

PUESTA EN MARCHA DE UN REACTOR ANAEROBIO EGSB PARA EL TRTAMIENTO DE COMPUESTOS BIOACTIVOS

**Trabajo final Carrera para optar al título de Químico Industrial por la Universidad
Federico Santa María de Talcahuano**

Estudiante: David Bazaes Santana

Tutor: Dra. Gladys Vidal

Grupo de Ingeniería y Biotecnología Ambiental

Universidad de Concepción, 2005

CAPITULO 1

INTRODUCCION

Una de las principales actividades del país es la producción de Celulosa a partir de la madera. La mayoría de las industrias forestales en Chile emplea para separar la fibra celulosa de la lignina, un proceso químico denominado Kraft. Industrias de estas características consumen elevadas cantidades de agua y reactivos químicos, generando residuos orgánicos activos, los que posteriormente son descargados al ambiente.

Los efluentes de la industria celulosa Kraft contienen un alto porcentaje de compuestos bioactivos. Resultados de investigaciones demuestran efectos profundos, a nivel fisiológico y bioquímico en organismos expuestos a ellos, incidiendo principalmente en la reproducción. Estos compuestos, probablemente provienen de ácidos recínicos y fitoesteroles (hormonas naturales de la madera).

Debido a las características presentadas por estos efluentes, se hace necesario su tratamiento considerando procesos de tipo físico-químico y biológico. Los tratamientos de tipo biológico han sido utilizados ampliamente en la depuración de efluentes provenientes de la industria de celulosa y papel, siendo los tratamientos aerobios y anaerobios las dos grandes alternativas de depuración biológica que actualmente se encuentran instaladas en industrias de este tipo. La adecuada selección de uno u otro sistema depende de las características del tipo de efluente a depurar y de las condiciones finales que debe tener éste para su evacuación.

En este contexto, el tratamiento anaerobio resulta ser una alternativa ventajosa a algunos residuos industriales, ya que la principal ventaja del proceso anaerobio se fundamenta en la transformación de la materia orgánica a través de una tecnología de bajo consumo energético, así:

- Durante los procesos aerobios cerca del 60% de la energía se consume durante la síntesis de nueva biomasa (células de microorganismos) y el 40% de la energía se pierde en forma de calor de reacción.
- Durante los procesos anaerobios casi el 90% de la energía que existe originalmente en el sustrato (residual) se retiene en el biogás que se produce durante estos procesos perdiéndose solo el 7% de la energía inicial como calor de reacción.

- Durante los procesos aerobios cerca del 50% del carbono contenido en el sustrato se convierte en biomasa y el otro 50% pasa a CO₂.
- Durante el proceso anaerobio cerca del 95% del carbono pasa a biogás (CH₄, CO₂) y solo el 5% es convertido en biomasa.

Lo anterior trae como consecuencia los siguientes aspectos prácticos:

- En los procesos anaerobios se consume mucho menos energía externa que en los procesos aerobios, además se obtiene energía en forma de gas combustible, útil para cualquier fin energético.
- En los procesos anaerobios solo se generan del 10 al 30% de los lodos (biomasa) que se producen en los aerobios, lo que disminuye considerablemente los costos de disposición final de estos; además, los lodos anaerobios están mucho más estabilizados que los aerobios.

Esto nos hace pensar que la aplicación de un sistema anaerobio previo a un sistema aerobio, permitiría tener una alternativa viable para las nuevas plantas de celulosa que hoy operan en el país.

CAPITULO 2

ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

2. IDENTIFICACION DE LA EMPRESA

El Centro de Investigación y Formación en Ciencias Ambientales, Centro EULA-Chile, es una unidad académica de la Universidad de Concepción, la cual constituye una instancia interdisciplinaria de investigación, formación, extensión y asistencia técnica en ciencias ambientales. Los objetivos generales del Centro EULA-Chile son:

- Desarrollar y coordinar investigaciones en ciencias ambientales, particularmente en gestión ambiental de recursos naturales y en planificación territorial, considerando la gestión integrada de cuencas hidrográficas y la gestión integrada de la zona costera como áreas de mayor atención.
- Fomentar y ejecutar programas formativos a nivel de postgrado (Diplomado, Magíster y Doctorado) en ciencias ambientales y gestión ambiental de recursos naturales y planificación de territorio.
- Promover y organizar la transferencia de conocimientos y prestación de servicios por medio de la capacitación profesional, divulgación de resultados de investigación científica, educación ambiental, y de fomento de relaciones estables con organismos gubernamentales nacionales, regionales, del sector productivo público y privado.
- Fomentar el desarrollo de la colaboración científica interdisciplinaria con otras universidades chilenas y extranjeras en el marco de la cooperación Inter.-universitaria.

2.1 Estructura Institucional y Unidades académicas

La estructura y organización de la unidad académica, esta definida en los estatutos del Centro y por el cual se rige y constituye su orgánica institucional. Así, el rector de la Universidad de Concepción, es quien designa al director del centro, quien nombra a su vez a los subdirectores, coordinadores de áreas y jefes de programas de formación. El director una o dos veces al año solicita reuniones al consejo consultivo, integrado por Decanos y Directores de áreas de la Universidad; en esta instancia se presentan, discuten y se solicitan opiniones sobre los planes, programas y actividades a ejecutar por el Centro.

- Sistemas Acuáticos.
- Planificación Territorial y Sistemas Urbanos.
- Gestión Ambiental de Procesos Productivos e Infraestructura Civil.
- Educación Ambiental y Participación Ciudadana.

Mediante el trabajo de las unidades de investigación se ha generado un vasto conocimiento ambiental de la problemática regional y nacional, que ha favorecido notablemente el desarrollo de numerosas investigaciones y actividades de transferencia tecnológica, tanto básicas como aplicadas.

2.1.1 Unidad de Investigación de Sistemas Acuáticos:

La Unidad de Investigación en Sistemas Acuáticos realiza investigación relativa a los efectos que las diversas actividades humanas generan sobre los componentes bióticos y abióticos y sus respectivas interacciones en los ecosistemas acuáticos continentales y marinos. Especial interés se brinda a actividades o acciones que afectan sistemas frágiles o singulares, en los que se utiliza un enfoque sistemático, integrando los diversos componentes que definen la estructura y funcionamiento de los sistemas acuáticos, promoviendo una gestión sustentable de los recursos acuáticos. Este aspecto se apoya con técnicas y métodos que permitan reconocer respuestas desde el ámbito molecular hasta el ecosistémico, teniendo como referentes espaciales la cuenca hidrográfica y el borde marino costero.

2.1.2 Unidad de Investigación en Planificación Territorial y Sistemas Urbanos:

La investigación de esta unidad esta orientada al estudio y comprensión de los procesos de ocupación territorial en el marco del desarrollo sustentable, con el objetivo de fomentar metodologías de planificación territorial, incorporando conceptos como ecosistemas urbanos, calidad de vida y participación ciudadana. Este enfoque implica abordar la investigación en forma sistemática e interdisciplinaria con el aporte de Arquitectos, Geógrafos, Sociólogos, Historiadores, Economistas, Biólogos e ingenieros, en las áreas del desarrollo urbano regional, procesos demográficos y sociales, desarrollo rural e indígena, paisaje y entorno urbano, segregación y pobreza, cultura e identidad local.

2.1.3 Unidad de Investigación en Gestión Ambiental de Procesos Productivos e Infraestructura Civil:

La unidad realiza la investigación relativa a los efectos de la actividad productiva sobre los diferentes componentes del ecosistema donde ellas se efectúan. De especial interés son la actividad forestal, petroquímica, agrícola y energética de la cuenca del Biobío y en cuya gestión se aplica el enfoque sistémico, integrando aspectos e impactos ambientales a través del análisis de ciclo de vida de los procesos y productos, reconociendo las relaciones causa-efectos entre actividades humanas y el medio ambiente. La unidad utiliza y desarrolla modelos predictivos que sirven de apoyo a la gestión ambiental de los recursos naturales, considerando, los flujos materiales y energéticos entre los diferentes compartimentos ambientales y las acciones productivas.

2.1.4 Unidad de Investigación en Educación Ambiental y Participación Ciudadana:

La Unidad de Educación Ambiental y Participación Ciudadana, ha orientado su accionar a desarrollar material didáctico, programas educativos y la evaluación de los aspectos metodológicos que permiten la incorporación de la Educación Ambiental como temática transversal en el currículum escolar, de acuerdo a los objetivos de la reforma educacional en marcha. La unidad orienta su trabajo a fortalecer el rol de los docentes en la Educación Ambiental de acuerdo a tres principios generales:

- Educación *sobre el medio ambiente*, es decir, el medio ambiente como contenido interdisciplinario, destinado a la formación.
- Educación *a través del medio ambiente*, en que el ambiente incide de manera fundamental en la metodología o en el como enseñar.
- Educación *a favor del medio ambiente*, lo que lleva implícito un fuerte componente ético.

2.2 Laboratorios del Centro EULA-CHILE

Las dependencias del Centro, se sitúan, en el Campus de la Universidad de Concepción, en cuatro edificios que abarcan alrededor de 3000m² de superficie. Con el fin de facilitar la coordinación y el desarrollo de las actividades propias del Centro, la investigación esta apoyada por la existencia de laboratorios que permiten enfrentar y cumplir los desafíos y exigencias de las distintas áreas involucradas en la problemática ambiental.

Los laboratorios de investigación cuentan con un profesional responsable y técnicos de laboratorio con formación especializada y de tiempo completo. Estos laboratorios son:

2.1.1 Biología Ambiental

El personal técnico y científico especializado en el estudio de ecosistemas acuáticos, junto con un completo equipamiento de laboratorio y de terreno, permiten al laboratorio de biología ambiental desarrollar docencia e investigación en ciencia básica y aplicada en el ámbito de los recursos acuáticos continentales y marinos. Este laboratorio, con sus secciones de: Biomarcadores bioquímicos, Bioindicadores ecológicos, Bioensayos de toxicidad, Microbiología, Sedimentología, Morfometría, Hidrodinámica y modulación de sistemas acuáticos, tiene implementada todas las técnicas analíticas necesarias para el estudio de los componentes y procesos básicos existentes en estos ecosistemas.

