

## 7. ANEXOS

Anejo 1, datos de masas de muestras de inóculo tras haberlas mantenido a 100°C y 550°C para el cálculo de los SS siguiendo las normas de la APHA.

Experimento	Número	Masa Crisol	Masa Filtro	Po total	P100	P550	Volumen [L]	SST [g/L]	SSV [g/L]	SSi [g/L]
<b>AASA</b>	1	16,984	0,0000	16,9840	17,741	17,403	0,01	<b>75,690</b>	<b>33,789</b>	<b>41,901</b>
<b>AASA</b>	2	18,3305	0,0000	18,3305	19,230	18,776	0,01	<b>89,955</b>	<b>45,433</b>	<b>44,522</b>
							<b>Promedio</b>	82,822	39,611	43,212
<b>Pruebas</b>	2									

Experimento	Número	Masa Crisol	Masa Filtro	Po total	P100	P550	Volumen [L]	SST [g/L]	SSV [g/L]	SSi [g/L]
<b>Chiletabacos</b>	22	16,5352	0,0000	16,5352	16,835	16,677	0,01	<b>29,947</b>	<b>15,739</b>	<b>14,208</b>
<b>Chiletabacos</b>	5	16,807	0,0000	16,8070	17,217	17,008	0,01	<b>41,009</b>	<b>20,905</b>	<b>20,104</b>
							<b>Promedio</b>	35,478	18,322	17,156
<b>Pruebas</b>	2									

Anejo 2, Mediciones de las presiones de gas generado en los viales para obtener los datos de SMA de los inóculos.

Fecha	Hora	Presión [mm H2O]						Presión acumulada [mm H2O]					
		CHT 1	CHT 2	CHT 3	AASA 1	AASA 2	AASA 3	CHT 1	CHT 2	CHT 3	AASA 1	AASA 2	AASA 3
23.09	11.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	12.05	34	61	64	64	62	82	34	61	64	64	62	82
	13.00	0	0	0	0	0	36	34	61	64	64	62	118
	15.00	1	16	3	9	11	0	35	77	67	73	73	118
24.09	15.45	10	7	10	6	3	1	45	84	77	79	76	119
25.09	16.00	35	20	4	3	2	6	80	104	81	82	78	125
26.09	16.00	41	22	37	24	3	0	121	126	118	106	81	125

27.09	09.30	11	5	4	4	4	4	132	131	122	110	85	129
-------	-------	----	---	---	---	---	---	-----	-----	-----	-----	----	-----

El proceso completo del estudio de la actividad metanogénica está desarrollado en la revista Water Science & Technology “Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays” por Angelidaki et al. (2009).

Las tres siguientes tablas (Sólidos Suspendidos, DQO Soluble y DQO total, pertenecen a la caracterización del sustrato.

Anejo 3, Datos de masas de las muestras a temperaturas de 110°C y 550°C para obtener los SS de las muestras del sustrato.

Anejo 4, SEGUNDA TABLA (DQO) concentración de la disolución, volumen de titulante, que será el que posteriormente genere la DQO de la muestra.

### Sólidos Suspendidos

Experimento	N crisol/filtro	Masa Crisol	Masa Filtro	Po total	P100	P550	V [ml]	SST [g/L]	SSV [g/L]
BASF	107	15,812	0,7560	16,5680	16,6065	15,8153	5	<b>7,700</b>	<b>7,040</b>
BASF	808	18,7036	0,7496	19,4532	19,4955	18,71	5	<b>8,460</b>	<b>7,180</b>
BASF	805	20,2878	0,7433	21,0311	21,0562	20,2918	5	<b>5,020</b>	<b>4,220</b>
<b>Prom.</b>								7,060	6,147

Pruebas	3
---------	---

### DQO soluble

Experimento	Número	Dilución [mL]	Titulación FAS		DQO [mg/L]
			V_FAS [mL]		
BASF	16	25	11,6		1250,00
BASF	17	25	11,9		625,00
BASF	18	25	11,6		1250,00
<b>Promedio</b>					1041,667

Pruebas	3
---------	---

### DQO total

Experimento	Número	Dilución [mL]	Titulación FAS		DQO
			V_FAS [mL]		



120.0							Promedio(g/l)	5,6571	5,040	0,6167
120.0	Se pierde el triplicado						Desviación est.	0,1616	0,0438	0,1179
120.0							Me	0,4012	0,1087	0,2926

100.0,211		16,8668	0,0840	16,9508	16,9613	16,9506	3	3,5000	3,5667	-0,0667
100.0,211		16,8549	0,0824	16,9373	16,9480	16,9376	3	3,5667	3,4667	0,1000
100.0,211		-	-	-	-	-	-	-	-	-
100.0,211	Se pierde el triplicado						Promedio(g/l)	3,5333	3,517	0,0167
100.0,211							Desviación est.	0,0471	0,0707	0,1179
100.0,211							Me	0,1170	0,1755	0,2926

100.0,11	2,0000	17,4583	0,0826	17,5409	17,5473	17,5415	3	2,1333	1,9333	0,2000
100.0,11	19,0000	15,2891	0,0829	15,3720	15,3824	15,3733	3	3,4667	3,0333	0,4333
100.0,11	100,0000	21,2825	0,0840	21,3665	21,3761	21,3676	3	3,2000	2,8333	0,3667
100.0,11							Promedio(g/l)	2,9333	2,600	0,3333
100.0,11							Desviación est.	0,7055	0,5859	0,1202
100.0,11							Me	1,7516	1,4547	0,2984

100.0	15,0000	16,8075	0,0849	16,8924	16,9031	16,8936	3	3,5667	3,1667	0,4000
100.0	300,0000	17,3403	0,0832	17,4235	17,4358	17,4253	3	4,1000	3,5000	0,6000
100.0	7,0000	17,4666	0,0831	17,5497	17,5604	17,5510	3	3,5667	3,1333	0,4333
100.0							Promedio(g/l)	3,7444	3,267	0,4778
100.0							Desviación est.	0,3079	0,2028	0,1072
100.0							Me	0,7644	0,5034	0,2660

80.0,211	802,0000	21,8326	0,0830	21,9156	21,9365	21,9197	3	6,9667	5,6000	1,3667
80.0,211	10,0000	18,3315	0,0851	18,4166	18,4385	18,4209	3	7,3000	5,8667	1,4333
80.0,211	205,0000	17,9523	0,0825	18,0348	18,0571	18,0398	3	7,4333	5,7667	1,6667
80.0,211							Promedio(g/l)	7,2333	5,744	1,4889
80.0,211							Desviación est.	0,2404	0,1347	0,1575

