera se analizó la muestra patrón, posteriormente, en la segunda, los parámetros por unidad experimental. Los principales resultados mostraron una dosis óptima de 20 mL y TRH de 33 días que maximizaron la remoción de materia orgánica; la remoción de DBO fue 65.52 % y en DQO, 66.88 %. Estos resultados garantizaron el cumplimiento de la norma ambiental peruana.

Miklos plantea que los procesos de tratamiento de residuos se mejoran mediante la generación y la introducción de poblaciones biológicas específicas personalizadas, para realizar o favorecer tareas específicas, ya sea durante el proceso principal o con fines de minimización de sólidos, en un proceso posterior al tratamiento. Las bacterias pueden crecer a partir de mezclas especializadas de lodos activados y afluentes de desechos, al exponer estos materiales a ambientes controlados. Luego pueden volver a agregarse al proceso principal para realizar ciertas tareas, como convertir DBO5 particulado en DBO5 soluble para su uso, para reducir los organismos de alto rendimiento de sólidos, al complementar la población con organismos de bajo rendimiento y, así, mejorar la eficiencia de nitrificación/desnitrificación (9).

Asimismo, Matías y Sjogren hacen referencia a un método para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales que elimina eficazmente sus contaminantes y reduce la generación de residuos orgánicos. El procedimiento, según la invención comprende, al menos, tres etapas de tratamiento: En primer lugar, una etapa de tratamiento en la que se realiza una filtración mecánica del agua a tratar (tratamiento primario). Luego, el agua ya tratada es llevada a una etapa de filtración biológica (tratamiento secundario), en la que se pone en contacto con un medio filtrante biológico. Esta unidad de tratamiento biológico está compuesta por unidades que albergan diferentes tipos de microorganismos, hongos, bacterias, entre otros, que permiten transformar los desechos sólidos en uno de los abonos orgánicos más ricos que existen: el humus de lombriz y con ello reducir la generación de lodos contaminantes.

Este método también comprende, opcionalmente, una tercera etapa (tratamiento terciario) en la que el agua proveniente del medio filtrante biológico se somete a desinfección, con medios químicos como el ozono y/o un desinfectante halógeno, entre los que pueden seleccionarse cloro, yodo o bromo. El sistema comprende, al menos, un colector de aguas residuales, encargado de recibir las aguas residuales aguas arriba del sistema de tratamiento; una estación de filtrado mecánico y/o estación de flotación, encargada de retirar la materia orgánica y residuos sólidos inorgánicos de tamaño característico; una planta de transporte, perteneciente a dicha estación de filtrado, para movilizar las aguas residuales en dicha estación; una estación de filtrado biológico, encargada de retirar los residuos orgánicos restantes y una estación de desinfección, destinada a desinfectar el efluente del sistema de tratamiento, por medios químicos u otros medios desinfectantes. Opcionalmente, el sistema de la invención comprende una unidad de tratamiento de sólidos, en la que se manipulan los residuos sólidos orgánicos, eliminados en las estaciones de filtración. La invención también proporciona un sistema de tratamiento de aguas residuales de origen domiciliario e industrial, que elimina eficazmente los contaminantes del agua, al reducir la generación de residuos orgánicos y mantener la continuidad en la operación. Favorablemente, el método y el sistema de la invención poseen las siguientes características: baja generación de olores, generación de residuos orgánicos insignificantes, bajo consumo energético y bajo consumo de desinfectantes químicos (10).

Por su parte, Ávila propone determinar la capacidad de remoción de nitratos y fosfatos en aguas residuales municipales, por microalgas libres e inmovilizadas. La metodología consta de cepas provenientes de los efluentes de la planta de recuperación de las aguas del río Surco (Lima-Perú), para evaluar su capacidad de remoción de nitratos y fosfatos durante 10 días, a nivel de laboratorio, en aguas residuales municipales (ARM), con tratamiento primario, tanto de forma libre como inmovilizadas en discos de alginato de sodio al 4 %. Según los resultados, las cepas obtenidas se identificaron como *Chlamydomonas sp* y *Chlorella sp*. Ambas obtuvieron un buen crecimiento en aguas residuales municipales, especialmente, *Chlamydomonas sp*, que reportó mayores valores en los parámetros cinéticos de crecimiento. El cultivo de *Chlorella sp* registró uno de los valores más altos de porcentaje (71.25 %) y (0.43 mg/L/día) en tasa de remoción de nitrato y (83.69 %; 0.09 mg/L/día) los máximos valores de dichos parámetros para fosfatos; así como para el índice de eficacia de ambos nutrientes, en comparación con los de *Chlamydomonas sp*. Los cultivos inmovilizados de ambas especies alcanzaron valores altos de remoción, entre 78 y 81 % para fosfatos; entre 5 y 6 % a 67 % para nitratos, el primero fue removido en 24 horas en la mayoría de los cultivos. La inmovilidad fue el principal factor que afectó la capacidad de remoción de los nutrientes. En conclusión, ambas cepas manifestaron ser eficientes en la remoción de nutrientes, en aguas residuales municipales (ARM), especialmente de fosfatos, con valores cercanos a los máximos reportados en estudios previos, para ambas especies (11).

