

## Efecto de diferentes tipos de estiércol en la codigestión de residuos cítricos

### Effect of diferents types of manure in the codigestion citric waste

RODRIGUEZ-PIMENTEL, Reyna Isabel†\* & HERNANDEZ-REYES, Adriana

*Universidad Tecnológica de Nezahualcóyotl*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Reyna Isabel, Rodriguez-Pimentel* / ORC ID: 0000-0000-5456-0842, arXiv Author ID: 7NFPVC-W7NLS7, Open ID: I6643-2018, CVU CONACYT ID: 275545

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Adriana, Hernandez-Reyes* / ORC ID: 0000-0003-3077-3977, Researcher ID Thomson: I-6689-2018, CVU CONACYT ID: 275579

Recibido 20 de Octubre, 2018; Aceptado 30 de Diciembre, 2018

#### Resumen

En esta investigación se llevo a cabo el montaje de los ensayos de biodegradabilidad anaeróbica de la mezcla homogeneizada de estiércol (vaca, borrego y cerdo), y residuos cítricos. Durante el desarrollo de la etapa experimental se realizaron mediciones periódicas de las variables de control (durante 28 días y operándolos en lote) tales como pH, demanda química de oxígeno (DQO) y volumen de lixiviado, con el fin de establecer los parámetros de desempeño del proceso para los diferentes tipos de estiércol adicionado a los reactores de lecho escurrido con capacidad de 4 L, con la misma cantidad de sólidos volátiles (104 g) y residuos cítricos (1 kg). Se determinó la eficiencia de degradación con respecto a los SV mostrando los siguiente resultados: cítricos-vaca 65%, cítricos-cerdo 50%, cítricos-borrego 31%, y cítricos (control) 15%; en cuanto a la velocidad de producción de DQO (gDQO/Lr.d) son las siguientes: 7.42 para cítricos-vaca, 3.53 citricos-cerdo, 2.12 citricos-borrego, y en los cítricos (control) 0.88, mostrando los mejores resultados en el cítricos-vaca. En el reactor UASB se generaron para cítricos 4 L, 40 L para c-v, 5.13 para c-c y 4.5 para c-b con una composición de CH<sub>4</sub> en el biogás de 60, 70, 65 y 60% respectivamente.

#### Co-digestión, residuos cítricos, degradación

#### Abstract

In this investigation the assembly of the anaerobic biodegradability tests of the homogenized mixture of manure (cow, sheep and pig), and citrus waste was carried out. During the development of the experimental stage, periodic measurements of the control variables were carried out (for 28 days and operated in batch) such as pH, chemical oxygen demand (COD) and leachate volume, in order to establish the performance parameters of the process for the different types of manure added to the drained bed reactors with capacity of 4 L, with the same amount of volatile solids (104 g) and citrus residues (1 kg). The degradation efficiency was determined with respect to the SV showing the following results: citrus-cow 65%, citrus-pig 50%, citrus-sheep 31%, and citrus (control) 15%; in terms of COD production speed (gDQO / Lr.d) are the following: 7.42 for citrus-cow, 3.53 citrus-pig, 2.12 citricos-sheep, and citrus (control) 0.88, showing the best results in the citrus-cow. In the UASB reactor 4 L, 40 L for c-v, 5.13 for c-c and 4.5 for c-b with a composition of CH<sub>4</sub> in the biogas of 60, 70, 65 and 60% respectively were generated for citrus.

#### Co-digestion, Citric waste, Degradation

**Citación:** RODRIGUEZ-PIMENTEL, Reyna Isabel & HERNANDEZ-REYES, Adriana. Efecto de diferentes tipos de estiércol en la codigestión de residuos cítricos. Revista de Investigación y Desarrollo. 2018, 4-14: 29-35

\*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: reyna.rodriguezpi@utn.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

México ocupa uno de los primeros lugares en la generación de residuos sólidos en América Latina, en el 2017 se generaron 102, 895 toneladas diarias (SEMARNAT, 2018), de éstas el 52% es considerada como orgánica. Los residuos de los frutos cítricos tales como naranja (*Citrus sinensis*), toronja (*Citrus paradisi*) y limón (*Citrus limón*) representan el 10 % de los residuos sólidos orgánicos. La presencia de compuestos inhibidores (limoneno y fibra), dificulta la producción de metano en la digestión anaerobia de éstos, por lo que un pretratamiento puede mejorar notablemente la digestión anaerobia de los residuos sólidos que los contengan.

