

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE RASTRO MEDIANTE SEMILLAS DE *Moringa oleifera* LAM COMO COAGULANTE

[TREATMENT OF SLAUGHTERHOUSE WASTEWATER USING *Moringa oleifera* LAM SEEDS AS COAGULANT]

F.D. Morales Avelino^{1*}, R. Méndez Novelo² and M. Tamayo Dávila¹

¹*Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán, México. Carretera Mérida-Xmatkuil Km. 15.5 CP. 97100 Mérida, Yucatán, México.*

Email: mavelino@uady.mx

²*Campus de Ingeniería y Ciencia Exactas, Universidad Autónoma de Yucatán, México. Av. Industrias no Contaminantes x Anillo Periférico Norte s/n Apdo. 150 Cordemex CP 97310. Email: mnovelo@uady.mx*

**Corresponding author*

RESUMEN

Se utilizaron semillas maceradas de *Moringa oleifera* Lam, en solución y en suspensión, para reducir la absorbancia de las partículas suspendidas en las aguas residuales generadas en un rastro. El tiempo mínimo de reacción fue de 5 minutos con una reducción de la absorbancia de 25% para agua residual de fosa con menor cantidad de materia orgánica suspendida y de 82% de reducción para agua residual de laguna con mayor cantidad de sólidos suspendidos. Respecto a la dosis de coagulante (suspensión de semillas), aunque fue más eficiente la de 25 g/l, con reducción de absorbancia hasta de 78%, no existió diferencia significativa con la dosis de 10 g/l cuya reducción de absorbancia fue de 61%.

Palabras clave: Semillas; *Moringa*; coagulación-floculación; tratamiento de aguas; rastro.

INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales de rastros contienen altas concentraciones de materia orgánica que varían con la forma de operación de los mismos. Para remover las altas cargas orgánicas que poseen las aguas residuales de rastros se han ensayado, con éxito, diferentes tipos de tratamientos fisicoquímicos y bacteriológicos (aerobios y anaerobios (Amuda y Alade, 2006; Massé y Masse, 2000)). Entre los procesos fisicoquímicos que se han empleado comúnmente están: Flotación por aire disuelto; para la remoción de sólidos suspendidos y grasas y, Coagulación – floculación; para remover sólidos suspendidos y coloidales. También han sido utilizados los procesos electroquímicos; en estos se

SUMMARY

Both the solution and the suspension of grinded and soaked seeds of *Moringa oleifera* Lam, were used in order to reduce the absorbance (turbidity) of wastewater from a slaughterhouse. The minimum reaction time obtained was 5 minutes with an absorbancy reduction of 25% for wastewater from the septic tank, and 82% of absorbancy reduction for the wastewater from the pond. In relation to the coagulant dose (seeds suspension), although 25 g/l was more efficient (up to 78% of absorbancy reduction), it was no significative different to the dose of 10 g/l which reached an absorbance removal of 61%.

Key words: *Moringa* seeds; coagulation-flocculation, wastewater treatment; slaughterhouse.

produce menor cantidad de lodos residuales que en el proceso de coagulación – floculación.

Los procesos fisicoquímicos del tipo coagulación – floculación se utilizan para la remoción de partículas suspendidas y coloidales y uno sus parámetros operacionales más importante es la turbiedad o la absorbancia, que mide de manera indirecta la concentración de partículas.

Existen varios tipos de procesos fisicoquímicos que se han empleado con éxito en los tratamientos de aguas residuales, tales como los de coagulación-floculación, adsorción con carbón activado, oxidación intensiva, entre otros. Uno de estos procesos que ha sido utilizado en la potabilización y tratamiento de aguas

residuales es el uso de semillas de *Moringa oleifera* Lam, como coagulante (Kalogo *et al.*, 2001; Folkard *et al.*, 2001; Broin *et al.*, 2002; Ghebremichael y Hutman, 2004; Kumari *et al.*, 2005 y Ghebremichael *et al.*, 2006).