Beltrán, igualmente determinó los efectos de los Microorganismos eficientes (ME) en el tratamiento de agua y lodo residual de la planta de Jauja (Perú). Se realizó la aplicación con Microorganismos eficientes activados en solución y se ejecutaron evaluaciones a los 0; 30; 60 y 90 días después del tratamiento, para determinar el efecto de los microorganismos en cuanto a la calidad del agua residual (DBO, pH, DQO, grasas y aceites, sólidos totales en suspensión, coliformes termotolerantes, color (aspecto), olor y temperatura) y el lodo residual (pH, grasas y aceites, coliformes termotolerantes, color, olor). Los resultados indicaron que los Microorganismos eficientes demostraron efectos en el control del agua residual en los siguientes parámetros: grasas y aceites, color (aspecto), DBO, olor y coliformes termotolerantes; de la misma forma en términos de eficiencia, los Microorganismos eficientes tuvieron efectos en la reducción de la DQO, DBO, olor, sólidos totales, al conseguir con mayor eficiencia, a los 90 días, después del tratamiento, mejorar las condiciones biológicas, químicas y físicas de las aguas residuales. Los ME tuvieron efectos tales como: el control del lodo residual, al minimizar notablemente la concentración de coliformes termotolerantes, grasas y aceites; asimismo estabilizó el pH que estaba por debajo de los límites máximos permisibles para lodos, según norma oficial mexicana NOM-004- SEMARNAT-2002 (13).

Se hacen referencia a las propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas de los ME. En el documento plantean que los ME agrupan una gran diversidad microbiana, entre las que se encuentran: bacterias ácido lácticas, bacterias fotosintéticas, levaduras, actinomicetes y hongos filamentosos con capacidad fermentativa.

Aréchiga *et al.* trataron sobre una mezcla que contiene harina y una composición, a partir de bacterias del género *Bacillus*, que se usa con fines de biorremediación y bioaumentación que implique la degradación para descontaminación de compuestos; además, elimina los malos olores, coliformes fecales y disminuye el contenido de lípidos, almidón y proteínas presentes en aguas contaminadas o superficies sólidas expuestas al aire y provistas de humedad, así como para la degradación de celulosa en suelos y aditivo de fertilizante (14).

Ferral, *et al.* determinaron el efecto de los Microorganismos eficientes autóctonos sobre el nematodo *Meloidogyne incognita* y sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo de tomate (15).

Faife, *et al.* informaron sobre el empleo de Microorganismos eficientes como alternativa para el tratamiento de aguas domésticas e industriales, así como de residuos sólidos generados en los pro-

cesos industriales, en las producciones agrícolas y en la basura y concluyen que los ME son bien aceptados en toda clase de unidades productivas, ya sean agrícolas, pecuarias o medioambientales (16).

La filosofía de efluente cero plantea el reúso de agua para reducir al mínimo la cantidad de agua fresca alimentada al proceso de fabricación. Esto contribuye a un ahorro económico importante y a la conservación de los recursos naturales, en particular, en los lugares donde la zafra se realiza en épocas de sequía (1).

Cuando se aprovecha bien el agua disponible aportada por la caña es suficiente para garantizar el consumo del proceso, satisfacer la generación de vapor para la generación eléctrica y disponer de una reserva para asumir las necesidades de agua, durante las paradas eventuales de la fábrica. Para alcanzar estos objetivos es imprescindible moler con la menor pérdida de tiempo posible, no moler por debajo de la norma potencial y operacional del ingenio, además de disponer de un sistema de manipulación y almacenaje adecuado de condensados (17).

Al cambiar el agua que contiene la caña por las de fuentes externas se hacen tratamientos deficientes y contraproducentes, ya que estas van a las calderas y provocan ahí incrustaciones que, posteriormente, traen roturas en los equipos de generación, lo que disminuye la eficiencia y provoca desbalances térmicos (18).