80.0,211							Me	0,5967	0,3344	0,3911
----------	--	--	--	--	--	--	----	--------	--------	--------

80.0,1055	809,0000	21,7462	0,0835	21,8297	21,8506	21,8315	3,5	6,9667	6,4524	0,5143
80.0,1055	401,0000	17,9524	0,0840	18,0364	18,0585	18,0391	3,5	7,3667	6,5952	0,7714
80.0,1055							Promedio(g/l)	7,1667	6,5238	0,6429
80.0,1055	Se pierde el triplicado						Desviación est.	0,2828	0,101	0,1818
80.0,1055	Se pierde el triplicado						Me	0,7022	0,2508	0,4514

80.0	7,0000	17,4652	0,0845	17,5497	17,5720	17,5527	3,5	6,3714	5,5143	0,8571
80.0	0,0000	16,8998	0,0843	16,9841	17,0078	16,9875	3,5	6,7714	5,8000	0,9714
80.0							Promedio(g/l)	6,5714	5,6571	0,9143
80.0	Se pierde el triplicado						Desviación est.	0,2828	0,202	0,0808
80.0	Se pierde el triplicado						Me	0,7022	0,5016	0,2006

Seguindo las indicaciones de Angelidaki et al. (2009), se preparan los viales de 100mL de volumen, donde

Anejo 6, continuación de tabla Anejo 5. Preparación de los viales para los BMP de cada tratamiento.

Preparación BMP						
Vinoculo (mL)	40,0	Conc. Ino (g/L)	0,0015	MASAINOCULO (g)	0,06	120.0,211
Vsustrato (mL)	5,3	Con. Sus (g/L)	0,0056	masa Sustrato (g)	0,03	
VH2O (mL)	14,7					
Suma total (mL)	60					

Vinoculo (mL)	40,0	Conc. Ino (g/L)	0,0015	MASAINOCULO (g)	0,06	120.0,1055
Vsustrato (mL)	5,5	Con. Sus (g/L)	0,0055	masa Sustrato (g)	0,03	
VH2O (mL)	14,5					
Suma total (mL)	60					

Vinoculo (mL)	40,0	Conc. Ino	0,0015	MASAINOCULO	0,06	120.0
Vsustrato (mL)	6,0	Con. Sus	0,0050	masa Sustrato	0,03	
VH2O (mL)	14,0					
Suma total (mL)	60					

Vinoculo (mL)	40,0	Conc. Ino	0,0020	MASAINOCULO	0,08	100.0,211
Vsustrato (mL)	11,4	Con. Sus	0,0035	masa Sustrato	0,04	
VH2O (mL)	8,6					
Suma total (mL)	60					

Vinoculo (mL)	40,0	Conc. Ino	0,0015	MASAINOCULO	0,06	100.0,1055
Vsustrato (mL)	11,5	Con. Sus	0,0026	masa Sustrato	0,03	
VH2O (mL)	8,5					
Suma total (mL)	60					

Vinoculo (mL)	40,0	Conc. Ino	0,0015	MASAINOCULO	0,06	100.0
Vsustrato (mL)	9,2	Con. Sus	0,0033	masa Sustrato	0,03	
VH2O (mL)	10,8					
Suma total (mL)	60					

Vinoculo (mL)	40,0	Conc. Ino	0,0015	MASAINOCULO	0,06	80.0,211
Vsustrato (mL)	5,2	Con. Sus	0,0057	masa Sustrato	0,03	
VH2O (mL)	14,8					
Suma total (mL)	60					

Vinoculo (mL)	40,0	Conc. Ino	0,0015	MASAINOCULO	0,06	80.0,1055
Vsustrato (mL)	4,6	Con. Sus	0,0065	masa Sustrato	0,03	
VH2O (mL)	15,4					
Suma total (mL)	60					

Vinoculo (mL)	40,0	Conc. Ino	0,0015	MASAINOCULO	0,06	80.0
Vsustrato (mL)	5,3	Con. Sus	0,0057	masa Sustrato	0,03	
VH2O (mL)	14,7					
Suma total (mL)	60					

Anejo 7, Mediciones de presión de los digestores. Presiones generadas por los BMP.

TIEMPO [HORAS]	120-0,211		120-0,11		120-0		100-0,211		100-0,11	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
0,0										
16,0	-5,6	-5,1	3,9	0,1	0,3	8,3	0,1	0,1	-1,8	-2,0
23,5	4,2	4,0	1,0	1,4	2,5	2,7	2,4	3,0	4,2	5,2
42,5	9,1	0,9	5,0	3,7	4,6	5,6	4,6	5,4	6,2	7,6
90,5	3,0	4,2	5,9	5,1	3,3	4,9	4,3	0,7	3,0	1,0
114,5	14,6	15,0	4,6	1,8	9,4	11,3	6,0	5,2	10,7	13,5
138,5	6,3	5,5	8,9	6,6	4,2	1,6	7,8	5,8	6,2	6,6
162,5	0,9	1,1	0,2	0,2	0,2	0,4	2,4	1,8	0,6	0,0

100-0		80-0,211		80-0,11		80-0	
A	B	A	B	A	B	A	B
4,7	4,0	1,0	1,8	-5,9	-6,4	-6,9	-7,7
0,5	1,7	2,0	2,4	3,3	0,7	0,4	1,6
4,9	5,9	5,8	7,4	6,3	4,5	6,1	2,4
1,3	3,9	3,2	3,2	0,1	0,5	0,4	1,3
10,2	6,0	8,2	8,2	11,0	11,2	6,1	7,0
10,9	6,4	11,1	11,7	6,0	4,3	8,1	4,2
0,2	0,1	0,1	0,3	0,0	1,2	0,4	0,1

Se miden las presiones con el transductor de presiones calibrado acorde a la recta ya descrita previamente. Los resultados negativos se achacan a un mal sellado o un mal desoxigenado de los viales, por tanto se estiman 0.

