

4. DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO

En este capítulo se detallan las características de la planta piloto y las experiencias de funcionamiento de prototipos en condiciones diversas, con aguas residuales domésticas e industriales.

4.1. Especificaciones técnicas

La planta piloto consiste en un tanque cilíndrico con un eje central de acero el cual soporta un medio plástico corrugado. La vista transversal seccional muestra canales internos que están mezclados hexagonalmente con una estructura de panal (Autotrol Corp.). El eje tiene una rotación lenta y los medios plásticos se sumergen en un 35% aproximadamente dentro del nivel del agua residual. El eje está soportado sobre los bordes del tanque por medio de baleros. El tanque está dividido en tres etapas; la primera con 18 discos y las otras dos etapas con 9 discos cada una. Además, está provisto de una cámara de alimentación donde se llenan las cubetas ubicadas sobre los brazos sujetos al eje de rotación. La planta piloto objeto del presente proyecto se muestra en las figuras 4-1 a 4-3

Etapas: 3 con arreglo 2 – 1 – 1

Área superficial: 23 m²

Relación volumen a superficie: 0.005 m³/m² (nominal) con biomasa

Diámetro del disco: 0.5 metros

Número de discos: 18 la primera etapa y 9 cada una de las dos siguientes.

Longitud de cada etapa: 66 cm 1^a etapa y 33 cm cada una de las dos siguientes.

Espesor nominal: 3.05 cm

Capacidad máxima: 6.15 m³/día

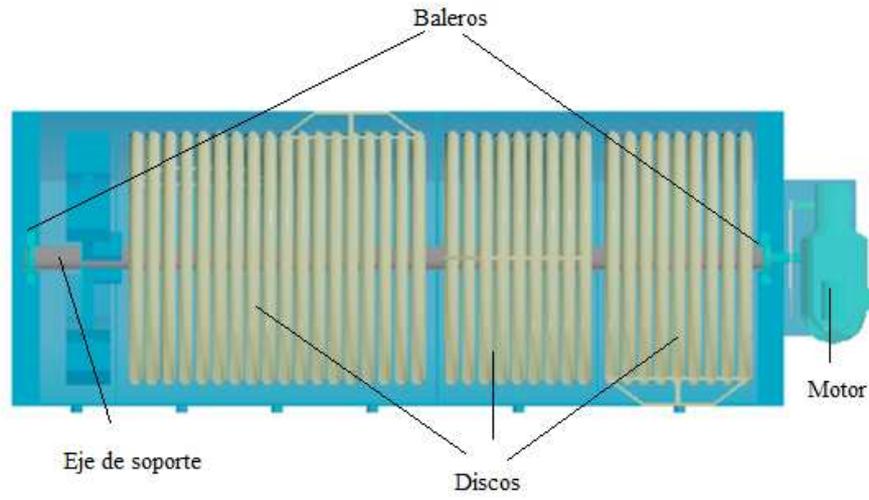


Figura 4-1. Vista en planta del prototipo

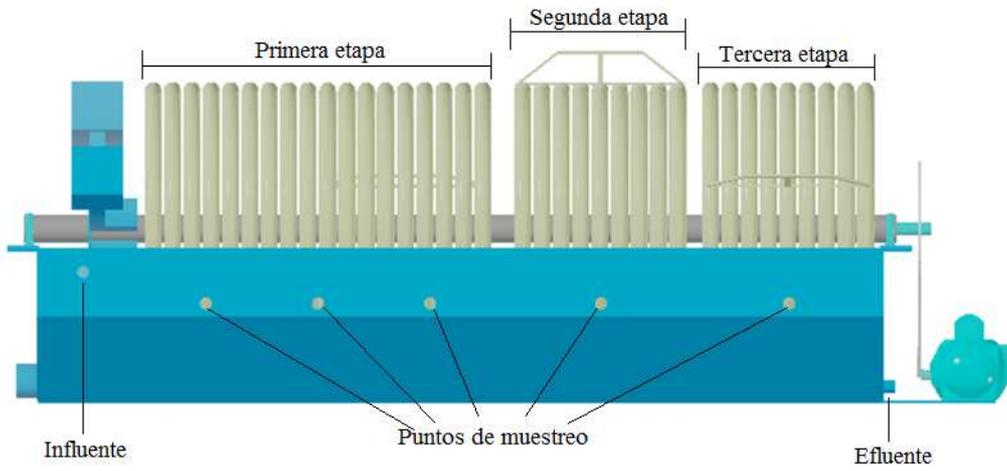


Figura 4-2. Vista lateral derecha del prototipo

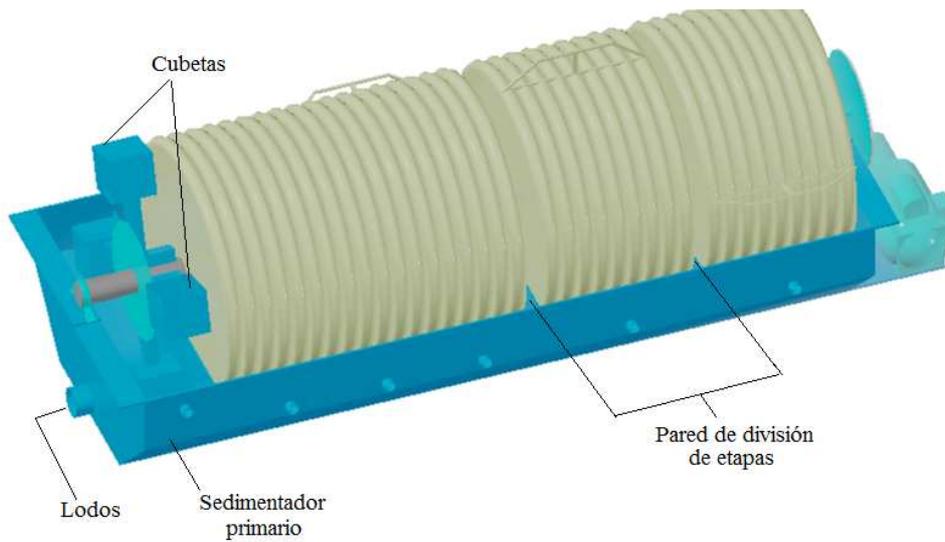


Figura 4-3. Vista en perspectiva del prototipo

Movimiento del Bio-Surf
Motor: Westinghouse
Voltaje: 115 Volts
Potencia: 0.25 HP
Fases: 1
Frecuencia: 60 ciclos
RPM: 1722
RPM de salida: 29.2
Engranaje motriz: 60 dientes
Cadena: RC 35
Revoluciones de la flecha: 7
Velocidad periférica media: 0.86 m/s

4.2. Experiencias reportadas con prototipos similares

En este apartado se incluyen dos casos de operación de plantas piloto con las mismas especificaciones del apartado anterior, pero con objetivos diferentes presentando los resultados y el análisis correspondientes.