El consumo de agua es un parámetro clave que determina los volúmenes y concentraciones de los residuales líquidos a manejar y, por ende, la capacidad y características de los sistemas de tratamiento y disposición final. Para consumir menos agua es necesario cerrar los sistemas, recircular las aguas del proceso, en los casos en que sea posible, realizar la recogida en seco de desperdicios y garantizar el buen estado de los sistemas de conducción y los depósitos de almacenamiento (19).

### **Características de las aguas residuales**

Las aguas residuales (AR) son aquellas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y necesitan de un tratamiento previo, antes de ser reutilizadas o vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado; es decir, son los desechos líquidos que provienen del uso doméstico, comercial e industrial, que llevan disueltas o en suspensión materias orgánicas e inorgánicas; que provienen de la descarga de sumideros, inodoros, cocinas, lavanderías (detergentes) y residuos de origen industrial. Su composición se basa en una mezcla de agua (99 %) y contaminantes orgánicos e inorgánicos (1 %), que se presentan en pequeñas concentraciones (20).

Se dividen en residuales de tipo ordinario y de tipo especial. Las de tipo ordinario son aquellas que resultan del uso doméstico (uso de inodoros, duchas, lavaderos, lavado de ropa, fregaderos) y contienen heces, orina, microorganismos y restos de productos de limpieza, mientras que las aguas de tipo especial son las que provienen de otros usos, principalmente industriales (21, 22).

Tienen una variedad de propiedades que pueden influir, tanto en sus características físicas como químicas e incluso microbiológicas:

**Olor:** El olor del agua residual fresca es generalmente inofensivo, pero una gran variedad de compuestos malolientes son liberados cuando se produce la degradación biológica, bajo condiciones anaeróbicas. El olor más característico del agua es el del sulfuro de hidrógeno, producido por los microorganismos anaerobios que reducen los sulfatos a sulfitos.

**Color:** El color es una característica física del agua, producido por sustancias orgánicas e inorgánicas que se encuentran en solución o en forma de partículas coloidales. Si el color es causado por sólidos suspendidos se denomina color aparente, mientras que el causado por sustancias disueltas y coloidales se denomina color verdadero. Generalmente, las aguas presentan un color café oscuro después de 6 horas de la descarga, gris claro cuando han sufrido algún grado de descomposición o ha permanecido corto tiempo en recolección y gris oscuro o negro cuando

constituyen aguas sépticas, que han sufrido una fuerte descomposición bacterial bajo condiciones anaerobias.

**Turbidez:** La turbidez es una característica física del agua, producida por material suspendido orgánico e inorgánico como arcilla, limo plancton, microorganismos o materia orgánica e inorgánica finamente dividida. La turbiedad puede definirse como la expresión de la propiedad óptica que causa que la luz, sea dispersada o absorbida, en lugar de ser transmitida en línea recta, a través del agua. Sirve para conocer la cantidad de luz que es absorbida por el material suspendido en el agua.

**Sólidos totales (ST):** Se refiere a la cantidad de sólidos totales, como la materia sólida, que se consigue como residuo, después de someter el agua a un proceso de evaporación entre los 103 y 105 °C. Se clasifica en sólidos suspendidos y sólidos disueltos o filtrables, que a su vez pueden ser orgánicos (proteínas, carbohidratos, grasas) e inorgánicos (arenas, sales minerales). Los sólidos en suspensión pueden ser sedimentables y no sedimentables, provienen de actividades domésticas, pecuarias, agrícolas e industriales y hacen interferencia con la penetración de la luz solar y el movimiento de cuerpos en el agua. Los sólidos suspendidos sedimentables tienen un tamaño mayor a 0.001 mm, son aquellos que sedimentan en el fondo de un recipiente y los no sedimentables los que no lo logran. Los sólidos disueltos o filtrables son la fracción de materia sólida que pasa por un filtro de 1.2 micras, se clasifican en sólidos coloidales y sólidos disueltos, los coloidales son partículas con medida de 0.00001 mm y 0.01 mm. Los sólidos disueltos tienen un tamaño menor a 0.00001 mm, se relacionan con el grado de mineralización del agua, ya que son iones de sales minerales que el agua ha disuelto a su paso.

**Temperatura:** La temperatura del agua residual suele ser mayor que la temperatura del agua potable, debido al vertimiento de agua caliente proveniente del uso doméstico e industrial. La temperatura del agua es un parámetro muy importante, porque muchos de los sistemas de tratamiento de aguas residuales incluyen procesos biológicos que dependen de la temperatura y esta afecta, directamente, el desarrollo de la vida acuática, la actividad bacteriana y la velocidad de las reacciones químicas.