2.2.2 Informática y Geomática

Realiza investigación y asistencia técnica en dos importantes áreas de la computación y la informática aplicada: El procesamiento digital de imágenes y la aplicación de sistemas de información geográfica, ambas, tecnologías de última generación ampliamente usadas en el análisis y modulación de procesos naturales y socioeconómicos en un área geográfica determinada.

2.2.3 Meteorología y Contaminación Atmosférica

El laboratorio cuenta con diez estaciones meteorológicas equipada para la recopilación digital de información en terreno. Además, se cuenta con equipos para las mediciones de ruido y material particulado respirable PM10, los que cumplen con los requisitos básicos de la normativa vigente. El laboratorio también dispone de instrumentos que le permiten conocer a través de los métodos estándar a nivel mundial, de las emisiones de dióxido de azufre y monóxido de carbono desde fuentes fijas (chimeneas), información indispensable en el estudio de la calidad del aire. El laboratorio también está capacitado para analizar y modelar el impacto antropogénico sobre la calidad del aire, basado en los más rigurosos métodos y herramientas.

2.2.4 Química Ambiental

La estructura y funcionamiento del laboratorio, le permiten cumplir los requerimientos de docencia, investigación y asistencia técnica en temas ambientales. Está organizado en cuatro secciones: Volumetría/Gravimetría, Espectrofotometría de Absorción Molecular, Espectrofotometría de Absorción Atómica y Cromatografía. Cada sección cuenta con personal calificado y en continuo perfeccionamiento, apoyado con instrumentación moderna que permite obtener una caracterización analítica acorde a un programa de aseguramiento de calidad. La participación en ejercicios a nivel nacional como internacional, resguardan la calidad de los datos analíticos.

2.2.5 Laboratorio de Biotecnología Ambiental

Este laboratorio tiene como principal objetivo desarrollar investigaciones, aplicadas y dirigidas a resolver problemas de contaminación de residuos líquidos, a través de la biotecnología y tecnologías ambientales alternativas.

Se encuentra constituido por un Investigador responsable de los proyectos, un Químico Analista encargado del trabajo y puestas en marchas de equipos y técnicas analíticas en el laboratorio. Además alumnos de pre y post-grado, los cuales desarrollan sus trabajos de titulación, de fin de carrera y de investigaciones de doctorado.

El laboratorio en cuestión cuenta con el equipamiento necesario para desarrollar la investigación antes señalada. Al mismo tiempo, se trabaja en cooperación con otros laboratorios de investigación de la universidad (Departamento de microbiología, laboratorio de recursos renovables), y de otras universidades, como la Universidad de la Frontera (UFRO) y la Universidad de Santiago de Chile (USACH).

2.3 Asistencia Técnica y Prestación de Servicios

El Centro EULA-CHILE cuenta con un equipo propio de 45 profesionales a tiempo completo, de carácter multidisciplinario, con grados académicos obtenidos en el país y el extranjero, con una amplia experiencia docente de investigación aplicada a diversas áreas del medio ambiente. Este es apoyado por un equipo administrativo y técnico del laboratorio. Este conjunto asociado a la disponibilidad de una infraestructura de laboratorios y equipos en terreno, de amplio espectro y tecnología, le permiten ofrecer a instituciones y empresas del área pública y privada, asesorías integrales en los campos de la docencia, capacitación y asistencia técnica medioambiental. Además, el Centro EULA opera integrado a los diversos laboratorios y áreas de servicios de las 16 facultades de la Universidad de Concepción, a los cuales puede derivar servicios y análisis, potenciando significativamente sus áreas de acción y consultorías a la comunidad.

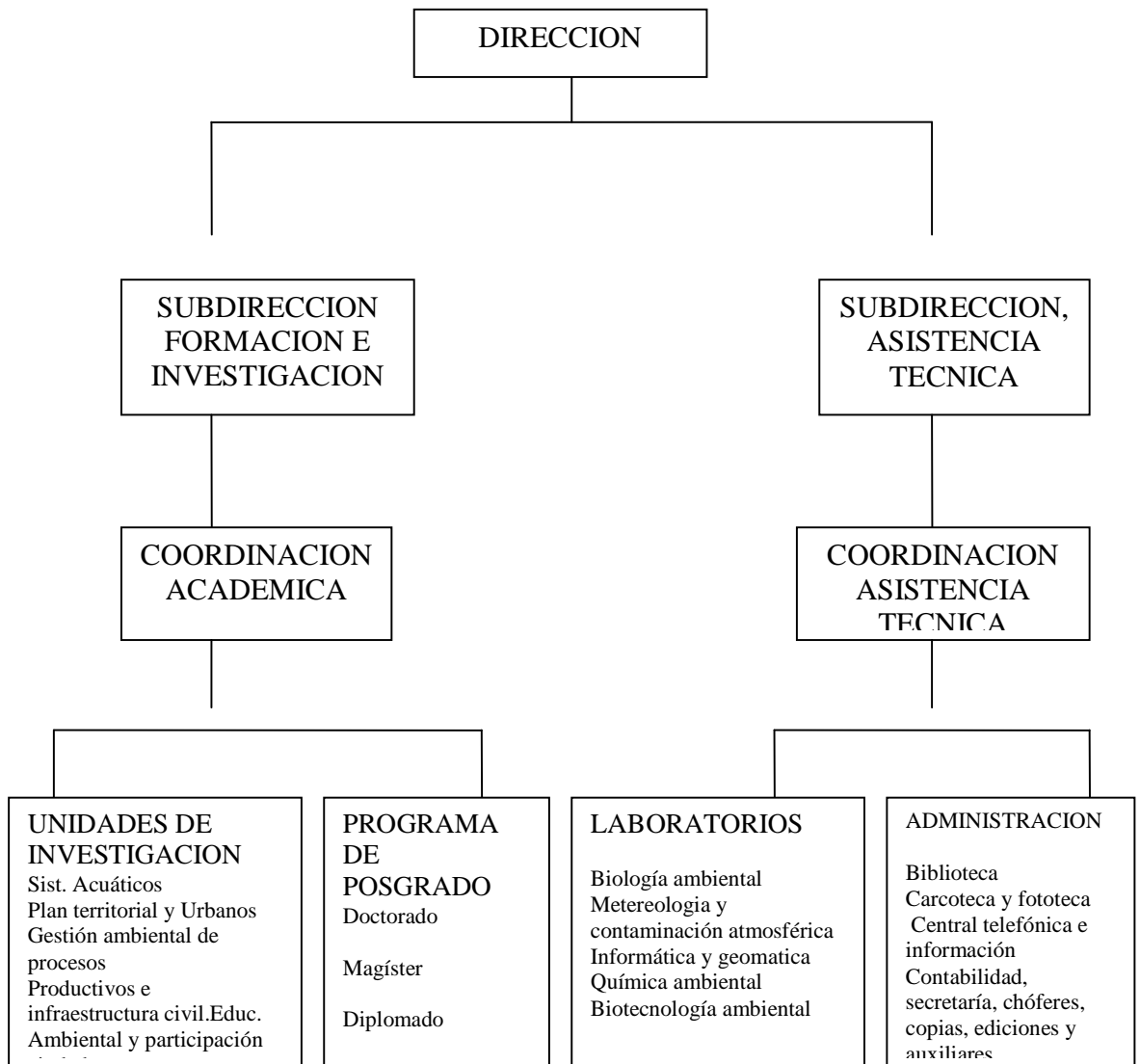


Figura 2.1 Organigrama del Centro EULA-CHILE.

CAPITULO 3

OBJETIVO

El objetivo general de este trabajo es la puesta en marcha de un reactor anaerobio EGSB (Expanded Granular Sludge Bed) para el tratamiento de compuestos hormonalmente activos provenientes de la industria celulosa. Considerando principalmente la estabilidad del sistema a partir de parámetros hidráulicos y propiedades mecánicas de los gránulos, así como el control de parámetros de eficiencia química.

CAPITULO 4

ANTECEDENTES GENERALES

4.1 Sistema Anaerobio

El proceso anaerobio de fermentación metanogénica, es el uso de un fenómeno biológico que resulta de la conversión de materia orgánica en metano y dióxido de carbono en ausencia de oxígeno molecular. El gas producido puede recogerse y emplearse como fuente de energía, así la digestión anaerobia permite la depuración de agua y la producción de energía en forma simultánea.

Históricamente los procesos anaerobios fueron empleados para estabilizar materias de alta carga orgánica, principalmente los lodos producidos y eliminados de tanques de sedimentación de plantas de tratamientos de aguas residuales urbanas. Durante los años 50 y 60 los sistemas para el tratamiento anaerobio fueron considerados equipos de construcción muy costosa, debido a las bajas cargas orgánicas que podían tratar y a las dificultades de operación por los frecuentes fallos de funcionamiento. Hubo un mayor progreso cuando se comenzó a entender la importancia del diseño de reactores anaerobios, destinados a retener grandes concentraciones de biomasa activa, y así mismo con bajos tiempos de retención hidráulicos, para favorecer la economía del sistema.

4.1.1 Reactor anaerobio granular de lecho expandido EGSB

Este reactor de tercera generación nace en Holanda, a mediados de la década de los 80. Debido a su corta existencia, sólo hay un reducido número de publicaciones que dan a conocer investigaciones con esta tecnología. Consiste en un reactor de mantos de lodos modificado mediante la expansión del lecho granular, con el fin de mejorar el contacto agua residual-biomasa, permitiendo la aplicación de altas cargas orgánicas, teniendo gran importancia la relación altura /diámetro además de un buen sistema de recirculación que ayuda no solamente a mantener el lodo expandido, sino que también a la dilución del efluente a tratar.

