

ANALISIS DE LA EFICACIA DE DIFERENTES RESIDUOS, COMO HERRAMIENTA PARA MEJORAR LA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELECTRICA.

RESUMEN

En este trabajo se ha estudiado la digestión conjunta de lodos mixtos de la EDAR de Alcantarilla (Murcia) con melaza (producto de desecho de la elaboración del azúcar de caña), con restos de frutas y hortalizas, sangre de cerdo y lactosuero. Se ha constado la viabilidad técnica de llevar a cabo la digestión conjunta de estos residuos, con porcentaje de melaza de hasta un 6% en volumen y de residuos frutícolas de hasta un 60% en volumen, esta digestión conjunta permite aumentar en casi un 200% la producción de metano en la etapa de digestión respecto a la operación con fangos mixtos de depuradora, o lo que es lo mismo, triplicar la producción de energía eléctrica de una planta cogeneración.

INTRODUCCIÓN

El término co-digestión se utiliza para denominar la digestión anaerobia conjunta de dos o más sustratos de diferente origen. La ventaja principal radica en el aprovechamiento de la sinergia de las mezclas, compensando las carencias de cada uno de los sustratos por separado.

La codigestión no es un concepto nuevo, ya que, desde finales de los años 70, se pueden encontrar referencias bibliográficas acerca de la codigestión de varios sustratos, como por ejemplo, lodos de depuradoras y residuos sólidos urbanos. El ejemplo práctico más claro se encuentra en Dinamarca, donde este concepto se convirtió en un éxito y la codigestión de estiércol y residuos orgánicos fue implantada en todas las plantas danesas (Asociación Danesa del Biogás). Desde finales de los años 80, se pueden encontrar numerosas referencias acerca de las ventajas de la codigestión y los diferentes sustratos que son susceptibles de someterse a ella.

Principios de la digestión conjunta de sustratos

Existen residuos biodegradables, de diferentes orígenes, que tienen un potencial de producción de biogás relativamente bajo debido a su bajo contenido de materia orgánica o escasa biodegradabilidad. En el proceso de codigestión, se combinan varias mezclas de sustratos orgánicos biodegradables, logrando aumentar el potencial de producción de biogás y aportando una estabilidad adicional al sistema. Un ejemplo es la co-digestión de deyecciones ganaderas y residuos alimentarios. Los residuos ganaderos tienen baja proporción de materia orgánica biodegradable, con una baja relación C/N, pero cuentan con una concentración elevada de micro

y macronutrientes, básicos para el crecimiento de microorganismos anaerobios, así como, capacidad tampón (alcalinidad), fundamental para evitar procesos de acidificación. Por el contrario, los residuos alimentarios ricos en carbohidratos, proteínas y grasas suelen tener una alta proporción de materia orgánica biodegradable y una alta relación C/N, pero su digestión anaerobia se ve afectada negativamente por la ausencia de micronutrientes y también por problemas de acidificación. Así pues, la mezcla de ambos tipos de residuos da lugar a procesos más estables y con un incremento considerable de la producción de biogás (Campos y col, 2010).

La codigestión permite obtener por un lado una fuente de energía de carácter renovable en forma de biogás, y por otro un subproducto resultante de la digestión, denominado digestato, con características de fertilizante orgánico y aplicable en agricultura bajo condiciones controladas. Se trata por tanto de un reciclaje integral que reduce el impacto ambiental de estos residuos (contaminación del suelo, agua, malos olores, etc.).

En el caso concreto de los lodos de depuradora, su lenta biodegradación (normalmente requiere un tiempo superior a los 20 días), baja relación C/N y escasa eliminación de sólidos volátiles (30-40%) se convierten en desventajas a la hora de aplicar un tratamiento de digestión anaerobia. Debido a ello, normalmente los digestores alimentados únicamente con lodos operan a una baja tasa de carga orgánica con producciones de biogás también bajas. Para optimizar el proceso se han estudiado diferentes pre-tratamientos, tanto químicos como térmicos, biológicos o mecánicos. Otra opción que frecuentemente resulta más conveniente es la codigestión de los lodos con otro sustrato fácilmente biodegradable, que pueda mejorar tanto la degradación del lodo, como la estabilidad del digestato (Luste y Luostarinen, 2010).

Las características de algunos de los residuos utilizados frecuentemente para la codigestión se resumen en la Tabla 1. Flechas apuntando en sentido opuesto indican un posible interés en la digestión conjunta de ambos residuos, ya que, sus composiciones se complementan. Aunque, el contenido en materia orgánica biodegradable y la relación C/N de los lodos de depuradora se considera baja para la digestión anaerobia, se han representado en la tabla como valor intermedio (símbolo $\uparrow\downarrow$) debido a que ambos parámetros son menores en los residuos ganaderos, en cambio, son superiores en la fracción orgánica de los residuos urbanos (foRSU) y en los residuos de la industria alimentaria.

	Lodos EDAR	Residuos ganaderos	FORSU	Residuos industria alimentaria
Micro y macronutrientes	↑	↑	↓	↓
Relación C/N	↑↓	↓	↑	↑
Capacidad tampón (alcalinidad)	-	↑	↓	↓
Materia orgánica biodegradable	↑↓	↓	↑	↑

Tabla 1. Caracterización relativa de diferentes residuos para la codigestión (Campos y col., 2001).

METODOLOGÍA

En esta trabajo se ha tratado de determinar la posibilidad de aumentar la producción de biogas y por tanto la capacidad de producción de energía eléctrica de la EDAR de Alcantarilla, para ello se ha realizado una serie de experimentos en biodigestores de capacidad útil un litro, trabajando siempre con fango de digester actual de la EDAR de Alcantarilla como inóculo inicial y una alimentación compuesta por el fango mixto de la EDAR de Alcantarilla, mezclado con diferentes cantidades de cosustrato (melazas y residuos de frutas triturados).

A continuación se presenta la metodología utilizada para el desarrollo del presente trabajo experimental, así como una descripción de los equipos empleados.

El sistema utilizado para los ensayos de codigestión anaerobia se compone de los siguientes elementos:

- **5 digestores anaerobios;** Como digester, se utiliza un reactor de vidrio de 1,5 litros de volumen, de forma cilíndrica y provisto de una tapa con un sistema de cierre hermético. Se trata de reactores encamisados, a los que les rodea una camisa de agua para conseguir la temperatura en rango mesófilo (37°C), condición idónea para llevar a cabo el ensayo en cuestión. Los reactores encamisados disponen de una llave de salida y un tubo inferior a través del cual se extraerá la muestra digerida diariamente para su posterior análisis en laboratorio. La tapa presenta dos orificios; el primero y central es el de mayor diámetro y es por donde se lleva a cabo la alimentación y un segundo lateral, que es por donde tendrá lugar la salida del biogás producido hacia el borboteador. Por el mayor de ellos se va acoplar el sistema de alimentación del reactor, consta de un embudo de 100 ml, cilíndrico y provisto de graduación, además, posee

una llave de PTFE cónica que permite la entrada de la alimentación a la mezcla que se encuentra dentro del digestor, este también dispone de un tapón de vidrio.

- **5 agitadores magnéticos**, modelo OVAN, para la agitación del fango con velocidad regulable de hasta 2000 rpm. Estos sistemas de agitación están conectados a un temporizador que permite regular el tiempo de funcionamiento de la agitación.

- **5 borboteadores**, que complementan la instalación. Como borboteador se utiliza un recipiente tubular con un volumen de 250 mL, lleno parcialmente de NaOH 4N cuya misión es retener el CO₂ y resto de gases ácidos del biogás. Por último para la medida del biogás generado se dispone de **5 medidores** por desplazamiento de agua de 5L de capacidad y una probeta de 1L de volumen.



Figura 1. Esquema de los digestores.

Caracterización inicial de las materias primas a utilizar en la codigestión.

A.- Melaza:

Las melazas son un subproducto del proceso de extracción de azúcar, tanto de caña como de remolacha, que pueden contener todavía más del 48% del azúcar inicial. Los avances tecnológicos en esta industria han hecho posible extraer más azúcar a partir de las melazas, dando lugar a un nuevo residuo denominado melazas desazucaradas. Las melazas “normales” tienen varias aplicaciones comerciales, por ejemplo, ser utilizadas como fuente de carbono para las industrias fermentativas, como fertilizantes o para alimentación animal. En cambio, las

melazas desazucaradas tienen menor valor comercial, aunque es conocido su uso para alimentación animal (Fang y col., 2011). Las melazas también son utilizadas para la obtención de etanol por fermentación en destilerías (Jiménez y col., 2004). En las tabla 2 y 3 se resumen las características del inoculo inicial, del fango de alimentación, así como, las características de la melaza utilizada.