La planta de *Moringa oleifera* (familia *Moringaceae*), crece entre 7 y 12 m de altura. Sus hojas y semillas, con un alto contenido de proteínas y bajo contenido en toxinas, se usan como alimento animal y humano en varios países de África. Se estima que cada árbol puede producir anualmente hasta 25,000 semillas, con un peso promedio de 0.3g por semilla. Las semillas también se utilizan en la industria alimentaria, en cosméticos y en medicamentos (Foidl *et al.*, 2001; De Saint Sauveur y Hartout, 2001).

Una fracción del contenido proteico de las semillas, cercana al 1%, está constituida por proteínas catiónicas activas que neutralizan y precipitan los coloides del agua igual que como lo hacen los coagulantes industriales, como el sulfato de aluminio (sulfam), sólo que a menor costo (Foidl *et al.*, 2001). Folkard y colaboradores (2001), han reportado que, con una pasta de 2 gramos de polvo de semillas enteras, se pueden potabilizar 20 litros de agua de río. Normalmente, “una semilla entera en polvo es suficiente para clarificar un litro de agua muy turbia”.

En este trabajo, se presentan los resultados obtenidos con la utilización de semillas de *Moringa oleifera* Lam como coagulante, para el tratamiento de aguas residuales de un rastro, midiendo su eficiencia con base en la reducción de los valores de absorbancia, a nivel de laboratorio. El objetivo fue determinar la cantidad de semillas de *Moringa oleifera* Lam que pueden ser utilizadas como coagulante y el tiempo de reacción necesaria para el tratamiento de los efluentes de un rastro.

MATERIAL Y MÉTODOS

Tipos de agua residual

a) *Agua de fosa*: Proviene del sacrificio de animales y del lavado final de las instalaciones del rastro; durante el proceso de sacrificio, el agua se acumula en dos fosas contiguas de 2 m³ cada una. Cada vez que se llenan las fosas, su contenido de agua residual es canalizado, por bombeo, a un espacio abierto o laguna de desagüe.

b) *Agua de laguna*: Es el agua contenida en una laguna donde se acumulan y se mezclan con lodo las descargas diarias del agua proveniente de las fosas.

Tipo de coagulante (semillas de *Moringa oleifera* Lam)

Las semillas de moringa se utilizaron en dos formas: en suspensión y en solución.

a) *Suspensión de semillas*: Se preparó una suspensión de 200g/l con semillas molidas en mortero; que fue agitada en un vaso de 2 litros con un gradiente de 100 s⁻¹, en un equipo de prueba de jarras durante un minuto. Se aplicó la suspensión al agua residual en diferentes dosis: 5, 10, 17, 25, 50 y 100 g/l.

b) *Solución de semillas*: La suspensión de semillas, preparada como en el inciso anterior, se dejó sedimentar después de la agitación vigorosa, durante 60 minutos; posteriormente, se obtuvo el líquido sobrenadante que fue aplicado, como solución de semillas, al agua residual en las mismas dosis anteriores, en mililitros equivalentes.

Parámetros determinados

Se realizaron experimentos por triplicado para determinar la respuesta a las principales variables del proceso fisicoquímico involucrado en la remoción de contaminantes del agua residual del rastro (tiempo de reacción, tipo de agua y dosis de moringa):

a) *Tiempo de reacción*: Se determinó el tiempo requerido para remover las partículas que contribuyen en el aumento de la densidad óptica del agua residual de fosa y de laguna mediante la aplicación de semillas de moringa, en suspensión y en solución. Para esto, se mezclaron con un gradiente hidráulico de 100 s⁻¹ el agua residual y las semillas molidas de Moringa en concentración de 200 mg/ml durante un minuto y, posteriormente, se dejó sedimentar la mezcla. Se midió la densidad óptica (a 540 nm) del agua cruda (control) y de los sobrenadantes de los 3 matraces experimentales de cada tiempo de reacción ensayado: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60 minutos y 18 horas. Se utilizó un equipo Spectronic 20, modelo 4001/4.

