



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Optimización del proceso de digestión anaerobia mesófila y termófila mediante la variación de la concentración del fango a tratar

Optimization of the mesophilic and thermophilic anaerobic digestion process by varying the concentration of the sludge to be treated

Autor/es

Miguel Ozalla Sánchez

Director/es

Rosa Mosteo Abad

Jairo Gómez Muñoz

Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

2022

Agradecimientos

Me gustaría dar las gracias...

- A mi familia, a mis padres por su apoyo incondicional, por sus ánimos, por creer en mí, por su paciencia y esfuerzo durante todos estos años de carrera, para intentar darme lo mejor, para que pueda tener unas mejores oportunidades en la vida. A mis hermanos, Yago y Javier, por estar siempre ahí y aconsejarme.
- A mis amigos, que veían cómo la situación en ocasiones me superaba, pero no dejaron de apoyarme y hacer más ameno el camino.
- A los compañeros de clase, los que realmente entienden lo que ésto cuesta, por su compañía y por haber compartido estos años.
- A Rosa, por aconsejarme y darme la oportunidad de realizar este estudio tan interesante.
- A Jairo, por su tiempo, esfuerzo y dedicación. Por guiarme a lo largo de todo el proyecto.
- A todos aquellos que de una manera u otra han formado parte de mi vida en el tiempo que ha durado la carrera, que me han apoyado y animado cuando lo he necesitado.

Resumen

El propósito de cualquier sistema de depuración de aguas residuales es separar aquellas sustancias que se hayan añadido al agua limpia, mientras se ha estado utilizando como medio de limpieza y vehículo de transporte. De esta forma, además del agua depurada, que se devuelve a la naturaleza mediante vertido en un río o en el mar, también se obtiene un residuo líquido que se denomina fango o lodo de depuradora.

Las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR), son aquellas instalaciones donde acaban los vertidos y aguas ya utilizadas de las poblaciones e industrias. El consumo de agua aumenta cada día debido a su utilización industrial y urbana; además debido a exigencias medioambientales las instituciones solicitan un control continuo en los tratamientos para transformar esas aguas contaminadas en aguas más limpias que no alteren ni dañen el ecosistema.

Por consiguiente, el número de residuos y subproductos generados en las EDAR como son los fangos está creciendo. Como su uso es limitado, (principalmente en aplicaciones agrícolas como abonos o almacenado como un residuo a tratar) es interesante encontrar nuevas formas de darle rentabilidad y generar valor de estos fangos.

Los lodos o fangos son una mezcla de agua y sólidos separada del agua residual, como resultado de procesos naturales o artificiales.

Entre otras gestiones del fango, está la valorización de dicho residuo mediante digestión anaerobia, mediante la cual el fango es tratado obteniendo como producto principal biogás y biomasa. El biogás se puede considerar biocombustible ya que contiene metano como componente principal. De esta forma, mediante esta gestión del fango se apoyan las políticas de economía circular, contribuyendo a un desarrollo sostenible de la industria y aumentando la generación de recursos.

El objetivo principal del trabajo es optimizar el proceso de digestión anaerobia mesófila y termófila, en una planta a escala piloto situada en la depuradora de Tudela; mediante variación de uno de sus parámetros de operación (como lo es la concentración de carga del fango) con la finalidad de mejorar la eficiencia del proceso basada en un aumento de la generación de biogás por unidad de volumen de digestor. Además, se analizan una serie de parámetros fisicoquímicos (pH, alcalinidad, demanda química de oxígeno filtrada, amonio...) necesarios para conocer cómo se está llevando a cabo el proceso de estabilización del fango.

El estudio se basa en el análisis de los parámetros más significativos a controlar del fango, tanto en la entrada como en salida de los digestores a diferentes condiciones de trabajo para asegurar que este presenta niveles correctos de funcionamiento que indican que el proceso de digestión anaerobia se está llevando a cabo de una manera estable y adecuada. Además, en este estudio también se analiza el comportamiento de los digestores en cuanto a su estabilidad y el comportamiento de las bacterias anaerobias de su interior.

En este proyecto se ha incrementado de un 3% a un 6% la concentración de materia orgánica presente en el fango utilizado para alimentar ambos digestores anaerobios, cuya diferencia principal es el rango de temperaturas a las que operan. Se ha conseguido alcanzar el estado estacionario para el digestor mesófilo y termófilo y para las dos concentraciones de fango estudiados por lo que el funcionamiento ha sido el adecuado para el tratamiento de fangos. Además, para los dos digestores analizados se ha demostrado que al doble de concentración en materia orgánica (fango al 6%) obtiene aproximadamente el doble de biogás.

Una vez analizado el comportamiento de los digestores se realiza una estimación de la producción eléctrica para las condiciones de operación objeto de estudio (fango con contenido en materia seca al 3% y al 6%). Los resultados muestran que tanto en el digestor mesófilo como termófilo casi se está duplicando la generación de biogás y como consecuencia de ello la producción eléctrica se incrementa en un 75% para el digestor anaerobio mesófilo y un 90% para el termófilo.

Este proyecto se realiza gracias al interés de Navarra de Infraestructuras Locales S.A. (NILSA) y en colaboración con la universidad de Zaragoza. Nilsa es una sociedad pública adscrita al gobierno de Navarra que se encarga de la gestión de las plantas depuradoras de Navarra.

Índice General

1. Introducción y Objetivos	1
1.1 Gestión de fangos en la EDAR.....	1
1.2 Fundamentos de la digestión anaerobia.....	2
1.3 Objetivos.....	6
2. Procedimiento Experimental	7
2.1 Antecedentes.....	7
2.2 Materia prima: fangos.....	8
2.3 Equipos e instalación	9
2.4 Control del proceso de digestión: Métodos de laboratorio.....	14
2.5 Procedimiento del trabajo experimental	17
2.5.1 Recogida de muestras de fango	17
2.5.2 Preparación del fango de alimentación.....	18
2.5.3 Análisis de las propiedades del fango en laboratorio y su datación	19
2.5.4 Selección y elaboración de los valores más representativos de cada etapa... 20	
3. Resultados y discusión	21
3.1 Resultados.....	21
3.1.1 Estado estacionario para fangos al 3% de materia seca.....	21
3.1.2 Estado estacionario para fangos al 6% de materia seca.....	25
3.1.3 Comparación de estacionarios	27
3.1.4 Estado Transitorio	28
3.2 Análisis de la producción eléctrica.....	35
4. Conclusiones.....	37
5. Bibliografía.....	38
6. Anexos	40
6.1 Anexo A. Cálculo de las concentraciones en m.s. del fango de alimentación	40
6.2 Anexo B. Ecuaciones para el cálculo de cada parámetro fisicoquímico	44
6.3 Anexo C. Resultados	45
6.3.1 Anexo C.1. Resultados fisicoquímicos.....	45
6.3.2 Anexo C.2. Resultados biogás	55
6.4 Anexo D. Estimación de energías	61
6.5 Anexo E. Cálculo del calentamiento	63

Índice tablas

Tabla 1. Valores de la ratio (AGVs/ALC).....	16
Tabla 2. Periodo seleccionado de cada estado.....	20
Tabla 3. Parámetros Principales para una concentración del 3% en materia seca (m.s) 21	
Tabla 4. Porcentajes de metano y ratios de producción para el 3%	23
Tabla 5. Parámetros Principales para una concentración del 6% en materia seca (m.s) 25	
Tabla 6. Porcentajes de metano y ratios de producción para el 6%.	26
Tabla 7. Resultados Completos de la experimentación.....	27
Tabla 8. Producciones eléctricas e incremento conseguido.	36

Índice ilustraciones

Ilustración 1. Esquema de la digestión anaerobia.....	2
Ilustración 2. Plantas piloto anaerobias	9
Ilustración 3. Esquema del sistema de calentamiento.	10
Ilustración 4. Intercambiador de calor agua fango	10
Ilustración 5. Tanque de alimentación.....	11
Ilustración 6. Salida del fango de los digestores por rebose.....	11
Ilustración 7. Sensor de temperatura Pt-100.....	12
Ilustración 8. Esquema completo de la planta piloto.....	13
Ilustración 9. Extracción de fango deshidratado	18
Ilustración 10. Adición de fango deshidratado al depósito de carga.....	19
Ilustración 11. Gráfica de la evolución del biogás diario (13Julio-22Julio)	24
Ilustración 12. Evolución de los SV.	29
Ilustración 13. Evolución de los SI.....	30
Ilustración 14. Evolución de los SV.	31
Ilustración 15. Evolución del nitrógeno amoniacal.	31
Ilustración 16. Evolución del pH.....	32
Ilustración 17. Evolución del parámetro DQOf.	33
Ilustración 18. Evolución de la ratio de alcalinidad.	33
Ilustración 19. Evolución de la composición en metano en el biogás producido.....	34

Glosario

Siglas	Significado
EDAR	Estación depuradora de aguas residuales
SV	Sólidos volátiles
ST	Sólidos totales
SI	Sólidos inertes
DQO	Demanda química de oxígeno
DQOf	Demanda química de oxígeno filtrada
DBO	Demanda biológica de oxígeno
AGVs	Ácidos grasos volátiles
FV	Fracción volátil
TRH	Tiempo de retención hidráulica
NH ₄	Amonio
N-NH ₃	Nitrógeno amoniacal
NH ₃	Amoniaco
H ₂ S	Ácido sulfhídrico
CO ₂	Dióxido de carbono
H ⁺	Ion hidrógeno positivo
CaCO ₃	Carbonato de calcio

1. Introducción y Objetivos

1.1 Gestión de fangos en la EDAR

Las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR), son las instalaciones de tratamiento de aguas en las que se trata las aguas residuales urbanas con el objetivo de minimizar la contaminación presente y así poder verter al medio receptor sin ocasionar problemas de contaminación de las aguas.

Como consecuencia de la depuración de las aguas residuales urbanas se generan una serie de residuos como son los sólidos gruesos, sólidos sedimentables, aceites y grasas y fangos procedentes habitualmente del tratamiento primario y secundario. Los fangos de EDAR son inestables por su contenido en materia orgánica y es necesario tratarlos antes de su destino final.

Según datos de la Agencia Medioambiental Europea, la producción de materia seca de fangos derivados de tratamientos primarios y secundarios de las EDAR oscila en 90 gramos por persona y día. Concretamente estiman que en España se producen 800.000 toneladas anuales de fango deshidratado (con una humedad del 20%).

La adecuada gestión de los fangos generados en las EDAR supone un desafío medioambiental y económico. Los tratamientos de fangos más empleados incluyen la estabilización aerobia, la digestión anaerobia y el compostaje (Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico). Respecto al destino final, los más comunes son aplicados en la agricultura como abonos, incineración y eliminación en vertederos. Siendo el destino principal en España la aplicación agrícola.

La aplicación de los fangos en los terrenos para nutrir la tierra y cultivarla es el destino más utilizado de fangos de la EDAR, ya que posibilita utilizar la tierra en zonas semiáridas y construir entornos más habitables, sin embargo, el déficit eléctrico que se sufre hoy en día hace plantear nuevas valorizaciones de este residuo, como la valorización energética previa a la aplicación agrícola para esos fangos.

La valorización energética se basa en el uso de un digestor anaerobio mediante el cual se transforma la materia orgánica presente en los fangos en biogás (cuya composición principal es CO₂ y CH₄) y biomasa.

1.2 Fundamentos de la digestión anaerobia

Mecanismo microbiológico

El proceso de digestión anaerobia se clasifica como mesófilo o termófilo en función de la temperatura de trabajo. El mecanismo de degradación de la materia orgánica ya está profundamente analizado y consta de 4 fases principales, aunque existen muchos procesos intermedios donde participan una amplia cantidad de sustancias. Las principales fases llevadas a cabo en este proceso son: Hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis.

El proceso de la digestión anaerobia se desarrolla gracias a ciertas bacterias presentes en esta biomasa (fango de EDAR), algunas de esas bacterias (facultativas) son capaces de realizar el proceso de hidrólisis en entornos aerobios y anaerobios, sin embargo, la mayoría de las bacterias que tiene el fango solo son capaces de hacerlo en entornos estrictamente anaerobios. Para poder llegar a este estado, la materia orgánica ha tenido que ser reducida de macromoléculas orgánicas a micromoléculas más pequeñas, así será más accesible para las bacterias su transformación; este proceso es denominado 'Hidrólisis' y se produce mediante enzimas extracelulares. Una vez degradado el fango los microorganismos acidógenos transforman el fango en ácidos simples como acético, propiónico y butírico. Estos ácidos se denominan comúnmente ácidos grasos volátiles (AGVs). (Cedex, 2021).

En este proceso también se generan gases como amoníaco, hidrógeno y dióxido de carbono además de minúsculas dosis de aldehídos, cetonas y alcoholes. Todas estas sustancias citadas, son convertidas por los microorganismos acetógenos y metanógenos en ácido acetilo y posteriormente en biogás. Durante el proceso de metanogénesis, se necesita el mayor control del proceso ya que los microorganismos metanogénicos operan con ausencia total de oxígeno, la mayoría de las bacterias metanogénicas tienen su punto óptimo de crecimiento entre un rango de 35 y 40°C (mesófilos) o alrededor de 55-70°C (termófilos) (Gujer y Zehnder, 1983). En la ilustración 1 se muestra un esquema que resume el proceso de degradación de la materia orgánica.

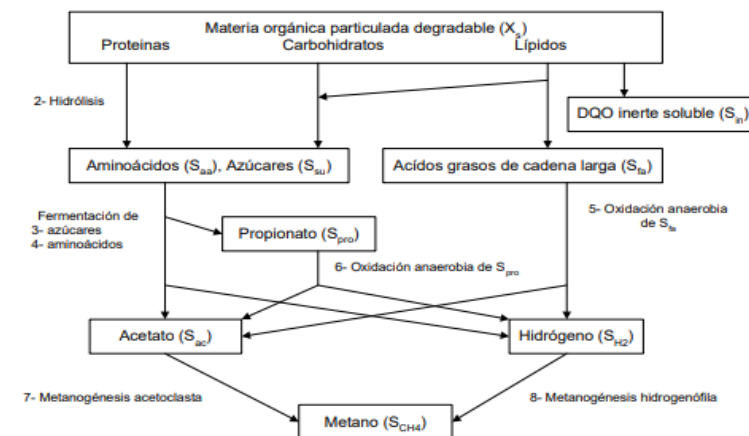


Ilustración 1. Esquema de la digestión anaerobia

La estabilización biológica de fangos producidos en las EDAR, generalmente ha sido llevada a cabo mediante la digestión anaerobia mesófila, las ventajas que este proceso

posee frente a otras formas de gestión son la producción de energía en forma de metano, la reducción de materia orgánica volátil del fango entre un 30-60% y su sencillez en llevar a cabo el proceso; por otro lado presenta algunas desventajas como la generación de espumas en el digestor o la escasa reducción de patógenos que presenta el fango del escurrido (fango ya tratado en el digestor), siendo tan escasa que el fango final no se puede considerar higienizado (sin efectos nocivos para el medio ambiente y la salud humana) como para ser utilizado en suelos.

Por estos motivos se plantearon alternativas y entre ellas surgió la digestión anaerobia termófila, que mejoraba los inconvenientes presentados por la digestión anaerobia mesófila. Otras ventajas respecto a la predecesora son una mayor eficiencia de eliminación de sólidos suspendidos, menor generación de espumas, mejor separación de sólido-líquido, mayor destrucción de organismos patógenos y mejor deshidratabilidad (aunque este último aspecto sigue generando conflictos). No obstante no todo son mejoras, existen algunas desventajas por las cuales a día de hoy se sigue utilizando principalmente métodos mesófilos. El escurrido del proceso termófilo (efluente que tiene que ser tratado de nuevo en la línea de aguas de la depuradora) presenta una concentración elevada de amonio, materia orgánica disuelta ($DQO_{filtrada}$) y AGVs (ácidos grasos volátiles) por lo que su inclusión en la línea de aguas puede generar problemas en la depuradora. Además, el proceso en fase termófila se considera más inestable.

Hoy en día gracias al desarrollo tecnológico se ha facilitado mucho el control de los digestores y muchos autores han desmentido que los digestores anaerobios termófilos son inestables. Sin embargo, reiteran que es necesario un mayor cuidado a la hora del arranque para asegurarnos de un correcto funcionamiento. Hay autores que hablan de la necesidad de un periodo de un año para la adaptación del digestor a una operación estable y en máximo rendimiento (Zábranská et al., 2000; Ahring, 1994). Aun así su aplicación sigue siendo minoritaria frente a los digestores mesófilos.

La importancia de la temperatura es fundamental para llevar a cabo el proceso de forma rápida, ya que, aunque éste puede realizarse a temperatura ambiente, el tiempo requerido es mayor. La temperatura por tanto influye en la actividad metabólica y a mayores temperaturas, mayores actividades metabólicas siempre que no se alcancen valores extremos y la muerte de microorganismos. Se ha demostrado que los microorganismos termófilos presentan una actividad metabólica mayor que los microorganismos mesófilos. Ésta es la principal ventaja de los tratamientos termófilos, lo que les confiere la capacidad de tratar mayores cargas orgánicas (Zábranská et al., 2000; Ahring, 1994).

Pero a pesar de que las reacciones biocatalíticas son más rápidas para los microorganismos termófilos, la “tasa específica de crecimiento neto”, es decir, la velocidad de crecimiento de microorganismos menos la velocidad de su lisis (ruptura) no es mayor que en los mesófilos y, a menudo, es considerablemente menor (Alleman, 1999). Esto ocurre debido a que la cantidad de energía que necesita un microorganismo termófilo para reponer los componentes celulares que se desnaturalizan debido a la elevada temperatura es superior a la de sus homólogos mesófilos. Es decir, los

microorganismos termófilos tienen un metabolismo más rápido que los mesófilos, pero también presentan un mayor requerimiento de energía para mantener sus funciones vitales. Todo ello da lugar a menores rendimientos netos de formación de biomasa por sustrato consumido (Gómez J., 2007)

Eliminación de materia orgánica

Ambos digestores (mesófilo y termófilo) poseen una eliminación de sólidos volátiles (parámetro que evalúa el contenido en materia orgánica, con capacidad de ser transformada en biogás) muy parecida si se encuentran en un rango de tiempo de retención hidráulico (TRH) de 20 días. Sin embargo, las velocidades llevadas a cabo por las bacterias en el rango termófilo son mayores, lo que implica mayores cinéticas por lo que una ventaja del digestor termófilo al mesófilo es la necesidad de menores TRH (a partir de 10 días). Como se ha citado anteriormente, en los digestores termófilos existe un mayor rendimiento en eliminación de materia orgánica particulada, el cual no siempre se traduce en un mayor grado de eliminación de materia orgánica total (materia orgánica particulada y materia orgánica disuelta). Ésto implica que en rangos de temperatura termófilos hay una mayor cantidad de compuestos solubilizados que no son convertidos en metano, pero se puede corregir al instalar en el digestor un sistema de agitación en continuo. El uso de un sistema de agitación mejora el proceso tanto para el método mediante digestor termófilo como mesófilo.

Composición de biogás y producción

Respecto a la composición del biogás, pocos estudios han sido publicados sobre este tema. Los estudios más recientes, no aportan diferencias en los porcentajes de metano producidos por los digestores termófilos frente a los mesófilos (Huete, 2007).

En cuanto a la producción de biogás por gramos de sólido volátil (SV) eliminado, tampoco se encuentran diferencias significativas (Huete, 2007). Sin embargo, cuando se trabaja a bajos tiempos de retención hidráulica (TRH), el digestor termófilo obtiene rendimientos superiores a los obtenidos en el mesófilo. La producción de biogás en el termófilo por gramos de sólido volátil alimentado será mayor en el termófilo. Este hecho es un mero efecto del rendimiento de eliminación de SV (Huete, 2007).

Es obvio pensar que cuanto mayor sea la carga de alimentación al digestor (manteniendo el rendimiento de eliminación), mayor será el caudal de biogás producido (litros/día). Los digestores termófilos comúnmente pueden trabajar a menores tiempos de retención que los mesófilos manteniendo un rendimiento de eliminación de materia orgánica similar. Por lo tanto, el hecho de eliminar más materia orgánica implica que el digestor tiene una producción de biogás superior.

Capacidad de higienización del fango

La digestión anaerobia mesófila fue desarrollada como método de estabilización y no como método de higienización del fango. Sin embargo, operando en rango termófilo también se podría conseguir un fango higienizado ya que como consecuencia de trabajar a mayores temperaturas se produce la inactivación de microorganismos potencialmente patógenos.

Concentración de amonio y pH

Otro factor característico de los efluentes termófilos es su mayor concentración de nitrógeno amoniacal respecto a los obtenidos en el rango mesófilo (Huete, 2007). El nitrógeno amoniacal se libera durante el proceso de degradación, concretamente durante la metabolización de los compuestos nitrogenados y no se elimina biológicamente debido a que no existe nitrificación en rangos termófilos de temperaturas. Durante la carga de un digestor termófilo, se produce la rotura de la pared celular de la biomasa procedente de la línea de tratamiento de aguas (solubilización térmica), al verse sometida ésta a un cambio repentino de temperaturas. En este proceso se libera el material nitrogenado de su interior que, mediante su metabolización, produce nitrógeno amoniacal por lo que se acaba volatilizándolo. En cuanto al pH, en el proceso de digestión, se forman ácidos continuamente y éstos tienden a bajar el valor del pH. No obstante, la generación de metano produce dióxido de carbono y amoníaco que al combinarse con iones H^+ aumentan el valor del pH. Las bacterias encargadas de producir metano son sensibles a los cambios del pH, consecuentemente cualquier variación en el pH que modifique el equilibrio entre fases, puede inhibir el proceso de generación de metano y más adelante detener el proceso de digestión.

1.3 Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es estudiar la optimización de la digestión anaerobia termófila y mesófila mediante la concentración del fango de alimentación, para obtener una mayor producción de biogás manteniendo su coste energético. Se analizará si el fango digerido posee un grado de estabilidad adecuado o, si, por el contrario, este aumento de producción de biogás conlleva un empeoramiento del producto final.

Económicamente el mayor gasto relativo al funcionamiento de un digestor se produce por el consumo de la energía necesaria para que la caldera y el intercambiador calienten el fango y lo mantenga en el rango de temperatura adecuado. El fango, es básicamente agua más la materia orgánica presente en ella, ya que habitualmente presenta un contenido de agua entre 90-95%. En este estudio se propone variar la sequedad del fango del 3% al 6% por lo que se supone que apenas variará la energía requerida para calentarlo.

Si los resultados finales del análisis de las plantas piloto de digestión anaerobia mesófila y termófila son los esperados, se pretende comenzar con un proyecto de construcción a nivel industrial de digestores anaerobios para aprovechar el fango producido de depuradoras de la zona y transformarlo en metano, el cual será usado como fuente de energía.

Resumiendo, el propósito del trabajo es optimizar la digestión anaerobia mesófila y termófila mediante variar la concentración de su fango de alimentación. De esta forma generar la mayor cantidad de metano posible que posteriormente será transformado en energía eléctrica. Esta energía podrá ser consumida por la depuradora de forma que se pueda obtener una operación autosuficiente donde la energía eléctrica requerida para el funcionamiento de la depuradora sea obtenida en la propia planta. Todo ello utilizando como materia prima el residuo generado en ella misma.

2. Procedimiento Experimental

2.1 Antecedentes

El diseño y construcción de las plantas piloto anaerobias (mesófila y termófila) se inició en torno al 2009 por parte de NILSA, posteriormente comenzaron las primeras investigaciones experimentales en ella y durante unos años se realizaron proyectos de forma intermitente. A comienzos del 2019 se recopilaban los diferentes parámetros relevantes a vigilar durante el proceso de digestión anaerobia. En todo este tiempo la planta ha estado en funcionamiento y bajo observación. Durante ese periodo la concentración de materia orgánica ha estado alrededor del 3% ya que es la concentración del fango que se tiene de la propia planta depuradora de Tudela.

El periodo analizado en el presente trabajo fin de grado, comprende los meses de julio hasta diciembre de 2021. Aunque se tienen datos de la planta piloto desde mucho antes, ésta lleva varios años trabajando en las mismas condiciones y por tanto se considera que los valores obtenidos en el momento de inicio, son acordes con el funcionamiento estable y estacionario inicial.

Antes de comenzar este trabajo fin de grado, la planta piloto anaerobia trabajaba con el fango generado tras la depuración del agua residual que llega a la propia EDAR de Tudela, lugar donde se realiza el estudio. La concentración de materia seca de este fango oscila entre un 2-3 %.

Los resultados producidos para un fango al 3% en el marco del presente trabajo de investigación, coinciden con los que se obtenían históricamente ya que las condiciones del entorno y operación no fueron modificadas hasta el desarrollo de este trabajo. Estos resultados se comentarán más adelante en el capítulo 3, en el apartado de resultados.

2.2 Materia prima: fangos

En primer lugar, se quiere comentar que el fango se puede separar en 2 partes, el componente mayoritario es el agua y el otro la materia orgánica, que reúne todas las demás sustancias que componen el fango. Por tanto, decir “se aumenta la concentración de materia orgánica de un 3 a un 6%” es equivalente a decir “se aumenta la sequedad de un 3 a un 6%”. Ya que en ambos casos se está disminuyendo la proporción del agua y aumentando la materia orgánica en el fango. La materia orgánica a su vez puede clasificarse en materia orgánica volátil (con la que se produce biogás) e inerte (que permanece inalterable durante todo el proceso). La suma de ambas partes consolida el total de materia orgánica o lo que es lo mismo, los sólidos totales.