4.2.1. Tratamiento de agua de remojo de la cebada por medio de biodisco¹

Entre las principales industrias del país se encuentra la cervecera que tiene como una de sus principales filiales y proveedoras de materia prima a la industria maltera, que es una de las que consume mayor volumen de agua (Landa, 1962). En una de las etapas de producción, la de remojo de la cebada consume cerca del 70% del agua que se utiliza en toda la planta, la cual puede reusarse precisamente para el mismo proceso de remojo, pero también puede utilizarse para lavados de pisos, agua de bombeo, etc.

Objetivos principales

Los objetivos de la operación de la planta piloto de biodisco fueron:

¹ "Tratamiento de agua de remojo de la cebada por medio de biodisco". M.I. Felipe Solorio Perusquia. Facultad de Ingeniería, UNAM 1988

- Evaluar las eficiencias de remoción de materia orgánica (como DBO₅ soluble y total, así como DQO soluble) obtenidas en el tratamiento del agua residual proveniente del remojo de la cebada.
- Comparar las eficiencias obtenidas por medio del biodisco contra otros sistemas de tratamiento biológico, como son los lodos activados y filtros percoladores, en la remoción de estos contaminantes encontrados en las aguas procedentes del remojo de la cebada.

Descripción del experimento

Debido a razones de operación de la fábrica maltera (un turno de 8 horas) el estudio se realizó sobre muestras simples obtenidas entre la 1 y 2 p.m., dos veces por semana, durante 9 semanas.

Los principales parámetros que se determinaron en éste estudio están basados en la periodicidad y frecuencia, siendo éstos: pH, temperatura, OD, DBO₅ total y soluble, DQO soluble, SST y SSV.

Todos los análisis de los parámetros monitoreados se efectuaron de acuerdo con los métodos estandarizados ([Standard Methods, 16ª edición](#)).

Presentación y análisis de resultados

- Comparación de dos procesos biológicos a través de la variación de la concentración de DBO total por etapas.

Tanto en las figuras 4-4 y 4-5 como en la tabla 4-1 se pueden ver la variaciones con el tiempo de DBO₅ totales y solubles en el efluente, en cada una de las etapas así como en el efluente, a lo largo de 67 días de experimentación con el biodisco utilizado.

Tabla 4-1. DBO₅ total y DBO₅ soluble [mg/L]

No.	Influyente		Etapa I		Etapa II		Etapa III		Efluente	
	Total	Soluble	Total	Soluble	Total	Soluble	Total	Soluble	Total	Soluble
1	1250	1100	30	28	24	22	18	18	19	16
2	750	712	30	17	22	10	8	7	8	7
3	1292	1241	31	10	23	23	18	11	15	9
4	1250	1186	32	28	28	26	18	14	12	10
5	1515	1312	37	32	34	30	33	24	21	20
6	1608	1291	23	16	23	20	18	18	17	13
7	1312	633	24	23	28	18	18	14	16	12
8	2203	1874	65	55	48	19	36	18	34	14
9	1900	1600	32	28	28	28	22	20	22	15
10	1830	1722	36	25	32	26	26	23	23	17
11	3800	2000	40	36	28	28	40	28	24	16
12	1638	1438	110	46	27	25	44	37	36	32
13	2800	2400	132	100	100	76	88	64	82	54
14	2178	1900	46	25	32	24	28	18	14	12
15	2051	1800	40	25	39	25	38	30	15	11
16	1500	1250	39	29	36	25	36	27	15	14
17	1874	1621	47	40	25	21	22	20	16	13
18	1200	880	26	20	38	24	12	12	12	10
19	1900	1600	36	30	28	25	24	20	12	10

x	1781.6	1450.5	45.1	32.3	33.8	26.1	28.8	22.3	21.7	16.1
σ	674.4	454.3	28.7	19.5	17.3	12.9	17.5	12.4	16.3	10.6

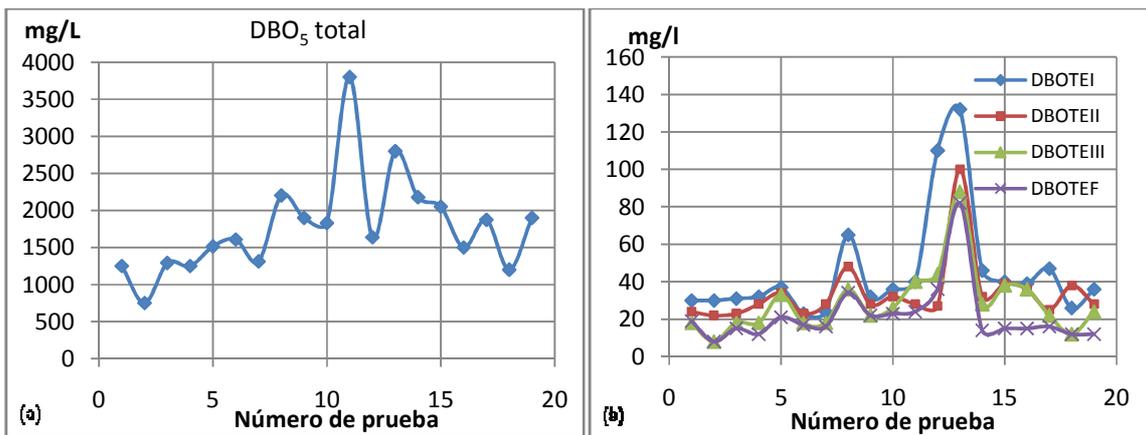


Figura 4-4 Variación de la DBO₅ total con respecto al tiempo. (a) DBO₅ total en el influente, (b) Variación de la DBO total por etapas.