#### Anejo 8, Presiones acumuladas.

TIEMPO [HORAS]	120-0,211	120-0,11	120-0	100-0,211	100-0,11	100-0	80-0,211	80-0,11	80-0
0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16,0	0,00	57,91	202,67	202,67	202,67	349,31	384,56	384,56	366,95
23,5	137,21	222,82	448,14	532,48	692,34	862,91	963,62	1021,53	1024,07
42,5	308,39	540,65	940,94	1196,47	1599,26	1956,12	2288,44	2532,64	2678,05
90,5	426,72	849,04	1386,54	1718,85	2179,56	2616,99	3052,53	3290,44	3450,34
114,5	967,96	1493,50	2404,20	2930,36	3830,35	4556,02	5283,58	5923,03	6312,64
138,5	1173,13	1973,70	2976,29	3741,61	4865,66	5900,34	7040,76	7857,05	8461,27
162,5	1193,28	1993,85	2996,44	3823,45	4947,49	5982,18	7122,59	7943,93	8548,15



Anejo 9, Presiones de metano, estableciendo según literatura un 60% del total del gas.

TIEMPO [HORAS]	120-0,211	120-0,11	120-0	100-0,211	100-0,11	100-0	80-0,211	80-0,11	80-0
0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16,0	0,00	34,75	121,60	121,60	121,60	209,59	230,74	230,74	220,17
23,5	82,32	133,69	268,88	319,49	415,40	517,75	578,17	612,92	614,44
42,5	185,04	324,39	564,56	717,88	959,56	1173,67	1373,07	1519,59	1606,83
90,5	256,03	509,43	831,92	1031,31	1307,73	1570,19	1831,52	1974,27	2070,20
114,5	580,77	896,10	1442,52	1758,22	2298,21	2733,61	3170,15	3553,82	3787,58
138,5	703,88	1184,22	1785,78	2244,97	2919,39	3540,20	4224,45	4714,23	5076,76
162,5	715,97	1196,31	1797,87	2294,07	2968,49	3589,31	4273,55	4766,36	5128,89

Anejo 10, Moles de metano a 37°C, temperatura de los baños con agitación.

TIEMPO [HORAS]	120-0,211	120-0,11	120-0	100-0,211	100-0,11	100-0	80-0,211	80-0,11	80-0
0,0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
16,0	0,00E+00	5,29E-05	1,85E-04	1,85E-04	1,85E-04	3,19E-04	3,51E-04	3,51E-04	3,35E-04
23,5	1,25E-04	2,03E-04	4,09E-04	4,86E-04	6,32E-04	7,88E-04	8,79E-04	9,32E-04	9,35E-04
42,5	2,81E-04	4,93E-04	8,59E-04	1,09E-03	1,46E-03	1,79E-03	2,09E-03	2,31E-03	2,44E-03
90,5	3,89E-04	7,75E-04	1,27E-03	1,57E-03	1,99E-03	2,39E-03	2,79E-03	3,00E-03	3,15E-03
114,5	8,83E-04	1,36E-03	2,19E-03	2,67E-03	3,50E-03	4,16E-03	4,82E-03	5,41E-03	5,76E-03
138,5	1,07E-03	1,80E-03	2,72E-03	3,41E-03	4,44E-03	5,39E-03	6,43E-03	7,17E-03	7,72E-03
162,5	1,09E-03	1,82E-03	2,73E-03	3,49E-03	4,52E-03	5,46E-03	6,50E-03	7,25E-03	7,80E-03

Anejo 11, Volumen de metano en condiciones normales.

TIEMPO [HORAS]	120-0,211	120-0,11	120-0	100-0,211	100-0,11	100-0	80-0,211	80-0,11	80-0
0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16,0	0,00	1,27	4,45	4,45	4,45	7,67	8,44	8,44	8,06
23,5	3,01	4,89	9,84	11,69	15,20	18,95	21,16	22,43	22,48

42,5	6,77	11,87	20,66	26,27	35,11	42,95	50,24	55,60	58,80
90,5	9,37	18,64	30,44	37,74	47,85	57,46	67,02	72,24	75,75
114,5	21,25	32,79	52,78	64,34	84,10	100,03	116,00	130,04	138,59
138,5	25,76	43,33	65,34	82,15	106,83	129,54	154,58	172,50	185,77
162,5	26,20	43,78	65,79	83,94	108,62	131,34	156,38	174,41	187,67

Anejo 12, Datos empleados para obtener las tablas 8, 9, 10 y 11.

Ley Gases Ideales		$P \cdot v = n \cdot R \cdot t$
Condiciones BMP		$atm \cdot L/mol \cdot K$
R	0,08205746	
t(37°C)	310,15	K
v	0,04	$atm/mmH_2O$
Factor_P	0,00096784	
Condiciones Normales		
P	1	atm
T	293,15	K

Anejo 13, Ecuación de la cinética de primer orden para la generación de biogás utilizada para modelar los potenciales máximos de generación de cada experimento ( $B_0$ ) y su constante ( $k$ )

Ecuación de la cinética de primer orden de generación de biogás
$B_t = B_0 \times (1 - e^{(-tk)})$

Anejo 14, volúmenes según medición y modelado. Suma de errores cuadrados, B0 y K; datos empleados por la herramienta solver para modelar la ecuación no lineal de generación de gas para cada pretatamiento.

Digestor	Tiempo [h]	Volúmen (mL)	V_estimado	V - Vest.	Err. Cuad
120-0,211	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	16,000	0,000	8,257	-8,257	68,175
	23,500	3,012	11,458	-8,445	71,323
	42,500	6,771	18,040	-11,269	126,996
	90,500	9,369	27,977	-18,608	346,275
	114,500	21,251	30,721	-9,470	89,673
	138,500	25,756	32,591	-6,835	46,714
	162,500	26,198	33,865	-7,666	58,774
Suma_Err. C					807,9304679

Se calcula un volumen estimado de generación de biogás, con el cual se calcularán los errores cuadrados respecto al volumen medido con el transductor. Serán esos errores cuadrados los que se minimicen a través de las constantes de primer orden de la ecuación de generación del gas.

