CAPÍTULO 6

6. DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA POBLACIÓN SAN ELOY.

6.1. Características generales de la zona de estudio.

6.1.1. Ubicación

El sitio “San Eloy” se encuentra ubicado en la provincia de Manabí, en la región Costa del Ecuador, aproximadamente a 32 km. de la ciudad de Portoviejo.

La demanda de obras de infraestructura y de saneamiento básico es una de las principales necesidades de este sitio, razón por la cual la importancia de este proyecto. Actualmente la población no cuenta con una red existente de aguas servidas, sin embargo, existe un diseño propuesto en el tema de tesis de grado *“Proyecto para el Estudio y Diseño de los Sistemas de Abastecimiento de AAPP, AASS, AALL del Sitio San Eloy*

Cantón Rocafuerte Provincia de Manabí", realizado por los Ingenieros Hernán Chávez y Reynaldo Pita, en el año 2005. Razón por la cual para complementar los requerimientos sanitarios del sitio antes mencionado se ha desarrollado nuestro tema de tesis "DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA POBLACIÓN SAN ELOY EN LA PROVINCIA DE MANABÍ", el mismo que está propuesto con un Humedal Artificial de Flujo Libre, precedido por un tratamiento primario que consta de un tanque séptico y filtro anaerobio, así aparte de contribuir con el desarrollo futuro de esta población colaboramos con el ecosistema del área en estudio. En el anexo #1 se puede observar la ubicación geográfica del sitio San Eloy.

6.1.2. Características Físicas.

En el Ecuador y por ende en esta población existen dos estaciones que son invierno que corresponde a la época lluviosa y verano que es la época seca.

En San Eloy la temperatura promedio en los meses de verano está entre los 22 a 30 °C, mientras que en invierno las temperaturas oscilan entre los 24 a 32°C según datos consultados en el Consejo Provincial de Manabí.

A un lado de la vía principal de esta población se ha existe un pequeño río conocido con el nombre de “Bachillero”. Su profundidad promedio es de 1.60m. Existen canales de riego que desembocan en el río antes mencionado, razón por la cual las aguas que este conduce poseen contaminantes de origen químico (plaguicidas) y orgánicos (estiércol).

En lo que respecta a la topografía de la zona en estudio es regular, es decir que no existen desniveles considerables, sin embargo existe un pequeño porcentaje de la población que está asentada en las colinas.

6.1.3. Características Sociales.

Según el Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos (INEC) para el año 2001 había 1285 habitantes en la población “San Eloy” y para el año 2003 había 1324 habitantes. Para calcular la población futura se ha escogido el método para crecimiento geométrico. Este método se lo ha escogido debido a que este se lo usa cuando el aumento de población es proporcional al tamaño de la misma, lo cual se acopla a este caso.

A continuación se hará una proyección de los habitantes que habría en este lugar para el año 2027 debido a que el período de diseño para el presente proyecto se lo ha hecho para 20 años. Las ecuaciones utilizadas son las siguientes:

$$P_d = P_{uc}(1+r)^{T_f - T_{UC}} \qquad \text{Ecuación 6.1}$$

$$r = \left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}}\right)^{\left(\frac{1}{T_{uc}-T_{ci}}\right)} - 1 \qquad \text{Ecuación 6.2}$$

Donde:

P_d = Población de diseño.

P_{uc} = Población último censo.

P_{ci} = Población censo inicial.

r = tasa de crecimiento anual.

T_{uc} = Año último censo.

T_{ci} = Año censo inicial.

Utilizando la ecuación 6.2 calculamos la tasa de crecimiento anual:

$$r = \left(\frac{1324}{1285}\right)^{\left(\frac{1}{2003-2001}\right)} - 1$$

$$r = 0{,}0151$$

A continuación se reemplaza los datos de población y la tasa r calculada en la ecuación 6.1 para calcular la población de diseño:

$$P_d = 1324(1 + 0,0151)^{2027-2003}$$
$$P_d = 1897$$

Con este dato se realizarán todos los cálculos necesarios para el dimensionamiento del sistema de tratamiento.

