

Anexos

Anexo 1. Cálculos de diseño del biodigestor tubular anaerobio.

1. Volumen líquido

$$V_L = CD * TRH$$

Donde,

V_L =Volumen líquido

CD=Carga diaria

TRH= Tiempo de retención hidráulica

Considerando el promedio de estiércol producido por cada cerdo (en este caso se toman la carga de dos cerdos por biodigestor) y la relación de agua mayor de 1:10 para determinar el mayor volumen de operación.

CD = kilogramos de estiércol * relación agua de lavado

$$CD = 3 \text{ Kg} * \frac{10 \text{ L}}{1 \text{ Kg}} = 30 \text{ L}$$

Teniendo en cuenta la carga diaria se calculó el volumen líquido que corresponde al 75 % del volumen total, considerando el tiempo de retención hidráulica de mayor duración:

$$V_L = 30 \text{ L} * 8 \text{ días} = 240 \text{ L}$$

2. Volumen total

El volumen total es igual a la suma del volumen líquido y el volumen gaseoso:

$$V_t = V_L + V_G$$

V_T = Volumen total

V_L =Volumen líquido

V_G =Volumen gaseoso

$$V_T = \frac{V_L}{0,75} = \frac{240 \text{ L}}{0,75} = 320 \text{ L} \cong 0,32 \text{ m}^3$$

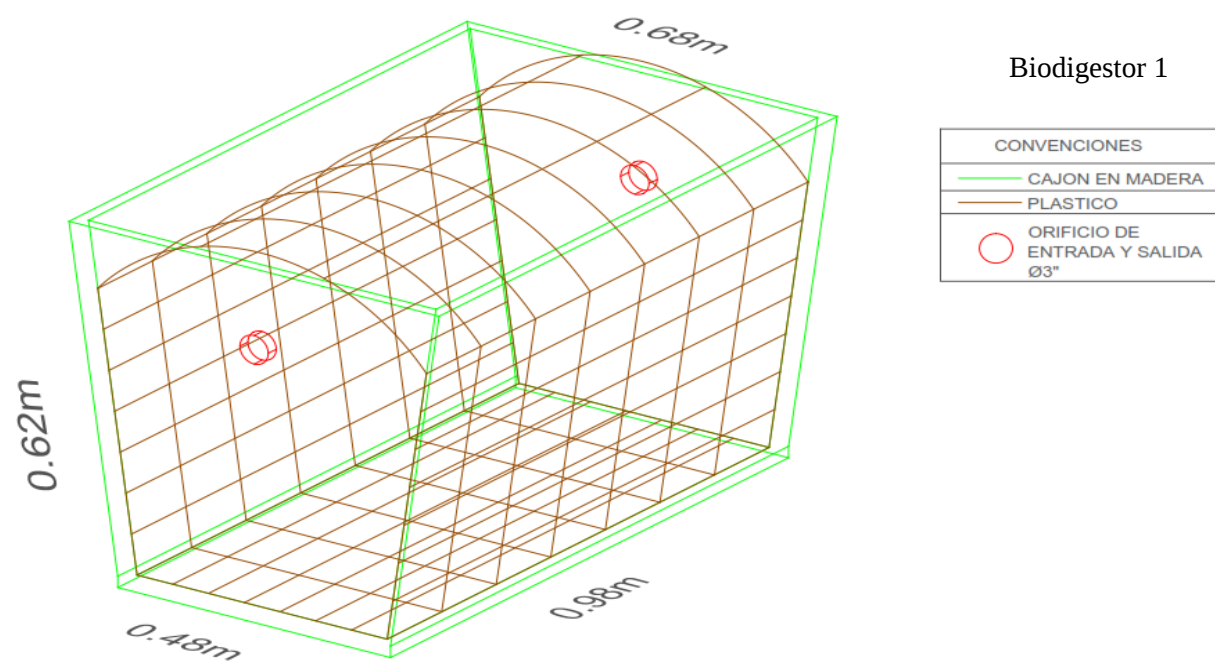
$$V_G = 320 \text{ L} - 240 \text{ L} = 80 \text{ L}$$