Bo	36,589548
k	0,015984

Digestor	Tiempo [h]	Volúmen (mL)	V_estimado	V - Vest.	Err. Cuad
120-0,11	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	16,000	1,271	15,803	-14,532	211,179
	23,500	4,892	21,191	-16,299	265,674
	42,500	11,870	30,874	-19,004	361,140
	90,500	18,641	41,491	-22,851	522,150
	114,500	32,790	43,430	-10,640	113,209
	138,500	43,333	44,454	-1,121	1,257
	162,500	43,775	44,995	-1,219	1,487
Suma_Err. C					1476,095181

Bo	45,6
k	0,02659456

Digestor	Tiempo [h]	Volúmen (mL)	V_estimado	V - Vest.	Err. Cuad
120-0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	16,000	4,450	26,797	-22,348	499,418
	23,500	9,839	35,353	-25,514	650,971
	42,500	20,658	49,730	-29,071	845,144
	90,500	30,441	63,228	-32,787	1074,992

	114,500	52,784	65,216	-12,432	154,560
	138,500	65,345	66,140	-0,795	0,632
	162,500	65,787	66,568	-0,781	0,611
			Suma_Err. C		3226,328165

Bo	66,94
k	0,0319596

Digestor	Tiempo [h]	Volúmen (mL)	V_estimado	V - Vest.	Err. Cuad
100-0,211	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	16,000	4,450	22,735	-18,285	334,343
	23,500	11,691	31,178	-19,487	379,741
	42,500	26,268	47,766	-21,497	462,133
	90,500	37,737	70,215	-32,477	1054,784
	114,500	64,336	75,619	-11,283	127,296
	138,500	82,147	78,999	3,148	9,912
	162,500	83,944	81,113	2,831	8,012
			Suma_Err. C		2376,222295

Bo	84,645
k	0,0195486

Digestor	Tiempo [h]	Volúmen (mL)	V_estimado	V - Vest.	Err. Cuad
100-0,11	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	16,000	4,450	39,481	-35,031	1227,194
	23,500	15,200	52,786	-37,585	1412,654
	42,500	35,112	76,409	-41,297	1705,459
	90,500	47,852	101,601	-53,749	2888,937
	114,500	84,095	106,029	-21,934	481,081
	138,500	106,825	108,315	-1,489	2,218
	162,500	108,622	109,495	-0,873	0,762
			Suma_Err. C		7718,304422

Bo	110,754
k	0,0275495

Digestor	Tiempo [h]	Volúmen (mL)	V_estimado	V - Vest.	Err. Cuad
100-0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	16,000	7,669	59,393	-51,724	2675,410
	23,500	18,945	77,463	-58,518	3424,371
	42,500	42,947	106,387	-63,440	4024,650
	90,500	57,456	130,696	-73,240	5364,076
	114,500	100,027	133,749	-33,721	1137,119
	138,500	129,542	135,039	-5,497	30,219
	162,500	131,339	135,585	-4,246	18,028
Suma_Err. C					16673,87248

Bo	135,984
k	0,035879

Digestor	Tiempo [h]	Volúmen (mL)	V_estimado	V - Vest.	Err. Cuad
80-0,211	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	16,000	8,443	25,035	-16,591	275,276
	23,500	21,156	35,387	-14,230	202,499
	42,500	50,243	58,210	-7,967	63,479
	90,500	67,018	99,014	-31,996	1023,745
	114,500	116,001	112,836	3,165	10,016
	138,500	154,580	123,556	31,024	962,500
	162,500	156,376	131,869	24,508	600,626
Suma_Err. C					3138,141262

Bo	160,59
k	0,010592106

Digestor	Tiempo [h]	Volúmen (mL)	V_estimado	V - Vest.	Err. Cuad
80-0,11	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	16,000	8,443	50,202	-41,759	1743,799
	23,500	22,428	68,600	-46,172	2131,877
	42,500	55,604	104,246	-48,642	2366,032
	90,500	72,242	150,910	-78,669	6188,749

	114,500	130,040	161,675	-31,634	1000,742
	138,500	172,502	168,233	4,269	18,221
	162,500	174,409	172,229	2,180	4,753
	Suma_Err. C			13454,17146	

Bo	178,46
k	0,020645

Digestor	Tiempo [h]	Volúmen (mL)	V_estimado	V - Vest.	Err. Cuad
80-0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	16,000	8,056	72,446	-64,390	4146,027
	23,500	22,483	96,202	-73,719	5434,418
	42,500	58,797	137,218	-78,421	6149,872
	90,500	75,752	178,211	-102,459	10497,771
	114,500	138,594	184,800	-46,206	2135,023
	138,500	185,767	188,024	-2,257	5,095
	162,500	187,675	189,602	-1,927	3,714
	Suma_Err. C			28371,91999	

Bo	191,1131504
k	0,029784

Anejo 15, Mediciones de un presurímeter analógico de agua comparado con el transductor para su calibrado.

Calibracion Transductor		
mV	mmH2O	mmHg
1,100	24,000	1,765
1,600	44,000	3,236
1,900	56,000	4,119
2,100	64,000	4,708
2,500	78,000	5,737
3,000	95,000	6,988
3,400	110,000	8,091
4,000	132,000	9,709
4,300	146,000	10,739
4,600	157,000	11,548

5,000	172,000	12,652
5,400	184,000	13,534
6,000	209,000	15,373
6,500	224,000	16,477
7,400	260,000	19,125
8,300	291,000	21,405
8,800	312,000	22,949
10,200	363,000	26,701
10,700	386,000	28,393
11,200	404,000	29,717
11,800	426,000	31,335
12,700	461,000	33,909

Anejo 16, matriz normalizada del Box - Behnken con la matriz de variables respuesta Y, que generarán los parámetros de los pretratamientos para evaluar si son o no significativos.

Frasco	Matriz normalizada A						Matriz de Variables respuesta Y		
	b0	x1	x2	x1x1	x2x2	x1x2	CH4 [ml/gSSV]	Aumento DQO	Reducción SSV
120.0,211	1	1	1	1	1	1	36,590	6,436	0,915
120.0,11	1	1	0	1	0	0	45,600	4,496	0,895
120.0	1	1	-1	1	1	-1	66,940	3,976	0,820
100.0,211	1	0	1	0	1	0	84,645	3,256	0,572
100.0,11	1	0	0	0	0	0	110,754	3,536	0,423
100.0	1	0	-1	0	1	0	135,984	4,003	0,531
80.0,211	1	-1	1	1	1	-1	160,590	5,056	0,935
80.0,11	1	-1	0	1	0	0	178,460	2,616	1,061
80.0	1	-1	-1	1	1	1	191,113	4,643	0,998

Anejo 17, Modelo cuadrático de ajuste.