Se realizó un análisis de varianza de un modelo de dos vías de efectos fijos:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

y_{ij} : Absorbancia

μ : Media

τ_i : Efecto del tipo de coagulante (suspensión o solución de moringa)

β_j : Efecto del tiempo de reacción

ε_{ij} : Error

b) *Tipo de agua y dosis de semillas*: Para determinar si el tipo de agua y la dosis de moringa influyen en la remoción de materia orgánica, se realizaron tratamientos variando el tipo de agua residual (laguna y fosa) y la dosis (g/l) de semillas (en suspensión y en solución). Se ensayaron las siguientes dosis de semillas: 5, 10, 17, 25, 50 y 100 g/l; además, se midió la densidad óptica (DO) a (540 nm) y a tiempos 5, 30 y 60 minutos.

Se realizó un análisis de varianza del siguiente modelo factorial:

$$y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + \delta_l + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:

y_{ijkl} : Absorbancia

μ : Media

τ_i : Efecto del tipo del tipo de agua (laguna o fosa)

β_j : Efecto del tipo de coagulante (suspensión o solución de moringa)

γ_k : Efecto del tiempo

δ_l : Efecto de la dosis

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tiempo de reacción

En general, se obtuvo una reducción de la absorbancia en el agua de laguna mayor que en el de fosa; esta reducción se relacionó con el tamaño y dispersión de las partículas contenidas en cada líquido ya que en el proceso coagulación-floculación se remueven las partículas suspendidas o coloidales (Méndez Novelo *et al.*, 2005). En el caso del agua de fosa, la mayor

densidad óptica se debió al color que aportan las proteínas solubles de la sangre diluida proveniente de las reses sacrificadas, mientras que en el agua de laguna, el color de las proteínas solubles se redujo por la acción proteolítica de la microflora presente (Morales y Tamayo, 2003) modificando así sus características físicas y, por consiguiente, su forma de remoción por la aplicación de semillas de Moringa. Existen evidencias de que las aguas con partículas orgánicas que aportan color, poseen tamaños pequeños (< 20 μm) de dispersiones coloidales y requieren de valores bajos de pH para su remoción, mientras que las aguas con partículas de mayor tamaño pueden ser tratadas a valores neutros de pH (Levine *et al.*, 1991; Lau *et al.*, 2001; Hee-Chan Yoo *et al.*, 2001, Xiao *et al.*, 2002; Zouboulis *et al.*, 2003; Rivas *et al.*, 2005).

En la Tabla 1, se presentan los resultados del tratamiento de las aguas residuales, de laguna y de fosa, obtenidos en la determinación del mejor tiempo de reacción con base en la reducción de la densidad óptica.

En la columna denominada “control” se puede observar un decremento de la absorbancia, a tiempos largos, debido a la sedimentación normal de la muestra cruda. Para el caso del agua de laguna, la reducción por sedimentación fue de 22% y para el agua de fosa fue de sólo 6%; estos porcentajes de remoción pueden ser atribuibles al contenido de partículas en cada tipo de agua residual. El agua de fosa, carecería prácticamente de partículas suspendidas; pero abundaba en materia orgánica disuelta (sangre) con un fuerte color pardo-rojizo.

Tabla 1. Variación de la absorbancia (DO) con el tiempo de reacción

Tiempo (minutos)	Control	Promedio	Error estándar	Reducción (%)
Laguna				
5	1.65	0.241	0.0057	85
10	1.58	0.255	0.0137	84
15	1.62	0.232	0.0163	86
20	1.62	0.281	0.0013	83
25	1.65	0.282	0.0063	83
30	1.66	0.285	0.0150	83
60	1.62	0.297	0.0080	82
1080	1.29	0.348	0.0050	73
Fosa				
5	2.35	1.81	0.0280	23
10	2.44	1.80	0.0267	26
15	2.44	1.80	0.0353	26
20	2.43	1.80	0.0307	26
25	2.42	1.80	0.0297	26
30	2.42	1.82	0.0330	25
60	2.41	1.88	0.0437	22
1080	2.20	1.80	0.1167	18

Se puede observar que, para ambos tipos de agua residual, las mejores reducciones de densidad óptica se obtuvieron a tiempos de reacción de entre 5 y 60 minutos, comparados con la reducción obtenida a 1080 minutos, por lo que por razones económicas se puede deducir que resultó suficiente un tiempo de contacto de 5 minutos, lo que implica que se requerirían reactores pequeños para su tratamiento. En futuros trabajos, se podría determinar si el tiempo de 5 minutos puede todavía reducirse aún.