Los residuos cítricos tienen diversos usos como la producción de pectina, flavonoides, fibra y producción de alimentos para animales, (Inoue, 2010, Mamma, 2008). Sin embargo, una gran cantidad de estos residuos se tira todavía cada año (Pourbafran, 2010), lo cual causa problemas económicos y ambientales. Por lo tanto, es necesario desarrollar alternativas eficaces y sostenibles para el uso de los residuos cítricos, como la producción de biogás es altamente deseable. Los residuos cítricos contienen carbohidratos solubles e insolubles que pueden ser digeridos a biogás (Mizuki, 1996). Sin embargo, el principal desafío para producir biogás a partir de los residuos cítricos es la presencia de un compuesto antimicrobiano llamado "D-limoneno."

## Tratamientos

Existen diversos pretratamientos para que los residuos cítricos por digestión anaerobia produzcan biogás, entre ellos están los siguientes:

Los trabajos de Akao *et al.*, 1992, y Srilatha *et al.*, 1995 demostraron que el pretratamiento de los residuos cítricos con *Aspergillus niger* permite mayor producción de biogás que en residuos sin tratar. En cuanto a tratamientos con procesos químicos y térmicos, Wikandari *et al.*, 2015 demostraron que extrayendo el limoneno con hexano, se reporta un aumento de 3 veces mas la producción de biogás, respecto a RC sin extracción. Lane estudió a escala de laboratorio la destilación y eliminación mecánica del limoneno.

Co-digestión de residuos ganaderos con residuos de naranja: La utilización de residuos cítricos en la co-digestión anaerobia podría contribuir a solucionar el problema de gestión de estos residuos en las zonas de elevada producción. Sin embargo, la presencia de aceites esenciales en la corteza (mayoritariamente en el flavedo) dificulta el proceso por su efecto inhibitor. Existen datos sobre co-digestión anaerobia de estiércol de vacuno y restos del procesado de la naranja obtenidos en un estudio realizado a escala piloto en 1995 en India (Srilata *et al.*, 1995).

La experiencia se realizó en un reactor de mezcla completa de 1500 L (propiedad de Khadi and Village Industries Commission), inicialmente cargado con estiércol de vacuno, siendo progresivamente reemplazado por residuos del procesado de naranja. Se trabajó en rango mesofílico (30°C) y con un TRH de 25 días, aumentando los niveles de producción de biogás, alcanzándose una producción de 500-600 m<sup>3</sup> biogás/T SV (equivalente a 450 - 540 m<sup>3</sup> biogás/T residuo de naranja).

## Degradación anaerobia de la FORSU en dos fases

El proceso de digestión anaerobia de dos fases se considera que es eficaz cuando se tratan residuos con alta carga orgánica ya que la hidrólisis se considera la etapa limitante (Shin *et al.*, 2001). Se compone de dos reactores separados, uno para la hidrólisis / acidogénesis y otro para la acetogénesis / metanogénesis (Koppar & Pullammanapallil, 2008). Esta separación física hace que sea posible superar el problema de las diferencias en las condiciones óptimas de actividad de los microorganismos y su cinética de crecimiento (Shin *et al.*, 2001) mediante la optimización de las condiciones que son favorables para el crecimiento de cada grupo de microorganismos en cada reactor (Cirne *et al.*, 2007), tales como bajos tiempo de retención hidráulico o de sólidos (TRH o TRS), producción y consumo de ácidos, separados físicamente entre sí para mantener los niveles de pH adecuado en cada fase (Mata Alvarez, 2003). Este tipo de separación de fases aumentaría la estabilidad del proceso, la cual no es posible en un proceso anaeróbico convencional, donde estos dos grupos de microorganismos se mantienen juntos en una sola fase en un delicado equilibrio (Demirer *et al.*, 2005).

**Metodología**

**Caracterización de residuos cítricos**

Se recolectaron y seleccionaron los residuos cítricos, después se trituraron a través de un molino manual de alimento, con un tamaño de partícula entre 0.5 mm y 1 cm. La caracterización de cada lote se realizó con base en la determinación de los parámetros: pH, humedad, DQO, ST, SV y SF.

**Codigestión**

La experiencia se realizó en un reactor de 4L mezclando estiércol de vacuno, de cerdo y de borrego con residuos de naranja ya que es el más generado en las fracciones seleccionadas. Se trabajo a temperatura ambiente con un TRH de 25 días de acuerdo al procedimiento señalado en el siguiente punto, para el proceso de digestión anaerobia.

