



ANEXOS

Tratamiento de aguas residuales de una industria
de conservas vegetales mediante reactor anaerobio
multi-etapa de alto rendimiento (Multi-AD)

Autora

Blanca Goicoechea Aparicio

Director

Jose Benito Carbajo Elena

Ponente

Rosa Mosteo Abad

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

2022

ÍNDICE

A. FICHAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS DE LA PLANTA PILOTO.....	1
A.A. BOMBAS.....	1
A.B. AGITADORES	3
A.C. CAUDALÍMETROS.....	5
A.D. SONDAS DE PH.....	6
A.E. CONTROLADOR SC 1000	7
A.F. RESISTENCIA TÉRMICA	7
B. MÉTODOS ANALÍTICOS.....	8
C. DATOS EXPERIMENTALES Y OBSERVACIONES.....	11
REFERENCIAS.....	i
ÍNDICE DE TABLAS	ii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv

A. FICHAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS DE LA PLANTA PILOTO

A.A. BOMBAS

Tabla A1. Listado de bombas P&ID.	
Código	Componente
P-1	Bomba del depósito de almacenamiento al tanque de acondicionamiento
P-2	Bomba del tanque de acondicionamiento al tanque de mezcla
P-3	Bomba del tanque de mezcla al reactor anaerobio
P-4	Bomba de recirculación

Tabla A2. Características técnicas de la bomba P-1.			
Marca	Watson Marlow	Modelo	0M0.223L.GRE
Caudal nominal (L/h)	30	Presión (bar)	7
Tensión (V)	100-240	Potencia (VA)	190
Frecuencia (Hz)	50/60	Protección	IP66



Figura A1. Bomba P-1.

Tabla A3. Características técnicas de la bomba P-2.			
Marca	Watson Marlow	Modelo	0M0.225L.GRE
Caudal nominal (L/h)	30	Presión (bar)	7
Tensión (V)	100-240	Potencia (VA)	190
Frecuencia (Hz)	50/60	Protección	IP66



Figura A2. Bomba P-2.

Tabla A4. Características técnicas de la bomba P-3.

Marca	VerderFlex	Modelo	L40
Caudal nominal (L/h)	40	Presión (bar)	-
Tensión (V)	115-230	Potencia (W)	330
Frecuencia (Hz)	50/60	Protección	IP55



Figura A3. Bomba P-3.

Tabla A5. Características técnicas de la bomba P-4.			
Marca	VerderFlex	Modelo	LAV 100 L/H Verde
Caudal nominal (L/h)	100	Intensidad (A)	1,14
Tensión (V)	230	Potencia (W)	100
Frecuencia (Hz)	50	Protección	IP55



Figura A4. Bomba P-4.

A.B. AGITADORES

Tabla A6. Listado de agitadores P&ID.	
Código	Componente
AGIT-1	Agitador del depósito de almacenamiento
AGIT-2	Agitador del depósito de acondicionamiento
AGIT-3	Agitador del tanque de mezcla

Tabla A7. Características técnicas del agitador 1.			
Marca	SacemiGamar	Modelo	Slow Mixer PVC
Tensión (V)	230	Velocidad (rpm)	200
Frecuencia (Hz)	50	Potencia (W)	120



Figura A5. Agitador 1.

Tabla A8. Características técnicas del agitador 2.

Marca	Echtop Motor	Modelo	MY711-4
Tensión (V)	230	Velocidad (rpm)	1.400
Frecuencia (Hz)	50	Potencia (W)	250



Figura A6. Agitador 2.

Tabla A9. Características técnicas del agitador 3.

Marca	SacemiGamar	Modelo	7CO 63 84
Tensión (V)	230	Velocidad (rpm)	1.400
Frecuencia (Hz)	50	Potencia (W)	120



Figura A7. Agitador 3.

A.C. CAUDALÍMETROS

Tabla A10 Listado de caudalímetros P&ID.

Código	Componente
FIT-1	Caudalímetro de recirculación
FIT-2	Caudalímetro de biogás producido

Tabla A11. Características técnicas del caudalímetro de agua.

Marca	Siemens	Modelo	MAG5000
Tensión (V)	230	Protección	IP67
Frecuencia (Hz)	50	Temperatura (°C)	-20 a +50



Figura A8. Caudalímetro de agua.

Tabla A12. Características técnicas del medidor de gas.			
Marca	Ritter	Modelo	TG05/5
Caudal máximo (L/h)	60	Presión máxima (mbar)	50
Caudal mínimo (L/h)	1		



Figura A9. Medidor de gas.

A.D. SONDAS DE PH

Tabla A13. Listado de sondas de pH P&ID.	
Código	Componente
PHIT-1 y TT-1	Sensor de pH y Temperatura del tanque de mezcla
PHIT-2 y TT-2	Sensor de pH y Temperatura del tanque efluente

Tabla A14. Características técnicas de las sondas de pH.			
Marca	Hach Lange	Modelo	pHD
Rango de temperatura (°C)	-5 - 70	Rango	2-14



Figura A10. Sonda de pH.