Si comparamos los tiempos de contacto obtenidos con los requeridos con otros tipos de coagulantes metálicos o polielectrolitos para potabilización o tratamientos de aguas residuales, se observa que usando moringa como coagulante, se requerirían tiempos de contacto menores (Tabla 2).

En los trabajos presentados en la Tabla 2, se reportan los tiempos de reacción de *Moringa oleifera*, pero no se hace un experimento para determinar el mejor tiempo. Los tiempos de retención hidráulica (TRH) de los procesos fisicoquímicos reportados en la literatura cuando se usa *Moringa oleifera* como coagulante, varían de 5 a 240 minutos, lo que indica que no se han realizado estudios tendientes a optimizar este importante parámetro de diseño.

Si se comparan los tiempos de retención típicos del tren de tratamiento coagulación-floculación-sedimentación para aguas residuales domésticas que van de 41 a 82 minutos con los tiempos de retención del proceso propuesto que son de 5 minutos, se tendría una reducción de 36 a 77 minutos. Los tiempos de retención menores de 5 minutos podrían ser optimizados con la consiguiente reducción del costo de las plantas de tratamiento. No existe, en todas las soluciones acuosas, una zona para dosis optima o esta zona es muy pequeña y difícil de obtener; por lo tanto, para ciertos tipos de agua residual como es el caso de los efluentes de rastros, se pueden utilizar sobredosis

para que por acción de barrido se eliminen las partículas y flóculos del agua con un tren de tratamiento coagulación sedimentación.

En la Tabla 3, se observa que se obtienen mejores remociones de materia orgánica cuando se tratan las aguas de la laguna que cuando se tratan las de la fosa; de la segunda, se infiere que no existe diferencia significativa de las remociones de materia orgánica para tiempos de 5 a 60 minutos, pero que sí son mejores con respecto del tiempo de 1080 minutos. Por tal motivo, se concluye que por razones de economía, el tiempo de 5 minutos es el mejor.

Tabla 3. Resultados de los valores de las medias ajustadas y de los límites de predicción ($\alpha = 0.05$) para determinar el mejor tiempo de reacción

Nivel	Media	límite inferior	Límite superior
Gran media	54.08	---	---
	Tipo		
	agua		
Laguna	82.25	79.88	84.61
Fosa	25.91	23.54	28.28
EE	0.048		
	Tiempo		
	(minutos)		
5	54.33 ^a	49.59	59.06
10	55.33 ^a	50.59	60.06
15	56.0a	51.26	60.73
20	54.33 ^a	49.59	59.06
25	54.0a	49.26	58.73
30	53.83 ^a	49.09	58.56
60	51.83 ^a	47.09	58.56
1080	53.0a	48.26	57.73
EE	0.390		

^a: Sin diferencia significativa entre ellos

Tabla 2. Comparación de tratamientos fisicoquímicos.

	Özacar y Şengil (2001)	Broin et al. (2002)	Kumari et al. (2005)	Ghebremichael et al. (2006)	Folkard et al. (2001)	Presente trabajo
Coagulante	Taninos (polifenoles)	<i>Moringa oleifera</i>	<i>Moringa oleifera</i>	<i>Moringa oleifera</i> y arcilla	<i>Moringa oleifera</i>	<i>Moringa oleifera</i>
Dosis (mg/l)	---	---	500 a 6000	---	200	2500
TRH (minutos)	66	120 a 240	20 a 100	71	5	5
Tipo de agua	Aguas residuales domésticas	Aguas sintéticas	Agua con arsénico	Aguas residuales domésticas	Agua de río con materia orgánica	Aguas residuales de rastros

Tipo de agua y dosis de semillas

La determinación de la mejor dosis de semillas de moringa y el efecto de su aplicación en los dos tipos de agua residual de rastro se muestran en la Tabla 4. La densidad óptica de las muestras control de agua de laguna fue siempre mayor que la del control de agua de fosa. Las muestras de agua de laguna contenían partículas en suspensión y las muestras de agua de fosa, recién obtenidas del rastro, eran más transparentes con el color característico de la sangre diluida. En general, se puede observar que los valores de absorbancia de los sobrenadantes, luego del tiempo de contacto, aumentan conforme disminuye la cantidad de semilla aplicada. Los valores altos de densidad óptica, correspondientes a la dosis de 5,000 mg/l (5 g/l) con agua de laguna se deben a un efecto de dilución de la muestra. No obstante, si el análisis se realiza considerando los valores absolutos de la absorbancia, resultan significativos tanto el tipo de agua, como la dosis de coagulante (Tabla 6).