**Conductividad:** La conductividad es la propiedad que presentan las soluciones para conducir el flujo de la corriente eléctrica y depende de la presencia de iones, su concentración y la temperatura de medición.

**Densidad:** Es una característica física de gran importancia a la hora de establecer la formación potencial de corrientes de densidad en sedimentadores, humedales, artificiales y otras unidades de tratamiento.

**Materia orgánica (MO):** La materia orgánica representa la parte más importante de la contaminación y está constituida por compuestos orgánicos que pueden ser de origen vegetal o animal que, a su vez, están compuestos químicamente de carbono, hidrógeno, oxígeno, junto con el nitrógeno, en algunos casos por el fósforo, hierro y azufre. En el agua residual los principales y más importantes grupos de compuestos orgánicos son las proteínas (40 – 60 %), carbohidratos (25 – 50 %), grasas y aceites (10 %) y agentes tensoactivos, fenoles y pesticidas, en menor proporción; también la urea, que es el principal constituyente de la orina, puede causar color, olor, el desarrollo de microorganismos patógenos o implicar la presencia de materia no biodegradable. La materia orgánica del agua residual es la medida indirecta de la cantidad de carbono, es decir la capacidad reductora del carbono orgánico biodegradable, mediante la medición de la concentración de la demanda biológica de oxígeno (bacterias) y la demanda química de oxígeno (vía química), por lo que constituyen un indicador para la materia orgánica presente. Asimismo, estas técnicas pueden determinar la cantidad de materia orgánica putrescible del agua contaminada.

**Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):** La DBO es una manera de medir la MO indirectamente. La demanda bioquímica de oxígeno es la cantidad de oxígeno disuelto (mg/L) que requieren los

microorganismos presentes en el agua residual para oxidar, degradar, metabolizar o estabilizar, biológicamente, la materia orgánica biodegradable (carbono orgánico), mediante procesos biológicos aerobios (principalmente por bacterias y protozoos), bajo condiciones de tiempo y temperatura (5 días, 20 °C). Su determinación está basada en la oxidación natural de degradación, esta demanda de oxígeno disuelto actúa sobre tres clases de materiales: carbonados, nitrogenados y ciertos compuestos químicos reductores.

**Demanda química de oxígeno (DQO):** La DQO es otra manera de medir la MO indirectamente. La demanda química de oxígeno mide la cantidad de oxígeno disuelto (mg/L) requerido para la oxidación química (descomposición química) de la materia orgánica del agua residual que usa, como oxidantes fuertes, las sales inorgánicas de permanganato o dicromato de potasio, en un ambiente ácido y a alta temperatura, esta se utiliza para medir la cantidad total de contaminantes orgánicos presentes en aguas residuales. El agente oxidante más utilizado es el dicromato de potasio, en presencia del sulfato de plata, como catalizador a alta temperatura.

**Relación DBO/DQO:** Aunque se podría esperar que el valor de la DBO fuera similar al de la DQO, este sería un caso fortuito. Algunas razones que explican tal diferencia son:

- Muchas sustancias orgánicas, difíciles de oxidar biológicamente como la lignina, pueden ser oxidadas químicamente.
- Las sustancias inorgánicas que se oxidan con dicromato aumentan, evidentemente, el contenido orgánico de la muestra.
- Algunas sustancias orgánicas pueden ser tóxicas para los microorganismos usados en la prueba de la DBO.
- Valores altos de DQO se pueden obtener por la presencia de sustancias inorgánicas con las que el dicromato puede reaccionar.

La relación DQO/DBO proporciona una indicación de la biodegradabilidad de las aguas residuales. Generalmente, los procesos de descomposición biológica comienzan y ocurren de manera rápida, con proporciones de DBO/DQO de 0.5 o mayor. Las proporciones entre 0.2 y 0.5 son susceptibles al tratamiento biológico; sin embargo, la descomposición puede ocurrir de manera más lenta debido a que los microorganismos degradantes necesitan aclimatarse a las aguas residuales (23).

**Potencial de hidrógeno (pH):** En las fábricas de la caña de azúcar se utilizan, aproximadamente, entre 1 500 y 2 000 L de agua por tonelada de caña de azúcar procesada y se generan alrededor de 1 000 L de agua residual (24).

### **Aguas residuales de la industria azucarera**

En las fábricas de la caña de azúcar se utilizan, aproximadamente, entre 1 500 y 2 000 L de agua por tonelada de caña de azúcar procesada y se generan alrededor de 1 000 L de agua residual (23).