En esta investigación se va a trabajar con fangos que presentan una concentración de materia orgánica del 3% y aumentan hasta un 6%. Se describen a continuación:

- Fango al 3%: corresponde a fango fresco, producto de la depuradora de Tudela, cuya concentración es la ya citada de un 2-3 % de materia seca.
- Fango al 6%: para lograr concentraciones cercanas al 6% requerido en el estudio, se ha mezclado fango fresco y fango deshidratado en las proporciones adecuadas previo análisis y cálculo. El fango deshidratado contiene un 20% de materia seca, este fango es el resultado de la deshidratación, última etapa del tratamiento en la EDAR previa a su destino final y se almacena en unos silos cerrados que se encuentran próximos a la planta piloto. En el apartado 2.5.2 se describe el procedimiento para obtener la concentración deseada.

El fango preparado para los digestores anaerobios es almacenado en el tanque de alimentación, éste posee un diámetro de 2,35 m y una altura de 2 m. Dentro del mismo se ha instalado un sistema de agitación/aireación, tipo jet. La carga de los digestores se realiza una vez al día, habitualmente siempre a la misma hora, 15 minutos antes se activa la turbina de agitación para asegurar que el fango esté lo más homogeneizado posible. El fango almacenado en el tanque de alimentación es directamente suministrado (mediante una tubería) a los diferentes digestores. Al alimentar la planta una vez al día se puede observar la evolución de las curvas de biogás temporales. Así es posible estimar el comportamiento que siguen las bacterias de su interior.

2.3 Equipos e instalación

Digestores

En el estudio experimental se ha contado con dos digestores anaerobios diseñados para trabajar en régimen de mezcla continua (completamente agitados), uno en rango de temperatura mesófilo (35 °C) y el otro en rango termófilo (55 °C). En la ilustración 2 se muestra el digestor mesófilo rodeado del resto de equipos.



Ilustración 2. Plantas piloto anaerobias

Ambos digestores son iguales y están fabricados en acero inoxidable con un material aislante para minimizar pérdidas de temperatura a través de las paredes del digestor. Además, están recubiertos con láminas de aluminio para protegerlos de las inclemencias meteorológicas. El diámetro de los tanques es 1,30 m y la altura total 3 m, con un volumen útil de aproximadamente 2,75 m³. La salida del fango de los tanques se realiza por rebose mediante un tubo sumergido unos 20 cm en el fango del digestor.

Cada tanque cuenta con una agitación mecánica que funciona en continuo. La agitación se realiza mediante una barra de acero inoxidable, girada por un motor, en la que se han acoplado dos hélices también de acero inoxidable, una de ellas a la altura de la parte central del reactor y la otra a la altura del nivel del fango haciendo la función de rompecostras.

Los agitadores se unen a los digestores mediante un sistema de cierre hidráulico para evitar que se produzcan fugas del biogás producido o que entre aire del exterior.

La salida del biogás se produce por un tubo situado en la cubierta. Esta salida es debido a la diferencia de presiones entre la cúpula y el otro extremo del tubo, que se encuentra a presión atmosférica, de forma que los digestores trabajan a presión constante. El biogás se hace pasar a través de un circuito para eliminar el agua condensada que contiene antes de ser medido mediante un caudalímetro másico.

En cuanto al sistema de calentamiento, cada digester cuenta con una recirculación en continuo del fango que es llevada a cabo por una bomba de desplazamiento volumétrico. La recirculación sale por la parte inferior del tanque, pasa a través de un intercambiador de calor agua-fango y retorna al digester por la parte superior. Cada tanque cuenta con un intercambiador de calor. Este sistema, además de mantener la temperatura interior del digester aporta una agitación adicional a la agitación mecánica. En la ilustración 3, se recoge el esquema de los circuitos de fango y de agua que forman parte del sistema de calentamiento de los digestores. (Sobrados et al.,2010).

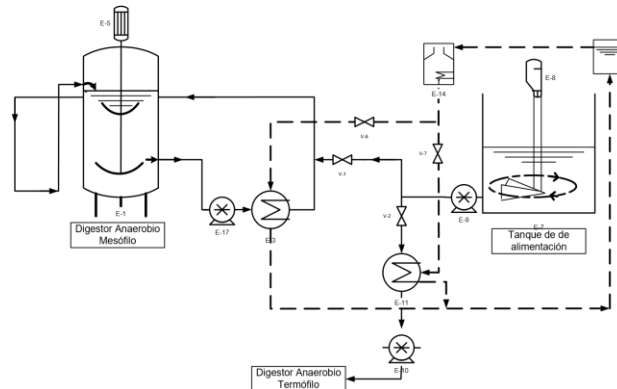


Ilustración 3. Esquema del sistema de calentamiento.

Para el calentamiento del agua de los intercambiadores se utiliza una caldera eléctrica. El paso del agua caliente a los intercambiadores se regula mediante electroválvulas cuyo tiempo de apertura es controlado por el autómata según la demanda de calor de cada uno de los digestores. Este control se realiza con una sonda de temperatura en su interior. En la siguiente ilustración (ilustración 4) se muestra el intercambiador de calor utilizado en la planta piloto.



Ilustración 4. Intercambiador de calor agua fango

Entrada de fango

La entrada del fango de alimentación a los digestores se realiza a través de la recirculación, en un punto anterior a su paso por el intercambiador de calor, para que el fango, que proviene del tanque de alimentación (ilustración 5) y se encuentra a temperatura ambiente, se caliente antes de entrar al digestor.



Ilustración 5. Tanque de alimentación.

La alimentación se realiza de forma discontinua, una vez al día, mediante una bomba temporizada que impulsa el fango desde el depósito de poliéster al digestor. El caudal diario de fango que se alimenta a la planta se controla variando el tiempo de funcionamiento de la bomba de carga desde el ordenador de control de las plantas piloto.

Salida de fango

La salida del fango se realiza por rebose a través de un tubo sumergido unos 20 cm en el fango que hace las veces de sello hidráulico, impidiendo la salida del biogás del digestor y la entrada de aire. El fango que sale de los digestores es recogido en unos depósitos (ilustración 6), donde se mide tanto su volumen diariamente para controlar el caudal de fango alimentado a cada reactor. Para el acceso a la toma de muestras se ha instalado un grifo en la tubería de recirculación.



Ilustración 6. Salida del fango de los digestores por rebose

Sensores

Las plantas piloto cuentan con dos tipos de medidas online que emiten información a tiempo real: El caudal de biogás y la temperatura.

Cada digester tiene un caudalímetro másico de hilo caliente que mide el biogás generado en cada uno de ellos y transmite la información de forma continua. La elección de este tipo de caudalímetros se ha basado en su baja pérdida de carga, poca sensibilidad a la suciedad y la humedad y su independencia de los cambios de presión y temperatura. Este sensor está conectado a un transmisor que envía la señal al autómeta. En cuanto al registro de la temperatura, se utiliza un sensor Pt100 (ilustración 7) que está en el interior del digester, Este sensor emite la información vía online cada minuto.



Ilustración 7. Sensor de temperatura Pt-100

Sistema de monitorización, control y adquisición de datos

Las plantas piloto cuentan con un sistema SCADA (supervisory control and data acquisition) para la monitorización, control y adquisición de datos que facilita su operación y control. Este sistema cuenta fundamentalmente con un ordenador de control y un autómeta. A continuación, se detalla su funcionamiento y sus partes integrantes. La programación del autómeta consiste en la implementación de las siguientes tareas:

- Adquisición del valor de la temperatura de ambos digestores.
- Apertura y cierre de las electroválvulas para la carga de los digestores.
- Temporización de la bomba de alimentación de los digestores.
- Temporización de la aireación/agitación del tanque de poliéster.
- Control de la temperatura de los digestores mediante un set-point de la temperatura interior de cada uno de ellos que demanda un mayor o menor tiempo de apertura de las electroválvulas del circuito del agua que va a los intercambiadores de calor.

Esquema de la planta piloto

En la ilustración 8 se muestra un esquema completo de la planta piloto (Sobrados et al.,2010). En ella se recogen todos los elementos de la instalación, su disposición y unión entre los diferentes elementos.

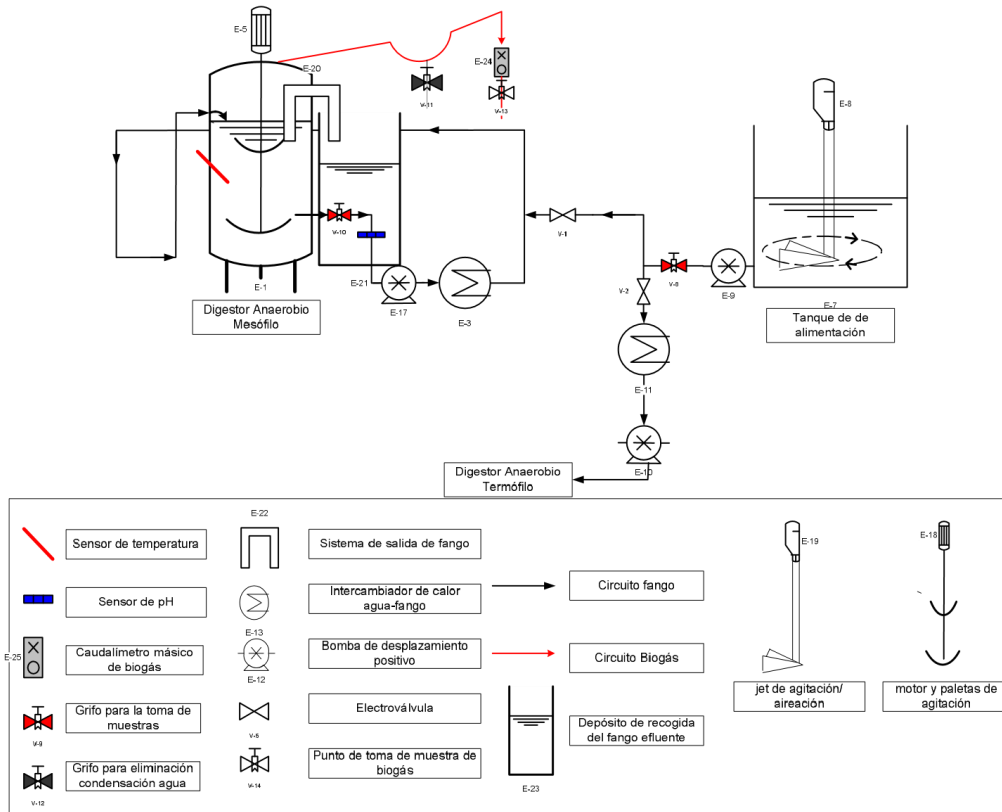


Ilustración 8. Esquema completo de la planta piloto.

2.4 Control del proceso de digestión: Métodos de laboratorio

En el proceso de digestión intervienen un gran número de factores como el grado de Digestión requerida, cantidad de sólidos a digerir, temperatura de trabajo, características del fango fresco etc.... Las propiedades de los fangos se determinan mediante el control de diferentes parámetros fisicoquímicos. La mayoría de los métodos analíticos empleados siguen los procedimientos descritos en el libro "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (APHA, 1995).

Dado que un control exhaustivo de la digestión es difícil de conseguir, es necesario centrarse, al menos, en:

- Que la alimentación del digestor se realice de forma regular.
- Mantener una temperatura uniforme del fango dentro del digestor.
- Conseguir una buena mezcla para amortiguar la alcalinidad y regular el pH, evitar la acumulación de espumas y el depósito de arenas.
- mantener una temperatura uniforme en todo el tanque.

Como norma general, es necesario hacer los siguientes controles:

- Análisis del fango de entrada (SV, ST, DQO filtrada, Nitrógeno amoniacal y pH)
- Volumen del fango de alimentación.
- Ácidos volátiles del fango digerido.
- Análisis del fango del interior del digestor (SV, ST, ácidos volátiles, alcalinidad, DQO filtrada, NH_4 y pH).
- Temperatura del proceso.
- Grado de mezcla del proceso.
- Comparación entre el volumen de gas producido y la reducción de SV.
- Contenido del gas en CH_4 , CO_2 , SH_2 y H_2 .

En este trabajo de investigación se analizan todos los parámetros indicados previamente de manera diaria, a excepción del grado de mezcla del proceso, que solo se analiza cuando se producen cambios en la concentración de materia orgánica en el fango de alimentación.

A continuación, se incluye una breve descripción de los parámetros analizados y su influencia en la digestión anaerobia.

Demanda química de oxígeno (DQO)

Se define como el parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida, en el caso de nuestros fangos todas esas sustancias son generadas por las reacciones llevadas a cabo por los microorganismos, luego es equivalente a hacer una DBO, que sería la demanda de oxígeno biológica; por la dificultad en realizar el ensayo de DBO, se ha preferido realizar el ensayo de DQO. Para la obtención de la DQO filtrada, se utiliza un filtro de 1,5 μm . Este parámetro permite conocer la concentración de materia orgánica soluble presente en el escurrido del proceso.

Se utiliza el Método 5.220B (APHA, 1995)

pH

Los valores óptimos del proceso de digestión anaerobia están entre 6,8 y 7,2. El proceso se inhibe tanto a valores altos de pH como a bajos.

Se determina mediante un pH-metro CRISON digital lab 517. Método 4.500- H+B (APHA, 1995).

Nitrógeno amoniacal (N-NH₄⁺)

Es un parámetro de control relacionado con la degradación de compuestos con un alto contenido en nitrógeno. La acumulación de elevadas cantidades de nitrógeno genera grandes problemas para la supervivencia de las bacterias metanogénicas, pudiendo llegar a desactivarlas por lo que es importante conocer la cantidad de nitrógeno amoniacal presente en el fango.

Su determinación se ha realizado mediante destilador por arrastre de vapor BÜCHI 315. Método 4.500-NH₃-B (APHA, 1995).

Sólidos totales y volátiles (ST y SV)

La concentración de sólidos volátiles se relaciona con las sustancias presentes en el fango que son susceptibles de ser transformadas en biogás, por tanto, cuanto más alto sea el porcentaje de sólidos volátiles, mayor será la cantidad de metano que genera una misma cantidad de fango.

Para el análisis de los SV es necesario determinar los Sólidos Totales (ST) que se realiza mediante pesado en crisoles de porcelana y secado a 105 °C hasta pesada constante (menos de un 4 % de variación entre pesadas). Su posterior volatilización a 550 °C da como resultado Sólidos Volátiles. Métodos 2.540B y 2.540E (APHA, 1995). El cálculo se realiza como sigue:

$$ST(\%) = \frac{(A-B)\%}{C} \text{ (Ec.1)} \quad SV(\%) = \frac{(A-D)\%}{C} \text{ (Ec.2)}$$

A=peso del residuo seco a 105 ° C más el crisol

B=peso del crisol.

C=peso de la muestra húmeda.

D=peso del residuo calcinado a 550°C más el crisol.

El equipo de laboratorio utilizado para la obtención de los ST ha sido una estufa y para los SV una mufla de laboratorio.

Alcalinidad

La alcalinidad se entiende como la capacidad de las soluciones para resistir cambios de pH en presencia de ácidos o bases. Es una herramienta muy utilizada para controlar que no se produzca una acidificación en el digestor que arruine el proceso de digestión. Se establece como medida de control la ratio de alcalinidad que es la relación de alcalinidad debida a los AGVs (Ácidos grasos volátiles) entre la alcalinidad de los bicarbonatos.

La empresa HACH Company, especializada en instrumentos analíticos y reactivos utilizados para probar la calidad del agua y otras soluciones líquidas, presenta en su página web un documento donde recogen un rango de valores estándar para valorar el estado de los digestores. La tabla 1. Valores de la ratio (AGVs/ALC) recoge esos valores.

Tabla 1. Valores de la ratio (AGVs/ALC)

Relación (AGV/ALC)	Antecedentes	Medida
0,8	Cesa la producción de metano	Detener alimentación,
0,6-0,7	Estabilidad del digestor crítica	Reducir o detener la alimentación
0,4-0,5	Condiciones anaerobias perturbadas	Reducir la velocidad de alimentación, ajustar las condiciones de funcionamiento
0,3-0,4	Producción de biogás alta	Situación óptima
0,2-0,3	Producción de biogás moderada	Monitorizar cuidadosamente las condiciones del digestor
<0,2	Producción de biogás baja	Aumentar lentamente la alimentación del digestor

La alcalinidad se expresa en mg Ca CO₃/l y se calcula como sigue:

$$\text{Alcalinidad} \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \text{ Ca CO}_3 \right) = \frac{A \cdot N \cdot 50000}{\text{Volumen Muestra (ml)}} \quad (\text{EC.3})$$

Donde,

A = ml de ácido estándar gastado en la valoración.

N = normalidad del ácido estándar utilizado.

La ratio de alcalinidad se calcula como el cociente: $\frac{\text{Alcalinidad Intermedia}}{\text{Alcalinidad Bicarbonatos}}$

Y teniendo como alcalinidad total la suma de ambas.

Aunque no ha sido objeto de estudio ni se ha utilizado para el cálculo de ningún parámetro en el anexo E. Cálculo del calentamiento se muestra cómo se estima la energía necesaria para el cálculo del calentamiento del fango, ya que es esencial para la correcta operación de los digestores.

2.5 Procedimiento del trabajo experimental

Como se ha comentado en el punto 1.3 Objetivos, el propósito del trabajo es pasar de un 3% de concentración de materia seca/orgánica a un 6% en el fango de alimentación. Se estima que si la concentración en materia orgánica es el doble, la producción de biogás también lo será; no obstante pueden verse modificados parámetros como el nitrógeno amoniacal, el ratio del alcalinidades, el pH, la estabilidad del fango o la necesidad de aumentar los tiempos de retención para obtener un fango estabilizado, el hecho de que alguno de estos parámetros se modifiquen tras el cambio de concentración, conllevaría problemas de inestabilidad en el proceso de digestión que puede suponer un problema para un funcionamiento estable de los digestores.

La metodología de trabajo utilizada consta de 4 etapas principales:

1. Recogida de muestras de fango en la entrada y salidas.
2. Preparación del fango de alimentación para los digestores.
3. Análisis de las propiedades del fango en laboratorio y su datación.
4. Elaboración de gráficas y selección de valores representativos en cada fase.

2.5.1 Recogida de muestras de fango

La recogida de muestras se realiza de forma diaria, excluyendo festivos y fines de semana. Se toman 3 muestras de fango al día, 1 en la entrada y 2 en las salidas. Este trabajo es realizado habitualmente por personal de la depuradora.

La muestra de la entrada se toma de la tubería que sale del tanque de alimentación y conecta con la bomba de impulsión. El fango de entrada es común para ambos digestores ya que después de la bomba de impulsión el fango se bifurca en dos tuberías según el digestor al que vaya a ir.

Las muestras del fango salida se toman de las tuberías que salen de cada digestor y conectan con el intercambiador de calor, en estas tuberías se está recirculando el fango de su interior que está manteniéndose agitado y a la temperatura de trabajo gracias a atravesar el intercambiador de calor.

En cuanto a la toma de muestras referente al biogás. Se utiliza un medidor de gases portátil, que es transportado desde el laboratorio hasta la salida de gases de la planta piloto y se conectan. Realizándose las medidas de porcentajes de biogás de forma directa.

2.5.2 Preparación del fango de alimentación

El fango utilizado durante el proyecto ha sido mezclado para asegurarse una evolución gradual desde un 3% de concentración hasta un 6%. Para pasar de una situación a otra en los digestores, se preparan muestras de fango al 4,5 % de sequedad con el objetivo de que los cambios en los digestores sean más paulatinos.

Para realizar la mezcla de fango, se ha tenido 2 tipos de fangos diferentes. Por un lado, el fango fresco producto de la propia depuradora. Este fango posee una concentración de aproximadamente un 3% en concentración de materia seca.

Por otro lado, la depuradora de Tudela recibe un suministro semanal de fango deshidratado proveniente de otras depuradoras de la zona. El contenido de materia seca (materia orgánica) de este fango oscila el 20%.

El fango deshidratado es almacenado en unos silos o depósitos a una altura de 3 metros. Estos cuentan con una apertura inferior para descargar el fango. En la ilustración 9 se muestra su recogida.



Ilustración 9. Extracción de fango deshidratado

En este trabajo fin de grado se ha desarrollado el procedimiento utilizado para ajustar la mezcla de fangos y obtener el fango de alimentación objeto de estudio. Una descripción más detallada se encuentra en 'Anexo A. Cálculo de concentraciones'. En este anexo se explica el razonamiento seguido y las fórmulas que han sido utilizadas en la Excel utilizada. Este procedimiento es función de:

1. La altura que alcanza el fango en el tanque de alimentación antes de rellenarlo.
2. La concentración en materia seca/orgánica del fango que hay en el tanque.
3. La nueva concentración en materia orgánica que se quiere alcanzar.
4. La nueva altura que alcanza el fango tras la adición de fango fresco al 3%.

Donde tras rellenar las casillas con esos valores, se calcula la cantidad de fango deshidratado (20% en materia orgánica/seca) que se necesita añadir y el número de paladas necesarias para alcanzarlo; ya que el fango fresco al 3% se bombea y suministra

mediante una tubería y el deshidratado es necesario mediante la ayuda de un operario y el uso de una minicargadora, verterlo al depósito y posteriormente con el jet realizar la mezcla y homogeneización del fango.

En la ilustración 10 se muestra como el fango deshidratado es vertido al tanque de alimentación.



Ilustración 10. Adición de fango deshidratado al depósito de carga

El tiempo utilizado para pasar del fango del 3% al 6%, será el marcado por los propios digestores. Sin embargo, es necesario un cuidadoso control ya que, si se detiene el proceso de digestión destruyendo a las bacterias de su interior, hay que empezar desde cero arrancando el digestor.

Hay autores que hablan de la necesidad de un periodo de un año en el arranque de un digestor anaerobio para la adaptación del digestor tenga una operación estable y el máximo rendimiento (Zábranská et al., 2000; Ahring, 1994).

2.5.3 Análisis de las propiedades del fango en laboratorio y su datación

El fango se recoge abriendo una válvula que se encuentra en el tubo de salida de los digestores. Cada muestra se almacena en un recipiente de plástico cuyo sistema de cierre es una rosca. El material con el que se fabrican estos recipientes no reacciona con el fango.

Una vez hecha la toma de muestras del fango, se realizan por personal propio de NILSA los ensayos comentados en el apartado 2.2 “Control del proceso de digestión: Métodos de laboratorio”.

2.5.4 Selección y elaboración de los valores más representativos de cada etapa

Una vez recopilados los resultados de los parámetros fisicoquímicos del fango y del biogás generado se elaboran las gráficas para un análisis detallado de cada una de las situaciones objeto de estudio.

En la tabla 2 se muestran el periodo de análisis para cada etapa analizada en esta investigación:

Tabla 2. Periodo seleccionado de cada estado.

Estado	Periodo
Estacionario al 3%	1 junio-16 julio
Transitorio	17 julio-26 septiembre
Estacionario al 6%	27 septiembre-17diciembre

3. Resultados y discusión

3.1 Resultados

En primer lugar, se muestran los resultados relativos a la situación inicial de trabajo en los digestores que corresponde con el tratamiento de muestras de fangos con un 3% de materia seca. Después se analiza el efecto de utilizar fangos con una sequedad del 6% (concentración de materia orgánica) como alimentación y se comparan las dos situaciones objeto de estudio. Para finalizar, se analiza la evolución entre estas dos situaciones estacionarias.

En el anexo C. Resultados se muestran los resultados de todos los parámetros analizados, incluyendo en este apartado los valores medios.

3.1.1 Estado estacionario para fangos al 3% de materia seca

Se analizan las 3 muestras de fango tomadas, estas son la entrada de alimentación de los digestores que es común, la salida del digestor anaerobio mesófilo y la salida del digestor anaerobio termófilo. En la tabla 3 se muestran los principales resultados de los parámetros analizados. Se ha calculado la media de cada parámetro para tener el valor más representativo desde el día 1 de junio hasta el 16 de julio. No obstante, no se muestran todos los parámetros, solo los más relevantes.

Con los ensayos de laboratorio se consiguen la mayoría de los parámetros fisicoquímicos, algunos de ellos son SV, ST, pH, NH₄ etc...

Para calcular otros parámetros fisicoquímicos es necesario partir de los anteriores. Algunos de éstos son FV, rendimiento de eliminación, ratio de alcalinidad etc. Las ecuaciones necesarias para su obtención se encuentran en el anexo B. "Ecuaciones para el cálculo de cada parámetro fisicoquímico".

Tabla 3. Parámetros Principales para una concentración del 3% en materia seca (m.s)

Parámetros relevantes al 3% m.s.							
	ST (%)	SV (%)	FV (%)	DQOf (mg/l)	NH ₄ (mg/l)	pH	Ratio Alcalinidad
Fango alimentación	2,91	1,95	67,15	2308	270	7,47	0,558
Salida Mesófilo	1,76	0,97	55,03	828	588	7,61	0,24
Salida Termófilo	1,93	0,97	56,46	2115	729	7,97	0,24

Estos resultados muestran los valores que presenta el fango en la situación inicial, sirven para cuantificar y conocer su estado en el punto de partida.

Como se observa en la tabla 3, el contenido en materia seca es casi del 3% (2,91%), de ellos un 1,95 % son sólidos volátiles por lo que este fango presenta un 67% de fracción volátil respecto del total de contenido en sólidos. Estos datos son relevantes ya que informan sobre la capacidad que tiene el fango de transformarse en biogás. En cuanto a la DQO_f se observa como el digester termófilo presenta valores superiores de materia orgánica soluble frente a los obtenidos en el digester mesófilo. Como se ha indicado en el apartado de fundamento “Mecanismo microbiológico”, uno de los problemas de la digestión termófila es las altas concentraciones de materia orgánica disuelta presentes en el escurrido, que tiene que ser tratado posteriormente en la línea de aguas de la EDAR.