4.2 Aspectos Biológicos

La digestión anaerobia es un proceso biológico por el cual la materia es descompuesta en productos gaseosos, metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), hidrógeno (H_2) sulfuro de hidrógeno (H_2S) y una corriente de compuestos reducidos que contienen una mayor parte de nitrógeno y fósforo, sustancias que resultan más difíciles de degradar junto con los compuestos minerales (K, Ca, Mg, etc.).

Se han sugerido diversos esquemas con el fin de simplificar y sistematizar el análisis microbiológico, químico, energético y cinético del proceso, haciendo una división del proceso completo en varias etapas y fases, caracterizada por los diferentes grupos bacterianos. El esquema más aceptado contempla tres pasos, que serían los siguientes:

- Hidrólisis de materia orgánica soluble de alto peso molecular
- Degradación de moléculas orgánicas pequeñas a varios ácidos grasos moleculares, y en último caso, ácido acético.
- Producción de metano a partir de ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono.

La Figura 4.1 muestra un esquema más detallado de cada etapa, incluidos los tipos de bacterias y los flujos de materia.

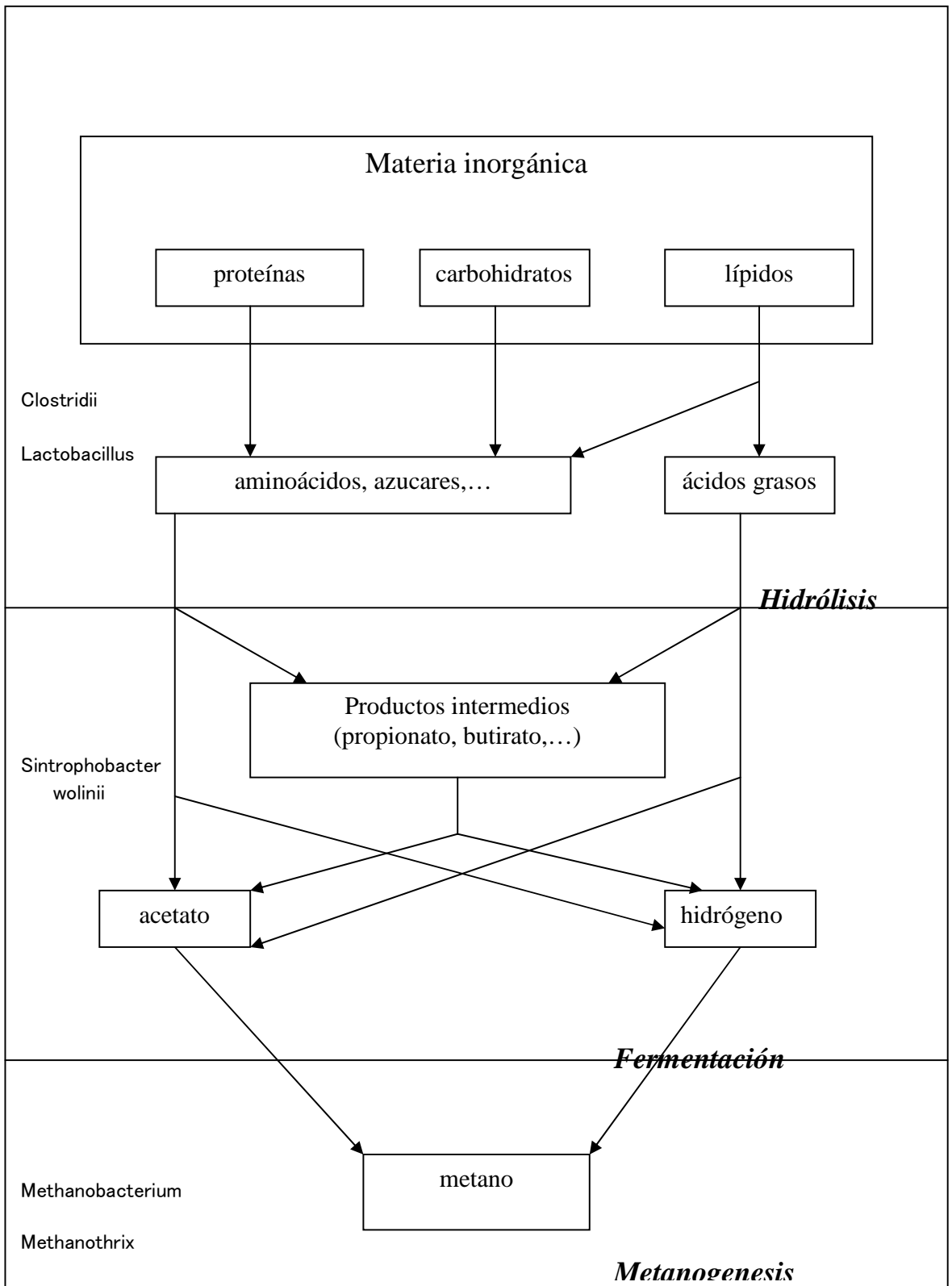


Figura 4.1 Esquema de una digestión anaeróbica.

La hidrólisis de materia orgánica es un proceso llevado a cabo por enzimas extracelulares y por procesos químicos dependientes del pH del líquido. La mayoría de los compuestos poliméricos son hidrolizados en forma lenta. Los biopolímeros como las proteínas, carbohidratos y lípidos son hidrolizados a monómeros orgánicos, que pueden ser utilizados por los organismos fermentativos, al igual que aminoácidos y azúcares, o pueden ser oxidados anaerobicamente como los ácidos grasos. Los productos resultantes pueden ser acetato, hidrógeno y productos intermedios como Ácidos Grasos Volátiles (AGV), transformados a acetato y en una mezcla H_2/CO_2 por las bacterias productoras de hidrógeno. A partir de hidrógeno y de acetato las bacterias metanogénicas, hidrogenófilas y acetoclásticas, respectivamente, producen metano.

Es importante señalar que la velocidad global de todo el proceso de transformación está gobernada por el proceso más lento. Si un sustrato es fácilmente hidrolizable, la etapa más lenta será la metanogénica, debido al bajo tiempo de duplicación de especies implicadas. Por el contrario, si la materia que se trata es rica en polímeros complejos, como lignina y celulosa, la hidrólisis podría estar dificultada por la baja accesibilidad del sustrato, y por lo tanto, podría controlar la velocidad global del proceso.

Si uno de los productos intermedios, es decir, el sustrato para la etapa siguiente, se acumula por alguna razón, podría haber efectos inhibitorios, bien como producto en reacción de formación, o como sustrato en la siguiente.

4.3 Aspectos químicos

Un digestor anaerobio puede ser considerado como un reactor bioquímico, donde tienen lugar una serie de procesos de transformación, que pueden ser considerados como un grupo de reacciones químicas. El proceso global sigue un esquema muy complejo de reacciones múltiples, que puede ser considerado como un proceso en serie, aunque algunas etapas pueden representarse mejor como proceso serie/paralelo o en paralelo.

4.3.1 Estequiometría y balances

Desde un punto de vista estequiométrico, la transformación en metano de una materia orgánica puede considerarse como una transmutación completa en CH₄ y CO₂, respectivamente, los compuestos más reducidos y más oxidados del carbono. Teóricamente, un conocimiento detallado de la materia que se va a degradar permite determinar la cantidad y composición del biogás producido. De hecho, debido a la naturaleza del agua residual, con sustancias que van variando en el tiempo, es imposible hacer una predicción precisa de ambos valores (composición y producción).

Se han hecho algunos intentos para relacionar la producción de metano y la composición del biogás a partir de DQO (demanda química de oxígeno) y del COT (carbono orgánico total) de alimentación. Asumiendo que la DQO se transforma totalmente, se puede calcular la producción de metano a partir del balance de DQO, que, en estado estacionario, sería:

$$DQO_{in} = DQO_{out} = DQO_{CH_4}$$

En realidad la producción de metano no tiene en cuenta toda la DQO procesada debido a la presencia eventual de compuestos lentamente biodegradables y la necesidad de mantener un TRH (tiempo de retención hidráulico) razonable; de ahí que el valor estimado, correspondiente a un 100%, deba ser ajustado al rendimiento real del reactor, que depende del agua residual, del tipo de reactor y de las condiciones de operación.

4.3.2 Termodinámica

Desde un punto de vista termodinámico, se puede observar que, aunque el proceso es globalmente exotérmico, una gran fracción del contenido energético de los reactivos permanece en los productos, mayoritariamente en el metano. Es por esto que solamente una pequeña cantidad de energía esta disponible para el crecimiento bacteriano, por lo que es necesario contar con un sistema que permita la retención bacteriana cuando se trabaja con reactores anaerobios. Esta es una de las grandes diferencias con los sistemas aerobios.

También se puede apreciar que algunas de las reacciones claves son termodinámicamente imposibles a no ser que la concentración de los productos (por ejemplo,

el hidrógeno en degradación de compuestos de alto peso molecular para producir AGV por las bacterias productoras obligadas de hidrógeno) se mantenga en un nivel extremadamente bajo.

4.3.3 *Condiciones ambientales*

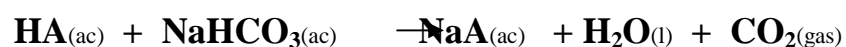
Las condiciones ambientales físico-químicas (pH, presión y temperatura) pueden afectar de forma muy importante el proceso. Por ejemplo el pH es el factor clave en el equilibrio de disociación de algunos productos intermedios (AGV) que dan lugar a efectos inhibitorios en algunos casos. La solubilidad del dióxido de carbono, que afecta la capacidad tampón del medio, depende también de forma muy importante las condiciones físico-químicas del ambiente.