Los afluentes procedentes de la industria azucarera y sus derivados están constituidos por todos los desechos líquidos originados en las operaciones y en los procesos de fabricación. Los volúmenes aportados, sus propiedades y composición, dependerán no sólo del origen y procedencia de los afluentes, sino del grado de eficiencia en los procesos de fabricación y la metodología en los procesos industriales (25).

Las corrientes residuales más importantes que se originan en el proceso de fabricación de azúcar crudo son:

**Aguas procedentes de la limpieza de los equipos:** se originan en los evaporadores y clarificadores, ocasionalmente varían sus características y composición de acuerdo con el volumen de agua. Se dividen en dos corrientes fundamentales:

- el ácido y la base, utilizados para remover las incrustaciones

- el agua de enjuague de los equipos (esta agua presenta turbidez, color castaño ligero y bajo contenido de materias sedimentables).

*Aguas de lavado y limpieza de los filtros de cachaza:* son aguas muy agresivas, normalmente contienen impurezas adicionales, presentes en el proceso de fabricación. El principal elemento contaminante es la cachaza. Su agresividad aumenta en función de su concentración, presenta alta turbidez y color gris oscuro.

*Rebosos y fugas del sistema de enfriamiento:* surgen por rebosos del sistema de enfriamiento, por roturas de este y por fugas en el sistema de impulsión. Son aguas que aumentan su contaminación en la medida en que son recirculadas, en virtud de los arrastres del jugo y de pases de este. Su concentración está en función del grado de eficiencia de los separadores; presenta color de castaño ligero a oscuro, pH de neutro a ácido y, ocasionalmente, presencia de sólidos.

*Agua de enfriamiento de equipos tecnológicos:* son aguas utilizadas en los puntos de apoyo de las chumaceras, sellos de bombas y otros. Arrastran residuos de lubricación y, posteriormente, al escurrir por los pisos de la industria, se convierten en aguas residuales. Sus propiedades dependen del volumen empleado y de la cantidad de lubricantes que arrastren. No son altamente contaminantes desde el punto de vista de la materia orgánica.

*Agua de dilución de cachaza:* se origina por la dilución de la cachaza para su conducción. Se utiliza en aquellas industrias donde no existe la recuperación y aprovechamiento de la cachaza, es un agua residual muy fuerte, que presenta un alto contenido de sólidos, los cuales se depositan fácilmente y originan descomposiciones anaeróbicas.

Otras corrientes de residuales líquidos que se producen ocasionalmente:

- Rebose de los tanques de agua vegetal: se producen en aquellas industrias en las que la capacidad de almacenamiento del agua vegetal no es grande y no se tiene buena manipulación de estas.
- Limpieza de pisos: en ocasiones, como consecuencia de cualquier fuga, se procede a limpiar el piso con agua y se aporta, de esa manera, mayor contaminación a las corrientes residuales.
- Aguas residuales de alto contenido de fuel-oil: se originan por fugas y desperdicios de hidrocarburos y por depósitos de almacenaje defectuosos.
- Extracciones de la generación de vapor: es un volumen pequeño de alto contenido inorgánico (26).

La aplicación de un tratamiento adecuado, en función de las características específicas de los efluentes y de los requerimientos de depuración, permite que este recurso no renovable pueda cumplir con los requerimientos exigidos por la normativa ambiental y, así, ser aprovechado para otros usos.

### **Tratamiento de aguas residuales**

El tratamiento de las aguas residuales consiste en la expulsión de microorganismos patógenos y materia orgánica e impedir que estos lleguen a las corrientes naturales que puedan servir de fuente de abastecimiento a otros ecosistemas para mitigar, con ello, el efecto de la polución y restablecer el equilibrio del ecosistema (5).

Para cada tipo de agua residual es necesario determinar el sistema específico de tratamiento, deben buscarse primero las causas de la generación de esos efluentes para minimizar sus efectos y, posteriormente, diseñar el arreglo más eficaz, desde el punto de vista económico así como de sus posibles efectos a corto, mediano y largo plazos (27).

