

# MAESTRÍA EN SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS A PARTIR DE UN SISTEMA PILOTO A SER INSTALADO EN LA PARROQUIA PIFO, BARRIO EL BELÉN”**



# INTRODUCCIÓN

CONSTITUCIÓN



DEL ECUADOR

Agua como derecho esencial para la vida



Objetivo 3: “Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones”

Política 6.6: “Fomentar en zonas rurales el acceso a ... saneamiento básico”



huella hídrica total > 1 millón m<sup>3</sup>,  
96% a huella hídrica gris

PLAN DE DESARROLLO  
Y ORDENAMIENTO  
TERRITORIAL  
DE  
TUMBACO



▶ Déficit alcantarillado: 17,5 % del total de hogares

## Objetivo general

Diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas a partir de un sistema piloto a ser instalado en la parroquia Pifo, barrio El Belén.

## Objetivos específicos

- Avalar el flujo de agua residual del Barrio El Belén contemplado en el diseño e implementación del sistema de alcantarillado.
- Diseñar, implementar y monitorear un sistema piloto de biodigestión para tratar aguas residuales domésticas del barrio El Belén.
- Realizar un plan de muestreo para las diferentes etapas de tratamiento.
- Medir la calidad de agua cruda y agua tratada a través de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), tensoactivos, potencial hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), sólidos suspendidos totales (SST), coliformes totales, nitrógeno y fósforo.
- Diseñar e implementar un sistema piloto de secado de lodos.



# METODOLOGÍA



Administrativa



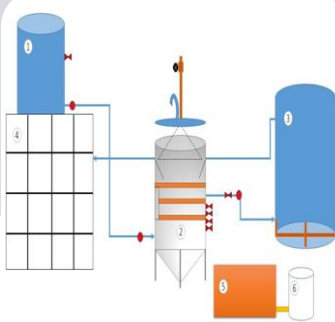
Normativa



Lugar



Encuesta



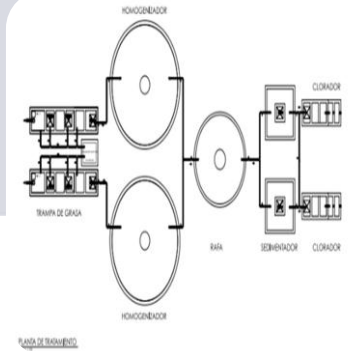
Diseño Piloto



Monitoreo



Análisis estadístico



Escala real

# UBICACIÓN



El Belén es un barrio rural de la Parroquia Nororiental de Quito Pifo.



Puente Peatonal Entrada Itulcachi - Vía E35



# PLAN MUESTREO

MUESTREO: Norma INEN 2176

Puntual

Compuesto

PROPORCIÓN MC:TULSMA

$$V * x * Q_i * V_i = n * x * Q_m$$

MEDICIÓN CAUDAL:  $Q = \frac{V}{t}$

**HIDRO AMBIENTAL**  
CADENA DE CUSTODIA DE MUESTRAS

Laboratorio: HIDROAMBIENTAL  
Empresa: \_\_\_\_\_  
Responsable del muestreo: \_\_\_\_\_

Tipo de Muestra:  
Compuesto   
Puntual

CONDICIONES DE LA MUESTRA CAMPO:

ITEM	PARAMETRO	Código Muestra
1	Temperatura	
2	pH	
3	Caudal	

ANALISIS A REALIZAR:

ITEM	PARAMETRO	Código Muestra
1	DQO	
2	Tensoactivos	
3	Coliformes	
4	pH	
5	Temperatura	
6	Conductividad	
7	Nitrógeno	
8	Fósforo	

OBSERVACIONES:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Responsable del muestreo      Recibe muestra en laboratorio

Nombre: \_\_\_\_\_      Nombre: \_\_\_\_\_



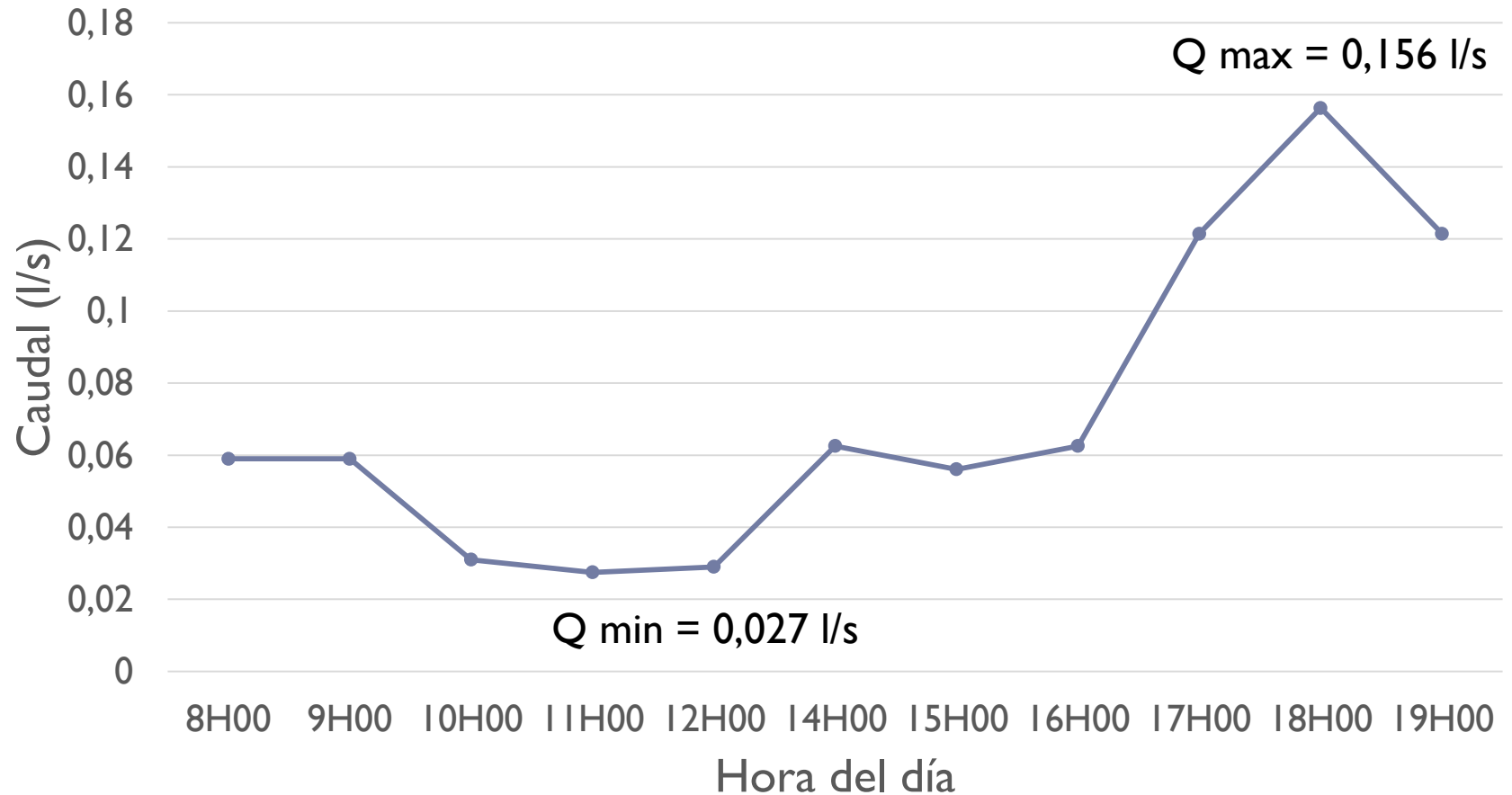
Ensayo	Tipo de análisis	Métodos	Unidades
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Digestión/colorimétrico	APHA 5220D	mg/l
Tensoactivos	Extracción / colorimétrico	APHA 5540C	mg/l
pH	Electroquímico	APHA 45000G	U pH
Conductividad eléctrica	Electroquímico	EN50081-I EN50082-I EN61010-I	µS/cm
Sólidos suspendidos totales	Gravimétrico	APHA 2540 D	mg/l
Coliformes totales	Método de Tubos Múltiples (NMP)	APHA 9221F	UFC
Nitrógeno	Digestión / colorimétrico	HACH 8075	mg/l NTK
Fósforo	Digestión / colorimétrico	APHA 4500-P B-E	mg/l
Caudal	Volumen/tiempo	Descarga canal abierto	l/s



