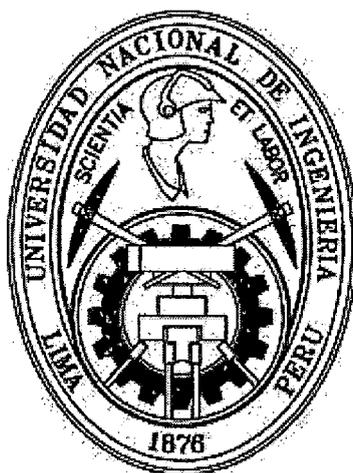


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**“EVALUACION DE LA EFICIENCIA DE REMOCION DE UN
HUMEDAL ARTIFICIAL EN FUNCION DE LA
GRANULOMETRIA DE GRAVA EN EL MEDIO FILTRANTE”**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO SANITARIO**

PRESENTADO POR:

**Daniel Arturo Peña Orocaja
Rafael Marcos Infante Flores**

LIMA

PERÚ 2012

Digitalizado por:

**Consortio Digital del
Conocimiento MebLatam,
Hemisferio y Dalse**

DEDICATORIA

La presente tesis va dedicada a mis padres, por su constante apoyo y especial comprensión, a mi hermana por sus consejos tan oportunos y especialmente a Patricia por su apoyo moral y emocional que me acompañaron durante todo el desarrollo de esta tesis.

Rafael Infante Flores

Dedico a mis padres por su esfuerzo y perseverancia prestada en mi educación y a mis hermanos por darme todo su apoyo

Daniel Peña Orocaja

AGRADECIMIENTOS

Es nuestra intención agradecer de una manera muy especial a las siguientes personas que nos brindaron su apoyo durante el transcurso de la presente investigación.

- Al Ing. Roberto Paccha Huamani, por su apoyo y su atención oportuna en los temas más importantes de la investigación.

- Al Centro de Investigación de Aguas residuales, por facilitarnos el espacio más que necesario para nuestro proyecto, y el acceso al laboratorio, donde llevamos a cabo la medición de la mayor parte los parámetros de nuestra investigación.

- A Manuel, operario de mantenimiento del CITRAR, que con su apoyo incondicional hicimos posible la construcción, operación y mantenimiento de nuestros humedales artificiales. Así como también en el monitoreo de los principales parámetros de operación.

- A la Ing. Luisa Shuan Lucas, Jefe del laboratorio de Mecánica de suelos, por apoyarnos y facilitarnos de una manera desinteresada y sin costo, los análisis granulométricos de nuestras muestras de suelo.

Y de manera general a todas las personas que directa e indirectamente colaboraron con nosotros en la elaboración de nuestro proyecto.

RESUMEN

El presente proyecto se desarrolló en las instalaciones del Centro de Investigación de Aguas Residuales (CITRAR) y tuvo como principal objetivo determinar las eficiencias de remoción en humedales artificiales de flujo sub superficial, sobre la base del tamaño del medio filtrante.

La investigación se llevó a cabo durante tres meses consecutivos, analizándose y comparándose continuamente las eficiencias de remoción de los tres humedales artificiales.

El medio filtrante para los tres humedales estuvo conformado por gravas de diferentes tamaños, cuyos rangos oscilaron entre 1/2-3/4" 1"-1.1/2" y 2"-2.1/2". Asimismo el afluente utilizado, fue al efluente del reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA), el cual fue derivado previamente a un tanque de almacenamiento que permitiese la alimentación continua de los tres humedales construidos para tal fin.

Los parámetros tales como la temperatura, el ph y la turbiedad, fueron medidos diariamente, mientras que la DBO y la DQO fueron medidos una vez por semana. Asimismo las granulometrías de las gravas fueron determinadas en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Los resultados de la investigación muestran que el humedal con la grava de menor tamaño, presento la mayor eficiencia de remoción, en comparación con los otros dos humedales. Ello podría explicarse a que la grava de menor tamaño presenta a su vez una mayor área de contacto para los microorganismos.