Se pueden distinguir tres rangos de temperatura con respecto a la actividad de la biomasa: psicrófilo (5-20°C), mesófilo (20-40°C) y termófilo (50-70°C). Las temperaturas de operación óptimas, desde un punto de vista energético, están entre 35°C y 55°C; la mayoría de los reactores industriales existentes operan en el rango mesófilo, esto favorece la granulación de la biomasa.

Los organismos metanogénicos en particular, son muy sensibles a los cambios de temperatura. Cuando la temperatura es menor a los 20°C, la digestión de sustratos complejos está, normalmente, limitada por la velocidad de la etapa hidrolítica.

De la misma manera, todos los grupos tróficos implicados en el proceso tienen un valor óptimo de pH, que corresponde a 7,2-7,4 para las bacterias hidrolíticas, 6,0-6,2 para las bacterias acidogénicas y 6,5-7,5 para las matanogénicas. Cuando el pH desciende por debajo de 6,5, la actividad metanogénica desciende (de hecho se detiene totalmente a pH 5,5). Bajo estas condiciones de operación el pH podría seguir bajando, debido a la limitada actividad de otros grupos bacterianos, que pararían finalmente a pH 4,5.

La alcalinidad, en concreto la alcalinidad parcial, puede ayudar a mantener los valores óptimos de pH, suministrando la capacidad tampón necesaria. De hecho la presencia de bicarbonato, el tampón más activo en la digestión anaerobia, puede ayudar a neutralizar los AGV formados durante la fase de fermentación, de acuerdo a la siguiente reacción:



donde HA representa un ácido genérico que se disocia en iones A⁻ y H⁺.

La alcalinidad total, debida al bicarbonato y los AGV, no tiene por si misma una influencia directa sobre la actividad bacteriana, pero puede agregar información sobre las condiciones del proceso.

4.4 Puesta en marcha de un reactor

El objetivo de la puesta en marcha de reactores anaerobios de alta carga es desarrollar y retener altas concentraciones de biomasa activa y balanceada dentro del reactor. Esta se obtiene por el incremento progresivo de la VCO (velocidad de carga orgánica) y usando una pequeña cantidad de biomasa madura. La VCO inicial debe ser bastante baja, aproximadamente $0,1 \text{ kg DQO/Kg SSV} \cdot \text{d}$.

Todos los procesos anaerobios tienen problemas de puesta en marcha, debido a los bajos rendimientos celulares de los microorganismos metanógenos. En particular, los reactores EGSB y EB/FB (Expanded/Fluidised Bed) son los más problemáticos en la etapa de *star-up*, en comparación con el FA (Filtro Anaerobio) y otros reactores que no son de alta carga.

Las dificultades más típicas del EGSB son:

- Larga duración de la puesta en marcha debido a la digestión anaerobia
- Formación del lodo granular
- Control de altura del lecho del lodo
- Velocidad ascensional y velocidad de recirculación adecuada del efluente
- Pérdida de biomasa

La duración de la puesta en marcha depende de numerosos parámetros biológicos, químicos y físicos, influenciada por la composición y concentración del agua residual, por el volumen, actividad y capacidad de adaptación del inóculo, por parámetros ambientales, parámetros operacionales y por la configuración geométrica y tamaño del reactor.

4.4.1 Hidrodinámica en el reactor

El comportamiento hidrodinámico del reactor permite determinar la existencia de cortocircuitos de líquido, caminos preferenciales, mala distribución de influente, regiones

estancadas o mal mezcladas, que presentan efectos muy negativos sobre el funcionamiento del sistema.

Una mezcla ajustada es esencial para asegurar una transferencia de energía efectiva, una distribución uniforme de sustrato y de productos, un contacto suficientemente bueno entre el inóculo y el soporte empleado, y posteriormente entre los microorganismos y los nutrientes que estos necesitan, y en definitiva para prever las sobre cargas artificiales debidas a altas concentraciones de AGV.

El proceso de mezcla depende de una serie de factores, tales como la geometría del reactor, el tipo de medio o diseño de entrada y salida del líquido. La cantidad de biogás producido, el crecimiento de biomasa, aspectos hidráulicos y velocidades de flujo del influente, recirculación del efluente, y cualquier otro sistema mecánico de mezcla del que se pueda disponer.

Lograr un alto grado de mezcla en el reactor es un factor fundamental para poder tener un buen nivel de eficacia del mismo. En el caso de reactores en que la mezcla no es correcta se llega con gran facilidad a la formación de taponamientos en canales, con sus consiguientes efectos negativos. Al mismo tiempo esta mezcla deficiente podría llegar a tener un efecto indeseable sobre la velocidad de eliminación de DQO y sobre la velocidad de producción de biogás.

Los principales factores que mejoran el grado de mezcla son:

- Gas ascendente producido en el propio reactor que puede proporcionar un mejor contacto entre el sustrato y los microorganismos.
- La recirculación del efluente mejora el grado de mezcla.
- Aplicar una relación de recirculación ajustada.
- Emplear un sistema ajustado de distribución de líquido en la parte inferior del reactor para mejorar de forma significativa la mezcla.

Además el propio crecimiento bacteriano produce valores excesivamente altos de espacios muertos en los reactores. Este efecto esta relacionado directamente con la altura del reactor, encontrándose que a mayor altura se reduce el espacio muerto.

4.5 Granulación

La granulación es un proceso completamente natural que tiene lugar en sistemas donde se dan las condiciones necesarias, como la presencia de sustratos fundamentalmente solubles y la operación con flujo ascendente.

La granulación en sistema EGSB tiene lugar a cualquier temperatura en el rango mesófilo, termófilo o psicrófilo. La granulación, en esencia, fundamenta su base en el hecho de que el crecimiento bacteriano está restringido a un número limitado de núcleos de crecimiento. Para entender las razones por las que la granulación tiene lugar, debemos considerar los siguientes puntos:

- La presencia en el lodo de partida de núcleos de crecimiento, como materias orgánicas e inorgánicas, que sirven como soporte inerte a los agregados bacterianos.
- La materia finamente dispersa, incluidas bacterias viables, irá desapareciendo del sistema al ir incrementando las velocidades superficiales de líquido y de gas forzando así a la formación de biopelículas y/o agregados.
- El tamaño de los agregados y/o el espesor de las biopelículas son limitadas y dependen de las fuerzas externas que se ejercen sobre las partículas/películas. Por eso habrá un proceso temporal por el cual las partículas/películas se romperán y darán lugar a la generación de otras nuevas.
- Los núcleos de crecimiento secundario aumentarán en tamaño y en densidad. el crecimiento no está restringido a las capas externas, sino que también tiene lugar en el interior del agregado. De esta manera los agregados irán medrando con el tiempo hasta llegar a un momento en que se rompan y los fragmentos den lugar a una nueva generación.
- Los gránulos irán evolucionando hasta llegar a una fase “madura”. En el proceso de maduración de gránulos filamentosos voluminosos, predominantes en las etapas iniciales del proceso de granulación irán desapareciendo y serán desplazados por gránulos densos, generalmente un lodo granular maduro hay ausencia de gránulos filamentosos.

Para estudiar la estructura de los gránulos, puede emplearse microscopía electrónica. Se ha observado frecuentemente cavidades en la superficie. Se piensa que estas cavidades

permiten la salida del biogás y posiblemente sirven como conductos de entrada de los nutrientes al interior del gránulo. En la parte exterior predominan las bacterias hidrolíticas y/o acidogénicas, mientras que en el interior aparecen bacterias del tipo *methanothrix*. La organización interna de diversos grupos tróficos dentro del gránulo depende de la composición del agua residual y de la ruta metabólica dominante.

El desarrollo inicial de un gránulo puede dividirse en cuatro etapas:

- *Transporte* de las células a la superficie de un material inerte sin colonizar o hasta otras células.
- *Adsorción* inicial reversible al sustrato mediante fuerzas físico-químicas
- *Adhesión* irreversible al sustrato por medio de apéndices microbianos y/o sustancias poliméricas.
- *Multiplificación* de las células y desarrollo de los gránulos.

La célula puede ser transportada hasta el sustrato mediante uno o la combinación de varios mecanismos: por difusión, transporte convectivo en el líquido, flotación en el gas, sedimentación o transporte por medio de flagelos (poca participación en sistemas acuosos). Normalmente la adsorción inicial es un proceso físico-químico reversible, pero puede llevar a la inmovilización de las bacterias. Se pueden dar tres posibles situaciones entre las células y el sustrato: i) una atracción débil, reversible, cuando las células están localizadas a una cierta distancia del sustrato; ii) repulsión cuando predominan las interacciones electrostática; y iii) una atracción fuerte irreversible cuando son predominantes las fuerzas de van der Waals. Generalmente, la absorción inicial tiene lugar cuando se da el primer caso, y la adhesión irreversible se establece por enlaces fuertes entre el sustrato y las células microbianas vía sustancias poliméricas u otras estructuras de unión. Cuando se produce la adhesión bacteriana comienza la colonización. El proceso de granulación que tiene lugar a continuación depende de la división celular y de la adhesión de nuevas bacterias procedentes de la fase líquida.

CAPITULO 5

MATERIALES Y MÉTODO

5.1 Montaje experimental

Se utilizó un reactor anaerobio EGSB para el tratamiento biológico del efluente de celulosa Kraft. Este reactor esta constituido por un tubo de acrílico de 3mm de espesor, 25mm de diámetro, 930mm de largo hasta la copa que mide 140mm de largo y 55mm de diámetro sumando una altura total de 1070mm y un volumen útil de 0,382L (Figura 5.1). La alimentación fue suministrada al reactor mediante una bomba peristáltica de velocidad variable Masterflex. Cole Pharmer Mod. 7553-85, con un cabezal 7014-20 que opera en forma discontinua ya que conecta a un temporizador Lovato DRPL 220 programado para que entregue, en una primera etapa, 2min de alimentación y 30min de pausa

Para la recirculación se empleo una bomba peristáltica Masterflex Cole Pharmer Mod. 7554-56 de velocidad variable (1-100 r.p.m.), y que funciona en forma continua. La bomba dispone de un cabezal 7018-20. Las mangueras que conectan el sistema son seis de 6mm de diámetro y 900 - 700 - 500mm de largo, y una de 12mm de diámetro y 900mm de largo.