Tabla 2. Caracterización inicial de las materias primas, en el ensayo con melaza.

Muestra	SST (%)	SSV (%)	pH	Alcalinidad (mg/l CaCO ₃)	Acidez (mg/l CH ₃ -COOH)	Amonio (mg/l)	DQO (mg/l)	Nt (mg/l)	Pt (mg/l)
Inoculo	2,19	66,30	7,57	1610	125	442	25760	930	61,1
Fango alimentación	2,11	75,8	6,34	1500	570	304	33220	675	142
Melaza	44,82	70,1	4,12	1980	1360	1500	762100	-	830

Tabla 3. Características de la melaza utilizada.

Compuestos	Valor (g/100g)
Carbohidratos totales	33,63
Proteína	1,2
Lípido	1,51
Glucosa	18,44
Humedad	59,85
Carbono Orgánico Total	21,05
Nitrógeno total	0,19
pH	4,15
Conductividad (mS/cm)	8,3
Calcio total (mg/kg)	2000,57
Sodio total (mg/kg)	0,993
Potasio total (mg/kg)	793,74

B.- Restos de frutas y hortalizas:

Los restos de frutas y hortalizas a codigerir se obtuvieron de restos de frutas y hortalizas sobrantes que se encontraban en mal estado en los mercados de distribución, dichos restos se someten a un proceso de trituración para ser usado como alimento a los biodigestores.

En la tabla 4 se resumen las características del inoculo inicial y del fango de alimentación, así como las características de los resto de frutas y hortalizas usado como alimentación del digestor. Tabla 5.

Tabla 4. Caracterización inicial de las materias primas, en el ensayo restos de frutas y hortalizas.

Muestra	SST (%)	SSV (%)	pH	Alcalinidad (mg/l CaCO ₃)	Acidez (mg/l CH ₃ -COOH)	Amonio (mg/l)	DQO (mg/l)	Nt (mg/l)	Pt (mg/l)
Fango digestor	1,90	66,00	7,16	1530	180	512	27490	774	33,7
Fango alimentación	3,25	78,7	6,00	1515	830	298	44280	612	156
Resto frutas y hortalizas	10,60	93,24	4,37	2750	2220	1850	108000	-	450

Tabla 5. Características de las frutas y hortalizas utilizadas.

Compuestos	Valor (g/100g)
Carbohidratos totales	7,95
Proteína	1,4
Lípido	0,39
Glucosa	2,93
Humedad	89,47
Carbono Orgánico Total	5,66
Nitrógeno total	0,2
pH	3,4
Conductividad (mS/cm)	7,06

C.- Sangre de cerdo:

La sangre de cerdo a codigerir se obtuvo de los restos de desecho en un matadero. Dicha sustancia es hervida antes de ser utilizada convirtiéndose en la llamada harina de sangre de cerdo. Aún así, dicha harina debe ser sometida a un proceso previo de trituración para poder ser introducida como co-sustrato en los biodigestores.

En la tabla 6 se resumen las características del inoculo inicial y del fango de alimentación, así como las características de la sangre de cerdo usada como alimentación. Tabla 7.

Tabla 6. Caracterización inicial de las materias primas, en el ensayo sangre de cerdo.

Muestra	SST (%)	SSV (%)	pH	Alcalinidad (mg/l CaCO ₃)	Acidez (mg/l CH ₃ -COOH)	Amonio (mg/l)	DQO (mg/l)	Nt (mg/l)	Pt (mg/l)
Fango digestor	1,83	60,86	7,33	1135	98	403	19280	684	25,9
Fango alimentación	2,73	77,96	6,31	1074	248	388	43700	590	38,7
Sangre de cerdo	16,99	88,38	7,79	3850	1335	789	188840	1250	60,3

Tabla 7. Características de la sangre de cerdo utilizada.

Compuestos	Valor (g/100g)
Carbohidratos totales	0,41
Proteína	15,5
Lípido	7,15
Glucosa	0,40
Humedad	81,39
Carbono Orgánico Total	10,56
Nitrógeno total	2,48
pH	7,15
Conductividad (mS/cm)	7,78

D.- Lactosuero:

El lactosuero se puede definir como la sustancia líquida obtenida por separación del coágulo de leche en la elaboración del queso (aproximadamente, 9 kg de lactosuero resultan por cada kg de queso producido). Es un líquido translúcido, de color amarillento, obtenido de la leche después de la precipitación de la caseína. Se denomina lactosuero dulce, cuando la coagulación de la caseína se realiza por vía enzimática, y lactosuero ácido, cuando la caseína precipita debido a la acidificación de la leche. La variabilidad en su composición depende de varios parámetros, tales como composición y calidad de la leche, técnicas utilizadas en la elaboración del queso, la cantidad de microorganismos o ácidos usados en la coagulación, el tiempo de coagulación y la temperatura.

A pesar de que en la actualidad una buena parte del lactosuero producido es aprovechado para alimentación animal, o bien como materia prima en otros procesos industriales (lactosuero en polvo, separación de proteínas, aditivos para la industria alimentaria, etc.), todavía hay un

elevado volumen que es gestionado como residuo y pasa a engrosar las aguas residuales (Ergüdel y col., 2000). Aproximadamente el 47% del lactosuero producido a nivel mundial cada año, es vertido al medio ambiente. Esto supone una importante pérdida de recursos, además de ser causa de problemas de polución debido a su alta demanda química de oxígeno (60-100 g/L). Cuando la comercialización como producto de cierto valor añadido, no resulta factible (falta de tecnología, exceso de volumen de producción, ausencia de demanda, etc.), la digestión anaerobia puede ser una alternativa interesante, ya que constituye un potencial aprovechamiento del lactosuero como fuente de energía, al mismo tiempo que evita su vertido y los consiguientes problemas de contaminación (Kavacik y Topaloglu, 2010). El lactosuero es un producto con una alta biodegradabilidad, por lo que puede ser tratado biológicamente, tanto por vía aerobia como anaerobia. El tratamiento del lactosuero por digestión anaerobia presenta la ventaja de no requerir suplementación de oxígeno, y además genera una cantidad significativa de energía en forma de gas metano. Aún así, desde el punto de vista técnico, pueden surgir ciertas dificultades para este tratamiento relacionadas principalmente con su baja alcalinidad (2,5 g CaCO₃/l) y tendencia a acidificar muy rápidamente (Kavacik y Topaloglu, 2010). Además los altos niveles de carbohidratos promueven el crecimiento de bacterias acidificantes, al mismo tiempo que ejercen un efecto negativo sobre las bacterias metanogénicas, constituyendo otra dificultad más en el tratamiento del sustrato (Gelegenis y col., 2007).

En la tabla 8 se resumen las características del inóculo inicial y del fango de alimentación, así como las características del lactosuero usado como alimentación. Tabla 8.

Tabla 8. Caracterización inicial de las materias primas, en el ensayo de lactosuero.

Muestra	SST (%)	SSV (%)	pH	Alcalinidad (mg/l CaCO ₃)	Acidez (mg/l CH ₃ -COOH)	Amonio (mg/l)	DQO (mg/l)	Nt (mg/l)	Pt (mg/l)
Fango digestor	1,83	70,00	7,16	1209	95	422	19830	571	25,1
Fango alimentación	2,88	80,9	6,15	1801	508	508	47500	684	37,6
Sangre de cerdo	1,01	88,81	4,22	2845	356	677	97570	1080	225

Tabla 9. Características del lactosuero utilizado.

Compuestos	Valor (g/100g)
Carbohidratos totales	1,84
Proteína	1,1
Lípido	0,16
Glucosa	0,44
Humedad	96,13
Carbono Orgánico Total	1,82
Nitrógeno total	0,14
pH	3,67
Conductividad (mS/cm)	9,69

RESULTADOS

1.- Melaza:

Los cinco reactores, fueron alimentados diariamente con los volúmenes de fangos mixtos y melaza que se muestran en la Tabla 10, extrayéndose diariamente un caudal de fango igual al añadido. Asimismo, en la Figura 2 se muestran, la cantidad de sólidos volátiles alimentados diariamente a cada uno de los reactores y la relación DQO/SSV de la alimentación que, como se puede observar, tiene un ligero incremento a medida que aumenta el porcentaje de melaza alimentado.