# RESULTADOS

Martes – Sábado 10 Junio 2017

## Variación del caudal sanitario (l/s)



Q med = 0.13 l/s , 5l hab

# ENCUESTA HIDROSANITARIA

ENCUESTA SANITARIA		Barrio El Belén		Parroquia: Pifo		Pichincha	
Encuesta N°		Fecha:					
Nombre y apellido del jefe de hogar:							
<b>DATOS DE LA VIVIENDA</b>							
1	Destino de la edificación	Vivienda	<input type="checkbox"/>	Comercio	<input type="checkbox"/>		
2	Número de personas	Permanentes	<input type="checkbox"/>	Ocasionales	<input type="checkbox"/>		
	Tercera edad	Hombres	<input type="checkbox"/>	Mujeres	<input type="checkbox"/>		
	Adultos	Hombres	<input type="checkbox"/>	Mujeres	<input type="checkbox"/>		
	Menos de 18 años	Hombres	<input type="checkbox"/>	Mujeres	<input type="checkbox"/>		
3	Cuenta con lavamanos	si	<input type="checkbox"/>	no	<input type="checkbox"/>	cuantos	<input type="text"/>
4	Cuenta con duchas	si	<input type="checkbox"/>	no	<input type="checkbox"/>	cuantos	<input type="text"/>
5	Cuenta con fregadero de cocina	si	<input type="checkbox"/>	no	<input type="checkbox"/>	cuantos	<input type="text"/>
6	Cuenta con lavadora de ropa	si	<input type="checkbox"/>	no	<input type="checkbox"/>	cuantos	<input type="text"/>
7	Cuenta con inodoro	si	<input type="checkbox"/>	no	<input type="checkbox"/>	cuantos	<input type="text"/>
8	Cuenta con jardín o huerta	si	<input type="checkbox"/>	no	<input type="checkbox"/>	área aprox.	<input type="text"/>
9	Dispone de desfogue en el patio	si	<input type="checkbox"/>	no	<input type="checkbox"/>	área aprox.	<input type="text"/>
10	Dispone de canales de cubierta	si	<input type="checkbox"/>	no	<input type="checkbox"/>	área aprox.	<input type="text"/>
<b>SERVICIO DE AGUA POTABLE</b>							
11	Dispone de servicio de agua potable	si	<input type="checkbox"/>	no	<input type="checkbox"/>		
	Si la respuesta es NO, de donde se abastece	1) Río	<input type="checkbox"/>	2) Quebrada	<input type="checkbox"/>	3) Pozo	<input type="checkbox"/>
12	Quien le brinda el servicio	Junta	<input type="checkbox"/>	EMAAPS	<input type="checkbox"/>	Otros	<input type="text"/>
13	La cantidad de agua satisface sus necesidades	si	<input type="checkbox"/>	no	<input type="checkbox"/>		
14	EL servicio es continuo	si	<input type="checkbox"/>	no	<input type="checkbox"/>		
	Si la respuesta es NO,						
	cada que tiempo dispone del servicio		<input type="checkbox"/>	1m) solo en la mañana 1) solo en la tarde 1n) solo en la noche 2) pasando un día	<input type="checkbox"/>	3) cada dos días 4) cada semana 5) periodos más prolongados	<input type="text"/>
15	Cual es su percepción del agua que le llega	incolora	<input type="checkbox"/>	inodora	<input type="checkbox"/>	insabora	<input type="checkbox"/>
<b>SERVICIO DE ALCANTARILLADO</b>							
16	Dispone de servicio de alcantarillado	si	<input type="checkbox"/>	no	<input type="checkbox"/>		
	Si la respuesta es NO, de que dispone	pozo séptico	<input type="checkbox"/>	letrina	<input type="checkbox"/>		
<b>HÁBITOS DE LOS USUARIOS</b>							
17	Qué uso le da al agua de la casa al día	lavado de ropa	<input type="checkbox"/>	cocina	<input type="checkbox"/>	comida	<input type="checkbox"/>
		limpieza	<input type="checkbox"/>	ducha	<input type="checkbox"/>	uso de baño	<input type="checkbox"/>
		lavado de vehículo	<input type="checkbox"/>	riego	<input type="checkbox"/>	otros	<input type="text"/>
<b>PRODUCTOS QUÍMICOS</b>							
18	Emplea fertilizantes y/o químicos en su huerta	si	<input type="checkbox"/>	no	<input type="checkbox"/>		
19	Qué tipo de productos	Fertilizantes	<input type="checkbox"/>	Plaguicidas / pesticidas	<input type="checkbox"/>	Otros	<input type="text"/>
<b>ENCUESTADOR</b>							
20	El agua del patio va hacia la red	si	<input type="checkbox"/>	no	<input type="checkbox"/>		
21	El agua de la cubierta va hacia la red	si	<input type="checkbox"/>	no	<input type="checkbox"/>		
Observaciones:							
<input type="text"/>							
<input type="text"/>							
<input type="text"/>							
<input type="text"/>							
<input type="text"/>							