Modelo cuadrático de ajuste

Para obtener los parámetros del modelo para cada variable, se emplea la siguiente matriz  $B = (A^T \times A)^{-1} \times (A^T \times Y)$

$$Y_0 = b_0 + b_1T + b_2C + b_{11}T^2 + b_{22}C^2 + b_{12}TC$$

Anejo 18, Matrices resueltas intermedias.

MATRIZ $(A^T \times A)^{-1}$						MATRIZ $(A^T \times Y)$		
0,556	0	0	-0,333	-0,333	0	1010,676	38,017	7,150
0	0,167	0	0	0	0	-381,034	2,593	-0,364
0	0	0,167	0	0	0	-112,213	2,127	0,072
-0,333	0	0	0,500	0	0	679,293	27,223	5,623
-0,333	0	0	0	0,500	0	675,862	27,369	4,771
0	0	0	0	0	0,250	0,173	2,047	0,158

Anejo 19, Matriz respuesta B e Intervalos de confianza.

MATRIZ B = $(A^T \times A)^{-1} \times (A^T \times Y)$			INTERVALOS DE CONFIANZA [IC]		
CH4 [B]	DQO [B]	SSV [B]	CH4 [ $\pm$ IC]	DQO [ $\pm$ IC]	SSV [ $\pm$ IC]
109,7684	2,9234	0,5075	139,4074	1,5344	0,1712
0,0000	0,4322	0,0000	76,3566	0,8404	0,0938
0,0000	0,3544	0,0120	76,3566	0,8404	0,0938
2,7544	0,9389	0,4284	132,2535	1,4557	0,1624
1,0389	1,0122	0,0021	132,2535	1,4557	0,1624
0,0432	0,5117	0,0395	93,5174	1,0293	0,1148

Anejo 20, resultados del modelo con su afección en función del Intervalo de confianza.[-IC]

CH4 [B]	CH4 [ $\pm$ IC]	[+IC]	[-IC]	DQO [B]	DQO [ $\pm$ IC]	[+IC]	[-IC]	SSV [B]	SSV [ $\pm$ IC]	[+IC]	[-IC]
109,7684	139,4074	249,1758	-29,6391	2,9234	1,5344	4,4578	1,3890	0,5075	0,1712	0,6787	0,3363
0,0000	76,3566	76,3566	-76,3566	0,4322	0,8404	1,2727	-0,4082	0,0000	0,0938	0,0938	-0,0938
0,0000	76,3566	76,3566	-76,3566	0,3544	0,8404	1,1949	-0,4860	0,0120	0,0938	0,1058	-0,0818



2,7544	132,2535	135,0080	-129,4991	0,9389	1,4557	2,3946	-0,5168	0,4284	0,1624	0,5908	0,2660
1,0389	132,2535	133,2925	-131,2146	1,0122	1,4557	2,4679	-0,4435	0,0021	0,1624	0,1645	-0,1603
0,0432	93,5174	93,5605	-93,4742	0,5117	1,0293	1,5410	-0,5177	0,0395	0,1148	0,1544	-0,0753

Anejo 21, Promedio de lectura de presiones de gas generado por los tratamientos con adición de cenizas y las mismas presiones acumuladas en la parte de la derecha.

BMP Cenizas		Presión [mm H2O]						Presión acumulada [mm H2O]						
Día	Hora	B	0	50	75	100	150	B	0	50	75	100	150	hrs
27.09	15.00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	16.30	7,0	3,0	17,5	33,0	29,5	32,0	7,0	3,0	17,5	33,0	29,5	32,0	1,5
	20.15	8,5	13,0	18,5	7,5	17,5	11,0	15,5	16,0	36,0	40,5	47,0	43,0	5,3
28.09	14.15	3,0	28,0	39,5	35,0	33,5	39,0	18,5	44,0	75,5	75,5	80,5	82,0	23,3
29.09	15.50	11,0	70,0	65,0	67,0	63,0	53,0	29,5	114,0	140,5	142,5	143,5	135,0	48,8
03.10	16.00	-6,5	67,0	48,5	43,0	41,0	117,0	23,0	181,0	189,0	185,5	184,5	252,0	145,6
04.10	14.30	20,5	32,0	29,0	28,5	22,5	11,5	43,5	213,0	218,0	214,0	207,0	263,5	168,1
05.10	13.15	18,0	28,0	33,0	27,0	28,0	42,0	61,5	241,0	251,0	241,0	235,0	305,5	190,9
05.08	15.15	22,0	15,0	12,0	12,0	8,0	12,0	83,5	256,0	263,0	253,0	243,0	317,5	192,9
06.10	15.15	15,0	21,0	28,0	24,0	15,0	26,0	98,5	277,0	291,0	277,0	258,0	343,5	216,9
07.10	10.30	9,0	12,0	10,0	10,0	12,5	6,0	107,5	289,0	301,0	287,0	270,5	349,5	236,1
08.10	13.30	45,5	48,0	39,5	38,5	31,0	26,0	153,0	337,0	340,5	325,5	301,5	375,5	263,1
10.10	16.40	41,5	44,0	40,5	39,0	22,5	22,0	194,5	381,0	381,0	364,5	324,0	397,5	314,4
11.10	14.00	46,0	47,0	40,5	36,5	31,5	11,5	240,5	428,0	421,5	401,0	355,5	409,0	335,7

Anejo 22, moles, volumen real, volumen modelado, B0 y K ajustadas con la herramienta solver de Excel para concentraciones de 50 mg/L de cenizas.