Tabla 10. Caracterización inicial de las materias primas, en el ensayo con melazas.

Reactor	ml/día			% V Melaza / V Lodo	HRT días
	Fango	Melaza	TOTAL		
1	33	0	33	0,00	30,3
2	33	0,5	33,5	1,52	29,9
3	33	1	34	3,03	29,4
4	33	2	35	6,06	28,6
5	33	4	37	12,12	27,0

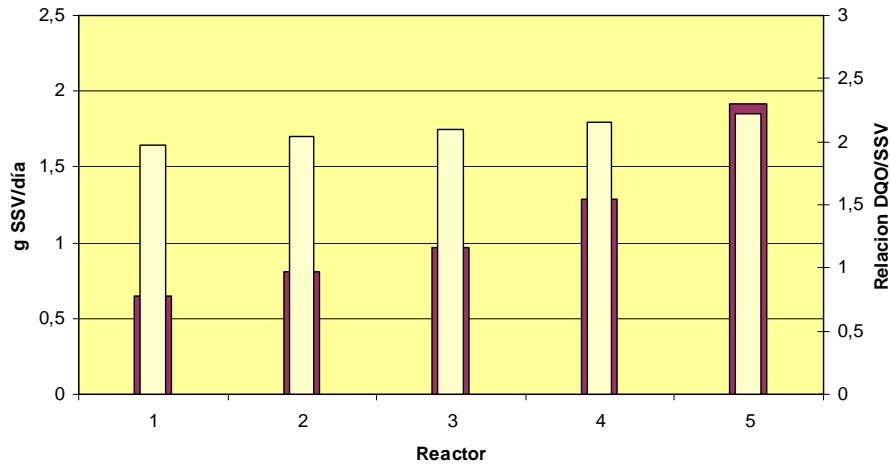


Figura 2. Relación DQO/SSV y caudal de SSV alimentados diariamente.

Durante los 50 días que duró el experimento con la melaza se ha observado, como los niveles de pH, ácidos grasos y alcalinidad permanecieron en valores adecuados para el correcto funcionamiento de los digestores, salvo en el reactor N° 5, en el que se produjo un aumento de la concentración de ácidos grasos y una consiguiente disminución del pH en el interior del digestor, lo que obligo a regular el pH en el interior del digestor, mediante la adicción de bicarbonato en la alimentación. En Figura 3 se muestra la evolución del pH y de la relación ácidos grasos/alcalinidad en el reactor N°5.

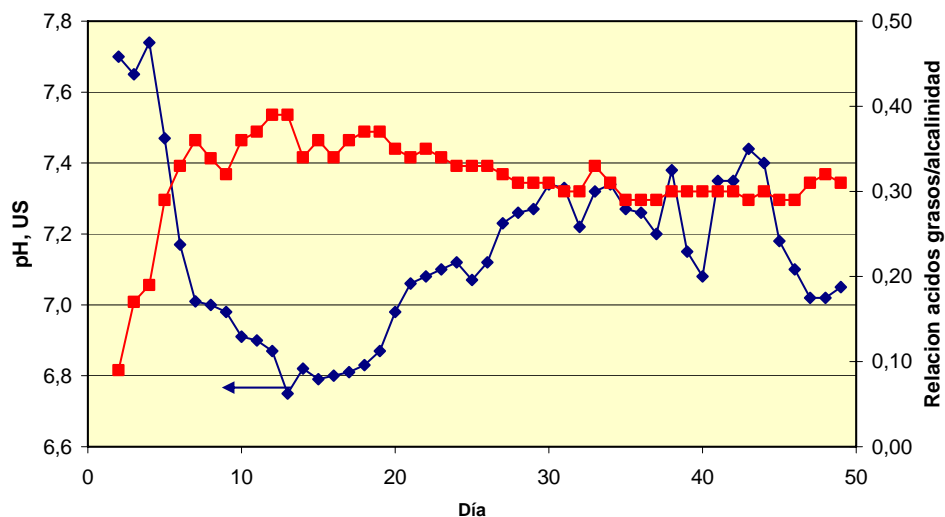


Figura 3. Evolución del pH, y de la relación ácidos grasos/alcalinidad en el reactor N° 5.

Durante la experimentación, y como principal objetivo se trato de determinar el efecto del porcentaje de melaza sobre la eficacia de eliminación de sólidos volátiles y DQO en los digestores, así como, el aumento de producción de biogas en función de la cantidad de melaza

adicionada. De igual forma se trató de determinar la relación volúmenes fango mixto/melaza, por encima de la cual comienza a producirse problemas de control de la explotación, por acidificación del medio y reducción de producción de biogas, observándose relaciones de hasta un 6% de volúmenes fango mixto/melaza, en las condiciones de operación actuales se podría garantizar el correcto funcionamiento de la instalación, este valor se corresponde con un valor de 2,7 kg de DQO alimentados/m³ de reactor y día.

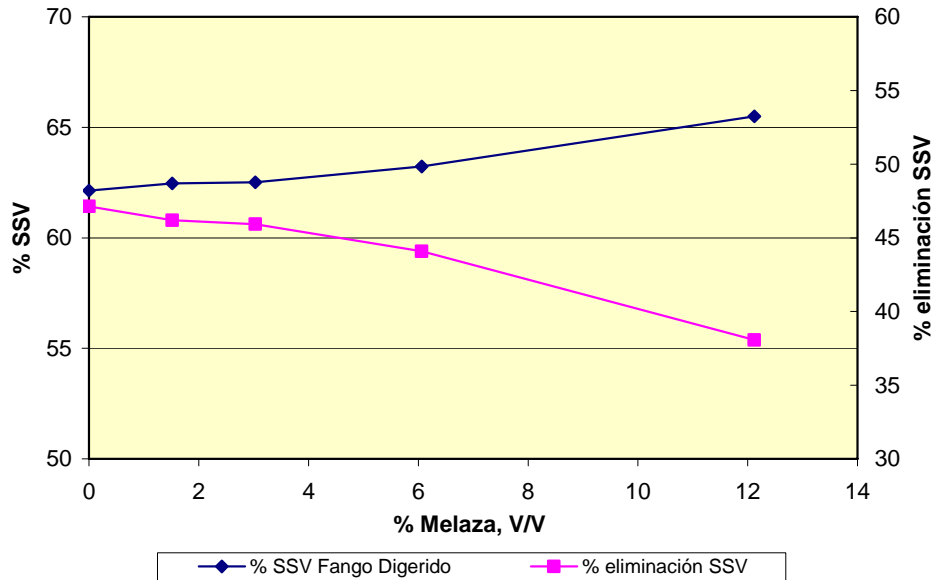


Figura 4. % de SSV en el fango digerido y rendimiento de eliminación de volátiles.

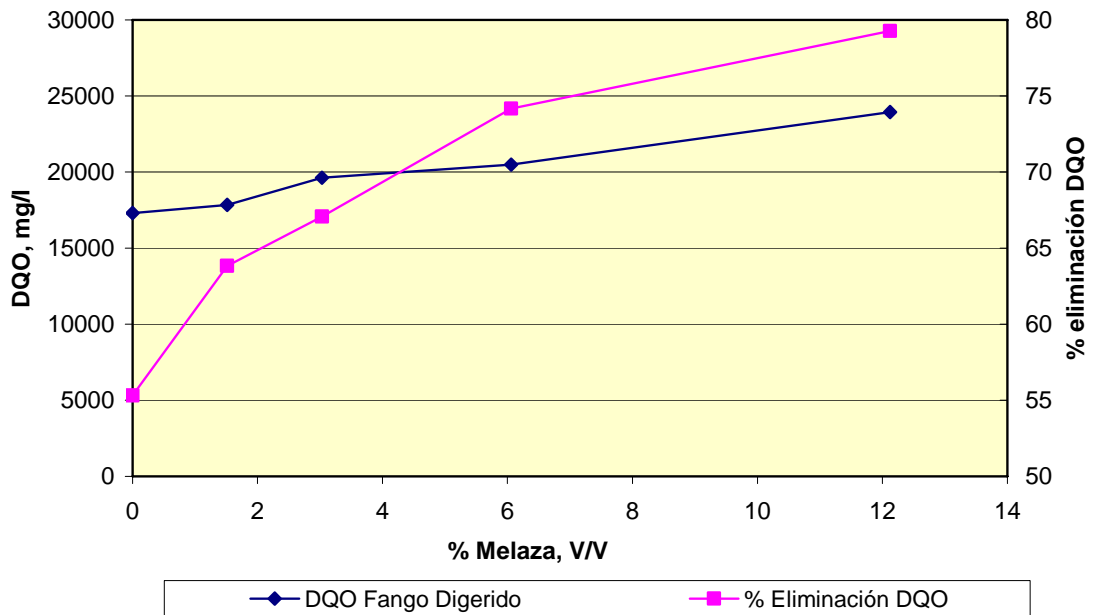


Figura 5. DQO del fango digerido y rendimiento de eliminación de DQO.