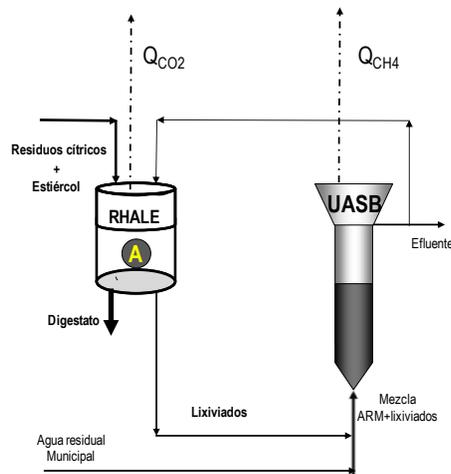
**Reactor de lixiviación por lote**

Para la primera fase (hidrólisis-acidogénesis), de residuos cítricos se utilizaron 4 reactores de acrílico de con un volumen útil de 4 L, equipado con orificios en la parte superior y una malla para retener los sólidos por la parte inferior. En el arranque del reactor los residuos fueron triturados y alimentados al reactor (1 Kg), e inoculados con estiércol de vaca, cerdo y borrego colocando la misma cantidad de SV, además de un control (solamente cítricos).

Diariamente se recolecto el lixiviado y se restablecio la humedad en el sistema con un flujo de 125 mL/Kg de sólido.día del efluente del reactor metanogénico. El biogás será recolectado en una columna con salmuera (NaCl 300 g L<sup>-1</sup> a pH 2). El reactor se incubo a temperatura ambiente y diariamente se retiraron los lixiviados producidos por la parte inferior.

Este experimento fue importante para recolectar los lixiviados generados con alta concentración de ácidos grasos volátiles, y se termino cuando la concentración de la DQO en los lixiviados no presentaron cambios significativos, es decir cuando el biosólido (digestato) se encuentre estabilizado.

El reactor hidrolítico anaerobio de lecho escurrido (RHALE) en continuo (figura 1). El lixiviado fue retirado diariamente del RHALE y alimentado con agua residual municipal a un reactor de lodos de flujo ascendente (UASB) con un volumen de 2.2 L para la producción de metano. Se opero en las mismas condiciones del reactor en lote (pH, Sólidos, DQO, AGV, cantidad de efluente y biogás) (Rodríguez *et al.*, 2015).



**Figura 1** Reactor hidrolítico anaerobio de lecho escurrido alimentado en continuo (RHALE) y reactor UASB  
Fuente: Rodríguez *et al.*, 2015

En la tabla siguiente se muestran las técnicas analíticas empleadas.

Parámetro	Técnica
pH en lixiviados	Potenciométrico
pH en sólidos	NMX-AA-25-1984
% de Humedad	NMX-AA-16-1984
DQO, ST, SV, SF	APHA, 2005
Acidos grasos volátiles	Cromatografía de gases (FID)
Composición de biogás	Cromatografía de gases TCD
Volumen de biogás	Desplazamiento por solución salina

**Tabla 1** Técnicas analíticas a evaluar  
Fuente: Elaboración Propia

**Resultados**

Se muestrearon los residuos cítricos en las cafeterías del campus y se caracterizaron, los residuos se muestra en la siguiente tabla:

	Vaca	Cerdo	Borrego
pH	10	7.2	8.5
ST (g/g)	0.844	0.280	0.868
SV (g/g)	0.698	0.211	0.371
SF (g/g)	0.144	0.069	0.489
%Humedad	15	72	13

**Tabla 2** Caracterización de los diferentes tipos de estiércol  
Fuente: Elaboración Propia

## Montaje de reactores

Se colocaron en los reactores (figura 2) las cantidades de estiércol y de residuos cítricos en relación a tener la misma aportación de SV de 23.5 g en los inóculos de la siguiente forma:

Experimento	Cítricos (Kg)	Estiércol (Kg)		
		Vaca	cerdo	borrego
1	1	0.150		
2	1		0.495	
3	1			0.280
4	1	-	-	-

**Tabla 3** Formulación de los experimentos  
Fuente: Elaboración Propia



**Figura 2** Montaje de reactores  
Fuente: Elaboración Propia

## Caracterización de las fracciones para cada uno de los tratamientos

En la tabla 4 se presentan las características de cada una de las fracciones de los residuos en cada uno de los reactores. Como se observa la humedad de las mezclas es muy diferente ya que algunos estiércoles como el de borrego estaban muy secos.