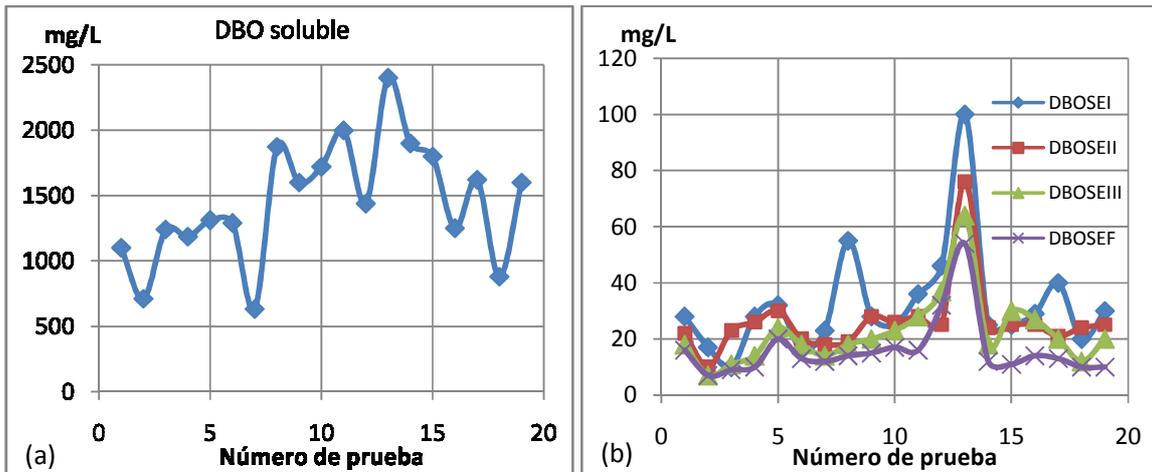


Figura 4-5. Variación de la DBO₅ soluble con respecto al tiempo. (a) DBO₅ soluble en el influente, (b) Variación de la DBO soluble por etapas.

Tabla 4-2. Concentraciones, en [mg/L], de DBO₅ en el tratamiento de agua de remojo por los procesos biológicos y eficiencias de remoción

Muestras	Filtro percolador (Landa, 1962)			Biodisco (Solorio, 1987)		
	Influente	Efluente	Eficiencia	Influente	Efluente	Eficiencia
1	306	127	58.5	1250	18	98.6
2	339	119	64.9	750	8	98.9
3	426	131	69.2	1292	18	98.6
4	401	108	73.1	1250	18	98.6
5	396	99	75.0	1515	33	97.8
6	434	106	75.6	1608	18	98.9
7	520	123	76.3	1312	18	98.6
8	347	87	74.9	2203	36	98.4
9	414	126	69.6	1900	22	98.8
10	684	192	71.9	1830	26	98.6
11	353	86	75.6	3800	40	98.9
12	446	117	73.8	1638	44	97.3
13	462	102	77.9	2800	88	96.9
14	384	123	68.0	2178	28	98.7
15				2051	38	98.1
16				1500	36	97.6
17				1874	22	98.8
18				1200	12	99.0
19				1900	24	98.7

En el trabajo de referencia se menciona que al evaluar y comparar estadísticamente, la confiabilidad de los biodiscos en la remoción de los

sustratos orgánicos contra las eficiencias relativas de los procesos utilizados en el estudio hecho por Landa 1962 con un filtro percolador para el tratamiento de agua de remojo de la cebada se observa la eficiencia de ambos sistemas, quedando el sistema de biodiscos como el más eficiente (tabla 4-2).

- Variaciones en las concentraciones de la DQO en el biodisco.

Del análisis del comportamiento de la DQO en el biodisco (ver tabla 4-3 y figura 4-6), el autor agrega que existe una alta eficiencia también en la remoción de DQO y el comportamiento es parecido a los parámetros anteriores.

Tabla 4-3. Concentraciones, en [mg/L], y eficiencias de remoción, en % de la materia orgánica en el biodisco experimental (Solorio, 1987)

Día	DBO ₅ soluble			DQO soluble		
	Influente	Efluente	Eficiencia	Influente	Efluente	Eficiencia
1	1110	18	98.4	1364	182	86.7
3	712	7	99.0	946	80	91.5
4	1241	11	99.1	1368	331	75.8
8	1186	14	98.8	1324	150	88.7
11	1312	24	98.2	1706	165	90.3
17	1261	18	98.6	2256	212	90.6
18	633	14	97.8	1653	122	92.6
23	1874	18	99.0	2428	182	92.5
31	1600	20	98.8	2160	256	88.1
38	1722	23	98.7	1950	174	91.1
39	2000	28	98.6	2090	128	93.9
44	1438	37	97.4	1845	210	88.6
45	2400	64	97.3	3160	296	90.6
52	1900	18	99.1	3213	255	92.1
53	1800	30	98.3	2300	132	94.3
58	1250	27	97.8	1797	159	91.2
60	1621	20	98.8	1959	212	89.2
66	880	12	98.6	1400	84	94.0
67	1600	20	98.8	2089	185	91.1

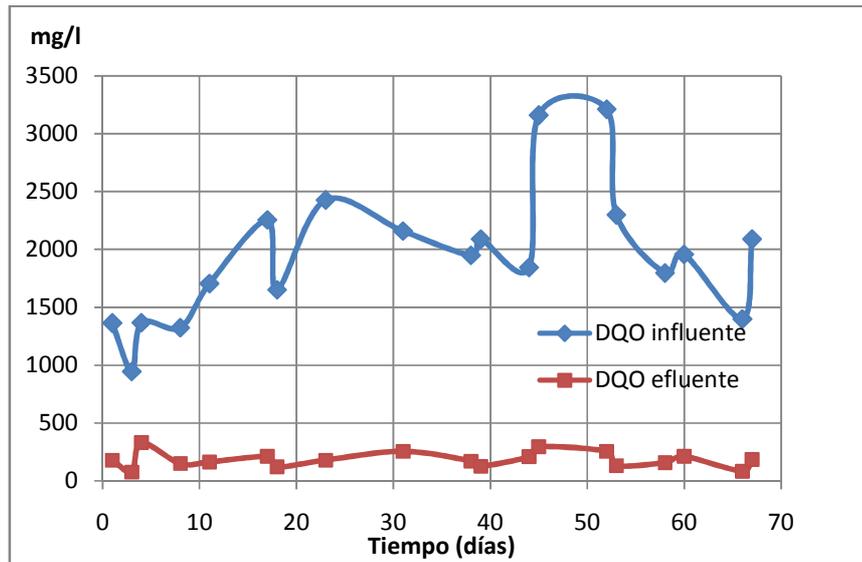


Figura 4-6. Variación de la DQO soluble con respecto al tiempo

- Variaciones en los sólidos suspendidos totales y volátiles en el biodisco.

La tabla 4-4 y la figura 4-7 presentan tanto concentraciones como las variaciones de sólidos suspendidos totales y volátiles a lo largo de los 67 días de experimentación. Basándose en estos datos, el autor hace notar que los parámetros SST y SSV monitoreados en el estudio se mostraron ser muy variables, según se puede observar en la tabla 4-4, pero siempre de una manera aleatoria y no mostrando una tendencia fija.