En la Figura 4, se observa un aumento de la fracción de sólidos volátiles del fango digerido al aumentar la cantidad de melaza en la alimentación, así mismo, se observa una disminución en el porcentaje de eliminación de materia volátil a medida que aumenta la fracción de melaza en la alimentación, aunque estas dos tendencias son muy poco acusadas hasta el valor de 6% en volumen de melaza, observándose como en el reactor N° 5 (12% en volumen de melaza) si se produce un gran aumento en la fracción de sólidos volátiles en el fango digerido, a la vez, que una fuerte disminución del rendimiento de eliminación de volátiles.

Por su parte al estudiar el comportamiento de la DQO en el fango digerido, así como el rendimiento de eliminación de DQO, Figura 5, se observa un aumento desde el 55% hasta el 80 % de la eficacia de eliminación de DQO, al aumentar la fracción de melaza en la alimentación, lo cual no deja de ser lógico dado que la melaza es mucho mas biodegradable que el fango mixto, sin embargo, se produce un aumento de la DQO del fango digeridos desde 17.300 mg/l hasta 20.480 mg/l (18% de aumento), al aumentar la fracción de melaza en la alimentación desde el 0 al 6%, esto va unido, a un aumento de la concentración sólidos totales desde 17.800 mg/l hasta 26.300 mg/l (52% de aumento). Por lo que a la hora de determinar las beneficios de la codigestión tendríamos que tener en cuenta también los efectos negativos, aumento de producción de residuos (52%) con el consiguiente aumento de la costes de tratamiento y gestión de residuos, así como, el aumento de DQO del fango, lo que puede provocar un aumento de los problemas medioambientales en la gestión del residuo. Por último en el reactor que operaba con un 12% de melaza, la DQO del fango subió hasta valores de 23.930 mg/l, es decir, un valor muy superior al encontrado con el fango mixto sin adición de melaza.

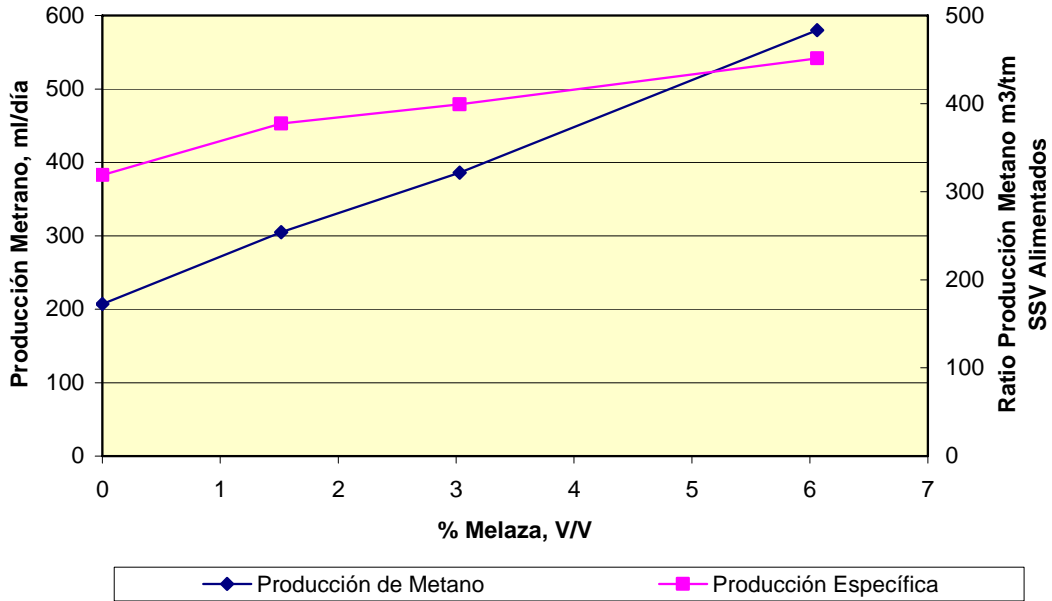


Figura 6. Evolución Producción de Metano.

Como se puede observar en la Figura 6 y hasta una relación de volúmenes de hasta el 6% de melaza existe una relación lineal entre la cantidad de melaza adicionada y el volumen de metano generado, llegando a triplicar la producción de metano al añadir un 6% de melaza, sobre la producción de metano en ausencia de este cosustrato. También se observa un aumento desde 318 hasta 451 Nm³ de metano generado por Tm. de SSV alimentado al pasar de un alimento con un 0% de melaza a un alimento con un 6% de melaza, lo que era de esperar dado que la melaza es mucho más biodegradable que los fangos mixtos. Es decir, la codigestión de fangos en la EDAR de Alcantarilla, puede permitir triplicar la producción de biogas de la instalación o lo que es lo mismo puede permitir triplicar la producción de energía eléctrica de la planta, por tanto, la codigestión con este cosustrato se presenta como una excelente alternativa para mejorar la economía de la explotación de esta EDAR, además de permitir retirar un residuos de forma limpia y segura.

2.- Restos de frutas y hortalizas:

En este ensayo los cinco reactores, fueron alimentados diariamente con los volúmenes de fangos mixtos y restos de frutas y hortalizas como se muestran en la Tabla 11. La experimentación fue similar a lo indicado en el apartado de operación con melaza, salvo que en este caso y debido a que este residuo esta mucho menos concentrado se trabajo con mayores volúmenes de cosustrato, lo que supuso una reducción muy significativa en los tiempos

hidráulicos de residencia en los digestores. En la Figura 9 se muestran los valores de la DQO y de los SSV en la alimentación en función de los ml de fruta alimentados diariamente.

Tabla 11. Caracterización inicial de las materias primas, en el ensayo con restos de frutas y hortalizas.

Reactor	ml/día			% V Fruta/ V Lodo	HRT días
	Fango	Fruta	TOTAL		
1	33	0	33	0	30,3
2	33	2	35	6	28,6
3	33	5	38	15	26,3
4	33	10	43	30	23,3
5	33	20	53	61	18,9

En este caso, salvo en los días 25 y 23 del experimento y en el reactor N°5, no se observó ninguna evolución negativa en el pH de los digestores y ni aumentos significativos de las concentraciones de ácidos grasos, por lo que no fue necesario realizar (salvo en los días mencionados) ninguna dosificación de bicarbonato. Al igual que en la operación con melaza durante la experimentación y como principal objetivo se trato de determinar el efecto del porcentaje de este residuo sobre la eficacia de eliminación de sólidos volátiles y DQO en los digestores, así como, el aumento de producción de biogas en función de la cantidad de residuo adicionado. Se determinó también la relación volúmenes fango mixto/resto de fruta por encima de la cual comienza a producirse problemas de control de la explotación, observándose en este caso que con relaciones de hasta un 60% en volumen de cosustrato se puede garantizar el correcto funcionamiento de la instalación, este valor se corresponde con un valor de 3,6 kg de DQO alimentados/m³ de reactor y día, es decir, un valor ligeramente superior al encontrado en la operación con melaza, 2,7.