A.E. CONTROLADOR SC 1000

Tabla A15. Listado de SC 1000 P&ID.	
Código	Componente
-	SC 1000 pantalla y base



Figura A11. Pantalla y base del SC1000.

A.F. RESISTENCIA TÉRMICA

Tabla A16. Listado de resistencia P&ID.	
Código	Componente
R-1	Resistencia térmica

Tabla A17. Características técnicas de la resistencia.			
Marca	Tope	Modelo	705 H
Tensión (V)	230	Potencia (W)	500
Diámetro (mm)	8	Longitud (mm)	120



Figura A12. Resistencia.

B. MÉTODOS ANALÍTICOS

Tabla A18. Método analítico del pH.

Referencia	Método interno 01 basado en APHA, 1998, 4500 B.
Técnica	Electrometría
Rango acreditado	2 – 10 upH
Precisión	± 0,1 upH

Descripción:

El pH se determina mediante electrometría, medida de la actividad de los iones hidrógeno por mediciones potenciométricas utilizando un electrodo patrón de vidrio y otro de referencia. La fuerza electromotriz (fem) que se produce en los electrodos varía de forma lineal con el pH, por tanto, la determinación del pH de la muestra se realiza por extrapolación.

Debido a que la actividad de un solo ión, como x_{H^+} , no se puede medir, el pH se define potenciométricamente. Se calibra el medidor del pH usando un electrodo indicador y otro de referencia utilizando tampones con valores asignados, de forma que:

$$pH_T = -\log_{10} x_{H^+}$$

donde,

pH_T = pH asignado del tampón.

La escala de pH, utilizada para medir el pH de la muestra, se define de la siguiente manera:

$$pH_x = pH_T \pm \frac{F(E_x - E_s)}{2,303 RT}$$

donde,

pH_x = pH de la muestra medida potenciométricamente,

F = Faraday; $9,649 \times 10^4$ culombios/mol,

E_x = fem de la muestra, V,

E_s = fem del buffer, V,

R = constante de los gases; 8,314 julios/(mol °K), y

T = temperatura absoluta, °K.

Las muestras pueden tener especies y fuerzas iónicas que afecten a la actividad del ión H^+ , lo que supone una limitación a la medición del pH. La determinación del pH no será precisa en medios no acuosos, suspensiones, coloides o soluciones de alta fuerza iónica.

Interferencias:

El electrodo de vidrio puede tener interferencias por un error de sodio a $pH > 10$. Para reducir este error, se recomienda utilizar electrodos especiales de "bajo error de sodio".

La temperatura afecta a la medición del pH de dos maneras: efectos mecánicos causados por alteraciones en las propiedades de los electrodos, y efectos químicos causados por el equilibrio. Se recomienda indicar siempre la temperatura a la que se mide el pH.

Procedimiento:

- Calibración del medidor.
- Ánalysis de la muestra.

Tabla A19. Método analítico de la conductividad eléctrica.

Referencia	Método interno 02 basado en APHA, 1998, 2510 B.
Técnica	Conductimetría
Rango acreditado	100 – 12.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 20°C
Precisión	0,1 – 1 %

Descripción:

La conductividad es el inverso de la resistencia. Puede considerarse como una medida de la concentración de solutos ionizables presentes en la muestra.

Procedimiento:

- Calibración del medidor.
- Ánálisis de la muestra.

Se enjuaga a fondo la célula con la muestra y se ajusta la temperatura de la muestra a aproximadamente 25°C. Se mide la resistencia o conductividad y se anota la temperatura con precisión de $\pm 0,1^\circ\text{C}$.

Tabla A20. Método analítico de la DQO y DQO_f.

Referencia	Método interno 03 basado en APHA, 1998, 5220 D.
Técnica	Colorimetría
Rango acreditado	30 – 12.000mg/L
Límite de cuantificación	30 mg/L

Descripción:

La muestra se lleva a ebullición con reflujo cerrado en presencia de sulfato de mercurio (II), HgSO_4 , y de una cantidad conocida de dicromato potásico, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, y de un catalizador de plata, en medio fuertemente acidificado por ácido sulfúrico, durante un periodo de tiempo determinado.

Una parte del ión dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) es reducida a ión Cr^{3+} por las materias oxidables presentes. La concentración de ión Cr^{3+} , proporcional a la materia orgánica, se determina mediante colorimetría.

Interferencias:

El ión cloruro es el mayor interferente, ya que reacciona con el ión plata y precipita el cloruro de plata inhibiendo la actividad catalítica de la plata. Cualquier reactivo que inactice el ión plata puede causar una interferencia similar.

