

Resultados obtenidos de la tesis “Diseño preliminar de columnas de filtración según resultados experimentales de ensayos batch de desnitrificación con *Saccharum spontaneum* L. como fuente de carbono”, la cual es parte de proyecto APY-NI-2014-04 “Remoción Biológica de Nitrato usando *Saccharum Spontaneum* L. (Paja Canalera) como fuente de carbono

ANÁLISIS BROMATOLÓGICO DE *S. spontaneum*

Para la caracterización física-química de la planta *S. spontaneum* se realizaron análisis de laboratorio donde se determinó, el contenido de humedad, la densidad y volumen, además se realizó un análisis Bromatológico, por parte del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá.

Tabla 11. Análisis Bromatológico del material detrítico de *S. spontaneum*

Parámetros	Nomenclatura	Médula
Materia Seca (%)	M.S.	95.83 ± 0.27
Proteína Cruda (%)	P.C.	6.58 ± 0.49
Fibra Cruda (%)	F.C.	34.28 ± 0.67
Fibra detergente neutra (%)	F.D.N.	79.53 ± 0.53
Fibra detergente ácida (%)	F.D.A.	42.84 ± 0.83
Lignina ácido detergente (%)	L.D.A.	15.65 ± 0.50
Nitrógeno amoniacal (%)	N-NH ₃	1.01 ± 0.07
Celulosa (%)		27.03 ± 0.86
Hemicelulosa (%)		36.68 ± 0.79
Contenido de Ceniza (%)		5.12
Fósforo (%)	P	0.15
Potasio (%)	K	1.22
Calcio (%)	Ca	0.01
Magnesio (%)	Mg	0.02
Hierro (ppm)	Fe	0.71
Cobre (ppm)	Cu	1.76
Manganeso (ppm)	Mn	1.07
Zinc (ppm)	Zn	1.24
Sodio (ppm)	Na	62.82

Según los resultados del análisis bromatológico se puede observar que la *S. spontaneum* posee una gran cantidad de sodio (Tabla 11.), también contiene un porcentaje de 27% de celulosa, la cual será aprovechada para los ensayos biológicos.

Tabla 12. Diámetro, volumen, densidad y porcentaje de humedad del material detrítico *Saccharum spontaneum* L.

Caracterización física del material detrítico <i>Saccharum spontaneum</i> L.								
Parte Baja	Valores Medidos				Valores Calculados			
Muestra	Masa h. (g)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Volumen (cc)	Densidad (g/cc)	masa h. total (g)	masa seca total (g)	%w
1	1.8773	1.41	1.40	2.19	0.86	10.3866	2.5315	75.63
2	2.2053	1.42	1.61	2.55	0.86			
3	1.9662	1.35	1.55	2.22	0.89			
4	1.9973	1.41	1.56	2.44	0.82			
5	2.3405	1.41	1.61	2.51	0.93			
Promedio	2.0773	1.40	1.55	2.38	0.87			
Parte Media	Valores Medidos				Valores Calculados			
Muestra	Masa h. (g)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Volumen (cc)	Densidad (g/cc)	masa h. total (g)	masa seca total (g)	%w
1	1.7545	1.45	1.41	2.33	0.75	10.3189	2.2974	77.74
2	1.7227	1.39	1.39	2.14	0.81			
3	1.6108	1.42	1.42	2.11	0.76			
4	1.7469	1.41	1.41	2.20	0.79			
5	1.7723	1.42	1.42	2.22	0.80			
6	1.7117	1.38	1.38	2.24	0.76			
Promedio	1.7198	1.41	1.41	2.21	0.78			
Parte Alta	Valores Medidos				Valores Calculados			
Muestra	Masa h. (g)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Volumen (cc)	Densidad (g/cc)	masa h. total (g)	masa seca total (g)	%w
1	2.2376	1.50	1.60	2.83	0.79	10.0024	1.6775	83.23
2	2.0665	1.41	1.61	2.51	0.82			
3	1.5776	1.41	1.58	2.47	0.64			
4	2.2218	1.47	1.6	2.72	0.82			
5	1.8989	1.41	1.68	2.62	0.72			
Promedio	2.0005	1.44	1.61	2.63	0.76			

Tabla 15. Análisis de Carbohidratos Totales del ensayo de lixiviación del 7 de octubre del 2015.

No. MUESTRAS	CÓDIGO	[C] ug/mL (Carbohidratos Total)
34	RH 1-1	694.05
35	RH 1-2	649.46
36	RH 2-1	688.65
37	RH 2-2	661.62
38	RH 3-1	668.38
39	RH 3-2	675.14
	PROMEDIO	672.88

Tabla 16. Masa de los trozos a distintas alturas del material detrítico del ensayo de lixiviación del 7 de octubre del 2015.

Masa (g) y cantidad de trozos por reactor								
Tamaños	Reactor 1		Reactor 2		Reactor 3		Reactor 4	
	Masa	No. trozos	Masa	No. trozos	Masa	No. Trozos	Masa	No. trozos
1 cm	12.8800	(12)	12.6824	(17)	12.9391	(10)	12.9006	(13)
2 cm	12.8600	(7)	12.6706	(9)	12.7903	(6)	13.4190	(9)
3 cm	12.8322	(4)	12.8863	(5)	13.2207	(4)	12.9949	(5)

Los resultados de este ensayo de lixiviación nos señalan que entre más cortos sean los trozos de material detrítico, mayor es el carbono aprovechado como sustrato disponible para los microorganismos. Como se muestra en la gráfica 25, la DQO proveniente del reactor R 1-3 de cortes de 1 centímetro de altura, fueron los que presentaron mayor lixiviación que en los demás, por lo tanto, se tomó como altura óptima en esta investigación para los próximos ensayos.

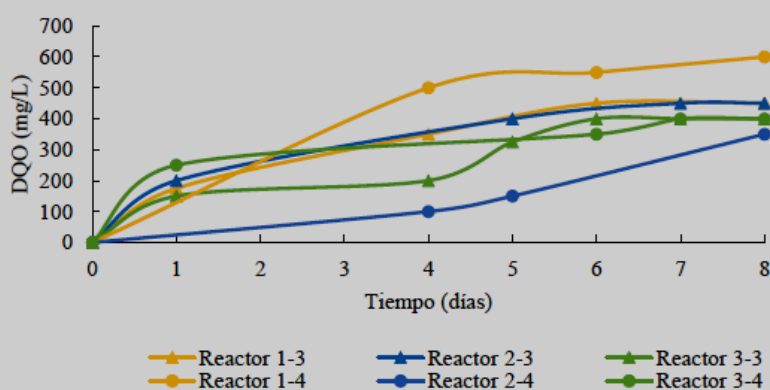


Figura 25. Gráfica del comportamiento de la DQO del ensayo de lixiviación para determinar la altura óptima del material, el primer # del reactor corresponde al tamaño del material en cm y el segundo # al número de reactor

Tabla 17. Masa de los trozos a distintas alturas del material detrítico del ensayo de lixiviación del 25 de julio del 2016.