El reactor fue inoculado con 10g de SSV/L con un lodo anaerobio, proveniente de la industria cervecera CCU. El sistema operó en dos etapas, la primera de 90 días, en los cuales se cargó el reactor con un efluente de la industria celulosa Kraft y que fue enriquecido con una fuente de nitrógeno y fósforo en la relación DQO : N : P, 100:5:1. Para tal efecto se preparó una mezcla de 1,95g/L de NH_4Cl y 0,57g/L de K_2HPO_4 (nutrientes). El cual corresponde al 10% del volumen total del efluente con el que se carga el reactor. Además se agrega 0,5g/L de NaHCO_3 para neutralizar los AGV y/o NaOH/HCl 1N para llevar el RIL (residuo industrial líquido) a pH 7.0. Se trabajo, durante 90 días, con un TRH de 2 días y una VCO de 0,54g DQO/L · d y una velocidad ascensional fija de 2,63m/h.

En la segunda etapa, desde el día 91 (total de 135 días de trabajo), se operó con un TRH de 1 día (modificando el temporizador operando cada 30min y durante 4min.) y VCO 0,98g DQO/L · d, se mantuvo la velocidad ascensional. La temperatura se mantuvo constante a 37°C con un calefactor Somela con termostato.

5.2 Métodos analíticos

Para la evaluación de la eficiencia del sistema se utilizaron muestras solubles de influente y efluente, filtradas a través de membranas Wathman 0,45um y se determinó: pH y alcalinidad (efluente), DQO, fenoles totales, ácido abiético, color y desde el día 110, lignina, ácido lignosulfónico y compuestos derivados de la lignina.

5.2.1 pH y Alcalinidad

El pH se controló con un medidor de pH/ mV WTW 99450085 y la alcalinidad (mg de CaCO₃) se midió en 100ml de efluente y H₂SO₄ 0,1N (bureta 50ml), hasta pH 5,75 AP (parcial) y 4,3 AT (total) con medidor de pH. Las mediciones fueron hechas a 20°C.

5.2.2 DQO

El equipo utilizado para realizar el test de DQO es un bloque calefactor Hach (Mod.001200008338), además de los siguientes reactivos:

- Solución digestora 10.216g de K₂CrO₇ y 33g de HgSO₄ disueltos en 500ml de agua, a los que se añaden 167ml de H₂SO₄ comercial.
- Solución catalítica 10.700g de Ag₂SO₄ en 1L de H₂SO₄ concentrado

Considerando un valor previsto de DQO, se hace una dilución del **influyente** para entrar dentro del rango 90-900ppm DQO. Se toman 2,5ml de muestra diluida en un tubo Pirex de 10ml, agregando 1,5ml de solución digestora y 2,5ml de solución catalítica. Además se preparó un tubo de referencia denominado “blanco”.

Los tubos son sellados (influyente, efluente y blanco) y posteriormente introducidos al bloque calefactor a 150°C durante dos horas. Una vez fríos se mide absorbancia A₆₀₀ nm en un equipo termo-espectrofotómetro Génesis 10UV unicam.

5.2.3 Fenoles totales

Para medir fenoles totales se lleva el influente y efluente a pH 9.0, luego se toman 0,1ml de muestra sobre 2ml de solución tampón y se mide directamente, contra un blanco, en el espectrofotómetro a A_{215} nm.

5.2.4 Ácido abiético

Al igual que en las mediciones de fenoles, se llevan las muestras a pH 9.0, tomando 0,1ml de muestra sobre 2ml de agua y se mide directamente, contra un blanco, a A_{239} nm.

5.2.5 Lignina y ácido lignosulfónico

Se llevan las muestras a pH 9.0, se toman 0,1ml del influente y efluente sobre 2ml de agua, y se miden directamente en el espectrofotómetro a A_{280} nm para la lignina y A_{346} nm para el ácido lignosulfónico.

5.2.6 Color y compuestos derivados de la lignina

Al influente y efluente se les mide el color directamente contra un blanco a A_{440} nm y a pH 9.0. Las muestras de compuestos derivados de la lignina se ajustan a pH 9.0, se toman 0,1ml sobre 2ml de agua y se miden a $A_{272/254}$ nm.

CAPITULO 6

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Comportamiento del reactor anaerobio EGSB

El reactor anaerobio fue alimentado con efluente de celulosa Kraft. De acuerdo a los parámetros de control hidráulico, el reactor arrancó con un TRH de 2 días, el cual se mantuvo estable durante el período comprendido entre el día 0 y el día 16 de operación. Luego se produjo una desestabilización del sistema a contar del día 17 hasta el día 49. A partir del día 50 se logró establecer nuevamente el TRH de 2 días. (Figura 6.1)

Con respecto a la VCO, se mantuvo, durante los períodos de estabilidad, en 0,54g DQO/L · d.

Por otra parte a contar del día 91 se redujo el TRH a 1 día y la VCO aumento a 0,98g DQO/L · d, manteniéndose estable el sistema hasta el fin de la experiencia (Figura 6.2).

En relación a la velocidad ascensional, podemos decir que ésta se mantuvo constante en 2,63m/h, permitiendo la fluidización del lodo (Figura 6.3).

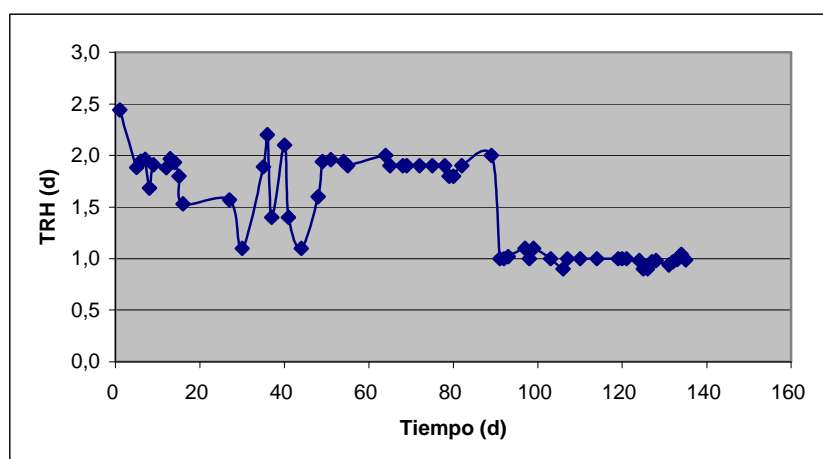


Figura 6.1 Tiempo de retención hidráulico (TRH) en el reactor.

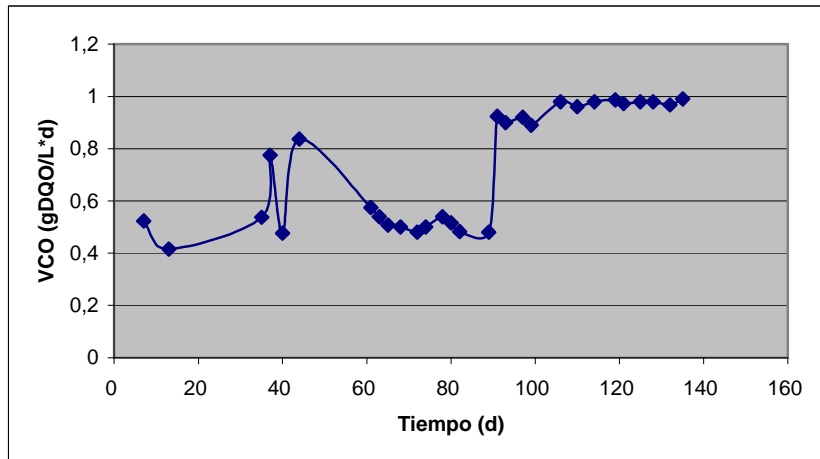


Figura 6.2 Velocidad de carga orgánica (VCO).

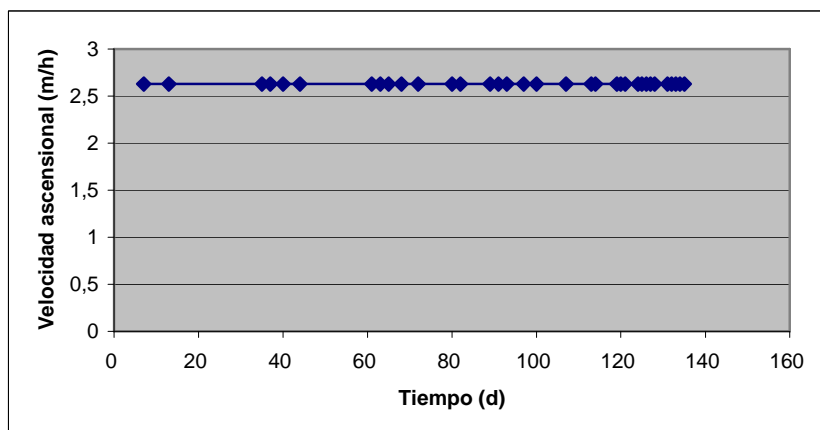


Figura 6.3 Velocidad ascensional.

6.1.1 Fallas en el sistema

El sistema se desestabilizó en los días 17 y 49 de operación, esto debido a:

- El recipiente que conduce a la bomba de recirculación, estaba diseñado para mangueras de 6mm de diámetro, contrariamente, la manguera que sale directamente del reactor es de 12mm de diámetro, esto producía presiones internas en el sistema, además, las mismas presiones empujaban el lodo produciendo taponamientos, esto provocó problemas en los sistemas de recirculación y alimentación, influyendo directamente en el TRH, VCO y fluidización del lodo.