Procedimiento:

- DQO

En primer lugar, se pipetean 2 mL de la muestra a analizar en un vial con solución de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ y se agita, para homogeneizar bien la mezcla. Seguidamente, se calienta un termoreactor a 150 °C, durante 2h. Tras la digestión, se enfría a temperatura ambiente y se realiza la lectura en un fotómetro.

- DQO_f

El procedimiento es el mismo que el utilizado para la DQO, a diferencia de que la muestra a analizar tiene que ser filtrada previamente.

Tabla A21. Método analítico de los ácidos grasos volátiles.

Referencia	Método interno 04 basado en APHA, 1998, 5560 C.
Técnica	Volumetría
Rango acreditado	6 – 500 mg/L
Límite de cuantificación	6 mg/L

Descripción:

Mediante esta técnica, se recuperan ácidos que contienen 6 átomos de carbono como máximo. Suele emplearse este método para objetivos de control.

Interferencias:

El ácido sulfídrico y el dióxido de carbono se liberan en la destilación y se valoran dando un error positivo.

Interfieren también los restos de cristalería de detergentes sintéticos, ese debe enjuagar con agua y ácido diluido para prevenir este problema.

Procedimiento:

- Preparación de la muestra. Se filtran 100 mL de la muestra. A continuación, se agita a 600 rpm y se regula el pH hasta 3,3-3,4 upH con ácido clorhídrico 1N. Se calienta la muestra hasta alcanzar el punto de ebullición, y se deja hirviendo durante 3 minutos. Se deja enfriar la muestra a temperatura ambiente.
- Volumetría. Una vez enfriada la muestra, se determina la concentración de ácidos grasos volátiles mediante volumetría con hidróxido sódico 0,1N.

Tabla A22. Método analítico de la alcalinidad.

Referencia	Método interno 05 basado en APHA, 1998, 2320 B.
Técnica	Volumetría
Rango acreditado	20 – 5.000 mg CaCO ₃ /L
Límite de cuantificación	20 mg CaCO ₃ /L

Descripción:

Como resultado de la hidrólisis o dissociación de solutos, los iones hidroxilos de una muestra reaccionan con el ácido estándar añadido. Por tanto, la alcalinidad depende del pH del punto final utilizado.

Interferencias:

Los sólidos en suspensión, la materia aceitosa o los jabones, pueden cubrir el electrodo de vidrio y producir una respuesta lenta. Esperar un mínimo de tiempo entre las adiciones de valorante con el fin de que el electrodo pueda alcanzar el equilibrio o se limpian los electrodos de forma ocasional.

Procedimiento:

- Preparación de la muestra. Se filtran 50 mL de la muestra a analizar.
- Volumetría. Se determina el contenido de alcalinidad, mediante volumetría con ácido sulfúrico 0,1 N.

C. DATOS EXPERIMENTALES Y OBSERVACIONES

Tabla A23. Datos medidos en el depósito de almacenamiento durante la experimentación.				
Fecha	pH (upH)	CE (mS/cm)	T ^o (°C)	Caudal de salida (L/h)
06/06/2022	6,34	4,23	22,5	1,80
07/06/2022	6,62	4,18	22,3	1,80
08/06/2022	6,59	4,27	22,7	1,80
09/06/2022				1,80
10/06/2022				1,80
13/06/2022	6,04	3,32	25,0	3,40
14/06/2022	7,03	3,14	27,6	3,30
15/06/2022	7,19	3,28	31,1	3,30
16/06/2022	7,43	3,70	25,7	4,60
17/06/2022	7,62	3,71	26,3	4,80
20/06/2022				
21/06/2022	7,63	3,70	26,2	6,00
22/06/2022	7,34	3,72	24,2	6,00
23/06/2022	7,73	3,55	23,1	6,00
24/06/2022	7,71	3,54	23,1	6,00
27/06/2022	5,95	2,15	21,4	3,90
28/06/2022	6,10	2,17	20,4	3,90
29/06/2022	6,30	2,18	21,4	3,90
30/06/2022	6,20	2,20	21,4	5,40
01/07/2022				
04/07/2022	6,07	2,30	21,9	5,40
05/07/2022	6,12	2,28	22,6	5,40
06/07/2022	6,08	2,31	22,7	7,20
07/07/2022	6,34	2,28	21,4	7,20
08/07/2022	7,02	2,19	21,5	7,20
11/07/2022	5,00	1,79	23,8	8,85
12/07/2022	5,01	1,79	25,4	8,85
13/07/2022	5,02	1,76	27,6	8,85
14/07/2022				8,85
15/07/2022	5,03	1,75	28,8	8,19
18/07/2022				
19/07/2022	5,34	1,79	33,4	
20/07/2022	4,92	1,59	27,7	
21/07/2022	5,12	1,61	28,3	15,56
22/07/2022	4,95	1,51	31,7	15,56
25/07/2022				15,56
26/07/2022	5,03	1,50	30,3	15,56
27/07/2022	5,01	1,52	30,0	15,56
28/07/2022	4,54	1,35	30,1	17,73
29/07/2022	4,50	1,40	24,4	17,73
01/08/2022				13,48
02/08/2022	4,52	1,65	25,4	13,48
03/08/2022	4,53	1,62	27,8	13,48
04/08/2022	4,64	1,68	26,4	13,48

