



Aplicación Exitosa de la Bioaumentación para Reducir la Generación de Lodo Residual en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales y Digestores Anaeróbicos

Autor: Mark J. Krupka, Ecological Laboratories, Inc.

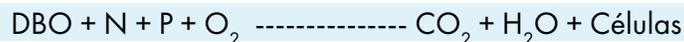
Resumen: Uno de los mayores costos asociados con la operación del tratamiento biológico de aguas residuales es el manejo y la eliminación de lodos residuales que se producen principalmente a partir de la conversión de orgánicos solubles, medida por DBO/DQO, ya sea en dióxido de carbono (aeróbico) o metano (anaeróbico), agua y células bacterianas. A menudo, el lodo generado en cualquiera de estos procesos puede tratarse posteriormente en un digestor para reducir el volumen de sólidos volátiles en suspensión (VSS) para luego ser descartado. La bioaumentación con ciertos consorcios bacterianos ha demostrado reducir la generación de sólidos tanto en procesos aeróbico como anaeróbicos de las aguas residuales mediante la disminución del coeficiente de rendimiento (γ), así como potenciando la eficiencia de los digestores diseñados para reducir el volumen de sólidos para luego ser descartados.

Este artículo detallará el uso de **MICROBE-LIFT®/IND**, un producto bacteriano líquido, el cual ha demostrado reducir la generación de lodo residual en: sistemas biológicos aeróbicos de aguas residuales en Austria y Países Bajos; y a mejorar la eficiencia de digestores anaeróbicos en Corea, Israel y Colombia. La reducción de lodo que se observó en todas las aplicaciones es del 15% hasta casi el 40%. En algunos casos, la mejora en la eficiencia del sistema conllevó a ahorros significativos en el manejo del lodo, el uso de químicos y costos de eliminación del lodo, los cuales exceden el costo de la bioaumentación. Además de presentar datos estadísticos, este artículo también propone mecanismos bioquímicos que demuestran cómo se alcanzaron estos resultados mediante un análisis de procesos bioquímicos en cada sistema.

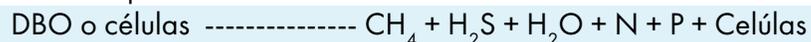
Palabras Claves: Tratamiento biológico aeróbico, tratamiento biológico anaeróbico, digestor anaeróbico, bioaumentación, costos de manejo y eliminación de lodo y reducción de lodo.

Contexto: Desde el desarrollo del proceso de lodo activado, los sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales se han convertido en una forma predominante de tratamiento secundario para la eliminación de orgánicos disueltos. La razón principal detrás de esto es el hecho que estos sistemas por lo general son la forma más económica para tratar grandes cantidades de agua contaminada en cuanto a la eliminación de orgánicos.

En procesos biológicos aeróbicos, los orgánicos disueltos se convierten en dióxido de carbono, agua y células bacterianas, según la siguiente ecuación:



Or, in anaerobic processes:



El exceso de células producidas es el componente principal del lodo residual, el cual debe descartarse. Se han diseñado varios procesos para reducir la cantidad de lodo a descartar, mediante la degradación o digestión del lodo y el incremento del peso sólido seco del lodo para reducir aún más el volumen de lodo que debe descartarse. Muy poca atención se le ha prestado al potencial de manipular las características de la biomasa para reducir la cantidad de lodo producido para arrancar o mejorar la eficiencia de los digestores.

Aplicación Exitosa de la Bioaumentación para Reducir la Generación de Lodo Residual en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales y Digestores Anaeróbicos

Se realizaron estudios piloto en reactores de 5,000 litros que quedaron del diseño original de los digestores. Dado los resultados alentadores de las pruebas piloto, más adelante se realizaron pruebas experimentales en campo. En base a resultados exitosos en Busan, se realizaron pruebas experimentales similares en Colombia y Hod Hasharon, así como también en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en Jerusalén, Israel. En otra aplicación del producto en Deutsch Wagram, Austria en 1998, el programa de bioaumentación redujo malos olores, mejoró la degradación de aceites y grasas y redujo la cantidad de lodo residual generado por la planta. En base al éxito en Deutsch Wagram, se realizó una prueba experimental en la planta municipal de tratamiento en Zutphen, Países Bajos.