Ley de Gases Ideales		Condiciones BMP					Condiciones Normales			
$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$		V	40 mL			T	293,15 K			
$n = \frac{P \cdot V}{R \cdot T}$		R	0,0821 atm L / mol K			P	1 atm			
		T	310,15 K							
		Factor Presión	9,68E-04 atm / mmH2O							
Tiempo [h]	Presiones mmH2O		Moles		Volumen mL			Predicho		Residuos
	50.1	50.2	50.1	50.2	50.1	50.2	Promedio	V_ajustado mL	V_predicho mL	
0,0	0,0	0,0	0,00E+00	0,00E+00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1,5	6,0	29,0	9,13E-06	4,41E-05	0,2	1,1	0,6	0,4	0,2	0,2
5,3	34,0	38,0	5,17E-05	5,78E-05	1,2	1,4	1,3	0,8	0,6	0,2
23,3	76,0	75,0	1,16E-04	1,14E-04	2,8	2,7	2,8	2,1	2,3	-0,2
48,8	145,0	136,0	2,21E-04	2,07E-04	5,3	5,0	5,1	4,1	3,9	0,1
145,6	190,0	188,0	2,89E-04	2,86E-04	7,0	6,9	6,9	6,1	6,4	-0,3
168,1	222,0	214,0	3,38E-04	3,26E-04	8,1	7,8	8,0	6,4	6,5	-0,2
190,9	256,0	246,0	3,89E-04	3,74E-04	9,4	9,0	9,2	6,9	6,7	0,3
192,9	266,0	260,0	4,05E-04	3,96E-04	9,7	9,5	9,6	6,6	6,7	-0,1
216,9	297,0	285,0	4,52E-04	4,34E-04	10,9	10,4	10,6	7,0	6,8	0,3
236,1	308,0	294,0	4,69E-04	4,47E-04	11,3	10,8	11,0	7,1	6,8	0,3
263,1	349,0	332,0	5,31E-04	5,05E-04	12,8	12,1	12,5	6,9	6,9	0,0
314,4	395,0	367,0	6,01E-04	5,58E-04	14,5	13,4	13,9	6,8	6,9	-0,1
335,7	439,0	404,0	6,68E-04	6,15E-04	16,1	14,8	15,4	6,6	6,9	-0,3

Anejo 23, IDEM que tabla 22. Para 75 mg/L de cenizas.

Ley de Gases Ideales	Condiciones BMP	Condiciones Normales
----------------------	-----------------	----------------------

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$n = \frac{P \cdot V}{R \cdot T}$$

V 40 mL  
 R 0,0821 atm L / mol K  
 T 310,15 K  
 Factor Presión 9,68E-04 atm / mmH2O

T 293,15 K  
 P 1 atm

Tiempo [h]	Presiones mmH2O		Moles		Volumen mL			Predicho		Residuos
	75.1	75.2	75.1	75.2	75.1	75.2	Promedio	V_ajustado mL	V_predicho mL	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1,5	21,0	45,0	0,0	0,0	0,8	1,6	1,2	1,0	0,2	0,8
5,3	27,0	54,0	0,0	0,0	1,0	2,0	1,5	0,9	0,7	0,3
23,3	61,0	90,0	0,0	0,0	2,2	3,3	2,8	2,1	2,4	-0,4
48,8	125,0	160,0	0,0	0,0	4,6	5,9	5,2	4,1	4,1	0,1
145,6	166,0	205,0	0,0	0,0	6,1	7,5	6,8	5,9	6,1	-0,1
168,1	196,0	232,0	0,0	0,0	7,2	8,5	7,8	6,2	6,2	0,1
190,9	222,0	260,0	0,0	0,0	8,1	9,5	8,8	6,6	6,2	0,3
192,9	235,0	271,0	0,0	0,0	8,6	9,9	9,3	6,2	6,3	-0,1
216,9	262,0	292,0	0,0	0,0	9,6	10,7	10,1	6,5	6,3	0,2
236,1	270,0	304,0	0,0	0,0	9,9	11,1	10,5	6,6	6,3	0,2
263,1	307,0	344,0	0,0	0,0	11,2	12,6	11,9	6,3	6,3	0,0
314,4	349,0	380,0	0,0	0,0	12,8	13,9	13,3	6,2	6,4	-0,1
335,7	388,0	414,0	0,0	0,0	14,2	15,1	14,7	5,9	6,4	-0,5

Anejo 24, IDEM. Concentración 100 mg/L

Condiciones BMP			Condiciones Normales		
V	40 mL	T	293,15 K		
R	0,0821 atm L / mol K	P	1 atm		

T 310,15 K  
 Factor Presión 9,68E-04 atm / mmH2O

Moles		Volumen mL			Predicho		
100.1	100.2	100.1	100.2	Promedio	V_ajustado mL	V_predicho mL	Residuos
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,6	1,5	1,1	0,8	0,2	0,6
0,0	0,0	1,2	2,3	1,7	1,2	0,8	0,4
0,0	0,0	2,3	3,6	2,9	2,3	2,7	-0,4
0,0	0,0	4,6	5,9	5,3	4,2	4,2	0,0
0,0	0,0	6,4	7,1	6,8	5,9	5,5	0,4
0,0	0,0	7,4	7,8	7,6	6,0	5,5	0,4
0,0	0,0	8,3	8,9	8,6	6,3	5,6	0,8
0,0	0,0	8,7	9,1	8,9	5,8	5,6	0,3
0,0	0,0	9,3	9,6	9,4	5,8	5,6	0,3
0,0	0,0	9,7	10,1	9,9	6,0	5,6	0,4
0,0	0,0	10,8	11,2	11,0	5,4	5,6	-0,2
0,0	0,0	11,7	12,0	11,9	4,7	5,6	-0,9
0,0	0,0	13,0	13,0	13,0	4,2	5,6	-1,4

Anejo 25, IDEM. Concentración 150 mg/L

Ley de Gases Ideales	Condiciones BMP	Condiciones Normales
$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$ $n = \frac{P \cdot V}{R \cdot T}$	V 40 mL R 0,0821 atm L / mol K T 310,15 K Factor Presión 9,68E-04 atm / mmH2O	T 293,15 K P 1 atm

Tiempo [h]	Presiones mmH2O		Moles				Volumen mL		Predicho		Residuos
	150.1	150.2	150.1	150.2	150.1	150.2	Promedio	V_ajustado mL	V_predicho mL		
0,0	0,0	0,0	0,00E+00	0,00E+00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1,5	28,0	36,0	4,26E-05	5,48E-05	1,0	1,3	1,2	0,9	0,2	0,7	0,7
5,3	46,0	40,0	7,00E-05	6,08E-05	1,7	1,5	1,6	1,0	0,7	0,3	0,3
23,3	78,0	86,0	1,19E-04	1,31E-04	2,9	3,1	3,0	2,3	2,8	-0,4	-0,4
48,8	118,0	152,0	1,79E-04	2,31E-04	4,3	5,6	4,9	3,9	4,8	-0,9	-0,9
145,6	247,0	257,0	3,76E-04	3,91E-04	9,0	9,4	9,2	8,4	7,7	0,7	0,7
168,1	257,0	270,0	3,91E-04	4,11E-04	9,4	9,9	9,6	8,1	7,9	0,2	0,2
190,9	297,0	314,0	4,52E-04	4,78E-04	10,9	11,5	11,2	8,9	8,0	0,9	0,9
192,9	310,0	325,0	4,72E-04	4,94E-04	11,3	11,9	11,6	8,6	8,0	0,5	0,5
216,9	333,0	354,0	5,07E-04	5,38E-04	12,2	13,0	12,6	9,0	8,1	0,8	0,8
236,1	337,0	362,0	5,13E-04	5,51E-04	12,3	13,2	12,8	8,9	8,2	0,7	0,7
263,1	359,0	392,0	5,46E-04	5,96E-04	13,1	14,3	13,7	8,1	8,2	-0,1	-0,1
314,4	378,0	417,0	5,75E-04	6,34E-04	13,8	15,3	14,5	7,4	8,3	-0,9	-0,9
335,7	388,0	430,0	5,90E-04	6,54E-04	14,2	15,7	15,0	6,2	8,3	-2,1	-2,1