Tabla A24. Datos medidos en el tanque de acondicionamiento durante la experimentación.				
Fecha	pH (upH)	CE (mS/cm)	T ^a (°C)	Caudal de salida (L/h)
06/06/2022	6,35	4,14	21,9	1,60
07/06/2022	6,60	4,14	21,3	1,80
08/06/2022	6,28	4,36	21,8	1,80
09/06/2022				1,80
10/06/2022	6,49	3,82	28,1	1,80
13/06/2022	6,60	3,73	24,6	3,26
14/06/2022	6,80	3,55	27,5	3,26
15/06/2022	6,93	3,31	31,2	3,26
16/06/2022	7,23	3,76	24,8	4,44
17/06/2022	7,63	3,75	25,9	4,40
20/06/2022				
21/06/2022	7,53	3,63	25,8	5,91
22/06/2022	7,46	3,65	24,1	5,91
23/06/2022	7,88	3,49	23,3	5,91
24/06/2022	7,81	3,46	23,2	5,91
27/06/2022	7,50	2,88	21,6	3,77
28/06/2022	6,83	2,52	20,5	3,77
29/06/2022	7,55	2,72	21,6	3,77
30/06/2022	7,83	2,36	21,5	5,36
01/07/2022				
04/07/2022	7,20	2,52	21,7	5,36
05/07/2022				
06/07/2022	6,83	2,38	23,0	7,12
07/07/2022	6,80	2,42	21,0	7,12
08/07/2022	7,28	3,59	21,8	7,12
11/07/2022	7,04	3,41	24,2	8,85
12/07/2022	7,02	2,57	25,9	8,85
13/07/2022	7,86	2,39	28,0	8,85
14/07/2022	7,32	2,41	27,5	8,85
15/07/2022	7,43	2,43	28,8	8,19
18/07/2022	6,06	2,04	31,6	8,19
19/07/2022	7,49	2,03	35,2	
20/07/2022	7,48	2,31	26,9	
21/07/2022	7,32	1,92	27,2	15,56
22/07/2022	7,41	1,72	31,8	15,56
25/07/2022				15,56
26/07/2022	7,29	1,99	30,2	15,56
27/07/2022	7,44	2,10	30,3	15,56
28/07/2022	7,75	2,27	28,1	17,73
29/07/2022	7,69	2,69	25,5	17,73
01/08/2022	7,31	2,54	30,0	13,48
02/08/2022	7,45	3,71	25,8	13,48
03/08/2022	7,33	3,55	27,3	13,48
04/08/2022	7,38	3,72	26,5	13,48

Tabla A25. Datos medidos en el tanque de mezcla durante la experimentación.

Fecha	pH (upH)	CE (mS/cm)	T ^a (°C)	Caudal de salida (mL/min)
06/06/2022	7,65	3,50	21,6	656
07/06/2022	7,86	3,85	21,5	656
08/06/2022	8,19	3,90	22,4	656
09/06/2022				656
10/06/2022	7,46	3,62	26,9	656
13/06/2022	7,86	3,96	24,4	656
14/06/2022	8,10	3,77	27,7	656
15/06/2022	8,07	3,61	29,1	656
16/06/2022	8,07	3,97	25,4	788
17/06/2022	7,80	4,05	26,2	788
20/06/2022				
21/06/2022	7,92	3,71	32,4	1.142
22/06/2022	7,88	3,66	31,7	1.142
23/06/2022	8,11	3,57	30,2	1.142
24/06/2022	8,10	3,47	32,2	1.137
27/06/2022	7,89	3,69	29,6	1.137
28/06/2022	7,89	3,70	28,5	1.137
29/06/2022	7,94	3,59	28,5	1.083
30/06/2022	7,86	3,37	29,1	1.149
01/07/2022				
04/07/2022	7,91	3,27	31,4	1.087
05/07/2022				
06/07/2022	7,73	2,62	29,8	1.087
07/07/2022	7,63	2,87	30,9	1.087
08/07/2022	7,33	2,89	32,9	1.087
11/07/2022	7,63	2,93	29,5	1.090
12/07/2022	7,62	2,96	32,5	1.090
13/07/2022	7,69	2,47	30,2	1.090
14/07/2022	7,62	2,50	31,4	1.090
15/07/2022	7,65	2,70	35,3	1.090
18/07/2022	7,69	2,29	32,3	1.090
19/07/2022		2,27	34,2	1.090
20/07/2022		2,20	32,8	1.090
21/07/2022	7,09	2,15	33,3	1.090
22/07/2022	7,14	1,90	34,2	1.090
25/07/2022				
26/07/2022	7,12	2,00	36,8	1.090
27/07/2022	7,22	1,99	34,4	1.090
28/07/2022	7,19	1,82	38,5	1.090
29/07/2022	7,16	2,15	35,8	1.090
01/08/2022	7,21	2,29	25,1	1.090
02/08/2022	7,42	3,23	29,2	1.090
03/08/2022	7,33	3,07	34,9	1.090
04/08/2022	7,32	3,42	30,7	1.090