Ciudad de Busan

En las pruebas piloto para la ciudad de Busan, se observó una mejora del 20% en la reducción de VSS. En base a estos resultados, se aumentaron los reactores a escala completa:

Programa de Aplicación de MICROBE-LIFT®/IND

Día	Tanque 1	Tanque 2	Tanque 3	Tanque 4	Total
1	6 gal.	4 gal.	3 gal.	4 gal.	17 gal.
4	6 gal.	4 gal.	3 gal.	4 gal.	17 gal.
7	3 gal.	2 gal.	1.5 gal.	2 gal.	8.5 gal.
10	3 gal.	2 gal.	1.5 gal.	2 gal.	8.5 gal.
13	3 gal.	2 gal.	1.5 gal.	2 gal.	8.5 gal.
16	3 gal.	2 gal.	.5 gal.	2 gal.	8.5 gal.
19	3 gal.	2 gal.	1.5 gal.	2 gal.	8.5 gal.
22	3 gal.	2 gal.	1.5 gal.	2 gal.	8.5 gal.
25	3 gal.	2 gal.	1.5 gal.	2 gal.	8.5 gal.
28	3 gal.	2 gal.	1.5 gal.	2 gal.	8.5 gal.
31	3 gal.	2 gal.	1.5 gal.	2 gal.	8.5 gal.
34	3 gal.	2 gal.	1.5 gal.	2 gal.	8.5 gal.
Mantenimiento (2 veces por semana)	1.5 gal.	1 gal.	0.5 gal.	1 gal.	

Total de los primeros 37 días = 127½ galones
Mantenimiento Anual: = 416 galones

Resultados Obtenidos:

Al cabo de los 90 días, la reducción de VSS paso de una eficiencia del 70% a una eficiencia del 130%. La planta ha continuado utilizando el producto con la excepción de un año durante el cual se utilizó un producto alternativo de un proveedor japonés y la eficiencia de la planta para reducir VSS regresó al 70% de su capacidad al igual como se encontraba antes de utilizar la bioaumentación con MICROBE-LIFT®/IND. El siguiente año volvieron a utilizar MICROBE-LIFT®/IND, y los digestores regresaron con la reducción de VSS del 130%, misma que se observó la primera vez que utilizaron MICROBE-LIFT®/IND.

Contexto:

Deutsch Wagram

Las aguas residuales que ingresan al tanque se bombean al nivel del alcantarillado y pasan por un filtro de rejilla. Un raspador mecánico remueve materia gruesa del agua residual. Luego, las aguas residuales fluyen a través de un cilindro que quita la gravilla donde se separan los componentes granulares. Mediante una estructura distribuidora, el agua residual prelavada ingresa al tanque de lodo activado con una capacidad de 1440 m³. El proceso de lodo activado realiza el tratamiento biológico. Para cubrir la demanda de oxígeno, aireadores de rotor de jaula suministran aire al agua residual. En el tanque de sedimentación secundaria, con capacidad de 2.300 m³, el lodo se asienta y se separa del agua residual, recibe un tratamiento biológico y luego se descarga a las aguas receptoras (Rußbach). El lodo decantado entra a la estación de la bomba recicladora de lodo a través de una tubería con sifón. Bombas de tornillo bombean el lodo de regreso al tanque de lodo activado.