Los requisitos que deben cumplir todos los tratamientos de residuales son los siguientes:

- Ser efectivos en la remoción de materia orgánica

- Ser relativamente económicos en lo referente a los costos de inversión
- Ser energéticamente aceptables
- No deben aportar impurezas adicionales al agua tratada

El tratamiento de los residuales de la industria azucarera y de sus plantas de derivados reviste gran importancia ya que, por una parte, estos residuales o efluentes podrían considerarse como materias primas en producciones de gran valor, tales como: biogás y los lodos fertilizantes o aplicados directamente, como componentes de dietas de nutrición animal y para la fertilización o enmienda orgánica de los suelos, además del ahorro de agua que lleva implícito. Por otra parte, eliminar la contaminación que ocasiona, sirve de apoyo adicional a la investigación y al estudio de las diferentes opciones para el tratamiento y aprovechamiento más eficaz de los efluentes de esta industria.

### **Niveles de tratamiento de aguas residuales**

Aquellos métodos de tratamiento en los que predomina la aplicación de fuerzas físicas se conocen como operaciones unitarias y los métodos de tratamiento en los que la remoción de contaminantes es inducida por reacciones químicas o biológicas se denominan procesos unitarios. La aplicación secuencial combinada de estas operaciones y procesos unitarios da lugar a la generación de los diferentes niveles de tratamiento que, generalmente, son conocidos como:

- Tratamiento preliminar
- Tratamiento primario
- Tratamiento secundario
- Tratamiento terciario

*Tratamiento preliminar:* Esta etapa no afecta la materia orgánica contenida en el agua residual. Se pretende, con el pretratamiento, eliminar las materias gruesas, cuerpos gruesos y arenosos cuya presencia en el efluente perturbaría el tratamiento total y el funcionamiento eficiente de las máquinas, equipos e instalaciones de la estación depuradora. En el pretratamiento se efectúa un desbaste para la eliminación de las sustancias de tamaño excesivo y un tamizado para eliminar las partículas en suspensión. Un desarenado, para eliminar las arenas y sustancias sólidas densas en suspensión y un desengrasado para eliminar los aceites presentes en el agua residual, así como elementos flotantes.

*Tratamiento primario:* El tratamiento primario es un proceso mecánico, a veces complementado con procesos químicos, que actúan sobre la remoción de una fracción de sólidos en suspensión, sólidos insolubles como arena, materia orgánica y materiales como grasas, aceites y espumas. Algunas de las acciones que se realizan en esta fase son: la sedimentación, la floculación y la flotación. En la actualidad existe una variante más tecnificada de este nivel de tratamiento, conocida como "Tratamiento primario avanzado" (CEPT-TPA), que incluye un proceso físico-químico, el cual permite precipitar, simultáneamente, las diversas clases de contaminantes de las aguas residuales, pues los atrapa en flóculos de fácil remoción, esto proporciona elevadas tasas de depuración en una sola etapa de tratamiento y permite duplicar la capacidad y eficiencia en las plantas, que son capaces de remover, simultáneamente DBO, sólidos suspendidos totales y fósforo.

*Tratamiento secundario:* Tiene como propósito la eliminación de sólidos suspendidos y los componentes orgánicos biodegradables, incluye usualmente la desinfección, como parte del proceso. El tratamiento secundario incluye una serie de importantes procesos de tratamiento que tienen en común la utilización de microorganismos (entre los que se destacan las bacterias) para realizar la eliminación de contaminantes y aprovechar su actividad metabólica sobre esos componentes. La aplicación tradicional consiste en la eliminación de materia orgánica biodegradable, tanto soluble como coloidal; es uno de los tratamientos más habituales no solo en el caso de aguas residuales

urbanas, sino en buena parte de las aguas industriales. Una variación más tecnificada de este nivel es el tratamiento secundario avanzado, cuyo objetivo es la eliminación de compuestos que contienen los nutrientes nitrógeno y fósforo (N y P), mediante los procesos de nitrificación, desnitrificación y eliminación de fósforo.

*Tratamiento terciario:* Su objetivo es conseguir una calidad de efluente superior a la del tratamiento secundario, usualmente por medio de filtración granular, filtración superficial o membranas. El proceso de desinfección también es comúnmente usado en el tratamiento terciario. La remoción de nutrientes es, a menudo, incluida en esta fase.

Existe otro tipo de tratamiento más complejo, conocido como Tratamiento avanzado. Su propósito es alcanzar altos niveles de calidad del efluente, por encima de los obtenidos mediante tratamiento secundario o terciario, pues su meta es la recuperación y reutilización de las aguas tratadas. Emplea procesos y tecnologías más específicos y complejos que los usados en otros niveles de tratamiento: adsorción con carbón activado, intercambio iónico, procesos avanzados de oxidación (ozonación, foto-fentón, ultrasonido, radiación UV, métodos electroquímicos), membranas (microfiltración, ultrafiltración, ósmosis inversa, nanofiltración y electrodiálisis).