	Cítricos - estiércol de vaca (c-v)	Cítricos- estiércol de cerdo(c-c)	Cítricos- estiércol de borrego (c-b)	Cítricos (c)
pH		5.20	8	4.10
ST(g/g)	0.237	0.611	0.868	0.237
SV (g/g)	0.207	0.597	0.371	0.207
SF (g/g)	0.030	0.114	0.491	0.030
%Humedad	76	39	13	76
DQO (g/g)	0.095	0.094	0.130	0.090

**Tabla 4** Caracterización de las fracciones en los tratamientos  
Fuente: Elaboración Propia

En cuanto a la humedad se observa que el contenido de cítricos y cítricos con estiércol de cerdo, está en lo reportado por Hernández *et al.*, (2008) que mencionan que un contenido entre 70% - 80%; es el óptimo para que se lleve a cabo la digestión anaerobia de residuos sólidos urbanos y es un factor muy importante para la degradación de los residuos ya que evita el desarrollo de zonas inactivas; sin embargo, la escasez o el exceso de agua en los residuos puede inhibir las transformaciones bioquímicas de los residuos (Filipkowska & Agopsowicz, 2004).

Además como se menciona en la metodología se adicionó efluente del UASB para favorecer la hidrólisis y amortiguar el pH de acuerdo a la cantidad de materia orgánica en el reactor, y fue la siguiente: 144, 187, 160, 125, 125 mL/d en c-v, c-c, c-b, y c, respectivamente.

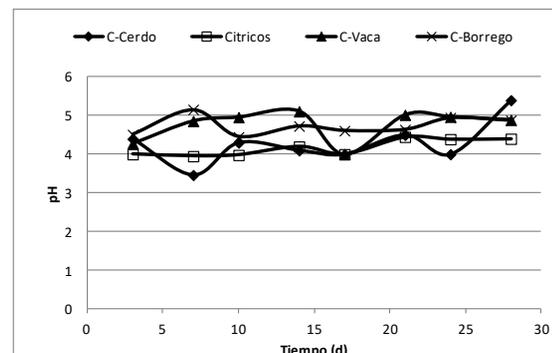
## Sólidos

En la tabla 5 se muestra las eficiencias de degradación en los sólidos de los diferentes tratamientos después de 28 días de operación, en este caso se operaron los reactores en lote. Como se puede observar el mayor porcentaje de degradación en cuanto a SV esta en los experimentos de c-c, c-v. Y en cuanto a DQO están c-c, cv.

	(c-v)	(c-c)	(c-b)	(c)
$\eta_{SV}$	65%	50%	31%	15%
$\eta_{DQO}$	48%	50%	30%	48%

**Tabla 5** Eficiencias de degradación en los sólidos  
Fuente: Elaboración Propia

## Lixiviados

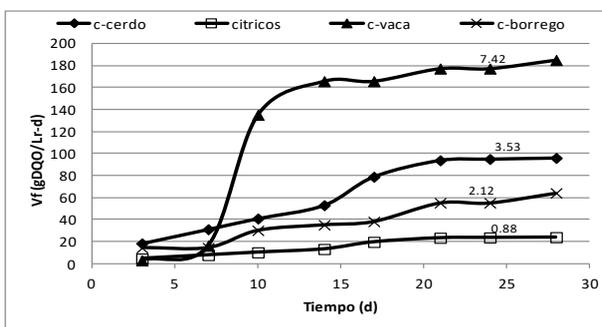


**Figura 3** Comportamiento de pH en los lixiviados  
Fuente: Elaboración Propia

Se observa que el pH permanece en valores ácidos cercanos a 4, debido a las altas concentraciones de AGV provenientes de la acidogénesis cuyas especies en solución promueven la acidificación del lixiviado y del digestato. Esta tendencia en el pH es similar a lo descrito en otros estudios (Selvam *et al.*, 2010). En cuanto a la velocidad de formación de DQO el mayor es en el ensayo de c-v. Kim *et al.* (2006) y Chen *et al.* (2007) han reportado que un pH entre 4 y 6 favorece la acidogénesis, además con pH cercanos a 6 en los RHALE favorece la generación de metano.

Browne *et al.*, (2013) y Aslanzadeh *et al.*, (2013) mencionan que la recirculación de efluentes del reactor UASB al reactor hidrolítico amortigua el pH para que no ocurra una acidificación, mejorando el rendimiento general y la estabilidad del proceso.