Tabla A26. Datos medidos en el reactor anaerobio Multi-AD durante la experimentación.								
Fecha	pH (upH)	CE (mS/cm)	T ^a (°C)	Alcalinidad (mg/L)	AGV (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO _f (mg/L)	Caudal recirculación (L/h)
06/06/2022	7,91	3,83	22,2	1.890	60	306	234	36,1
07/06/2022	8,16	3,79	21,7	1.950	54	475	296	36,1
08/06/2022	8,15	3,84	22,6	2.400	54	294	288	36,1
09/06/2022								36,1
10/06/2022	8,20	3,40	25,9	2.460	72	218	200	36,1
13/06/2022	8,35	3,77	25,0	2.100	66	232	228	29,1
14/06/2022	8,05	3,78	27,6	2.070	48	266	258	29,1
15/06/2022	8,13	3,75	29,3	1.980	48	190	164	29,1
16/06/2022	8,07	4,10	24,7	1.860	42	260	218	32,9
17/06/2022	7,89	4,10	25,3	2.460	54	234	228	40,8
20/06/2022								
21/06/2022	8,01	3,77	25,0	2.060	42	332	328	36,1
22/06/2022	7,91	3,67	24,8	2.284	36	302	284	40,2
23/06/2022	8,12	3,60	25,1	2.343	51	312	312	42,9
24/06/2022	8,03	3,62	24,7	2.515	42	310	268	42,9
27/06/2022	7,86	3,72	23,9	2.482	48	327	298	42,9
28/06/2022	8,17	3,62	20,0	2.455	33	292	258	42,9
29/06/2022	8,00	3,53	26,1	2.385	36	361	246	42,9
30/06/2022	7,95	3,03		2.384	36	489	284	40,2
01/07/2022								
04/07/2022	7,83	3,29	24,4	2.251	24	312	234	40,2
05/07/2022	7,87	3,21	29,3	2.169	48	435	294	40,2
06/07/2022	7,78	2,66	26,3	2.089	51	402	283	40,2
07/07/2022	7,76	2,61	25,9	2.057	48	385	250	40,2
08/07/2022	7,52	2,53	27,5	1.941	42	342	274	40,2
11/07/2022	7,64	3,07	29,2	2.153	63	353	262	40,2
12/07/2022	7,62	3,02	29,4	2.121	90	497	385	40,2
13/07/2022	7,53	2,49	29,8	1.884	123	553	501	40,2
14/07/2022	7,58	2,51	29,9	2.612	54	395	282	40,2
15/07/2022	7,73	2,50	29,7	2.535	57	384	268	40,2
18/07/2022	7,51	2,20	29,3		54		272	40,2
19/07/2022		2,22	32,9					
20/07/2022		2,36	29,2					
21/07/2022	7,39	1,87	36,4	2.010	78	590	290	33,4
22/07/2022	7,48	1,92	33,1	1.982	69	455	373	33,4
25/07/2022								33,4
26/07/2022	7,54	2,12	32,1	2.104	48	422	281	33,4
27/07/2022	7,51	2,04	31,8	1.995	54	435	292	33,4
28/07/2022	7,47	2,01	32,3	1.998	51	473	369	31,3
29/07/2022	7,21	2,06	31,9	2.100	72	469	347	31,3
01/08/2022	7,45	2,56	28,7	2.590	79	503	306	35,0
02/08/2022	7,62	2,69	28,6	2.548	108	600	447	35,0
03/08/2022	7,54	3,08	28,0	2.902	87	523	318	35,0
04/08/2022	7,45	3,32	29,0	2.995	78	495	389	35,0

Tabla A27. Datos medidos en el efluente durante la experimentación.

Fecha	SST (mg/L)	Calcio filtrado (mg/L)	NTK (mg/L)	Ortofosfatos (mgPO ₄ /L)
15/06/2022	87	178	134	21,0
22/06/2022	92	168	117	18,1
29/06/2022	88	142	126	28,0
06/07/2022	142	104	126	46,4
13/07/2022	96	86	137	47,3
20/07/2022	102	56	125	48,7
27/07/2022	117	77	151	64,5
03/08/2022	186	51	178	69,1

Tabla A28. Datos medidos en la altura 1 del reactor anaerobio Multi-AD durante la experimentación.