Un aspecto importante en el tratamiento de aguas residuales lo constituye la manipulación y el destino final de los lodos producidos, sean estos orgánicos o inorgánicos. Los lodos producidos en los tratamientos biológicos pueden provenir de sedimentadores primarios, secundarios o de tratamientos terciarios, estos lodos están constituidos, fundamentalmente, de materia orgánica, con una fracción volátil entre 60 y 80 %. Los tratamientos físico-químicos producen lodos que son eminentemente de naturaleza inorgánica. Tanto los lodos orgánicos como inorgánicos poseen un alto porcentaje de agua, lo cual dificulta su manipulación y disposición, debido a los altos volúmenes generados. La naturaleza de los lodos: orgánica o inorgánica, define el tratamiento al que deben ser sometidos antes de su disposición final (27).

### **Utilización en el fertirriego**

Los residuales líquidos de la industria azucarera y sus derivados son fuentes de contaminación ambiental por su contenido de materias orgánicas. Estos residuales contienen cantidades apreciables de nitrógeno, fósforo y potasio y otros nutrientes beneficiosos para el crecimiento y desarrollo de las plantas y constituyen valiosos recursos para regar y fertilizar la caña de azúcar y otros cultivos. En Cuba se ha establecido el fertirriego con residuales azucareros en todas las unidades de producción que dispongan de esas aguas y sea posible la instalación de ese sistema. Para obtener los máximos beneficios económicos y lograr eliminar la contaminación ambiental, es necesario que en el fertirriego se sigan las normas y principios establecidos. Con el objetivo de lograr que el fertirriego con residuales azucareros produzca los máximos beneficios se recomienda usarlo luego de los tratamientos específicos (28).

### **Tecnología de los Microorganismos eficientes**

Los Microorganismos eficientes, al entrar en contacto con la materia orgánica, secretan sustancias beneficiosas como vitaminas, ácidos orgánicos, minerales quelatos y antioxidantes que han mostrado efectos beneficiosos para el tratamiento de aguas negras, reducción de malos olores, en la producción de alimentos libres de agroquímicos, el manejo de desechos sólidos y líquidos generados por la producción agropecuaria, la industria de procesamiento de alimentos, fábricas de papel, mataderos y municipalidades, entre otros. Poseen propiedades de fermentación, producción de sustancias bioactivas, competencia y antagonismo con patógenos, todo lo cual ayuda a mantener un equilibrio natural entre los microorganismos que conviven en el entorno, con efectos positivos sobre la salud y bienestar del ecosistema (29).

## CONCLUSIONES

- Las aguas residuales de la industria azucarera y sus derivados constituyen una importante fuente de contaminación, por los altos valores de materia orgánica presentes en estas y por los volúmenes de residuales que se emiten al medioambiente.
- La utilización de Microorganismos eficientes permite la remoción de la contaminación orgánica entre un 15 y 90 %, en dependencia de las características de los residuales líquidos.
- El empleo de Microorganismos eficientes en lagunas de oxidación de centrales azucareros, es una alternativa para la reducción de la contaminación, pues permite reutilizar esas aguas en el fertirriego y su vertimiento en aguas terrestres y alcantarillados y así contribuir al cuidado y protección del medioambiente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Lorenzo, J. Propuesta de alternativas para la integración de agua y energía en la producción de azúcar crudo. La Habana, Cuba; 2017.
2. Cruz, V.S. Tratamiento de un agua residual azucarera utilizando un sistema híbrido (digestión anaerobia-humedal construido). Veracruz; 2020.
3. Vázquez, D. Propuesta de un sistema no convencional como complemento para el tratamiento de agua residual en la Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. Santa Clara; 2016.
4. Delgado, R. J. Influencia de los microorganismos eficaces (Em agua) en los parámetros físico-químicos y microbiológicos del afuentes del bioreactor en la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) Concepción-2018. Huancayo: Universidad Continental; 2019.
5. Herrera, O.; Corpas, E. Reducción de la contaminación en agua residual industrial láctea utilizando microorganismos benéficos. Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. 2013;11(1):57-67.
6. Pontaza, J. Eficiencia de microorganismos efectivos (ME) al aplicarlos en la planta de aguas residuales San Cristobal, Mixto, Guatemala. Revista Científica Agua, Saneamiento y Ambiente. 2016;II(1):1-5.
7. Noles, P. Determinación de la dosis de Eficiencia in Vitro de Microorganismos (EM) en aguas residuales de lagunas de oxidación de la Ciudad de Calceta-Bolivar - Manabí. Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química, Guayaquil. 2016.
8. Espinoza, M. L.; Zambrano, S. M. Eficiencia de microorganismos (*Saccharomyces sp*, *Lactobacillus spp*, *Rhodospseudomona spp*) en el tratamiento de aguas residuales de la ESPAM MFL. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. 2019.
9. Miklos, D, R. Tratamiento de residuos con control de sólidos biológicos. United States; 2021.
10. Matías, C.; Sjogren, R. Treatment for domestic and industrial wastewater. Wipo (PCT); 2013.
11. Avila, J. Evaluación de la remoción de nitratos y sulfatos a nivel de laboratorio por microalgas libres e inmovilizadas para el Tratamiento Terciario de Agua Residuales Municipales. Tesis de Pregrado. 2015.
12. Beltrán, T. R. Influencias de Micoorganismos Eficaces sobre la calidad de agua y lodo residual, Planta de tratamiento de Jauja. Tesis de Pregrado. 2016.
13. [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=691939&fecha=15/08/2003#gsc.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=691939&fecha=15/08/2003#gsc.tab=0)
14. Aréchiga, E. T.; *et al.* Mezcla que contiene microorganismos para la biorremediación y bioaumentación, proceso de elaboración y uso. México 2013.
15. Ferral, C.; Fuentes, P. F.; Calderón, D. M. Uso de microorganismos autóctonos, en el manejo de *Meloidogyne incognita* en el cultivo del tomate. Centro Agrícola. 2019;46(4).

