

# Programa de Educación en Ciencia y Tecnología del Agua para la Población Infanto-Juvenil del Perú

D/030646/10 - PCI-AECID 2010

VERSION PRELIMINAR

Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para escuelas rurales unidocentes

2011

Realizado por:  
Patricia Villacorta

Equipo participante:  
Rosa Miglio  
Patricia Villacorta



**Universidad Ramon Llull**  
■ CÁTEDRA UNESCO DE EDUCACIÓN,  
DESARROLLO Y TECNOLOGÍA



## **Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para escuelas rurales unidocentes**

### **1.- INTRODUCCION**

El término de Escuelas Unidocentes designa a aquellas en las que todos los grados (desde uno hasta seis grados) están a cargo de un solo docente. Este hecho obliga a que el docente se convierta al mismo tiempo en Director de la Institución Educativa como en docente de aula, consecuentemente las labores administrativas de la institución están a cargo del propio docente.

Este tipo de escuelas se encuentra muy extendido en las áreas rurales de nuestro país, en las zonas más apartadas del territorio y atienden, mayormente, a las poblaciones rurales, indígenas y pobres. A pesar de su extensión, las escuelas unidocentes permanecen prácticamente invisibles en las políticas educativas nacionales; escasamente tomadas en cuenta en los programas de formación de maestros; e ignorada en las propuestas de programas de desarrollo curricular. Son el resultado de las limitaciones presupuestales, la no disponibilidad de maestros y la escasez de recursos; es la escuela primaria a la que asisten los niños y niñas del caserío de la costa rural, del anexo o de la comunidad campesina de la sierra.

Las escuelas rurales unidocentes se caracterizan también por su precaria infraestructura, pobre mobiliario y escaso equipamiento. Estas escuelas carecen de los servicios básicos: 9% tiene energía eléctrica, el 41% cuenta con servicio de agua potable y únicamente el 3% cuenta con un servicio de desagüe.

Sin embargo, estos centros educativos generan residuos tanto sólidos como líquidos, la fracción líquida de los residuos, aguas residuales, provenientes principalmente de los servicios higiénicos de la escuela como de la vivienda del docente a cargo, quien vive al lado de la escuela.

Debido a la precaria infraestructura con la que cuentan estos centros educativos, en la mayoría de los casos las aguas residuales son vertidas a los cursos de agua, arroyos o quebradas directamente; en otros casos se dispone de un tanque séptico con un tratamiento deficiente que descarga su efluente hacia una quebrada cercana, contaminando el suelo y el agua que fluye por ahí en épocas invernales.

Ante esta situación, el Servicio Nacional de Capacitación en la Industria de la Construcción (SENCICO), solicitó desarrollar el diseño, construcción y monitoreo de un prototipo de tratamiento de aguas residuales para implementarlo en escuelas unidocentes ubicadas en sectores rurales de nuestro país. Para ello la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), ha proporcionado el *Programa de Educación en Ciencia y Tecnología del Agua para la Población Infante-Juvenil del Perú D/030646/10 - PCI-AECID 2010*

espacio físico donde se ha construido la planta piloto, la cual ha sido diseñada a través de este trabajo de investigación, y será monitoreada una vez puesta en marcha.

### **1.1- Justificación e importancia del proyecto**

Las poblaciones rurales y urbano-rurales del Perú sufren agudos problemas de servicios básicos (sistema de agua potable, disposición de excretas y tratamiento de residuos sólidos) que inciden en la salud de la población, especialmente en la niñez, cuya tasa de mortalidad alcanza cifras alarmantes. La mayor parte de las enfermedades de la población de menores ingresos está relacionada con la higiene y el deterioro de las condiciones de saneamiento lo que a su vez, provoca gran contaminación ambiental.

En muchos de estos sectores rurales se recurre al empleo de letrinas como método para la disposición de excretas, pero su número es tan grande que los efluentes infiltrados en el subsuelo llegan a aflorar, estancándose en las zonas bajas mezclándose con las aguas subterráneas, que constituyen fuentes de abastecimiento de agua potable.