Para la variable “tipo de agua”, se obtuvieron valores menores de la reducción de DO en las aguas de fosa, por lo que resultó ser la mejor opción de tratamiento. Adicionalmente, tratar las aguas de laguna, implicaría modificar la laguna desagüe, dotándola de un fondo impermeable para evitar las infiltraciones y contaminación del acuífero. Considerando el valor absoluto de la absorbancia, o el % de reducción de absorbancia, como variable respuesta, el tipo de coagulante y el tiempo resultaron ser no significativos, por lo que se eligió un tiempo de 5 minutos y la

suspensión como las mejores opciones por resultar las más económicas.

Con relación a la dosis de coagulante, las más eficientes se encuentran en el rango de 10 a 50 g/l, con las que se obtuvieron reducciones del 61 al 78% de la absorbancia. Se puede, por consiguiente, ensayar un tratamiento fisicoquímico utilizando semillas de Moringa, como coagulante, con dosis de 10 a 25 g/l y tiempo de contacto de 5 minutos (o menores). Se propone realizar ensayos de prueba de jarras con este coagulante y determinar las otras variables del proceso: Gradientes hidráulicos para la mezcla rápida y la mezcla lenta y sus respectivos tiempos de reacción, en los que se utilicen como variables respuestas otros parámetros globales de contenido de materia orgánica (DBO₅, DQO, COT, etc.).

Puede calcularse que el % DQO insoluble (DQO total – DQO soluble) es de 62.5 y el de SST respecto de los ST es de 35.6%. En ambas determinaciones analíticas, las partículas son consideradas suspendidas, si pasan a través de un papel filtro que no retiene a las partículas coloidales, por lo que en un tratamiento fisicoquímico del tipo coagulación – floculación podrían obtenerse porcentajes de remoción superiores a los porcentajes de partículas suspendidas o a la concentración de materia orgánica medida como DQO insoluble. Esto explica que se obtengan altas remociones con procesos fisicoquímicos en aguas de rastros: de hasta 90% de DQO (Massé y Masse, 2000); 77% de DQO y 82% de DQO insoluble (Al-Mutari et al 2003) y 65% de SST (Amuda y Alade, 2006).

Tabla 4. Absorbancia para diferentes dosis de Moringa, tipo de coagulante y de agua residual.

Tipo de agua	Tipo de coagulante	Tiempo (min)	Dosis (mg/l)						
			Control	100000	50000	25000	16667	10000	5000
Fosa	Suspensión	5	0.744	0.767	0.385	0.131	0.285	0.174	0.313
		30	0.649	0.936	0.358	0.106	0.313	0.108	0.184
		60	0.603	0.427	0.175	0.095	0.283	0.112	0.111
	Solución	5	0.744	0.389	0.386	0.379	0.103	0.233	0.443
		30	0.649	0.423	0.169	0.110	0.290	0.292	0.386
		60	0.603	0.232	0.123	0.107	0.292	0.182	0.282
Laguna	Suspensión	5	1.947	0.803	0.094	0.202	0.625	0.769	1.648
		30	1.873	0.167	0.093	0.193	0.582	0.660	1.495
		60	1.855	0.150	0.740	0.190	0.550	0.575	1.422
	Solución	5	1.947	0.105	0.145	0.766	1.581	1.351	2.233
		30	1.873	0.091	0.145	0.683	1.494	1.212	2.104
		60	1.855	0.079	0.135	0.683	1.433	1.183	2.028

Tabla 5. Resultados de los valores de las medias ajustadas y de los límites de predicción ($\alpha = 0.05$) para la mejor dosis de coagulante considerando el % de reducción de absorbancia como variable de significancia.