La relación de DQO_f en el digester termófilo es de 3 veces la del mesófilo para estas condiciones de alimentación. La concentración de materia orgánica soluble en condiciones mesófilas es similar al agua de entrada de una depuradora, pero en condiciones termófilas la concentración es bastante superior. Por lo que en la planta se tendrá que controlar con más detalle y recircular dicho escurrido a la línea de tratamiento de aguas.

Respecto al amonio, los valores también son superiores en condiciones termófilas, el amonio se produce a consecuencia de los compuestos nitrogenados que contiene la materia orgánica. Conforme los sólidos volátiles que contienen nitrógeno se van degradando, se va generando amonio y nitrógeno amoniacal.

Atendiendo al pH, este se sitúa cerca de los rangos óptimos de 6,8-7,2 que se mencionó en el capítulo 2.4 Métodos de laboratorio.

En cuanto al ratio de alcalinidades, según la tabla 2 los digestores se encuentran en un rango de producción moderado.

Tabla 2. Valores de la ratio (AGV/ALC)

Relación (AGV/ALC)	Antecedentes	Medida
0,8	Cesa la producción de metano	Detener alimentación,
0,6-0,7	Estabilidad del digester crítica	Reducir o detener la alimentación
0,4-0,5	Condiciones anaerobias perturbadas	Reducir la velocidad de alimentación, ajustar las condiciones de funcionamiento
0,3-0,4	Producción de biogás alta	Situación óptima
0,2-0,3	Producción de biogás moderada	Monitorizar cuidadosamente las condiciones del digester
<0,2	Producción de biogás baja	Aumentar lentamente la alimentación del digester

La composición del biogás generado en estos tratamientos anaerobios es principalmente metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), no obstante, también se producen otros gases en cantidades menores como oxígeno (O₂), nitrógeno (N₂) y ácido sulfhídrico (H₂S). En general, se utilizan los términos de metano CH₄ corregido y dióxido de carbono CO₂ corregido para indicar el porcentaje de cada uno de estos componentes en el interior del digestor. Ya que, al realizar la medición de los gases, conectando la salida de biogás del digestor con la boquilla del medidor de gases, se introduce oxígeno del aire en la muestra y es necesario hacer una corrección. Ya que no se encuentran presentes en un digestor anaerobio las cantidades de oxígeno que indica la lectura.

En la tabla 4 se muestran los valores relacionados con el metano obtenido en los dos digestores, cuando estos reciben un fango con concentración de materia seca del 3%.

Tabla 4. Porcentajes de metano y ratios de producción para el 3%

Digestor	Biogás (l/d)	Metano (l/d)	% Metano (medido)	litros (CH ₄) / g.SV eliminado	litros GAS/ g.SV eliminado	% Metano (corregido)
Mesófilo	725	435	59,37	0,47	0,8	70,83
Termófilo	1387	738	56,23	0,68	1,13	69,97

Como se refleja en la tabla 4, la producción de metano del termófilo es superior a la producida en el digestor mesófilo. Además, para ambos digestores el metano representa aproximadamente un 70% del biogás. Durante este análisis el caudal alimentado en ambos digestores y el TRH es similar (siendo 23 días para el mesófilo y 22 en el termófilo). En las condiciones presentadas para este periodo estacionario del 3%, se corrobora que la producción de biogás en el digestor termófilo es considerablemente superior.

En el apartado “composición de biogás y producción” se ha comentado que los digestores termófilos tienen una mayor capacidad en la producción; lo que se confirma con estos resultados.

En la ilustración 11 se muestra la evolución de la producción de biogás durante un periodo de 9 días, la concentración en materia orgánica que presenta el fango en esas fechas es del 3%. El digester termófilo se representa con la línea azul de la ilustración y mesófilo con la línea verde.

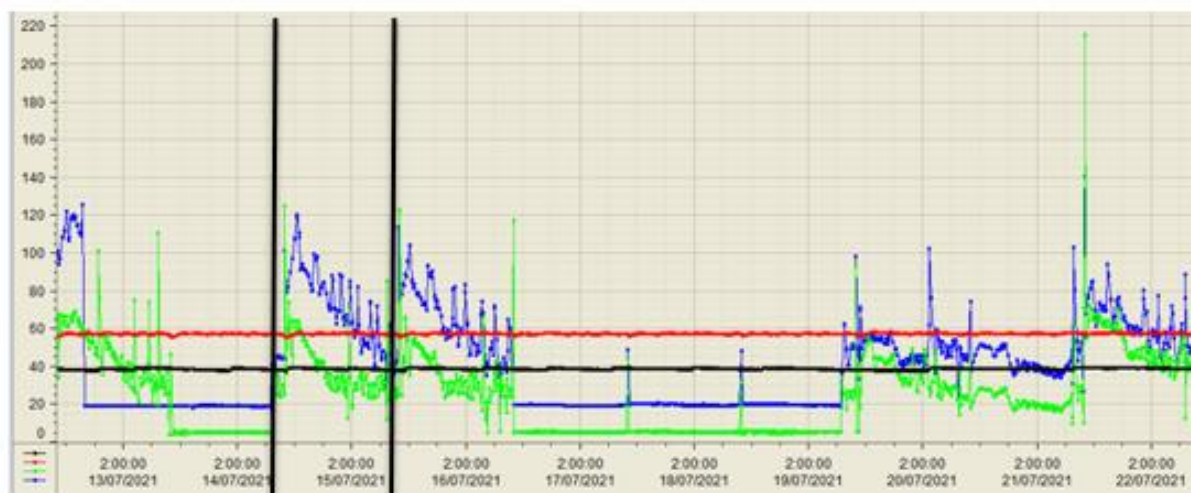


Ilustración 11. Gráfica de la evolución del biogás diario (13Julio-22Julio)

Para entender mejor cómo se comporta un digester, se ha marcado en la gráfica los resultados de un día entre dos rectas, concretamente del día 15 de Julio.

A las 12 h de la mañana los digestores son alimentados con fango. Al alimentar el digester, se tiene una mayor cantidad de materia orgánica para transformar en biogás. Con una mayor cantidad de materia orgánica las bacterias de su interior se reproducen aumentando en número y por tanto teniendo más bacterias anaerobias. Durante este crecimiento, las bacterias ya existentes han ido generando biogás y conforme se producían nuevas bacterias estas iban produciendo aún más biogás. Poco a poco la cantidad de materia orgánica se va reduciendo y por consiguiente se produce menos biogás. A medida que la materia orgánica biodegradable se va transformado en biogás, esta disminuye y las bacterias encargadas de su digestión se van muriendo por falta de alimento. Al día siguiente a la misma hora (las 12 h de medio día) el digester vuelve a ser alimentado y se repite el proceso.

Durante los fines de semana y festivos no se trabaja en la depuradora, por tanto, las llaves de purga de cada digester anaerobio; situadas en las salidas de biocombustible permanecen abiertas y no se realiza lectura de biogás. Por este motivo para algunos días los resultados de biogás generado son nulos, mostrando una gráfica con pendiente nula.

3.1.2 Estado estacionario para fangos al 6% de materia seca

Para la situación final, se ha hecho una media tomando los valores desde el día 27 septiembre al 17 diciembre, periodo en el que los parámetros de operación ya se encontraban en una situación estable con una concentración del 6% en materia seca. Para este periodo los resultados más relevantes se encuentran recogidos en la tabla 5.

Tabla 5. Parámetros Principales para una concentración del 6% en materia seca (m.s)

Parámetros relevantes al 6%							
	ST (%)	SV (%)	FV (%)	DQOf (mg/l)	NH ₄ (mg/l)	pH	Ratio Alcalinidad
Influyente de Carga	5,71	3,89	68,09	9223	721	6,92	2,37
D. Mesófilo	4,04	1,94	52,31	3100	1401	7,87	0,32
D. Termófilo	4,13	2,02	53,16	9500	1550	8,34	0,36

Como se puede observar en los resultados mostrados en la tabla 6. En este periodo, la media de solidos totales es algo inferior al 6%. Si atendemos a la fracción volátil en la alimentación, ésta posee un valor similar respecto al estacionario al 3%, lo que significa que la composición de la materia orgánica utilizada en este fango es similar al anterior. Los valores de la fracción volátil de las salidas también son muy parecidos que en el estacionario al 3%. Se concluye que la eliminación de solidos volátiles durante ambos estados estacionarios es similar.

En cuanto a la DQOf, la concentración de materia orgánica disuelta es mayor para la digestión por vía termófila respecto a la mesófila (este resultado ha ocurrido también en el estacionario al 3%). La relación existente entre la DQOf del digester termófilo es tres veces superior a la del mesófilo (se ha mantenido la misma relación). Y los valores obtenidos de DQOf en cada digester se han cuadruplicado respecto a la situación inicial. En cuanto al amonio, como este fango posee mayor cantidad de materia orgánica que el anterior, también posee mayor cantidad de compuestos con nitrógeno. Estos al degradarse durante la digestión anaerobia son transformados en nitrógeno amoniacal (también en amoniaco entre otros) en mayores cantidades que en el estacionario al 3%.

El pH sufre una variación considerablemente mayor, esto es consecuencia también de poseer mayor cantidad de materia orgánica que en el caso anterior. Durante el proceso de digestión se generan ácidos (la segunda fase que sufre el fango es la acidogénesis), que disminuye mucho el pH, como se ha explicado en el capítulo 1.2 “Fundamentos de la digestión anaerobia”, durante la producción de metano se genera CO₂ y amoniaco, que aumentan el pH. Al tener más sólidos volátiles que en el caso anterior la producción de metano es superior y por consiguiente de estos subproductos.

La relación de alcalinidad ha aumentado un poco en consecuencia de la mayor producción de AGVs, situándose en el rango óptimo (Tabla 2. Valores de la ratio AGV/ALC).

En este nuevo estacionario, la producción del caudal del biogás no se ha podido medir debido a que los controladores de flujo se rompieron. (Sin embargo, su composición si ha sido medida). En el anexo B. “Ecuaciones para el cálculo de cada parámetro fisicoquímico”. Se recogen todas las ecuaciones para obtener su estimación y cualquier parámetro fisicoquímico.

La ecuación para estimar el biogás es la siguiente:

$$\text{Prod. biogas}_{\text{estimado}} = \text{Caudal} * (\text{SV}_{\text{entrada}} - \text{SV}_{\text{salida}}) * \text{Ratio} \frac{\text{Gas generado}}{\text{SV eliminado}} \text{ (Ec. 4)}$$

Tanto el caudal como los sólidos volátiles de entrada y salida se han analizado de forma diaria, pudiéndose calcular el biogás generado de cualquier día si se acude al Anexo C. “Resultados Análisis de laboratorio”.

En cuando al Ratio de gas generado/gramo de sólido volátil eliminado, su obtención ha sido experimental y se ha realizado al comienzo del trabajo cuando los controladores de flujo funcionaban correctamente y la producción de biogás se media. Utilizando la (Ec.4) de producción de biogás estimado, (sustituyéndolo por biogás medido) pero dejando el parámetro de ratio como incógnita, se obtuvo la ratio de gas generado/gramo de sólido volátil eliminado. Se ha considerado que la ratio gas generado/g.SV eliminado del digester mesófilo y el termófilo al 3% es el mismo que para una concentración del 6%. En la tabla 6 se muestra el análisis del biogás generado. El procedimiento de análisis es idéntico al estacionario al 3%.

Tabla 6. Porcentajes de metano y ratios de producción para el 6%.

Digestor	Biogás (l/d)	Metano (l/d)	% Metano (medido)	litros (CH4) / g.SV eliminado	litros GAS/ g.SV eliminado	% Metano (corregido)
Mesófilo	1600	1000	63	0,47	0,8	76
Termófilo	2100	1300	62	0,68	1,13	76

Como se ha indicado, la ratio de gas (generado)/gramo de SV eliminado se ha estimado, sin embargo, el resto de los parámetros presentados en la tabla 6 han sido obtenidos mediante análisis del laboratorio y toma de muestras. El análisis de este estacionario muestra que la producción de biogás en el digester termófilo continúa siendo superior respecto al mesófilo. La composición de metano en el biogás se ha incrementa respecto a la situación anterior, pasando de un 70% a un 76%. En cuanto a los resultados obtenidos, dado que en este proyecto existieron pequeños problemas en cuanto a la estabilización del digester termófilo (rotura de caldera y parada de la planta, se detuvo la alimentación y las temperaturas disminuyeron en el interior de los digestores) la producción de biogás en este digester es algo menor de la esperada.

3.1.3 Comparación de estacionarios

A continuación, se muestra un análisis más detallado de los parámetros analizados en el fango tratado mediante digestión termófila y mesófila.

Tabla 7. Resultados Completos de la experimentación.

Parámetro	Inicio (3%): 1 junio-16 Julio		Final (6%): 27 Septiembre-17 diciembre	
	Mesófilo 3%	Mesófilo 6%	Termófilo 3%	Termófilo 6%
Caudal (l/d)	126	123	143	146
(TRH) Tiempo de digestión (d)	23	26	22	22
S.T. salida (g/l)	17,63	40,49	19,30	41,30
S.V. alimentación (g/l)	19,59	38,91	19,59	38,91
S.V. salida(g/l)	9,77	19,47	9,75	20,28
Rendimiento elim SV (%)	50,12	49,95	50,25	47,86
F.V. alimentación (%)	67,15	68,09	67,15	68,09
Inertes alimentación (g/l)	9,58	18,14	9,58	18,14
Inertes salida (Inorgánicos) (g/l)	7,63	21,49	9,30	21,30
DQOf alimentación (mg/l)	2308	9223	2308	9223
DQOf salida(mg/l)	828	3100	2115	9500
NH ₄ alimentación (mg/l)	270	721	270	721
NH ₄ salida(mg/l)	588	1401	729	1550
pH alimentación	7,47	6,92	7,47	6,92
pH salida	7,61	7,87	7,97	8,34
Ratio alcalinidades salida	0,24	0,32	0,24	0,36
Eliminación SV (g/l)	9,59	19,44	9,59	18,63
Porcentaje CH ₄ (%)	59,37	63,21	56,23	62,56
Porcentaje CO ₂ (%)	24,67	19,12	24,71	19,29
Porcentaje CH ₄ corregido (%)	70,83	76,82	69,97	76,56
Porcentaje CO ₂ corregido (%)	29,17	23,18	30,03	23,44
Biogás producido (l/d)	725	1600	1387	2100
Metano producido(l/d)	435	1000	783	1300
litros GAS/ g.SV eliminado	0,8	0,8	1,13	1,13
litros (CH ₄)/ g.SV eliminado	0,47	0.47	0,68	0.68

Comparando los resultados presentados en la tabla 7, se observa como cargando a casi el doble de concentración en materia orgánica y manteniendo casi los mismos TRH (ya que el caudal suministrado ha sido muy similar) se ha conseguido obtener un rendimiento similar, por lo que se trata el doble de materia orgánica y se elimina también el doble, obteniendo una producción de biogás de casi el doble respecto a la situación inicial.

La DQO filtrada aumenta como consecuencia de la hidrólisis de materia orgánica, parte de esta hidrólisis (proceso en el que la materia orgánica pasa de macromoléculas a moléculas más pequeñas) se produce en el tanque de alimentación. Esta materia

orgánica se separa en sólidos inertes y sólidos volátiles; estos últimos a su vez pueden ser solubles o particulados. El análisis de la DQO filtrada mide la cantidad de materia orgánica soluble y por tanto al presentar el digestor termófilo niveles más elevados de materia orgánica soluble frente a particulada (respecto a un digestor mesófilo), la DQO filtrada termófila es superior a la mesófila. La relación de DQOf de salida al 3% del digestor termófilo es aproximadamente 3 veces la del mesófilo y al 6% ocurre lo mismo. La DQO filtrada ha ido aumentando conforme lo hacia la concentración en materia orgánica, y se ha mantenido una relación similar en ambos digestores para ambos estados estacionarios.

También se observa como el nitrógeno amoniacal de cada digestor (NH_4 salida) se duplica del 3% al 6% ya que se duplica la cantidad de materia orgánica y por tanto de compuestos que contienen nitrógeno.

Como se puede observar el pH está dentro de los rangos admisibles para que el digestor funcione adecuadamente.

El análisis de la alcalinidad es muy útil a la hora de indicar como está funcionando un digestor, este parámetro ha aumentado alcanzando un rango óptimo de producción. Su aumento es consecuencia de que los ácidos grasos volátiles han aumentado. El aumento de ácidos grasos volátiles aumenta al incrementar la materia orgánica ya que el proceso de hidrólisis degrada esta misma materia orgánica en diferentes compuestos. La ratio de alcalinidades se calcula como el cociente entre la alcalinidad intermedia (AGVs) y la alcalinidad de bicarbonatos.

3.1.4 Estado Transitorio

A continuación, se va a presentar la evolución de los parámetros del proceso tras el cambio de fango de alimentación. Comentando de forma aislada cada parámetro, y visualizando la tendencia que siguen los parámetros analizados en el laboratorio, ya que son estos los que permiten entender que sucede; en el anexo C “Resultados “se presentan los valores numéricos para poder conocer las magnitudes y cantidades de cada fecha). La mejor forma de ver la evolución de los diferentes parámetros es mediante gráficas, ya que estas muestran las tendencias desde el momento inicial hasta el final.

Cada gráfica consta de 4 partes principales, primeramente, el estacionario al 3%, seguido de un transitorio hasta que se alcanza una concentración del 4,5%, más adelante otro periodo transitorio hasta el 6% y posteriormente el estacionario al 6% de concentración de materia seca.

Sólidos totales

En la ilustración 12 se muestra la concentración de sólidos totales tanto en el fango de alimentación como en el fango digerido por cada uno de los digestores.

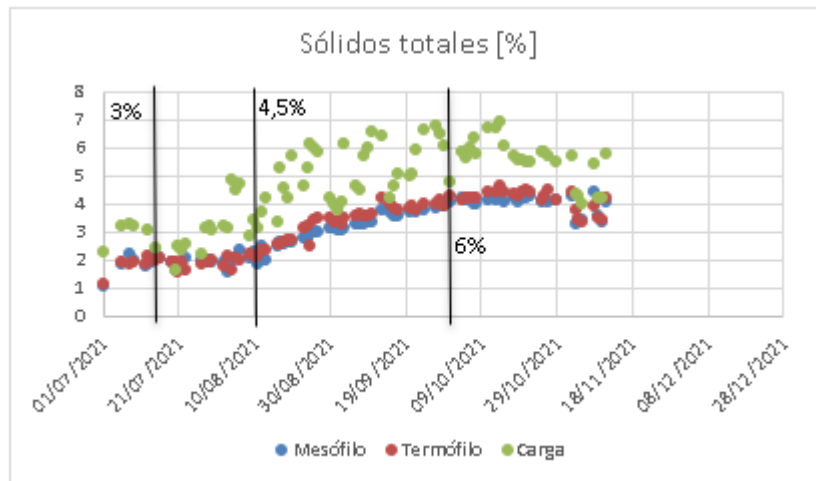


Ilustración 12. Evolución de los SV.

En la evolución del 3% hasta el 6%, se aprecia claramente como los sólidos totales de las salidas son inferiores a los de la entrada (ya que parte de la materia orgánica ha sido transformada en biogás), la gráfica de carga presenta discontinuidades ya que se hace de forma manual y de una semana a otra se producen diferencias.

Sin embargo, en el interior de los digestores cuando estos son alimentados con nuevo fango, este solo supone una fracción pequeña en el fango total que hay en el interior del digestor. De esta forma, aunque el fango de alimentación tenga la concentración deseada el fango de cada digestor se va incrementando poco a poco a medida que se cargan con fango procedente de la alimentación.

Este aumento tan lento de concentración mejora los periodos de adaptación de las bacterias anaerobias del interior para conservar la estabilidad de los digestores.

A finales de noviembre la estufa de laboratorio comenzó a fallar y más adelante, a principios de diciembre con la crecida del río Ebro se estropearon algunos equipos de laboratorio, entre ellos la estufa y mufla con la que se analizaban los sólidos totales y volátiles. Por este motivo las gráficas de éstos acaban a finales de noviembre.

Sólidos inertes

La ilustración 13, recoge la progresión llevada a cabo por los sólidos inertes, tanto en el fango de alimentación como en las salidas de cada digester.

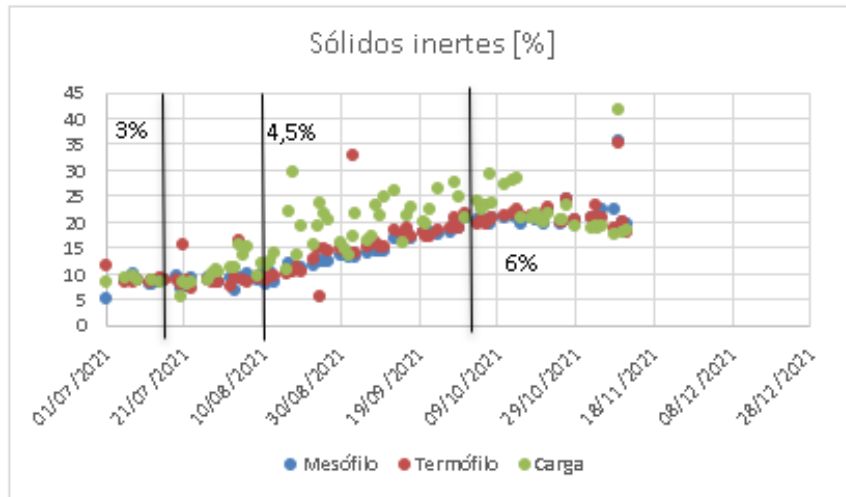


Ilustración 13. Evolución de los SI.

La concentración de sólidos inertes (SI), es el componente de los sólidos totales que no se ven afectados por la degradación biológica. Los sólidos inertes aumentan con la concentración del fango. Como se ha aumentado la concentración desde el 3% al 6%, los sólidos inertes presentes en el fango de alimentación también aumentan. Los sólidos Inertes no se eliminan en el interior del digester, por lo tanto, si el digester esta correctamente agitado, tras el periodo transitorio, la concentración de los SI en la salida de los digestores debería de ser similar a la de la entrada. En la Ilustración 15 se puede comprobar dicha afirmación, tras el cambio de concentración en la alimentación, los SI van subiendo poco a poco por efecto mezcla, ya que en el digester la alimentación se mezcla con el fango digerido existente que se ha tratado a partir de concentraciones inferiores.

Sólidos volátiles

En la ilustración 14 se muestra la concentración de sólidos volátiles tanto en el fango de alimentación como en el fango digerido por cada uno de los digestores.

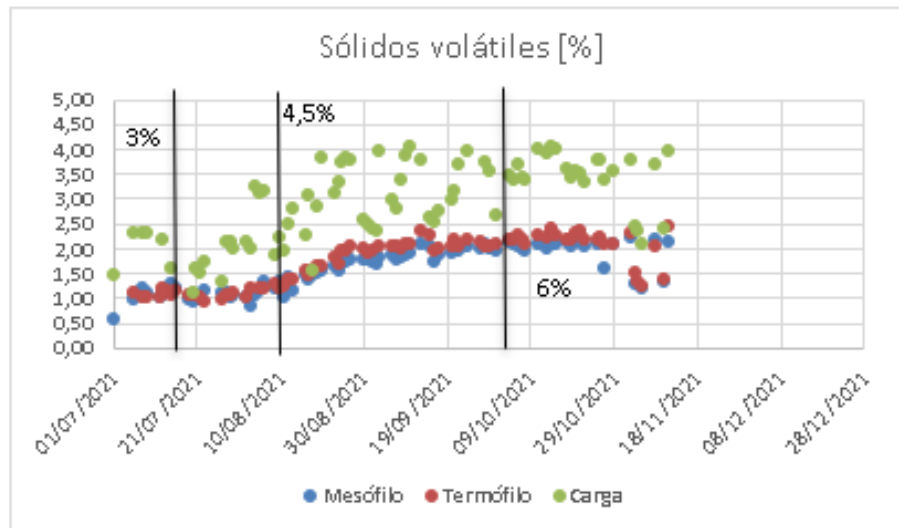


Ilustración 14. Evolución de los SV.

La parte del fango que se elimina de los sólidos totales son los sólidos volátiles. Se observa cómo tras subir los SV de carga, van subiendo los SV en los digestores hasta alcanzar un valor constante (estacionario). Como se puede comprobar, tras el periodo de transición, el rendimiento de eliminación al 6% es similar al del 3%, eliminándose el doble de masa de SV por unidad de volumen.

Nitrógeno amoniacal

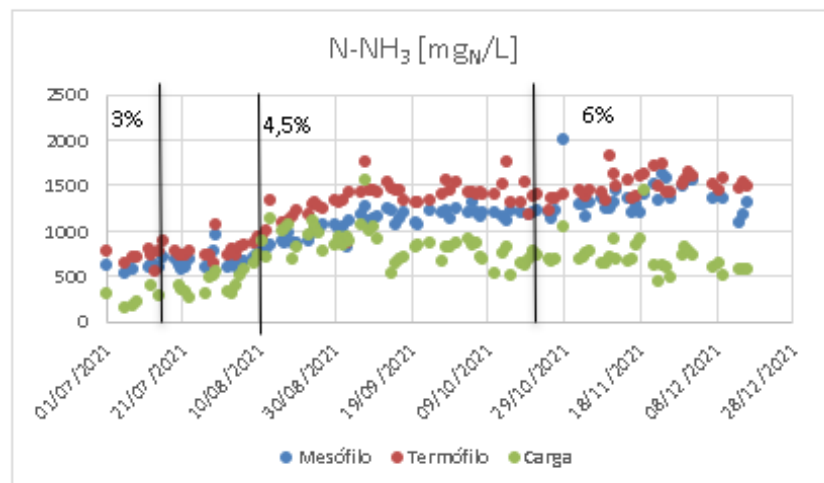


Ilustración 15. Evolución del nitrógeno amoniacal.

