Caracterización preliminar por métodos fisicoquímicos y microbiológicos de aguas residuales de una planta azucarera en época de zafra de Mabay, Cuba

Lorenzo Julián Chang-Huerta[1*], Yeisa Rosabal-Carbonell[2], Delci Benítez-Reyes[1]

[1] *Universidad de Granma, Bayamo, Granma, Cuba.*
[2] *Empresa de Análisis y Servicios Técnicos, Bayamo, Granma, Cuba.*

Artículo recibido el 4 de noviembre de 2021 y aceptado el 15 de diciembre de 2021

Preliminary characterization by physicochemical and microbiological methods of wastewater from a sugar plant during the harvest season in Mabay, Cuba.

Abstract

Water is an essential commodity for life and most industrial processes. However, today the contaminants in the water exceed the capabilities of its decontamination mechanisms. The objective of this work was to carry out the preliminary characterization of the wastewater from the Mabay sugar mill, Cuba, for its possible use in fertigation, which was carried out following standardized analysis techniques and methods and thus determine its contaminant load. The characterization of the wastewater was carried out during the harvest period, in effluent samples, and after being treated in oxidation ponds, to determine if they comply with current Cuban standards for this type of wastewater. The results revealed that the residual discharges of this type of water cannot be used in fertigation processes, due to the high content of contaminants that is reached during the harvest period, so it is recommended to explore possible solutions for the use of waste from this industry, preserving the environment.

Key words: sewage water, environment, sugar mills.

Resumen

El agua es un bien esencial para la vida y la mayoría de los procesos industriales. Sin embargo, hoy en día los contaminantes en el agua superan las capacidades de sus mecanismos de descontaminación. El presente trabajo tuvo como objetivo realizar la caracterización preliminar de las aguas residuales del ingenio azucarero Mabay, Cuba, para su posible uso en fertirrigación, la cual se realizó siguiendo técnicas y métodos de análisis estandarizados y así determinar su carga contaminante. La caracterización de las aguas residuales se realizó durante el período de cosecha, en muestras de efluentes, y luego de ser tratadas en lagunas de oxidación, para determinar si cumplen con las normas cubanas vigentes para este tipo de aguas residuales. Los resultados revelaron que los vertidos residuales de este tipo de agua no pueden ser aprovechados en procesos de fertirrigación, debido al alto contenido de contaminantes que se alcanza durante el periodo de cosecha, por lo que se recomienda explorar posibles soluciones para el aprovechamiento de residuos de esta industria, preservando el medio ambiente.

Palabras claves: Aguas residuales, medio ambiente, ingenios azucareros.

*Autor de correspondencia
Email: lchanghl@udg.co.cu
ISSN 2594-0384 (Electrónica)
DOI: https://doi.org.1033154/rlrn.2021.02.04

Introducción

La conservación del medio ambiente no solo significa evitar desechos indeseables, sino también el ahorro o la lucha contra el despilfarro de ese preciado líquido que es el agua (Zhou-Lei *et al*., 2016).

El 70% de la superficie del planeta está cubierta de agua, distribuida en océanos, ríos, lagos, glaciales, en el aire y en el suelo, de ésta, la cantidad de agua dulce disponible para usos industriales, agrícolas, domésticos y de algún otro tipo es limitada, siendo sólo del 0.003% (Alfonso *et al*., 2015).

Los procesos en la industria demandan volúmenes grandes de agua en la producción, lo que hace necesario un uso racional y adecuado de este recurso, pues al aumentar el consumo de agua en los procesos productivos, se generará un mayor nivel de aguas residuales que requerirán de un manejo eficiente para lograr el mínimo impacto en el medio ambiente (López-García *et al*., 2016).

En los últimos años el consumo de agua ha aumentado a razón de 1 a 1.5% por año, fundamentalmente en los países desarrollados (Chibinda *et al*., 2017).