Masa (g) y cantidad de trozos por reactor									
Tamaños	Reactor 1			Reactor 2			Reactor 3		
	Masa h.	Masa seca	No. trozos	Masa h.	Masa seca	No. trozos	Masa h.	Masa seca	No. trozos
1 cm	14.18	10.63	(13)	14.12	10.58	(12)	15.29	11.46	(12)

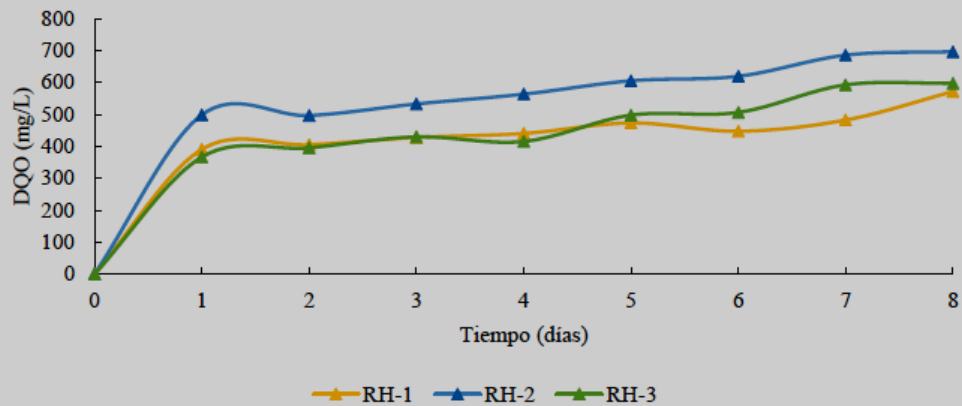


Figura 26. Gráfica del comportamiento de la DQO del ensayo de lixiviación para determinar la tasa de liberación de carbono del material, "RH" es la nomenclatura utilizada para los reactores.

Aquí se pudo comprobar la afirmación propuesta por Deago y Pizarro (2014), la cual nos indicó que, en la liberación de materiales vegetales, ocurre la liberación inmediata producida por autólisis debido a que los compuestos solubles como los monómeros son degradados por el agua, causando la lixiviación en los primeros días del ensayo.

4.3.1. Resultados de los parámetros de lixiviación del ensayo del 25 julio del 2016

A continuación, se muestran los resultados promedios de los parámetros medidos de los reactores de lixiviación, durante los 8 días de su operación. A cada reactor se le realizaron pruebas de pH, Turbiedad, Sólidos suspendidos totales, Nitrato, Nitrito y DQO.

Tabla 18. Promedio de los parámetros físico-químicos del ensayo de lixiviación

Ensayo de Lixiviación del 25 de julio del 2016 del proyecto de Tesis “Diseño preliminar de columnas de filtración según resultados experimentales de ensayos batch de desnitrificación con <i>Saccharum spontaneum</i> L. como fuente de carbono”								
Promedio		Parámetros Control			Parámetros Específicos			
Día	Fecha	pH	Turbiedad (FAU)	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Nitrato NO ₃ ⁻ (mg/L)	Nitrito NO ₂ ⁻ (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO (mg)
0	25/07/2016	5.97	0	0	0	0.022	0	0
1	26/07/2016	5.74	58	40	0	0.030	418	82
2	27/07/2016	5.43	72	44	0	0.031	432	82
3	28/07/2016	5.34	84	55	0	0.035	463	86
4	29/07/2016	4.69	115	90	0	0.043	473	85
5	30/07/2016	4.61	134	96	0	0.050	525	92
6	31/07/2016	4.48	157	104	0	0.056	524	89
7	01/08/2016	4.35	177	116	0	0.060	586	97
8	02/08/2016	4.14	248	172	0	0.074	621	99

Según los resultados de la tabla 18, el promedio de los reactores presento una disminución del pH, la turbiedad y los sólidos suspendidos totales aumentaron, no se registraron concentraciones de nitrato y nitrito, y la DQO presentó el comportamiento esperado.

4.3.2. Análisis de los parámetros físico-químicos del ensayo de lixiviación

❖ pH

Los valores de los 3 reactores muestran el promedio de pH para el agua lixiviada del ensayo, con un valor máximo de 5.97 y un mínimo 4.14 obtenidos durante el transcurso de la evaluación del sistema; en esta se destaca que durante la lixiviación el pH el medio mantuvo una tendencia acida, debido a que ocurren reacciones de oxidación producto de la liberación del material (Figura 27.).

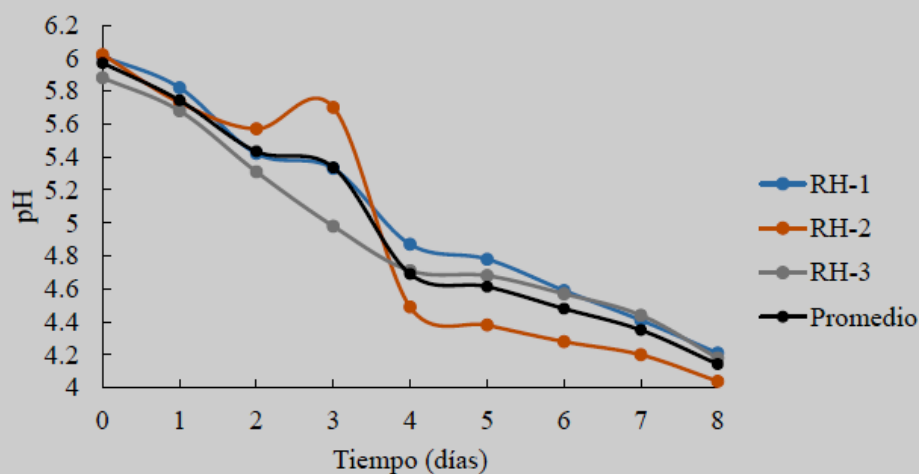


Figura 27. Gráfica del comportamiento del pH del ensayo de lixiviación

El pH es un factor muy importante en los procesos de transformación química y biológica, por lo tanto, es muy importante su seguimiento, lo cual se puede observar con respecto al tiempo, en esta se aprecia una tendencia de disminución en los 3 reactores, esto quiere decir que el proceso sufrió una acidificación (Romero, 2002).