Tabla 4-4. Concentraciones, en [mg/L], y productividad en % de los sólidos totales y volátiles de operar un biodisco con agua de remojo proveniente del malteo (Solorio, 1987)

Día	SST			SSV		
	Influyente	Efluente	Eficiencia	Influyente	Efluente	Eficiencia
1	340	1128	231.8	230	832	261.7
3	328	1200	265.9	246	920	274.0
4	484	1112	129.8	328	846	157.9
8	560	1200	114.3	460	980	113.0
11	468	1100	135.0	380	868	128.4
17	724	842	16.3	648	728	12.3
18	630	1310	107.9	480	912	90.0
23	840	1030	22.6	580	910	56.9
31	840	1280	52.4	420	800	90.5
38	520	690	32.7	410	570	39.0
39	490	1420	189.8	370	1110	200.0
44	334	630	88.6	210	450	114.3
45	442	1200	171.5	330	880	166.7
52	530	880	66.0	390	730	87.2
53	450	850	88.9	370	660	78.4
58	350	430	22.9	250	430	72.0
60	230	1100	378.3	180	980	444.4
66	290	1140	293.1	196	860	338.8
67	650	1250	92.3	320	860	168.8

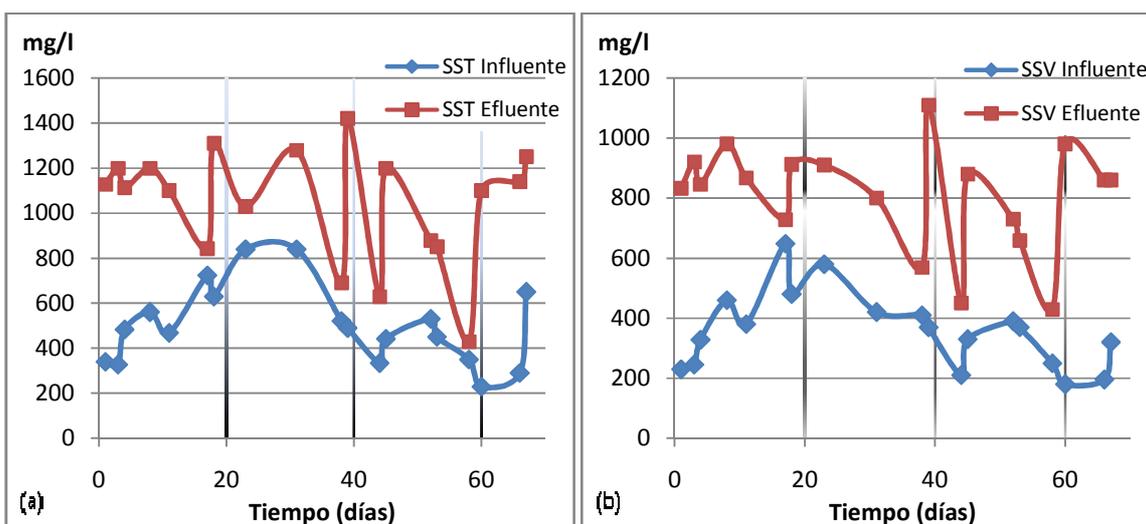


Figura 4-7. (a) Variación de los Sólidos Suspendedos Totales con respecto al tiempo, (b) Variación de los Sólidos Suspendedos Volátiles con respecto al tiempo.

- Variación en el pH y temperatura

Tabla 4-5. Variaciones en el pH y temperatura [°C] durante el tratamiento biológico de las aguas de remojo de la cebada

No.	Influyente		Etapa I		Etapa II		Etapa III		Efluente	
	pH	T	pH	T	pH	T	pH	T	pH	T
1	6.9	22	7.4	20	7.6	20	7.6	19	8.2	21
2	6.8	21	8.7	20	8.8	20	8.8	20	8.8	20
3	6.7	20	8.7	20	8.7	20	8.7	20	8.7	21
4	6.2	20	8.5	19	8.6	19	8.6	19	8.7	20
5	5.8	21	8.7	19	8.8	19	8.9	19	8.8	21
6	6.4	18	8.6	18	8.6	18	8.7	18	8.7	19
7	6.7	24	8.4	19	8.4	19	8.4	19	8.6	20
8	6.2	22	8.4	20	8.5	20	8.5	19	8.6	21
9	6.4	20	8.5	18	8.5	18	8.6	18	-	20
10	6.4	20	8.4	19	8.6	19	8.3	19	-	-
11	6.3	20	8.5	18	8.5	18	8.5	18	8.6	19
12	6.5	20	8.6	18	8.6	18	8.6	18	-	-
13	6.4	17	8.7	18	8.7	17	8.8	17	8.6	18
14	6.4	17	8.2	16	8.2	16	8.2	16	8.6	17
15	5.8	23	8.3	15	8.4	16	8.5	16	-	-
16	-	-	8.2	16	8.2	15	8.3	16	-	-
17	6.3	20	8.2	16	8.3	16	8.3	16	8.5	17
18	6.2	-	8.3	-	8.4	-	8.6	-	8.6	-
19	8.5	11	8.5	11	8.5	11	8.6	-	8.7	-
x	6.5	19.8	8.4	17.8	8.5	17.7	8.5	18.1	8.6	19.5
σ	0.6	2.9	0.3	2.3	0.3	2.3	0.3	1.4	0.1	1.5

La tabla 4-5 incluye los datos referentes al pH y temperatura, tanto en el influente, como en cada una de las etapas y en el efluente; obteniéndose un pH promedio entre 8.41 y 8.62 entre la primera etapa y el efluente. El autor menciona que esta variación se encuentra dentro del rango apropiado para que los microorganismos aerobios cumplan adecuadamente su función (Benfield and Randall, 1980).

Por lo que se refiere a la temperatura, se observa una máxima de 24°C y una mínima de 11°C. Basándose en la bibliografía, el autor expresa que las temperaturas entre 13°C y 32°C no afectan el funcionamiento del sistema

(Antonie, 1976); no obstante, a 11°C no decrece notablemente el metabolismo del sistema biológico.

Conclusiones

Las conclusiones del autor son las siguientes:

Se obtuvieron eficiencias promedios e individuales superiores al 98% en el biodisco utilizado contra 73% en el filtro percolador para DBO₅ total y del 90% de DQO soluble en el biodisco, lo cual demuestra su mejor aplicabilidad a este propósito de tratamiento.

Se reportaron eficiencias de la remoción de DBO₅ similares a las obtenidas en el biodisco objeto de este estudio (Lines, 1974) por el proceso de lodos activados, pero a mayores costos de operación y problemas de producción excesiva de lodos para el tratamiento de aguas de desecho de malterías. En cuanto al empleo de filtros percoladores, además de que se tienen problemas de moscas, recirculación, operación y mantenimiento, entre otras, se obtienen menores eficiencias de remoción de materia orgánica.