En la ilustración 15 se muestra la evolución del nitrógeno amoniacal ($N-NH_3$), que hace referencia a todos los compuestos que se han producido al degradarse la materia orgánica y provienen del nitrógeno. En este grupo se encuentra el NH_4 , que es amonio y relativamente inocuo, pudiendo ser absorbido por las plantas y también el NH_3 ,

comúnmente llamado amoníaco que es mucho más tóxico que el anterior. El nitrógeno amoniacal se ha duplicado en consecuencia de duplicar la concentración de materia seca (que contiene compuestos de nitrógeno), el nitrógeno se libera en la metabolización llevada a cabo en el proceso de digestión (Durante la producción de metano). Por este motivo su contenido es mayor en las salidas que en la entrada. Este NH_4 hace que la mezcla adquiera un valor más básico.

pH

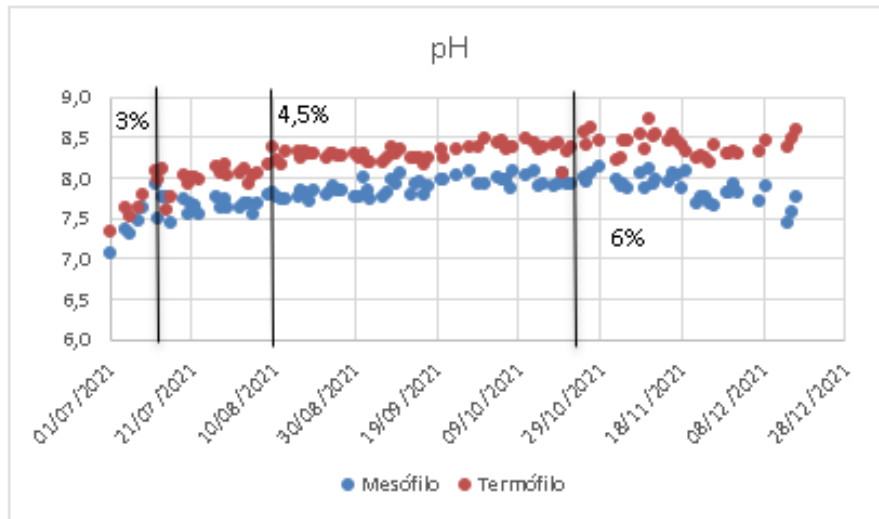


Ilustración 16. Evolución del pH.

En la ilustración 16 se observa un progresivo aumento del pH, consecuencia del aumento de concentración en materia seca. Aunque el pH en el tanque de alimentación es más ácido para una concentración del 6% (tabla 9. “Resultados completos de la experimentación”) el incremento de producción de metano y por consiguiente producción de NH_4 y CO_2 vuelven más básico la mezcla del digestor. No es recomendable alcanzar valores muy elevados de pH ya que las bacterias que llevan a cabo el proceso de digestión (en concreto las bacterias que llevan a cabo la metanogénesis) se inhiben y el proceso se detiene.

DQO filtrada

A continuación, se muestra en la ilustración 17 el avance que lleva la DQOf en entrada y salidas de los digestores anaerobios.

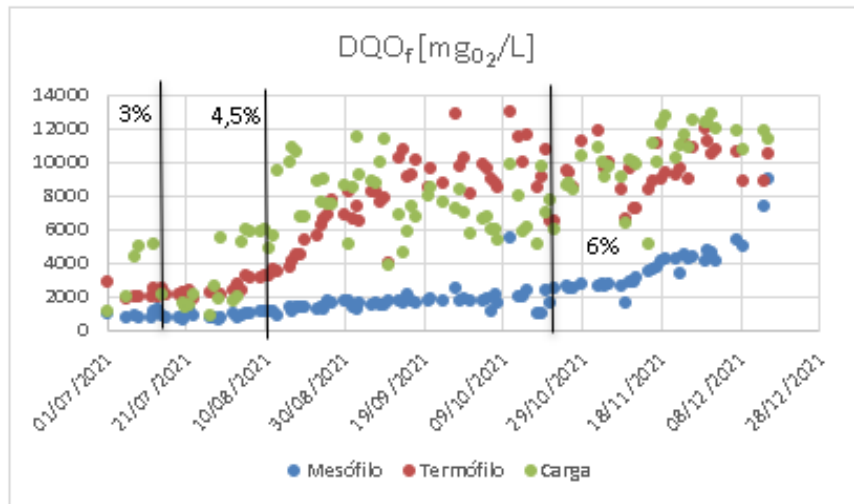


Ilustración 17. Evolución del parámetro DQOf.

Al alimentar con mayor cantidad de materia seca (materia orgánica) los digestores, la componente soluble del fango utilizado aumenta. Se ha comentado que los sólidos volátiles están formados por una componente soluble y otra particulada. Como durante el proceso de digestión anaerobia termófila la componente soluble es mayor que la particulada (ya que las altas temperaturas favorecen la degradación de la materia orgánica), los valores de DQOf en el digestor termófilo aumentan en mayor medida respecto a los del digestor mesófilo que aumentan de forma más lenta.

Ratio de alcalinidad

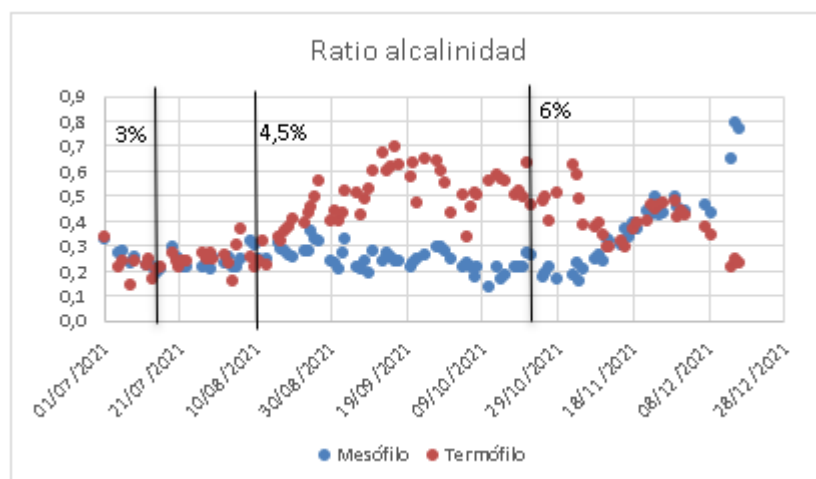


Ilustración 18. Evolución de la ratio de alcalinidad.

Como se ha indicado en el capítulo 2.2 “Métodos de laboratorio”, los rangos óptimos para la ratio de alcalinidad se encuentran en entre 0,2- 0,4. Durante parte del transitorio (ilustración 18) las condiciones de operación empeoraron en el digestor termófilo ya

que las bacterias estaban adecuándose a la nueva concentración, una vez alcanzado el estacionario al 6% se ha vuelto a los valores aptos para una producción adecuada.

Composición de CH₄ en el biogás

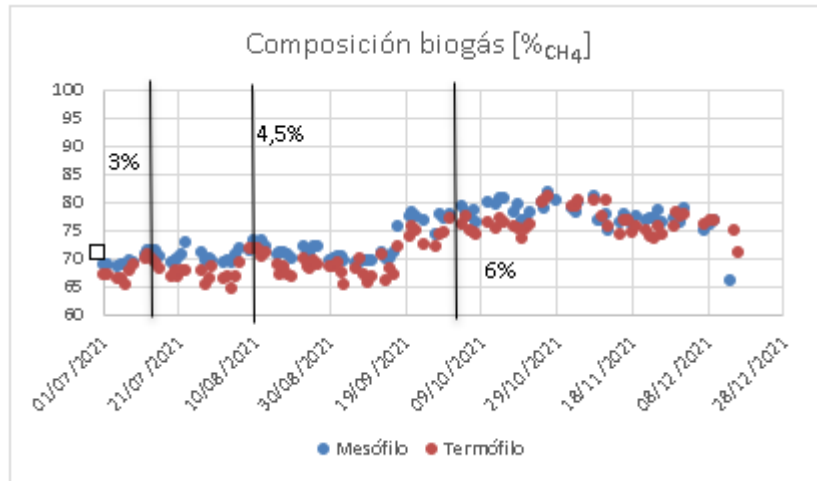


Ilustración 19. Evolución de la composición en metano en el biogás producido.

En la ilustración 19, se muestran resultados relativos a la composición de biogás durante todo el periodo analizado. Como se puede observar la composición de biogás es mayoritariamente CH₄, siendo el resto CO₂. A comienzos del estudio la proporción de CH₄ en el interior del digestor oscilaba el 70%, y el de CO₂ el 30%, pero conforme se ha ido aumentando la concentración, se ha desplazado la relación antigua obteniendo más CH₄ que CO₂. Esta modificación es consecuencia a una mejor agitación donde las bacterias tienen mayor facilidad para acceder a los sólidos volátiles, que además se encuentran en cantidades más grandes.

3.2 Análisis de la producción eléctrica

Tras una valorización de los parámetros fisicoquímicos para el control del proceso de digestión anaerobia, se comparan las producciones de biogás producido, la ratio de biogás obtenido por gramo de SV eliminado y la energía generada por ese biogás obtenido.

En base a la teoría citada es esperable que, si se duplica la materia orgánica presente en el fango de alimentación y se mantiene el rendimiento de eliminación de materia orgánica, se espera una producción del doble de biogás. Por consiguiente, el doble de metano y el doble de electricidad al ser éste quemado.

Los cálculos llevados a cabo en la estimación energética se muestran en el Anexo G. "estimación de energías". En cuanto al procedimiento seguido, se hace un escalado dimensional. El volumen útil de cada digestor en la planta piloto se sitúa entorno de 2,75 m³. Para poder valorar los resultados en un hipotético escenario real futuro, se ha valorado la energía que se obtendría en unos digestores de tamaño industrial de 3000 m³ de volumen útil. Los resultados obtenidos en los digestores piloto se han extrapolado a este nuevo volumen, que sería un volumen real medio de una EDAR mediana.

La cantidad de biogás (m³) obtenido por kg de SV eliminado ha sido calculado de forma experimental para una concentración del 3%, ya que en ese periodo los controladores de flujo funcionaban perfectamente y la producción de gas estaba monitorizada. Por tanto, para el caso del digestor mesófilo se obtiene un valor diferente al termófilo, ya que experimentalmente han dado valores diferentes y se ha presupuesto que, al solo variar la concentración de materia orgánica durante el análisis llevado a cabo, esa relación se mantiene igual.

Para la estimación eléctrica se asume que, con el calor producido durante la generación de electricidad, se mantiene cada digestor con su temperatura requerida sin aporte extra de calor al sistema.

Para la relación kWh/nm³ de biogás, se ha tomado como ejemplo el valor empírico que ofrece un motor de cogeneración instalado en la EDAR de Pamplona.

Por tanto, haciendo un análisis entre el biogás que se produce con un 3% de concentración en materia orgánica y el que se obtiene al 6% se puede calcular el incremento y por tanto la optimización real del proceso estos cálculos se recogen en el anexo F. Estimación de energías.

Una vez se han calculado las producciones eléctricas de cada digestor en la situación inicial y final, se puede hallar el incremento producido tras la optimización del proceso de digestión anaerobia mesófila y termófila cuando se modifica la concentración de materia orgánica del fango utilizado.

Para el cálculo del incremento se ha utilizado la expresión:

$$\text{Incremento} = \frac{\text{Producción final} - \text{Producción inicial}}{\text{Producción inicial}} \quad (\text{Ec. 5})$$

Los resultados de este cálculo se recogen en la tabla 8.

Tabla 8. Producciones eléctricas e incremento conseguido.

Digestor	Producción inicial (3%)	Producción final (6%)	Incremento
Mesófilo	821.613,69 [kWh/año]	1.437.586,39 [kWh/año]	74,97%
Termófilo	1.216.427,65 [kWh/año]	2.299.377,503 [kWh/año]	89,03%

Atendiendo al incremento eléctrico obtenido, se ha mejorado en un 75% la producción eléctrica para un digestor anaerobio mesófilo y casi un 90% en el caso del digestor anaerobio termófilo.

4. Conclusiones

Se dividen las conclusiones en 2 apartados, uno detallado sobre los parámetros fisicoquímicos y otro más orientado al interés económico.

Las principales conclusiones relativas al proceso de digestión anaerobia para el trabajo final de grado son:

1. Se ha alimentado el doble de materia orgánica a un digester anaerobio mesófilo y otro termófilo. Para ello se ha aumentado la concentración de 3% al 6% sin variar el TRH. En ambos casos se ha mantenido el rendimiento de eliminación de SV (materia orgánica). Por lo tanto, se ha producido el doble de biogás por m³ de digester, manteniendo el coste energético de calentamiento.
2. Debido a las mayores cinéticas del digester termófilo, este tiene menores TRH y por lo tanto elimina más masa y produce más biogás por m³ de digester y día. Sin embargo, su requerimiento energético para calentamiento es superior ya que trabaja en rangos más elevados de temperatura.
3. El pH en un digester mesófilo presenta valores inferiores al termófilo para el mismo fango de entrada.
4. El digester mesófilo mantiene su ratio de alcalinidades y el termófilo lo sube un poco, pero el funcionamiento en ambos es estable.
5. Existe una relación sobre la DQOf. En el digester termófilo la DQO filtrada es 3 veces mayor respecto al mesófilo.
6. El fango tratado en el digester termófilo tiene mayor DQO filtrada y amonio que el fango tratado en el digester mesófilo.

Dichas estas observaciones, cabe destacar que durante todo el proyecto los digestores han trabajado de forma estable, y en unas condiciones que bien podrían ser las adecuadas para un trabajo de continuo a nivel industrial.

En cuanto a la evaluación eléctrica/económica:

1. La producción eléctrica se duplica al duplicarse el biogás generado. Por tanto, el beneficio se duplica.
2. El gasto eléctrico para mantener la temperatura de trabajo en cada digester es similar para una concentración del 3% y del 6%.

5. Bibliografía

1. Ahring, B.K. (1994) Status on science and application of thermophilic anaerobic digestion. *Water Science and technology*.30, (12),241.
2. Alleman, J. E., Kim, B.J., Quivey, D.M. y Wquihua, L.O. (1994). Alkaline hydrolysis of munitions-grade nitrocellulose. *Water Science and Technology*.30, 63-72
3. APHA (1995) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th Edition, American Public Health Association Inc., New York.22,
4. Gómez J. (2007). Digestión Aerobia Termófila Autosostenida (ATAD) de Fangos. Estudio experimental a escala real y modelización matemática del reactor. Tesis Doctoral, Escuela Superior de Ingenieros Industriales. Universidad de Navarra, San Sebastián, España.
5. Gujer, J.W. and Zehnder, A.J.B. (1983), Conversion processes in anaerobic digestion. *Water Science & Technology*, 15,127-167.
6. Huete E. (2007). Estudio comparativo de la digestión anaerobia mesófila y termófila de fangos urbanos y modelado matemático del sistema. Tesis Doctoral, Escuela Superior de Ingenieros Industriales. Universidad de Navarra, San Sebastián, España.
7. Sobrados L, Gomez J., Lasheras A. M., García J. Criterios para la Aplicación de Fangos de Depuradora en Suelos: Estabilidad e Higienización. ISBN: 978-84-7790-517-2. Publicación CEDEX. 2010
8. Zábranská, J., Stepova, J., Wachtl, R., Jenicek, Pl. and Dohanyos, M. (2000) The activity of anaerobic biomass in thermophilic and mesophilic digesters at different loading rates. *Water Science and technology*. 32(9),231-236
9. Caso práctico: Medina County Sanitary Engineers: Planta de tratamiento de aguas. (HACH Company)
 - a. https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/87050/EZ_VFA_Biogas.pdf
10. Documentación técnica del XXXVIII Curso sobre tratamiento de aguas residuales y explotación de estaciones depuradoras. Madrid, del 15 al 26 de noviembre de 2021 organizado por CEDEX. (Cedex, 2021)

11. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Gobierno de España:

- a. <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/lodos-depuradora/>

12. Agencia Medioambiental Europea

- a. <https://www.eea.europa.eu/countries-and-regions/spain>

6. Anexos

6.1 Anexo A. Cálculo de las concentraciones en m.s. del fango de alimentación

Estimación de la Cantidad de Fango deshidratado a añadir para alcanzar el 4,5%.

El fango de alimentación de las plantas piloto se almacena en un tanque de poliéster con un diámetro de 2,35 m y una altura de 2m. Estas medidas son útiles para conocer el volumen total del tanque, sin embargo, éstas medidas no son válidas ya que nunca se alcanzará el llenado completo debido a desbordamiento por la agitación.

La primera mezcla se realizó el día 27 de julio, para ello se tomaron las siguientes medidas en la instalación.



Ilustración 5.-Tanque de alimentación

La altura ha sido medida desde la rasante superior del depósito hasta la superficie del fango interior, penetrando en 5 cm ya que había espumas y se ha supuesto que estas alcanzaban esos 5 cm. Por tanto, la medida alcanzada ha sido de 86 cm, que restándolo a los 200cm de altura del depósito nos da 114 cm de depósito lleno con fango al 3%.

$$\text{Volumen} = \text{Area} * \text{Altura} = \pi * r^2 * h = \pi * 1'175^2 [\text{m}^2] * 1,1 [\text{m}] = 4'9445 [\text{m}^3]$$

Estimando que la densidad del fango al 3% es de 1000 [kg/m³]

Tenemos una masa de 4945 kg de fango al 3% en el depósito

Dado que el fango deshidratado tiene una concentración de materia orgánica del 20% y queremos alcanzar en este primer proceso una concentración del 4'5% haremos un balance de mezclas (basándonos en las fracciones de cada tipo de fango en la mezcla final), para calcular cuánto fango al 20% se ha de añadir

$$\frac{\text{Masa_Fango}_{3\%}}{\text{Masa_Fango}_{3\%} + \text{Masa_Fango}_{20\%}} * \text{Concentracion}_{3\%} + \frac{\text{Masa_Fango}_{20\%}}{\text{Masa_Fango}_{3\%} + \text{Masa_Fango}_{20\%}} *$$

$$\text{Concentracion}_{20\%} = \text{Concentracion}_{4,5\%}$$

Siendo Masa_Fango_{20%} el único dato no conocido:

$$\frac{4945}{4945 + \text{Masa_Fango}_{20\%}} * 0,03 + \frac{\text{Masa_Fango}_{20\%}}{4945 + \text{Masa_Fango}_{20\%}} * 0,2 = 0,045$$

$$\text{Masa_Fango}_{20\%} = 478'54[\text{kg}] \approx 480[\text{kg}]$$

Es decir que para esa primera estimación las cantidades de cada fango quedaban:

Concentración del fango	Cantidad en kg
3%	4945
20%	480
4'5%	5425

Más adelante este proceso se automatizó para el cálculo del 6% de concentración en función de la altura inicial y la altura tras la carga.

Para mostrar un ejemplo se toma un valor de la altura inicial (antes de recargar) de 1,23m y tras añadir una pequeña parte de fango fresco al 3% la altura alcanzada es de 1,52m; de esta forma se calculan los kilos de fango deshidratado a añadir y como se calculó en un ensayo el caudal de fango al 3% que impulsa la bomba, se puede prever el tiempo necesario para el llenado del depósito.

DATOS TANQUE		
H	2	[m]
D	2,35	[m]

%ST de los fangos de Tudela		
Fresco	3,23	[%]
Deshidratado	21,45	[%]

ANTES DE LA CARGA		
h0	1,23	[m]
Masa	5335	[kg]
ST(0)	6	[%]

TRAS ADICIÓN DE FANGO AL 3%		
h(1)	1,52	[m]
Masa 3%	1258	[kg]
Masa total	6593	[kg]
ST	5,47	[%]

→

t	4,5	[min]
---	-----	-------

OBJETIVO	6	[%ST]
----------	---	-------

A AÑADIR DE DESHIDRATADO		
Masa	226	[kg]
N	1,13	[paladas]

Nomenclatura:

- Datos tanque: las medidas de altura (H) y diámetro (D) del depósito utilizado.
- Antes de la carga: Medidas con fango que contiene en el inicio, (h0) es la altura de fango, (Masa) es la masa de fango inicial y (ST) es la concentración en materia orgánica que tiene ese fango antes de rellenarlo.

- Tras adición del fango al 3%: La nueva altura de mezcla alcanza la altura (h (1)), ese fango añadido son los correspondientes kilos (Masa3%) y la suma de ambos fangos consolida la (Masa Total), para esta mezcla la concentración de materia orgánica ha variado hasta ser (ST).
- Objetivo: La concentración que se desea alcanzar.
- A añadir de deshidratado: Se calcula de forma automática los kilos de fango al 20% (Masa) y como este es suministrado mediante una pala industrial de capacidad 300 kg pero por la viscosidad del fango nunca se llena de forma uniforme y se considera que su capacidad son 200kg, por tanto se estiman las paladas necesarias (N).
- % ST de los fangos de Tudela: Indica la concentración de materia orgánica que tiene tanto el fango fresco $\approx 3\%$ de ese momento y el deshidratado $\approx 20\%$
- El tiempo de espera para suministrar los kilos de fango fresco 't'.

Fórmulas utilizadas obtener las mezclas de fango en el programa:

$$h_0 = h(2m) - \text{altura}_{\text{medida}}$$

$$\text{Masa}_{\text{tanque}} = \text{Volumen}_{\text{actual}} * \text{densidad} = \pi * \left(\frac{D}{2}\right)^2 * h_0 * 1000$$

$$\text{Masa}_{3\%} = \text{Volumen}_{\text{fangos}_{3\%}} * \text{densidad} = \pi * \left(\frac{D}{2}\right)^2 * (h_0 - h(1)) * 1000$$

$$\text{Masa}_{20\%} = \text{Masa total} * \frac{(\text{Concentracion}_{6\%} - \text{Concentracion}_{\text{Mezcla}})}{(\text{Concentracion}_{20\%} - \text{Concentracion}_{6\%})}$$

6.2 Anexo B. Ecuaciones para el cálculo de cada parámetro fisicoquímico

$$FV = \frac{SV}{ST}$$

$$\text{Inertes} = ST - SV$$

$$\text{Ratio} \frac{\text{Gas generado}}{\text{SV eliminado}} = \frac{\text{Prod. biogas}_{\text{medido}}}{\text{Caudal} * (\text{SV}_{\text{entrada}} - \text{SV}_{\text{salida}})}$$

Prod. biogas_{medido} = Obtencion directa mediante Instrumentacion

$$\text{Prod. biogas}_{\text{estimado}} = \text{Caudal} * (\text{SV}_{\text{entrada}} - \text{SV}_{\text{salida}}) * \text{Ratio} \frac{\text{Gas generado}}{\text{SV eliminado}}$$

$$\text{CH}_4\text{corregido} = \frac{\text{CH}_4\text{real}}{\text{CH}_4\text{real} + \text{CO}_2\text{real}}$$

$$\text{CO}_2\text{corregido} = \frac{\text{CO}_2\text{real}}{\text{CH}_4\text{real} + \text{CO}_2\text{real}}$$

$$\frac{\text{g. SV eliminado}}{\text{día}} = \text{Caudal} * (\text{SV}_{\text{entrada}} - \text{SV}_{\text{salida}})$$

$$\frac{\text{litros(CH}_4\text{)}}{\text{g. SV eliminado}} = \frac{\text{Metano Prod.}}{\frac{\text{g. SV eliminado}}{\text{día}}}$$

$$\text{TRH} = \frac{\text{Volumen digestor}}{\text{Caudal diario}}$$

$$\text{Ratio de alcalinidades} = \frac{\text{alcalinidad intermedia}}{\text{alcalinidad de bicarbonatos}}$$