3. Longitud del biodigestor

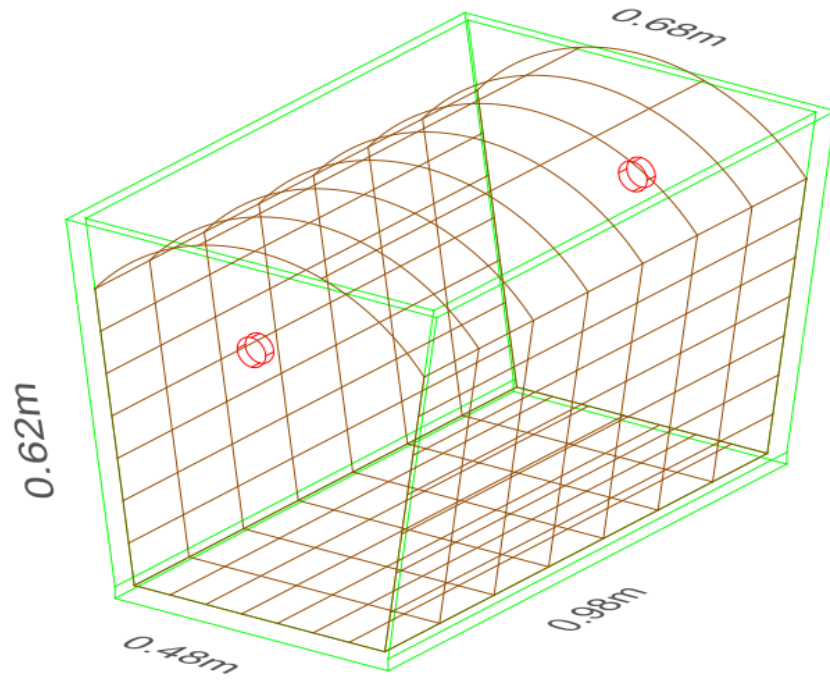
Teniendo en cuenta que para el ancho del rollo de un (1) metro le corresponde un radio de 0,32m se tiene que:

$$L = \frac{V_t}{(\pi x r^2)} = \frac{0,32}{(\pi x 0,32^2)} = 0,99 \text{ m}$$

Anexo 2. Diseño de los biodigestores tubulares anaerobios a escala piloto realizados en software AutoCAD 2015.

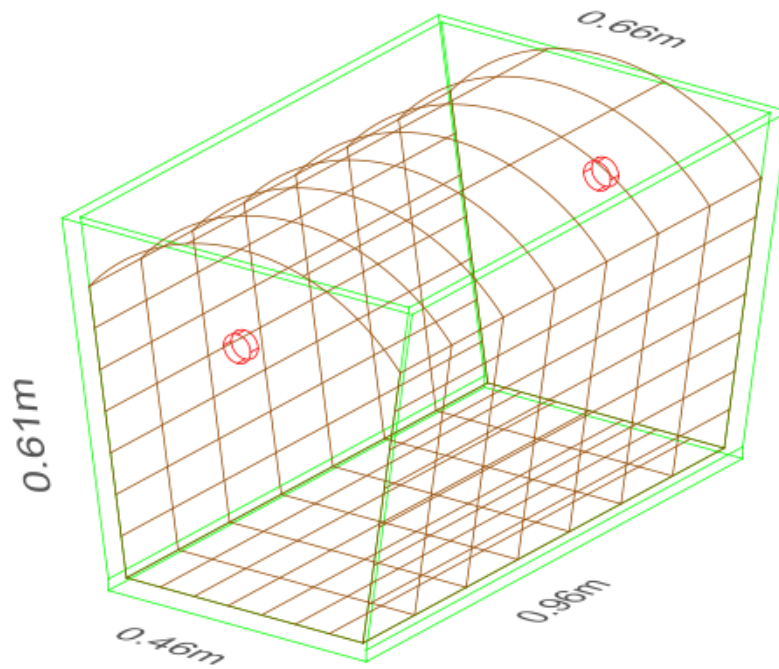


Biodigestor 2



CONVENCIONES	
—	CAJON EN MADERA
—	PLASTICO
○	ORIFICIO DE ENTRADA Y SALIDA Ø3"