Esto se solucionó cambiando el diseño de dos de las tres entradas que tiene este recipiente, acondicionándolas para mangueras de 12mm de diámetro. La Figura 6.4 muestra el cambio que se hizo en el recipiente, el recipiente 1 tiene entradas de 6mm y se cambio por el recipiente 2 de 12mm.

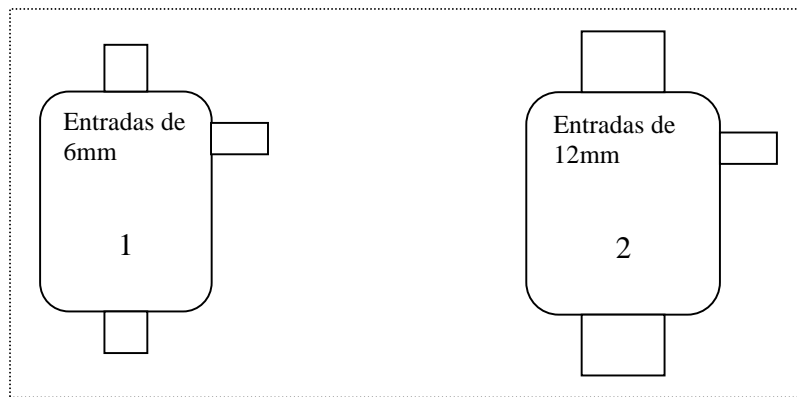


Figura 6.4 Cambios de diseño en recipiente.

6.2 Granulación del lodo

A partir del día 96, se observó un ennegrecimiento y fina granulación en el lodo, esto debido principalmente a la estabilidad del sistema y también al incremento de la VCO.

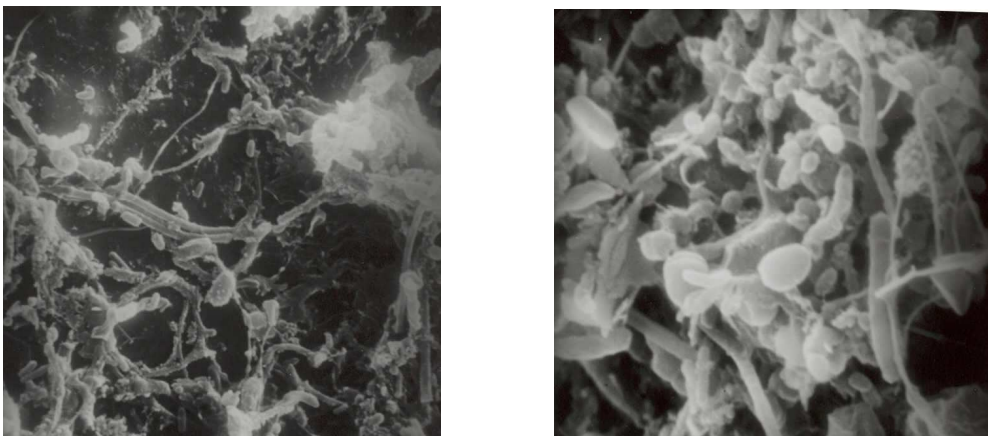


Figura 6.5 Fotografías del lodo, 5000X y 1000X respectivamente, las células más pequeñas corresponden a las metanogénicas.

6.3 Parámetros químicos

Los parámetros de control químico arrojaron los siguientes resultados:

6.3.1 pH y Alcalinidad

En la figura 6.6 se puede observar una variación en el pH del efluente, después de pasar por el reactor anaerobio EGSB.

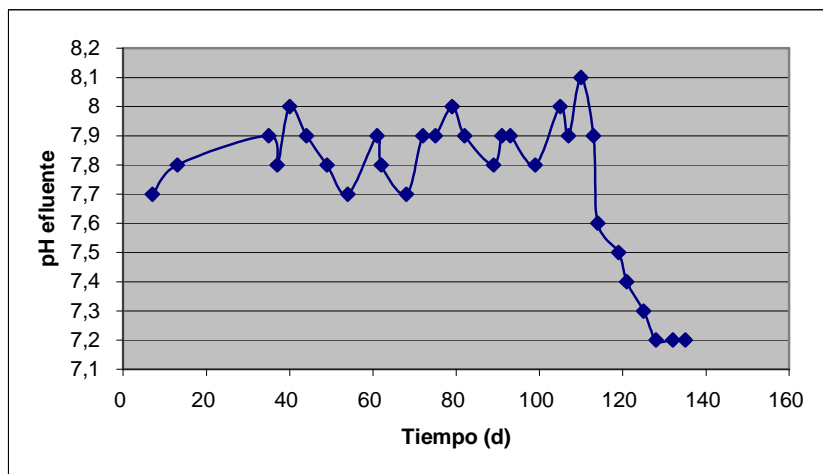


Figura 6.6 variación del pH en el efluente.

La variación del pH, especialmente desde el día 114, se debe principalmente a la baja disociación de iones bicarbonato en el agua, que al liberar dióxido de carbono en baja cantidad, hace disminuir la liberación de iones hidroxilo.

Al mismo tiempo se observa en la Figura 6.7 que al disminuir el pH aumenta la relación de alcalinidad, esto debido al incremento de la VCO y concentración de los AGV.

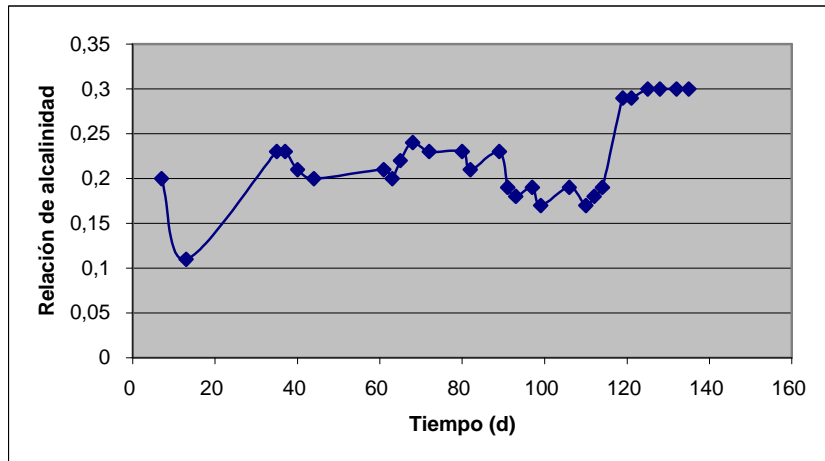


Figura 6.7 Relación de alcalinidad.

6.3.2 Eliminación de DQO

El porcentaje de eliminación de DQO, en la primera etapa, fluctuó entre un 42-46% (Figura 6.8). Con el incremento de la VCO, el porcentaje de eliminación de DQO se vio incrementado, llegando a un 58% de eliminación, gracias a la granulación que logró el lodo y al grado de *stress* al que éste fue sometido.

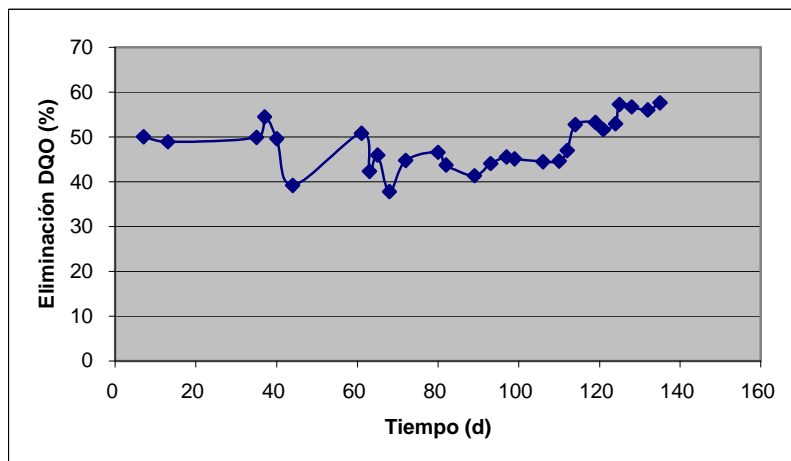


Figura 6.8 Variación en el porcentaje de eliminación de DQO.

6.3.3 Eliminación del ácido abiético

La Figura 6.9 muestra como la eliminación de ácido abiético, tuvo un progresivo aumento después del incremento de la VCO, granulación del lodo y estabilidad del sistema.

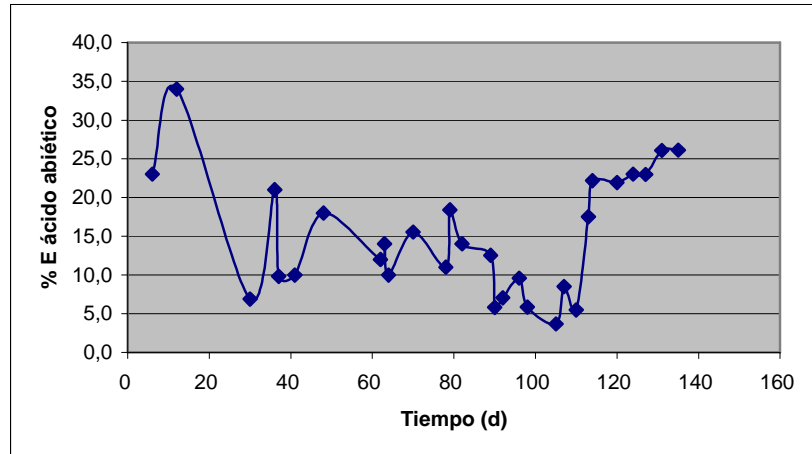


Figura 6.9 Variación en el porcentaje de eliminación de ácido abiético.