El sábado 10 de junio de 2017

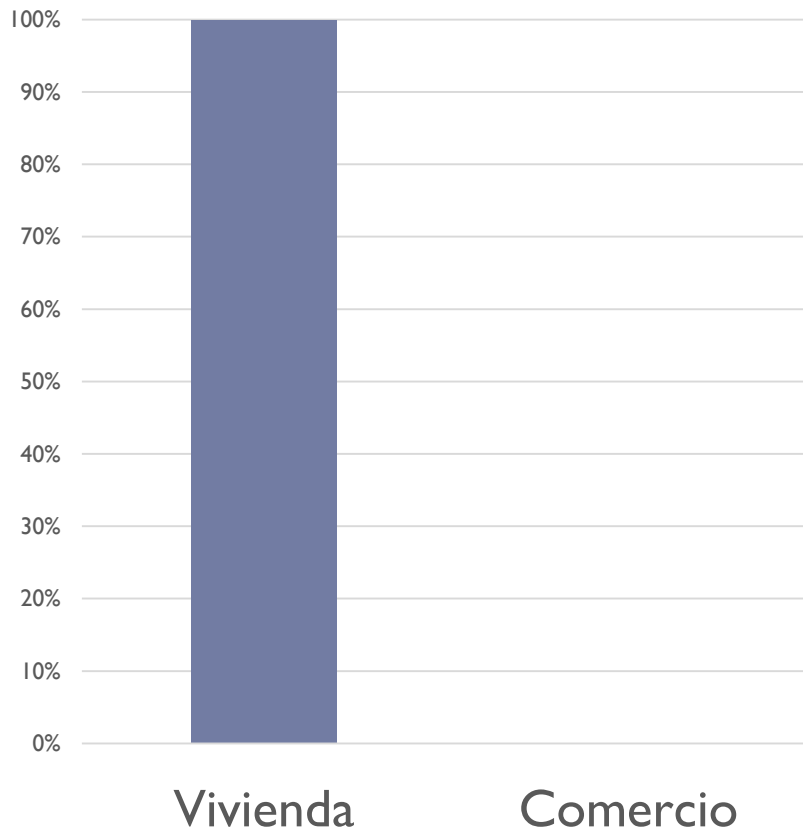


Población: 15 viviendas  
12 viviendas

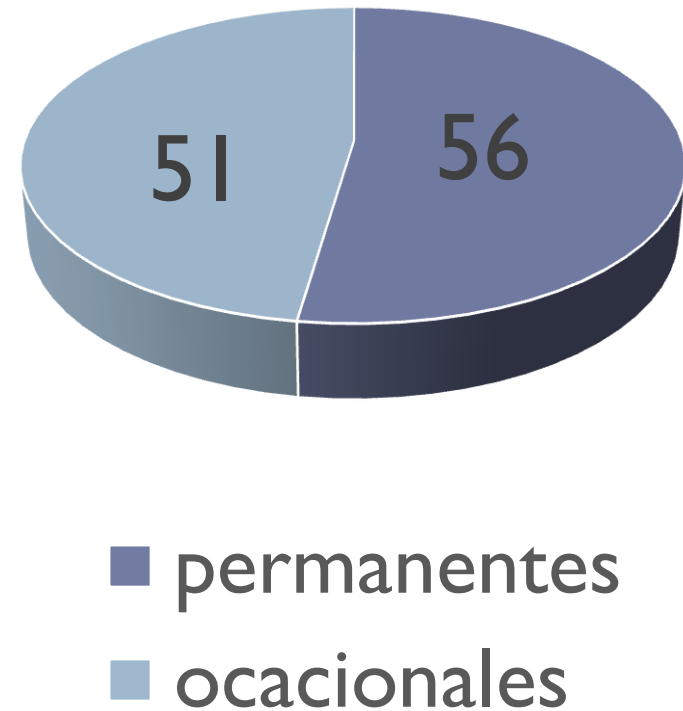


# ENCUESTA HIDROSANITARIA

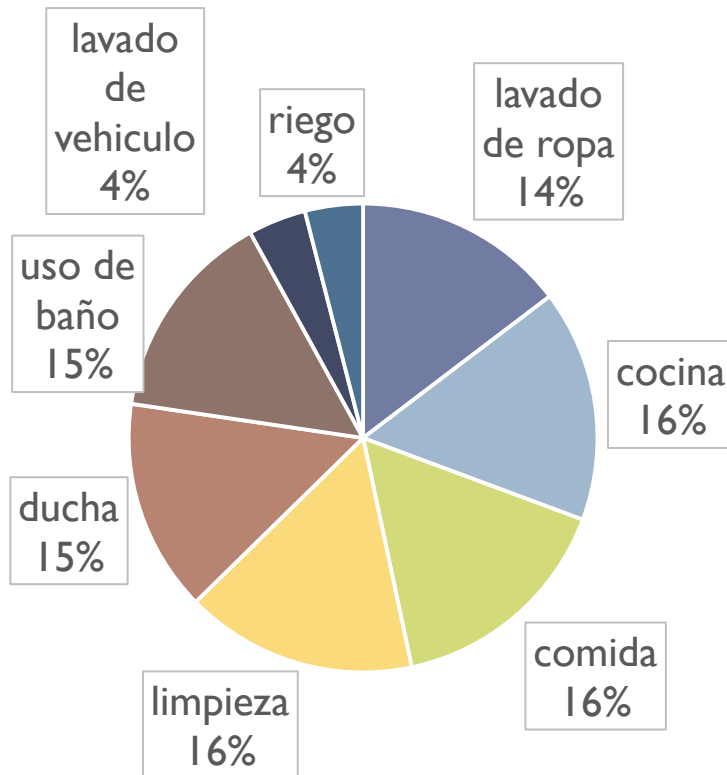
## Destino de la edificación



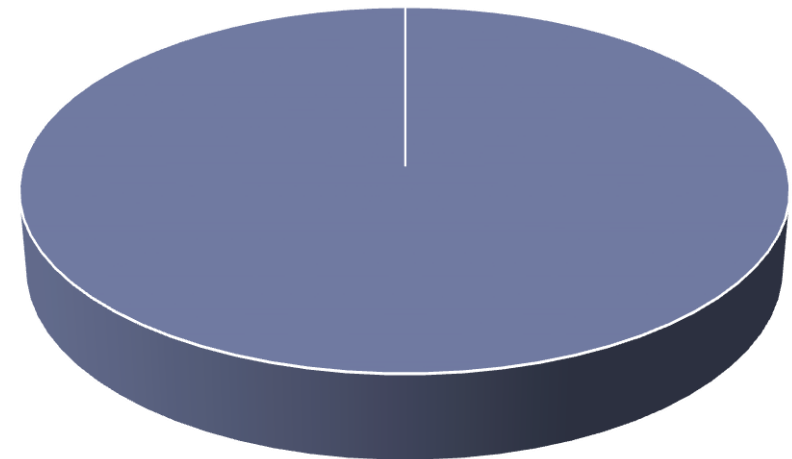
## Número de personas que habitan



## Usos del agua al día



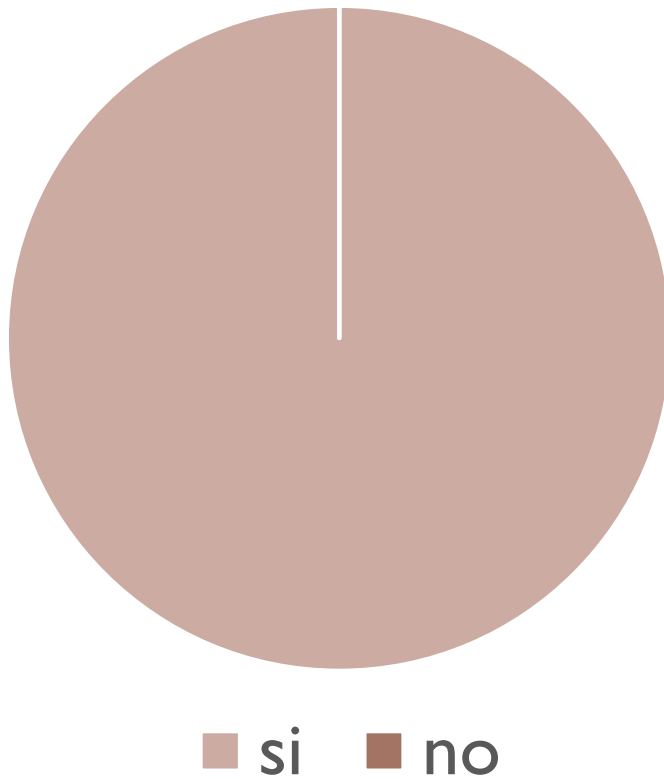
## ¿Dispone de servicio de agua potable?