INDICE

I. INTRODUCCION	9
II. MARCO TEORICO	10
2.1 Definición de Humedales artificiales	10
2.2 Procesos de Remoción	10
2.2.1 Procesos de Remoción Físico	10
2.2.2 Procesos de Remoción Biológico	11
2.2.3 Procesos de Remoción Químico	13
2.3 Tipos de Humedales	14
2.3.1 Sistemas de flujo libre o superficial (FS)	15
2.3.2 Sistemas de flujo Subsuperficial (FSS)	17
2.4 Componentes de un humedal	19
2.4.1 Agua	19
2.4.2 Medio de soporte	20
2.4.3 Vegetación: (Plantas Acuáticas)	22
2.4.4 Microorganismos	24
2.5 Mecanismos básicos de depuración en un humedal artificial	25
2.6 Aplicaciones	27
2.7 Consideraciones de diseño	28
2.8 Consideraciones ambientales y de salud pública	30
2.8.1 Nitrógeno	31
2.8.2 Fosforo	31
2.8.3 Patógenos	32
2.8.3.1 Bacterias	32
2.8.3.2 Virus	34
2.8.4 Metales	34
2.8.5 Trazas orgánicas	35
III. HIPOTESIS	35
IV. OBJETIVOS	36
V. DESCRIPCION DEL PROYECTO	37
VI. DESCRIPCION DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES	39

6.1 Tanque de almacenamiento	39
6.2 Distribuidor de caudal	40
6.3 Humedales artificiales	41
6.3.1 Agua	43
6.3.2 Medio de Soporte	44
6.3.3 Especie Vegetal	46
6.3.4 Microorganismos	49
VII. DIMENSIONAMIENTO DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES	50
VIII. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	52
8.1 Construcción de los humedales artificiales	52
8.2 Acondicionamiento de los humedales artificiales	54
8.3 Operación de los humedales artificiales	54
8.4 Determinación de la Evapotranspiración.....	55
IX. RESULTADOS	57
9.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno	57
9.2 Demanda Química de Oxígeno	59
9.3 Sólidos Suspendidos Totales	61
9.4 Turbiedad	69
9.5 Temperatura	75
9.6 PH	81
9.7 Eficiencias de remoción	87
9.8 Carga orgánica	89
9.9 Comparación entre DQO y DBO5	90
9.10 Resultados de la evapotranspiración	92
X. CONCLUSIONES	95
XI. RECOMENDACIONES	96
XII. PANEL DE FOTOS	98
XIII. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	104
XIV. ANEXOS	106

GLOSARIO

- **Adsorción** Proceso mediante el cual un sólido poroso a nivel microscópico retiene partículas de un fluido en su superficie tras entrar en contacto con éste. El adsorbente dispone de nano poros, lo que se conoce como centros activos, en los que las fuerzas de enlace entre los átomos no están saturadas.
- **Absorción** Paso de sustancias a través de la membrana celular, o tejidos especializados, del medio externo al medio interno de un organismo vivo para su asimilación.
- **Aerobios.** Son aquellos microorganismos que pueden vivir y desarrollarse en presencia de moléculas de oxígeno.
- **Anaerobios.** Son aquellos microorganismos que pueden vivir y desarrollarse en ausencia completa de oxígeno molecular libre.
- **Anóxico.** Las condiciones anóxicas en el transporte y tratamiento de aguas residuales indican que se pueden utilizar los iones NO_3^- o SO_4^{2-} como agentes de oxidación cuando se descompone la materia orgánica.
- **Bacterias autótrofas** son capaces sintetizar sustancias orgánicas a partir de las minerales; pueden ser fotosintetizantes y quimiosintetizantes.
- **Bacterias heterótrofas** utilizan los compuestos orgánicos elaborados por otros seres vivos a los que parasitan
- **Bacteriófago MS-2** Son virus que infectan bacterias del tipo E.coli.
- **Biomasa** Es toda sustancia orgánica renovable de origen tanto animal como vegetal. La energía de la biomasa proviene de la energía que almacenan los seres vivos. En primer lugar, los vegetales al realizar la fotosíntesis, utilizan la energía del sol para formar sustancias orgánicas.

- **Biopelícula.** Es un ecosistema microbiano organizado, conformado por uno o varios microorganismos asociados a una superficie viva o inerte, con características funcionales y estructuras complejas.
- **Eichhornia.** Son macrófitos flotantes, que alcanzan hasta un metro de altura, aunque normalmente no superan los 50 cm
- **Evapotranspiración.** Es la pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación.
- **FS.** Humedal artificial de flujo superficial.
- **FSS.** Humedal artificial de flujo subsuperficial.
- **FSSH.** Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal.
- **FSSV.** Humedal artificial de flujo subsuperficial vertical.
- **Lemna Minor.** Es una planta acuática pequeña, ésta es la más conocida de las especies de lenteja de agua.
- **Permeabilidad.** es la capacidad que tiene un material de permitirle a un líquido que lo atraviese sin alterar su estructura interna.
- **Turba en humedal** La turba es un material orgánico, de color pardo oscuro y rico en carbono. Está formado por una masa esponjosa y ligera en la que aún se aprecian los componentes vegetales que la originaron. Se emplea como combustible y en la obtención de abonos orgánicos.