6.3 Anexo C. Resultados

6.3.1 Anexo C.1. Resultados fisicoquímicos

6.3.1.1 Anexo C.1.1 Resultados fisicoquímicos alimentación

FECHA	Influente (carga)												
	ST (g/l)	SV (g/l)	FV (%)	Inertes (g/l)	ST (%)	SV (%)	DQOf (mg/l)	NH4 (mg/l)	pH	Alcalinidad Bicarbonatos (mg CaCO3/l)	Alcalinidad Intermedia (mg CaCO3/l)	Alcalinidad Total (mg CaCO3/l)	Ratios Alcalinidad
12/1/2021	23,48	18,33	78,05	5,15	2,35	1,83	565	186	6,82	1600	1000	2600	0,63
14/1/2021	22,66	17,60	77,65	5,06	2,27	1,76	2330	180	7,06	2200	800	3000	0,36
19/1/2021	23,04	17,57	76,24	5,48	2,30	1,76	1725	180					
4/3/2021	24,42	17,14	70,16	7,29	2,44	1,71	2610	76	8,19	1300	1200	2500	0,92
9/3/2021	21,73	9,87	45,43	11,86	2,17	0,99	2715	118	7,56	1400	1200	2600	0,86
11/3/2021	22,09	16,60	75,13	5,49	2,21	1,66	2055	128	7,84	1300	1000	2300	0,77
16/3/2021	21,25	16,05	75,51	5,20	2,13	1,60	2255	134	7,51	1300	1300	2600	1,00
18/3/2021	19,84	14,18	71,48	5,66	1,98	1,42	1855	144	7,76	1700	1000	2700	0,59
23/3/2021	29,37	17,13	58,32	12,24	2,94	1,71	2300	156	7,45	2300	400	2700	0,17
30/3/2021	28,89	16,68	57,74	12,21	2,89	1,67	1405	208	8,21	2100	500	2600	0,24
6/4/2021	28,72	16,12	56,13	12,60	2,87	1,61	485	102	8,04	2000	400	2400	0,20
8/4/2021	34,00	22,70	66,78	11,30	3,40	2,27	2675	354	7,48	1600	1100	2700	0,69
13/4/2021	33,90	22,05	65,04	11,85	3,39	2,20	2495	282	7,9	2000	2700	4700	1,35
15/4/2021	31,57	20,11	63,72	11,45	3,16	2,01	2465	296	7,61	1800	1480	3280	0,82
20/4/2021	28,41	18,46	64,97	9,95	2,84	1,85	1925	270	7,61	1800	1600	3400	0,89
22/4/2021	28,30	18,47	65,27	9,83	2,83	1,85		480	8,17	5300	1000	6300	0,19
27/4/2021	30,61	20,60	67,31	10,01	3,06	2,06	3395	228	7,87	1800	1800	3600	1,00
29/4/2021	29,68	19,92	67,10	9,77	2,97	1,99	2725	188	7,84	2200	1800	4000	0,82
4/5/2021	29,36	19,67	67,01	9,69	2,94	1,97	2695	192	8,28	2300	1700	4000	0,74
6/5/2021	28,32	19,36	68,36	8,96	2,83	1,94	2650	238	8,18	2500	1600	4100	0,64
12/5/2021	32,50	22,31	68,65	10,19	3,25	2,23	2870	228	7,8	1800	1500	3300	0,83
13/5/2021	31,51	21,48	68,19	10,02	3,15	2,15	2685	212	7,85	1800	1500	3300	0,83
18/5/2021	29,88	20,04	67,06	9,84	2,99	2,00	1475	232	8	2900	900	3800	0,31
20/5/2021	32,07	21,53	67,14	10,54	3,21	2,15	2545	254	7,7	2300	1400	3700	0,61
25/5/2021	32,81	22,80	69,51	10,00	3,28	2,28	2615	302	7,89	3300	600	3900	0,18
27/5/2021	32,96	21,82	66,20	11,14	3,30	2,18	2620	300	7,85	2500	1500	4000	0,60
1/6/2021	24,73	16,25	65,73	8,47	2,47	1,63	1490	312	8,06	3000	900	3900	0,30
3/6/2021	24,20	15,87	65,57	8,33	2,42	1,59	1360	280	8,25	3200	1000	4200	0,31
8/6/2021	36,20	23,87	65,94	12,33	3,62	2,39	2155	192	7,62	1900	1300	3200	0,68
10/6/2021	32,65	21,68	66,39	10,97	3,26	2,17	1775	240	7,83	2100	1200	3300	0,57
15/6/2021	28,66	19,49	68,01	9,17	2,87	1,95	3565	278	7,71	2500	1500	4000	0,60
17/6/2021	28,92	18,86	65,21	10,06	2,89	1,89	1430	398	7,54	3200	1300	4500	0,41
22/6/2021	29,15	19,05	65,35	10,10	2,92	1,91	1610	256	7,31	2600	1200	3800	0,46
24/6/2021	29,83	18,93	63,48	10,89	2,98	1,89	740	274	7,45	3300	800	4100	0,24
29/6/2021	29,51	18,77	63,60	10,74	2,95	1,88	1185	288	7,57	2800	1100	3900	0,39
1/7/2021	22,95	14,49	63,13	8,46	2,30	1,45	1100	298		3100	1100	4200	0,35
6/7/2021	32,05	23,02	71,84	9,03	3,21	2,30	1905	156	7,8	1300	1500	2800	1,15
8/7/2021	32,52	23,00	70,73	9,52	3,25	2,30	4275	182	6,19	400	2700	3100	6,75
9/7/2021	31,80	23,07	72,55	8,73	3,18	2,31	4910	224	6,25	500	2700	3200	5,40
13/7/2021	30,33	21,64	71,33	8,69	3,03	2,16	5105	392	6,95	1700	1600	3300	0,94
15/7/2021	23,99	15,86	66,11	8,13	2,40	1,59	2025	288	8,07	3200	900	4100	0,28

	Influente (carga)												
FECHA	ST (g/l)	SV (g/l)	FV (%)	Inertes (g/l)	ST (%)	SV (%)	DQOf (mg/l)	NH4 (mg/l)	pH	Alcalinidad Bicarbonatos (mg CaCO3/l)	Alcalinidad Intermedia (mg CaCO3/l)	Alcalinidad Total (mg CaCO3/l)	Ratios Alcalinidad
20/7/2021	16,43	10,87	66,17	5,56	1,64	1,09	1565	384	7,66	3300	1100	4400	0,33
21/7/2021	24,43	16,04	65,67	8,39	2,44	1,60	1350	340	7,73	3600	1000	4600	0,28
22/7/2021	23,02	15,21	66,10	7,80	2,30	1,52	1510	332	7,84	3100	900	4000	0,29
23/7/2021	25,52	17,29	67,76	8,23	2,55	1,73	2095	270	7,38	1700	1400	3100	0,82
27/7/2021	21,97	13,45	61,21	8,52	2,20	1,34	795	314	8,03	2800	700	3500	0,25
28/7/2021	31,14	21,08	67,69	10,06	3,11	2,11	2630	476	7,68	3100	1500	4600	0,48
29/7/2021	32,10	21,27	66,24	10,84	3,21	2,13	1830	508	7,92	4200	1200	5400	0,29
30/7/2021	30,41	19,99	65,73	10,42	3,04	2,00	5480	544	7,88	3300	1300	4600	0,39
2/8/2021	32,17	21,08	65,54	11,09	3,22	2,11	1715	330	7,94	2800	700	3500	0,25
3/8/2021	30,91	19,77	63,96	11,14	3,09	1,98	1970	306	8,01	2300	600	2900	0,26
4/8/2021	48,06	32,54	67,69	15,53	4,81	3,25	5175	388	7,2	1700	2400	4100	1,41
5/8/2021	44,54	30,96	69,51	13,58	4,45	3,10	5930	502	7,18	2000	2700	4700	1,35
6/8/2021	46,90	31,72	67,63	15,18	4,69	3,17	5850	580	7,81	2400	2600	5000	1,08
9/8/2021	28,18	18,54	65,78	9,64	2,82	1,85	5830	638	7,25	2100	3100	5200	1,48
10/8/2021	33,94	21,97	64,73	11,97	3,39	2,20	5950	728	7,35	2700	2900	5600	1,07
11/8/2021	31,21	19,54	62,60	11,67	3,12	1,95	4815	882	7,55	3200	2500	5700	0,78
12/8/2021	37,08	24,78	66,83	12,30	3,71	2,48	5550	696	7,24	2400	3000	5400	1,25
13/8/2021	41,72	27,92	66,93	13,80	4,17	2,79	9500	1124	7,11	1800	4800	6600	2,67
16/8/2021	33,31	22,48	67,48	10,83	3,33	2,25	9910	990	7,76	2100	4700	6800	2,24
17/8/2021	52,70	30,84	58,53	21,85	5,27	3,08	10860	1010	7,06	1800	5000	6800	2,78
18/8/2021	45,44	15,67	34,48	29,77	4,54	1,57	10580	1058	7,14	2100	5100	7200	2,43
19/8/2021	41,90	28,37	67,71	13,53	4,19	2,84	6660	676	7,1	1900	2900	4800	1,53
20/8/2021	57,09	38,11	66,76	18,97	5,71	3,81	6660	810	6,85	1300	4200	5500	3,23
23/8/2021	46,48	30,91	66,51	15,57	4,65	3,09	8820	946	7,06	2300	4100	6400	1,78
24/8/2021	52,38	33,19	63,36	19,19	5,24	3,32	7600	1104	7,28	3000	4300	7300	1,43
25/8/2021	60,83	37,42	61,53	23,40	6,08	3,74	8900	1040	7,18	2000	4300	6300	2,15
26/8/2021	59,94	38,32	63,93	21,62	5,99	3,83	7410	972	7,41	3300	3600	6900	1,09
27/8/2021	58,10	37,63	64,76	20,47	5,81	3,76	7400	780	6,54	1300	4100	5400	3,15
30/8/2021	41,94	25,88	61,72	16,05	4,19	2,59	8570	832	7,15	2200	4000	6200	1,82
31/8/2021	39,53	24,68	62,44	14,84	3,95	2,47	5100	924	7,02	1600	4600	6200	2,88
1/9/2021	37,35	23,96	64,16	13,39	3,74	2,40	8470	844	7,29	2200	4100	6300	1,86
2/9/2021	40,54	23,52	58,02	17,02	4,05	2,35	11480	930	7,19	2100	4100	6200	1,95
3/9/2021	60,87	39,40	64,73	21,47	6,09	3,94	9250	882	6,86	1900	4300	6200	2,26
6/9/2021	45,92	29,57	64,40	16,35	4,59	2,96	8800	1056	6,94	2600	4400	7000	1,69
7/9/2021	44,96	27,87	61,99	17,09	4,50	2,79	8700	1544	7,21	2600	4400	7000	1,69
8/9/2021	56,74	33,68	59,35	23,07	5,67	3,37	9990	998	7,35	2600	4500	7100	1,73
9/9/2021	59,70	38,71	64,84	20,99	5,97	3,87	11300	1046	7,51	3100	4300	7400	1,39
10/9/2021	65,21	40,65	62,33	24,56	6,52	4,06	3830	906	7,35	2800	3600	6400	1,29
13/9/2021	63,95	37,86	59,21	26,08	6,39	3,79	6860	53,8	7,39	4200	3400	7600	0,81
15/9/2021	42,14	26,19	62,16	15,95	4,21	2,62	5840	640	7,18	1900	2800	4700	1,47
16/9/2021	46,14	25,19	54,60	20,95	4,61	2,52	7340	688	7,1	2200	3000	5200	1,36
17/9/2021	50,18	27,39	54,58	22,79	5,02	2,74	6760	712	7,31	2300	2900	5200	1,26
20/9/2021	49,70	29,63	59,61	20,07	4,97	2,96	7890	814	7,5	2800	3200	6000	1,14
21/9/2021	50,79	31,38	61,80	19,40	5,08	3,14	8460	830	7,35	3100	3400	6500	1,10
22/9/2021	59,14	36,81	62,24	22,33	5,91	3,68				2400	5600	8000	2,33
24/9/2021	66,11	39,62	59,93	26,49	6,61	3,96	7610	874	7,22	2700	3400	6100	1,26
27/9/2021	67,83	197,51	291,16	129,67	6,78	19,75	7170	668	7,12	2400	2600	5000	1,08

	Influente (carga)												
FECHA	ST (g/l)	SV (g/l)	FV (%)	Inertes (g/l)	ST (%)	SV (%)	DQOf (mg/l)	NH4 (mg/l)	pH	Alcalinidad Bicarbonatos (mg CaCO3/l)	Alcalinidad Intermedia (mg CaCO3/l)	Alcalinidad Total (mg CaCO3/l)	Ratios Alcalinidad
28/9/2021	64,79	37,20	57,42	27,59	6,48	3,72	8330	820		2500	3300	5800	1,32
29/9/2021	60,32	35,62	59,04	24,71	6,03	3,56	6970	826	7,15	2900	3100	6000	1,07
1/10/2021	47,26	26,41	55,89	20,84	4,73	2,64	5680	856	7,2	3500	2800	6300	0,80
4/10/2021	58,42	34,46	58,99	23,96	5,84	3,45	6550	914	7,53	3700	2900	6600	0,78
5/10/2021	55,96	33,81	60,41	22,16	5,60	3,38	6720	844	7,68	4000	2900	6900	0,73
6/10/2021	59,94	36,69	61,21	23,25	5,99	3,67	6000	864	7,52	3900	2800	6700	0,72
7/10/2021	63,13	34,09	54,00	29,04	6,31	3,41	5930	704	7,23	3100	2700	5800	0,87
8/10/2021	57,48	33,77	58,75	23,71	5,75	3,38	5360	684	7,09	3100	2900	6000	0,94
11/10/2021	67,19	40,12	59,71	27,07	6,72	4,01	9780	528	7,25	3000	3400	6400	1,13
13/10/2021	67,08	39,20	58,44	27,88	6,71	3,92	8010	750	7,32	3300	3300	6600	1,00
14/10/2021	68,81	40,41	58,72	28,41	6,88	4,04	5870	814	7,36	3700	3200	6900	0,86
15/10/2021	60,43	39,87	65,99	20,55	6,04	3,99	6090	510	6,84	2100	2800	4900	1,33
18/10/2021	56,92	36,05	63,32	20,88	5,69	3,60	5100	648	6,95	2100	3400	5500	1,62
19/10/2021	55,58	34,12	61,40	21,45	5,56	3,41	9690	626	7,08	2100	3600	5700	1,71
20/10/2021	55,66	35,47	63,73	20,19	5,57	3,55	6980	692	7,88	2300	3400	5700	1,48
21/10/2021	54,73	34,98	63,92	19,75	5,47	3,50	7750	778	7,11	2100	3600	5700	1,71
22/10/2021	54,67	33,29	60,89	21,38	5,47	3,33	5940	738	7,29	2400	3500	5900	1,46
25/10/2021	57,92	37,75	65,18	20,17	5,79	3,78	8540	676	6,92	2500	3800	6300	1,52
26/10/2021	58,37	37,96	65,03	20,41	5,84	3,80	8730	656	6,93	2300	4000	6300	1,74
27/10/2021	56,95	33,94	59,60	23,01	5,69	3,39	8290	680	6,88	2100	4100	6200	1,95
29/10/2021	54,79	35,66	65,09	19,12	5,48	3,57	10290	1040	7,06	2400	4300	6700	1,79
2/11/2021	56,59	37,70	66,61	18,90	5,66	3,77	10870	688	6,83	2000	4000	6000	2,00
3/11/2021	43,56	24,42	56,06	19,14	4,36	2,44	10000	716	6,86	1700	4500	6200	2,65
4/11/2021	42,30	23,53	55,63	18,77	4,23	2,35	9130	752	6,9	1800	4300	6100	2,39
5/11/2021	40,04	20,94	52,29	19,10	4,00	2,09	9660	776	6,97	1800	4600	6400	2,56
8/11/2021	54,12	36,70	67,81	17,42	5,41	3,67	9070	632	6,92	1600	3900	5500	2,44
10/11/2021	41,98	23,93	57,01	18,05	4,20	2,39	10020	702	6,95	1700	3700	5400	2,18
11/11/2021	57,85	39,39	68,08	18,47	5,79	3,94	9970	910	6,89	1700	3700	5400	2,18
12/11/2021	67,65	44,90	66,37	22,75	6,76	4,49	9830	688	6,96	1600	4100	5700	2,56
15/11/2021	69,35	45,63	65,79	23,72	6,94	4,56	5030	670	6,87	1400	4200	5600	3,00
16/11/2021	67,79	43,19	63,71	24,60	6,78	4,32	11010	682	6,85	1600	4100	5700	2,56
17/11/2021	68,18	44,20	64,83	23,98	6,82	4,42	9940	840	6,79	1400	4600	6000	3,29
18/11/2021	67,53	42,40	62,78	25,13	6,75	4,24	12230	912	6,79	1300	4700	6000	3,62
19/11/2021	68,27	44,53	65,22	23,74	6,83	4,45	12700	1442	6,84	1500	4300	5800	2,87
22/11/2021	64,83	41,63	64,21	23,20	6,48	4,16	10230	624	6,35	900	4100	5000	4,56
23/11/2021	68,85	43,89	63,75	24,96	6,88	4,39	10970	448	6,34	1100	3900	5000	3,55
24/11/2021	66,22	43,02	64,98	23,19	6,62	4,30	11540	614	6,38	900	4400	5300	4,89
25/11/2021							10800	602	6,36	800	4300	5100	5,38
26/11/2021	66,30	44,48	67,09	21,82	6,63	4,45	12430	474	6,47	1000	4200	5200	4,20
29/11/2021	67,17	45,00	67,00	22,17	6,72	4,50	12320	722	6,47	1100	4700	5800	4,27
30/11/2021	65,83	42,59	64,70	23,24	6,58	4,26	12360	828	6,63	1200	4700	5900	3,92
1/12/2021							12860	768	6,6	1200	4700	5900	3,92
2/12/2021							11930	728	6,66	1100	4800	5900	4,36
7/12/2021							11780	592	6,48	1100	4400	5500	4,00
9/12/2021							10710	640	6,61	1300	4700	6000	3,62
14/12/2021							11790	574	6,59	1600	5100	6700	3,19
15/12/2021							11280	566	6,66	1600	5100	6700	3,19

	Influente (carga)												
FECHA	ST (g/l)	SV (g/l)	FV (%)	Inertes (g/l)	ST (%)	SV (%)	DQOf (mg/l)	NH4 (mg/l)	pH	Alcalinidad Bicarbonatos (mg CaCO3/l)	Alcalinidad Intermedia (mg CaCO3/l)	Alcalinidad Total (mg CaCO3/l)	Ratios Alcalinidad
16/12/2021							11360	582	6,56	1400	4800	6200	3,43
17/12/2021							10900	562	6,49	1500	5000	6500	3,33
20/12/2021								680	6,53	1700	5200	6900	3,06
21/12/2021							14540	742	6,57	1700	5200	6900	3,06
22/12/2021							12240	680	6,78	1400	5500	6900	3,93
23/12/2021							12970	708	6,83	1400	5400	6800	3,86
27/12/2021							13120	568	6,36	1000	4700	5700	4,70
28/12/2021							11990	632	6,41	1200	5100	6300	4,25
29/12/2021							12590	680	6,46	1000	4400	5400	4,40

6.3.1.2 Anexo C.1.2 Resultados fisicoquímicos digester mesófilo

FECHA	Mesofilo														
	ST (g/l)	SV (g/l)	FV (%)	Inertes	Eliminación SV	rendimiento eliminación SV	ST (%)	SV (%)	DQOf (mg/l)	NH4 (mg/l)	pH	Alcalinidad Bicarbonatos (mg CaCO3/l)	Alcalinidad Intermedia (mg CaCO3/l)	Alcalinidad Total (mg CaCO3/l)	Ratio Alc
12/1/2021															
14/1/2021															
19/1/2021	15,56	8,95	57,52	6,61	8,61	49,03	1,56	0,90	875	618					
4/3/2021	15,24	8,24	54,09	7,00	8,89	51,90	1,52	0,82	660	464	8,16	4600	700	5300	0,15
9/3/2021	13,82	7,06	51,09	6,76	2,81	28,50	1,38	0,71	2525	458	7,72	4700	1100	5800	0,23
11/3/2021	16,16	8,88	54,92	7,29	7,72	46,51	1,62	0,89	670	486	8,18	4800	1000	5800	0,21
16/3/2021	15,58	8,84	56,71	6,74	7,21	44,93	1,56	0,88	620	390	7,64	4700	1000	5700	0,21
18/3/2021	15,58	8,69	55,78	6,89	5,49	38,73	1,56	0,87	510	446	7,71	5200	800	6000	0,15
23/3/2021	16,07	9,14	56,85	6,94	7,99	46,66	1,61	0,91	525	418	7,39	5000	800	5800	0,16
30/3/2021	18,06	9,41	52,11	8,65	7,27	43,59	1,81	0,94	505	662	7,84	4600	600	5200	0,13
6/4/2021	19,68	10,28	52,23	9,40	5,84	36,25	1,97	1,03	860	398	7,75	4600	1200	5800	0,26
8/4/2021	18,85	10,31	54,71	8,54	12,39	54,57	1,89	1,03	610	412	7,36	4600	1100	5700	0,24
13/4/2021	19,96	10,13	50,74	9,83	11,92	54,06	2,00	1,01	525	552	7,78	4900	900	5800	0,18
14/4/2021	15,69			15,69			1,57		570	494	8,01	4800	1100	5900	0,23
15/4/2021	18,37	9,53	51,89	8,84	10,58	52,60	1,84	0,95	640	552	7,73	5100	600	5700	0,12
20/4/2021	19,68	10,59	53,80	9,09	7,87	42,64	1,97	1,06	115	586	7,82	5100	1000	6100	0,20
22/4/2021	19,00	9,53	50,13	9,48	8,95	48,43	1,90	0,95	355	574	8,29	5100	1100	6200	0,22
27/4/2021	14,06	7,03	50,04	7,02	13,57	65,85	1,41	0,70	530	568	7,75	4900	1100	6000	0,22
29/4/2021	13,53	6,76	49,98	6,77			1,35	0,68	555	530	7,77	5000	1200	6200	0,24
4/5/2021	17,10	9,58	56,03	35,24	10,09	51,29	1,71	0,96	695	672	7,96	5200	1100	6300	0,21
6/5/2021	17,03	8,29	48,66	8,74	11,07	57,20	1,70	0,83	370	570	7,86	5500	1100	6600	0,20
12/5/2021	14,50	7,17	49,45	7,33	15,15	67,88	1,45	0,72	570	558	7,58	5300	1200	6500	0,23
13/5/2021	21,09	10,14	48,10	10,94	11,34	52,79	2,11	1,01	485	572	7,77	5300	1300	6600	0,25
18/5/2021	8,58	4,19	48,85	4,39	15,84	79,07	0,86	0,42	565	580	7,62	5400	1300	6700	0,24
20/5/2021	22,13	11,40	51,49	10,73	10,13	47,07	2,21	1,14	560	538	7,58	5200	1400	6600	0,27
25/5/2021	21,87	11,28	51,57	10,59	11,52	50,54	2,19	1,13	685	586	7,59	5300	1400	6700	0,26
27/5/2021	21,26	11,04	51,94	10,22	10,78	49,39	2,13	1,10	705	572	7,6	5500	1400	6900	0,25
1/6/2021	21,30	11,79	55,36	9,51	4,46	27,43	2,13	1,18	690	614	7,62	5400	1500	6900	0,28
3/6/2021	18,73	10,33	55,15	8,40	5,54	34,90	1,87	1,03	720	592	7,84	5500	1200	6700	0,22
8/6/2021	21,68	12,05	55,59	9,63	11,82	49,51	2,17	1,21	570	590	7,72	5500	1300	6800	0,24
10/6/2021	21,17	11,40	53,87	9,77	10,27	47,40	2,12	1,14	705	590	7,61	5500	1300	6800	0,24
15/6/2021									1390	624	7,74	5400	1300	6700	0,24
17/6/2021	6,47	3,36	51,92	3,11	15,50	82,19	0,65	0,34	1085	592	7,5	5500	1400	6900	0,25
22/6/2021	9,34	5,27	56,45	4,07	13,78	72,32	0,93	0,53	915	618	7,53	5300	1300	6600	0,25
24/6/2021	20,08	10,70	53,30	9,38	8,23	43,47	2,01	1,07	690	588	7,47	5500	1400	6900	0,25
29/6/2021	21,44	11,68	54,45	9,77	7,09	37,79	2,14	1,17	445	606	7,64	5600	1100	6700	0,20
1/7/2021	10,77	5,78	53,67	4,99	8,71	60,09	1,08	0,58	940	614	7,07	4300	1400	5700	0,33
6/7/2021	18,56	9,79	52,74	8,77	13,23	57,48	1,86	0,98	745	534	7,31	4700	1300	6000	0,28
8/7/2021	21,97	12,12	55,15	9,86	10,88	47,32	2,20	1,21	865	580	7,47	5200	1200	6400	0,23
9/7/2021	19,49	10,93	56,07	8,56	12,14	52,63	1,95	1,09	655	137,5	7,63	4700	1200	5900	0,26
13/7/2021	18,26	10,43	57,11	7,83	11,21	51,81	1,83	1,04	1130	616	7,48	5200	1200	6400	0,23
15/7/2021	21,57	12,81	59,42	8,75	3,05	19,21	2,16	1,28	805	602	7,75	5700	1100	6800	0,19
20/7/2021	16,43	9,44	57,41	7,00	1,43	13,19	1,64	0,94	650	616	7,54	4300	1100	5400	0,26
21/7/2021	17,96	9,88	55,01	8,08	6,16	38,40	1,80	0,99	900	566	7,67	4900	1200	6100	0,24
22/7/2021	17,24	9,54	55,30	7,71	5,68	37,32	1,72	0,95	1250	588	7,66	5100	1100	6200	0,22
23/7/2021	20,36	11,33	55,63	9,03	5,97	34,49	2,04	1,13	810	678	7,55	5700	1200	6900	0,21
27/7/2021	20,07	10,81	53,89	9,25	2,63	19,58	2,01	1,08	655	600	7,75	5100	1100	6200	0,22
28/7/2021	19,92	11,06	55,50	8,86	10,02	47,55	1,99	1,11	680	604	7,63	4800	1100	5900	0,23
29/7/2021	19,92	10,22	51,33	9,69	11,04	51,92	1,99	1,02	545	764	7,73	6200	1300	7500	0,21
30/7/2021	18,90	10,46	55,36	8,44	9,53	47,67	1,89	1,05	690	962	7,62	5100	1300	6400	0,25
2/8/2021	19,32	10,34	53,54	8,97	10,74	50,94	1,93	1,03	955	600,4	7,63	5700	1300	7000	0,23
3/8/2021	15,17	8,31	54,75	6,86	11,46	57,99	1,52	0,83	760	674	7,67	5500	1400	6900	0,25
4/8/2021	19,27	10,35	53,73	8,91	22,18	68,18	1,93	1,04	870	594	7,68	5500	1200	6700	0,22
5/8/2021	20,61	11,67	56,61	8,94	19,29	62,31	2,06	1,17	925	658	7,54	5600	1200	6800	0,21