Biodigestor 3



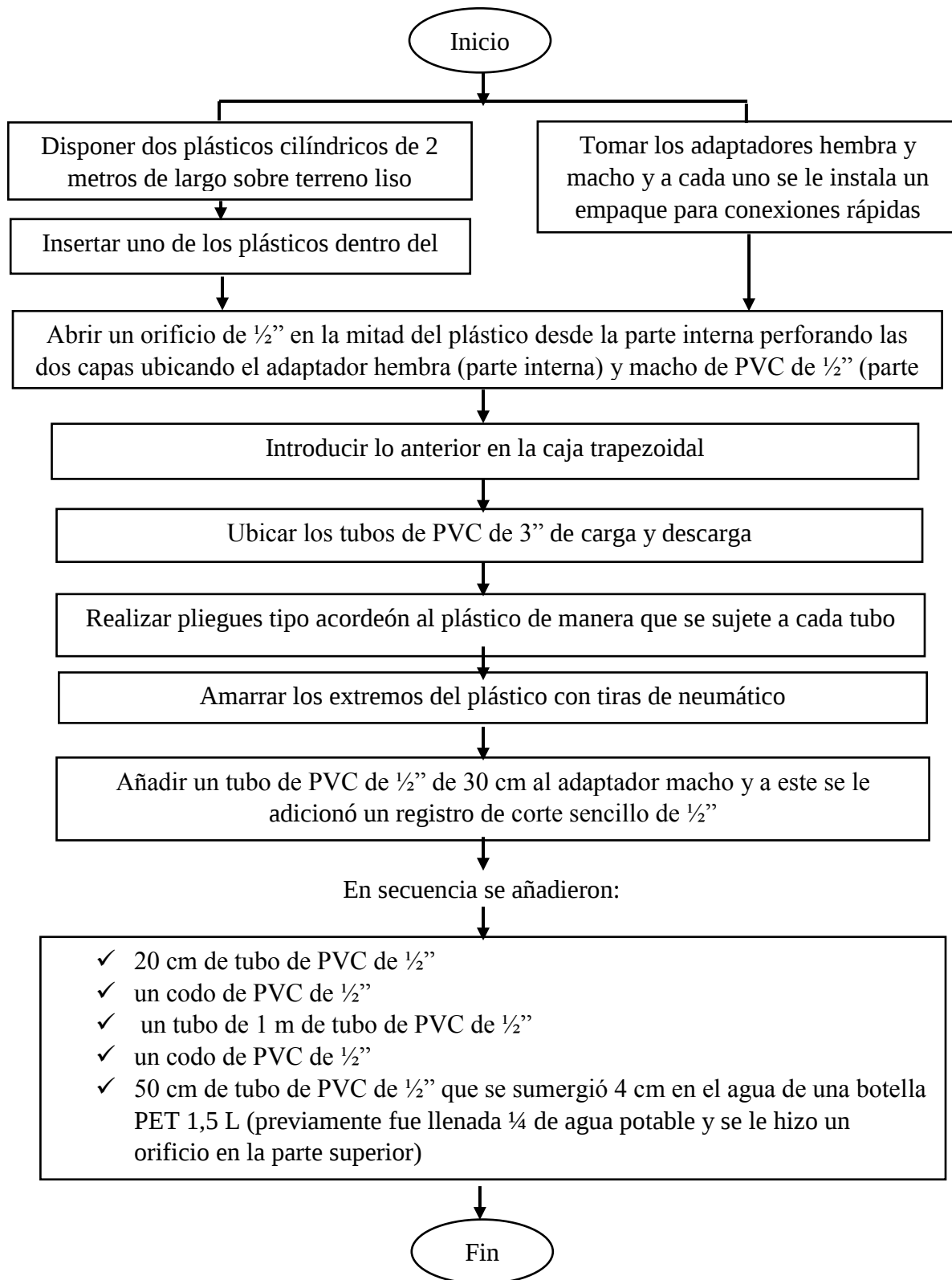
CONVENCIONES	
—	CAJON EN MADERA
—	PLASTICO
○	ORIFICIO DE ENTRADA Y SALIDA Ø3"