La industria azucarera se considera como una de las más antiguas tanto en el país como en el mundo, éstas industrias, se construyeron sin tener en cuenta el volumen y el impacto de los residuales líquidos, que se caracterizan por ser altamente agresivos y tóxicos. Las consecuencias de las decisiones tomadas han traído enormes daños al medio ambiente, los que en la mayoría de las veces son irreversibles. En el proceso de producción de azúcar, además del producto principal, se obtienen condensados que se generan en diferentes equipos. A estos condensados se les miden los parámetros físico-químicos, resultados que determinan su utilización posterior en tanques de agua para alimentar la caldera y tanques para uso del proceso tecnológico (agua de imbibición, dilución de mieles, lavado en centrífugas y otras) (Hernández-Baranda *et al*. 2018.)

La industria azucarera en Cuba se encuentra entre las mayores consumidoras de agua en el país, llegando alcanzar valores máximos del orden de los 141Kg/t caña molida, situación ésta que la convierte en una alta generadora de desechos contaminantes al medio ambiente, representando la carga contaminante de sus fábricas alrededor del 80% del total que aportan las industrias. Si se tiene en cuenta la posibilidad real de utilizar el agua contenida en la caña, no debe presentar altos consumos, se reduce la emisión de residuales y por tanto los impactos que se ocasionan al medio ambiente (Vivaldi *et al*., 2017).

Se clasifican como aguas para uso industrial las empleadas para el enfriamiento, calentamiento y generación de vapor, las cuales exigen en algunos aspectos y condiciones muy específicas, a diferencia de las aguas empleadas en los procesos de fabricación del azúcar. El empleo del agua en los ingenios azucareros depende de varios factores, siendo los más importantes los vinculados con su disponibilidad, calidad y temperatura, definiéndose las siguientes categorías: uso del agua vinculada directamente con el proceso productivo, agua vinculada indirectamente con el proceso productivo y agua no vinculada al proceso productivo (De la Hoz-Izquierdo *et al*., 2017).

La contaminación ambiental generada por los desechos generados de la industria provoca una acción directa en la población, ya sea por la emisión de gases, partículas contaminantes y residuos sólidos o líquidos que dificultan el saneamiento ambiental de los ecosistemas (Díaz-de los Ríos *et al*., 2016).

Los esfuerzos por alcanzar la sostenibilidad en la agroindustria azucarera abarcan todo el ciclo productivo, desde la preparación del suelo hasta el tratamiento, disposición y utilización de los residuos de la Industria, resultantes del proceso de fabricación de azúcar cruda. Dichos residuos se van disminuyendo progresivamente hasta reducirlos a niveles permisibles para el ambiente y potenciando así su aprovechamiento económico. Gran parte de estos residuos no reciben el tratamiento adecuado, lo que provoca la contaminación de los cuerpos receptores dañando los ecosistemas donde se encuentran éstas Industrias azucareras en el país (Vargas-Corredor *et al*., 2018).

Para poder utilizar los residuales líquidos en fertirriego, tanto la Industria azucarera como los especialistas de la actividad agrícola, tienen que conocer la calidad del agua. Dicho conocimiento permitirá que se tomen las medidas pertinentes en el proceso de descontaminación y se garantice un residual libre de grasas, cachaza y otros residuos. Así mismo, que el pH sea neutro y el que tipo de cultivo agrícola sea el apropiado para que se pueda decidir si el agua residual tratada proveniente del efluente de los sistemas de tratamiento, pueda ser

utilizado o no en el riego (Montenegro *et al*., 2015).
Para la agroindustria azucarera las regulaciones medioambientales más importantes son aquellas vinculadas con el manejo de los residuales líquidos; la norma NC-27(2012), que regula "el vertimiento de las aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado" y la norma NC-855(2011), que regula "la utilización de las aguas residuales de la industria azucarera y derivados, en el fertirriego de la caña de azúcar".
Este trabajo tiene como objetivo fundamental la caracterización fisicoquímica y microbiológica de las aguas residuales generadas durante la época de zafra en la producción de azúcar por el ingenio azucarero de Mabay, Cuba, para determinar su posible utilización en el fertirriego de la caña de azúcar.

Materiales y Métodos

Toma de muestras y tratamiento preliminar
Las muestras fueron tomadas según lo establecido en las normas de conservación y toma de muestras, Norma ISO 5667-1. 1980., Norma ISO 5667-3. 1994., Norma ISO 5667-2. 1991., las cuales fueron identificados de la forma siguiente:
M#1 Salida de la industria
M#2 Entrada de la segunda laguna de oxidación
M#3 Salida de la tercera laguna de oxidación.