El sistema mostró ser muy adecuado para el tratamiento de aguas de remojo de la cebada con tiempos de retención de hasta 24 horas, velocidades de rotación de 7 rpm, 40% de sumergencia de los discos y 23 m² de área superficial de contacto.

Según los criterios de Montgomery, los datos de eficiencia de remoción de sustratos orgánicos solubles fueron, para el biodisco, de una mejor calidad de control estadístico, que para un filtro percolador tratando las mismas aguas residuales de remojo

4.2.2. Uso de tecnología adecuada en un contactor biológico rotatorio para el tratamiento de aguas residuales²

En este estudio se presentan los resultados de una investigación experimental mediante a un modelo dinámico. Este modelo describe la remoción de sustratos usando un balance de materia sobre el canal y la película líquida, y difusión de sustrato y oxígeno en la película microbiana cuando se sumerge en aguas residuales y se expone al aire. Las predicciones del modelo son discutidas y comparadas con datos obtenidos del estudio de una planta piloto en UCLA.

Objetivos principales

Los objetivos de este documento fueron los siguientes:

- Desarrollar y evaluar un modelo matemático que describe el funcionamiento de un biodisco en el tratamiento de aguas residuales domésticas.
- Comparar y evaluar la eficiencia de un sistema de tratamiento CBR con otro tipo de sistemas.

Descripción del experimento

Según el autor la planta piloto de biodiscos fue adquirida a Autotrol Corporation en Milwaukee, Wisconsin en junio de 1978 siendo de características semejantes al descrito anteriormente, sólo para este estudio el biodisco cuenta con cuatro etapas de 9 discos cada una.

El autor menciona también que antes de empezar con la recolección de datos, se dejó funcionar el biodisco durante tres semanas para asegurarse de que el crecimiento de los microorganismos en los discos fuera estable. Después de este tiempo, la primera etapa fue completamente cubierta por una capa de biopelícula café y el efluente era claro. La recolección de datos empezó al principio de la cuarta semana, sin embargo, la biopelícula comenzó a

²"Use of the Rotating Biological Contactor for Appropriate Technology Wastewater Treatment". Rex T. Chan & Michael K. Stenstrom. University of California, Los Angeles 1979

desprenderse. El color de la biopelícula era cada vez más claro, y después de pocos días, sólo una delgada capa se encontraba en los discos. Después de contactar al Departamento de Recreación Universitaria, se encontró que la alberca universitaria fue drenada debido a que muchos nadadores tenían alguna infección en los ojos, lo cual indicaba una contaminación de la alberca. Se llegó a la conclusión de que la alteración en el biodisco fue debido a la mezcla de la gran cantidad de cloro contenida en la alberca con el agua residual usada en la investigación. Esto llevó a comenzar desde el principio, posponiendo la recolección de datos dos semanas, hasta que se tuviera una biopelícula más gruesa en los discos. En la sexta semana se comenzó con las pruebas. Se recolectaron distintos tipos de datos en este experimento. La información sobre amoníaco, pH y nitrato fue recaudada 5 días a la semana; DBO₅, DQO y SST 2 días a la semana; nitrato y fosfato sólo se encontró suficiente recolectarlo 2 veces. La temperatura se mantuvo entre los 13°C y 30°C durante todo el experimento.

Para la DBO₅ se usó un instrumento desarrollado por Yellow Spring para medir el oxígeno disuelto (OD) inicial y final. Antes de cada medición, el instrumento era calibrado con agua oxigenada y el OD se encontró usando el método de Winkler (Standard Methods).

Para el pH se usó un potenciómetro modelo Corning 12, para el amoníaco y nitrato se utilizó un Orion Research 407A con un electrodo específico de iones, para DQO, se usó el método de dicromato de potasio (Método 508), para SST (Método 208A), para el nitrato se usó el método calorimétrico (Método 420) y para el fosfato se utilizó el método de cloruro de estaño (Método 425C III y 425E).

Presentación y análisis de resultados

Los estudios se llevaron a cabo a lo largo de tres meses en la planta piloto, algunos de los parámetros medidos fueron los siguientes:

- Demanda bioquímica de oxígeno, DBO₅ (Figura 4-8)
- Demanda química de oxígeno, DQO (Figura 4-9)
- Sólidos suspendidos totales, SST (Figura 4-10)
- Amoníaco-nitrógeno, NH₄-N (Figura 4-11)

- pH (Figura 4-12)
- Nitrito-nitrógeno, NO₃-N (Figura 4-13)

Las pruebas del influente fueron tomadas desde el tanque de agua residual proveniente del alcantarillado del boulevard Westwood en el campus de UCLA. El tanque se usó como un sedimentador primario con el fin de asegurar que todos los sólidos grandes se encuentren al fondo del tanque. Las muestras de las etapas fueron recolectadas desde el biodisco. Con el fin de estudiar el efecto de clarificación del efluente del biodisco se usó un embudo de 8'' de diámetro como clarificador.

La DBO₅ fue medida dos veces a la semana, se usó la misma muestra para la determinación de la DQO y SST. La DBO₅ en el influente tuvo un valor promedio de 150 mg/l que se considera un valor bajo en aguas residuales domésticas. La concentración de DBO₅ en la primera etapa tuvo un valor promedio de 30 mg/l, indicando una reducción del 80%, la concentración de DBO₅ posteriores fueron 15 mg/l, 10 mg/l, 7 mg/l y 3 mg/l, obtenidos en las etapas segunda, tercera, cuarta y en el efluente respectivamente. Ya que la tasa de carga fue baja el sistema tuvo sustrato limitado y no se pudo desarrollar la biopelícula completamente en las etapas finales. La tasa de carga fue de 1 galón/hora/ft² (0.0407 m³/hora/m²), con un tiempo de retención de 37 horas, ya que el biodisco tenía un volumen total de 37 galones (0.140 m³).