Anexo 3. Materiales para la elaboración de los biodigestores a escala piloto.

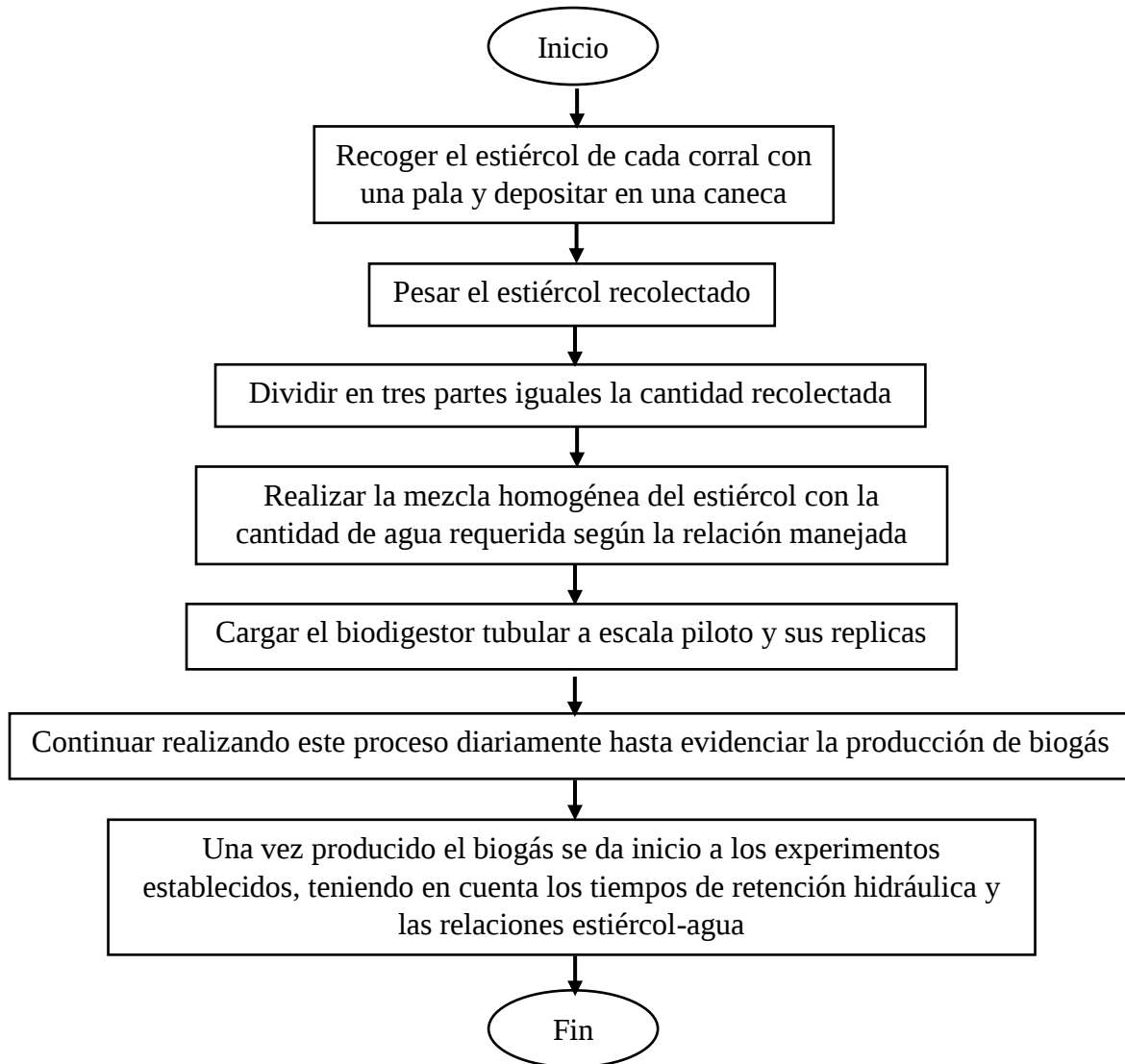
Material	Cantidad (Por unidad)	Total
Plástico negro polietileno calibre 6	4 m	12 m
Tubo de PVC (3")	2 m	6 m
Adaptador de PVC de 1/2" de diámetro interno (macho/hembra)	1 uds.	3 uds.
Empaques para conexiones rápidas	2 uds.	6 uds.
Tiras de neumáticos de 2 y 5 cm de ancho	10 uds. (2 neumáticos)	30 uds. (6 neumáticos)
Tubo de PVC de 1/2"	2 m	6 m
Codo liso PVC 1/2"	2 uds.	6 uds.
Registro corte sencillo (1/2")	1 unid.	3 uds.
Pegamento para unir piezas de PVC	-	1
Lija de agua	-	2
Botellas PET 1,5 L	1	3