Existen zonas donde las aguas residuales son vertidas directamente a arroyos, ríos, mares y corrientes naturales, generando contaminación del medio acuático y riesgo de transmisión de enfermedades.

Con la implementación de este proyecto se beneficiara directamente a los usuarios de las escuelas unidocentes rurales ya que contarán con un sistema de saneamiento básico que cumpla con sus obligaciones ambientales y sanitarias; e indirectamente a los habitantes de sectores aledaños, quienes podrán contar con un ambiente mas sano libre de descargas contaminantes.

### **1.2.- OBJETIVOS**

#### **1.2.1.- Objetivo principal:**

Elaborar un prototipo de tratamiento de aguas residuales para escuelas rurales unidocentes del Perú.

#### **1.2.2.- Objetivos específicos:**

- Diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales para escuelas rurales unidocentes
- Construir el sistema de tratamiento de aguas residuales.
- Evaluar el comportamiento del sistema de tratamiento.
- Elaborar un manual de operación y mantenimiento del sistema de tratamiento .

## **2.- GENERALIDADES DEL PROYECTO**

### **2.1.- Descripción general de la escuela unidocente y situación actual en Perú:**

La escuela unidocente y multigrado se encuentra muy extendida en las áreas rurales en muchos países del mundo. En los países subdesarrollados se ubican en las zonas más apartadas del territorio y atienden, mayormente, a las poblaciones rurales, indígenas y pobres. A pesar de su extensión tanto en países ricos como pobres, este tipo de escuela, permanece prácticamente invisible en las políticas educativas nacionales; escasamente tomadas en cuenta en los programas de formación de maestros; e ignorada en las propuestas de programas de desarrollo curricular.

En nuestro país, la escuela multigrado resulta de las limitaciones presupuestales, la no disponibilidad de maestros y la escasez de recursos. Se encuentra generalmente en áreas dispersamente pobladas en ámbitos rurales; es la escolita primaria a la que asisten los niños y niñas del caserío de la costa rural, del anexo o de la comunidad campesina de la sierra.

La realidad educativa de las escuelas unidocentes en el Perú es altamente delicada; es un sector que hasta hoy ha sido escasamente atendido, al margen de su abultado número: Se calcula en 8,807 instituciones educativas de este tipo que atienden a 228,398 estudiantes: (Guía para el docente de la escuela unidocente y aula multigrado del área rural. 2004).

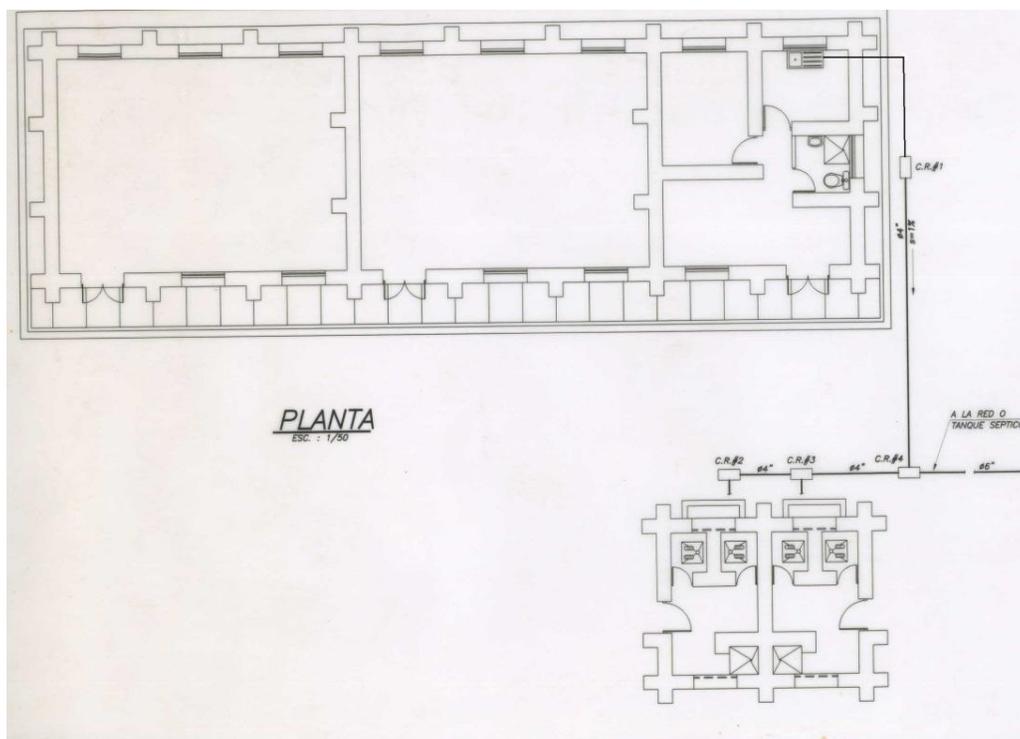
La escuela rural unidocente se caracteriza también por su precaria infraestructura, pobre mobiliario y escaso equipamiento. Estas escuelas carecen de los servicios básicos: 3% de los centros educativos cuenta con servicio de desagüe y 9% tiene energía eléctrica; solamente 41% de los centros educativos cuenta con servicio de agua potable. Solo 5,8% de los centros educativos rurales tiene sala de profesores; 1,6% tiene biblioteca; 19,9% servicios higiénicos y 2,1% cuenta con un ambiente de comedor.