6.2. Diseño Hidráulico y Dimensionamiento del tratamiento primario (tanque séptico y filtro anaerobio).

Para que el tratamiento o depuración de las aguas residuales provenientes de uso doméstico en la población San Eloy sea más eficaz se ha previsto un sistema de tratamiento primario compuesto de un tanque séptico y filtro anaerobio. A continuación se procederá con los cálculos y parámetros usados para el dimensionamiento de este sistema.

Tanque séptico.

Como se menciona en el apartado 6.1.3, la población de diseño es de 1897 habitantes para el año 2027 por lo que el periodo de diseño es de 20 años.

El caudal correspondiente a las aguas residuales de una población está compuesto por los siguientes aportes:

- Aguas residuales domésticas.
- Aguas residuales industriales y comerciales.
- Aguas de infiltración.

En el caso de San Eloy la mayor parte de la contribución de las aguas residuales que descargarán en el sistema de tratamiento corresponde a las domésticas, la aportación de aguas industriales es nula ya que no existe ningún tipo de industrias, las aguas de infiltración son mínimas.

La dotación por persona se estima en 150lt/hab-día, y se considera un coeficiente de retorno para las aguas servidas de 80%.

En la tabla 6.1 se observan valores típicos de dotación y contribución de lodo fresco para los predios más comunes.

Predio	Unidad	Contribución (lt/día)	
		Dotación	Lodo Fresco (Lf)
Hospitales	cuarto	250	1
Departamentos	persona	200	1
Residencias	persona	150	1
Internados	persona	150	1
Casas populares	persona	120	1
Hoteles	persona	120	1
Fábricas en general	trabajador	70	0,3
Edificios públicos	persona	50	0,2
Escuelas	persona	50	0,2
Restaurantes	persona	25	0,1
Cienes y teatros	asiento	2	0,02

Tabla 6.1 Contribuciones unitarias o de lodo fresco según el tipo de predio

Fuente: Escuela Brasileña de Ingeniería

	Tiempo de retención	
Contribución (lt/día)	horas	días
< 6000	24	1
6000 - 7000	21	0,875
7000 - 8000	19	0,79
8000 - 9000	18	0,75
9000 - 10000	17	0,71
10000 - 11000	16	0,67
11000 - 12000	15	0,625
12000 - 13000	14	0,585
13000 - 14000	13	0,54
> 14000	12	0,50

Tabla 6.2 Tiempo de retención

Fuente: Escuela Brasileña de Ingeniería

Siendo así, los datos que se utilizarán para dimensionar el tratamiento primario serían los siguientes:

N= Número de contribuyentes diario = 1897 hab/día.

C= Contribución AASS = 150 lt/hab-día x 0.8 =120lt/día

Lf= Contribución de lodos frescos = 1 lt/hab-día

T= Tiempo de retención = 0.5 día

La formula general para el cálculo del volumen útil para el tanque séptico según las normas brasileñas es la siguiente:

$$V = N(CT + 100L_f) \quad \text{Ecuación 6.3}$$

Entonces:

V = 1897hab ((120lt/hab.-d) (0.5d)+100(1))

V ≈ 292 m^3

Las normas brasileñas establecen las siguientes dimensiones y relaciones de ancho, largo y altura para tanque séptico de cámara única:

- Ancho interno mínimo (b) = 0.80m
- Altura útil mínima (h) = 1.20m
- Relación entre largo (L) y ancho (b), 2 ≤ L/b ≤ 4
- Relación entre ancho (b) y altura útil (h), b ≤ 2h

Como el volumen teórico calculado para el tanque séptico es de 292 m^3, las dimensiones quedarían de la siguiente manera:

V_{TOTAL} = 292 m^3
L = 13.00m
b = 6.45m
h = 3.50m

Para asegurarnos que cumplimos con las condiciones hacemos la respectiva comprobación:

$6.45 > 0.80$	ok
$3.50 > 1.20$	ok
$2 \leq L/b \leq 4, \quad L/b = 2.05$	ok
$b \leq 2h, \quad 6.45 \leq 7.0$	ok

Entonces las medidas asumidas son correctas y serán las utilizadas para el diseño del tratamiento primario. Ver en anexos plano correspondiente.