Nota: Cantidad de elementos requeridos para la construcción del biodigestor y sus réplicas por Cubillos D, Huertas D, 2018.

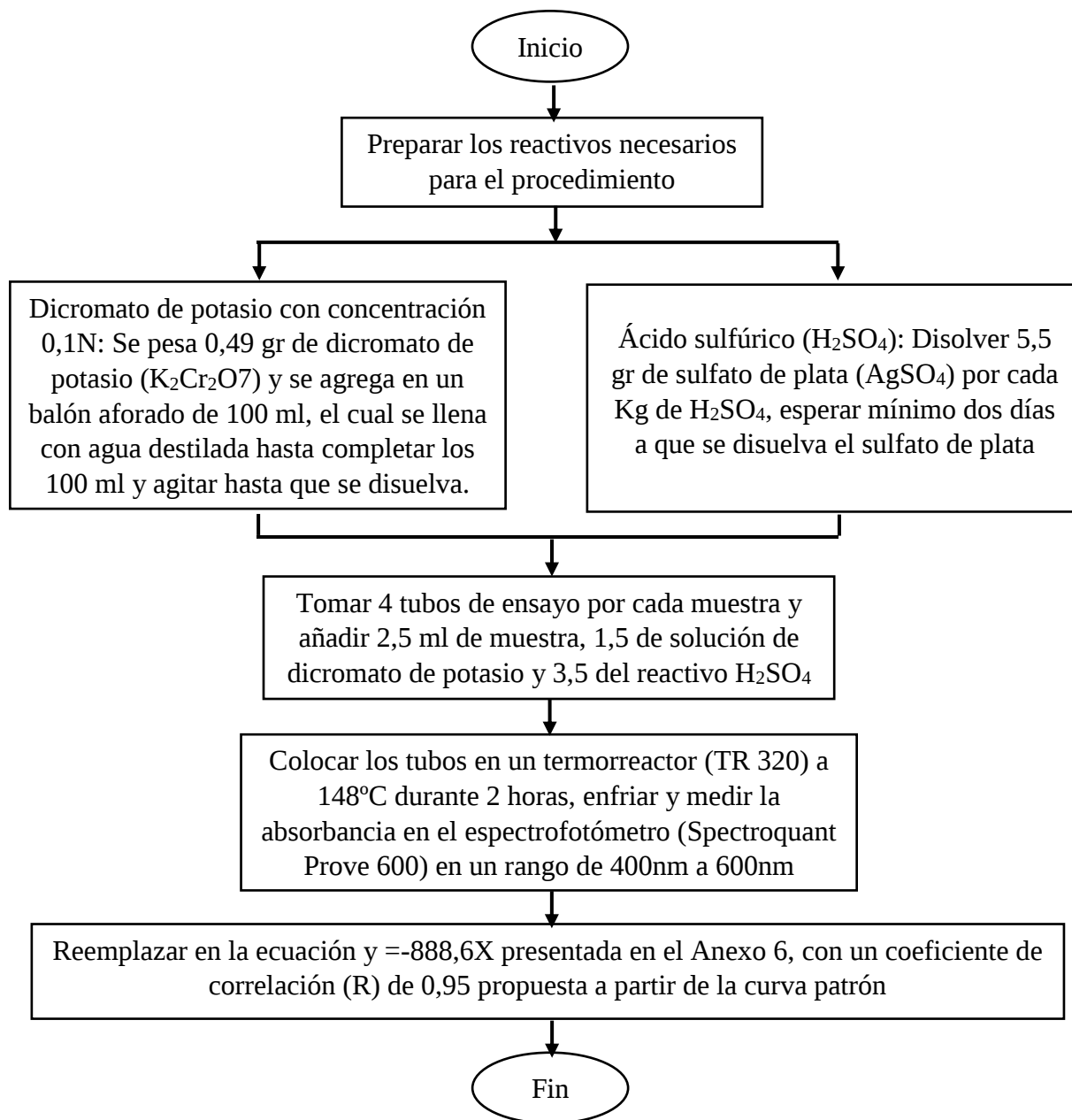
Anexo 4. Procedimiento para realización de los biodigestores tubulares anaerobios.