### **2.2.- Instalaciones de la escuela unidocente:**

De acuerdo al prototipo desarrollado en el país, una escuela unidocente cuenta con:

- Dos aulas
- Servicios higiénicos para hombres
- Servicios higiénicos para mujeres
- Una pequeña vivienda para el docente que cuenta con baño propio y una cocina. (ver Fig. N° 1)

Fig. N° 1: Esquema de distribución de una Escuela Unidocente Típica



### 2.3.- Instalaciones que aportan aguas residuales:

- Los servicios higiénicos destinados a los alumnos están separados en servicios para hombres y mujeres. Cada uno de estos ambientes cuenta con dos inodoros turcos, una ducha y en la parte externa un lavamanos.
- Los servicios higiénicos dentro de la vivienda están destinados únicamente para uso del docente y/o habitantes dentro de la vivienda. Consta de un lavatorio, un inodoro de tanque y una ducha.
- La cocina dentro de la vivienda cuenta con un lavadero.

### 3.- PLANTEAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO:

#### 3.1.- Alternativa de tratamiento

El sistema de tratamiento planteado está compuesto por un tratamiento primario seguido por un tratamiento secundario, como tratamiento primario se ha elegido un tanque séptico y como tratamiento secundario un humedal horizontal de flujo subsuperficial.

Para fines de monitoreo y evaluación, el prototipo de tratamiento se ha construido dentro del

campus de la Universidad Nacional Agraria La Molina, y será puesto en operación utilizando agua residual doméstica proveniente de una red colectora que atraviesa el campus de la UNALM.

### **3.2.- Tratamiento primario – Tanque séptico**

El propósito fundamental del tratamiento primario, es sedimentar los sólidos, para lo cual es necesario considerar un periodo de retención del líquido dentro del tanque.

El tanque consta de un depósito impermeable diseñado para mantener el desagüe a una velocidad muy baja y en condiciones anaeróbicas por un periodo de 6 horas a más, tiempo en el cual se efectúa la eliminación de sólidos sedimentables.

En el tratamiento primario la velocidad de flujo se reduce hasta uno o dos cm/s en el tanque de sedimentación, tiempo suficiente para dejar que se depositen la mayor parte de los sólidos sedimentables, que son principalmente orgánicos. Además sirve para la descomposición de los sólidos orgánicos sedimentados, lo cual se conoce como digestión de lodos.

La localización del tanque séptico en las escuelas rurales unidocentes seguirá los siguientes criterios:

- 1.- El tanque se localiza a más de 15m de cualquier fuente de abastecimiento, para proteger las fuentes de agua.
- 2.- El tanque se encuentra a una distancia mayor de 2 m de cualquier edificación.
- 3.- El tanque tiene acceso apropiado que facilite su limpieza y mantenimiento.
- 4.- El tanque no está expuesto a inundación y dispone de espacio suficiente para la construcción del sistema de disposición o tratamiento posterior a que haya lugar.