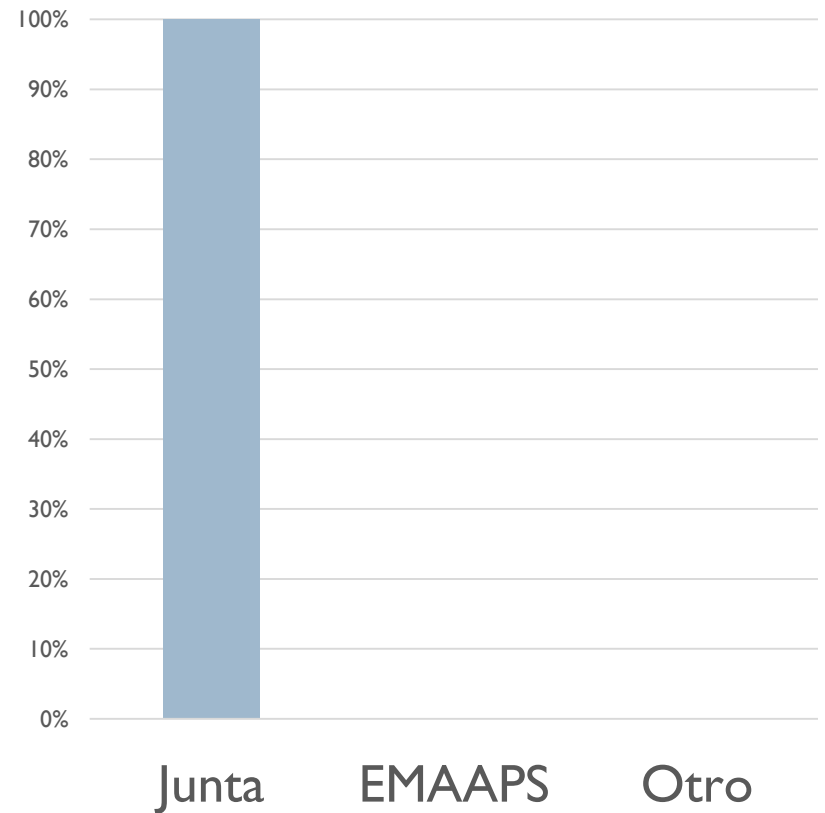
■ si ■ no

El servicio es continuo y satisface las necesidades

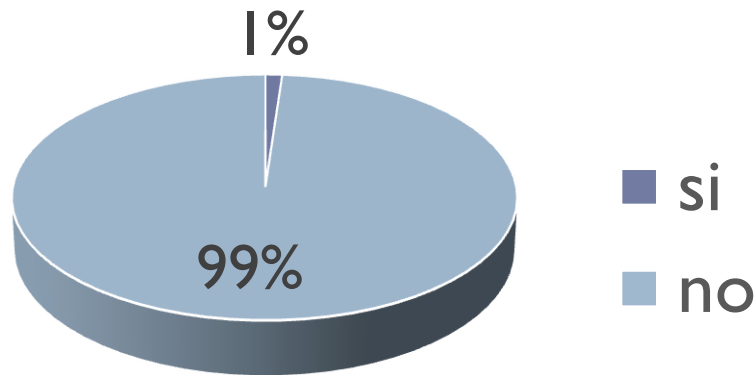
## ¿Dispone de servicio de alcantarillado?



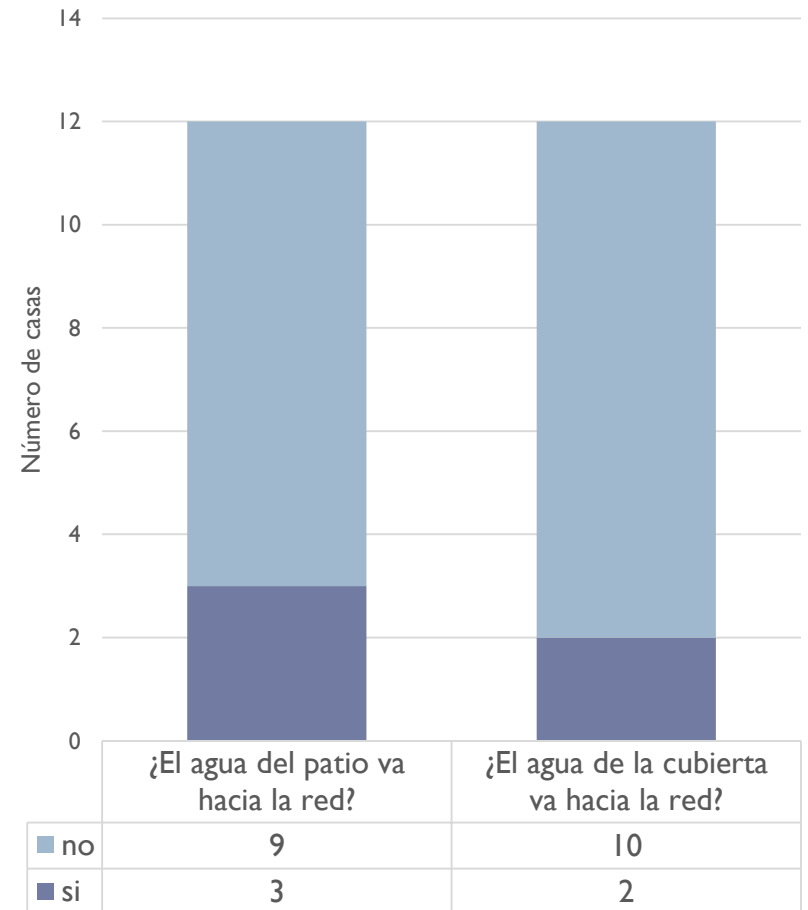
## ¿Quién el brinda el servicio?



## ¿Emplea fertilizantes y/o químicos en su huerta?



## Aporte de aguas lluvia



# DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN PILOTO



Captación



Homogenización



RAFA



Sedimentación



Filtración



Adsorción

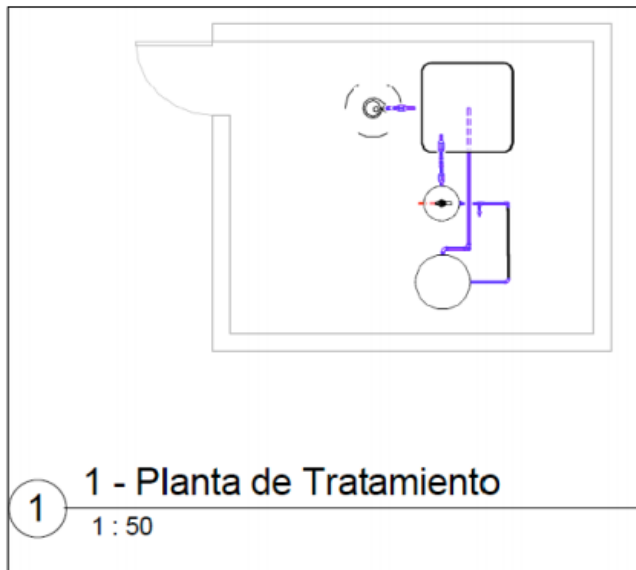
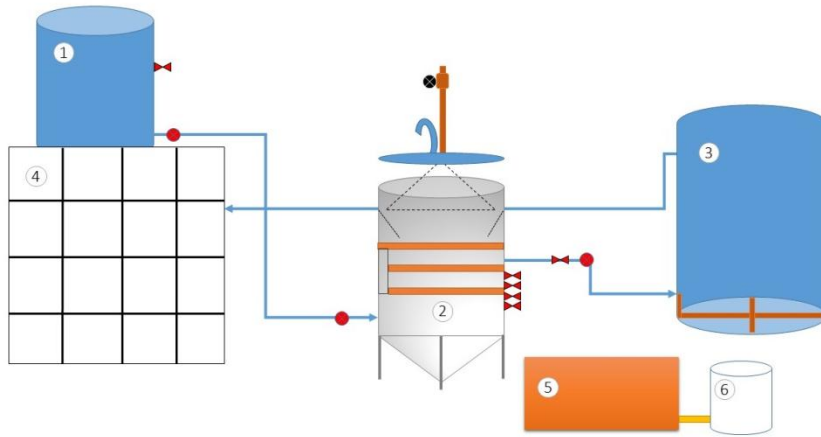