En la siguiente figura se observa la velocidad de formación de DQO en los lixiviados, esto quiere decir la degradación de los residuos a compuestos mas solubles, en donde el c-v es el que mejor velocidad de producción tiene (7.42 gDQ/Lr-d) siguiéndole el de c-c (3.53 gDQ/Lr-d) c-b (2.12 gDQ/Lr-d) y al final c (0.88 gDQ/Lr-d). La generación de DQO y de AGV en el reactor RHALE, permitirá en una segundo reactor (UASB) se genere biogás, favoreciendo que la composición sea mayormente CH<sub>4</sub> (Rodríguez, 2015).



**Figura 4** Comportamiento de la velocidad de DQO en los lixiviados

Fuente: Elaboración Propia

En cuanto a la composición de ácidos grasos volátiles (AGV) que se muestran en la tabla 6, se observa que la mayor producción de AGV es en el experimento de c-v, la mayor cantidad generada es de ácido acético, el cual favorece la producción de CH<sub>4</sub>, pero también genera casi la misma cantidad de ácido propiónico.

En donde su acumulación podría causar una digestión anaerobia inestable (Shen y col., 2013), ya que a concentraciones mayores a 1 gL<sup>-1</sup> puede ser inhibitorio (Juanga, 2005), por lo que es importante evaluar en este experimento la producción de metano en la segunda fase en el UASB.

	c (g)	c-v (g)	c-c (g)	c-b (g)
Acético	3.90	26.10	4.51	4
Propiónico	4.42	20.48	3.97	3
Butírico	0.19	13.06	0.74	1.5
Isovalerico	-	-	-	
Valerico	-	-	-	
Caproico	0.34	2.71	-	0
TOTALES	8.80	62.37	9.22	8.5

**Tabla 6** Composición de los AGV

Fuente: Elaboración Propia

## UASB

En el UASB se colocaron 660 mL de lodo granular proveniente de una empresa de alimentos y se alimento al reactor agua residual del campus para su estabilización después se le agregó el lixiviado del ensayo de estiércol de cítricos, cerdo, vaca, y borrego mezclado con agua residual a una velocidad de carga orgánica de 5 gDQO/L.d y en la siguiente tabla se muestran los resultados:

	Biogás (L)	CH <sub>4</sub> %	UASB η (%)
Cítricos	4.08	60	75
Cítricos-vaca	40	70	85
Cítricos-cerdo	5.13	65	89
Cítricos-borrego	4.5	60	80

**Tabla 7** Producción de biogás en el reactor UASB

Fuente: Elaboración Propia

Como se muestra en la tabla anterior la mayor producción de metano se da en el tratamiento de c-v, y esta determinada por la cantidad de AGV generados. La composición de metano en el biogás obtenido hace posible que sea aprovechado como combustible, puesto que supera el 60 % necesario para que su capacidad energética se aproveche en numerosos usos, como calefacción, cocción, combustión, etcétera.

## Conclusiones

En cuanto a degradación y generación de AGV para la metanización en co-digestión para los residuos cítricos, el estiércol de vaca es el que nos da mejores resultados con un 65% y 40 litros de biogás con el 70% de CH<sub>4</sub>; esto quiere decir que se generan casi 28 L de metano por Kg de cítricos.

El uso de residuos cítricos, estiércol y el agua residual municipal, contaminantes que abundan en algunas ciudades, mediante un proceso de digestión anaerobia en dos fases genera energía que puede ser aplicada en beneficio de las propias comunidades.

## Referencias

Akao, T. A., Mizuki, E., Saito S. H.; Okumura, A. J.; Panico, A.; Esposito, G.; Pirozzi, F.; & Lens, N.L. (2014). Pretreatment methods to enhance anaerobic digestion of organic solid waste. *Applied Energy*, 123, 143–156.

APHA, AWWA, & WPFC (2005). Standard Methods for the examination of water and wastewater. 17 th. Ed. American Public Health Association, Washington D.C. USA.

Aslanzadeh S.; Rajendran K. Z.; Jeihanipour A., & Taherzadeh, M. (2013). The Effect of Effluent Recirculation in a Semi-Continuous Two-Stage Anaerobic Digestion System. *Energies*, (6), 2966-2981

Cirne, D.; Lehtomäki, A.; Björnsson, L.; Blackall, L. (2007). Hydrolysis and microbial community analyses in two-stage anaerobic digestion of energy crops. *Journal. Applied Microbiology* (103) 516–527.