Fecha	pH (upH)	CE (mS/cm)	T ^a (°C)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)	M.S. (%)	DQOf (mg O ₂ /L)	AGV (mg/L)
14/06/2022	7,91	3,03	29,7	47.900	41.640	4,79	310	
16/06/2022	8,03	2,83	24,8	39.400	34.480	3,94	423	
27/06/2022	7,85	4,29	25,6	30.460	24.500	3,05	389	
11/07/2022	7,48	2,47	27,4	41.800		4,18	425	
18/07/2022	7,38	2,10	29,0	38.300		3,83	437	54
27/07/2022	7,20	1,97	35,2	36.500		3,65	523	75
04/08/2022	7,31	2,44	29,5	57.300		5,73	521	81

Tabla A29. Datos medidos en la altura 2 del reactor anaerobio Multi-AD durante la experimentación.

Fecha	pH (upH)	CE (mS/cm)	T ^a (°C)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)	M.S. (%)	DQOf (mg O ₂ /L)	AGV (mg/L)
14/06/2022	8,05	2,42	29,4				228	
16/06/2022	7,94	3,30	24,6				437	
27/06/2022	8,01	3,92	25,5	46.040	35.660	4,60	397	
11/07/2022	7,50	2,55	27,4	47.200		4,72	300	
18/07/2022	7,41	2,13	29,1	51.200		5,12	379	54
27/07/2022	7,38	1,25	35,1	46.100		4,61	449	60
04/08/2022	7,35	2,36	29,5	62.400		6,42	441	72

Tabla A30. Datos medidos en la altura 3 del reactor anaerobio Multi-AD durante la experimentación.

Fecha	pH (upH)	CE (mS/cm)	T ^a (°C)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)	M.S. (%)	DQOf (mg O ₂ /L)	AGV (mg/L)
14/06/2022	7,95	3,11	28,1				206	
16/06/2022	8,09	3,97	24,9				160	
27/06/2022	8,03	3,71	24,8	32.780	21.780	3,28	369	
11/07/2022	7,65	2,70	27,3	240	185	0,02	284	
18/07/2022	7,52	2,21	29,1	4.320	2.800	0,43	232	54
27/07/2022	7,41	1,78	29,8	37.320	33.520	3,73	333	60
04/08/2022	7,32	3,31	29,3	20.600		2,06	417	69

Tabla A31. Datos medidos en la altura 4 del reactor anaerobio Multi-AD durante la experimentación.								
Fecha	pH (upH)	CE (mS/cm)	T ^a (°C)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)	M.S. (%)	DQOf (mg O ₂ /L)	AGV (mg/L)
14/06/2022	7,36	3,18	30,5	9.960	7.020	1,00	250	
16/06/2022	8,10	4,20	25,0	3.090	2.310	0,31	260	
27/06/2022	7,99	3,77	26,1	1.660	1.080	0,17	258	
11/07/2022	7,61	2,70	27,5	304	232	0,03	264	
18/07/2022	7,51	2,20	29,3	3.960	2.680	0,40	200	48
27/07/2022	7,44	1,85	29,7	34.460	30.740	3,45	310	57
04/08/2022	7,29	3,34	29,2	16.960	15.200	1,70	341	93

Tabla A32. Datos medidos del biogás durante la experimentación.

Fecha	Ritter		Bolsa Tedlar			
	Caudal diario (L/h)	Caudal acumulado (L/h)	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	H ₂ S (ppm)
06/06/2022	3	3				
07/06/2022	37	40				
08/06/2022	23	63				
09/06/2022						
10/06/2022	28	91				
13/06/2022	80	171	4,0	71,9	1,8	1.125
14/06/2022	54	225				
15/06/2022	60	285				
16/06/2022	79	364				
17/06/2022	26	390	4,2	77,1	1,8	1.825
20/06/2022						
21/06/2022	53	1.968	4,3	78,5	1,4	1.123
22/06/2022	55	2.023				
23/06/2022	69	2.092				
24/06/2022	35	2.127				
27/06/2022	86	2.213				
28/06/2022	57	2.270				
29/06/2022		2.293				
30/06/2022	90	2.383	4,6	79,8	1,1	339,1
01/07/2022	130	2.356				
04/07/2022	77	2.513				
05/07/2022	142	2.655	6,3	80,8	1,5	310,3
06/07/2022	162	2.817				
07/07/2022	140	2.957				
08/07/2022	170	3.127				
11/07/2022	163	3.290				
12/07/2022	212	3.502	11,6	77,5	1,2	502,7
13/07/2022	234	3.736				
14/07/2022	240	3.976				
15/07/2022						
18/07/2022		4.315				
19/07/2022						
20/07/2022						
21/07/2022	301	4.673	13,9	76,5	1,3	639,3
22/07/2022	334	5.007				
25/07/2022						
26/07/2022	325	5.077				
27/07/2022	341	5.418				
28/07/2022	358	5.776				
29/07/2022	447	6.223				
01/08/2022	440	6.663				
02/08/2022	641	7.304				
03/08/2022	634	7.938				
04/08/2022	685	8.623	19,6	74,5	1,0	695,7

Tabla A33. Observaciones y problemas a tener en cuenta sobre la experimentación.