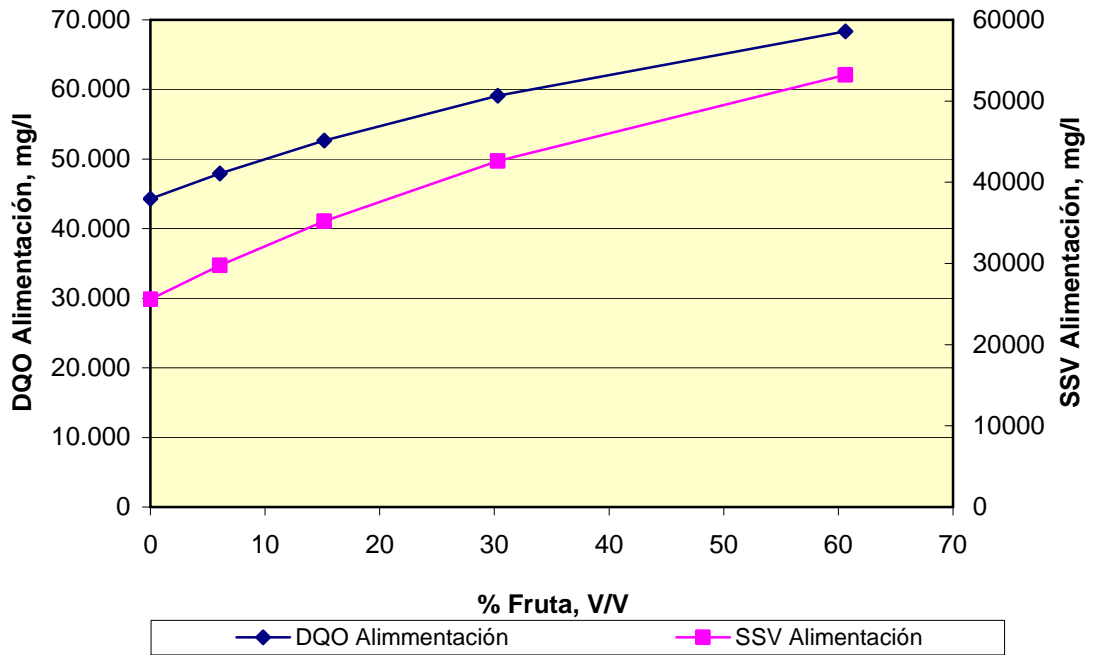


Figura 9. DQO y SSV de la alimentación.

Como se puede observar en la Figura 10, y al contrario de lo que sucedía en la operación con melazas como cosustrato, en este caso el fango digerido no aumenta su DQO a medida que aumenta el porcentaje de restos de frutas y hortalizas en la alimentación, y de igual forma y posiblemente debido a que este cosustrato tienen un mayor porcentaje de sólidos volátiles (93% frente al 75% de las melazas) no se produce un aumento de concentración de sólidos del fango digerido. Sin embargo, debido a la elevada relación de caudales cosustrato/fango, la codigestión de los restos de frutas y hortalizas provoca un aumento muy significativo de los caudales de fangos a tratar en las etapas posterior de una estación depuradora, siendo para el caso del reactor N°5 este aumento del 60%.

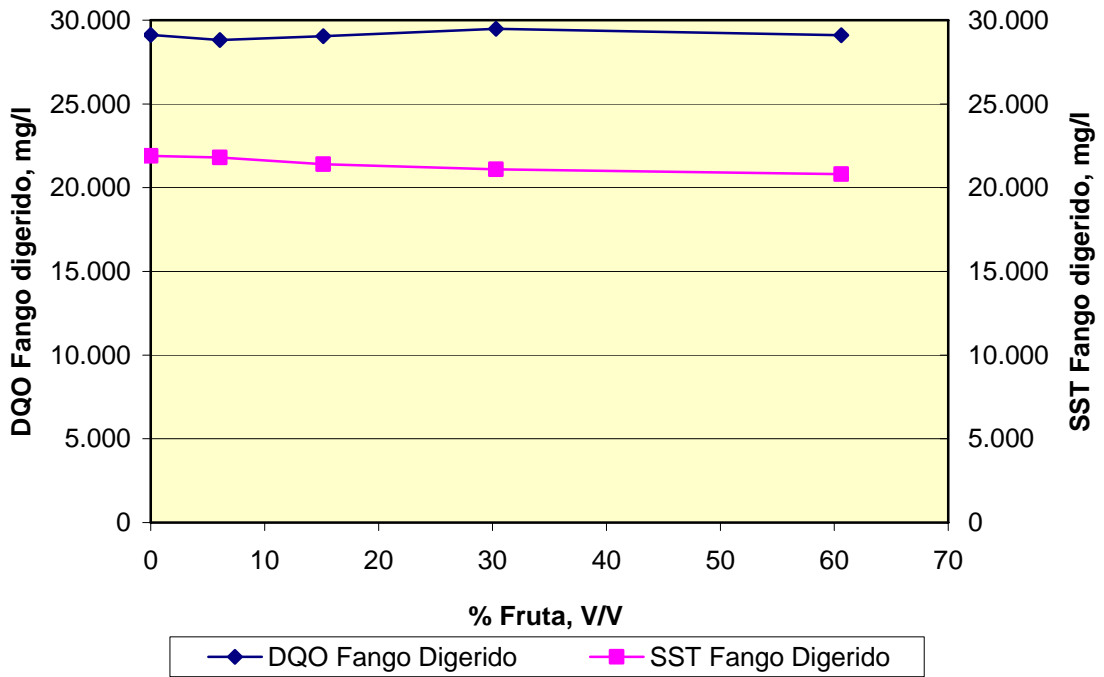


Figura 10. Características del fango digerido.

Al evaluar el rendimiento de eliminación de DQO, se ha podido observar un aumento del 34% en el digester que era alimentado sin melaza, y de hasta un 57% en el digester que era alimentado con la relación de volúmenes del 60% de fruta. La misma tendencia se observó en cuanto a eficacia de eliminación de volátiles que aumentó desde el 53% al 76% en el digester N°5.

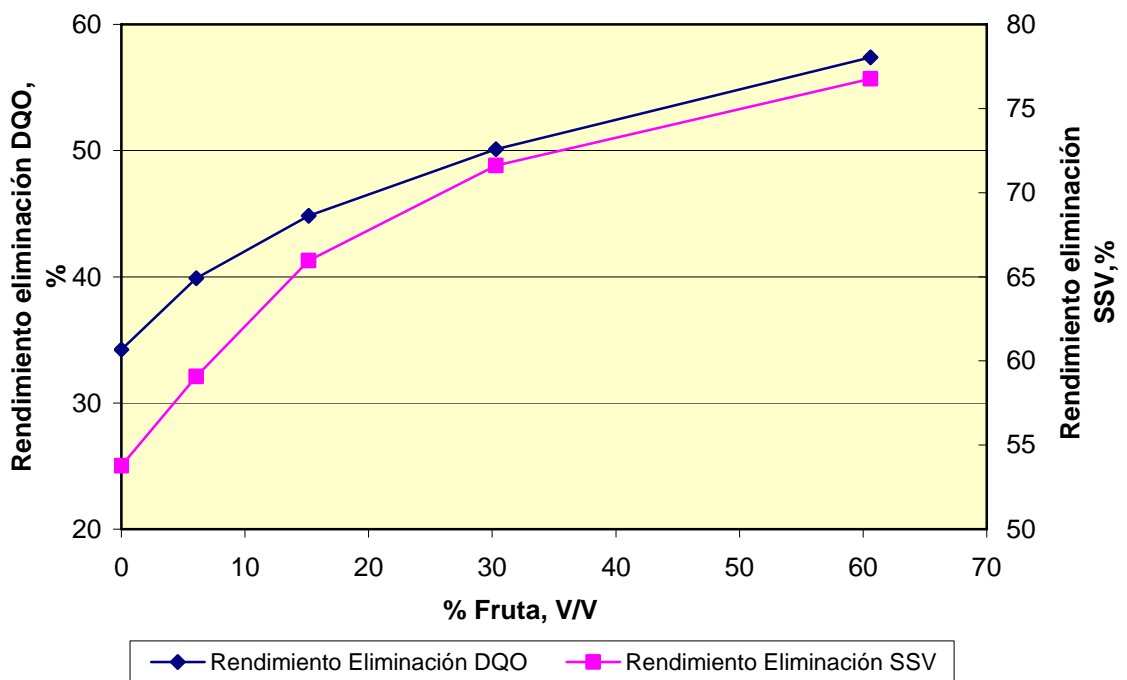


Figura 11. Rendimiento de eliminación de DQO y SSV.

Por último, se ha evaluado la producción de metano en los digestores, observándose un incremento casi lineal de la producción al pasar de trabajar con un 0% de cosustrato a pasar a trabajar con un 60% en volumen de cosustrato, produciéndose un aumento de la producción de metano de casi un 200%, Figura 13. Asimismo, se evaluó el ratio de producción de metano por unidad de volumen de alimento, obteniéndose un aumento desde 4,0 hasta 11,3 m³ de metano/m³ de alimento, al aumentar hasta un 60% la relación de volumen de fruta, Figura 12.