Mesofilo															
FECHA	ST (g/l)	SV (g/l)	FV (%)	Inertes	Eliminación SV	rendimiento eliminación SV	ST (%)	SV (%)	DQOf (mg/l)	NH4 (mg/l)	pH	Alcalinidad Bicarbonatos (mg CaCO3/l)	Alcalinidad Intermedia (mg CaCO3/l)	Alcalinidad Total (mg CaCO3/l)	Ratio Alc
6/8/2021	23,10	13,22	57,23	9,88	18,50	58,32	2,31	1,32	955	660	7,68	5700	1400	7100	0,25
9/8/2021	20,54	11,88	57,85	8,66	6,65	35,90	2,05	1,19	1055	708	7,78	5400	1700	7100	0,31
10/8/2021	22,83	13,04	57,11	9,79	8,93	40,65	2,28	1,30	1120	750	7,8	5300	1600	6900	0,30
11/8/2021	18,05	10,22	56,63	7,83	9,32	47,68	1,81	1,02	1080	726	7,76	5600	1400	7000	0,25
12/8/2021	24,59	14,10	57,36	10,48	10,68	43,09	2,46	1,41	1115	794	7,73	5400	1300	6700	0,24
13/8/2021	19,79	11,39	57,56	8,40	16,54	59,22	1,98	1,14	890	846	7,72	5600	1400	7000	0,25
16/8/2021	24,77	14,43	58,25	10,34	8,05	35,83	2,48	1,44	1325	882	7,76	5500	1700	7200	0,31
17/8/2021	25,86	13,90	53,74	11,97	16,95	54,94	2,59	1,39	1070	870	7,84	6000	1700	7700	0,28
18/8/2021	25,19	14,51	57,61	10,68	1,16	7,37	2,52	1,45	1350	966	7,81	6100	1700	7800	0,28
19/8/2021	26,24	15,13	57,66	11,11	13,24	46,68	2,62	1,51	1325	862	7,71	6400	1700	8100	0,27
20/8/2021	26,35	15,38	58,37	10,97	22,74	59,65	2,63	1,54	1325	868	7,83	6200	1600	7800	0,26
23/8/2021	27,79	16,37	58,92	11,41	14,54	47,03	2,78	1,64	1210	890	7,79	6500	1800	8300	0,28
24/8/2021	27,54	15,42	55,96	12,13	17,77	53,55	2,75	1,54	1370	976	7,83	6500	1800	8300	0,28
25/8/2021	29,15	16,82	57,69	12,33	20,61	55,06	2,92	1,68	1205	990	7,88	6200	2200	8400	0,35
26/8/2021	29,80	17,31	58,10	12,49	21,01	54,82	2,98	1,73	1750	1006	7,85	6700	2200	8900	0,33
27/8/2021	29,64	17,51	59,06	12,14	20,12	53,47	2,96	1,75	1575	1058	7,84	6900	2200	9100	0,32
30/8/2021	30,96	17,63	56,93	13,33	8,26	31,90	3,10	1,76	1765	1070	7,77	7500	1800	9300	0,24
31/8/2021	30,85	17,48	56,67	13,37	7,20	29,16	3,09	1,75	1755	1012	7,77	7500	1700	9200	0,23
1/9/2021	30,42	17,14	56,36	13,27	6,82	28,46	3,04	1,71	1350	1050	8	7300	1500	8800	0,21
2/9/2021	30,19	16,81	55,70	13,38	6,71	28,53	3,02	1,68	1220	810	7,85	7100	1900	9000	0,27
3/9/2021	31,44	18,28	58,14	13,16	21,12	53,60	3,14	1,83	1645	1104	7,73	7300	2400	9700	0,33
6/9/2021	32,57	18,57	57,03	13,99	11,00	37,20	3,26	1,86	1520	1166	7,77	8500	1800	10300	0,21
7/9/2021	32,55	17,73	54,46	14,82	10,14	36,40	3,25	1,77	1550	1256	7,82	9200	1900	11100	0,21
8/9/2021	32,37	18,15	56,06	14,23	15,53	46,11	3,24	1,81	1515	1110	7,98	8300	2000	10300	0,24
9/9/2021	33,14	18,79	56,71	14,35	19,92	51,46	3,31	1,88	1430	1132	7,93	8500	1600	10100	0,19
10/9/2021	33,22	18,89	56,86	14,33	21,76	53,53	3,32	1,89	1665	1152	8,04	7900	2200	10100	0,28
13/9/2021	37,56	20,74	55,22	16,82	17,13	45,23	3,76	2,07	1765	1244	7,78	8400	2000	10400	0,24
15/9/2021	37,18	20,54	55,26	16,63	5,65	21,58	3,72	2,05	2090	1062	7,95	8200	2100	10300	0,26
16/9/2021	35,33	17,34	49,08	17,99	7,85	31,17	3,53	1,73	1760	1130	7,78	8000	1900	9900	0,24
17/9/2021	35,59	18,79	52,81	16,80	8,59	31,38	3,56	1,88	1595	1200	7,89	8000	1900	9900	0,24
20/9/2021	36,87	18,86	51,15	18,01	10,77	36,35	3,69	1,89	1710	1082	7,98	7800	1700	9500	0,22
21/9/2021	37,83	19,55	51,68	18,28	11,83	37,71	3,78	1,96	1815	1056	7,97	8300	1900	10200	0,23
22/9/2021	37,21	19,37	52,04	17,85	17,44	47,39	3,72	1,94				8100	2000	10100	0,25
24/9/2021	37,90	20,49	54,07	17,41	19,13	48,28	3,79	2,05	1655	1222	8,02	8100	2100	10200	0,26
27/9/2021	38,00	20,12	52,95	17,88	177,38	89,81	3,80	2,01	2435	1202	8,08	7500	2200	9700	0,29
28/9/2021	40,42	20,73	51,29	19,69	16,47	44,28	4,04	2,07	1720	1222	-	8200	2400	10600	0,29
29/9/2021	38,82	19,97	51,43	18,86	15,65	43,94	3,88	2,00	1890	1134	7,93	8000	2200	10200	0,28
1/10/2021	40,36	19,45	48,18	20,92	6,97	26,38	4,04	1,94	1695	1232	7,92	8400	2100	10500	0,25
4/10/2021	41,62	21,43	51,48	20,19	13,03	37,81	4,16	2,14	1755	1202	8	8800	1900	10700	0,22
5/10/2021	41,40	20,85	50,37	20,55	12,95	38,32	4,14	2,09	1805	1310	7,96	8800	2000	10800	0,23
6/10/2021	40,85	20,46	50,09	20,39	16,23	44,23	4,09	2,05	1105	1190	7,96	8500	1800	10300	0,21
7/10/2021	39,62	19,89	50,20	19,73	14,20	41,65	3,96	1,99	2035	1162	7,87	9000	1600	10600	0,18
8/10/2021	40,00	19,37	48,43	20,63	14,39	42,62	4,00	1,94	1635	1204	8,08	9000	1900	10900	0,21
11/10/2021	41,52	20,75	49,99	20,77	19,36	48,27	4,15	2,08	5475	1208	8,03	9500	1300	10800	0,14
13/10/2021	41,27	20,01	48,49	21,26	19,19	48,95	4,13	2,00	2015	1144	8,08	9000	1900	10900	0,21
14/10/2021	41,58	20,95	50,38	20,63	19,46	48,16	4,16	2,09	2005	1110	7,89	9400	1600	11000	0,17
15/10/2021	40,58	20,97	51,68	19,61	18,90	47,40	4,06	2,10	2390	1220	7,93	9700	1800	11500	0,19
18/10/2021	42,04	21,39	50,87	20,65	14,66	40,67	4,20	2,14	955	1190	7,9	9400	2000	11400	0,21
19/10/2021	40,79	20,53	50,33	20,26	13,60	39,84	4,08	2,05	930	596	7,93	8500	1800	10300	0,21
20/10/2021	42,10	21,37	50,77	20,73	14,10	39,75	4,21	2,14	2330	1174	8,04	9200	2000	11200	0,22
21/10/2021	42,17	22,67	53,77	19,50	12,31	35,18	4,22	2,27	1595	1208	7,91	8600	2300	10900	0,27
22/10/2021	42,45	20,55	48,40	21,90	12,74	38,28	4,25	2,05	2485	1218	7,92	8700	2300	11000	0,26
25/10/2021	40,56	21,02	51,83	19,54	16,73	44,32	4,06	2,10	2580	1192	7,99	9600	1700	11300	0,18
26/10/2021	40,88	21,13	51,68	19,75	16,83	44,34	4,09	2,11	2400	1138	7,95	9300	1800	11100	0,19
27/10/2021	40,48	16,10	39,78	24,37	17,84	52,56	4,05	1,61	2505	1226	8,06	9400	2000	11400	0,21
29/10/2021	41,31	20,95	50,72	20,36	14,71	41,24	4,13	2,10	2725	1996	8,14	9800	1600	11400	0,16
2/11/2021	42,64	21,98	51,54	20,67	15,72	41,70	4,26	2,20	2620	1296	7,98	9700	1800	11500	0,19
3/11/2021	32,76	12,65	38,61	20,11	11,77	48,21	3,28	1,26	2770	1286	7,88	9600	2200	11800	0,23
4/11/2021	34,24	12,94	37,79	21,30	10,59	45,01	3,42	1,29	2645	1162	7,93	10100	1600	11700	0,16

Mesofilo															
FECHA	ST (g/l)	SV (g/l)	FV (%)	Inertes	Eliminación SV	rendimiento eliminación SV	ST (%)	SV (%)	DQOf (mg/l)	NH4 (mg/l)	pH	Alcalinidad Bicarbonatos (mg CaCO3/l)	Alcalinidad Intermedia (mg CaCO3/l)	Alcalinidad Total (mg CaCO3/l)	Ratio Alc
5/11/2021	34,20	11,92	34,84	22,29	9,02	43,09	3,42	1,19	2770	1308	7,86	9800	2000	11800	0,20
8/11/2021	44,15	21,92	49,65	22,23	14,77	40,26	4,42	2,19	2610	1356	8,06	9700	2400	12100	0,25
10/11/2021	33,53	13,38	39,92	20,14	10,55	44,08	3,35	1,34	2890	1244	8,1	9200	2200	11400	0,24
11/11/2021	40,77	21,17	51,92	19,60	18,22	46,25	4,08	2,12	2825	1308	7,93	8500	2800	11300	0,33
12/11/2021	43,59	22,79	52,28	20,80	22,11	49,25	4,36	2,28	3040	1432	7,96	9000	2900	11900	0,32
15/11/2021	57,98	33,71	58,13	24,28	11,92	26,13	5,80	3,37	3510	1350	7,95	8900	2700	11600	0,30
16/11/2021	53,88	29,20	54,20	24,68	13,98	32,38	5,39	2,92	3555	1200	8,05	8400	3100	11500	0,37
17/11/2021	59,19	29,92	50,55	29,27	14,28	32,31	5,92	2,99	3670	1296	8,03	8600	2900	11500	0,34
18/11/2021	51,55	26,87	52,12	24,68	15,53	36,63	5,16	2,69	4070	1202	7,87	8200	3200	11400	0,39
19/11/2021									4255	1398	8,07	8200	3000	11200	0,37
22/11/2021									4160	1520	7,67	8000	3500	11500	0,44
23/11/2021	86,23	24,75	28,70	61,49	19,14	43,61	8,62	2,47	3390	1342	7,77	7800	3300	11100	0,42
24/11/2021	48,15	24,02	49,90	24,12	19,00	44,16	4,81	2,40	4400	1620	7,77	7900	3900	11800	0,49
25/11/2021	47,72	24,35	51,02	23,37			4,77	2,43	4260	1582	7,69	8300	3500	11800	0,42
26/11/2021	48,99	24,25	49,49	24,74	20,23	45,49	4,90	2,42	4340	1360	7,65	8100	3500	11600	0,43
29/11/2021									4080	1496	7,81	7900	3900	11800	0,49
30/11/2021	48,05	24,38	50,74	23,67	18,21	42,76	4,80	2,44	4690	1536	7,82	8100	3700	11800	0,46
1/12/2021	46,03	24,44	53,11	21,58			4,60	2,44	4595	1554	7,92	8400	3600	12000	0,43
2/12/2021	44,70	22,54	50,42	22,16			4,47	2,25	4080	1550	7,81	8500	3700	12200	0,44
7/12/2021									5370	1364	7,71	8600	4000	12600	0,47
9/12/2021									4975	1370	7,9	8300	3600	11900	0,43
10/12/2021										1358					
14/12/2021									7370	1084	7,45	6200	4000	10200	0,65
15/12/2021									8920	1178	7,58	5800	4600	10400	0,79
16/12/2021									10830	1304	7,75	6100	4700	10800	0,77
17/12/2021									8470	1392	7,76	6900	4200	11100	0,61
20/12/2021									5110	1380	8,08	8700	3100	11800	0,36
21/12/2021									4710	1600	7,98	9200	2800	12000	0,30
22/12/2021									3180	1392	8,06	9200	2900	12100	0,32
23/12/2021									4100	1446	7,94	9400	2600	12000	0,28
27/12/2021									3000	1438	7,74	9700	2500	12200	0,26
28/12/2021									3220	1346	7,79	9900	2500	12400	0,25
29/12/2021									2935	1390	7,85	9400	2900	12300	0,31

6.3.1.3 Anexo C.1.3 Resultados fisicoquímicos digestor termófilo

FECHA	Termófilo														
	ST (g/l)	SV (g/l)	FV (%)	Inertes	Eliminación SV	Rendimiento eliminación SV	ST (%)	SV (%)	DQOf (mg/l)	NH4 (mg/l)	pH	Alcalinidad Bicarbonatos (mg CaCO3/l)	Alcalinidad Intermedia (mg CaCO3/l)	Alcalinidad Total (mg CaCO3/l)	Ratio Alcalinidad
12/1/2021	14,25	8,76	61,45	5,49	9,57	52,23	1,42	0,88	1940	754	7,56	5100	1100	6200	0,22
14/1/2021	13,18	7,43	56,33	5,76	10,17	57,81	1,32	0,74	2485	792	7,51	4800	1100	5900	0,23
19/1/2021	15,42	9,23	59,87	6,19	8,34	47,45	1,54	0,92	2405	676					
4/3/2021	15,77	8,00	50,71	7,77	9,14	53,33	1,58	0,80	1840	648	8,36	5100	700	5800	0,14
9/3/2021	14,29	7,01	49,03	7,28	2,87	29,03	1,43	0,70	1725	526	8,31	4500	1000	5500	0,22
11/3/2021	13,83	8,00	57,86	5,83	8,59	51,79	1,38	0,80	2010	596	8,38	4800	1000	5800	0,21
16/3/2021	15,60	9,13	58,55	6,47	6,91	43,08	1,56	0,91	1930	518	7,81	4700	1000	5700	0,21
18/3/2021	14,68	8,43	57,47	6,24	5,75	40,54	1,47	0,84	2010	494	7,76	4700	1100	5800	0,23
23/3/2021	14,29	8,43	58,98	5,86	8,70	50,79	1,43	0,84	1920	500	7,6	4400	1400	5800	0,32
30/3/2021	13,79	7,67	55,62	6,12	9,01	54,02	1,38	0,77	1685	740	7,99	4700	900	5600	0,19
6/4/2021	13,48	7,82	58,01	5,66	8,30	51,50	1,35	0,78	1020	552	7,91	4200	1400	5600	0,33
8/4/2021	13,45	7,89	58,69	5,56	14,81	65,23	1,35	0,79	1620	566	7,7	4800	1400	6200	0,29
13/4/2021	15,01	8,33	55,47	6,68	13,72	62,23	1,50	0,83	1800	930	7,92	4900	1400	6300	0,29
14/4/2021									1885	644	8,19	5300	1600	6900	0,30
15/4/2021	15,21	8,16	53,68	7,04	11,95	59,41	1,52	0,82	1675	742	7,87	5200	1600	6800	0,31
20/4/2021	14,51	7,93	54,63	6,58	10,53	57,06	1,45	0,79	1490	720	8,45	5100	1400	6500	0,27
22/4/2021	14,85	7,96	53,58	6,89	10,52	56,93	1,48	0,80	1080	696	8,46	5300	1200	6500	0,23
27/4/2021	11,84	6,41	54,12	5,43	14,19	68,90	1,18	0,64	1625	682	8,42	5200	1300	6500	0,25
29/4/2021	14,76	8,04	54,50	6,72	11,87	59,61	1,48	0,80	1555	664	8,27	5200	1300	6500	0,25
4/5/2021									1710	652	8,35	5400	1200	6600	0,22
6/5/2021	17,43	9,13	52,37	8,30	10,23	52,85	1,74	0,91	1515	672	8,3	5400	1300	6700	0,24
12/5/2021	15,78	8,32	52,74	7,46	13,99	62,71	1,58	0,83	1825	684	8,29	5100	1200	6300	0,24
13/5/2021	17,32	8,64	49,91	8,68	12,84	59,77	1,73	0,86	1685	686	8,21	5400	1200	6600	0,22
18/5/2021	10,60	6,69	63,11	3,91	13,34	66,60	1,06	0,67	1790	700	8,21	5300	1300	6600	0,25
20/5/2021	18,09	10,03	55,43	8,06	11,50	53,43	1,81	1,00	1820	692	8,04	5200	1400	6600	0,27
25/5/2021	19,72	11,00	55,77	8,72	11,80	51,76	1,97	1,10	1825	716	8,22	5600	1200	6800	0,21
27/5/2021	19,06	10,72	56,25	8,34	11,10	50,86	1,91	1,07	2135	732	8,3	5500	1200	6700	0,22
1/6/2021	19,93	11,20	56,23	8,72	5,05	31,06	1,99	1,12	2230	788	8,11	5600	1600	7200	0,29
3/6/2021	19,09	10,59	55,47	8,50	5,28	33,26	1,91	1,06	2335	702	8,28	5400	1500	6900	0,28
8/6/2021	17,83	10,34	57,96	7,50	13,53	56,70	1,78	1,03	1890	706	8,31	5500	1500	7000	0,27
10/6/2021	19,57	10,85	55,45	8,72	10,82	49,93	1,96	1,09	1920	728	8,32	4900	1200	6100	0,24
15/6/2021	13,78	8,18	59,34	5,60	11,31	58,04	1,38	0,82	3235	696	8,03	5600	1300	6900	0,23
17/6/2021	7,38	4,36	59,07	3,02	14,49	76,87	0,74	0,44	2085	704	7,87	5500	1300	6800	0,24
22/6/2021	6,67	4,12	61,79	2,55	14,93	78,38	0,67	0,41	1890	728	7,82	5200	1300	6500	0,25
24/6/2021	20,26	11,43	56,41	8,83	7,50	39,63	2,03	1,14	1840	688	7,8	5400	1300	6700	0,24
29/6/2021	17,08	9,34	54,64	7,75	9,43	50,26	1,71	0,93	1455	774	7,96	4900	1300	6200	0,27
1/7/2021	11,43	6,55	57,28	4,88	7,94	54,81	1,14	0,65	2805	778	7,32	4800	1600	6400	0,33
6/7/2021	19,09	10,82	56,65	8,28	12,21	53,03	1,91	1,08	1795	642	7,53	5100	1200	6300	0,24
8/7/2021	18,44	10,03	54,41	8,41	12,97	56,38	1,84	1,00	1975	696	7,63	5000	700	5700	0,14
9/7/2021	18,80	10,28	54,68	8,52	12,79	55,45	1,88	1,03	1905	714	7,78	5000	1200	6200	0,24
13/7/2021	20,85	12,05	57,78	8,80	9,59	44,31	2,09	1,20	2480	740	7,97	5300	1300	6600	0,25
15/7/2021	19,91	10,76	54,05	9,15	5,10	32,16	1,99	1,08	2425	772	7,59	5400	1100	6500	0,20
20/7/2021	18,77	10,75	57,27	8,02	0,12	1,11	1,88	1,07	2250	728	7,93	5000	1200	6200	0,24
21/7/2021	15,38	8,72	56,73	6,65	7,32	45,62	1,54	0,87	2250	728	8	5200	1100	6300	0,21
22/7/2021	18,79	10,10	53,74	8,69	5,12	33,63	1,88	1,01	2385	740	8	5100	1200	6300	0,24
23/7/2021	16,41	9,26	56,43	7,15	8,04	46,47	1,64	0,93	1830	764	7,98	5500	1300	6800	0,24
27/7/2021	18,53	9,90	53,46	8,62	3,54	26,35	1,85	0,99	2155	732	8,14	4400	1200	5600	0,27
28/7/2021	18,95	10,65	56,22	8,30	10,42	49,46	1,89	1,07	2285	720	8,05	5300	1300	6600	0,25
29/7/2021	18,71	10,47	55,93	8,25	10,80	50,79	1,87	1,05	2125	638	8,15	5500	1500	7000	0,27
30/7/2021	19,50	11,16	57,25	8,33	8,83	44,16	1,95	1,12	2080	1064	8,02	4900	1200	6100	0,24
2/8/2021	17,33	10,02	57,80	7,32	11,06	52,47	1,73	1,00	2310	730	8,06	5400	1400	6800	0,26
3/8/2021	20,91	11,70	55,93	9,22	8,07	40,83	2,09	1,17	2720	788	8,1	5600	1300	6900	0,23
4/8/2021	16,23	9,18	56,56	7,05	23,36	71,79	1,62	0,92	2375	736	7,91	5000	800	5800	0,16
5/8/2021	20,57	11,90	57,85	8,67	19,06	61,56	2,06	1,19	3155	818	8,02	5300	1600	6900	0,30
6/8/2021	20,04	11,75	58,63	8,29	19,97	62,95	2,00	1,17	3060	834	8,05	5200	1900	7100	0,37
9/8/2021	21,93	12,81	58,41	9,12	5,73	30,90	2,19	1,28	3095	854	8,17	5900	1500	7400	0,25
10/8/2021	20,94	11,97	57,13	8,98	10,00	45,53	2,09	1,20	3195	924	8,38	6100	1300	7400	0,21