### **3.3 Tratamiento secundario – Humedal artificial horizontal de flujo subsuperficial.**

El proceso de tratamiento de humedales artificiales se basa en una serie de procesos físicos y biológicos (adsorción, precipitación, filtración, nitrificación, depredación, descomposición, etc), el proceso más importante es la filtración biológica, realizada por un biofilm compuesto por bacterias aerobias y facultativas. La eficiencia del proceso de tratamiento aerobio depende de la relación de demanda (carga) y suministro de oxígeno (diseño del humedal artificial). Para diseñar estos sistemas, son necesarios profesionales con conocimientos del tratamiento de aguas residuales, pues se trata de una tecnología “aparentemente sencilla” pero biológicamente compleja.

Además para el diseño de los humedales se tienen que considerar siempre las circunstancias locales específicas, tales como clima (temperatura), disponibilidad de tierras y la reutilización prevista o la vía de eliminación del efluente.

#### 4. DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO:

**4.1. Criterios generales:** como criterios generales para el diseño se ha considerado la atención de un total de 71 personas servidas, con un consumo de agua de 25 l/día.

##### 4.1.1.- Parámetros de diseño para el Tanque séptico

Para el diseño del tanque séptico los parámetros de diseño fueron:

- **Población servida (P):** 71 personas.
- **Caudal de aporte unitario de aguas residuales (q).**- El aporte considera el volumen de agua necesario para generar el arrastre hidráulico de las excretas al tanque séptico y limpieza de la unidad sanitaria. Se ha considerado un caudal de aporte unitario de aguas residuales de 25 l/alum-día.
- **Tasa de lodos producido por persona y por año (Ta).**- Se tomo una tasa de lodos producido de 50 l/alum-año.
- **Intervalo de limpieza o retiro de lodos (N).**- El intervalo de limpieza considerado es de un año.
- **Área superficial de tanque séptico (A).**- La relación mínima recomendada es largo/ancho es 2:1. Se ha utilizado una relación largo/ancho de 3:1, teniendo así un tanque de 3.60m de largo x 1.20m de ancho.

##### 4.1.2.- Cálculos de diseño para el tanque séptico

- Periodo de retención hidráulico del volumen de sedimentación (PR)

$$PR = 1,5 - 0,3 \log (P \times q)$$

$$PR = 0.53 \text{ días}$$

$$PR = 12.61 \text{ horas}$$

PR, según norma IS-020 (norma Peruana), el valor mínimo es de 6 horas.

- Volumen de sedimentación (Vs)

$$Vs = 10^{-3} (P \times q) \times PR$$

$$Vs = 0.93 \text{ m}^3$$

- Volumen de digestión y almacenamiento de lodos (Vd)

$$Vd = Ta \times 10^{-3} \times P \times N$$

$$Vd = 3.55 \text{ m}^3$$

- Volumen de natas ( $V_n$ )

$$V_n = 0.70 \text{ m}^3$$

- Profundidad máxima espuma sumergida ( $H_e$ )

$$H_e = V_n/A$$

$$H_e = 0.16 \text{ m}$$

- Profundidad libre de espuma sumergida ( $H_{es}$ ): Distancia entre la superficie inferior de la capa de espuma y el nivel inferior de la Tee o cortina del dispositivo de la salida.

$$H_{es} \geq 0.1 \text{ m}$$

- Profundidad libre de lodos ( $H_o$ ): Según norma IS-020, el valor mínimo es de 0.30m.