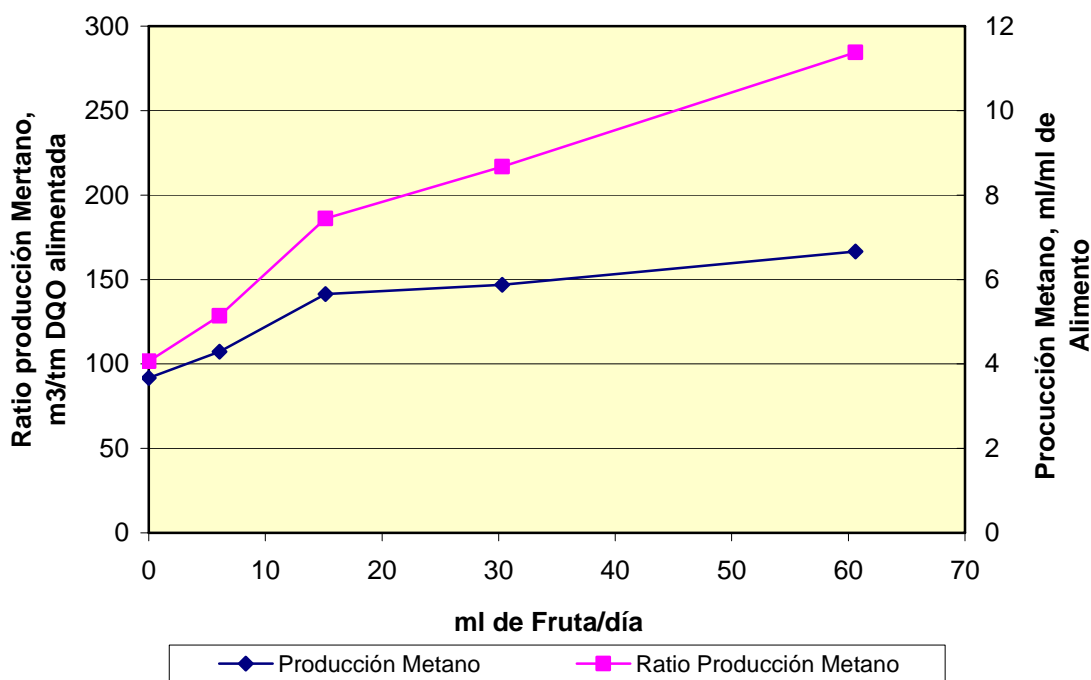


Figura 12. Producción de metano.

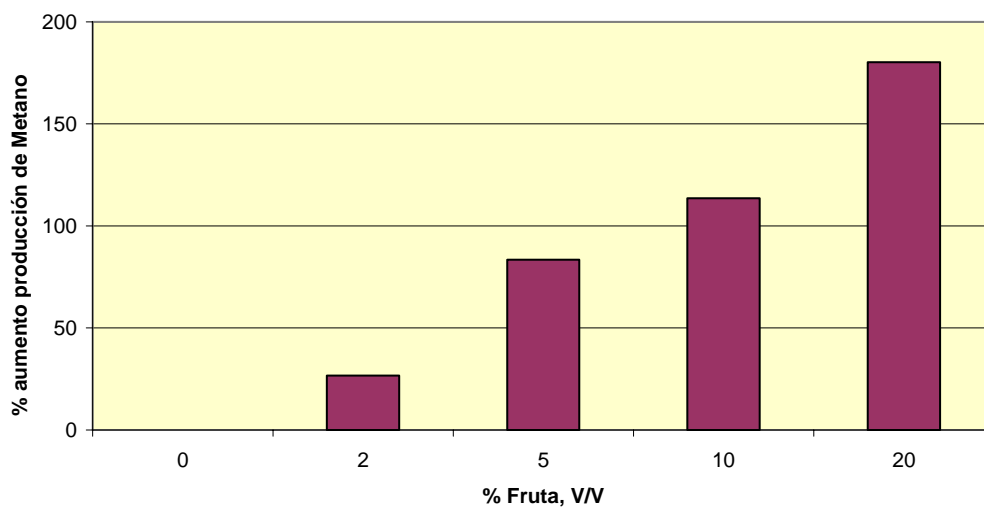


Figura 13. Aumento de producción de metano, con la adición de fruta.

Es decir, en la digestión de la EDAR de Alcantarilla se podría producir un aumento de la producción de metano, y por tanto un aumento de la generación de energía eléctrica de la planta de un 200%, llevando a cabo una digestión conjunta del fango mixto con residuos de frutas y hortalizas trituradas, sin que la estabilidad de la digestión anaerobia se vea afectada.

3.- Sangre de cerdo:

En este ensayo los cinco reactores, fueron alimentados diariamente con los volúmenes de fangos mixtos y sangre de cerdo como se muestran en la Tabla 12. La experimentación fue similar a lo indicado en los apartados anteriores, salvo que en este caso, se trabajo con menores fracciones de DQO y SSV provenientes del residuo, Figura 14.

Tabla 12. Caracterización inicial de las materias primas, en el ensayo con Sangre de cerdo.

Reactor	ml/día			% V Fruta/ V Lodo	HRT días
	Fango	Fruta	TOTAL		
1	33	0	33	0	30,3
2	33	0,25	33,25	1	30,1
3	33	0,5	33,5	2	29,9
4	33	1	34	3	29,4
5	33	2	35	6	28,6

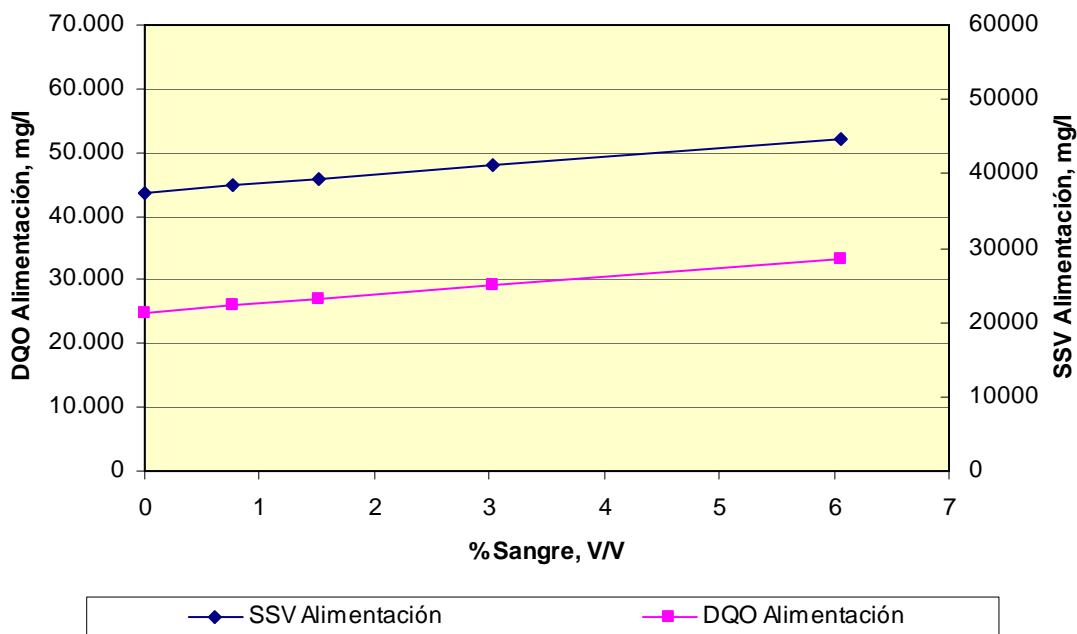


Figura 14. DQO y SSV de la alimentación.

En este caso, no se observó ninguna evolución negativa en el pH de los digestores y ni aumentos significativos de las concentraciones de ácidos grasos, por lo que no fue necesario realizar ninguna dosificación de bicarbonato. En la Figura 15, se muestra la evolución de la DQO en los cinco reactores durante el periodo experimental, se observa que el reactor que era alimentado solamente con fangos mixtos, la DQO permaneció constante a lo largo de todo el periodo experimental, mientras que el resto de reactores desde el día que comenzó a alimentarse cosustrado (día 5) se observó un aumento de la DQO del fango del digestor y que la DQO aumentaba con la fracción de sangre en la alimentación, sin embargo desde ese día se observó una tendencia descendente en la DQO del fango digerido, en todos los reactores. Siendo los valores de DQO final cercanos a los 20.500 mg/l, es decir se observó una rápida aclimatación de los microorganismos a las nuevas condiciones y al nuevo residuo alimentado.