6.3.4 Eliminación de compuestos fenólicos

La eliminación de fenoles totales, por el reactor anaerobio, se muestra en la figura 6.10, observándose una fluctuación entre el 6 y 16% durante toda la experiencia. La baja eliminación de fenoles totales, se hace evidente en el comportamiento del color en el efluente, después del tratamiento biológico.

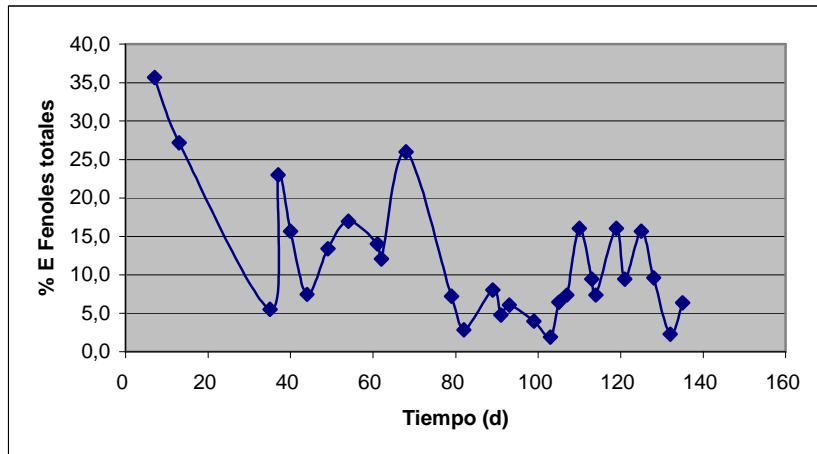


Figura 6.10 variación del porcentaje de eliminación de fenoles totales.

6.3.5 Eliminación del color

El tratamiento biológico para la eliminación del color, a 440nm, nunca mostró una efectividad, como se muestra en la figura 6.11

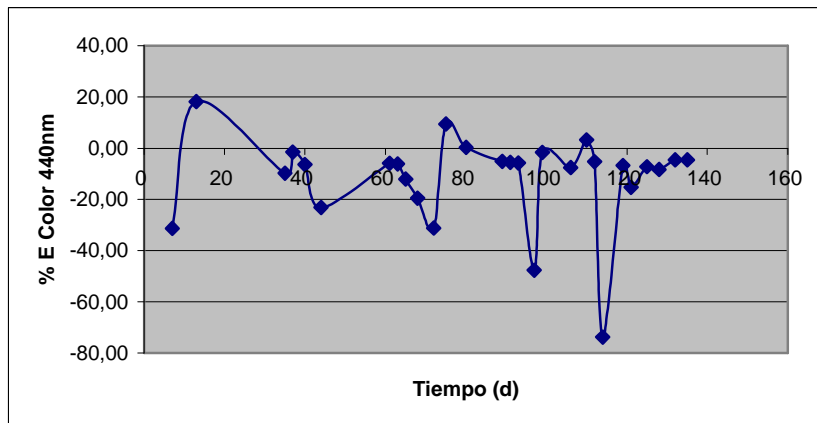


Figura 6.11 Variación del porcentaje de eliminación del color.

Esto se debe a la baja degradabilidad de la lignina residual y compuestos derivados de la lignina.

Los valores en la región UV-visible se pueden usar como indicativos de parámetros de algunos grupos químicos, tales como lignina y compuestos aromáticos. La variación relativa de estos parámetros fue expresada como la división de valores UV-visible por el DQO correspondiente. La relación A_{346}/DQO muestra al ácido lignosulfónico presente en el efluente de celulosa Kraft. La Figura 6.12 muestra tendencias a una baja degradación de este compuesto en el tratamiento anaerobio.

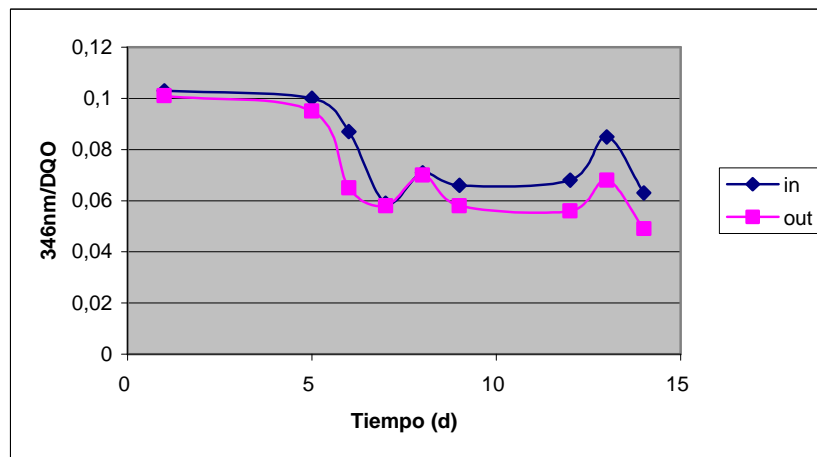


Figura 6.12 Comportamiento del ácido lignosulfónico en el reactor anaerobio

La relación A_{280}/DQO muestra la lignina presente en el efluente de celulosa. Las pequeñas variaciones relacionan cambios pocos significativos, esto es, la cantidad de lignina presente no ha sido eliminada en una alta proporción (figura 6.13).

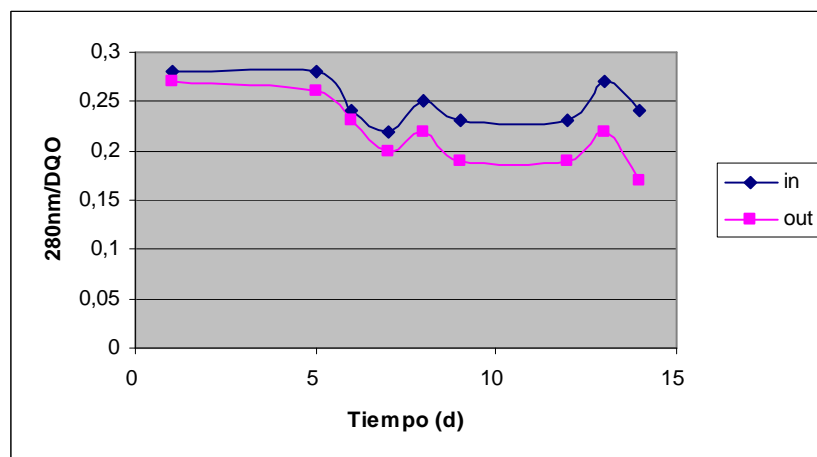


Figura 6.13 Variación de eliminación de lignina

La relación A_{270}/DQO es indicativo de compuestos derivados de la lignina residual, como lo indica la figura 6.14, existe una pequeña eliminación de estos derivados en el tratamiento biológico anaerobio.

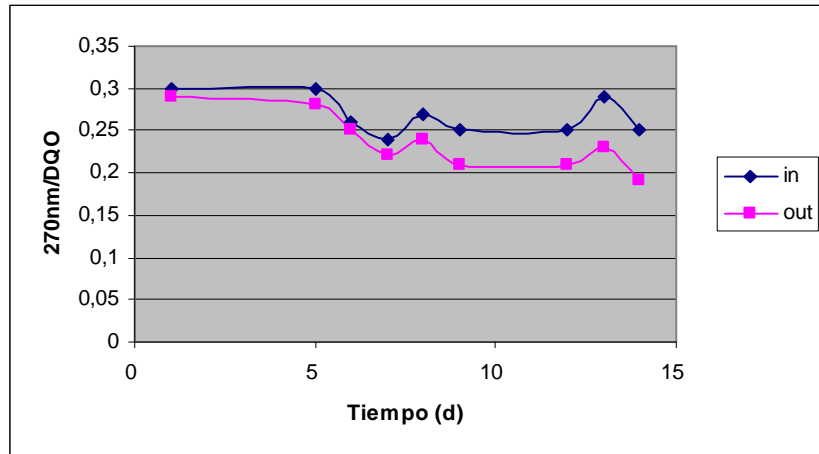


Figura 6.14 Comportamiento de derivados de la lignina en el reactor

El parámetro A_{254}/DQO (Figura 6.15) muestra el comportamiento de los compuestos aromáticos en el reactor anaerobio EGSB, apreciando una baja remoción de estos compuestos.

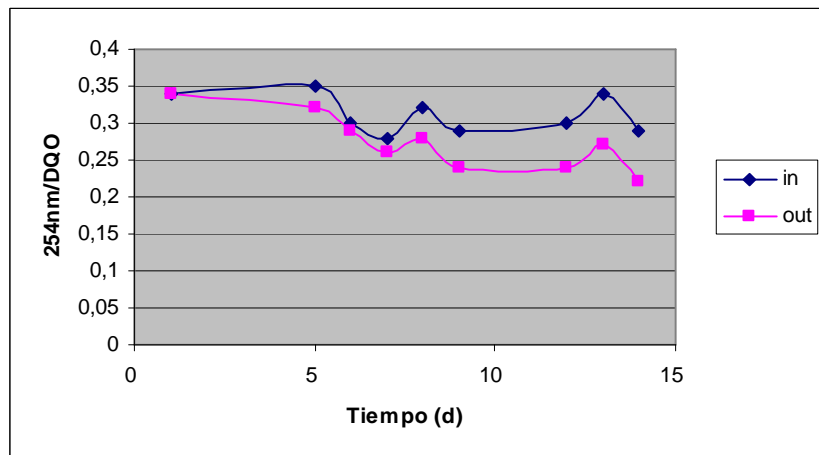


Figura 6.15 Variación de compuestos aromáticos en el reactor.

Si bien, no hubo una variación significativa con respecto a la relación A/DQO y eliminación de compuestos, se aprecia en todos los gráficos una leve tendencia a mejorar la calidad del efluente.