Parámetros fisicoquímicos determinados y métodos analíticos empleados
Se realizaron análisis característicos para este tipo de residual. Los parámetros determinados en las muestras fueron: temperatura (T), pH, conductividad eléctrica (CE), calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), sodio (Na^{1+}), coliformes totales (CT), coliformes termotolerantes (CTT), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos sedimentables (SS), oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), sólidos disueltos totales (SDT), sólidos totales (ST) y sólidos suspendidos totales (SST) (APHA y APWA., 2000).
Se calculó el índice de retención de adsorción sodio (RAS), según la metodología reportada en la NC 850 (2011). Ecuación (1):

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{(Ca + Mg)}{2}}}$$

Para el procesamiento de los resultados obtenidos en cada una de las determinaciones realizadas se utilizó el programa estadístico Statgraphycs (SAS Institute, 2010).

Resultados

Los resultados de la caracterización fisicoquímica y los parámetros bacteriológicos se muestran en la tabla 1. Al analizar estos valores y compararlos con los reportados en la Norma Cubana NC-27(2012), se clasifica esta agua residual con de calidad mala, ya que la mayoría de los parámetros se encuentran por encima de los límites máximos permisibles.
En la tabla 1 (parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos) se puede observar los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos realizados, la muestra que se tomó a la salida de la industria, excepto por los resultados de DBO y DQO, sus valores son menores al compararlos con los obtenidos en la salida de la laguna de oxidación 2 y 3, y esto se debe a que se le incorpora otras aguas residuales correspondiente a la Unidad Empresarial de Derivados (UEB).
En cada una de las muestras se obtuvo un pH ácido, La disminución del pH se debe, entre otros factores, a la acidificación del mosto con ácido sulfúrico y a la presencia de ácidos orgánicos; a los procesos de oxidación-disolución que experimentan los sulfuros al interactuar con el aire y el agua lo cual da lugar a la formación de ácido sulfúrico. Estos procesos también provocan un enriquecimiento notable en sulfatos. (Hernández-Baranda *et al*., 2018). Según la bibliografía consultada (Chanfón *et al*., 2014), todo residual que disminuya el pH a valores menores de 6 o lo aumente sobre 7, se considerará como perjudicial para el medio ambiente, siendo los valores menores que los reportados en la Norma Cubana NC-27(2012). Para el vertimiento de estos residuales al cuerpo receptor (Río Babatuaba), si tomamos en cuenta este aspecto se llega a la conclusión que no se deben verter a ningún cuerpo receptor, pero si lo comparamos con la Norma Cubana NC-855(2011), nos podemos dar cuenta que es evaluada de mala para ser utilizada en el fertirriego de la caña de azúcar.
La conductividad eléctrica es elevada en los tres puntos de muestreos indicando altas concentraciones de sales inorgánicas solubles. Si comparamos los resultados de este ensayo con los reportados en las Normas Cubanas NC-27(2012) y

NC-855(2011). Se pueden demostrar que se encuentran por encima del límite máximo admisible, indicando con esto que no se resulta apta para su uso en el fertirriego de la caña de azúcar.

Entre las alternativas para la utilización de estas aguas está el fertirriego, si se toma en cuenta el alto contenido de materia orgánica (Basantar, 2007). Para determinar si se le puede dar este uso se calcula la relación de adsorción de sodio (RAS), utilizando los ensayos de calcio, magnesio y sodio. Este ensayo se le realiza a la muestra M#3 porque como es de todos sabido, si las lagunas de oxidación son eficientes en el proceso de depuración, ésta agua sería recomendable para utilizarla en diferentes usos. Pero debido a que nuestros resultados arrojaron un valor de un RAS= 9.9, el agua residual tratada queda clasificada como mala, según la Norma Cubana NC-850(2011), por lo que no es recomendable la utilización de este residual para el fertirriego de la caña de azúcar.