El tanque de lodo activado está diseñado para una población equivalente a 6,000, sin embargo, el mismo tanque trata la cantidad de agua de una población equivalente a 8,200. La limpieza química se realiza al agregar sales de hierro para precipitar el fósforo del agua residual y se remueve con el exceso de lodo del proceso. Se pueden remover los nitratos (desnitrificación) del agua residual a un alto nivel de eficiencia cuando se opera bajo ese objetivo. El lodo se espesa en un tanque de almacenamiento de lodo y el licor de aguas residuales se bombea de regreso al tanque de suministro. El lodo espesado ya sea que se utiliza directamente para fines agrícolas o el granulado de lodo se esparce en los campos después de extraer el agua con una prensa de lodo.

La planta la opera una empresa de operación y mantenimiento de los Países Bajos. La planta está ubicada cerca de un área residencial y ha tenido problemas regulares con malos olores, acumulación de aceites y grasas en la unidad de recepción y piletas de aireación a pesar de tener más del 95% de reducción de DBO y TSS. Además, la planta invierte una porción significativa de su presupuesto en manejar y eliminar el lodo.

En 1998, se implementó un programa de bioaumentación durante un año para determinar si el programa de bioaumentación podía reducir consistentemente la cantidad de lodo generado por la planta. El mejorar el mal olor y la degradación de la grasa eran objetivos secundarios, sin embargo, no se consideraron suficientes por si solos para justificar el costo del producto de tratamiento, aproximadamente US\$ 30,000/año.



Figura 1: Planta de Tratamiento en Deutsch-Wagram

Deutsch Wagram

Dosificación:

Tabla 1. Promedio de algunos parámetros principales del informe anual de 1997

parámetro	promedio /año	unidad	degradación de efluente
Aqua residual /d	1320	m ³ /Tag	-
Volumen de lado	810,2	ml/l	-
BSB ₅ : entrada	286,3	mg/l	-
BSB ₅ : descarga	5,4	mg/l	98,0 %
CSB: entrada	574,5	mg/l	-
CSB: descarga	39,1	mg/l	92,5 %
NH ₄ -N: entrada	47,5	mg/l	-
NH ₄ -N: descarga	1,4	mg/l	97,0 %
NO ₃ -N: entrada	33,2	mg/l	-
NO ₃ -N: descarga	4,8	mg/l	85,5 %
PO ₄ -P: entrada	5,6	mg/l	-
PO ₄ -P : descarga	0,5	mg/l	91,4 %

Programa de Dosificación para la Tecnología MICROBE-LIFT®/IND en la Planta de Deutsch-Wagram:

La dosificación se recomendó en base a las cargas (DQO; DBO5, carga hidráulica), eficiencia de degradación, zonas problemáticas y capacidad de operación.

El programa de dosificación para la planta de Deutsch-Wagram se desarrolló en base al uso de parámetros dados de las lecturas de operación.

Programa de dosificación:

1 galón (EE.UU.) = 1 botella = 3,7853 litros		galones por mes
Inicial:	6 galones	
Siguientes cuatro semanas (una vez por semana)	1,5 galones	6
Mantenimiento (una vez por semana)	1 galón	2

Antes de la inoculación inicial, se aplicaron 2 galones de MICROBE-LIFT®/IND en la estación de bombeo, tanque de entrada y tanque de sedimentación secundaria. El proceso de aplicación se realizó ya sea de forma directa o por aspersión a una dilución con agua de 1:10 a 1:50.

Tratamiento Inicial, fecha de inicio el 1º de abril

En abril de 1998, se aplicó ¼ de galón en la capa flotante y las paredes laterales del tanque de entrada cerca de la bomba de tornillo a una dilución con agua de 1:10. Se aplicaron 4 galones al tanque de lodo activado. Se roció ¾ de galón sobre la capa flotante del tanque de sedimentación secundaria a una dilución de 1:10.

En 2 de abril de 1998 a las 3:00 am, se agregó un galón a la estación de bombeo.