Tabla 4-6. Concentraciones de DBO₅ (mg/L) en diversos puntos del sistema

Días	Influente	Etapas I	Etapas II	Etapas III	Etapas IV	Efluente clarificado
1	51.0	24.0	23.0	18.7	11.7	10.0
7	185.0	29.5	19.1	14.8	12.6	6.8
9	129.2	36.1	29.9	22.5	13.0	7.9
14	180.1	34.6	21.3	15.1	7.0	4.2
16	147.5	47.6	28.6	18.2	13.5	4.3
21	176.1	33.7	22.4	12.9	11.4	3.3
23	119.9	28.3	23.8	13.9	12.2	1.5
28	148.6	43.4	23.7	18.3	8.9	2.2
30	240.0	46.1	20.9	12.9	8.0	1.6
34	93.4	31.3	19.2	13.0	7.0	1.3
42	114.7	16.3	8.4	5.5	4.1	1.1

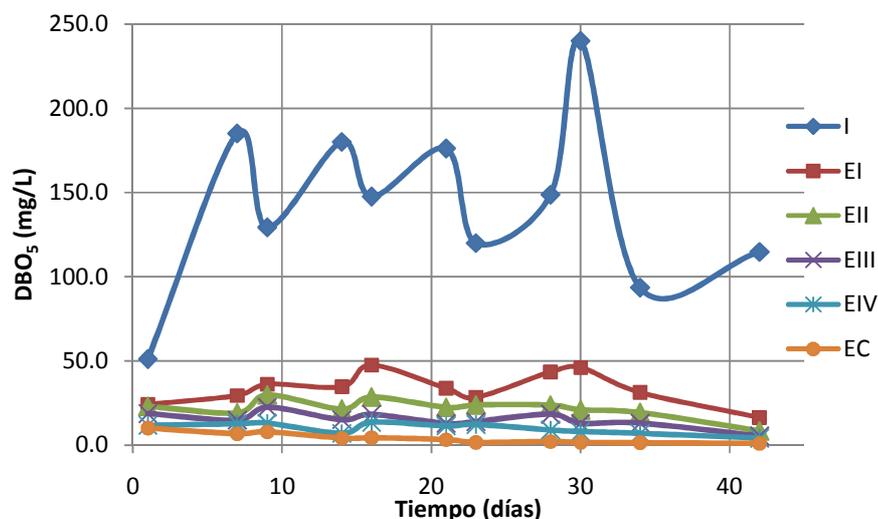


Figura 4-8. Concentración de DBO₅ en varias etapas con respecto al tiempo.

Las pruebas de DQO fueron obtenidas de las mismas muestras que las de DBO₅, comúnmente las muestras fueron almacenadas en un refrigerador por un día debido a que no se contaba con el tiempo suficiente para realizar ambas pruebas el mismo día. Se recolectó información de la DQO en el influente, efluente, efluente clarificado y efluente soluble, con el fin de comparar con los datos de DBO₅. Si existe una relación entre estos dos parámetros, es posible sólo recolectar información de la DQO y estimar la DBO₅ de ésta, lo que ahorraría el tiempo largo de prueba de la última. En este caso, la relación DQO/DBO₅ varía entre 1.5 y 2.5.

Tabla 4-7. Concentraciones de DQO (mg/L) a la entrada y salida del sistema

Días	Influente	Efluente		
		Total	Clarificado	Soluble
5	350.0	89.3	46.3	17.9
7	387.0	79.4	25.8	13.9
9	231.2	86.8	37.7	24.5
14	402.0	57.0	38.0	24.7
16	300.0	86.8	37.7	26.4
21	429.1	39.4	27.6	19.7
23	261.7	85.2	36.5	24.3
28	310.1	59.1	39.4	23.6
30	396.3	51.6	27.5	20.5
34	159.5	38.9	3.9	3.0
42	264.7	33.1	13.6	13.6

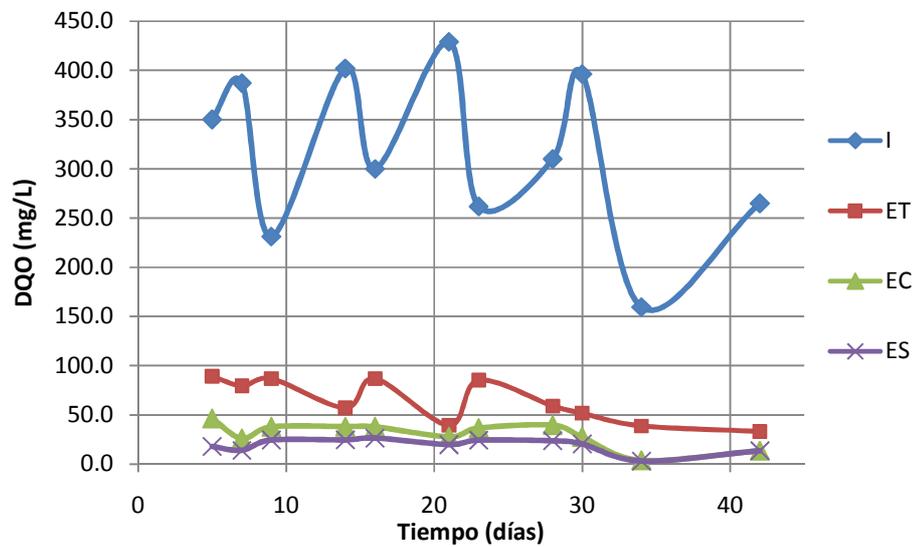


Figura 4-9. Variación de concentración de DQO en varias etapas con respecto al tiempo

Con respecto a los SST se encontró que el biodisco redujo desde una concentración promedio de 73 mg/l hasta 32 mg/l, representando una reducción del 56%. Esta reducción de sólidos presenta una ventaja ya que el manejo de lodos es muy costoso. Las pruebas también se hicieron en el efluente clarificado una hora después de que sedimentara y se encontró que el 98% de los sólidos e habían precipitado, dejando sólo de 1% a 2% de sólidos, con una concentración promedio de 5.4 mg/l suspendidos en el efluente.

Tabla 4-8. Concentraciones de SST (mg/L) en dos puntos del sistema

Días	Influente	Efluente	
		Total	Clarificado
5	49.7	51.8	23.5
16	90.0	55.5	2.3
21	93.9	26.5	6.1
22	78.0	40.8	4.5
28	88.5	29.5	2.1
29	70.9	27.2	4.3
30	80.6	25.9	2.9
34	53.7	21.5	1.5
42	54.1	9.6	1.1