$$H_o = 0,82 - 0,26A$$

$$H_o = -0.30 \text{ m} \quad \text{Se tomara } 0.30 \text{ m}$$

- Profundidad sedimentación de lodos ( $H_s$ )

$$H_s = V_s/A$$

$$H_s = 0.22 \text{ m}$$

- Profundidad de espacio libre ( $H_l$ )

$$H_l = \text{mayor valor entre } (0,1 + H_o) \text{ vs. } H_s$$

\*\* Se consideró  $0.12+H_o$

$$H_l = 0.42 \text{ m} > H_s = 0.22$$

Luego la profundidad de espacio libre es:

$$H_s = 0.42 \text{ m}$$

- Profundidad de digestión y almacenamiento de lodos ( $H_d$ )

$$H_d = V_d/A$$

$$H_d = 0.82 \text{ m}$$

- Profundidad total efectiva ( $H_{te}$ )

$$H_{te} = H_d + H_l + H_e$$

$$H_{te} = 1.40 \text{ m}$$

- Volumen efectivo ( $V_e$ )

$$V_e = H_{te} A$$

$$V_e = 6.06 \text{ m}^3$$

- Borde libre (H Libre)

$$H \text{ Libre} = 0.30 \text{ m}$$

- Profundidad total (HT)

$$HT = H_{te} + H_{Libre}$$

$$HT = 1.70 \text{ m}$$

- Volumen Efectivo (VT)

$$VT = HT \times A$$

$$VT = 7.36 \text{ m}^3$$

Por ser un volumen mayor a  $5.00\text{m}^3$ , se ha planteado la construcción de un tanque séptico con dos cámaras.

#### 4.1.3.- Planos del tratamiento primario:

Se han elaborado los planos en vista de planta y cortes, estos se muestran en las figuras N<sup>o</sup> 2 y 3 respectivamente.