Nivel	Media	Límite inferior	Límite superior
Gran media	59.51	---	---
	Tipo agua		
Laguna	59.63 ^a	51.48	67.78
Fosa	59.38 ^a	51.23	67.53
EE	0.113		
	Tipo coagulante		
Suspensión	63.52 ^a	55.37	71.67
Solución	55.50 ^a	47.34	63.65
EE	0.113		
	Tiempo (minutos)		
5	56.50 ^a	46.51	66.48
30	58.95 ^a	48.97	68.94
60	63.08 ^a	53.10	73.06
EE	0.208		
	Dosis mg/L)		
5,000	33.83 ^a	19.71	47.95
10,000	61.00bc	46.88	75.11
16,667	52.41abc	38.29	66.53
25,000	76.83b	62.71	90.95
50,000	74.50b	60.38	88.61
100,000	58.50bc	44.38	72.61
EE	0.588		

^a: Sin diferencia significativa entre ellos

^b: Sin diferencia significativa entre ellos

^c: Sin diferencia significativa entre ellos

CONCLUSIONES

Los tiempos de contacto requeridos en el proceso de coagulación con Moringa son menores o iguales a 5 minutos y resultan inferiores a los requeridos por algunos coagulantes metálicos.

Con el tren de tratamiento coagulación-sedimentación y la utilización de altas dosis de coagulante (25 g/l), se obtuvieron reducciones de 80% de absorbancia.

La dosis óptima de Moringa fue de 25 g/l. La forma de agregación de la Moringa (solución o suspensión) no fue significativa, por lo que resultaría más económico utilizarla en suspensión.

La utilización de Moringa como tratamiento fisicoquímico del tipo coagulación-floculación se puede utilizar con éxito en la remoción de materia orgánica de las aguas de fosa estudiadas.

Tabla 6. Resultados de los valores de las medias ajustadas y de los límites de predicción ($\alpha = 0.05$) para la mejor dosis de coagulante considerando la absorbancia como variable respuesta

Nivel	Media	Límite inferior	Límite superior
Gran media	53.46		
	Tipo agua		
Laguna	0.28	0.14	0.41
Fosa	0.78	0.65	0.92
EE	0.002		
	Tipo coagulante		
Suspensión	0.45 ^a	0.31	0.58
Solución	0.61 ^a	0.48	0.75
EE	0.002		
	Tiempo (minutos)		
5	0.59 ^a	0.43	0.76
30	0.52 ^a	0.36	0.68
60	0.48 ^a	0.31	0.64
EE	0.003		
	Dosis mg/L)		
5,000	1.05 ^a	0.82	1.28
10,000	0.57 ^a	0.33	0.80
16,667	0.65ab	0.42	0.88
25,000	0.30 ^a	0.07	0.53
50,000	0.24 ^a	0.01	0.47
100,000	0.38ab	0.14	0.61
EE	0.010		

^a: Sin diferencia significativa entre ellos

^b: Sin diferencia significativa entre ellos

REFERENCIAS

- Al-Mutari, N.Z., Hamoda, M.F., and Al-Ghusain I.A.. 2003. Performance-based characterization of a constant stabilization process for slaughterhouse wastewater. *Journal of Environmental Science and Health*, 38: 2287 – 2300.
- Amuda, O.S., and Alade, A. 2006. Coagulation/Flocculation process in the treatment of abattoir wastewater. *Desalination*, 196: 22 – 31.
- Broin, M., Santaella, C., Cuine, S., Kropp, K., Peltier, G., and Joët, T. 2002. Flocculant activity of a recombinant protein from *Moringa oleifera* Lam seeds. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 60: 114 – 119.
- De Saint Sauveur, A., and Hartout, G.. 2001. Moringa culture and economy in Niger. In: *The miracle tree. The multiple attributes of*