16. Faife, E.; *et al.* Empleo de microorganismos eficientes como alternativa para el tratamiento de residuales. ResearchGate [Internet]. 2022 March. Available from: [http://www.researchgate.net/publication/339916510\\_Empleo\\_de\\_microorganismos\\_eficientes\\_como\\_alternativa\\_para\\_el\\_tratamiento\\_de\\_residuales\\_Revision\\_bibliografica](http://www.researchgate.net/publication/339916510_Empleo_de_microorganismos_eficientes_como_alternativa_para_el_tratamiento_de_residuales_Revision_bibliografica).
17. De la Hoz, Y. Diagnóstico y propuesta de acciones para la reducción de la carga contaminante de los residuales líquidos del central “Boris Luis Santa Coloma” durante las zafas 2016-2022. 2022.
18. Alonso, A. Estrategia ambiental para mitigar el impacto negativo generado por un central azucarero 2017. Available from: <http://www.monografias.com/usuario/perfiles>.
19. Cedano, D. C.; Bastante, M.; Viñoles, R. Revisión de la aplicación de las Técnicas de Análisis de Ciclo de Vida a la industria azucarera. 2020.
20. Novotny, V. Water quality: Diffuse Pollution and Watershed management. Boston, USA: John Wiley and sons; 2003.
21. Metcalf, E. Wastewater Engineering. Treatment and Reuse. Boston, Massashuttes, USA: McGraw Hill; 2003.
22. Valdez, A. Aplicación de microorganismos eficaces (EM) para el tratamiento de las aguas residuales domésticas en la localidad de Chucuito. Acceso Libre a Información Científica para la Innovación (ALICIA) [Internet]. 2016. Available from: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/>.
23. Hanna Instruments H. Demanda Química de Oxígeno y Materia Orgánica. Hannaarg2014.
24. Sahu, O.; *et al.* Treatment of wastewater from sugarcane process industry by electrochemical and chemical process: Aluminum (metal and salt). Journal of water process engineering. 2017:50-62.
25. Martínez, P.; *et al.* Evaluación del sistema de tratamientos de residuales líquidos generados en una central eléctrica operando con “fuel oil”. Alternativas tecnológicas. Revista Tecnología Química. 2018;38(1):12.
26. Victoria, I.; *et al.* Sistema de tratamiento de residuales líquidos de la industria azucarera colombiana y la contaminación ambiental en la cuenca hidrográfica del río Tana. 2014.
27. Hernández, A. B.; Moreno, J. C.; Sandoval, L. C. Tratamiento de las aguas residuales industriales en México: una aproximación a su situación actual y retos por atender. RINDERESU (Revista Internacional de Desarrollo Regional Sustentable). 2018;3(1):1-2.
28. Contreras, D. M. Propuesta de rehabilitación del sistema de lagunaje para el tratamiento de aguas residuales.
29. Bejarano, M. E.; Escobar, M. Eficiencia del uso de microorganismos para el tratamiento de aguas residuales domésticas en una planta de tratamiento de agua residual. Bogotá: Ciencia Unisalle; 2015.