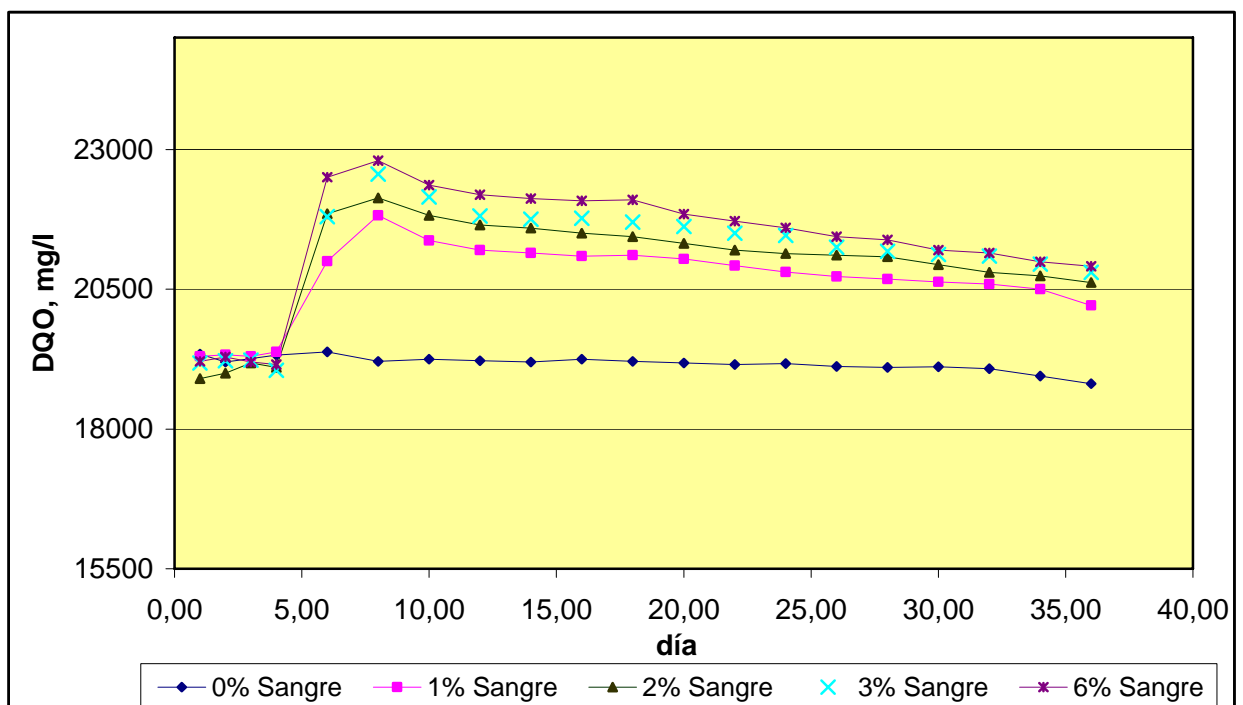


Figura 15. Evolución de la DQO durante la experimentación.

Se comprobó también que relaciones de volúmenes fango mixtos/sangre de cerdo, de hasta un 6% de cosustrato se puede garantizar el correcto funcionamiento de la instalación de codigestión, este valor se corresponde con un valor de 1,8 kg de DQO alimentados/m³ de reactor y día. Posiblemente el valor máximo se encuentra por encima de las relaciones de caudales estudiado en este trabajo.

Como se puede observar en la Figura 16, y se ha comentado con anterioridad si el fango digerido aumenta su DQO a medida que aumenta el porcentaje de sangre en la alimentación, y de igual

forma se produce un aumento de concentración de sólidos del fango digerido, desde valores de 16.800 hasta valores de 20.300 mg/l.

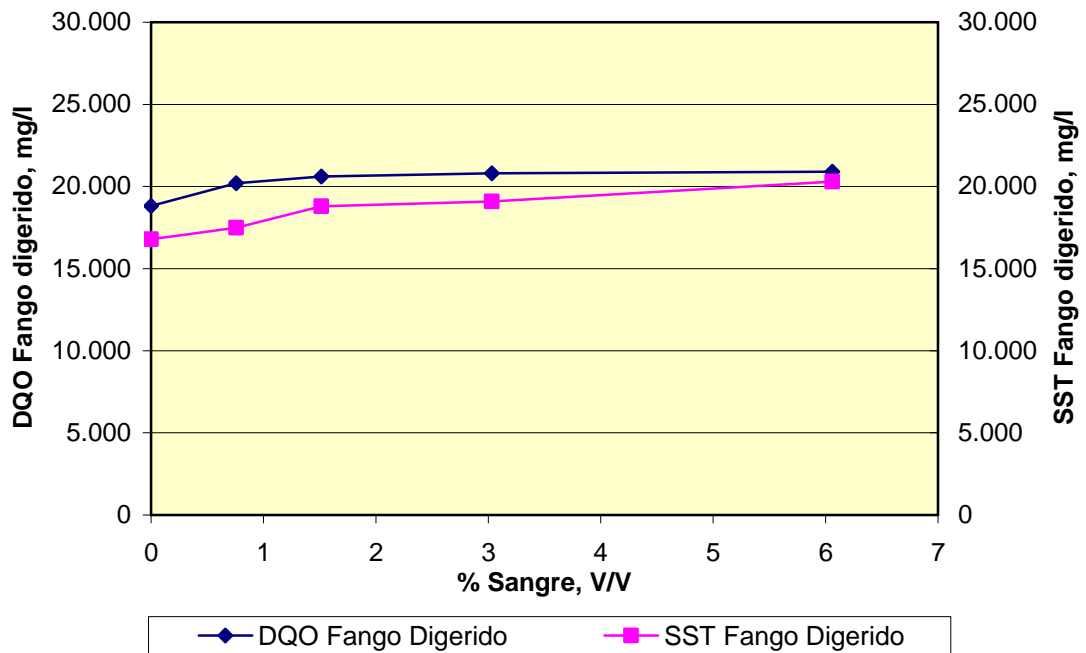


Figura 16. Características del fango digerido.

Al evaluar el rendimiento de eliminación de DQO y el rendimiento de eliminación de SSV, se ha podido observar que los valores permanecían prácticamente constantes, dentro del rango de relaciones de alimento estudiadas en este trabajo, Figura 17.

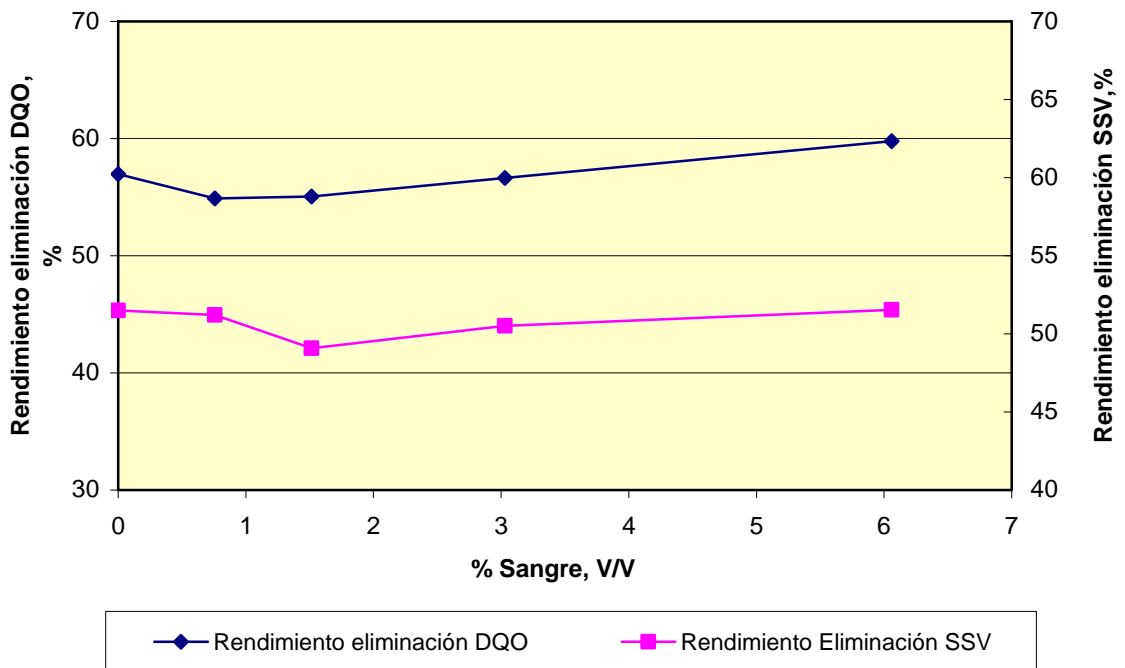


Figura 17. Rendimiento de eliminación de DQO y SSV.