Desinfección



Lecho lodos

# DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN SISTEMA PILOTO



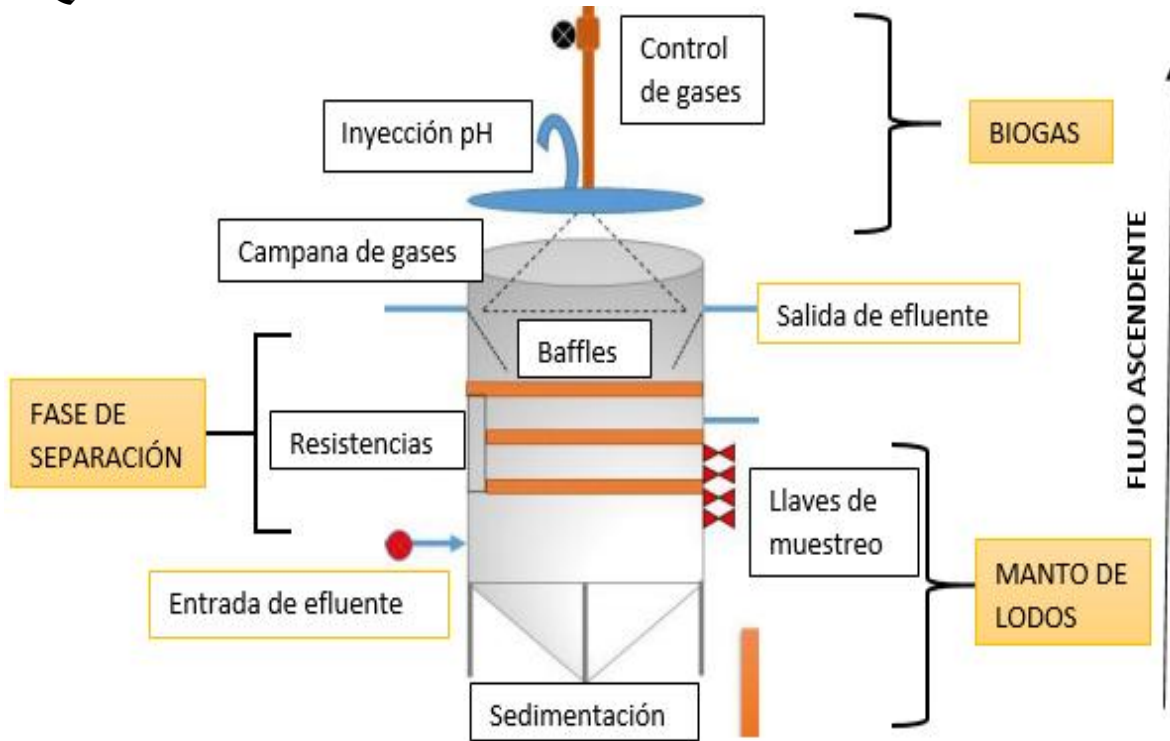
Activar Windows

# INSTALACIÓN SISTEMA TRATAMIENTO ESCALA PILOTO



# REACTOR ANAEROBIO FLUJO ASCENDENTE (RAFA)

$Q = 200 \text{ l/d}$



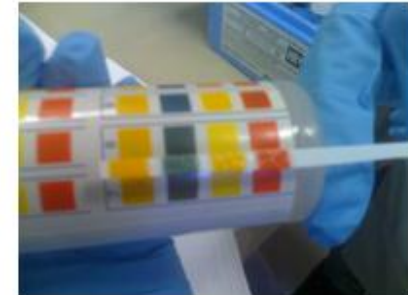
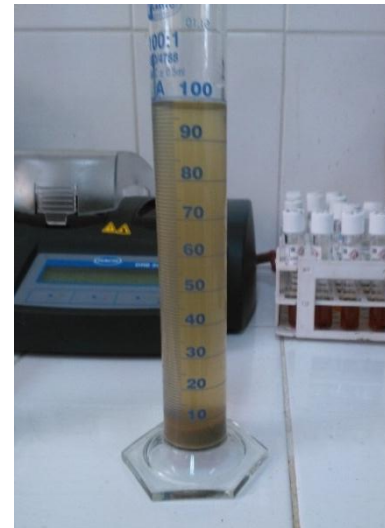
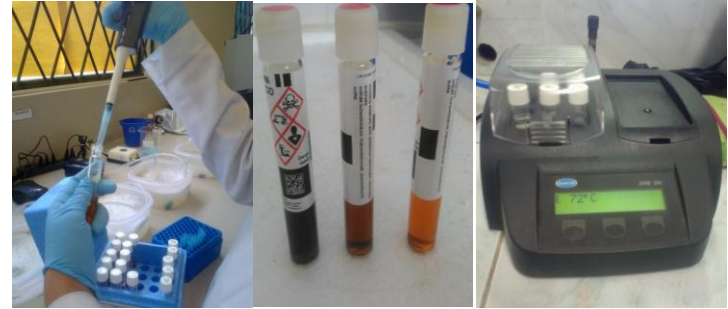
$T = 15 - 25^{\circ}\text{C}$





# CONTROL RAFA

- ▶ Chequeo del funcionamiento eléctrico.
- ▶ Medición de flujo.
- ▶ Control de temperatura, pH y conductividad.
- ▶ Revisión índice volumétrico de lodos (IVL).
- ▶ Toma de muestras.
- ▶ Ingreso agua cruda.



# DISEÑO EXPERIMENTAL

---

Muestreo probabilístico simple: 2 / semana

Diseño unifactorial

Factor controlable: tiempo biodigestión (24h, 48h)

Variable de respuesta:

$$\% \text{Remoción } DQO = \frac{DQO_{\text{entrada}} - DQO_{\text{salida}}}{DQO_{\text{entrada}}}$$