Anejo 26, Recopilación de parámetros cinéticos de las anteriores mediciones.

Cenizas [mg/L]	Bo [mL]	k [1/h]	SSE
0,0	4,76	0,01000	3,56
50,0	6,93	0,01706	0,55
75,0	6,37	0,02074	1,27
100,0	5,59	0,02826	4,59
150,0	8,32	0,01737	9,66

Anejo 27, Modelo de mínimos cuadrados para generar los parámetros de la ecuación de optimización de generación de biogas tras añadir cenizas.

X	Y	X2	X3	X4	XY	X2Y
0,0	0,01	0,0	0,00E+00	0,00E+00	0,0	0,00E+00
25,0	0,03	625,0	1,56E+04	3,91E+05	0,6	1,60E+01
50,0	0,02	2500,0	1,25E+05	6,25E+06	0,9	4,27E+01

	75,0	0,02	5625,0	4,22E+05	3,16E+07	1,6	1,17E+02
	100,0	0,03	10000,0	1,00E+06	1,00E+08	2,8	2,83E+02
	150,0	0,02	22500,0	3,38E+06	5,06E+08	2,6	3,91E+02
SUMA	400,0	0,12	41250,0	4,94E+06	6,45E+08	8,5	8,49E+02

a0	a1	a2	Y
6,0	400,00	3,50E+05	0,12
400,0	41250,00	4,19E+09	8,48E+00
41250,0	4,94E+06	6,45E+08	8,49E+02

$\Delta a_0$			
	0,1	4,00E+02	3,50E+05
	8,48E+00	4,13E+04	4,19E+09
	8,49E+02	4,94E+06	6,45E+08

$\Delta a_1$			
	6,0	0,12	3,50E+05
	400,0	8,48E+00	4,19E+09
	4,13E+04	8,49E+02	6,45E+08

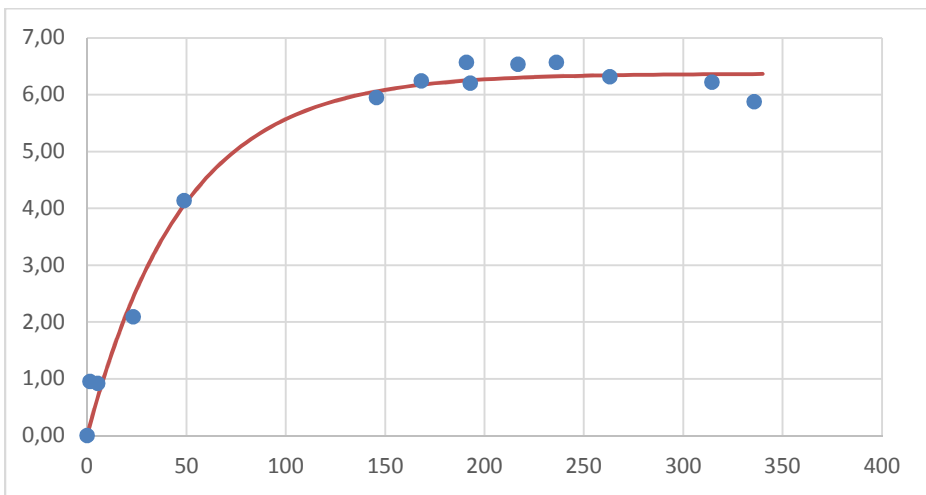
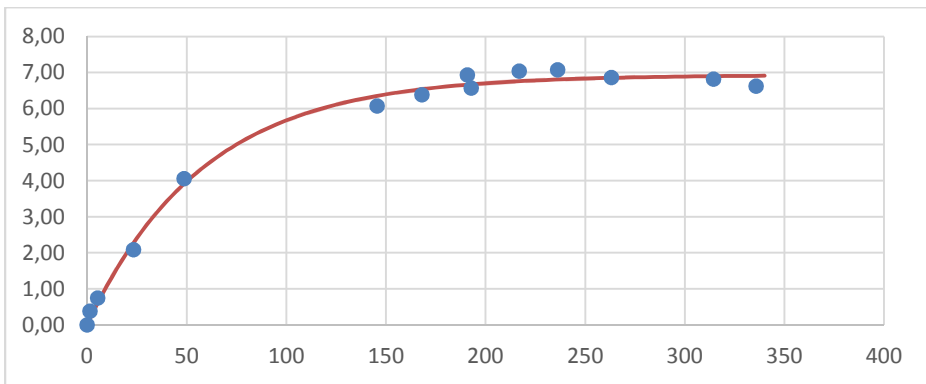
$\Delta a_2$			
	6,0	400,00	0,1
	400,0	4,13E+04	8,5
	4,13E+04	4,94E+06	8,49E+02