Por último, se ha evaluado la producción de metano en los digestores, observándose un incremento casi lineal de la producción al pasar de trabajar con un 0% de cosustrato a pasar a trabajar con un 6% en volumen de cosustrato, produciéndose un aumento de la producción de metano de casi un 65%, Figura 18. Asimismo, se evaluó el ratio de producción de metano por unidad de volumen de alimento, obteniéndose un aumento desde 6,1 hasta 9,3 m³ de metano/m³ de alimento, al aumentar hasta un 6% la relación de volumen de fruta, Figura 18.

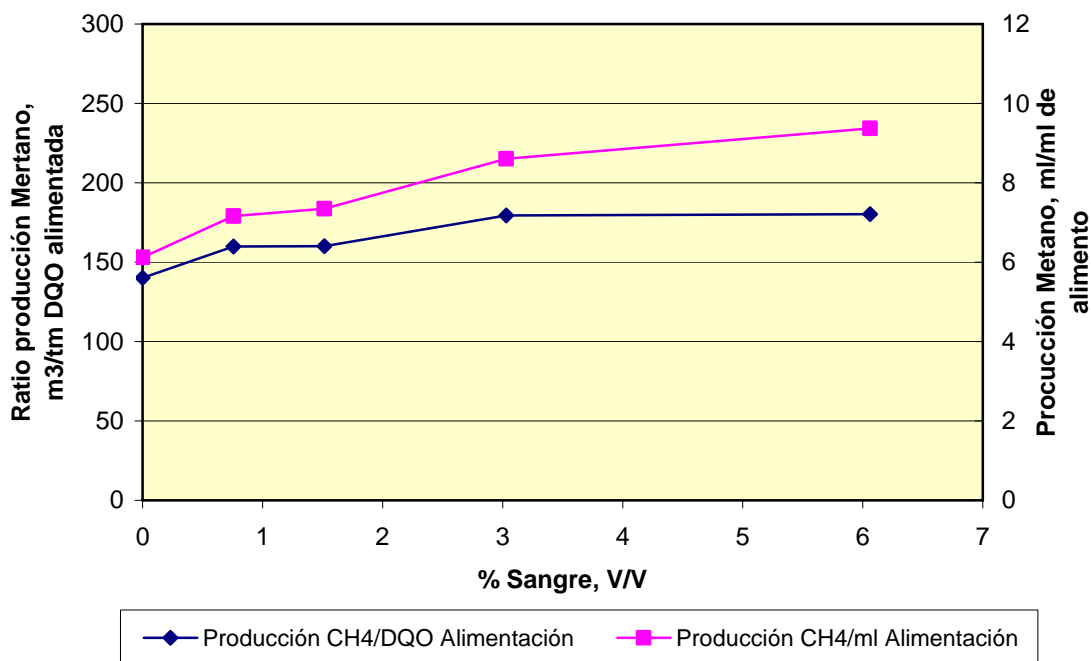


Figura 18. Producción de metano.

Es decir, en la digestión de la EDAR de Alcantarilla se podría producir un aumento de la producción de metano, y por tanto un aumento de la generación de energía eléctrica de la planta de mas de 100%, llevando a cabo una digestión conjunta del fango mixto con sangre de cerdo, sin que la estabilidad de la digestión anaerobia se vea afectada.

CONCLUSIONES

A continuación se enumeran las principales conclusiones obtenidas en este trabajo.

1. Se constata la viabilidad técnica de realizar la codigestión de los fangos mixtos de la EDAR de Alcantarilla con melazas, en relaciones de volumen de hasta un 6%, al igual que para la operación con sangre de cerdo.
2. Se determina también la viabilidad de la codigestión de los fangos mixtos con residuos de frutas y hortalizas triturados, en relaciones volumen de hasta un 60%.
3. En la codigestión con melazas se produce un aumento de eficacia de eliminación de DQO desde un 55% hasta un 80%, sin embargo se produce como efecto negativo un aumento significativo de la DQO del fango digerido, a la vez que se produce un aumento de la concentración tanto de sólidos volátiles como sólidos totales en el fango digerido.
4. La codigestión, utilizando como cosustrato restos de frutas y hortalizas trituradas, no produce aumentos ni en la DQO ni en la concentración de sólidos en el fango digerido, a la vez que, permite aumentar tanto la eficacia de eliminación de DQO, como de sólidos volátiles del digestor, sin embargo, provoca un aumento muy significativo de los caudales de fangos a tratar.
5. La codigestión con sangre de cerdo provoca un aumento significativo de la producción de metano, pero si afecta significativamente a los rendimientos de eliminación de DQO y SSV del digestor.
6. La codigestión de los fangos mixtos de la EDAR de Alcantarilla con los residuos estudiados permite triplicar la producción de metano de la instalación, o lo que es lo mismo puede permitir aumentar la producción de energía de la planta en un 200%.

REFERENCIAS

1. Campos, E.; Bonmatí, A.; Teira, M.R.; Flotats, X. “aprovechamiento energético de lodos residuales y purines. Producción de biogás”. Jornades tècniques sobre energia (2001).
2. Cuesta, M.J.; Martín, F.; Vicente, G.; Villar, S. “Situación actual de la producción de biogás y de su aprovechamiento”. Informe de vigilancia Tecnológico, 17 (2009).
3. Luste, S.; Luostarinen, S. “Anaerobic co-digestion of meta-procesing by-products ad sewage sludge – Effect of hygenization and organic loading rate”. Bioresource Technology nº 101, pg. 2657-2664 (2010).
4. Carrieri, C.; Di Pinto, A.C.; Rozzi, A.; Santori, M. “Anaerobic co-digestion of sewage sludge and concentrated soluble wastewaters”. Water science technology, vol. 28, nº 2, pg. 187-197 (1993).

5. Chan, G.Y.S.; Chu, L.M.; Wong, M.H. "Effects of leachate recirculation on biogas production from landfill co-disposal of municipal solid waste, sewage sludge and marine sediment". *Environmental Pollution* n° 118, pg. 393–399 (2002).
6. World sugar market review, Indian Sugar Association (2010).
7. Rodrigo, A. "Obtención de biogás mediante fermentación anaerobia de residuos alimentarios". Departamento de Calidad y medio ambiente, AINIA (2005).
8. Morenilla, J.J.; Bernácer, I.; Cañigral, C.; Martínez, F.J.; García, I.; Polo, M.; Cardo, J.R.; Heredia, F.; Perales, M. "Incremento de biogás por codigestión con un subproducto azucarado. Ensayos en las EDAR Albufera Sur y Paterna". *Tecnología del agua*, n° 325, pg. 36-42 (2010).
9. Morenilla, J.J.; Bernácer, I.; Martínez, F.; Jardín, C.; Simón, P.; Ruiz, L.; Pradas, P.; Pastor, L. "Experiencias en EDAR de la co-digestión de sustratos sobre la producción de biogás". *Tecnología del agua*, n° 316, pg. 44-56 (2010).
10. Fang, C.; Boe, K.; Angelidaki, I. "Anaerobic co-digestion of desugared molasses with cow manure; focusing on sodium and potassium inhibition". *Bioresource Technology* n° 102, pg. 1005–1011 (2011).
11. APHA, AWWA, WPCF (1989), *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Editorial Días de Santos, S.A: Edición en Español (1992).
12. Ergüder, T.H.; Tezel, U.; Güven, E.; Demirer, G.N. "Anaerobic biotransformation and methane generation potencial of cheese whey in batch and UASB reactors". *Waste management* n° 21, pg. 643-650 (2001).
13. Gelegenis, J.; Georgakakis, D.; Angelidaki, I.; Mavris, V. "Optimization of biogas production by co-digesting whey with diluted poultry manure". *Renewable Energy* n° 32, pg. 2147–2160 (2007).
14. Kavacik, B.; Topaloglu, B. "Biogas production from co-digestion of a mixture of cheese whey and dairy manure". *Biomass and bioenergy* n° 34, pg. 1321-1329 (2010).
15. Martinez-Garcia, G.; Johnson, A.C.; Bachmann, R.T.; Williams, C.J.; Burgoyne, A.; Edyvean, R.G.J. "Two-stage biological treatment of olive mill wastewater with whey as co-substrate". *International Biodeterioration & Biodegradation* n° 59, pg. 273–282 (2007).