❖ Nitrato (NO_3^-)

Durante la realización del ensayo de lixiviación del material detrítico (*Saccharum spontaneum L.*), no se registraron valores de Nitrato de la liberación hidrolítica, por lo tanto, se considera que el aporte de Nitrato de la planta es nulo (Figura 30).

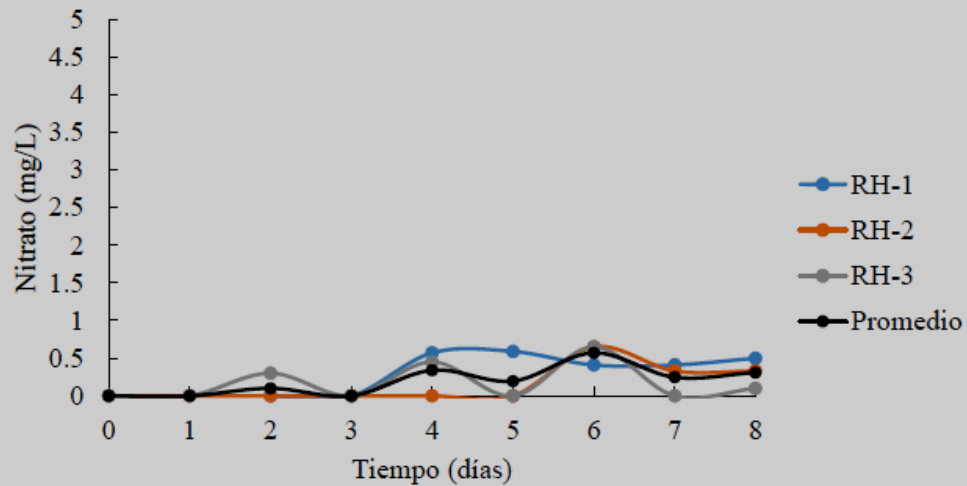


Figura 30. Gráfica del comportamiento del Nitrato del ensayo de lixiviación

❖ Nitrito (NO_2^-)

El Nitrito presente en el agua lixiviada, es habitualmente consecuencia de una nitrificación del Nitrógeno orgánico y proceden de la disolución de los enlaces de carbono de los tejidos celulares de la planta. Esta tendencia muestra un crecimiento a medida que se libera más material con respecto al tiempo. La concentración máxima promedio de Nitrito liberada dentro del sistema fue 0.074 mg/L, debido que la concentración es menos de un 1 mg/L, por lo tanto, se puede decir que la presencia de Nitritos es despreciable (Figura 31.).

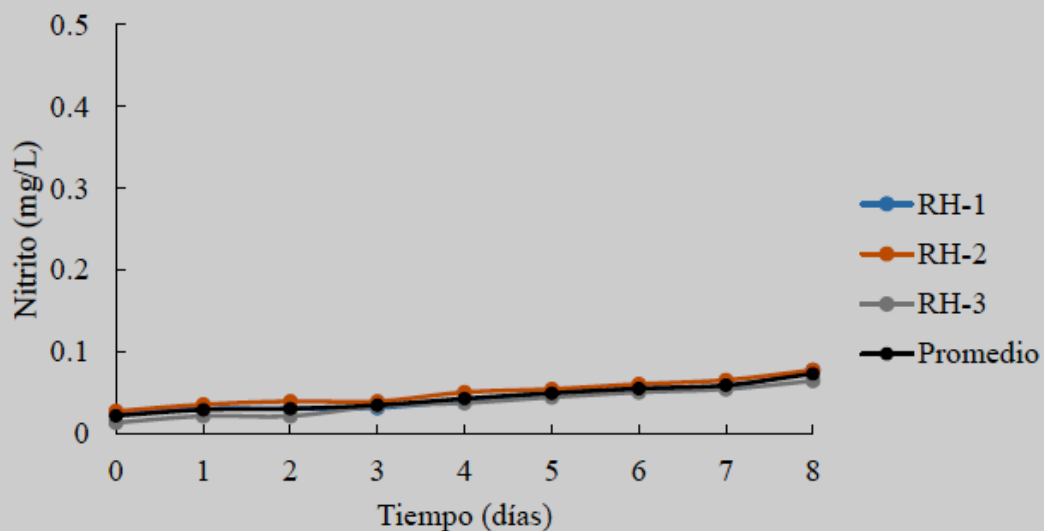


Figura 31. Gráfica del comportamiento del Nitrito del ensayo de lixiviación

❖ DQO

El comportamiento de la liberación de la DQO total de la *Saccharum spontaneum L.* muestra un aumento. Estos resultados se obtuvieron de los valores de la DQO medida en el sobrenadante de los reactores producto de la lixiviación del material. En la cual se muestra una liberación inmediata en el primer día del ensayo, producto de la hidrólisis. Luego se libera gradualmente hasta mostrar un comportamiento más o menos constante, hasta el punto en que se libera todo el carbono soluble (Figura 32.).

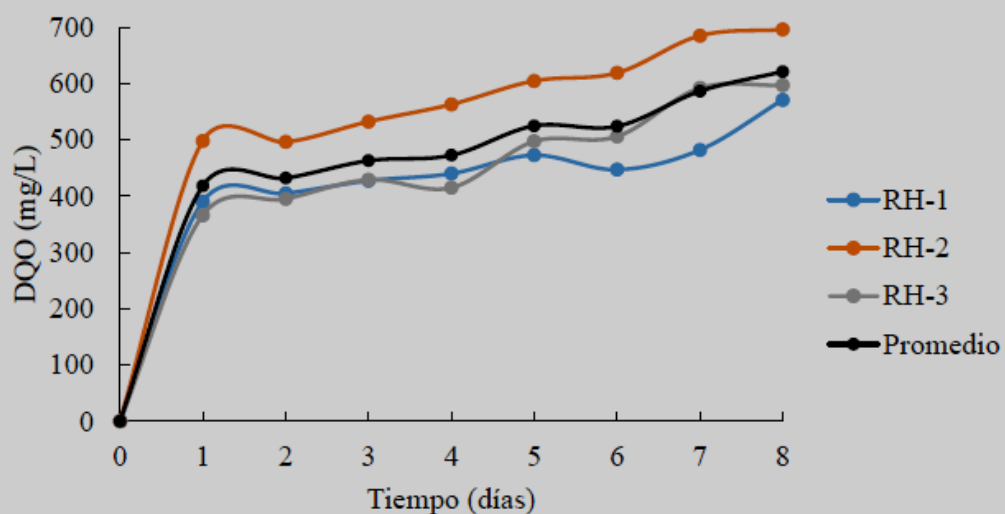


Figura 32. Gráfica del comportamiento de la DQO del ensayo de lixiviación

Tabla 19. Cálculo de la tasa de liberación de carbono utilizando regresión no lineal por el método de mínimos cuadrados