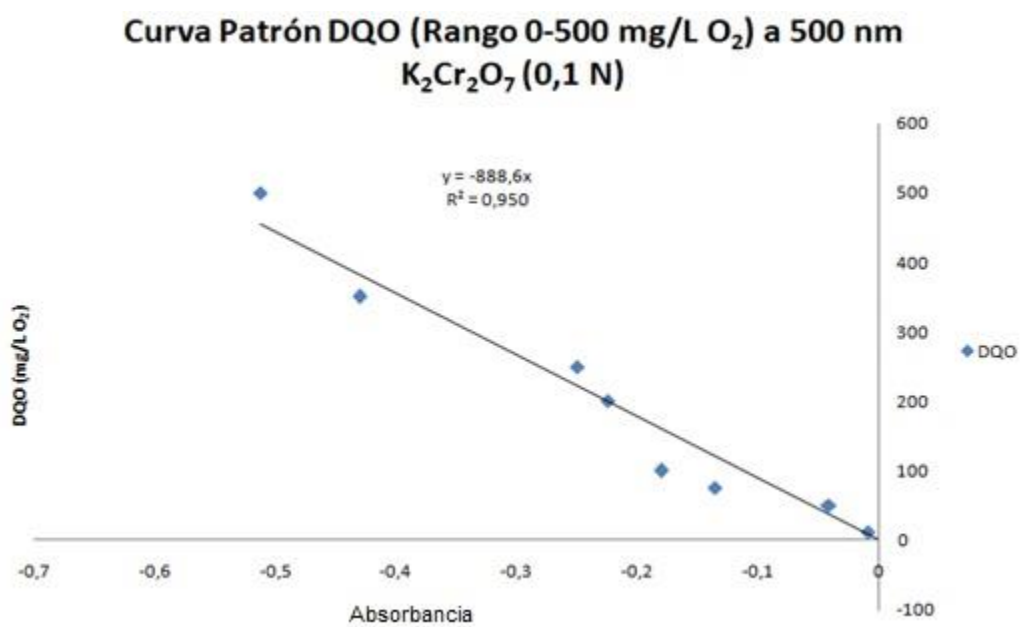
Anexo 5. Procedimiento para realizar la fase de alimentación y arranque del biodigestor tubular anaerobio.