- moringa. L.J. Furglie (Ed). Church World Service; Dakar, Senegal. Pp: 29 – 43.
- Foidl, N., Makkar, H.P.S., and Becker, K. 2001. The potential of *Moringa olifera* for agricultural and industrial uses. In: The miracle tree. The multiple attributes of moringa. L.J. Furglie (Ed). Church World Service, Dakar, Senegal. Pp: 45 – 76.
- Folkard, G., Southerland, J., and Al-Khalili, R.S. 2001. Water clarification using *Moringa oleifera* seed coagulant. In: The miracle tree. The multiple attributes of moringa. L.J. Furglie (Ed). Church World Service; Dakar, Senegal. Pp: 29 – 43.
- Ghebremichael, K.A., and Hutman, B. 2004. Alum sludge dewatering using *Moringa oleifera* as a conditioner. Water, Air and Soil Pollution, 158: 153 – 167.
- Ghebremichael, K.A., Gunaratna, K.R., and Dalhammar, G. 2006. Single-step ion exchange purification of the coagulant protein from *Moringa oleifera* seed. Applied Microbiology and Biotechnology, 70: 526 – 532.
- Hee-Chan, Y., Soon-Hang, Ch., and Seok-Oh, K. 2001. Modification of coagulation and Fenton oxidation processes for cost-effective leachate treatment. Journal of Environmental Science and Health, 36: 39 – 48.
- Kalogo, Y., M'Bassiguié Séka, A., and Verstraete, W. 2001. Enhancing the start-up of a UASB reactor treating domestic wastewater by adding a water extract of *Moringa oleifera* seeds. Applied Microbiology and Biotechnology, 55: 644 – 651.
- Kumasi, P., Sharma, P., Srivastava, S., Srivastava, M.M. 2005. Arsenic removal from the aqueous system using plant biomass: a bioremediation approach. Journal of Indian Microbiology and Biotechnology, 32: 521 – 526.
- Lau, I., Wang, P., and Fang, H. 2001. Organic removal of anaerobically treated leachate by Fenton coagulation. Journal of Environmental Engineering, 127: 666 – 669.
- Levine, AD., Tchobanoglous, G., and Asano, T. 1991. Size distribution of particulate contaminants in wastewater and their impact on treatability. Water Research, 8: 911 – 922.
- Massé, D.I., and Masse, L. 2000. Characterization of wastewater from hog slaughterhouses in eastern Canada and evaluation of their in-plant wastewater treatment systems. Canadian Agricultural Engineering, 42: 139 – 146.
- Méndez-Novelo, R.I., Castillo-Borges, E.R., Sauri-Riancho, M.R., Quintal-Franco, C.A., Giacomán-Vallejos G., and Jiménez-Cisneros, B. 2005. Physico-chemical treatment of Merida landfill leachate for chemical oxygen demand reduction by coagulation. Waste Management & Research, 23: 560-564.
- Morales-Avelino, FD., y Tamayo-Dávila, M. 2003. Informe Final del Proyecto “Aislamiento y selección de microorganismos de la microflora nativa de las aguas residuales generadas en el rastro de la FMVZ”. SISTPROY, FMVZ-03-021. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia – Universidad Autónoma de Yucatán.
- Özakar, M., and Sengil, I.A. 2001. The use of tannins from turkish acorns (*Valonia*) in water treatment as a coagulant and coagulant aid. Turkish Journal of Engineering and Environmental Science, 26: 255 – 263.
- Rivas, F.J., Beltrán, F., Carvalho, F., Gimeno, O., and Frades, J. 2005. Study of different integrated physical-chemical adsorption processes for landfill leachate remediation. Industrial Engineering Chemical Research, 44: 2871 – 2878.
- Xiao, Y., Wang, G., Liu, H., Zhao, H., Zhang, J., Sun, C., and Wu, M. 2002. Treatment of H-Acid wastewater by photo-Fenton reagent combined with a biotreatment processes: A study on optimum conditions of pretreatment by a photo-Fenton processes. Environmental Contamination and Toxicology, 69: 430 – 435.
- Zouboulis, A.I., Jun, W., and Katsoyiannis I.A. 2003. Removal of humic acids by flotation. Colloids and Surfaces. Physicochemical Engineering Aspects, 231: 181 – 193.

Submitted March 04, 2008 – Accepted September 18, 2008
Revised received February 27, 2009