Día	DQO (mg)	DQO ajustada (mg)	Error
0	0	0	0
1	82	79.569853	3.76417132
2	82	89.148207	49.9819292
3	86	90.301217	21.6435252
4	85	90.440012	28.7297333
5	92	90.45672	1.97134655
6	89	90.458731	1.90090027
7	97	90.458974	39.5141291
8	99	90.459003	80.1800381
			227.685773

Para obtener las constantes de las tasas de liberación de carbono orgánico (k_h), para el ensayo con 10 g de *S. spontaneum*, se aplicó regresión no lineal de los datos presentados anteriormente (Tabla 19.). Para ello se usaron los valores de la DQO total acumulada (Figura 33.), restándoles la masa correspondiente a lixiviación. El valor máximo de DQO usado en el ensayo con 10 g de *S. spontaneum* fue 90.45 mg. Definidos los rangos de valores de DQO, se determinó la constante de liberación k_h la cual resultó:

$$k_h = 2.11 d^{-1}$$

Máximo aporte de DQO acumulado total en masa es:

$$DQO \text{ acum Total} = 90.46 \text{ mg}$$

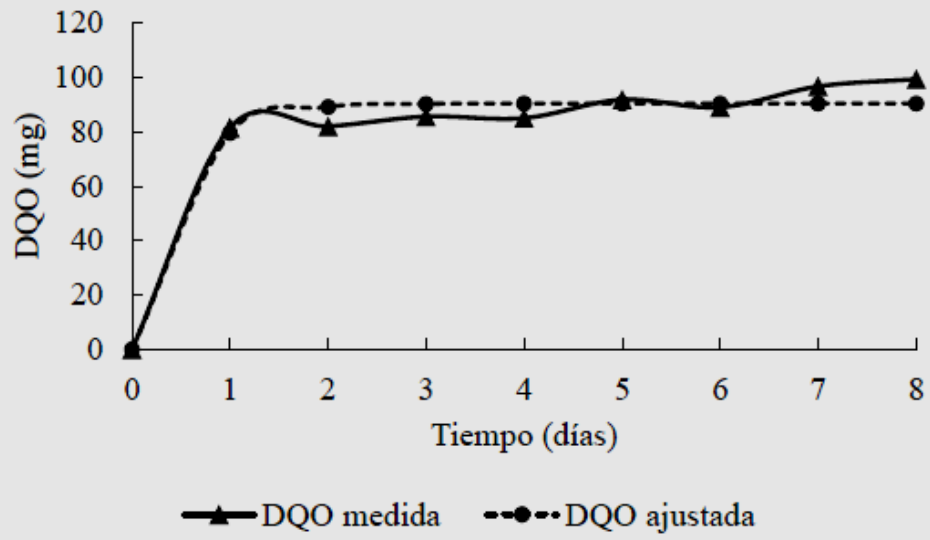


Figura 33. Gráfica del comportamiento de la DQO liberada en el sobrenadante y la DQO ajustada

**Tabla 21. Parámetros físico-químicos del ensayo de Batch biológico del reactor
valores promedios de los Reactores**

Cronograma de muestreo del ensayo Batch biológico del proyecto de "Diseño preliminar de columnas de filtración según resultados experimentales de ensayos batch de desnitrificación con <i>Saccharum spontaneum</i> L. como fuente de carbono"										
Promedio			Parámetros de Control				Parámetros Específicos			
Día	Fecha	pH	OD (mg/L)	Temp. (°C)	Cond. (µs/cm)	Redox (mV)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	DQO (mg/L)	Vol. (mL)
0	15/08/2016	7.98	3.04	20.1	591	-62.7	168.4	0	0	500
1	16/08/2016	6.285	0.875	20.35	763	46.3	134.35	0.0495	439	485
	16/08/2016	6.285	0.875	20.35	763	46.3	248.15	0.0495	439	485
2	17/08/2016	6.65	0.705	20.15	984	25	91.6	1.0225	364	470
3	18/08/2016	6.965	0.43	19.8	905	1.35	11.785	1.031	311	455
	18/08/2016	6.965	0.43	19.8	905	1.35	104	1.031	311	455
4	19/08/2016	7.1	0.56	20.15	912	-7.1	49	0.1255	218	440
5	20/08/2016	7.1	0.6	20.15	915.5	-7.25	42.55	0.1255	222	425
6	21/08/2016	7.075	0.5	20.1	931	-0.4	22.75	0.113	246	410
7	22/08/2016	6.895	0.45	20.1	942.5	10.45	4.8978	0.0935	279	395
	22/08/2016	6.895	0.45	20.1	942.5	10.45	103	0.0935	279	395
8	23/08/2016	7.13	0.555	20.15	1225.5	-3.55	38.4	0.097	229	380
9	24/08/2016	7.265	0.09	20.35	1231.5	-11.65	11.1955	0.132	230	365
	24/08/2016	7.265	0.09	20.35	1231.5	-11.65	100	0.132	230	365
10	25/08/2016	7.365	0.53	20.3	1262	-17.55	51.25	0.2645	155	350
11	26/08/2016	7.37	0.505	20.3	1256.5	-18	45.7	0.253	160	335
12	27/08/2016	7.365	0.605	20.4	1257	-17	30.15	0.221	154	320
13	28/08/2016	7.355	0.625	20.5	1258	-17.1	19.8	0.126	183	305
14	29/08/2016	7.35	0.675	20.6	1258	-16.55	0.875	0.0525	206	290
	29/08/2016	7.35	0.675	20.6	1258	-16.55	101.5	0.0525	206	500
15	30/08/2016	7.3	0.7	20.6	1262	-16.3	80.6	0.594	169	485
16	31/08/2016	7.415	0.695	20.45	1277	-23.8	38.5	1.0815	180	470
17	01/09/2016	7.6	0.685	20.25	1332	-30.45	18.21	1.1545	154	455
18	02/09/2016	7.72	0.71	20.1	1383.5	-39.25	11.73	0.4235	166	440
19	03/09/2016	7.7	0.68	20.1	1382	-39.25	14.645	0.4265	165	425
20	04/09/2016	7.71	0.7	19.5	1405	-38.1	5.57	0.301	180	410
21	05/09/2016	7.695	0.615	19.25	1417	-37.65	1.45	0.083	201	395
22	06/09/2016	7.585	0.02	20.9	860	-30.85	1.895	0.109	128	380
	07/09/2016	7.555	0.02	20.85	851.5	-27.6	60.25	0.103	134	500
23	08/09/2016	6.1	0.61	20.35	501	20.05	38.85	0.0725	178	485
24	09/09/2016	5.685	1.165	19.65	147.85	86.05	22.75	0.0405	260	470
	09/09/2016	5.685	1.165	19.65	147.85	86.05	122.5	0.0405	260	470
25	10/09/2016	5.715	1.15	19.65	153	49.9	115	0.0595	257	455
26	11/09/2016	6.27	1.03	19.85	331	50.35	75.1	1.4845	212	440
27	12/09/2016	6.66	0.98	19.95	556	23.35	24.5	1.9455	168	425
28	13/09/2016	6.965	0.585	21.05	524.5	5.3	17.5	0.0295	126	410
	13/09/2016	6.965	0.585	21.05	524.5	5.3	71.3	0.0295	126	410
29	14/09/2016	7.145	0.61	21	590.5	-5.55	1.75	0.0335	111	395
30	15/09/2016	7.095	0.31	22.5	599	-1.85	0	0.052	101	380
31	16/09/2016	7.08	0.135	19.9	600	-1.75	0	0.0285	149	365