Termófilo															
FECHA	ST (g/l)	SV (g/l)	FV (%)	Inertes	Eliminación SV	Rendimiento eliminación SV	ST (%)	SV (%)	DQOf (mg/l)	NH4 (mg/l)	pH	Alcalinidad Bicarbonatos (mg CaCO3/l)	Alcalinidad Intermedia (mg CaCO3/l)	Alcalinidad Total (mg CaCO3/l)	Ratio Alcalinidad
11/8/2021	21,22	12,41	58,46	8,82	7,13	36,50	2,12	1,24	3170	906	8,21	5800	1400	7200	0,24
12/8/2021	23,13	13,72	59,35	9,40	11,06	44,62	2,31	1,37	3545	996	8,16	5000	1600	6600	0,32
13/8/2021	23,20	13,80	59,49	9,40	14,12	50,57	2,32	1,38	3425	1330	8,33	6200	1400	7600	0,23
16/8/2021	25,55	15,52	60,75	10,03	6,96	30,96	2,55	1,55	3760	1082	8,31	6000	2000	8000	0,33
17/8/2021	25,13	14,73	58,63	10,39	16,11	52,24	2,51	1,47	4145	1072	8,23	6200	2000	8200	0,32
18/8/2021	26,06	15,65	60,07	10,41	0,01	0,08	2,61	1,57	4410	1106	8,31	6400	2300	8700	0,36
19/8/2021	27,12	16,17	59,64	10,94	12,20	43,01	2,71	1,62	4470	1162	8,3	6100	2300	8400	0,38
20/8/2021	27,08	16,57	61,20	10,51	21,54	56,51	2,71	1,66	5295	1220	8,28	6100	2500	8600	0,41
23/8/2021	30,98	18,34	59,21	12,64	12,57	40,67	3,10	1,83	5525	1164	8,25	6400	2500	8900	0,39
24/8/2021	31,83	16,94	53,22	14,89	16,25	48,97	3,18	1,69	6190	1280	8,29	6500	2800	9300	0,43
25/8/2021	24,89	19,35	77,74	5,54	18,07	48,29	2,49	1,94	6625	1302	8,28	6200	2800	9000	0,45
26/8/2021	34,00	19,33	56,86	14,67	18,99	49,56	3,40	1,93	6890	1268	8,27	6300	3100	9400	0,49
27/8/2021	34,70	20,39	58,77	14,31	17,23	45,80	3,47	2,04	7730	1240	8,27	6100	3400	9500	0,56
30/8/2021	34,56	19,83	57,38	14,73	6,05	23,39	3,46	1,98	6870	1320	8,28	6800	2700	9500	0,40
31/8/2021	33,13	18,86	56,92	14,28	5,82	23,59	3,31	1,89	8200	1310	8,24	6400	2800	9200	0,44
1/9/2021	33,48	19,54	58,37	13,94	4,42	18,45	3,35	1,95	6600	1336	8,3	6800	2700	9500	0,40
2/9/2021									7350	858	8,19	6500	2800	9300	0,43
3/9/2021	34,42	20,42	59,32	14,00	18,98	48,18	3,44	2,04	6510	1426	8,18	6500	3400	9900	0,52
6/9/2021	35,71	20,53	57,49	15,18	9,04	30,58	3,57	2,05	8160	1422	8,18	6600	3400	10000	0,52
7/9/2021	36,13	20,31	56,22	15,82	7,56	27,11	3,61	2,03	8230	1760	8,25	6900	2900	9800	0,42
8/9/2021	35,49	19,74	55,62	15,75	13,94	41,38	3,55	1,97	7640	1448	8,36	6800	3300	10100	0,49
9/9/2021	35,68	20,66	57,91	15,02	18,05	46,62	3,57	2,07	7820	1440	8,29	6800	3600	10400	0,53
10/9/2021	36,02	20,86	57,93	15,15	19,79	48,67	3,60	2,09	3990	1424	8,35	6500	3900	10400	0,60
13/9/2021	41,62	23,32	56,04	18,29	14,54	38,41	4,16	2,33	10170	1536	8,25	6400	4300	10700	0,67
15/9/2021	39,99	22,51	56,27	17,49	3,69	14,08	4,00	2,25	9080	1438	8,25	6300	3900	10200	0,62
16/9/2021	38,44	19,56	50,87	18,88	5,64	22,38	3,84	1,96	9170	1440	8,16	5900	4100	10000	0,69
17/9/2021	37,25	20,07	53,88	17,18	7,32	26,72	3,72	2,01	10100	1340	8,24	5800	3600	9400	0,62
20/9/2021	38,57	20,44	53,00	18,12	9,19	31,01	3,86	2,04	8470	1314	8,34	5900	3400	9300	0,58
21/9/2021	38,93	21,66	55,64	17,27	9,72	30,99	3,89	2,17	9630	1312	8,23	6000	3800	9800	0,63
22/9/2021	37,47	20,53	54,78	16,94	16,28	44,24	3,75	2,05				6800	3200	10000	0,47
24/9/2021	39,90	21,60	54,14	18,30	18,02	45,47	3,99	2,16	8720	1342	8,35	5900	3800	9700	0,64
27/9/2021	39,77	21,21	53,34	18,55	176,29	89,26	3,98	2,12	12780	1388	8,37	5800	3700	9500	0,64
28/9/2021	41,08	20,40	49,65	20,69	16,81	45,18	4,11	2,04	9720	1552	-	6200	3700	9900	0,60
29/9/2021	39,18	20,56	52,49	18,61	15,05	42,27	3,92	2,06	10180	1440	8,36	6700	3700	10400	0,55
1/10/2021	42,45	20,79	48,98	21,66	5,62	21,29	4,25	2,08	8030	1532	8,49	7200	3100	10300	0,43
4/10/2021	41,03	21,65	52,77	19,38	12,81	37,17	4,10	2,17	9840	1426	8,43	6800	3400	10200	0,50
5/10/2021	42,05	21,79	51,82	20,26	12,02	35,55	4,20	2,18	9590	1422	8,46	7100	2400	9500	0,34
6/10/2021	42,22	22,77	53,93	19,45	13,92	37,95	4,22	2,28	8960	1394	8,35	7000	3200	10200	0,46
7/10/2021	42,17	21,79	51,67	20,38	12,30	36,09	4,22	2,18	8710	1420	8,36	6800	3500	10300	0,51
8/10/2021	41,81	20,91	50,02	20,89	12,85	38,07	4,18	2,09	8390	1402	8,37	7200	3600	10800	0,50
11/10/2021	44,14	22,81	51,68	21,33	17,31	43,14	4,41	2,28	12960	1392	8,49	6800	3800	10600	0,56
13/10/2021	43,93	22,35	50,88	21,58	16,85	42,98	4,39	2,23	11480	1520	8,42	6700	3900	10600	0,58
14/10/2021	46,13	23,84	51,69	22,29	16,56	40,99	4,61	2,38	9970	1748	8,35	6700	3800	10500	0,57
15/10/2021	43,91	22,70	51,70	21,21	17,17	43,06	4,39	2,27	11540	1316	8,36	6800	3800	10600	0,56
18/10/2021	43,07	21,87	50,77	21,20	14,18	39,34	4,31	2,19	8390	1312	8,4	6600	3300	9900	0,50
19/10/2021	42,89	21,88	51,01	21,01	12,25	35,89	4,29	2,19	9040	1524	8,43	6900	3600	10500	0,52
20/10/2021	43,85	23,10	52,68	20,75	12,37	34,88	4,38	2,31	10720	1174	8,04	6900	3400	10300	0,49
21/10/2021	44,87	23,28	51,87	21,60	11,71	33,46	4,49	2,33	6490	1384	8,31	6300	4000	10300	0,63
22/10/2021	44,31	21,53	48,59	22,78	11,76	35,32	4,43	2,15	6510	1394	8,38	7100	3300	10400	0,46
25/10/2021	41,45	21,70	52,35	19,75	16,06	42,53	4,14	2,17	9400	1224	8,56	7300	3500	10800	0,48
26/10/2021	42,42	22,35	52,68	20,07	15,61	41,13	4,24	2,23	9350	1348	8,4	7300	3600	10900	0,49
27/10/2021	44,91	20,69	46,06	24,23	13,26	39,05	4,49	2,07	8470	1350	8,62	7800	3100	10900	0,40
29/10/2021	41,50	21,00	50,61	20,50	14,66	41,11	4,15	2,10	11240	1402	8,44	7200	3700	10900	0,51
2/11/2021	44,13	23,26	52,70	20,87	14,44	38,31	4,41	2,33	11820	1442	8,21	6600	4100	10700	0,62
3/11/2021	37,83	14,83	39,20	23,00	9,59	39,27	3,78	1,48	>1500	1394	8,25	6700	3900	10600	0,58
4/11/2021	34,16	13,38	39,17	20,78	10,15	43,14	3,42	1,34	9570	1382	8,45	7400	3600	11000	0,49
5/11/2021	33,06	12,38	37,46	20,67	8,56	40,86	3,31	1,24	9910	1434	8,46	7900	3000	10900	0,38
8/11/2021	39,37	20,52	52,12	18,85	16,18	44,08	3,94	2,05	8270	1424	8,53	8000	3000	11000	0,38

Termófilo															
FECHA	ST (g/l)	SV (g/l)	FV (%)	Inertes	Eliminación SV	Rendimiento eliminación SV	ST (%)	SV (%)	DQOf (mg/l)	NH4 (mg/l)	pH	Alcalinidad Bicarbonatos (mg CaCO3/l)	Alcalinidad Intermedia (mg CaCO3/l)	Alcalinidad Total (mg CaCO3/l)	Ratio Alcalinidad
10/11/2021	34,02	13,87	40,78	20,15	10,06	42,03	3,40	1,39	9570	1824	8,72	7800	2700	10500	0,35
11/11/2021	42,06	24,30	57,78	17,76	15,09	38,30	4,21	2,43	7150	1626	8,51	8500	2500	11000	0,29
12/11/2021	43,13	22,56	52,31	20,57	22,34	49,75	4,31	2,26	7150	1478	8,52	8500	2500	11000	0,29
15/11/2021	41,09	22,79	55,47	18,30	22,83	50,04	4,11	2,28	8300	1550	8,45	8100	2600	10700	0,32
16/11/2021	42,03	20,82	49,53	21,21	22,37	51,80	4,20	2,08	8830	1346	8,52	8500	2500	11000	0,29
17/11/2021	40,46	20,95	51,78	19,51	23,25	52,60	4,05	2,10	11120	1366	8,45	8500	2500	11000	0,29
18/11/2021	39,90	21,47	53,81	18,43	20,93	49,36	3,99	2,15	8910	1608	8,39	8200	3000	11200	0,37
19/11/2021	38,85	21,30	54,83	17,55	23,23	52,16	3,89	2,13	9300	1616	8,32	8200	3200	11400	0,39
22/11/2021	38,65	20,66	53,46	17,99	20,96	50,36	3,87	2,07	9220	1718	8,23	8000	3200	11200	0,40
23/11/2021	38,92	21,05	54,07	17,88	22,84	52,05	3,89	2,10	9630	1496	8,26	7600	3500	11100	0,46
24/11/2021	40,43	21,67	53,60	18,76	21,35	49,63	4,04	2,17	11090	1736	8,23	7800	3500	11300	0,45
25/11/2021	0,00								8890	1422	8,19	7600	3500	11100	0,46
26/11/2021	43,32	23,20	53,56	20,11	21,28	47,84	4,33	2,32	10780	1430	8,39	7600	3600	11200	0,47
29/11/2021	41,15	22,62	54,98	18,53	22,38	49,72	4,12	2,26	11910	1518	8,28	6900	3300	10200	0,48
30/11/2021	41,47	21,70	52,32	19,78	20,89	49,06	4,15	2,17	11160	1550	8,29	7200	3000	10200	0,42
1/12/2021									10500	1644	8,32	7500	3300	10800	0,44
2/12/2021									10660	1606	8,3	7800	3300	11100	0,42
7/12/2021									10600	1512	8,32	8200	3100	11300	0,38
9/12/2021									8870	1444	8,44	8500	2900	11400	0,34
10/12/2021										1568					
14/12/2021									8880	1468	8,38	9500	2000	11500	0,21
15/12/2021									10430	1526	8,47	9300	2300	11600	0,25
16/12/2021									8840	1492	8,58	9700	2200	11900	0,23
17/12/2021									9840	1436	8,47	9600	2100	11700	0,22
20/12/2021									9510	1748	8,55	9100	2200	11300	0,24
21/12/2021									9000	1744	8,56	9900	2000	11900	0,20
22/12/2021									8850	1616	8,49	9300	2600	11900	0,28
23/12/2021									9960	1580	8,3	8500	3000	11500	0,35
27/12/2021									12370	1650	8,1	6800	4200	11000	0,62
28/12/2021									12230	1580	8,16	7300	4200	11500	0,58
29/12/2021									12560	1734	8,25	7000	4200	11200	0,60

6.3.2 Anexo C.2. Resultados biogás

6.3.2.1 Anexo C.2.1 Resultados biogás digestor mesófilo

FECHA	Mesofilo Gases														
	Porcentaje medido de biogás				Porcentaje corregido		BIOGAS						Caudal (l/d)	TRH D1(d)	Temperatura in situ (°C)
	CH4 (%)	CO2 (%)	O2 (%)	H2S (ppm)	CH4 (%)	CO2 (%)	PRODUCCION DE GAS (l/d)	CH4 producido (litros CH4/día)	gramos SV eliminado/día	litros GAS/ g. SV eliminado	litros(CH4)/ g.SV eliminado				
12/1/2021	51,4	17,2	2,3	5,7	75	25	116	59,62							
14/1/2021	34,9	10,5	7,8	0	77	23	340	118,66							
19/1/2021	48,9	24,6	0	0	67	33	604	295,17	541,16	1,12	0,55	62,83	44	30,4	
4/3/2021	48,3	22,4	0	0	68	32	1044	504,25	1396,87	0,75	0,36	157,08	18	30,4	
9/3/2021	50,7	18,5	0	0	73	27	931	472,02	419,90	2,22	1,12	149,22	19	28,2	
11/3/2021	49	19,9	0,1	0	71	29	925	453,25	1454,85	0,64	0,31	188,49	15	30,6	
16/3/2021	51,4	17,1	0	0	75	25	780	400,92	1075,84	0,73	0,37	149,22	19	32,9	
18/3/2021	52,7	16,4	0	0	76	24	317	167,06	819,80	0,39	0,20	149,22	19	29,1	
23/3/2021	50,6	15,8	0,5	0	76	24	294	148,76	565,00	0,52	0,26	70,68	39	27,3	
30/3/2021	53,8	17,6	0	0	75	25	488	262,79	1085,25	0,45	0,24	149,22	19	28,3	
6/4/2021	55,7	11,3	0,1	3,3	83	17	164	91,35	344,24	0,48	0,27	58,90	47	18,9	
8/4/2021	57	10,7	0,2	0	84	16	565	322,05						16,4	
13/4/2021	46	18	1,6	0	72	28	858	394,68	842,61			70,68	39	36,7	
14/4/2021	50,1	23,3	0	0	68	32	652	326,65				109,95	25	28,5	
15/4/2021	49,8	19,2	0	0	72	28	656	326,69	914,11			86,39	32	33,4	
20/4/2021	50,5	22,1	0	0	70	30	607	306,54	803,54	0,76	0,38	102,10	27	36,5	
22/4/2021	52,1	19,4	0	0	73	27	559	291,24	702,72	0,80	0,41	78,54	35	28,4	
27/4/2021	50,3	19,3	0,2	2,4	72	28	676	340,03	1811,17	0,37	0,19	133,51	21	27,3	
29/4/2021	50	17	0	0	75	25	620	310,00				141,37	20	27,4	
4/5/2021	51,2	19,3	0	0	73	27	932	477,18	1901,71	0,49	0,25	188,49	15	31,1	
6/5/2021	52,9	19,7	0	0	73	27	879	464,99	1391,67	0,63	0,33	125,66	22	32,5	
12/5/2021	52,5	18,2	0	14,5	74	26	926	486,15	1903,25	0,49	0,26	125,66	22	29	
13/5/2021	52,4	18	0,1	14,6	74	26	935	489,94	1514,24	0,62	0,32	133,51	21	36,2	
18/5/2021	48,3	18,7	0	0	72	28	777	375,29	4852,58	0,16	0,08	306,30	9		
20/5/2021	53,7	20,6	0	0	72	28	935	502,10	1034,71	0,90	0,49	102,10	27	36,5	
25/5/2021	53,6	18,4	0	0,8	74	26	900	482,40	1629,01	0,55	0,30	141,37	20	36,9	
27/5/2021	54	19,1	0	2,4	74	26	946	510,84	1184,97	0,80	0,43	109,95	25	34,4	
1/6/2021	54,1	21,3	0	13,5	72	28	554	299,71	700,19	0,79	0,43	157,08	18	35,7	
3/6/2021	53	22,8	0	5,6	70	30	635	336,55	739,58	0,86	0,46	133,51	21	34	
8/6/2021	51,4	19,4	0,2	10,3	73	27	927	476,48	1763,32	0,53	0,27	149,22	19	38,5	
10/6/2021	52,2	20,5	0	11,1	72	28	940	490,68	1291,10	0,73	0,38	125,66	22	35,5	
15/6/2021	54,4	25	0	29,1	69	31	822	447,17	3061,49	0,27	0,15	157,08	18	38	
17/6/2021	54,2	23	0	15,8	70	30	720	390,24	2190,74	0,33	0,18	141,37	20	33,5	
22/6/2021	52,3	18	0	12	74	26	773	404,28	1406,82	0,55	0,29	102,10	27	31,8	
24/6/2021	52,1	18,7	0,1	4,8	74	26	733	381,89	969,67	0,76	0,39	117,81	24	32,6	
29/6/2021	52,8	22,3	0	8,8	70	30	761	401,81	1336,89	0,57	0,30	188,49	15	37	
1/7/2021	67,1	30,6	0	4450	69	31	739	495,87	1230,72	0,60	0,40	141,37	20	36,1	
6/7/2021	69,6	31,6	0	5440	69	31	864	601,34	1559,08	0,55	0,39	117,81	24	31,9	
8/7/2021	70,6	31,2	0	4660	69	31	1259	888,85	1624,22	0,78	0,55	149,22	19	37,7	
9/7/2021	70,3	31,2	0	4550	69	31	1403	986,31	1525,72	0,92	0,65	125,66	22	32	
13/7/2021	72,6	29,2	0	3330	71	29			792,27			70,68	39	31,4	
15/7/2021	75,3	30,3	0	3330	71	29	861	648,33	382,85	2,25	1,69	125,66	22	34,2	
20/7/2021	72,2	31,5	0	2660	70	30	654	472,19	225,23			157,08	18	34,9	
21/7/2021	73,3	31,5	0	2670	70	30	988	724,20	919,16	1,07	0,79	149,22	19	34	
22/7/2021	76,9	32,1	0	2790	71	29	1164	895,12	668,97	1,74	1,34	117,81	24	35,5	
23/7/2021	78,3	29,5	0	3100	73	27	1222	956,83	702,79	1,74	1,36	117,81	24	37,3	
27/7/2021	79,6	32,7	0	3410	71	29	1246	991,82	310,16	4,02	3,20	117,81	24	35,8	
28/7/2021	77,7	33,9	0	3000	70	30	1295	1006,22	1180,70	1,10	0,85	117,81	24	37,5	
29/7/2021	77,3	33,4	0	2590	70	30	1088	841,02	1387,43	0,78	0,61	125,66	22	31	
30/7/2021	76,5	33,7	0	3100	69	31	749	572,99	1272,27	0,59	0,45	133,51	21	33,2	
2/8/2021	77,5	34,6	0	3140	69	31	1037	803,68	1180,62	0,88	0,68	109,95	25	32,4	
3/8/2021	78,4	34,6	0	3980	69	31	1291	1012,14	1530,50	0,84	0,66	133,51	21	29,8	
4/8/2021	77,3	34,4	0	4030	69	31	1756	1357,39	2787,56	0,63	0,49	125,66	22	34,3	
5/8/2021	80,7	33,7	0	3890	71	29	2212	1785,08	2727,06	0,81	0,65	141,37	20	34,2	

Mesofilo Gases

FECHA	Porcentaje medido de biogás				Porcentaje corregido		BIOGAS					Caudal (l/d)	TRH D1(d)	Temperatura in situ (°C)
	CH4 (%)	CO2 (%)	O2 (%)	H2S (ppm)	CH4 (%)	CO2 (%)	PRODUCCION DE GAS (l/d)	CH4 producido (litros CH4/día)	gramos SV eliminado/día	litros GAS/ g. SV eliminado	litros(CH4)/ g.SV eliminado			
6/8/2021	81,4	32,4	0	4010	72	28	1004	817,26	2178,89	0,46	0,38	117,81	24	37,3
9/8/2021	77	30,9	0	3100	71	29	282	217,14	749,12	0,38	0,29	112,57	25	32,2
10/8/2021	83,7	30,6	0	3170	73	27	1766	1477,75	1262,38	1,40	1,17	141,37	20	36,8
11/8/2021	76,9	29,3	0	3110	72	28	1707	1312,40	1170,75	1,46	1,12	125,66	22	32,2
12/8/2021	79,2	29,3	0	3130	73	27	1795	1421,79	838,54	2,14	1,70	78,54	35	36,3
13/8/2021	77,5	30,2	0	3160	72	28	2023	1567,81	2337,65	0,87	0,67	141,37	20	34,9
16/8/2021	77,6	32,2	0	2970	71	29						167,55	17	33,8
17/8/2021	80,7	33,1	0	3210	71	29						102,10	27	35,2
18/8/2021	80,8	33,1	0	3070	71	29	2494	2014,97	136,07	18,33	14,81	117,81	24	34,8
19/8/2021	82,3	34,3	0	3240	71	29	2502	2059,48	1768,32	1,42	1,16	133,51	21	35,8
20/8/2021	80,6	35	0	3250	70	30	2585	2009,98	4285,33	0,58	0,47	188,49	15	36
23/8/2021	88,4	34,3	0	3300	72	28	2638	2212,12	1484,28	1,69	1,49	102,10	27	34,8
24/8/2021	85,8	35	0	3160	71	29	2812	2412,70	1954,25	1,44	1,23	109,95	25	36,3
25/8/2021	83,5	34,3	0	2870	71	29	3009	2512,52	2913,12	1,03	0,86	141,37	20	37,1
26/8/2021	88,9	34,5	0	3520	72	28	5779	5137,53	2639,94	2,19	1,95	125,66	22	35
27/8/2021	89,1	34,7	0	3460	72	28	2138	1904,96	2685,85	0,80	0,71	133,51	21	33,9
30/8/2021	82	35,7	0	3020	70	30	3305	2710,10	994,15	3,32	2,73	120,42	23	33,3
31/8/2021	82,9	35,7	0	3230	70	30	2902	2405,76	1073,87	2,70	2,24	149,22	19	34,9
1/9/2021	81	34,6	0	2890	70	30	2762	2237,22	856,92	3,22	2,61	125,66	22	35,1
2/9/2021	83,9	35,7	0	3110	70	30	2673	2242,65	685,15	3,90	3,27	102,10	27	32,3
3/9/2021	83,77	36,8	0	3190	69	31	3481	2916,03	2819,37	1,23	1,03	133,51	21	32,2
6/9/2021	81,6	36,5	0	2620	69	31	3195	2607,12	1152,02	2,77	2,26	104,72	27	33,5
7/9/2021	82,8	36,8	0	2890	69	31	632	523,30	1434,06	0,44	0,36	141,37	20	32,7
8/9/2021	84,4	37,3	0	2590	69	31	1022	862,57	2073,43	0,49	0,42	133,51	21	35
9/9/2021	84,4	37,3	0	2790	69	31	832	702,21	2815,92	0,30	0,25	141,37	20	36,8
10/9/2021	86,6	38	0	3070	70	30	2203	1907,80	4442,84	0,50	0,43	204,20	14	35,1
13/9/2021	77,6	31,6	0	100	71	29	1445	1121,32	5424,85	0,27	0,21	316,77	9	33
15/9/2021	90	38,5	0	3690	70	30	2039	1835,10	355,09	5,74	5,17	62,83	44	33,5
16/9/2021	95,5	38,8	0	3480	71	29	1097		616,84	1,78		78,54	35	33,5
17/9/2021	67,3	21,9	0	4109,5	75	25			1349,67			157,08	18	33,3
20/9/2021	66,8	19,6	0	3803,4	77	23			535,60			49,74	56	35,3
21/9/2021	65,6	18,6	0	2087,8	78	22			1672,93			141,37	20	33,5
22/9/2021	67	19,4	0	3251,1	78	22			1232,96			70,68	39	32,7
24/9/2021	66,1	20,3	0	3430,9	77	23			2403,89			125,66	22	34,2
27/9/2021	64,8	22,7	0	3411,8	74	26		0,00	21361,38			120,42	23	32,3
28/9/2021	66	19	0	2973,7	78	22			1940,49			117,81	24	37,1
29/9/2021	66,6	19,7	0	2819	77	23	2181	1413,29	2704,23	0,81	0,52	172,78	16	32,8
1/10/2021	66,4	19,1	0	2856,5	78	22	763	508,16	1039,65	0,73	0,49	149,22	19	35,8
4/10/2021	64,9	17	0	2832,6	79	21	1471		1262,20	1,17	0,00	96,86	29	35
5/10/2021	66,7	18,6	0	2457,6	78	22	3086	2049,10	1017,29	3,03	2,01	78,54	35	32,9
6/10/2021	66	19,3	0	2379,7	77	23	3406	2210,49	3696,57	0,92	0,60	227,76	12	29,4
7/10/2021	67	18,6	0	2390	78	22	3231	2155,08	1561,20	2,07	1,38	109,95	25	30,8
8/10/2021	66,6	20,5	0	2047,2	76	24			2034,68			141,37	20	32,4
11/10/2021	65,8	16,6	0	2522,5	80	20	2098	1405,86	2382,70	0,88	0,59	123,04	23	33,9
13/10/2021	66,3	17,1	0	2236	79	21	2971	1955,05	2561,68	1,16	0,76	133,51	21	32,8
14/10/2021	67	16,2	0	1638,5	81	19	2821		2445,28	1,15		125,66	22	30,7
15/10/2021	65,7	15,9	0	1316,1	81	19			2523,57			133,51	21	34,3
18/10/2021	65,2	18,2	0	2159,9	78	22			1957,29			133,51	21	30,3
19/10/2021	65,1	16,8	0	1472,6	79	21			2669,43			196,34	14	33,7
20/10/2021	65,9	20	0	1422	77	23			1882,53			133,51	21	31,3
21/10/2021	66,9	20,3	0	1407,8	77	23			1159,99			94,25	29	36,2
22/10/2021	66,8	18,7	0	1163,4	78	22			1400,91			109,95	25	32,8
25/10/2021	64,7	16,3	0	1328,5	80	20			1314,20			78,54	35	31,9
26/10/2021	64,6	17,2	0	814,6	79	21			660,95			39,27	71	31,6
27/10/2021	65	14,5	0	755,4	82	18			2101,69			117,81	24	32,1
29/10/2021	62	15,2	0,6	1110,4	80	20			1097,44			74,61	37	31,6
2/11/2021	65,2	17,7	0	1624,9	79	21			2345,86			149,22	19	35,1
3/11/2021	64,7	18,3	0	639,2	78	22			1387,06			117,81	24	
4/11/2021	62,5	15,9	0,1	333,6	80	20			831,88			78,54	35	31,7

Mesofilo Gases														
FECHA	Porcentaje medido de biogás				Porcentaje corregido		BIOGAS					Caudal (l/d)	TRH D1(d)	Temperatura in situ (°C)
	CH4 (%)	CO2 (%)	O2 (%)	H2S (ppm)	CH4 (%)	CO2 (%)	PRODUCCION DE GAS (l/d)	CH4 producido (litros CH4/día)	gramos SV eliminado/día	litros GAS/ g. SV eliminado	litros(CH4)/ g.SV eliminado			
5/11/2021	0	0	19,2	214,7					425,12			47,12	59	36,6
8/11/2021	65,3	15,5	0,1	111,9	81	19			1044,33			70,68	39	36,7
10/11/2021	65,1	19,7	0	1313,4	77	23			828,66			78,54	35	33
11/11/2021	64,2	18,5	0	355,6	78	22			2718,56			149,22	19	32,5
12/11/2021	64,5	21,5	0	371,5	75	25			1736,50			78,54	35	30,5
15/11/2021	64,9	20,1	0	1387,2	76	24			1217,35			102,10	27	32
16/11/2021	64,9	18,5	0	748,2	78	22			2306,22			164,93	17	31,1
17/11/2021	65,9	20,1	0	657,7	77	23			1233,77			86,39	32	36
18/11/2021	64	20,1	0	503,3	76	24			1585,65			102,10	27	31,2
19/11/2021	64,7	19,1	0	465,1	77	23						86,39	32	31,4
22/11/2021	64,9	19,6	0	1146	77	23						62,83	44	32,3
23/11/2021	65,2	19,6	0	623,1	77	23			2104,69			109,95	25	31,1
24/11/2021	65,2	19,6	0	638,8	77	23			4476,98			235,61	12	29,8
25/11/2021	63,7	17,4	0,1	550,4	79	21						94,25	29	30,6
26/11/2021	64,6	20	0	631,7	76	24			2701,31			133,51	21	33,5
29/11/2021	65,7	19,8	0	1128,7	77	23						62,83	44	35,4
30/11/2021	66,4	19,6	0	519,1	77	23			1573,36			86,39	32	31,1
1/12/2021	66,7	20,7	0	381,8	76	24						219,91	13	31,7
2/12/2021	63,4	17,1	0,1	238,5	79	21						86,39	32	30,7
7/12/2021	64,7	21,6	0	1257,8	75	25						54,98	51	34,4
9/12/2021	64	20,4	0	790,6	76	24						141,37	20	31,7
10/12/2021	64,4	19,7	0	424,7	77	23								35,3
14/12/2021	47,3	24,5	1,2	588,1	66	34								29,5
15/12/2021	49,5	38,1	0,1	776,1	57	43								30,1
16/12/2021	57,3	33,3	0	888,1	63	37								37,7
17/12/2021	65,7	21,5	0	665,4	75	25								32,8
20/12/2021	69,2	16,1	0	561,8	81	19								29,2
21/12/2021	67,6	15,4	0	433,4	81	19						15,71	177	30,3
22/12/2021	66,9	18	0	469,1	79	21						23,56	118	33,9
23/12/2021	68	21	0	613,2	76	24						7,85	354	36,2
27/12/2021	65,7	21,3	0	770,2	76	24						0,00		31,5
28/12/2021	63,8	21,9	0	562,8	74	26						54,98	51	35,1
29/12/2021	65,6	24,7	0	689,5	73	27						54,98	51	33