Se destacan altos valores de coliformes totales y coliformes termotolerantes superiores a los valores máximos permisibles según lo establecido en la Norma Cubana NC-27(2012). Éstos los valores son más altos a la entrada de la laguna de oxidación, mostrando un eficiente funcionamiento de este sistema de remoción.

Un parámetro importante para medir el grado de contaminación de un desecho es la demanda química de oxígeno (DQO), parámetro que también presentó valores elevados al igual que la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5). Los valores de DQO y de DBO exceden los límites máximo permisible según la Norma Cubana NC-27(2012). El vertido de agua residual a las aguas terrestres y alcantarillado.

La DQO promedio de un ingenio, con una política adecuada de uso y reúso del agua es de aproximadamente de 2000-5000 $mg.L^{-1}$, por lo que éstas aguas deben contener fundamentalmente materia orgánica como azúcares no recuperados del proceso de obtención de azúcar, cachaza, bagacillo, grasas y aceites como componentes contaminantes del medio ambiente.

Los valores obtenidos de DQO fueron muy superiores a los permitidos para desechos líquidos vertidos directa o indirectamente a cuerpos de agua. El vertido de este desecho, sin tratamiento previo, en fuentes de agua de la zona aledaña, causaría un deterioro en la calidad de la misma. Este parámetro está estrechamente relacionado de forma inversa con la concentración de oxígeno disuelto en las aguas, siendo un factor muy importante para indicar contaminación. Los valores dependen del contenido de materia orgánica y de algunas sustancias inorgánicas en las aguas debido a actividades físicas, químicas y bioquímicas. Lo anterior evidencia la contaminación por compuestos orgánicos que genera este residual, por lo que constituye una fuente importante de contaminación de aguas superficiales y del medio ambiente en general.

La mayor parte de los sólidos totales corresponden a los sólidos totales volátiles que tienen naturaleza orgánica. Cabe añadir que los resultados obtenidos de sólidos totales fijos deben corresponder a compuestos inorgánicos presentes. Los resultados obtenidos en el ensayo de sólidos suspendidos totales (SST), y de los otros sólidos, al compararlo con la NC-850(2011), se puede apreciar que se clasifica de mala, indicando también que el residual no se debe utilizar en el riego del cultivo de la caña de azúcar.

Los resultados del análisis estadístico realizado a cada muestra tanto para los parámetros fisicoquímicos como los bacteriológicos se presentan en la tabla 2.De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor del sesgo estandarizado y los valores de curtosis estandarizada se encuentran dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución normal.

Al realizar un análisis de varianza se observó que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, y no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de cada uno de los parámetros analizados en las tres muestras de aguas residuales, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 1. Resultados de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos.

M	pH	T (^oC)	CE ($\mu S/cm$)	Ca^{2+} (mg/L)	Mg^{2+} (mg/L)	Na^{1+} (mg/L)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	SS (mL/L)	SDT (mg/L)	SST (mg/L)	ST (mg/L)	CT (NMP/100 mL)	CTT (NMP/100 mL)
M#1	4.25	25.0	3240	1600	781	400	16998.3	68076.8	4.0	16000	24400	54000	940	170
M#2	4.97	25.0	18880	48003	488	1420	11506.0	46416.0	10.0	56000	17000	44000	540000	110000
M#3	4.29	25.0	12920	520	195	1040	7638.0	30944.0	1.0	64000	7000	18000	140000	28000

M#1 Salida de la Industria; M#2 Entrada de la segunda laguna de oxidación; M#3 Salida de la tercera laguna de oxidación; pH, Conductividad eléctrica (CE), Calcio (Ca^{2+}), Magnesio (Mg^{2+}), Sodio (Na^{1+}), Demanda química de oxígeno (DQO), Sólidos sedimentables (SS), Oxígeno disuelto (OD), Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), Sólidos disueltos totales (SDT), Sólidos totales (ST), Sólidos suspendidos totales (SST), Coliformes totales (CT), Coliformes termotolerantes (CTT).

Tabla 2. Resultados del análisis estadístico realizado a los valores de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos.