Browne, J.; Allen E., & Murphy, J. (2013). Improving hydrolysis of food waste in leach bed reactor. *Waste Management*.

Chen, L.; Jiang W.Z.; Kitamura, Y., & Li, B.M. (2007). Enhancement of hydrolysis and acidification of solids organic waste by rotational drum fermentation system with methanogenic leachate recirculation. *Bioresource Technology* 98, 2194-2200

Cirne, D., Lehtomäki, A., Björnsson, L., Blackall, L., (2007). Hydrolysis and microbial community analyses in two-stage anaerobic digestion of energy crops. *Journal Applied Microbiology* 103, 516–527.

Demirer G.N., & Chen S. (2005). Two-phase anaerobic digestion of unscreened dairy manure. *Process Biochemistry* (40) 3542–3549

Filipkowska, M. & Agopsowicz, H. (2004). Solids Waste Gas Recovery Under Different Water Conditions. *Polish Journal Environmental Studies*. 13(6), 663-669.

Hernández-Becerril, M. C.; Márquez-Benavides, L.; González-Pérez, D.J., & Buenrostro-Delgado, O. (2008). The effect of moisture on the anaerobic degradation of municipal solid waste from Metepec (México). *Waste Management*, 28, 514-520

Inoue, T. S.; Tsubaki, K. Ogawa, K.; Onishi, & Azuma J.-I. (2010) Isolation of hesperidin from peels of thinned Citrus unshiu fruits by microwave-assisted extraction. *Food Chemistry*, 123, (2), 542–547.

Juanga, J. P. (2005). Optimizing dry anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste. M. E. Thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand

Kim, J.; Oh, B.; Chun, Y., Kim, S. (2006). Effect of temperature and hydraulic retention time on anaerobic digestion of food waste. *Journal Bioscience and bioengineering*, 102, 328-332

Koppar, A. & Pullammanappallil, P. (2008). Single-stage, batch, leach bed thermophilic anaerobic digestion of spent sugar beet pulp. *Bioresource Technology* 99, 2831– 2839

Mamma D.; Kourtoglou, E. & Christakopoulos, P., (2008). Fungalmultienzyme production on industrial by-products of thecitrus-processing industry. *Bioresource Technology*, 99 (7) 2373–2383,

Mata-Álvarez, J. (2003). Biomethanization of the organic fraction of municipal solid wastes. IWA publishing London. 1-180

Mizuki, E. (1990). Inhibitory effect of Citrus unshu peel on anaerobic digestion. *Biological Wastes*, 33 (3), 161-168.

Pourbafrani, M.; Forgács, I.; Horváth, S. C.; Niklasson, & Taherzadeh M. J. (2010). Production of biofuels, limonene and pectin from citrus wastes. *Bioresource Technology*, 101, (11) 4246–4250.

Rodríguez, Reyna I.; Rodríguez, S.; Monroy, O. & Ramírez F. (2015). Effect of organic loading rate on the anaerobic digestion of the municipal solid waste (OFMSW) in two-stage. *Water Science and Technology*, 223, 383-390

Selvam, A.; Xu, S.; Yang, X. & Wong J. (2010). Food waste decomposition in leachbed reactor: Role of neutralizing solutions on the leachate quality. *Bioresource Technology*, 101, 1707–1714

Shin, H. (2001). Performance of UASB Reactor treating leachate from acidogenic fermenter in the two-phase anaerobic digestion of food waste. *Water Research*, 35 (14), 3441–3447

Shen F.; Yuan H.; Pang, Y.; Chen, S.; Zhu, B.; Zou, D.; Liu, Y.; Ma J., Yu L. & Li X. (2013). Performances of anaerobic co-digestion of fruit & vegetable waste (FVW) and food waste (FW): Single-phase vs. two-phase. *Bioresource Technology* 144, 80-85

Srilatha, H. R.; Nand, K.; Sudhakar Babu, K. & Madhukara, K. (1995) Fungal Pretreatment of Orange Processing Waste by Solid-State Fermentation for Improved Production of Methane. *Process Biochemistry*, 30, (4) 327-33.

Wikandari.; Nguyen, H.; Millati, R.; Niklasson, C.; Taherzadeh, M. J. (2015) Improvement of Biogas Production from Orange Peel Waste by Leaching of Limonene. *BioMed Research International*.