❖ Potencial Redox (ORP)

Para el análisis del potencial Redox se presenta un comportamiento variable a lo largo del ensayo, debido al cambio del pH por las reacciones generadas dentro del sistema. Además, se observa la correlación inversa con respecto al parámetro de pH mencionada anteriormente, específicamente en los aumentos del ORP de los días 2 y 22 (Figura 35.)

Las variaciones están relacionadas con el intercambio de iones que ocurre durante las reacciones estequiométricas físico-químicas, producto de la adición de los reactivos que se utilizaban para dosificar Nitrato y controlar pH del sistema. Por último, el aumento y descenso del pH contribuyeron la variación en las lecturas del potencial Redox del sistema.

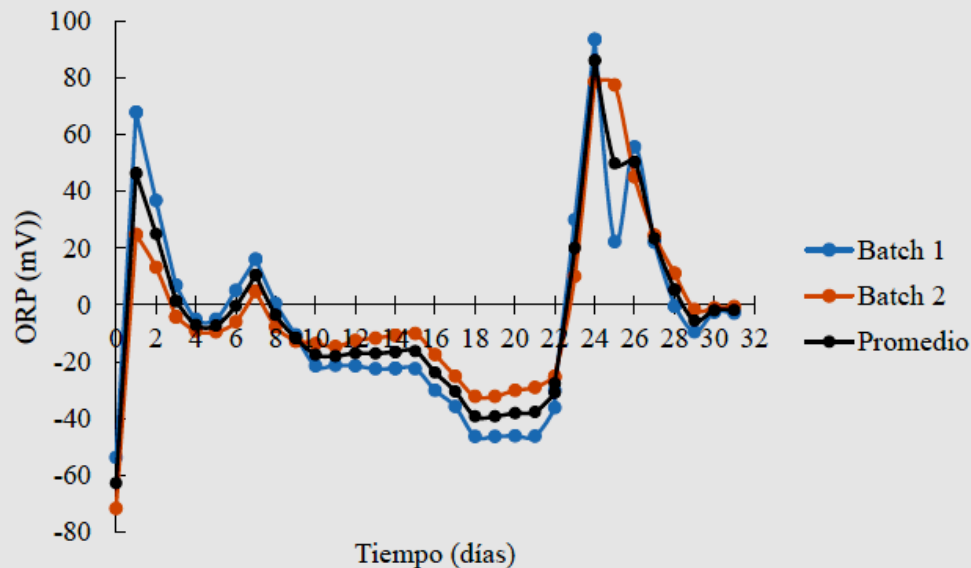


Figura 35. Gráfica del comportamiento del ORP del ensayo de Batch biológico

❖ Oxígeno disuelto (OD)

El oxígeno disuelto es uno de los parámetros de control más importante del proceso de desnitrificación biológica, por lo cual es importante su monitoreo. Para ello se midió el parámetro diariamente, además cuando se le realizaba un cambio al sistema, es decir se le dosificaba Nitrato o se le añadía agua destilada, estos procesos se realizaron constantemente.

El oxígeno dentro de los reactores se mantuvo por debajo de los 2 mg/L, como medida que adoptamos como medio anóxico (Figura 36.). Los aumentos en el oxígeno se deben a la aeración al momento de mezclar los reactivos, y por el oxígeno libre que se encuentra en el agua destilada utilizada para aumentar el volumen de los reactores.