Anexo 6. Procedimiento para realizar la Demanda Química de Oxígeno (DQO).



Anexo 7. Curva de calibración para la determinación de DQO. Absorbancia vs. Concentración.



Fuente: Rojas, 2018.

Anexo 8. Base de datos realizada en Excel 2013 a partir de los muestreos realizados.

Experi.	Parámetro	Potencial de hidrógeno (pH)				Conductividad (µs/cm)				Temperatura (° C)			
	Dato	1	2	3	$\bar{X}$	1	2	3	$\bar{X}$	1	2	3	$\bar{X}$
TRH 8 días (1:10)	Entrada (E)	7,5	7,5	7,5	7,5	1362	1362	1362	1362	25	25	25	25
	Salida (S)	6,5	6,6	6,6	6,6	597,2 3	623,42	615,2	611,95	27	27	27	27
TRH 8 días (1:7)	Entrada (E)	7,8 4	7,8 4	7,8 4	7,8 4	1465	1465	1465	1465	24	24	24	24
	Salida (S)	6,7 2	6,6 9	6,7 2	6,7 1	415,2	427,1	421,8	421,37	28	28	28	28
TRH 8 días (1:4)	Entrada (E)	8,2 1	8,2 1	8,2 1	8,2 1	1491	1491	1491	1491	25	25	25	25
	Salida (S)	6,9 8	6,9 9	6,9 0	6,9 6	692	689,12	682,5 2	687,88	26	26	26	26
TRH 5 días (1:10)	Entrada (E)	7,3 9	7,3 9	7,3 9	7,3 9	1342	1342	1342	1342	24	24	24	24
	Salida (S)	6,8 2	6,7 6	6,8 3	6,8 0	1041	976,14	925,2 1	980,78	27	27	27	27
TRH 5 días (1:7)	Entrada (E)	7,6 5	7,6 5	7,6 5	7,6 5	1660	1660	1660	1660	24	24	24	24
	Salida (S)	6,7 0	6,7 1	6,7 5	6,7 2	948,5 2	915,61	901,2	921,78	27	27	27	27
TRH 5 días (1:4)	Entrada (E)	7,9 8	7,9 8	7,9 8	7,9 8	1747	1747	1747	1747	26	26	26	26
	Salida (S)	6,5 3	6,5 2	6,6 8	6,5 8	1198, 6	1073,5 2	996,3 1	1089,4 8	27	27	27	27