Deutsch Wagram

Resultados:

Comparación del índice de Volumen del Lodo en Deutsch-Wagram 97 vs. 98

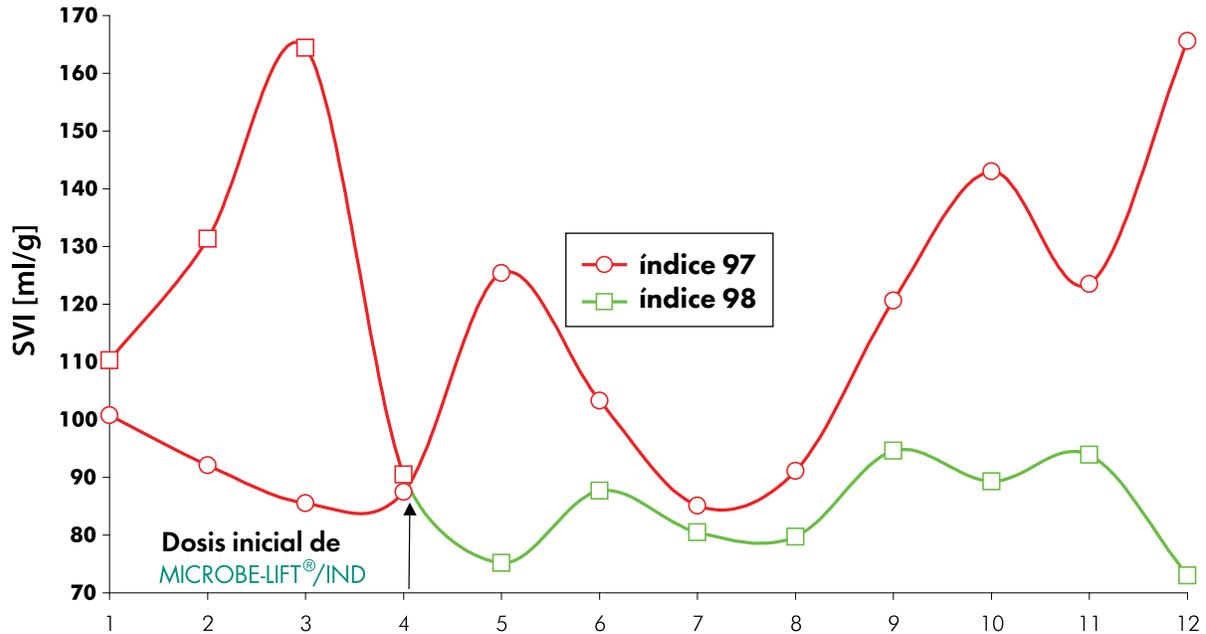


Figura2: Datos SVI de Deutsch-Wagram

Los costos del manejo y eliminación del lodo se redujeron en US \$ 160,000, dando como resultado un ahorro neto en costos de operación de US \$ 130,000.

Zutphen

Contexto:

En marzo del 2006, la Ciudad de Zutphen inició un programa de aumentación de prueba de 120 días. Zutphen es una planta de tratamiento de lodo activado de tamaño mediano, con un promedio de 6,600 m³ de aguas residuales diarios. La planta se compone de dos canales paralelos con líneas de reciclaje segregadas para poder realizar comparaciones. Se aplicaron dos productos en el Canal AT2: MICROBE-LIFT®/IND y un compuesto orgánico natural que se encuentra en otras aplicaciones para potenciar las las capacidades de MICROBE-LIFT®/IND. El Canal AT1 sin inoculación se dejó como el testigo.



Resultados:

Al cabo de 60 días, se observó una reducción del lodo residual de aproximadamente un 20% en el canal tratado y se observó una reducción máxima del 60% al final de la última parte del período de los 60 días. Entre el día 60 y el día 90 de la prueba, se observó una inestabilidad en la sedimentación como típicamente se observa en la operación durante la transición de clima frío a clima cálido. Una vez pasada la transición, la planta se estabilizó rápidamente y otra vez se observó reducción el en lodo residual en el canal tratado, pero durante este período de tiempo la reducción estuvo entre el 12% y 16%. Después de evaluar a fondo los datos y el proceso, se determinó que hubo un poco de contacto cruzado del liquido sobrenadante de los digestores, lo cual conllevó a una inoculación involuntaria a bajo nivel en el canal de testigo. Mientras que el factor diferencial entre el canal de la prueba y el "testigo" se había reducido, una comparación con los números históricos de la producción de lodo residual indicó que ambos canales estaban generando un 20% de reducción, a pesar de la alta carga hidráulica y orgánica en el 2006.