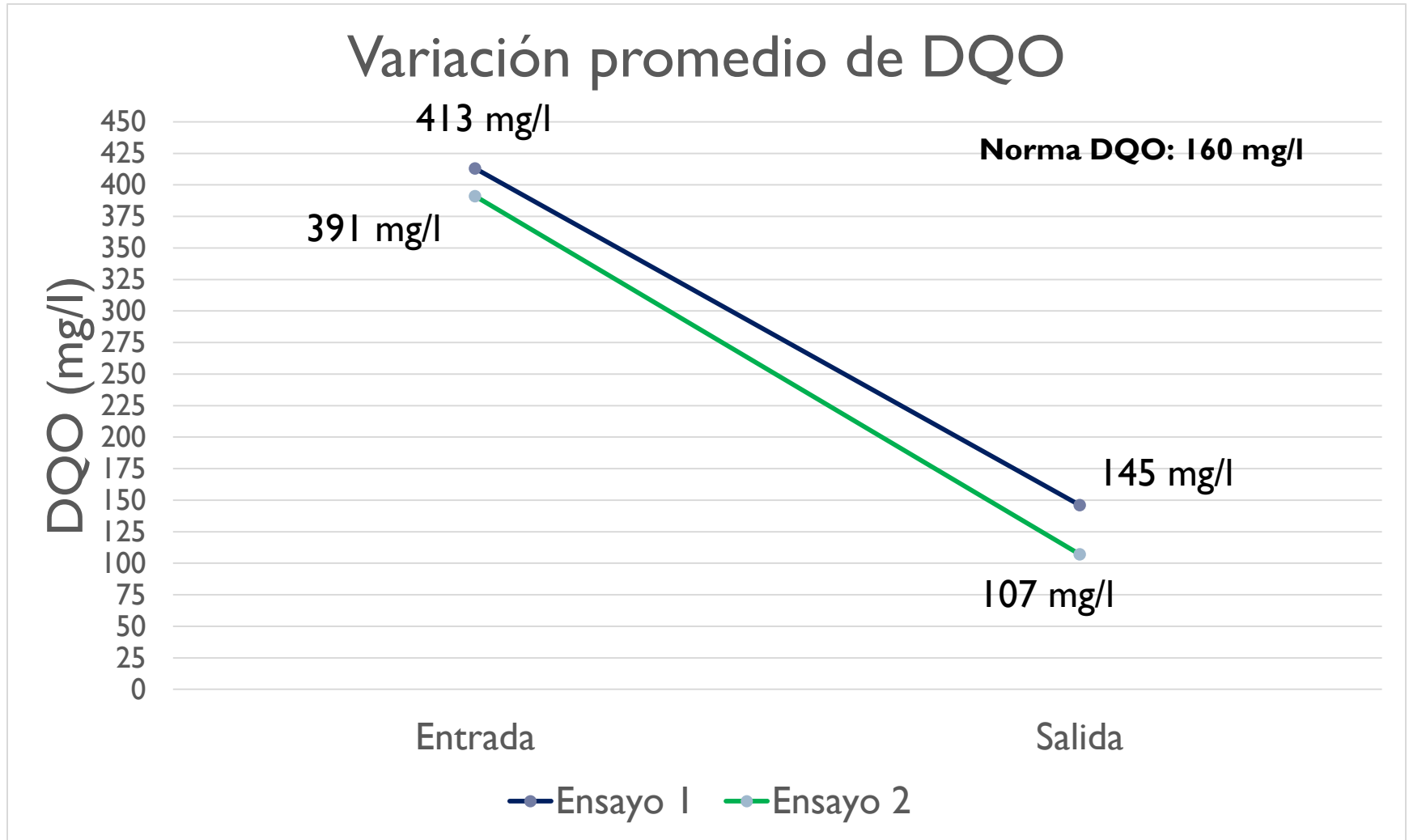
Programa: Excel

Estadística de tendencia central

---

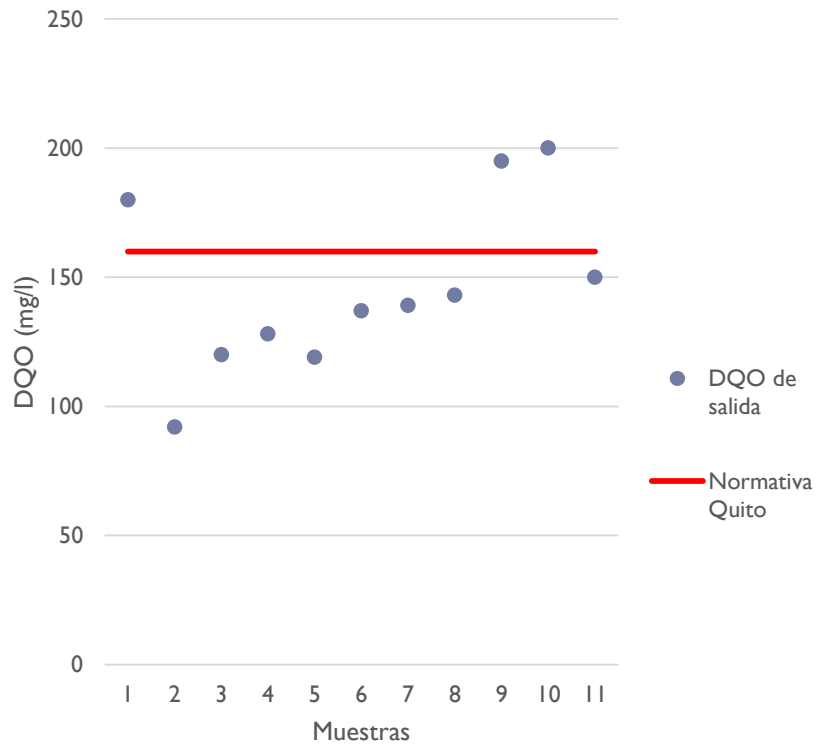


# DQO agua cruda vs agua digestada

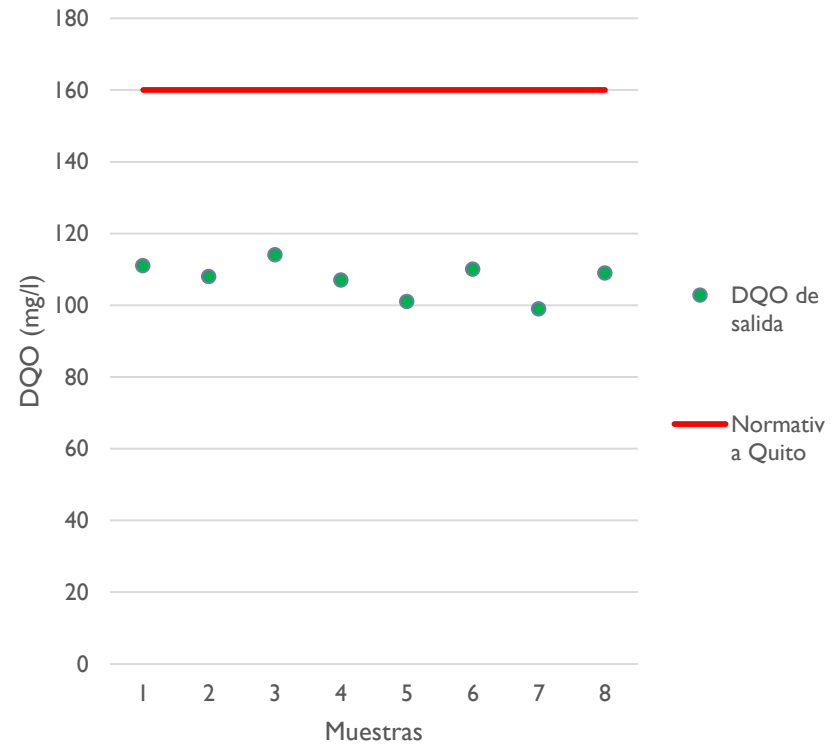


# CALIDAD AGUA DIGESTADA

DQO de salida vs. normativa Quito  
(Ensayo 1)



DQO de salida vs. normativa Quito  
(Ensayo 2)



# NORMA DESCARGA CAUCE VS AGUA CRUDA VS. AGUA TRATADA

Parámetro	Unidad	Norma		Agua cruda		Agua tratada		% de remoción	
		TULSMA	DMQ	E 1	E 2	E1	E 2	E 1	E 2
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	250	160	413	391	146	108	64,71	72,45
Tensoactivos	mg/l	0,5	0,5	1,8	1	0,4	0,2	77,78	80,00
pH		5 - 9	5 - 9	7,71	7,14	7	7	9,21	1,96
Conductividad eléctrica	mS/cm	---	---	510	390	250	150	50,98	61,54
Sólidos suspendidos totales	mg/l	100	80	75	75	<50	<50	33,33	33,33
Coliformes totales	NMP/100 ml	Remoción > al 99%	Remoción > al 99%	>2420	>2420	0	0	100,00	100,00
Nitrógeno	mg/l NTK	15	50	46,8	46,8	16,8	15,7	64,10	66,45
Fósforo	mg/l (PO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>	10	10	22,1	22,1	5,2	4,8	76,47	78,28

Fuente: Laboratorio certificado Labanncy, Hidroambiental, Universidad Central



# ESCALAMIENTO

---

Tipo escalamiento: similitud geométrica

Población actual: Entrevista Junta Parroquial

Período de diseño y Población Futura: Norma CO 10.7 –  
602 zonas rurales, título 4.2