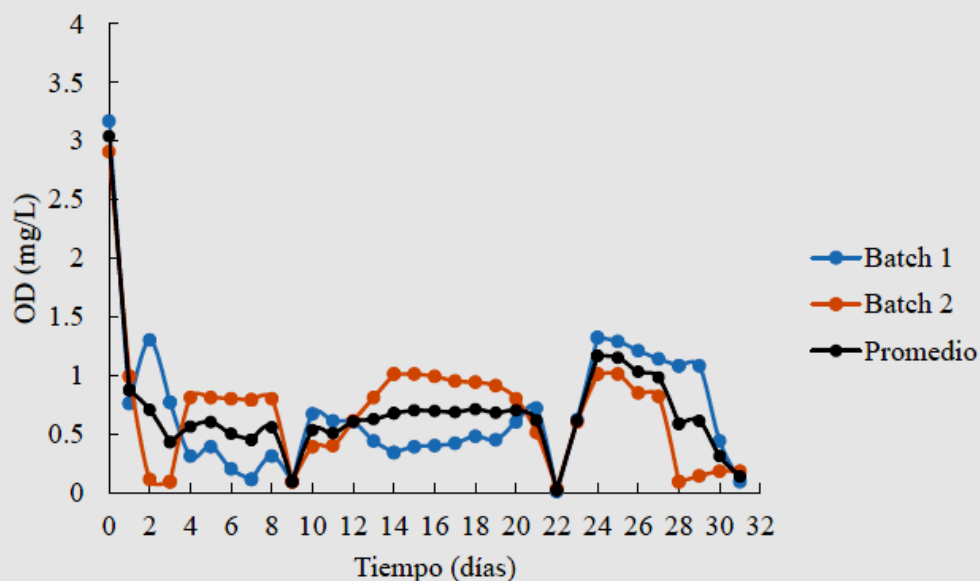


Figura 36. Gráfica del comportamiento del OD del ensayo de Batch biológico

❖ Nitrato (NO_3^-)

Inicialmente se dosificó una concentración alta de Nitrato para que los microorganismos se aclimataron al medio anóxico y consumieran la mayor parte de Nitrato. Se puede observar en la gráfica 39 que al tercer día se redujo la mayor parte del Nitrato, por parte de los microorganismos. A partir, de ese día se estableció a dosificar cada 2 días con una concentración de 100 mg/L (Figura 39.).

Es importante resaltar que el comportamiento de los 2 reactores fue muy similar, lo que permite establecer que el tiempo en que ocurre la reducción de la concentración de 100 mg/L es las 60 horas después de la dosificación. Uno de los aspectos importantes que podemos mencionar, es necesario mantener el medio anóxico lo más cercano a 0 mg/L, debido a que las bacterias consumen el oxígeno disponible primero.

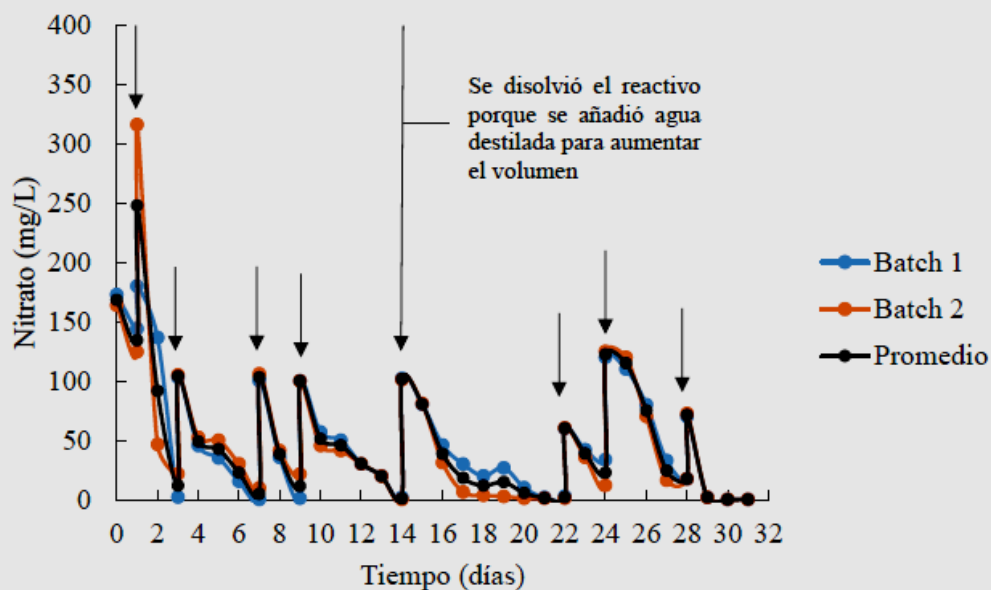


Figura 39. Gráfica del comportamiento del Nitrato del ensayo de Batch biológico

NOTA: Las (↓) indican los días que se dosificó el NO_3^- al sistema dentro del sistema.

❖ Nitrito (NO_2^-)

El Nitrito presentó una concentración muy elevada para el reactor 1, con respecto al segundo al inicio del ensayo. Esta diferencia se debe a la cantidad de Nitrato que se le agregó a cada reactor al momento que se inició la prueba. Al ocurrir la desnitrificación la molécula de Nitrato se separa y se libera Nitrógeno libre (N_2), parte del Nitrógeno se disipa en el medio y el resto reacciona formando radicales de Nitrito. Debido que al reactor Batch2, se le dosificó una concentración en exceso, parte del Nitrato no se liberó y no ocurrió el proceso de nitrificación. Como conclusión podemos decir que la presencia de Nitrito en el sistema se debe a la nitrificación del Nitrato que se le agrega, los valores promedios no sobrepasaron los valores de 2 mg/L, por lo tanto, no hubo una concentración muy alta dentro del sistema, exceptuando 3 picos en la gráfica (Figura 40.)

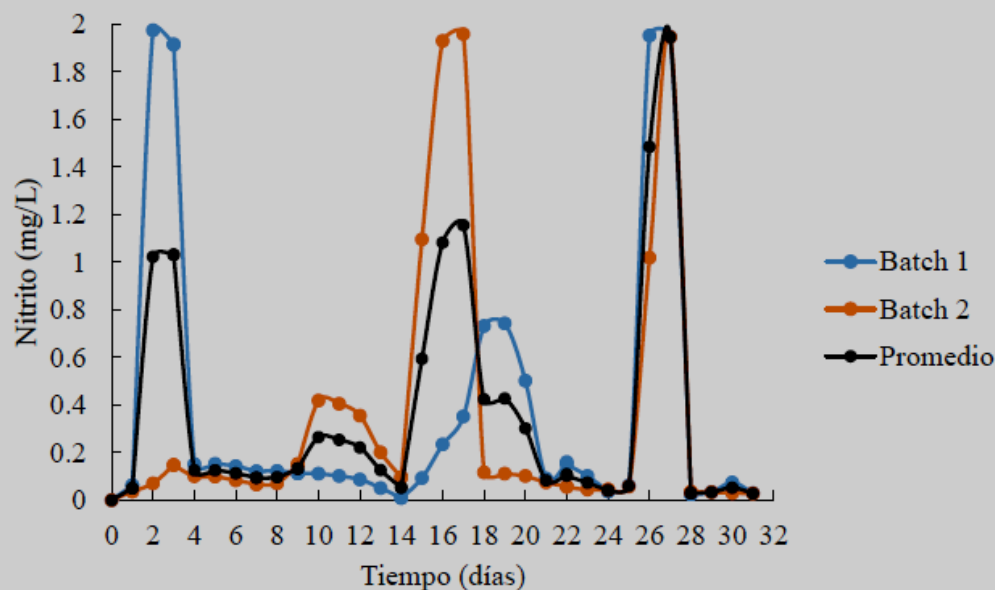


Figura 40. Gráfica del comportamiento del Nitrito del ensayo de Batch biológico

❖ DQO

Inicialmente el comportamiento de la DQO presenta un aumento durante los primeros días de la prueba, esto es producto de la lixiviación del material detrítico, rápidamente es atacada por los microorganismos que aprovechan los sustratos para sus actividades (Figura 41.)