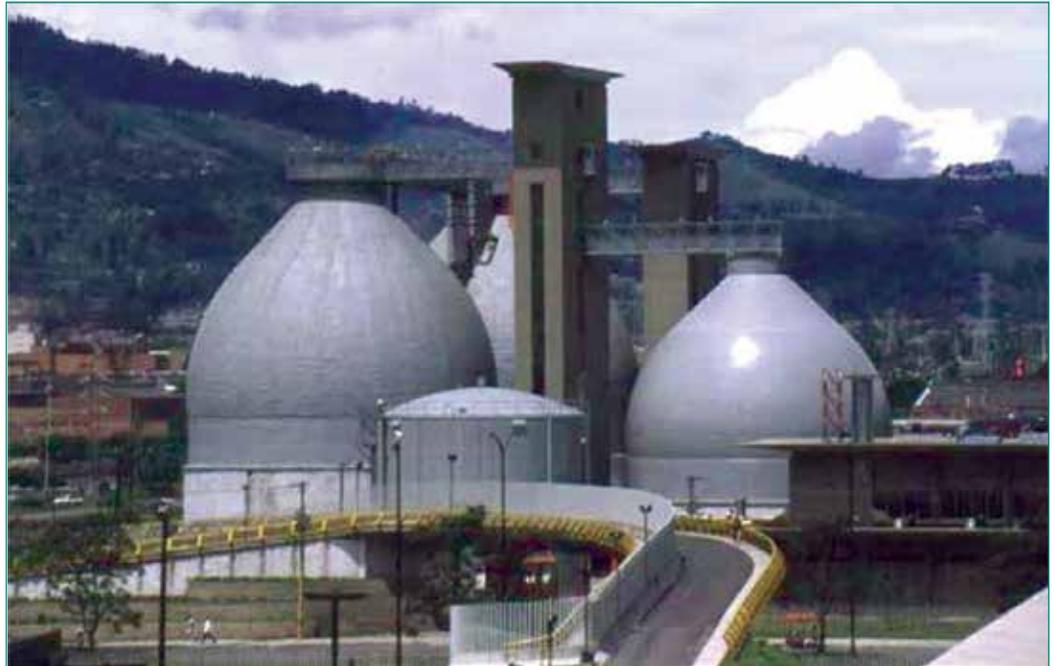
Tabla 3: Eficiencias en la Reducción de Lodo en Zutphen

Prueba Experimental de Reducción del Lodo Residual de Zutphen				
Lodo Residual (kg)				
	AT1	AT2	Promedio	Promedio/Día
1er Trimestre:				
01 de enero al 13 de marzo	250,597	252,883	251,740	3496
2º Trimestre:				
14 de marzo al 16 de julio	319,136	319,136	319,136	2574
% de Reducción	26.4%			

Colombia

Contexto:

Empresas Públicas contactó a un Representante de Ecological Laboratories en Sudamérica para ver si era posible reducir los malos olores asociados con la operación de sus digestores anaeróbicos. La instalación consiste de dos digestores anaeróbicos de 7,900 m³ cada uno. El caudal promedio era de 1.8 m³ por segundo, con un tiempo de retención hidráulica (TRH) promedio de 21 días. La reducción de VSS (sólidos volátiles en suspensión) antes de agregar **MICROBE-LIFT®** era de aproximadamente 30% para ambos reactores.