$$Pf = Pa(1 + r)^n$$

Dotación: número de habitantes y coeficiente de retorno

$$Qmd = Cr * P * D$$

$$Qi = 0.8 * l_{tr}$$

$$Qd = Qmh + Qi + Qe$$

---



# DATOS ESCALAMIENTO

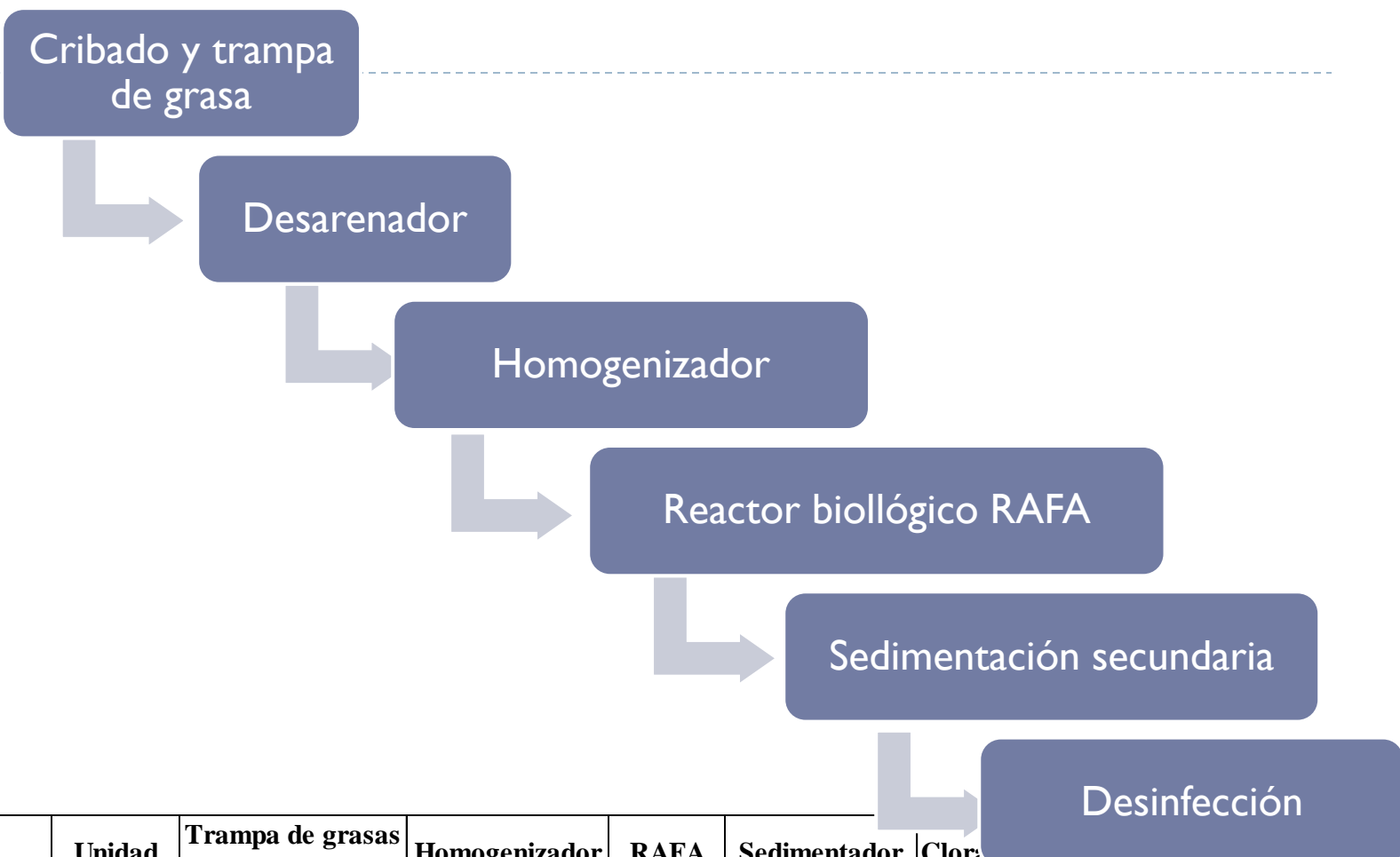
Dotación (70, 220): 141 l/habitantes -d

Norma CO 10.7 – 602

	<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
<b>Población</b>	<i>Período de diseño (años)</i>	<i>Años</i>	<i>20</i>
	<i>Población actual</i>	<i>Habitantes</i>	<i>650</i>
	<i>Población futura</i>	<i>Habitantes</i>	<i>902</i>
<b>Caudal del efluente</b>	<i>Caudal medio aforo (Qmd)</i>	<i>m<sup>3</sup>/d</i>	<i>1,25</i>
	<i>Caudal máximo (Qmax)</i>	<i>m<sup>3</sup>/d</i>	<i>4,42</i>
	<i>Caudal de diseño (Qd)</i>	<i>l/s</i>	<i>4.90</i>
<b>Calidad del efluente</b>	<i>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</i>	<i>mg/l</i>	<i>413</i>
	<i>Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)</i>	<i>mg/l</i>	<i>---</i>
	<i>Nitrógeno Total Kjeldahl (NKT)</i>	<i>mg/l</i>	<i>46,8</i>
	<i>Sólidos suspendidos totales (SST)</i>	<i>mg/l</i>	<i>75</i>
	<i>Tensoactivos</i>	<i>mg/l</i>	<i>1,8</i>
	<i>Coliformes totales</i>	<i>NMP/100 ml</i>	<i>&gt;2420</i>
<b>Meteorología</b>	<i>Fósforo total (P)</i>	<i>mg/l</i>	<i>22,1</i>
	<i>Temperatura media anual</i>	<i>°C</i>	<i>13,5</i>
	<i>Precipitación media anual</i>	<i>mm</i>	<i>1272</i>



# ETAPAS DE TRATAMIENTO DISEÑADA



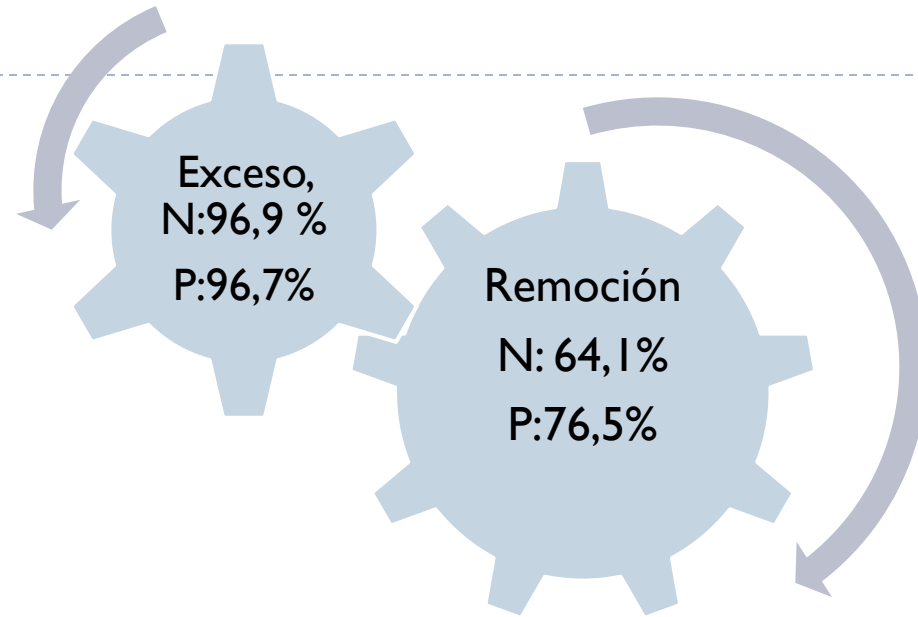
Parámetro	Unidad	Trampa de grasas /desarenador	Homogenizador	RAFA	Sedimentador	Clorador
Volumen	m <sup>3</sup>	4,41	127	88,52	28	4
Tiempo de residencia	h	0,5	12	24	6	0,5
Carga hidráulica superficial	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *día		1,87 / 40		0,65 /0,67	
Carga de sólidos superficial	Kg/m <sup>2</sup> h				0,08 / 3,9	
Carga orgánica volumétrica	g DQO/l d			1,9 / 4		
Soplador	Hp		8			