Durante el día 24 se observa un incremento de la DQO esto se debe a que se cambió el agua de los reactores debido a un aumento drástico de la conductividad producto de las sales que se utilizaban para dosificar el sistema. El reactor batch 2 obtuvo un comportamiento distinto, posiblemente la DQO del sistema se diluyó con el agua destilada, producto a los cambios de volumen.

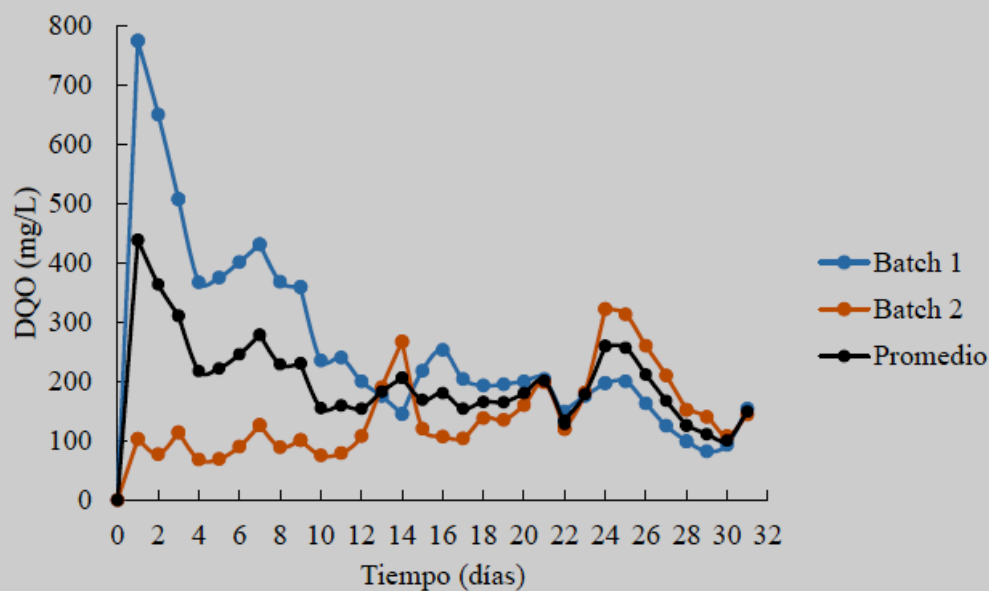


Figura 41. Gráfica del comportamiento del DQO del ensayo de Batch biológico

Tabla 24. Cálculo de la tasa de liberación de carbono utilizando regresión no lineal

por el método de mínimos cuadrados

Tiempo (Días)	Nitrato Consumidos (mg)	DQOc (mg)	DQOc Acumulado (mg)	DQO medida (mg)	Δ DQO	DQO Acumulado TOTAL (mg)	DQO Ajustada (mg)	Error (e-ec)^2
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	19.04025	21.26525	21.26525	212.6725	212.6725	233.93775	68.55469	27351.557
1	19.04025	21.26525	21.26525	212.6725	212.6725	233.93775	68.55469	27351.557
2	77.30075	79.52575	100.791	170.845	-41.8275	271.636	126.97894	20925.666
3	37.689825	39.914825	140.70583	141.2775	-29.5675	281.98333	176.76973	11069.9
3	37.689825	39.914825	140.70583	141.2775	-29.5675	281.98333	176.76973	11069.9
4	25.76	27.985	168.69083	95.7	-45.5775	264.39083	219.20286	2041.9524
5	3.47625	5.70125	174.39208	94.35	-1.35	268.74208	255.36557	178.93098
6	8.75625	10.98125	185.37333	100.655	6.305	286.02833	286.18445	0.0243753
7	7.392869	9.617869	194.99119	110.0075	9.3525	304.99869	312.44918	55.509679
7	7.392869	9.617869	194.99119	110.0075	9.3525	304.99869	312.44918	55.509679
8	26.093	28.318	223.30919	86.83	-23.1775	310.13919	334.83272	609.7701
9	10.505643	12.730643	236.03984	83.95	-2.88	319.98984	353.90861	1150.4829
9	10.505643	12.730643	236.03984	83.95	-2.88	319.98984	353.90861	1150.4829
10	18.5625	20.7875	256.82734	54.25	-29.7	311.07734	370.16562	3491.4248
11	2.628	4.853	261.68034	53.4325	-0.8175	315.11284	384.0203	4748.2387
12	5.6615	7.8865	269.56684	49.28	-4.1525	318.84684	395.82766	5926.0465
13	3.609	5.834	275.40084	55.6625	6.3825	331.06334	405.89022	5599.062
14	5.78525	8.01025	283.41109	59.74	3.02	343.15109	414.46582	5085.7907
14	5.78525	8.01025	283.41109	59.74	3.02	343.15109	414.46582	5085.7907
15	16.955	19.18	302.59109	81.965	22.225	384.55609	421.77418	1385.1868
16	20.996	23.221	325.81209	84.6	2.635	410.41209	428.00258	309.42558
17	9.80945	12.03445	337.84654	70.07	-14.53	407.91654	433.3106	644.8585
18	3.12435	5.34935	343.19589	72.82	2.75	416.01589	437.83424	476.04069
19	1.6612	3.8862	347.08209	70.125	-2.695	417.20709	441.68942	599.38463
20	1.2163	3.4413	350.52339	73.8	3.675	424.32339	444.97491	426.48541
21	1.71095	3.93595	354.45934	79.395	5.595	433.85434	447.7749	193.78202
22	0.27275	2.49775	356.95709	48.64	-18.41	405.59709	450.16113	1985.9536
22	0.27275	2.49775	356.95709	48.64	-18.41	405.59709	450.16113	1985.9536
23	11.28275	13.50775	370.46484	86.33	-37.69	456.79484	452.19474	21.160908
24	8.14975	10.37475	380.83959	121.965	-35.635	502.80459	453.92784	2388.9364
24	8.14975	10.37475	380.83959	121.965	-35.635	502.80459	453.92784	2388.9364
25	5.25	7.475	388.31459	116.7075	-5.2575	505.02209	455.40484	2461.8714
26	19.281	21.506	409.82059	93.06	-23.6475	502.88059	456.66358	2136.012
27	22.6315	24.8565	434.67709	71.1875	-21.8725	505.86459	457.73631	2316.331
28	3.2375	5.4625	440.13959	51.455	-19.7325	491.59459	458.65052	1085.3113
28	3.2375	5.4625	440.13959	51.455	-19.7325	491.59459	458.65052	1085.3113
29	28.54175	30.76675	470.90634	43.845	-7.61	514.75134	459.42964	3060.4898
30	0.69125	2.91625	473.82259	38.19	-5.655	512.01259	460.09363	2695.5781
31	0	2.225	476.04759	54.385	16.195	530.43259	460.6595	4868.2838
TOTAL						460.6595		165462.89