Filtro Anaerobio.

La formula general para el cálculo del volumen útil para el filtro anaerobio según las normas brasileñas es la siguiente:

$$V = 1.6NCT \qquad \text{Ecuación 6.4}$$

Entonces:

$$V = 1.6\ (1897hab)\ (120lt/hab.\text{-}d)\ (0.50d)$$

$$\mathbf{V = 182\ m^3}$$

Las normas brasileñas establecen las siguientes dimensiones y relaciones de ancho, largo y altura para el filtro anaerobio:

- Ancho interno mínimo (b) = 0.95m
- Altura útil mínima (h) = 1.80m
- Relación entre largo (L) y altura útil (h), $L \leq 3h$

- Relación entre ancho (b) y altura útil (h), $b \leq 3h$

Como el volumen teórico calculado para el tanque séptico es de 182 m^3 y teniendo en cuenta las recomendaciones de las normas brasileñas, las dimensiones quedarían de la siguiente manera:

$$V = 182\ m^3$$

$$L = 7.20m$$

$$b = 7.20m$$

$$h = 3.50m$$

Para asegurarnos que cumplimos con las condiciones hacemos la respectiva comprobación:

$$7.20 > 0.95 \quad \text{ok}$$

$$3.50 > 1.80 \quad \text{ok}$$

$$L \leq 3h, \quad 7.20 \leq 10.5 \quad \text{ok}$$

$$b \leq 3h, \quad 7.20 \leq 10.5 \quad \text{ok}$$

Entonces las medidas asumidas son correctas y serán las utilizadas para el diseño del tratamiento primario. Ver en anexos plano correspondiente.

6.3. Diseño Hidráulico y Dimensionamiento del Humedal.

El humedal de flujo libre será diseñado y dimensionado de acuerdo a las ecuaciones que se presentan en el capítulo 5.

Los datos que se tienen son los siguientes:

- DBO afluente: 250 mg/l
- DBO efluente: 50 mg/l
- SST entrada: 250mg/l
- Población: 1897 hab.
- Caudal: 219.24 m^3/día ≈ 220 m^3/día
- Vegetación: Scirpus
- Profundidad: 40 cm
- Porosidad: 0.65
- Temperatura media del agua residual: 25ºC
- Temperatura mínima del agua residual: 20ºC

6.4. Diseño para la remoción de DBO.

Se asume la temperatura del agua humedal, en este caso 25ºC.

$$K_{25} = 0.678(1.06)^{(T-20)} \qquad \text{Ecuación 5.12}$$

$$K_{25} = 0.907 d^{-1}$$

A continuación se determina el área superficial requerida para el humedal.

$$A_S = \frac{220m^3/d(\ln(250)-\ln(50))}{(0.907d^{-1})(0.40m)(0.65)}$$

$$A_S = 1501.47m^2$$

Determinación del tiempo de retención hidráulica (TRH).

$$TRH = \frac{(1501.47m^2)(0.40m)(0.65)}{220m^3/d}$$

$$TRH = 1.774d$$

Una vez determinado el TRH, se calculan las dimensiones (largo y ancho) del humedal de flujo libre. Es recomendable utilizar una relación largo/ancho mínima de 3 a 1.

$$3W^2=1501.47m^2$$
$$W=22.37m \approx 22.50m$$

Conociendo el ancho procedemos a calcular el largo requerido.

L= (22.50x3) m

L= 67.50 m

Con estos valores de largo y ancho determinados el área superficial real que tendría el humedal de flujo libre sería la siguiente:

$$A_S = (67.50 \times 22.50)m^2$$
$$A_S = 1518.75m^2$$

6.5. Diseño para la remoción de SST.

Se calculará la remoción de Sólidos Suspendidos Totales (SST), se comprobará el buen rendimiento de este sistema en la remoción de los mismos (cerca del 90%), sin embargo este cálculo solo es una estimación.