6.3.2.2 Anexo C.2.1 Resultados biogás digester termófilo

Termófilo Gases														
FECHA	Porcentaje medido de biogás				Porcentaje corregido		BIOGAS					Caudal (l/d)	TRH D2(d)	Temperatura in situ (°C)
	CH4 (%)	CO2 (%)	O2 (%)	H2S (ppm)	CH4 (%)	CO2 (%)	PRODUCCION DE GAS (l/d)	CH4 producido (litros CH4/día)	gramos SV eliminado	litros GAS/ g.SV eliminado	litros(CH4)/ g.SV eliminado			
12/1/2021	28,8	22,6	0,3	0,8	56	44	800	230,40	1278,24			133,51	21	52,5
14/1/2021	41,8	27,4	0,3	0	60	40	1514	632,85	1598,07	0,95	0,40	157,08	18	51,3
19/1/2021	34,8	20,7	2,7	0	63	37	2110	734,30	2291,14	0,92	0,32	274,88	10	51,5
4/3/2021	38,5	18,4	1,6	0	68	32	1688	649,88	1435,51	1,18	0,45	157,08	18	52,2
9/3/2021	45,5	18,6	0,3	0	71	29	1497	681,14	517,71	2,89	1,32	180,64	15	53,4
11/3/2021	38,4	17,1	1,3	0	69	31	1550	595,20	1619,90	0,96	0,37	188,49	15	45,2
16/3/2021	41,3	9,6	1,4	0	81	19	836	345,27	922,94	0,91	0,37	133,51	21	34,2
18/3/2021	34,7	9,3	3,1	0	79	21	539	187,03	0,00			0,00		30,6
23/3/2021	17,6	11,9	5,2	0	60	40	643	113,17	0,00			0,00		28
30/3/2021	23,7	12,9	3,3	0	65	35	501	118,65	0,00			0,00		27,5
6/4/2021	0	0	21,1	4,9			421	0,00	0,00			0,00		18,9
8/4/2021	9,6	3,1	6,7	0	76	24	890	85,44	0,00			0,00		16,1
13/4/2021	28,9	20,8	1,7	5,8	58	42	1450	419,05	1293,21			94,25		47,3
14/4/2021	35,3	23,1	0,2	0	60	40	1144	403,83	0,00			180,64		50,8
15/4/2021	43,6	15,4	0,5	0	74	26	1225	534,10	750,86			62,83		42,2
20/4/2021	41,6	18,3	0,3	0	69	31	1117	464,67	661,70	1,69	0,70	62,83	44	50,4
22/4/2021	50	19,7	0	0	72	28	1265	632,50	991,23	1,28	0,64	94,25	29	52
27/4/2021	42,3	18,8	0,1	4,1	69	31	1131	478,41	1783,53	0,63	0,27	125,66	22	45,2
29/4/2021	43,2	17,2	0	0	72	28	1065	460,08				133,51	21	50
4/5/2021	45,7	17,8	0,4	0	72	28	1533	700,58	3707,96	0,41	0,19	188,49	15	49,5
6/5/2021	47,8	18	0	0	73	27	1663	794,91	1526,90	1,09	0,52	149,22	18	51,9
12/5/2021	50,8	21,1	0	15,3	71	29	1784	906,27	2307,82	0,77	0,39	164,93	17	48,8
13/5/2021	49,1	19,7	0,1	8,9	71	29	1815	891,17	2521,33	0,72	0,35	196,34	14	52,4
18/5/2021	53,5	20,1	0	4	73	27	1527	816,95	4401,29	0,35	0,19	329,86	8	48,1
20/5/2021	48	19	0	0	72	28	1813	870,24	1987,55	0,91	0,44	172,78	16	48,2
25/5/2021	48,8	15,9	0	0	75	25	1600	780,80	2131,80	0,75	0,37	180,64	15	52,8
27/5/2021	49,6	18,3	0,1	0	73	27	1857	921,07	1307,23	1,42	0,70	117,81	23	51,4
1/6/2021	49,9	20,1	0,1	0	71	29	778	388,22	753,22	1,03	0,52	149,22	18	50,7
3/6/2021	47,3	22,1	0,1	0	68	32	1344	635,71	953,59	1,41	0,67	180,64	15	47,8
8/6/2021	49,9	22,5	0	12,7	69	31	1874	935,13	2657,11	0,71	0,35	196,34	14	49,2
10/6/2021	51,6	22,1	0,1	15,1	70	30	1798	927,77	2124,98	0,85	0,44	196,34	14	51,9
15/6/2021	51,4	24,8	0	0	67	33	1583	813,66	2220,97	0,71	0,37	196,34	14	52,1
17/6/2021	50	27,7	0	0	64	36	1490	745,00	2049,06	0,73	0,36	141,37	19	52,1
22/6/2021	50,8	21,3	0	13,6	70	30	1566	795,53	3401,02	0,46	0,23	227,76	12	56,3
24/6/2021	48	19	0	0	72	28	1437	689,76	1001,90	1,43	0,69	133,51	21	52,3
29/6/2021	48,7	21,6	0	0	69	31	1524	742,19	2296,92	0,66	0,32	243,47	11	57,5
1/7/2021	64,8	31,8	0	740	67	33	1482	960,34	997,86	1,49	0,96	125,66	22	53
6/7/2021	65,8	33,5	0	1320	66	34	1577	1037,67	1630,05	0,97	0,64	133,51	21	52,9
8/7/2021	67,8	32,4	0	1130	68	32	2308	1564,82	1833,38	1,26	0,85	141,37	19	50
9/7/2021	69,3	31,4	0	1000	69	31	2583	1790,02	1908,84	1,35	0,94	149,22	18	52,4
13/7/2021	71	29,6	0	1570	71	29			301,15			31,42	88	48,3
15/7/2021	71,4	31,6	0	150	69	31	1587	1133,12	520,86	3,05	2,18	102,10	27	47,5
20/7/2021	69,2	33,2	0	40	68	32	1139	788,19	8,55			70,68	39	48,2
21/7/2021	67,3	33,8	0	0	67	33	1346	905,86	632,18	2,13	1,43	86,39	32	47,7
22/7/2021	69,1	33,1	0	0	68	32	1483	1024,75	401,88	3,69	2,55	78,54	35	50,5
23/7/2021	71,7	34,1	0	0	68	32	1655	1186,64	1262,43	1,31	0,94	157,08	18	49,2
27/7/2021	73,2	34,8	0	250	68	32	3349	2451,47	556,48	6,02	4,41	157,08	18	52,1
28/7/2021	71,4	37,8	0	530	65	35	3781	2699,63	1964,94	1,92	1,37	188,49	15	54,4
29/7/2021	72,5	36,8	0	570	66	34	5368	3891,80	2035,66	2,64	1,91	188,49	15	52,9
30/7/2021	74,2	34,3	0	690	68	32	1142	847,36	2080,28	0,55	0,41	235,61	12	49,5
2/8/2021	72	36,4	0	410	66	34	932	671,04	1389,97	0,67	0,48	125,66	22	45,1
3/8/2021	72,6	36,3	0	690	67	33	1743	1265,42	2345,41	0,74	0,54	290,59	9	54,9
4/8/2021	70,1	38,5	0	950	65	35	2272	1592,67	4219,62	0,54	0,38	180,64	15	44
5/8/2021	75,2	37,3	0	1260	67	33	2661	2001,07	5238,68	0,51	0,38	274,88	10	51,3
6/8/2021	76,1	34	0	1200	69	31	1484	1129,32	2979,45	0,50	0,38	149,22	18	47
9/8/2021	75,8	30	0	120	72	28	676	512,41	539,85	1,25	0,95	94,25	29	50,8
10/8/2021	78,1	31	0	580	72	28	2062	1610,38	1492,61	1,38	1,08	149,22	18	52,6

Termófilo Gases														
FECHA	Porcentaje medido de biogás				Porcentaje corregido		BIOGAS					Caudal (l/d)	TRH D2(d)	Temperatura in situ (°C)
	CH4 (%)	CO2 (%)	O2 (%)	H2S (ppm)	CH4 (%)	CO2 (%)	PRODUCCION DE GAS (l/d)	CH4 producido (litros CH4/día)	gramos SV eliminado	litros GAS/ g.SV eliminado	litros(CH4)/ g.SV eliminado			
11/8/2021	76,2	30,1	0	970	72	28	2274	1733,03	1344,32	1,69	1,29	188,49	15	43,8
12/8/2021	74,8	31,7	0	1000	70	30	1809	1352,83	2344,32	0,77	0,58	212,05	13	50,4
13/8/2021	75,1	30,7	0	1140	71	29	2638	1981,34	2439,81	1,08	0,81	172,78	16	50,8
16/8/2021	76	34,2	0	1180	69	31	3290	2500,59	1712,67	1,92	1,46	246,08	11	51,4
17/8/2021	72,5	35,7	0	1580	67	33	4134	2996,95	1771,59	2,33	1,69	109,95	25	48,4
18/8/2021	78,1	36,1	0	1940	68	32	4297	3355,76	1,54	2787,70	2177,19	125,66	22	54
19/8/2021	76,9	38,1	0	1590	67	33		0,00	1725,00	0,00	0,00	141,37	19	51,2
20/8/2021	76	38,2	0	1740	67	33	3004	2283,04	4059,89	0,74	0,56	188,49	15	53,5
23/8/2021	84	36,5	0	2000	70	30	2320	1948,80	2336,36	0,99	0,83	185,87	15	52,9
24/8/2021	80,6	37,2	0	1490	68	32	1240	999,44	2297,56	0,54	0,44	141,37	19	51,7
25/8/2021	79,3	37,3	0	770	68	32	965	765,25	2270,87	0,42	0,34	125,66	22	52,4
26/8/2021	85,1	37,1	0	2430	70	30	327	278,28	3132,09	0,10	0,09	164,93	17	56,1
27/8/2021	82,4	37,2	0	870	69	31	1966	1619,98	3383,29	0,58	0,48	196,34	14	53,8
30/8/2021	80	36,8	0	1310	68	32	2124	1699,20	808,17	2,63	2,10	133,51	21	51,4
31/8/2021	81,9	37,6	0	1600	69	31	1239	1014,74	731,59	1,69	1,39	125,66	22	55,1
1/9/2021	78,5	35	0	540	69	31	1554	1219,89	590,37	2,63	2,07	133,51	21	54,9
2/9/2021	79,1	38,5	0	1150	67	33	2213	1750,48	3510,42	0,63	0,50	149,22	18	50
3/9/2021	78,9	41,9	0	2810	65	35	2735	2157,92	5366,70	0,51	0,40	282,74	10	49,1
6/9/2021	82,2	38,2	0	2510	68	32	2727	2241,59	1538,59	1,77	1,46	170,16	16	52,1
7/9/2021	89,7	38,7	0	1660	70	30	1646	1476,46	1127,37	1,46	1,31	149,22	18	53,5
8/9/2021	81,4	40,2	0	1200	67	33	1549	1260,89	1970,02	0,79	0,64	141,37	19	53,7
9/9/2021	76,1	40,1	0	2350	65	35	2461	1872,82	2267,86	1,09	0,83	125,66	22	56,3
10/9/2021	83,4	41,4	0	2690	67	33	1010	842,34	4195,45	0,24	0,20	212,05	13	50,9
13/9/2021	92,7	38,8	0	1740	70	30	1910	1770,57	2246,10	0,85	0,79	154,46	18	54
15/9/2021	85,8	40,2	0	2670	68	32	1895	1625,91	1477,44	1,28	1,10	400,54	7	55
16/9/2021	89,5	44,3	0	3740	67	33	3470		354,25	9,80		62,83	44	53,1
17/9/2021	65,1	25,1	0	3400,7	72	28	8438	7552,01	1551,59	5,44	4,87	212,05	13	51,5
20/9/2021	65,5	23,1	0	3106	74	26			673,33			73,30	38	54
21/9/2021	64,9	21	0	2481,3	76	24			1833,05			188,49	15	53,8
22/9/2021	63,7	21,2	0,4	1916,3	75	25			511,53			31,42	88	48,5
24/9/2021	63,7	24,4	0,2	2715,8	72	28			2546,95			141,37	19	55,3
27/9/2021	66,9	26	0	3124,2	72	28			16614,69			94,25	29	53,1
28/9/2021	63,8	22,3	0	2586,6	74	26			1848,09			109,95	25	54,1
29/9/2021	66,1	22,6	0	2225	75	25	2202	1473,14	9458,42			628,30	4	50,3
1/10/2021	67,4	20,3	0	1811,6	77	23			794,86			141,37	19	54,8
4/10/2021	62,6	19,9	0,3	918	76	24			1509,14			117,81	23	52
5/10/2021	63,8	18,6	0	1207,7	77	23	122	82,23	2831,18			235,61	12	55,6
6/10/2021	66,3	22,1	0	1795,8	75	25	73	45,70	1749,74			125,66	22	55
7/10/2021	65,3	22,2	0	1852,4	75	25	2958	1887,20	2028,80	1,46	0,93	164,93	17	54,3
8/10/2021	62,8	21,7	0,2	1237,4	74	26	2413	1599,82	1110,47	2,17	1,44	86,39	32	53
11/10/2021	63,9	19,8	0,2	1706	76	24			2899,69			167,55	16	56,7
13/10/2021	65	21,4	0,1	1832,5	75	25			1190,95			70,68	39	51,8
14/10/2021	65,5	19,6	0	1363,9	77	23			1560,86			94,25	29	53
15/10/2021	63,5	19,9	0,4	1190,4	76	24			1483,38			86,39	32	54,6
18/10/2021	64,4	20,8	0,3	1683,2	76	24	2376	1556,28	5345,60	0,44	0,29	376,98	7	53,9
19/10/2021	64	20,9	0,3	1267,4	75	25	2143	1360,81	2789,09	0,77	0,49	227,76	12	54,6
20/10/2021	64,4	23,1	0,1	1225,8	74	26	1263	813,37	1554,59	0,81	0,52	125,66	22	54,4
21/10/2021	63,2	20,9	0	1004,8	75	25	631	403,84	2022,59	0,31	0,20	172,78	16	54,1
22/10/2021	65,2	20,5	0	848,6	76	24			830,93			70,68	39	54,8
25/10/2021	58,7	14,7	1,2	65,7	80	20			1471,12			91,63	30	54,1
26/10/2021	42,4	10,4	7,2	670	80	20			4536,71			290,59	9	53,6
27/10/2021	64,7	15,1	0,3	707	81	19			624,66			47,12	58	51,9
29/10/2021									1266,48			86,39	32	51,4
2/11/2021	62,5	16,4	0,2	915,7	79	21			1814,76			125,66	22	53
3/11/2021	64,2	16,9	0	361,5	79	21			1807,43			188,49	15	
4/11/2021	64,4	15,9	0	334	80	20			797,31			78,54	35	52,8
5/11/2021									470,37			54,98	50	53,2

Termófilo Gases

FECHA	Porcentaje medido de biogás				Porcentaje corregido		BIOGAS					Caudal (l/d)	TRH D2(d)	Temperatura in situ (°C)
	CH4 (%)	CO2 (%)	O2 (%)	H2S (ppm)	CH4 (%)	CO2 (%)	PRODUCCION DE GAS (l/d)	CH4 producido (litros CH4/día)	gramos SV eliminado	litros GAS/ g.SV eliminado	litros(CH4)/ g.SV eliminado			
8/11/2021	65,6	16,2	0	513,8	80	20			1651,62			102,10	27	51,1
10/11/2021	60,4	17,6	0,6	0	77	23			2133,24			212,05	13	51
11/11/2021	62,6	15,5	0,3	59,9	80	20			1895,70			125,66	22	52,5
12/11/2021	65,5	21,3	0,2	240,6	75	25								52
15/11/2021	65,7	23	0	978,9	74	26			2152,06			94,25	29	52,1
16/11/2021	65,8	20,2	0	809,5	77	23			2811,06			125,66	22	53,8
17/11/2021	65,6	20,1	0	596,1	77	23			3287,32			141,37	19	50
18/11/2021	65,2	22,1	0,1	538,1	75	25			2301,31			109,95	25	51,3
19/11/2021	64,4	20,7	0,2	351	76	24			2736,13			117,81	23	50,8
22/11/2021	65,3	21,8	0	1134,4	75	25			2305,02			109,95	25	49,2
23/11/2021	64,3	22,7	0,2	444,1	74	26			3049,95			133,51	21	49,1
24/11/2021	63,3	22,7	0,4	443,1	74	26			2851,04			133,51	21	53,4
25/11/2021	65,1	21,2	0	423	75	25						117,81	23	52,2
26/11/2021	63,8	22,2	0,3	463,2	74	26			2840,78			133,51	21	52,2
29/11/2021	66,7	21,4	0	705,2	76	24			2636,02			117,81	23	53,5
30/11/2021	65,2	18,2	0,2	245	78	22			2297,16			109,95	25	53,9
1/12/2021	64,5	18,7	0	78,9	78	22						180,64	15	51,9
2/12/2021	66,7	19	0	340,1	78	22						102,10	27	51,5
7/12/2021	66,3	21	0	857,2	76	24						109,95	25	53,3
9/12/2021	66,5	20,4	0	730,6	77	23						133,51	21	51,3
10/12/2021	64,7	19,7	0,1	477,5	77	23								
14/12/2021	70,6	2,4	0,4	379,5	97	3								34,1
15/12/2021	62	20,8	0,6	509,4	75	25								51,5
16/12/2021	47,4	19,4	2,8	519,1	71	29								51,9
17/12/2021	39,9	13,5	4,6	370,7	75	25								56,3
20/12/2021	36,9	25,6	1,2	142,4	59	41								54,6
21/12/2021	36	23,5	1,3	240,1	61	39						7,85	350	53,6
22/12/2021	41,7	26,7	0	298,4	61	39						31,42	88	54,3
23/12/2021	48,7	30,7	0	410,3	61	39						39,27	70	56,7
27/12/2021	58,6	29,3	0,4	340,5	67	33						54,98	50	54,4
28/12/2021	62,4	26,9	0,3	415,5	70	30						133,51	21	52,4
29/12/2021	63,7	25,5	0,1	616,4	71	29						172,78	16	50,5

6.4 Anexo D. Estimación de energías

Resultados obtenidos en cada uno de los digestores:

Digestor Mesófilo		
	3%	6%
Volumen digestor	3000 m3	3000 m3
TRH (tiempo de retencion Hidráulico)	23 días	26 días
Caudal diario alimentado	130,4347826 m3/dia	115,384615 m3/dia
Caudal anual alimentado	47608,69565 m3/año	42115,3846 m3/año
Concentracion	2,92 %	5,71 %
Toneladas de FF a digestion/año	1390,173913 toneladas	2404,78846 toneladas
FV	67 %	68 %
SV a digestion	931,4165217 toneladas/año	1635,25615 toneladas/año
% eliminacion mínima	50,12 %	49,95 %
SV eliminados	466,8259607 toneladas	816,810449 toneladas
produccion biogas	373460,7686 m3 biogas año	653448,359 m3 biogas año
m3 biogas por kg SV eliminado	0,8 nm3/kg	0,8 nm3/kg
kWh/nm3 biogas	2,2 kWh/nm3 biogas	2,2 kWh/nm3 biogas
kWh electricos producidos	821613,69 kWh/año	1437586,39 kWh/año
Energia electrica excedente	821613,69	1437586,39
Incremento	74,97%	

Digestor Termófilo		
Parámetros	3%	6%
Volumen digestor	3000 m3	3000 m3
TRH (tiempo de retencion Hidráulico)	22 días	22 días
Caudal diario alimentado	136,3636364 m3/dia	136,363636 m3/dia
Caudal anual alimentado	49772,72727 m3/año	49772,7273 m3/año
Concentracion	2,92 %	5,71 %
Toneladas de FF a digestion/año	1453,363636 toneladas	2842,02273 toneladas
FV	67 %	68 %
SV a digestion	973,7536364 toneladas/año	1932,57545 toneladas/año
% eliminacion mínima	50,25 %	47,86 %
SV eliminados	489,3112023 toneladas	924,930613 toneladas
produccion biogas	552921,6586 m3 biogas año	1045171,59 m3 biogas año
m3 biogas por kg SV eliminado	1,13 nm3/kg	1,13 nm3/kg
kWh/nm3 biogas	2,2 kWh/nm3 biogas	2,2 kWh/nm3 biogas
kWh electricos producidos	1216427,65 kWh/año	2299377,5 kWh/año
Energia electrica excedente	1216427,65	2299377,5
Incremento	89,03%	

Datos de partida/conocidos:

Volumen de digestor industrial 3000m³.

TRH es la media calculada experimentalmente tras la recogida de datos.

Concentración obtenida tras la media de todos los días analizados en el estado correspondiente al 3% y 6%.

FV obtenida tras la media de todos los días analizados en el estado correspondiente al 3% y 6%.

Porcentaje de eliminación mínima obtenida tras la media de todos los días analizados en el estado correspondiente al 3% y 6%

$$\text{Porcentaje de eliminación} = \frac{SV_{\text{entrada}} - SV_{\text{salida}}}{SV_{\text{entrada}}}$$

Ratio m³ producido por gr SV eliminado obtenida tras la media de todos los días analizados en el estado correspondiente al 3% y 6%.

Relación de kWh/nm³ obtenida empíricamente por los motores de cogeneración usados

Fórmulas utilizadas:

$$\text{Caudal diario alimentado} = \frac{\text{Volumen digestor}}{\text{TRH}}$$

$$\text{Caudal anual} = \text{Caudal diario alimentado} * 365$$

$$\text{Tonelada de fango fresco a digestion/año} = \text{Caudal anual} * \text{Concentración}$$

$$\text{SV a digestion} = \text{FV} * \text{Toneladas de fango fresco a digestion/año}$$

$$\text{SV eliminados} = \text{SV a digestión} * \text{eliminación mínima}$$

$$\text{Producción biogás} = \text{SV eliminados} * 1000 * \text{Ratio} \frac{\text{m}^3 \text{biogás}}{\text{gr SV eliminado}}$$

$$\text{kWh producidos} = \text{Producción biogás} * \frac{\text{kWh}}{\text{nm}^3} \text{ motor de cogeneración}$$

6.5 Anexo E. Cálculo del calentamiento

Mantener una temperatura constante en el interior del digester mejora el desarrollo del proceso. Los cambios bruscos de temperatura pueden desestabilizar el mismo. Controlar la temperatura y mantenerla lo más cercana a un valor óptimo, como puede ser 35°C (rango 35-40°C) en el caso de la digestión mesofílica, y para la Termófila de 55°C (rango de 50-55°C), maximiza el rendimiento de la digestión y, por otro lado, disminuye el volumen de digester necesario para que se lleve a cabo el proceso.

Para mantener en el interior del digester un valor constante de temperatura cercano al punto óptimo, los equipos de calentamiento deben ser capaces de suministrar la energía necesaria para calentar el fango fresco de alimentación (Q1), así como para suplir las pérdidas que se producen a través de las paredes, la cubierta y la solera del digester (Q2).

El cálculo de estas energías se puede calcular con las siguientes ecuaciones.

$$Q_1 = M * C_p * (T_2 - T_1)$$

donde:

Q1: cantidad de calor necesario para calentar el fango (Kcal/h)

M: Masa de fango que entra en al digester (Kg/h)

Cp: calor específico del fango (aproximadamente 1 para la mayoría de los fangos) (Kcal/Kg/°C)

T1: temperatura del fango que llega al digester (°C)

T2: temperatura del fango en el digester (°C)

$$Q_2 = S * U * (T_2 - T_1)$$

donde:

Q2: cantidad de calor necesario para compensar las pérdidas en el digester (Kcal/h)

S: Superficie del digester en la que se producen pérdidas (m2)

U: coeficiente de transferencia de calor (depende del material del que esté construido el digester y de condiciones ambientales) (Kcal/m2 /h/°C)

T1: temperatura ambiente (°C)

T2: temperatura del fango en el digester (°C)

En una planta real, generalmente los cálculos se realizan para la mayor producción de fangos esperada y las menores temperaturas posibles