Máximo aporte de DQO acumulado total en masa es:

$$DQO\ acum\ Total = 460.6595\ mg$$

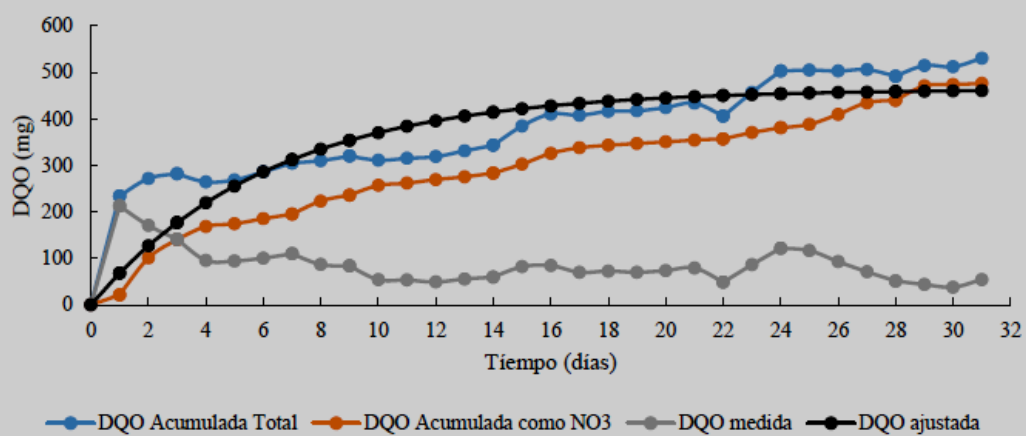


Figura 42. Gráfica del comportamiento de la DQO liberada en el sobrenadante y la DQO acumulada durante el ensayo

Tabla 25. Resultados de los procesos biológicos y evaluación de los reactores

Resultados de la evaluación del ensayo biológico	
Tasa de Desnitrificación	69.60 mg/L*d
Tiempo de Retención	24 días
Máxima DQO liberada	460.66 mg
Tasa de Liberación	0.16 d ⁻¹
Eficiencia de remoción Nitrato	97.54 %

Tabla 26. Máximas tasas de desnitrificación usando Sustratos Sólidos Orgánicos Naturales como donantes de electrones.

Sustratos	Tipo de Sistema	Nitrato (mg N-NO ₃ ⁻ /L)	Tasa de desnitrificación (mg N-NO ₃ ⁻ /L d)	Temp. de ensayos (°C)	Referencias
Paja de trigo	Columna	100	53	25	(Soares & Abeliovich,1998)
<i>Glycyrrhiza glabra</i>	Batch	100	48	20	(Ovez, Ozgen, & Yuksel, 2006a)
Algas marinas	Batch	100	207	20	(Ovez, Mergaert, & Saglam 2006b)
<i>Arunda donax C</i>	Columna	100	102.2	20	(Ovez, Ozgen, & Yuksel, 2006a)
Tusas de maíz	Batch	40	96.42	20	(Simon, 2016)
<i>S. spontaneum.</i>	Batch	100	69.60	20	Este estudio

ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS PARA LA *S. SPONTANEUM*

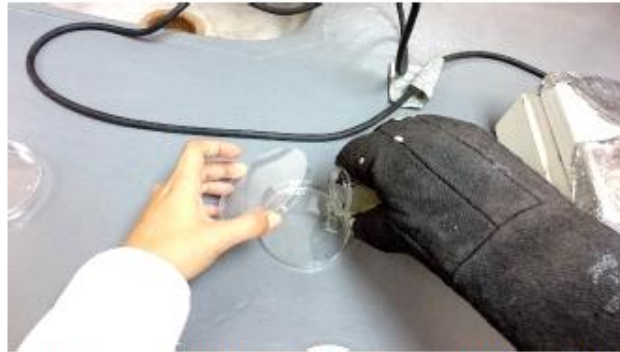


Figura 17. Preparación del Agar para el cultivo de los microorganismos



Figura 18. Reactores biológicos aclimatados



Figura 19. Rotulación de las Placas Petri

4.6. Ensayo microbiológico del material detrítico

El ensayo microbiológico se realizó mediante el método de tinción del Gram, esta una prueba sencilla que permite conocer la forma de la bacteria y el tipo de agrupación. Las bacterias que retienen el colorante cristal violeta se llaman Gram-positivas (morado) y las que cedieron el colorante al alcohol Gram-negativas (rojo).

En el lixiviado preparado con agua destilada y trozos de *S. spontaneum*, se encontraron bacterias del tipo *Streptobacillus* Gram positivos y Gram negativos. Los *streptobacillus* son cadenas de bastones, son unicelulares y su nombre viene del latín *bacillum* que significa bastoncillo. Pueden ser cortos, largos y pleomorficos, con diámetros entre 0.5 y 3 μm y entre 1.5 y 20 μm de largo. (Ayala & Gonzales, 2008)



Figura 43. *Streptobacillus* Gram positivos.
Software Optika View 1



Figura 44. *Streptobacillus* Gram negativos.
Software Optika View 1