Fig. N<sup>o</sup> 2: vista de planta del tanque séptico

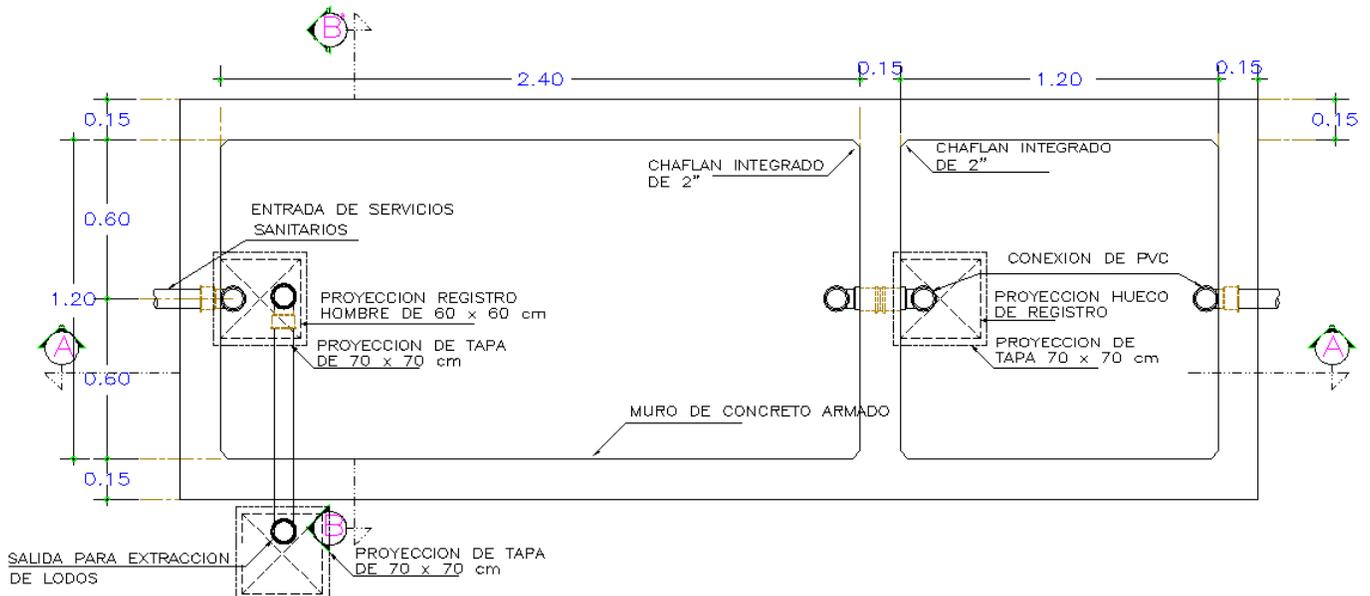
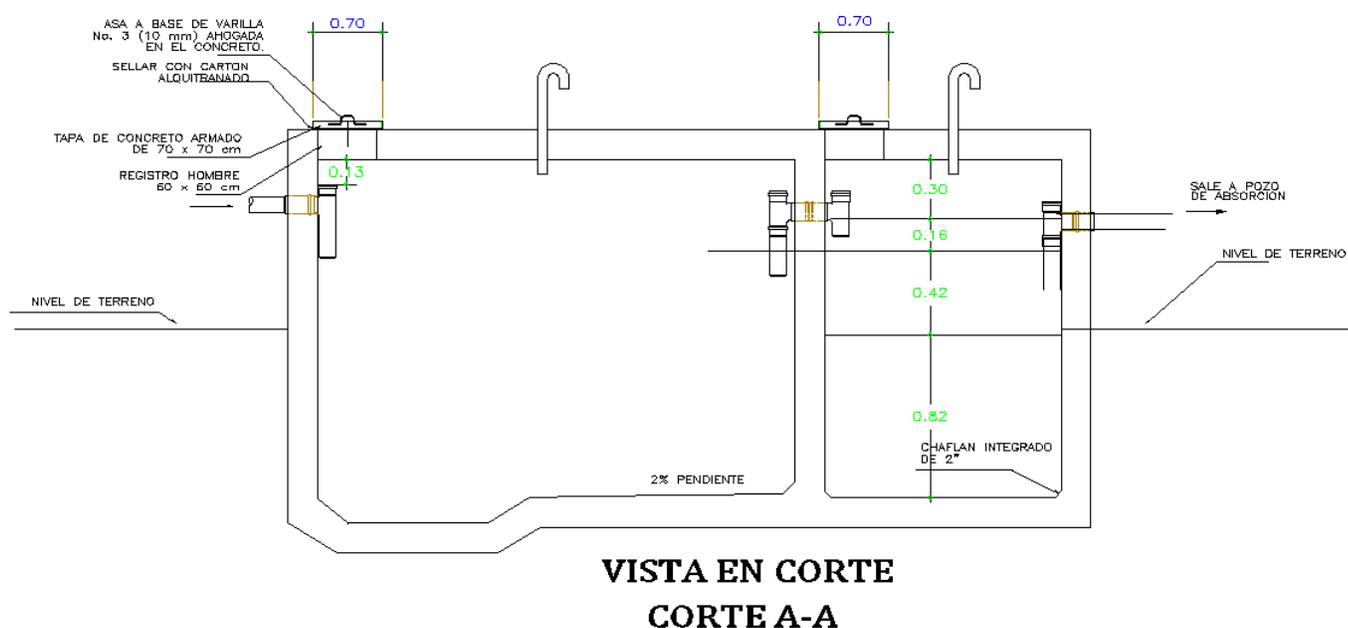


Fig. N° 3: Vista de corte del tanque séptico



## 4.2. Sistema de tratamiento secundario

### 4.2.1.- Parámetros de diseño

Para el diseño del humedal los parámetros de diseño fueron:

- **Población servida (P):** 71 personas.
- **Aporte unitario de aguas residuales (q).**- Se ha considerado una dotación de agua de 25 l/hab.día, y un aporte unitario de aguas residuales del 80% de la dotación de agua
- **DBO en el desagüe crudo:** 200 mg/l
- **DBO de ingreso al humedal:** 150 mg/l (a la salida del tanque séptico)
- **Carga orgánica máxima a aplicar:** 15 gDBO/m<sup>2</sup>.día
- **Carga hidráulica máxima a aplicar:** 80 l/m<sup>2</sup>.día
- **Caudal:** 1.420 m<sup>3</sup>/día (71 x 25 x 0.8)
- **Material de relleno:** arena gravosa
- **Conductividad hidráulica (Ks) arena gravosa:** 1000 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.día
- **Porosidad de la arena gravosa:** 35%
- **Pendiente asumida para fondo del lecho:** 1%