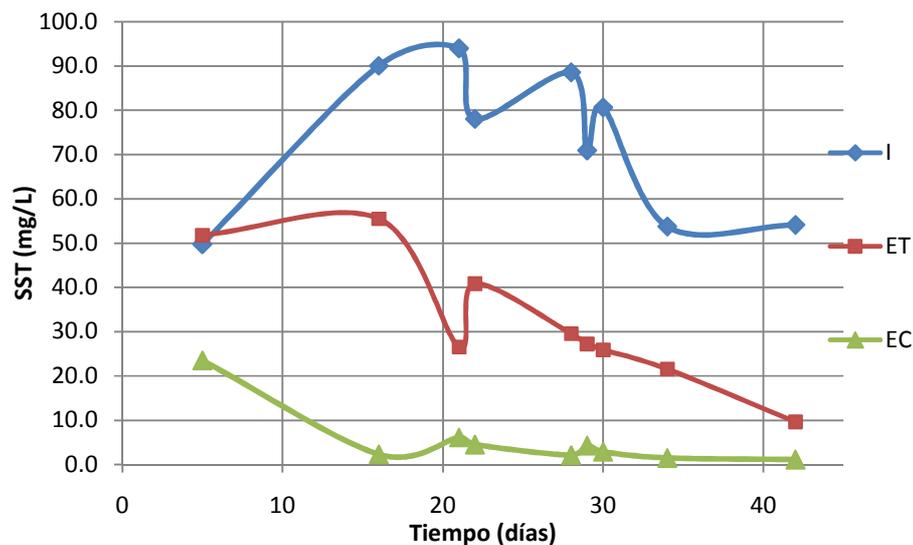


Figura 4-10. Concentración de SST en varias etapas con respecto al tiempo

La información obtenida sobre el amoníaco-nitrógeno y nitrato-nitrógeno muestra que el agua residual contiene grandes cantidades de nitrógeno orgánico. El amoníaco-nitrógeno tuvo un incremento de más del 100% después de que el agua residual estuviera en el tanque por 23 horas. Durante ese tiempo, el nitrógeno orgánico se transformó en amoníaco-nitrógeno anaerobiamente debido a la falta de oxígeno. En el biodisco, la nitrificación fue completa después de la primera etapa. La concentración de nitrato-nitrógeno se mantuvo casi igual a través del resto de las etapas. Cuando el amoníaco fue nitrificado a nitrato, iones de hidrógeno fueron emitidos al cuerpo líquido, bajando así el pH del mismo. En este experimento el agua residual tuvo una concentración alta de amoníaco, por lo que el control de pH se basó en evitar el descenso de pH en el efluente por debajo de 6 (pH mínimo para descargas) usando carbonato de sodio como regulador de pH.

Tabla 4-9. Concentraciones de NH₄-N (mg/L) en varios puntos del sistema

Días	Influente	Etapa I	Etapa II	Etapa III	Etapa IV
1	15.98	4.00	0.20	0.20	0.20
4	31.71	4.94	3.62	2.26	2.02
5	18.45	0.99	0.20	0.20	2.20
6	39.04	2.85	1.62	1.55	1.40
8	24.54	0.74	0.20	0.20	0.20
9	42.74	1.32	0.20	0.20	0.20
12	25.20	1.40	0.20	0.20	0.20
13	35.25	1.33	0.20	0.20	0.20
14	32.94	1.73	0.20	0.20	0.20
15	44.14	2.64	0.20	0.20	0.20
16	43.65	4.20	0.49	0.20	0.20
21	37.55	9.55	1.40	0.20	0.20
22	34.01	0.99	0.20	0.20	0.20
23	38.05	1.15	0.20	0.20	0.20
26	20.75	0.58	0.20	0.20	0.20
27	45.54	7.41	4.04	1.07	0.20
28	44.80	1.24	0.20	0.20	0.20
29	30.39	0.58	0.20	0.20	0.20
30	36.81	1.04	0.20	0.20	0.20
33	46.28	1.03	0.20	0.20	0.20
34	49.00	1.82	0.20	0.20	0.20
35	33.60	2.55	0.33	0.20	0.20
40	20.01	1.56	0.20	0.20	0.20
41	32.45	0.96	0.20	0.20	0.20
42	28.00	2.59	0.38	0.20	0.20

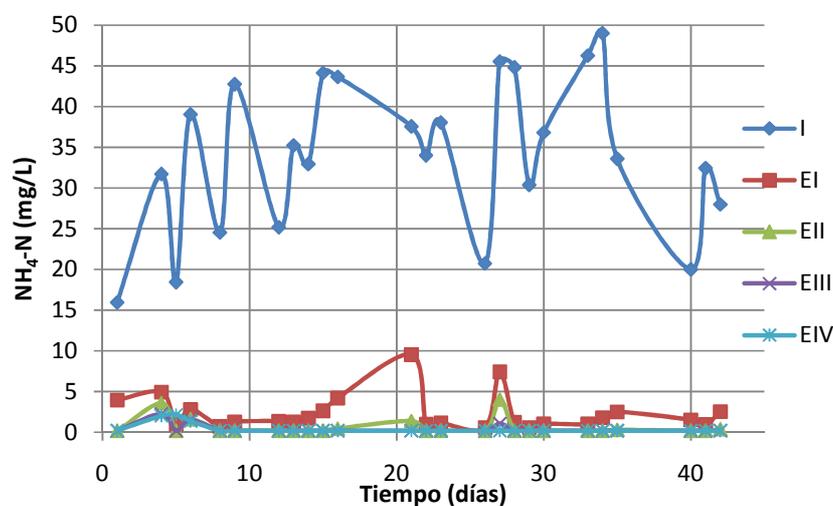


Figura 4-11. Concentración de NH₄-N en varias etapas con respecto al tiempo

Tabla 4-10. Valores de pH

pH	Influente	Etapa I	Etapa II	Etapa III	Etapa IV
1	8.45	7.15	6.68	5.72	5.45
4	7.10	6.70	5.80	5.30	5.28
5	7.65	6.85	6.30	5.55	5.25
6	7.40	6.80	6.20	5.60	5.10
8	7.30	7.77	8.30	8.40	8.39
9	8.30	7.40	7.85	8.05	8.10
12	7.84	7.63	8.09	8.19	8.21
13	8.40	7.61	8.03	8.25	8.19
14	7.62	7.19	7.28	7.76	7.92
15	7.52	6.78	6.71	7.03	7.30
16	8.41	6.88	6.67	6.97	6.99
21	8.10	7.53	7.35	7.62	7.82
22	6.96	7.23	7.61	7.84	7.84
23	8.12	7.31	7.75	7.88	7.84
26	7.25	7.31	7.55	7.66	7.71
27	8.19	6.80	6.24	6.26	7.36
28	7.64	8.17	8.16	7.89	7.84
29	7.84	7.36	7.89	8.09	8.10
30	8.28	6.50	6.70	7.53	7.84
33	8.28	6.55	7.27	7.61	7.55
34	8.61	7.08	7.78	7.89	7.75
35	7.97	6.44	6.75	7.27	7.56
40	8.17	7.42	8.09	8.14	8.06
41	8.36	6.58	7.74	8.08	8.14
42	7.88	6.17	6.24	7.15	7.61