Experi.	Par	Sólidos sedimentables (mL /L)				Sólidos suspendidos totales (mg/L)				Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)			
	Dat o	1	2	3	$\bar{X}$	1	2	3	$\bar{X}$	1	2	3	$\bar{X}$
TRH 8 días (1:10)	(E)	54	54	54	54	2516, 6	2516, 6	2516, 6	2516, 6	2149, 3	2149, 3	2149, 3	2149, 3
	(S)	8	10	16	11, 3	528	428	692	549,3 3	508,3	404,7	604,5	505,8
	(%)	85, 0	81, 3	70, 1	78, 8	79,02	82,99	58,45	78,17	76,35	81,17	71,87	76,4
TRH 8 días (1:7)	(E)	58	58	58	58	3062, 3	3062, 3	3062, 3	3062, 3	2308, 3	2308, 3	2308, 3	2308, 3
	(S)	10	5	12	9	532	550	659,8	580,6 0	353	202	380	311,6
	(%)	82, 7	91, 3	79, 3	84, 4	82,63	82,04	78,45	81,04	84,71	91,25	83,54	86,5
TRH 8 días (1:4)	(E)	60	60	60	60	3121, 6	3121, 6	3121, 6	3121, 6	2395, 7	2395, 7	2395, 7	2395, 7
	(S)	12	15	8	11, 6	602	736	739,6	692,5 3	369,3	434,9	640	481,4 0
	(%)	80	75	86, 6	80, 5	80,72	76,42	76,31	77,82	84,59	81,85	73,29	79,91
TRH 5 días (1:10)	(E)	54	54	54	54	2309, 3	2309, 3	2309, 3	2309, 3	2100, 3	2100, 3	2100, 3	2100, 3
	(S)	9	12	15	12	713	719	640	690,6 7	610,8	648	623,1	627,3 0
	(%)	72, 2	62, 9	66, 6	77, 7	69,06	70,44	69,92	70,09	70,92	69,15	70,33	70,13
TRH 5 días (1:7)	(E)	68	68	68	68	2706, 6	2706, 6	2706, 6	2706, 6	2236, 3	2236, 3	2236, 3	2236, 3
	(S)	15	10	18	14, 3	642,7	629	683	651,5 7	544	419,5	447,4	470,3 0
	(%)	77, 9	85, 2	73, 5	78, 9	76,25	76,76	74,77	75,93	75,67	81,24	79,99	78,97
TRH 5 días (1:4)	(E)	72	72	72	72	3186, 6	3186, 6	3186, 6	3186, 6	2708, 4	2708, 4	2708, 4	2708, 4
	(S)	15	20	18	17, 6	986	942	958,6	962,2 0	877,1	830,3	823,6	843,6 7
	(%)	87, 5	83, 3	79, 1	75, 4	77,6	77,44	79,92	69,81	67,62	69,34	69,59	68,85

Experimento	Parám	Demanda biológica de oxígeno (mg/L O ₂)				Demanda química de oxígeno (mg/L O ₂)			
	Dato	1	2	3	$\bar{X}$	1	2	3	$\bar{X}$
TRH 8 días (1:10)	(E)	1317	1317	1317	1317	19710,0 1	19710,0 1	19710,0 1	19710,0 1
	(S)	266	300	271	279	3402,69	3807,12	3718,47	3642,76
	(%)	79,80	77,22	79,42	78,82	85,63	83,92	84,29	81,52
TRH 8 días (1:7)	(E)	1455,6 7	1455,6 7	1455,6 7	1455,6 7	23672,4 9	23672,4 9	23672,4 9	23672,4 9
	(S)	236	214	224	224,67	2437,58	2922,84	2634,04	2664,82
	(%)	84,19	85,66	84,99	84,57	90,96	89,16	90,23	88,74
TRH 8 días (1:4)	(E)	1492,3 3	1492,3 3	1492,3 3	1492,3 3	26954,4 1	26954,4 1	26954,4 1	26954,4 1
	(S)	591	612	589	597,33	6660,06	5682,60	4789,55	5710,74
	(%)	59,40	57,96	59,54	59,97	66,21	71,17	75,70	78,81
TRH 5 días (1:10)	(E)	1198,6 7	1198,6 7	1198,6 7	1198,6 7	16654,3 0	16654,3 0	16654,3 0	16654,3 0
	(S)	560	565	524	549,67	6235,62	6124,31	6248,36	6202,76
	(%)	53,28	52,86	56,28	54,14	62,56	63,23	62,48	62,76
TRH 5 días (1:7)	(E)	1377	1377	1377	1377	17396,1 5	17396,1 5	17396,1 5	17396,1 5
	(S)	605	599	607	603,67	5871,87	5651,50	5553,75	5692,37
	(%)	56,06	56,50	55,92	56,16	66,25	67,51	68,07	67,28
TRH 5 días (1:4)	(E)	1454	1454	1454	1454	17924,4 1	17924,4 1	17924,4 1	17924,4 1
	(S)	698,00	701,00	694,00	697,67	7896,69	7362,37	6931,08	7396,71
	(%)	51,994	51,788	52,270	52,02	55,94	58,93	61,33	58,73