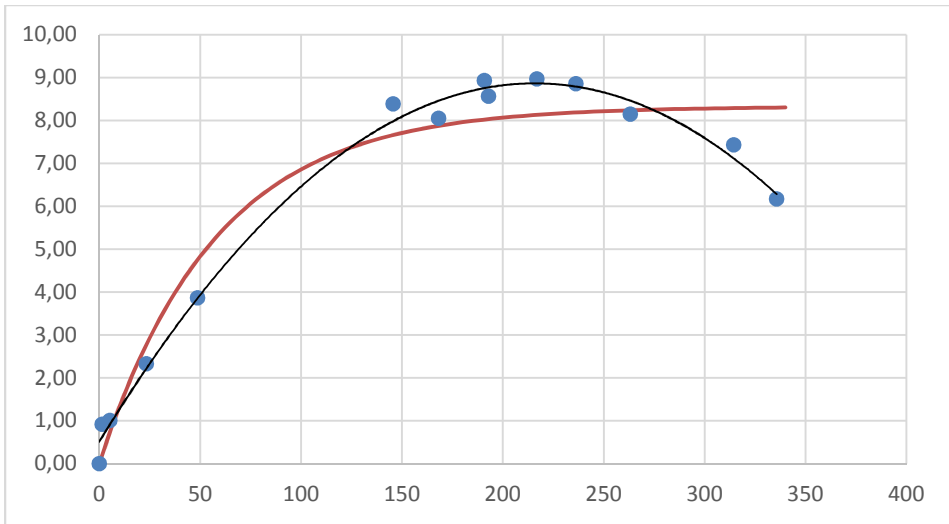
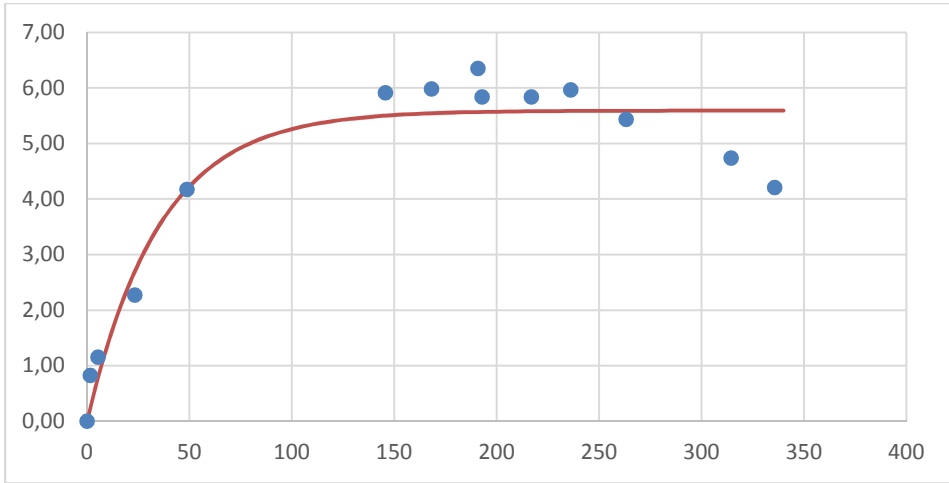
$\Delta$	-1,95E+19
$\Delta a_0$	-1,74E+17
$\Delta a_1$	-5,86E+15
$\Delta a_2$	3,48E+13

a0	8,90E-03
a1	3,00E-04
a2	-1,78E-06

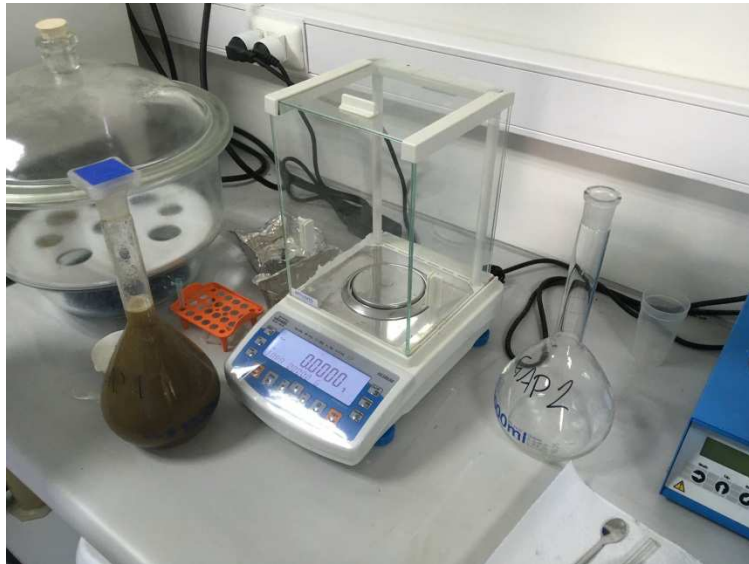
$$\sum Y = a_0 \cdot N + a_1 \cdot \sum x + a_2 \cdot \sum X^2 \cdot \sum XY = a_0 \cdot \sum X + a_1 \cdot X^2 + a_2 \cdot \sum X^3 \cdot \sum X^2 Y = a_0 \cdot \sum x^2 + a_1 \cdot \sum x^3 + a_2 \cdot \sum x^4$$

Anejo 28, En orden descendente, representación gráfica del modelado de la máxima generación de gas de los viales con cenizas añadidas. En el eje de las X se encuentran las horas acumuladas. En el eje de las Y, los mL de gas generados.









Fotografía 1, Balanza digital y matraz aforado con sustrato.



Fotografía 2, Digestores discontinuos que Angelidaki et al, (2009) utilizan, junto con el septum que lo cierra.



Fotografía 5, Mufla.



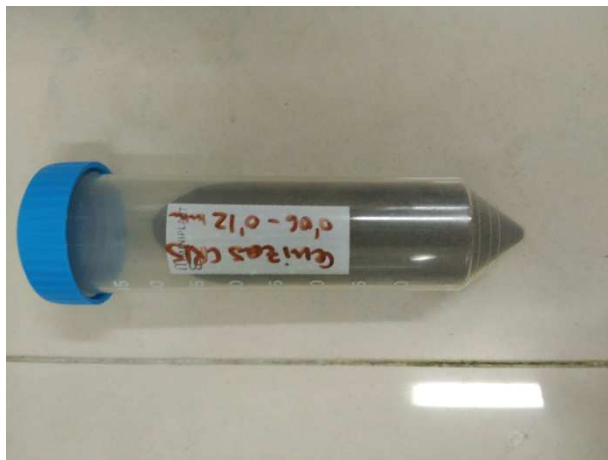
Fotografía 6, con 25 mL de disol  
bos numerados para p



Fotografía 7, embudo generador de vacío.



Fotografía 8, Solución digestora y catalítica para el cálculo de la DQO.



Fotografía 9, Cenizas a utilizar en el trabajo.

Fotografía 13, baño móvil con regulador de temperatura.



Fotografía 12, tubos sellados y clasificados.



Fotografía 10, Sello para los septum de goma que tapan los digestores.



Fotografía 11, Inóculos Chile Tabaco y Aasa.