M		T (^oC)	CE ($\mu S/cm$)	Ca^{2+} (mg/L)	Mg^{2+} (mg/L)	Na^{1+} (mg/L)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	SS (mL/L)	SDT (mg/L)	SST (mg/L)	ST (mg/L)	CT (NMP/100 mL)	CTT (NMP/100 mL)
M#1	Razón F	0.190	0.000	1.350	4.760	0.000	0.190	1.210	0.000	0.450	0.000	0.090	0.010	1.550
	P (valor)	0.675	1.000	0.275	0.057	0.949	0.676	0.299	0.949	0.518	0.955	0.765	0.916	0.245
	S.E.	0.000	0.000	0.446	-1.266	1.262	-0.737	0.295	0.265	0.885	-0.107	0.156	1.472	-0.898
	C.E.	-0.090	1.399	-0.594	1.117	0.888	-0.596	-1.046	-0.475	0.470	-1.217	1.132	1.547	0.134
M#2	Razón F	0.200	0.000	0.000	0.000	0.010	1.260	0.190	0.280	0.010	0.030	0.000	0.000	1.020
	P (valor)	0.666	1.000	1.000	1.000	0.916	0.290	0.673	0.607	0.909	0.868	1.000	1.000	0.340
	S.E.	0.265	0.000	0.000	-1.388	1.471	-0.184	0.431	-1.017	0.192	-1.117	0.993	0.913	-1.069
	C.E.	-0.475	1.399	1.399	1.058	1.547	-1.061	-0.537	0.627	0.125	0.769	-0.090	0.513	-0.369
M#3	Razón F	0.480	0.000	0.000	0.040	1.020	0.230	0.020	0.000	0.030	2.140	0.000	0.000	0.010
	P (valor)	0.505	1.000	1.000	0.840	0.338	0.644	0.893	0.960	0.859	0.178	1.000	1.000	0.909
	S.E.	0.000	0.000	1.388	-0.935	-1.464	-1.489	0.099	-0.345	0.033	-1.056	-1.199	0.000	0.226
	C.E.	0.282	1.399	1.058	0.528	0.817	1.281	-0.550	-0.419	-0.267	0.272	-0.414	0.282	1.154

***** M#1 Salida de la industria; M#2 Entrada de la segunda laguna de oxidación; M#3 Salida de la tercera laguna de oxidación; S.E. -Sesgo estandarizado; C.E. -Curtosis estandarizada; pH, Conductividad eléctrica (CE), Calcio (Ca^{2+}), Magnesio (Mg^{2+}), Sodio(Na^{1+}), Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5),), Demanda química de oxígeno (DQO), Sólidos sedimentables (SS), Sólidos disueltos totales (SDT), Sólidos suspendidos Totales (SST), Sólidos Totales (ST), Coliformes totales (CT), Coliformes termotolerantes (CTT).

Conclusiones

A partir de las características fisicoquímicas y bacteriológicas de las aguas residuales estudiadas del central azucarero Mabay, Cuba, se corrobora el poder contaminante de este residual líquido, encontrándose que los parámetros evaluados, no cumplen con los límites máximos permisibles establecidos en la Norma Cubana NC-27(2012), sobre el vertimiento de agua residual a las aguas terrestres y alcantarillado. Se demuestra que la disposición inadecuada de este residual a las aguas terrestres y marítimas sin un tratamiento previo causa altos niveles de contaminación, afectando la vida en los cuerpos receptores. Asimismo, el agua residual generada por dicho ingenio azucarero, tampoco cumple con los requisitos de la NC-850(2011), para utilizarse en el fertirriego de la caña de azúcar.

Referencias

Alfonso, C.; Ramón, J.; Ponce de León Lima, D.; Cervantes Beyra, R.; Vargas Rodríguez, H.; Domínguez Palacio, D. 2015. "Distribución espacial de la calidad de las aguas subterráneas utilizadas para el riego". Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias.24 (3):13–21.

APHA y APWA. "Standard Methods for Examination of Water and Wastewaters", Ed. 2000, p 460-465, 14th Edition, New York.

Basantar, R. 2007. "Sostenibilidad del reciclaje de residuos de la agroindustria azucarera: una revisión". Revista Ciencia y Tecnología Alimentaria., 5, 293-305., ISSN 1135-8122.