#### 4.2.2 Cálculos para dimensionar el humedal de flujo horizontal

- Cálculo del Área transversal ( $A_t$ ) en función a la Ley de Darcy:

$$A_t = (Q)/(K_s) \times (s)$$

$$A_t = (1.42 \text{ m}^3/\text{día}) / (1000 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{día}) \times (0.01) = 0.142 \text{ m}^2$$

Considerando una profundidad de 0,60 m, el ancho mínimo será: 0.23 m

- Cálculo del área superficial ( $A_s$ ) considerando la máxima carga orgánica:

$$A_s = C / CS = (Q \times \text{DBO}_5) / CS$$

$$A_s = (1.42 \text{ m}^3/\text{día} \times 150 \text{ g/m}^3) / (15 \text{ g/m}^2\text{.día}) = 14.2 \text{ m}^2$$

Considerando un ancho de 0.23 m, el largo sería 61.7 m

- Ajustando las dimensiones para guardar una proporción adecuada entre largo y ancho; 1:3

$$A_s = l \times a = 3 a \times a = 3 a^2$$

$$\text{Ancho} = a = 3 \text{ m} \quad \text{Largo} = l = 4.73 \text{ m, redondeando} = 5 \text{ m}$$

$$\text{Nueva } A_t = 3 \text{ m} \times 0.6 \text{ m} = 1.8 \text{ m}^2$$

Estas dimensiones tendrán que adecuarse con la inclinación de los taludes en la celda del humedal

- Comprobando las cargas:

$$CS = C/A_s = (1.42 \text{ m}^3/\text{día} \times 150 \text{ g/m}^3) / 15 \text{ m}^2 = 14.20 \text{ g/m}^2 \text{ día}$$

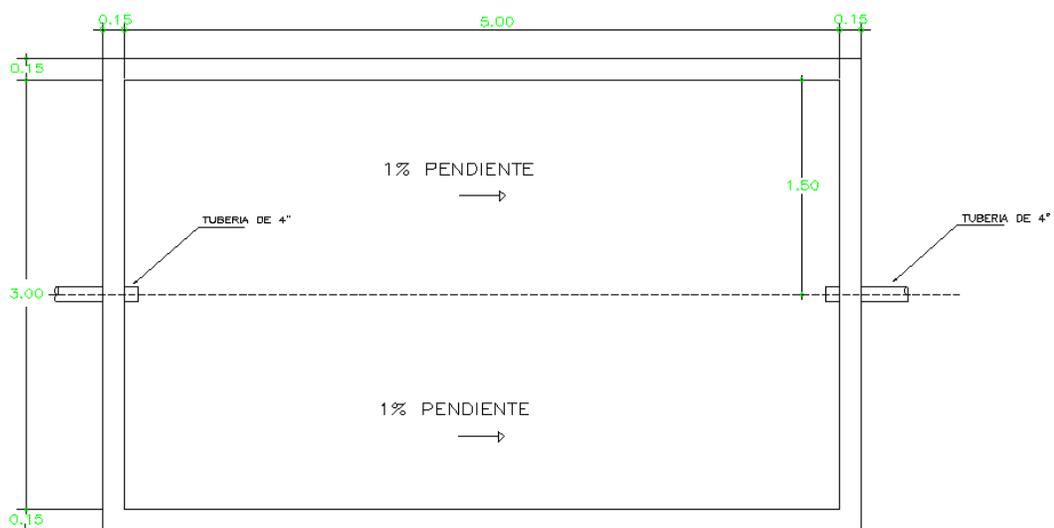
$$CH = Q/A_s = (1.42 \text{ m}^3/\text{día}) / 15 \text{ m}^2 = 0.09 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{día}$$

Ambas cargas están en el rango de cargas máximas admisibles

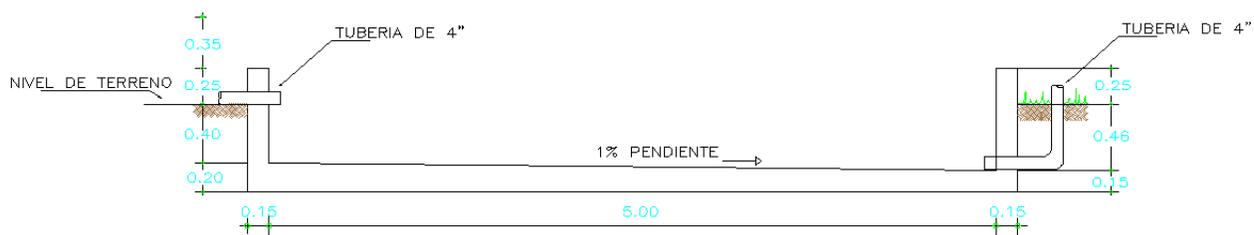
#### 4.2.3.- Planos del tratamiento secundario:

Se han elaborado los planos en vista de planta y cortes, estos se muestran en las figuras N° 4 y 5 respectivamente.

**Figura N° 4: vista en planta del humedal de flujo horizontal**



**Figura N° 5: vista en corte del humedal de flujo horizontal**



## 5.- PROCESO CONSTRUCTIVO

### 5.1. Ubicación de la construcción:

El sistema de tratamiento se ha ubicado dentro del campus de las UNALM en el área denominada CEMTRAR (Centro de manejo de residuos)

### 5.2. Descripción del proceso constructivo

Como actividad inicial se procedió a realizar la limpieza del terreno y eliminación de desmonte, para continuar con la ejecución de las unidades de tratamiento primario y secundario.

#### 5.2.1.- Tratamiento Primario.-

- Previo a empezar la obra se hizo un trazo sobre el terreno del área que ocuparía el tanque séptico.
- Se hizo la excavación de un hoyo de 4.10m x 1.60m y una profundidad de 1.20m, para lo cual se utilizó una retroexcavadora. Para fines prácticos se decidió que el tanque séptico sea la mitad enterrado y la otra mitad expuesto.
- Luego de la excavación se tuvo que humedecer el terreno con camiones cisternas ya que era difícil trabajar sobre este por ser de contextura muy suelta.
- Una vez que el hoyo fue refinado y debidamente compactado se hizo el vaciado del solado de 0.10 m de grosor.
- Se procedió a hacer el enmallado, para lo cual se utilizó fierro corrugado de 3/8" y alambre N°16.
- Se hizo el encofrado del tanque teniendo especial cuidado en dejar los pases donde correspondiera y posterior a esto el vaciado de concreto utilizando concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>.
- Luego de tres días, se desencofro y se procedió a hacer el curado del tanque.
- Se construyeron las tapas del tanque y se hicieron las instalaciones de tuberías de ventilación, así como las tuberías de entrada y salida del tanque.
- Finalmente, se construyó una pequeña cámara al costado del tanque, que servirá para la extracción de lodos que serán analizados y posiblemente para en un futuro construir un lecho de secado.

#### **5.4.1.- Tratamiento Secundario.-**

- Previo a empezar la obra se hizo un trazo sobre el terreno del área que ocuparía el humedal.
- Se hizo la excavación de un hoyo de 5.50m x 3.50m y una profundidad de 1.00m, para lo cual se hizo uso de retroexcavadora.
- Luego de la excavación se tuvo que humedecer el terreno con camiones cisternas ya que era difícil trabajar sobre este por ser de contextura muy suelta.
- Una vez que el hoyo fue refinado y debidamente compactado se hizo el vaciado del solado de 0.10m de grosor.
- Se hizo el encofrado del humedal teniendo especial cuidado en dejar los pases donde se debían instalar las tuberías, posterior a esto se realizó el vaciado de concreto utilizando concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>.
- Luego de tres días, se desencofro y se procedió a hacer el curado del tanque.
- Se construyó una cámara a la salida del humedal para poder hacer las conexiones posteriores y darle uso al efluente resultante del tratamiento.

*P, Villacorta*

- Finalmente se hicieron las instalaciones de tuberías correspondientes uniendo de esta manera la salida del tanque séptico con la entrada hacia el humedal.

En las fig. N° 6 al 8 de muestran vistas del proceso constructivo

**Fig. N° 6: vaciado de concreto en la celda del humedal**



**Fig.N° 7: humedal construido en etapa de curado**



**Fig: N° 8: vista del tanque séptico y humedal**