Tabla I. Parámetros que caracterizan el influente, promedios, máximos y mínimos.

Parámetros	Promedio	Máximos	Mínimos
DBO₅ (ppm)	387	423	322
DQO (ppm)	968	1058	804
pH	5,6	6,2	4,8
Color (Abs. 440nm)	0,442	0,564	0,263
Fenoles totales (ppm)	300	346	256
Ácido abiético (ppm)	239	285	190

Tabla II. Parámetros medios operacionales

Tiempo de operación	TRH (días)	VCO (gDQO/L · d)	Velocidad ascensional (m/h)	pH influente
0 – 45 días	Promedio 1,8 Rango 2,4-1,1	Promedio 0,59 Rango 0,84-0,42	2,63	7,0
46 – 90 días	Promedio 1,9 Rango 2,1-1,7	Promedio 0,54 Rango 0,67-0,40	2,63	7,0
91 – 135 días	Promedio 1,0 Rango 1,2-0,8	Promedio 0,98 Rango 1,10-0,85	2,63	7,0

Tabla III. Parámetros medios de eficiencia

	DQO Efluente (ppm)	pH efluente	Relación de alcalinidad en el efluente	Eliminación DQO (%)
Promedio	486	7,7	0.25	51
Máximo	546	8,1	0.30	42
Mínimo	425	7,2	0.19	58

CAPITULO 7

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede decir que el tratamiento biológico anaerobio, es eficaz para la remoción y degradación de materia orgánica contaminante, excepto en la remoción del color a long. de onda de 440nm. Además, los valores obtenidos en todas las experiencias siempre muestran una tendencia a mejorar la calidad del efluente de celulosa Kraft.

En términos generales, la puesta en marcha del reactor anaerobio EGSB, resulto muy extensa debido principalmente a los problemas de estabilidad hidráulica del sistema. Esta situación no permitió observar el total rendimiento y la eficacia del reactor anaerobio.

En este contexto, para que el reactor anaerobio EGSB trabaje en forma óptima, hay que considerar lo siguiente:

- La estabilidad hidráulica del sistema depende, en primer lugar, de una buena fluidización del lodo, con un control de la velocidad ascensional, desde la bomba de recirculación, o sea, el dial de velocidad debe tener un valor fijo.
- El TRH y VCO dependen, del tiempo de operación y caudal de entrada de la bomba de alimentación. En relación al tiempo de operación, este esta condicionado por el temporizador y las variables que este maneje (on – work). Por otra parte, el caudal de entrada se rige por la posición del dial de velocidad.
- El diseño de entradas y salidas, en el sistema, de influente y efluente mejora la estabilidad del reactor.

Todos estos puntos, ayudan a la obtención de una buena granulación del lodo anaerobio y con ello mejora la eficacia de eliminación de DQO, fenoles totales, ácido abiético, remoción de compuestos aromáticos y derivados de la lignina, pH del efluente y la producción de biogás.

CAPITULO 8

BIBLIOGRAFÍA

1. Folleto centro EULA – CHILE, aniversario Marzo 2002, 1-10.
2. Dra. Gladys Vidal, Abg. Bolívar Ruiz, Prof. Adolfo Acuña, Ing. Susana Rivera.
“Manejo Integrado de Residuos Sólidos y Líquidos”
Escuela de invierno 2003, U. de Concepción EULA-CHILE
Estrategias de minimización de residuos líquidos y sistemas de tratamiento, 1-32.
3. Jordi-Joan Cairó y Josep M. París *Departament d’Enginyeria Química, Universitat Autònoma de Barcelona*, 48-49
Microbiología de la Digestión Anaerobia Metanogénica.
4. M^a. Cristina Diez J. Depto. De Ingeniería Química, Enero 2004
El rol de la Microbiología en los sistemas biológicos, Tratamiento anaerobio de efluentes con alto contenido de sulfato, 1-10, 1-7
5. Silvio Montalvo M. – Lorna Guerrero S. U.T.F.S.M. Valparaíso.
Tratamiento anaerobio de procesos *Producción de Biogás* 5-7-9-228
6. Ana Puñal Fariña, Tese Doctoral, Santiago de Compostela Maio 1999,
ESTRATEGIAS DE POSTA EN MARCHA, OPERACIÓN Y CONTROL DE DIXESTORES ANAEROBIOS capítulo I 2-3-4-6-10-14-15-16-20-27, capítulo II 2-5, capítulo V 2-6-13
7. Degradación Aeróbica de un efluente de Celulosa Kraft y evaluación Toxicológica del Tratamiento a través de *Daphneios*
Soledad A. Chamorro Rodríguez, Universidad de Concepción Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, EULA-CHILE

8. Juan M. Lema, Ramón Méndez y Manuel Soto, Depto. Ingeniería Química. Universidad de Santiago de Compostela
Bases Cinéticas y Microbiológicas en el Diseño de Digestores Anaeróbicos
9. *AFINIDAD* revista, REVISIÓN BIBLIOGRAFICA SOBRE COMPUESTOS ORGANICOS PRODUCIDOS EN LA INDUSTRIA DE LA PASTA Y EL PAPEL: INCIDENCIA EN LA TOXICIDAD Y BIODEGRADABILIDAD ANAEROBIA DE SUS EFLUENTES
Gladys Vidal Sáez, Universidad de la Frontera. Dpto. Ing. Química
10. Concurso Regular de Investigación, INFLUENCIA DE LA TECNOLOGÍA DE TRATAMIENTO EN LA ELIMINACION BIOLÓGICA DE COMPUESTOS HORMONALES ACTIVOS, CONTENIDOS EN EFLUENTES DE LA INDUSTRIA CELULOSA
Gladys Vidal Sáez, Universidad de Concepción –Dirección de Investigación
11. Concurso Nacional de Proyectos FODECYT, ELIMINACION DE FITOSTEROLES A TRAVES DE LAGUNA AIREADA Y EVALUACION TOXICOLOGICA MEDIANTE *Daphnia magna*
Soledad Chamorro Rodríguez, EULA-CHILE
12. I + D revista, nº 3 Agosto 2003, Universidad de Concepción 16-17
13. THE USE OF UV-VIS MEASUREMENT IN THE DETERMINATION OF BIOLOGICAL TETRABILITY OF PULP BLEACHING EFLUENTS
Ferhan Çeçen, Bogaziçi University, Institute of Environmental Sciences, 34342 Bebek Istanbul-Turkey
14. Tesis Químico industrial 2003, UTFSM Thno. Cristian Moraga Troncoso (solo estructura de tesis)

CAPITULO 9

ANEXO

9.1 Calibración de Bombas de Alimentación y Recirculación

La Figuras 9.1 y 9.2 muestran las curvas de calibración que se obtuvieron antes de comenzar la experiencia.

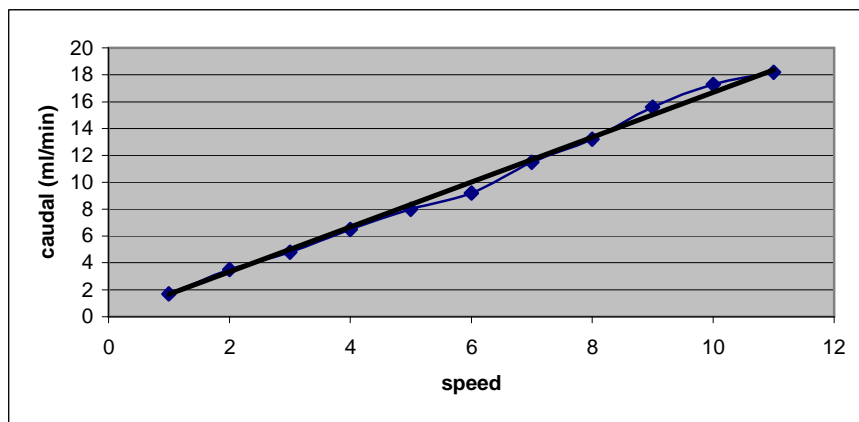


Figura 9.1 calibración de la bomba de alimentación.

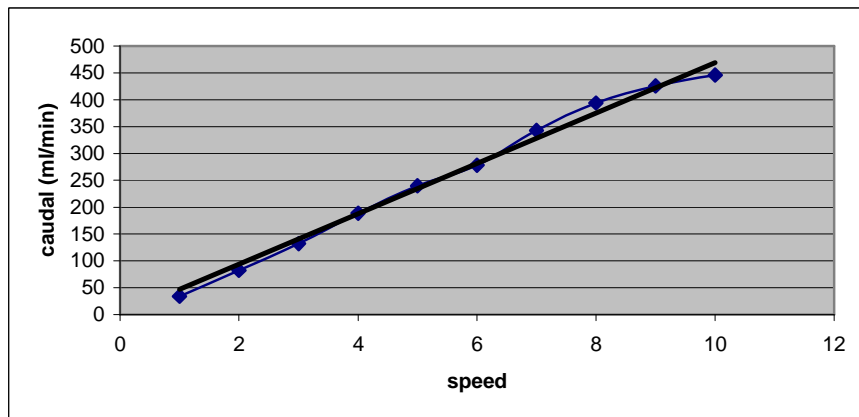


Figura 9.2 calibración de la bomba de recirculación

9.2 Reactor Anaerobio EGSB

Las fotografías muestran distintas secciones del reactor, el cual se encuentra en una cámara con temperatura constante de 37°C.



Figura 9.3 Principal sistema del reactor, se aprecia el lodo a lo largo del tubo (fluidizado), junto con el recipiente de recirculación.



Figura 9.4 En esta fotografía se aprecia el sistema de calefacción de la cámara, mantenida en 37°C



Figura 9.5 Aquí se puede observar la copa del reactor, por donde sale el efluente después del contacto con el lodo anaerobio, el efluente entra luego al recipiente de recirculación, esto ayuda a la dilución del RIL.