Primero se determina el valor de la carga hidráulica CH.

$$CH= (Q/A_s)(100)=(220m^3/d/1518.75m^2)(100)$$
$$CH= 14.18\ cm/d$$

Luego se calcula el valor de la concentración de SST en el efluente.

$$C_e= (250mg/l)(0.1139+0.00213(14.18))$$
$$C_e= 36\ mg/l.$$

En este caso la remoción de SST alcanza el 86%, lo cual demuestra la buena remoción que existe.

6.6. Diseño para la remoción de Nitrógeno.

La remoción de Nitrógeno para el humedal de flujo libre se la determina calculando el área requerida para la nitrificación.

Primero se calcula el valor de K_T (constante dependiente de la temperatura). Como la temperatura del agua para este caso es de 25ºC, entonces el valor de K_T está dado por la siguiente expresión:

$$K_T = 0.2187(1.048)^{(25-20)}$$
$$K_T = 0.276 d^{-1}$$

Entonces el área requerida para nitrificación es:

$$A_S = \frac{(220m^3/d)\ln(25/3)}{(0.276d^{-1})(0.40m)(0.65)}$$

$$A_S = 6500m^2$$

El tiempo de retención hidráulica sería:

$$t = (6500m^2)(0.40m)(0.65)/220m^3/d$$
$$t = 7.68d$$

Ahora se determina la concentración de nitratos en el efluente.

Nitratos del humedal= (25 – 3) mg/l

Nitratos del humedal= 22 mg/l

Nitratos en el efluente: C_e = (22)exp(-(0.276x7.68))

C_e = 0.00143 mg/l

Determinación del Nitrógeno total en el efluente.

NT = (3.0+0.00143) mg/l ≈ 3.0 mg/l

6.7. Diseño para la remoción de Fósforo.

Se determina la carga hidráulica para la eliminación de fósforo.

CH= (100)(220m^3/d)/6500 m^2

CH= 3.38cm/d

A continuación se determina la concentración de fósforo en el efluente:

$$C_e = (12mg/l)e^{(-2.74/3.38)}$$

C_e = 5.33 mg/l

Entonces el porcentaje de remoción de fósforo para este caso sería de 55.6%.

Una concentración ideal para tener una remoción de fósforo de aproximadamente 96% sería de 0.5mg/l. Entonces se determinará el área que se requeriría para poder tener ese valor de concentración en el efluente.

$$A_S = \frac{(100)(220m^3/d)\ln(12/0.5)}{2.74cm/d}$$

$$A_S = 25517m^2$$

Como se observa en el cálculo anterior la eliminación de fósforo por esta vía requiere de un área demasiado grande, lo cual implica que no sería rentable, si se desea eliminar fósforo en mayor proporción se lo debe hacer por medio de una fuente complementaria de tratamiento. Por lo tanto el humedal se lo diseña con el área calculada para remover el Nitrógeno. Es necesario y muy importante tener en consideración los problemas y limitaciones que podrían existir en la parte topográfica. Para nuestro proyecto ese problema está descartado debido a la regularidad del terreno.

Entonces las dimensiones del humedal de flujo libre que se utilizarán para el diseño serían las siguientes:

Área superficial requerida (A_s) = 6500m^2

Asumiendo una relación largo/ancho de 3 a 1 que es la recomendable, entonces las dimensiones de largo y ancho serían las siguientes:

$$3W^2=6500\ m^2$$

$$W= 46.547m \approx 47m$$

$$\frac{L}{W}=3$$

$$L=(3\times 47)m=141m$$

Entonces el área superficial real sería la siguiente:

$$A=(141\times 47)m^2$$

$$A=6627m^2$$

(*) Ver implantación, cortes y detalles del sistema en los planos que se adjuntan en los anexos.