13/06/2022	<p>Se regula el pH en el depósito de 1.000 L porque el tanque de acondicionamiento no tiene casi nivel, se gastan 300 mL de sosa al 30%, para pasar de pH 6,2 a 7 upH.</p> <p>Los caudales fijados en las bombas 1 y 2 son los mismos por lo que en el tanque de acondicionamiento debería entrar el mismo caudal que sale y mantenerse el nivel en un valor constante. Se piensa que la bomba 1 da menos caudal del que marca, por lo que el fin de semana, poco a poco, este tanque se ha quedado sin nivel.</p>
14/06/2022	<p>Al calibrar las sondas, se quita la tapa del tanque efluente y, debido a su peso, se resbala de las manos y cae encima de la llave de salida del tanque, la parte. Se vacía todo el tanque por lo que se para la planta hasta que se arregla la llave.</p>
16/06/2022	<p>Al final del día, el nivel del tanque de mezcla ha bajado. Se ha descebado la bomba de recirculación y no entra casi caudal. Tenemos que esperar al día siguiente para cebarla, y bajar la bomba al suelo para que funcione, por lo que se para la planta.</p>
17/06/2022	<p>Nada más empezar el día, se baja la bomba de recirculación y el caudalímetro al suelo, se ceba la bomba y ya funciona correctamente. A las 8:15 h se vuelve a poner en funcionamiento toda la planta.</p> <p>Para poner en funcionamiento el software de los sensores de gas, antes de que empiecen las mediciones, hay que calibrar los sensores al aire por lo que se desconectan de la línea de gas durante los 30 minutos que dura la calibración.</p>
20/06/2022	<p>Al llegar por la mañana, la planta estaba parada, se ha ido la luz. Este es un problema bastante importante porque, durante toda la semana, se estabiliza la planta y si el fin de semana se para no se puede trabajar en continuo, el lunes hay que volver a estabilizar el proceso.</p> <p>La bomba de recirculación se ha vuelto a descebar, se ha descebado al momento.</p> <p>Llega el pedido de la resistencia y se instala.</p> <p>Se pone la planta en marcha a las 14:00 h por lo que hoy no se analizan datos, mañana cuando esté estable.</p>
21/06/2022	<p>Se aforan todas las bombas por los posibles errores de exactitud en las bombas.</p> <p>A partir de hoy, para saber exactamente el caudal que se trata en la planta, se llena el tanque de acondicionamiento todas las mañanas, y al final del día, se mira por donde está el nivel, eso será lo que se ha tratado durante ese tiempo. Este caudal se compara con el teórico calculado a tratar según la carga volumétrica establecida.</p>
23/06/2022	<p>Para saber el caudal de alimentación a la planta, en el tanque de acondicionamiento se hace una marca del nivel a las 7:15 y el volumen es de 123 L, se vuelve a hacer una marca a las 15:50 h y el volumen ha bajado a 75 L. Por tanto, se han consumido 48 L en 8 horas y media aproximadamente, por lo que el caudal de alimentación será de 5,65 L/h. En comparación con el teórico, 5,91 L/h.</p>
24/06/2022	<p>Al llegar por la mañana, todo está desconectado; se ha ido la luz durante la noche.</p>
27/06/2022	<p>Al llegar por la mañana, todo está desconectado, se ha vuelto a ir la luz por la noche. Durante 15 minutos en la planta, se ha ido la luz 4 veces de forma muy seguida.</p>
28/06/2022	<p>Al llegar por la mañana, todo está desconectado, se ha vuelto a ir la luz por la noche. Durante todo el día, se ha ido la luz 4 veces como</p>