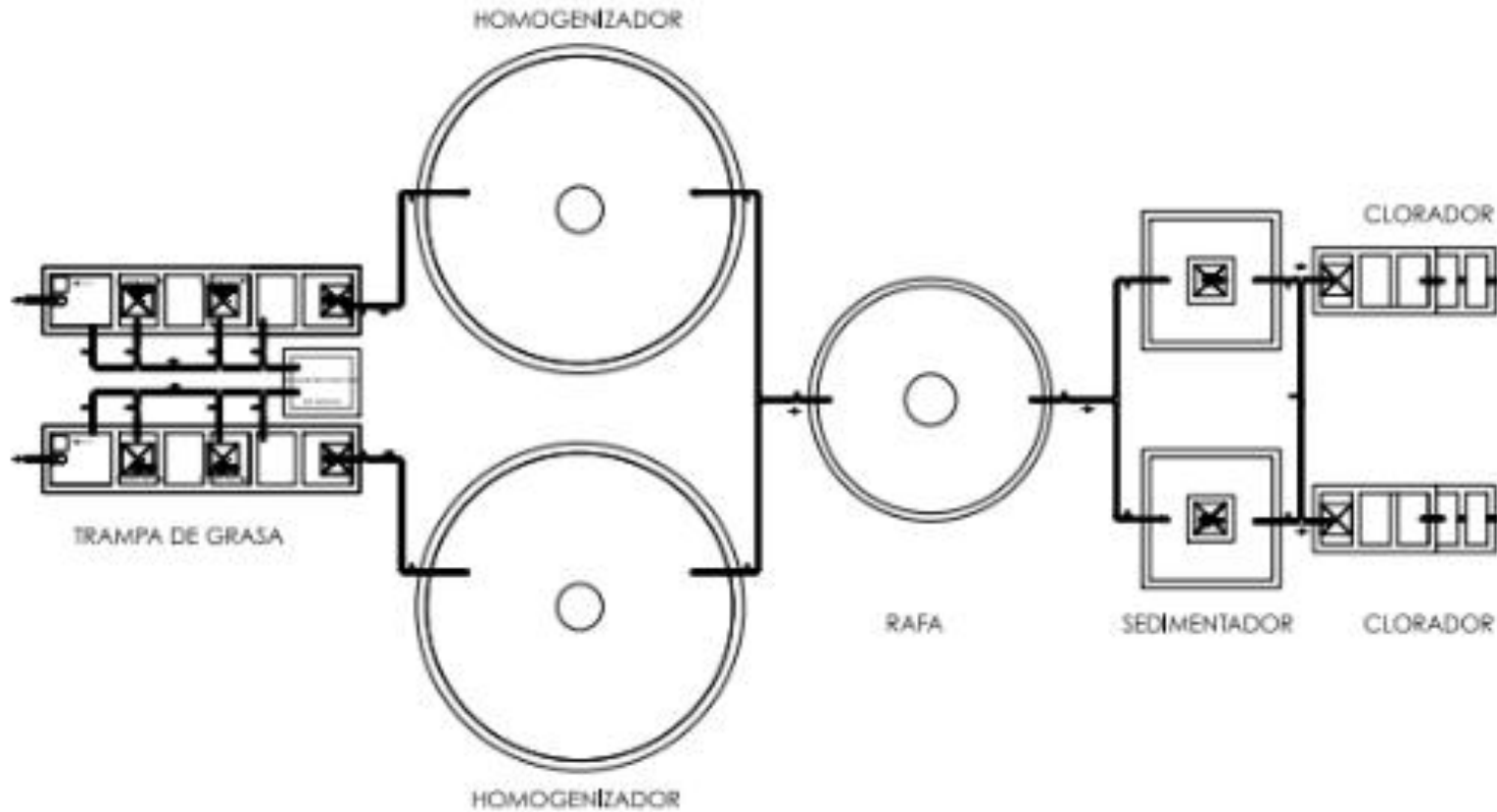
Descripción	Símbolo	Unidad	Valor	Valor bibliográfico	Referencia
Tiempo de residencia hidráulica	$\Theta$	h	24	24-48	(Metcalf & Eddy, 2003)
Potencial Hidrógeno	pH	Unidades de pH	7 – 8		(Albuja, 2017)
Carga orgánica volumétrica	COV	g DQO/l d	1.9	4-12	(Metcalf & Eddy, 2003)
Edad de lodos	$\Theta_c$	D	20	>11 a 18 °C	(Droste, 1997)
Sólidos suspendidos volátiles del reactor	SSV	mg/l	1500		(Metcalf & Eddy, 2003)
Tasa de crecimiento bacteriano	$\mu$	d <sup>-1</sup>	0.99		(Zegers, 1987)
Coefficiente de respiración endógena	$K_d$	d <sup>-1</sup>	0,94		(Metcalf & Eddy, 2003)
Coefficiente de producción máxima	Y	ng SSV/mg DBO	0.06		(Metcalf & Eddy, 2003)
Producción de lodos	$P_x$	g/d	128,6		(Albuja, 2017)

# NUTRIENTES



Parámetro	Unidad	Relación
Relación de nutrientes agua residual	DBO <sub>5</sub> :N:P	220/46.8/8.7
Relación de nutrientes teórica requerida	DBO <sub>5</sub> :N:P	220/1.45/0.29
Relación de nutrientes agua tratada estudio piloto	DBO <sub>5</sub> :N:P	47/16.8/2.04

# DISEÑO ESCALA REAL IMPLANTACIÓN



PLANTA DE TRATAMIENTO



# CONCLUSIONES

---

- ▶ El sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas a escala piloto (biorremediación anaerobia), 200 l/d.
- ▶ Sistema a escala piloto permitió el escalamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas ( $t = 24$  h). Población 902 hab. Flujo: 4.9 l/s a 20 años.
- ▶ Población: 650 personas, dotación promedio diaria de 14l litros por habitante.
- ▶ Abastecimiento continuo de agua potable y el mayor consumo de agua en el día se la realiza para limpieza y preparación de comida con 30 % a 32 % respectivamente. (Encuesta Hidrosanitaria)

- ▶ La calidad de agua cruda incumple normativa DMQ.
- ▶ Los resultados de los análisis de laboratorio permiten establecer que la planta piloto tiene una alta eficiencia en remoción de coliformes 100%. El pH estable no incide en el funcionamiento de la planta piloto del Barrio El Belén.
- ▶ Para tiempo 48 horas 74.52% remoción DQO, mientras para un tiempo 24 horas se alcanza 71.46% (T15 a 25°C).
- ▶ Exceso nutricional, el prototipo logró su remoción evidenciando su alta eficiencia.
- ▶ Existe mayor producción de lodos para un tiempo de residencia de 48 horas, 1,3 l g/d. 1,23 g/d 24 h.
- ▶ El sistema demostró que puede remover un 64,1 % en exceso de nitrógeno y 76.5 % de exceso de fósforo. Y 77,78% detergentes.



# RECOMENDACIONES

---

- ▶ Realizar ensayos a diferentes temperaturas, para observar si la degradación anaeróbica puede darse sin necesidad de calentamiento.
- ▶ La carga orgánica volumétrica que puede tolerar el sistema biológico diseñado es de 1.9 g DQO/l.d, por lo que la empresa que construya el sistema diseñado deberá contemplar la separación de aguas lluvias en el sistema de alcantarillado.
- ▶ Es importante observar el comportamiento de los nutrientes de manera independiente en cada uno de los subprocesos del sistema de tratamiento para determinar cuál de ellos fue el responsable de la remoción.
- ▶ Realizar ensayos para observar la curva de degradación anaeróbica para tensoactivos.
- ▶ Realizar ensayos de fertilizantes y pesticidas.
- ▶ Realizar ensayos con dosificación de biomasa y evaluar si puede disminuir el tiempo de residencia. Evaluar la caracterización de la bacteria acetoclástica *Mehthothrix*.
- ▶ Realizar el cálculo estructural de los tanques en función del estudio de suelo según área asignada para la ubicación del sistema de tratamiento de agua residual.
- ▶ **A la Junta que realice la gestión ante la autoridad competente para la instalación del sistema de tratamiento a escala real.**



# AGRADECIMIENTO



# AGRADECIMIENTO

---