EVALUACION DE LA EFICIENCIA DE REMOCION DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL EN FUNCION DE LA GRANULOMETRIA DE GRAVA EN EL MEDIO FILTRANTE

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente el tratamiento del agua residual en el Perú, utiliza diferentes opciones, y una de ellas es el tratamiento mediante humedales artificiales. Esta tecnología representa una alternativa ecológica muy interesante puesto que aparte de simular los procesos naturales de estabilización de la materia orgánica, y de requerir de poco mantenimiento, es amigable con el entorno al utilizar a las plantas de diversas especies como uno de sus agentes más importantes de tratamiento.

Los humedales artificiales de manera general se consideran como una buena opción de tratamiento secundario del agua residual, que alcanza valores de remoción entre un 70-90% para la DBO5, según reportes de investigación (Moeller 2004). Estas características junto a la facilidad de operación y mantenimiento, permiten reutilizar el efluente en la mayoría de los casos para el riego de áreas verdes y vegetales de tallo largo.

En ese sentido el presente proyecto de investigación pretende determinar la capacidad de remoción de 03 humedales artificiales, utilizando como medios filtrantes, gravas de diferente tamaño. En cuanto a la especie vegetal, se utilizo la Achira, cuyo nombre científico es *Canna indica*. Esta especie se encuentra presente en diversos parques y jardines de la ciudad, y se selecciono debido a su relativa resistencia a diversos suelos.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Definición de Humedales artificiales

Los humedales son áreas que se encuentran saturadas por aguas superficiales o subterráneas, con una profundidad inferior a los 0.60m y con plantas emergentes como espadañas, carrizos y juncos. La vegetación proporciona superficies para la formación de películas bacterianas, que facilita la filtración y la adsorción de los constituyentes del agua residual, permite la transferencia de oxígeno a la columna y controla el crecimiento de algas al limitar la penetración de la luz solar.

Los humedales tienen tres funciones básicas que los hacen tener un atractivo potencial para el tratamiento de aguas residuales, estas son:

- Fijar físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica
- Utilizar y transformar los elementos por intermedio de los microorganismos
- Lograr niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y bajo mantenimiento

2.2 Procesos de remoción

En general, entre los procesos de remoción se tienen los siguientes:

2.2.1 Proceso de remoción físico

Los humedales son capaces de proporcionar una alta eficiencia física en la remoción de contaminantes asociado con material particulado. El agua superficial se mueve muy lentamente a través de los humedales, debido al flujo laminar característico y la resistencia proporcionada por las raíces y las plantas flotantes. La sedimentación de los sólidos suspendidos se

promueve por la baja velocidad de flujo y por el hecho de que el flujo es con frecuencia laminar en los humedales.

La eficiencia de remoción de sólidos suspendidos es proporcional a la velocidad de particulado fijo y a la longitud del humedal. La sedimentación es el resultado de la acumulación de sólidos y contaminantes asociados sobre la superficie del suelo del humedal. Sin embargo la resuspensión de sedimento puede resultar en la exportación de sólidos suspendidos y reducir algo mas la eficiencia de remoción. Algo de resuspensión podría ocurrir durante periodos de velocidad de alto flujo en el humedal. Más comúnmente la resuspensión es el resultado de la turbulencia de la dirección del viento, bioturbación (perturbación por animales y humanos) y desprendimiento de gases. El desprendimiento de gas resulta a partir de gases como el oxígeno, a partir de la fotosíntesis del agua, metano y dióxido de carbono, producido por los microorganismos en el sedimento durante la descomposición de la materia orgánica.

2.2.2 Proceso de remoción biológico

La remoción biológica es importante para la remoción de contaminantes en los humedales. Los contaminantes son también formas de nutrientes esenciales para las plantas, tales como nitrato, amonio y fosfato, los cuales son tomados fácilmente por las plantas del humedal. Sin embargo muchas especies de plantas son capaces de captar, e incluso acumular, significativamente metales tóxicos como cadmio y plomo. La velocidad de remoción de contaminantes por las plantas varía extensamente, dependiendo de la velocidad de crecimiento de la planta y de la concentración del contaminante en tejido de la planta. Las plantas leñosas, es decir, árboles y arbustos, proporcionan un almacenamiento a largo plazo de contaminantes, comparado con las plantas herbáceas. Las algas pueden también proporcionar una cantidad significativa de nutrientes captados, pero son mas susceptibles a los efectos tóxicos de metales pesados. El almacenaje de alimentos en algas es relativamente a

corto plazo, debido al rápido ciclo de rotación de algas. Las bacterias y otros microorganismos en el suelo también proveen, captan y almacenan nutrientes a corto plazo, y algunos otros contaminantes.