Chanfón, J.; Lorenzo, Y. 2014 "Alternatives for treatment of the distillery vinasse. National and international experiences". Revista Centro Azúcar., 41 (2), 56-67, ISSN: 2223-4861.

Chibinda, C.; Arada–Pérez, C. M.; Pérez–Pompa, N. 2017. "Caracterización por métodos físico-químicos y evaluación del impacto cuantitativo de las aguas del Pozo la Calera". Rev Cub Quim vol.29 no.2 Santiago de Cuba may.-ago.

De la Hoz-Izquierdo, Y.; Izquierdo-González, Y.; López-Delgado, O.M. 2017. "Caracterización y tratamiento de aguas residuales del central azucarero "Manuel Fajardo", para disminuir la contaminación en la fabricación de azúcar ".ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, vol. 51, núm. 3,pp.72-74, Disponible en: http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223158039011

Díaz-de los Ríos, M.; Eng-Sanchez, F.; Herrera-Díaz, Y.; Lorenzo-Acosta, Y. 2016. "El manejo de los residuales líquidos de la industria de azúcar y sus derivados en Cuba, en el contexto de las legislaciones ambientales actuales". ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar 50 (3) sep.-dic.

Hernández-Baranda, Y.; Rodríguez-Hernández, P.; Peña-Icart, M.; González-Hernández, P.; San Nicolás-López, F.T. 2018. "Caracterización química y agronómica de las aguas residuales del yacimiento Castellano, Pinar del Río". cultrop vol.39 no.3 La Habana jul.-set.

López-García, A.D.; Ortega-Escobar, H.M.; Ramírez-Ayala, C.; Sánchez-Bernal, E.I.; Can-Chulim, Á.; Gómez-Meléndez, D.J.; Vázquez-Alvarado, R.E. 2016. "Caracterización fisicoquímica del agua residual urbano-industrial y su importancia en la agricultura". *Tecnología y ciencias del agua*, *7*(6), 139-157, http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-42220160006001 39&lng=es&tlng=es.

Montenegro, S.; Ararat, C.M.; Betancur, J.F. 2015. "Cachaza y carbonilla: residuos agroindustriales con potencial de fertilización biológica nitrogenada". Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 6(1):84-90.

Norma Cubana NC-27, 2012. "Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado".

Norma Cubana NC-850, 2011. "Utilización de las aguas residuales de la industria azucarera y de derivados en el fertirriego de la caña de azúcar"

Norma ISO 5667-1. 1980. Muestreo de aguas. (http://www.nconline.cubaindustria.cu)

Norma ISO 5667-3. 1994. Calidad de agua. Muestreo. Guía para la preservación y manipulación de muestra. (http://www.nconline.cubaindustria.cu)

Norma ISO 5667-2. 1991. Técnicas de muestreo. (http://www.nconline.cubaindustria.cu)

SAS Institute, 2010. Statistical Analysis Software SAS/STAT®. version 9.0.2, Cary, N.C., USA: SAS Institute Inc., ISBN: 978-1-60764-599-3, Available: http://www.sas.com/en_us/software/analytics/stat.html#

Valera Bello, K. F. 2016. "Caracterización de las aguas residuales de la industria azucarera Tres Valles, en Honduras". Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras Noviembre, 5, 293-305. ISSN 1135-8122

Vargas Corredor, Y. A.; Pérez Pérez, L.I. 2018. "Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales para el Mejoramiento de la Calidad del Ambiente" *Rev. Fac. Cienc. Básicas* Vol. 14 (1):59-72

Vivaldi, G.A.; Stellacci, A.M.; Vitti, C.; Rubino, P.; Pedrero, F.; Camposeo, S., 2017 "Nutrient uptake and fruit quality in a nectarine orchard irrigated with treated municipal wastewaters". Desalination and Water Treatment; 71:312–320. doi:10.5004/dwt.2017.20564

Zhou Lei, X.; Khu S-T, K.; Meng, W., 2016. "Spatial flow analysis of water pollution in eco-natural systems". Ecological Indicators.; 69:310–7doi:10.1016/j.ecolind.2016.04.041.