	mínimo.
29/06/2022	Al llegar por la mañana, todo está desconectado, se ha vuelto a ir la luz por la noche.
30/06/2022	Se instala un cuadro eléctrico y se hacen los cambios necesarios para solucionar el problema de los cortes de luz.
01/07/2022	La instalación del cuadro eléctrico dura todo el día, la planta ha estado parada por lo que hoy no se ha analizado.
06/07/2022	Al llegar por la mañana, la planta está parada, se ha ido la luz por una tormenta. Se rearma el cuadro eléctrico. A las 14:30 h la planta está parada.
07/07/2022	Hoy se mide la composición de biogás antes que el resto de días por motivos de disponibilidad del medidor portátil.
08/07/2022	El tanque de acondicionamiento no tiene nivel, se hace una prueba y la bomba 1 no saca el caudal que marca la bomba, pone 22 L/h y en realidad el caudal que sale es de 8 L/h. Se rellena el tanque a cubos y, como consecuencia de ello, el pH es de 5 upH aproximadamente, por lo que se gastan 180 mL de sosa al 33% para subir el pH a 7,3 upH. Se pone teflón en la entrada de agua de la bomba para que no entre aire por la manguera más gorda, y se vuelve a aforar la bomba. Ya sale el caudal adecuado.
14/07/2022	Por la bomba de recirculación deja de pasar caudal muy a menudo (todos los días desde este lunes, 11/07/2022). No se sabe si es problema de la bomba, o del trozo de tubería anterior al caudalímetro. Cuando pasa esto, se echa agua con la manguera por el trozo de tubería anterior al caudalímetro en sentido al tanque de recirculación y vuelve a funcionar correctamente.
15/07/2022	Se han tenido que hacer reparaciones en el cuadro eléctrico porque no le llega corriente a la bomba 1. Se vuelve a descebar la bomba de recirculación.
18/07/2022	La bomba de recirculación se ha vuelto a descebar, si vuelve a pasar se quitará el caudalímetro y se aforará el caudal necesario de manera manual. No se ha podido analizar la salida del reactor. Se analizan los AGV en el homo, son 1.212 ppm.
19/07/2022	Se ha soltado el tubo de entrada al reactor.
20/07/2022	Se rompe la bomba 2 y se cambia. Ayer y hoy, la planta ha estado bastante parada. Como la bomba 2 se ha parado mucho, la mayor parte del caudal de entrada reactor ha sido recirculación. Son dos días poco/nada representativos, 19 y 20 de julio.
22/07/2022	Al llegar por la mañana, no cae nada de caudal de efluente al tanque de recirculación, la manguera de salida del reactor está obstruida. Se desatasca y cuando coge nivel el tanque efluente, el efluente ha vuelto a caer al tanque de recirculación con normalidad.
05/08/2022	Fin de la experimentación.

REFERENCIAS

Clesceri L., Greenberg A., Eaton A. (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. 2.671 páginas.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla A1. Listado de bombas P&ID. 1

Tabla A2. Características técnicas de la bomba P-1. 1

Tabla A3. Características técnicas de la bomba P-2. 1

Tabla A4. Características técnicas de la bomba P-3. 2

Tabla A5. Características técnicas de la bomba P-4. 3

Tabla A6. Listado de agitadores P&ID. 3

Tabla A7. Características técnicas del agitador 1. 3

Tabla A8. Características técnicas del agitador 2. 4

Tabla A9. Características técnicas del agitador 3. 4

Tabla A10. Listado de caudalímetros P&ID. 5

Tabla A11. Características técnicas del caudalímetro de agua. 5

Tabla A12. Características técnicas del caudalímetro de gas. 6

Tabla A13. Listado de sondas de pH P&ID. 6

Tabla A14. Características técnicas de las sondas de pH. 6

Tabla A15. Listado de SC1000 P&ID. 7

Tabla A16. Listado de resistencia P&ID. 7

Tabla A17. Características técnicas de la resistencia. 7

Tabla A18. Método analítico del pH. 8

Tabla A19. Método analítico de la conductividad eléctrica. 9

Tabla A20. Método analítico de la DQO y DQO_f. 9

Tabla A21. Método analítico de los ácidos grasos volátiles. 10

Tabla A22. Método analítico de la alcalinidad. 10

Tabla A23. Datos medidos en el depósito de almacenamiento durante la experimentación. 11

Tabla A24. Datos medidos en el tanque de acondicionamiento durante la experimentación. 12

Tabla A25. Datos medidos en el tanque de mezcla durante la experimentación. 13

Tabla A26. Datos medidos en el reactor anaerobio Multi-AD durante la experimentación. 14

Tabla A27. Datos medidos en el efluente durante la experimentación. 15

Tabla A28. Datos medidos en la altura 1 del reactor anaerobio Multi-AD durante la experimentación. 15

Tabla A29. Datos medidos en la altura 2 del reactor anaerobio Multi-AD durante la experimentación. 15

Tabla A30. Datos medidos en la altura 3 del reactor anaerobio Multi-AD durante la experimentación. 15

Tabla A31. Datos medidos en la altura 4 del reactor anaerobio Multi-AD durante la experimentación. 16

Tabla A32. Datos medidos del biogás durante la experimentación. 17

Tabla A33. Observaciones y problemas a tener en cuenta sobre la experimentación. 18

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura A1. Bomba P-1. 1

Figura A2. Bomba P-1. 2

Figura A3. Bomba P-2. 2

Figura A4. Bomba P-3. 3

Figura A5. Agitador 1. 4

Figura A6. Agitador 2. 4

Figura A7. Agitador 3. 5

Figura A8. Caudalímetro de agua. 5

Figura A9. Medidor de gas. 6

Figura A10. Sonda de pH. 6

Figura A11. Pantalla y base del SC1000. 7

Figura A12. Resistencia. 7