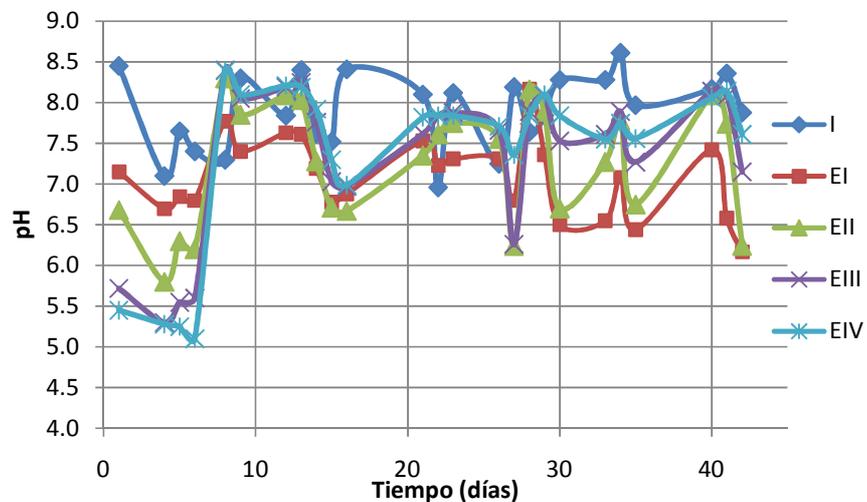


Figura 4-12. Valores de pH registrados a lo largo del experimento

Tabla 4-11. Concentraciones de NO₃-N (mg/L)

Días	Influyente	Etapa I	Etapa II	Etapa III	Etapa IV
1	0.65	29.49	32.00	32.00	32.00
4	0.20	4.97	5.53	5.65	5.76
5	0.34	22.83	30.01	34.30	36.83
6	0.20	37.51	42.99	42.99	41.01
8	0.86	28.70	37.53	38.07	41.30
9	2.08	39.47	42.27	39.47	38.50
12	0.56	25.63	30.10	31.77	34.44
13	0.88	33.87	34.73	33.87	33.33
14	3.16	32.90	37.10	37.10	38.07
15	3.30	39.20	43.40	42.00	40.60
16	2.60	42.00	49.70	49.00	46.47
21	0.72	43.13	42.70	42.70	42.70
22	0.68	36.13	40.17	41.57	43.67
23	0.86	38.03	42.70	42.70	43.67
26	0.59	21.84	26.60	31.50	34.30
27	0.65	36.40	39.90	37.53	34.73
28	0.75	45.07	50.13	49.70	47.33
29	0.54	37.10	43.40	49.00	51.80
30	0.50	39.90	45.50	46.20	48.30
33	1.13	50.40	51.10	51.10	51.10
34	0.77	51.10	55.30	54.60	53.90
35	0.63	39.47	44.80	49.70	53.76
40	0.88	24.93	24.93	28.00	30.80
41	0.65	46.90	49.70	42.70	36.13
42	0.77	38.64	43.40	46.90	46.90

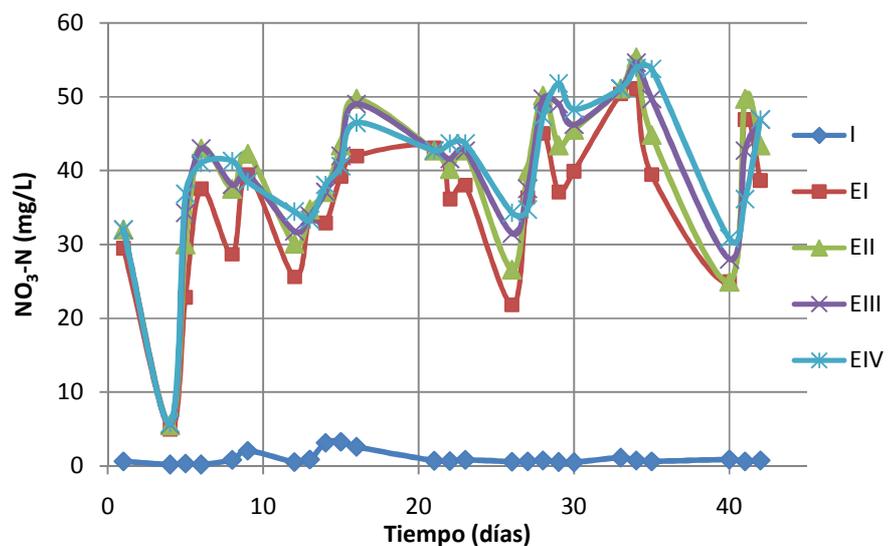


Figura 4-13. Concentración de NO₃-N en varias etapas con respecto al tiempo

En lo que se refiere al análisis de nitrito-nitrógeno el autor encontró que sólo había una cantidad pequeña presente en la primera etapa del biodisco, para el resto de las etapas era casi inexistente.

La prueba de oxígeno disuelto se realizó dos veces para determinar cuánto oxígeno se encontraba presente en las diferentes etapas. El promedio de la concentración de oxígeno en la primera etapa fue de 6 mg/l, para las etapas restantes los valores estaban en el rango de 8 mg/l y 9 mg/l.

El rango de la temperatura ambiente fue entre 22°C y 27°C, mientras que la temperatura del biodisco fue entre 16°C y 19°C, esta reducción de temperatura fue debido a la evaporación del agua en el biodisco.

Conclusiones de las pruebas en el prototipo

El sistema de biodiscos es un eficiente método para el tratamiento de aguas residuales debido a su simplicidad en la operación y mantenimiento, bajo consumo de energía, capacidad de soportar cargas tóxicas instantáneas, libre de olores y buenas características de lodos.

La energía de consumo de un biodisco es igual o menor que la aereación de las plantas de lodos activados, y requiere menor mantenimiento y conocimientos de operación.

Para una planta de tratamiento pequeña, el costo capital del biodisco es menor que una planta de lodos activados; por tanto, el sistema de biodiscos presenta un ahorro para pequeñas comunidades.

Según el autor el modelo matemático desarrollado en su documento demostró ser bastante exitoso. Dicho modelo no es objeto de estudio de este trabajo, por lo que nos limitaremos a presentar las conclusiones del mismo con respecto a esto.

Debido a las bajas tasas de carga del agua residual, la biopelícula se desarrolló sólo en la primera etapa, por lo que sólo se utilizó la información de ésta para compararla con el modelo. La reducción de la carga inicial del influente de DBO₅ de 250 mg/l fue prevista por el programa a 49 mg/l, una reducción del 84%. El valor promedio de DBO₅ en la primera etapa en los 42 días fue de 33.7 mg/l, con una reducción del 86.5%. La diferencia entre el valor experimental y el matemático fue de 2.5%. Debido a que no se cuenta con otras tasas de carga no fue posible verificar el modelo variando este parámetro.