Resultados:

El primer día, los reactores se dosificaron con una dosis de 12 mg/l según el volumen de los reactores. A partir de entonces, se aplicó una dosis semanal de 4 mg/l durante las siguientes cuatro semanas, seguido de una dosis de 1.5 mg/l cada semana como mantenimiento. Seis semanas después de la dosis inicial, se incrementó la reducción de VSS en un 37% versus una meta del 50%, con una disminución significativa de los malos olores adentro y alrededor de la planta. Esta mejora permitió que la planta aguantara la carga existente sin la adición inmediata de un tercer reactor.

Hod Hasharon - Israel

Contexto:

La ciudad de Hod Hasharon opera un sistema de lodo activado con digestores anaeróbicos para reducir el volumen de lodo residual antes de descartarse. El caudal promedio diario que ingresa a la planta es de aproximadamente 25,000 m³/día. El rendimiento efectivo general del sistema es excelente. En base a los resultados obtenidos de los digestores anaeróbicos en Busan y Empresas Públicas, el Personal de Operaciones de Hod Hasharon tomó una decisión para determinar si se podían obtener resultados similares en su planta. A diferencia de las otras plantas, Hod Hasharon también estaba interesado en ver si se incrementaba la producción de biogás o no, ya que ellos recuperaban el gas para utilizarlo como combustible.

Resultados:

Se compararon valores históricos de los 15 meses anteriores del período de operación durante los primeros tres meses del tratamiento con el producto. A pesar de un aumento del 1.8% de carga hidráulica y orgánica diaria, la cantidad de lodo que se removió de la planta, se redujo en un 18% con un aumento paralelo de biogás del 11.3%. Esta es una buena correlación entre la reducción de VSS y el incremento en la producción de biogás, lo cual conlleva a asumir razonablemente que el aumento en la producción de biogás es un resultado de mejora la eficiencia de reducción de VSS.

El tratamiento durante el verano del 2006 ha obtenido aún mejores resultados en las propiedades de TSS y DBO del efluente con una reducción de lodo mayor al 20%, junto con una reducción significativa del mal olor.

Tabla 4: Datos Operacionales de Hod Hadaron

BIOGÁS	Sólidos vs WAS	Sólidos Toneladas	% de Sólidos	Lodo Seco	Aguas Residuales en m ³	RAS m ³	WAS m ³	
126635	0.42%	139	16.20%	858	796800	255870	32745	1/28/2004
106633	0.45%	129	16.60%	775.5	738833	243050	28593	2/28/2004
115413	0.44%	141	16.10%	874.5	774194	212910	32289	3/28/2004
112470	0.32%	118	15.60%	759	746850	238970	37522	4/28/2004
111817	0.42%	156	14.80%	1056	756214	230610	36870	5/28/2004
119430	0.34%	125	13.50%	924	730080	218740	36847	6/28/2004
159154	0.37%	122	14.20%	858	644940	193520	32969	7/28/2004
131719	0.46%	164	15.50%	1056	695370	212240	35870	8/28/2004
150030	0.38%	136	14.70%	924	677590	213870	35351	9/28/2004
147219	0.41%	153	15.00%	1023	730670	231090	37845	10/28/2004
138930	0.51%	151	15.80%	957	602680	182340	29630	11/28/2004
140585	0.45%	154	16.10%	957	742290	265340	34018	12/28/2004
140864	0.46%	144	15.60%	924	715640	332910	31392	1/28/2005
131488	0.39%	132	16.00%	825	755250	345860	33830	2/28/2005
142383	0.33%	141	15.30%	924	706748	365820	42207	3/28/2005
139350	0.29%	143	18.90%	759	763127	329610	49042	4/28/2005
151032	0.27%	146	19.20%	759	724080	324160	53732	5/28/2005
144330	0.31%	152	20.90%	726	715070	305420	48967	6/28/2005
								7/28/2005
								8/28/2005
								9/28/2005
								10/28/2005

Conclusión:

Mecanismos Hipotéticos de la Reducción en la Generación de Lodo

Cuando los microorganismos en un medio orgánico acuoso crecen, absorben el carbono contenido en la materia orgánica para producir biomasa nueva (absorción heterotrófica), y se convierte en subproductos celulares, tales como biopolímeros o enzimas, o dióxido de carbono. En la tecnología de fermentación, es común mejorar el rendimiento de los productos de fermentación, lo cual pueden ser subproductos del metabolismo bacteriano, tal como la goma xantana o biomasa como la levadura, mediante la manipulación de procesos o la biomasa en sí. Existen varios ejemplos como estos en la producción de antibióticos y enzimas. Por lo general, si el producto final deseado es la biomasa, el sistema, ya sea en fermentación por lote o continua, debe operar a una relación de F/M (alimento/microorganismos) alta, lo cual maximiza la producción de células ya que las células se encuentran en un crecimiento logarítmico. Esto es consecuente con la Cinética de Monod, la cual sugiere que la tasa de crecimiento incrementa cuando aumenta la concentración de sustrato hasta alcanzar un punto donde la población ya no puede crecer más rápido debido a sus limitaciones, tales como transporte de masa o inhibición.

Al otro extremo del espectro, cuando las células operan en un entorno bajo en sustrato, la mayoría del sustrato se utiliza para satisfacer el requerimiento energético celular y queda muy poco para la síntesis de nuevas células. Este fenómeno se utiliza en el diseño de sistemas de aireación para extender el proceso, lo cual genera menos lodo residual, pero a menudo a un costo energético más alto.

Hasta ahora, ha habido muy pocos casos documentados sobre la reducción de lodo residual mediante la bioaumentación, pero en base al ejemplo de la industria de fermentación, siempre existieron razones para creer que la reducción de lodo es posible mediante la manipulación de la biomasa. Las observaciones iniciales en cuanto a la reducción de lodo ocurrieron fortuitamente durante programas donde se utilizaba biomasa para potenciar la reducción de orgánicos refractarios o potenciar la eficiencia general de los sistemas, en cuanto a las eficiencias en la reducción de orgánicos usualmente a base de la reducción del DBO o DQO.

En la mayoría de los casos se logra algún porcentaje de eficiencia en la eliminación de orgánicos, lo cual resulta en una concentración de equilibrio de orgánicos equivalente al del efluente en la mayoría de sistemas de crecimiento suspendido, especialmente aquellos que operan como CSTRs (reactor de tanque con agitado continuo). Al igual que el bajo rendimiento de biomasa en la fermentación cuando opera en un entorno bajo en sustrato, la biomasa en un sistema de crecimiento suspendido que opera en un equilibrio bajo de F/M resulta en un coeficiente de rendimiento bajo en el sistema, al igual que el bajo rendimiento de la biomasa cuando opera en un entorno bajo en sustrato, como en la fermentación.

También parece posible mejorar el proceso de digestión celular mediante la bioaumentación, junto con la adición de suplementos naturales que contienen ácidos húmicos.

Sin duda hemos demostrado la efectividad y el potencial de mercado en nuestras pruebas experimentales en Europa para controlar el mal olor y reducir el lodo residual en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. Nos encontramos en las etapas finales y estamos seguros del resultado. Por lo tanto, nos encontraremos en una posición de capitalización con las pruebas experimentales exitosas a medio año. Si proyectamos la oportunidad de mercado en base a la reducción de lodo en el mercado europeo de plantas de tratamiento, nuestra meta a corto plazo sería aprovechar el éxito en Holanda y extrapolarla a Europa Occidental y luego expandirnos a Europa del Este, Asia, Medio Oriente, y América Central y del Sur. Es posible desarrollar mercados similares en áreas urbanas (plantas de tratamiento municipales) o a menor escala en lagunas sépticas y tanques de aireación en pueblos pequeños.

Para mayor información sobre la Tecnología **MICROBE-LIFT®**
contactar **Ecological Laboratories, Inc.**
www.EcologicalLabs.com

TE13202