En los humedales, los residuos de material vegetal muerto, conocido como detritus, se acumulan en la superficie del suelo. Algunos de los nutrientes, metales u otros elementos eliminados previamente del agua por captación de la planta son pérdidas del detritus de la planta por la lixiviación y descomposición, y reciclados nuevamente dentro del agua y del suelo. La lixiviación de contaminantes solubles en agua puede ocurrir rápidamente en la muerte de la planta o del tejido de planta, mientras que una pérdida más gradual de contaminantes ocurre durante la descomposición del detritus por las bacterias y otros organismos.

En la mayoría de los humedales, hay una acumulación significativa del detritus de la planta, porque la velocidad de descomposición disminuye substancialmente bajo condiciones anaerobias que prevalecen, generalmente, en suelo del humedal. Si, sobre un período extenso de tiempo, la velocidad de descomposición de la materia orgánica es más baja que la velocidad de deposición de la materia orgánica en el suelo, la formación de turba ocurre en el humedal. De esta manera, algunos de los contaminantes captados originalmente por las plantas se pueden atrapar y almacenar como turba. La turba se puede acumular a grandes profundidades en los humedales, y puede proporcionar el almacenamiento de larga duración para los contaminantes. Sin embargo, la turba es también susceptible a la descomposición si el humedal se drena. Cuando sucede eso, los contaminantes incorporados en la turba se pueden liberar y/o reciclar o limpiar con un chorro de agua del humedal. Aunque los microorganismos pueden proporcionar una cantidad medible de contaminante captado y almacenado en sus procesos metabólicos, que desempeñan el papel más significativo en la remoción de compuestos orgánicos. Los descompuestos microbianos, sobre todo bacterias del suelo, utilizan el carbono de la materia orgánica como

fuentes de energía, convirtiéndola a gases de bióxido de carbono (CO_2) o metano (CH_4).

Esto proporciona un mecanismo biológico importante para la remoción de una amplia variedad de compuestos orgánicos, incluyendo éstos encontrados en aguas residuales municipales, aguas residuales de procesamiento de alimentos, plaguicidas y productos de petróleo. La eficiencia y la velocidad de degradación orgánica de carbono por los microorganismos es altamente variable para los diversos tipos de compuestos orgánicos. El metabolismo microbiano también produce la remoción de nitrógeno inorgánico, es decir, nitrato y amonio, en los humedales. Bacterias especializadas (*pseudomonas* sp.) transforman metabólicamente el nitrato en gas nitrógeno (N_2), un proceso conocido como desnitrificación. El gas nitrógeno se pierde posteriormente a la atmósfera (Benfield, L.D. and C.W. Randall, 1980).

2.2.3 Proceso de remoción química

El proceso químico más importante de la remoción de suelos del humedal es la absorción, que da lugar a la retención a corto plazo o a la inmovilización a largo plazo de varias clases de contaminantes. La absorción es un término ampliamente definido para la transferencia de los iones (moléculas con cargas positivas o negativas) a partir de la fase de la solución (agua) a la fase sólida (suelo). La absorción describe realmente un grupo de procesos, que incluye reacciones de adsorción y de precipitación. La adsorción se refiere a la unión de iones a las partículas del suelo, por intercambio catiónico o absorción química. El intercambio catiónico implica la unión física de los cationes (iones positivamente cargados) a las superficies de las partículas de la arcilla y de la materia orgánica en el suelo. Esto es una unión mucho más débil que la unión química, por lo tanto, los cationes no se inmovilizan permanentemente en el suelo. Muchos componentes de las aguas residuales y de escurrimiento existen como cationes, incluyendo el amonio (NH_4^+) y la mayoría de trazas de metales, tales como cobre (Cu^{+2})

La capacidad de los suelos para la retención de cationes, expresada como capacidad de intercambio catiónico, aumenta generalmente con el aumento de contenido de la arcilla y de la materia orgánica. La absorción química representa una forma más fuerte y más permanente de vinculación que el intercambio catiónico. Un número de metales y de compuestos orgánicos se puede inmovilizar en el suelo vía la absorción química de las arcillas, y los óxidos de hierro y aluminio, y materia orgánica. El fosfato también puede unirse con la arcilla y los óxidos de hierro y aluminio a través de la absorción química. El fosfato puede también precipitarse con los óxidos de hierro y aluminio para formar un nuevo mineral compuesto (fosfatos de hierro y aluminio), que son potencialmente muy estables en el suelo, produciendo el almacenamiento de fósforo a largo plazo. Otra reacción importante de precipitación que ocurre en los suelos del humedal es la formación de sulfuros de metales. Tales compuestos son altamente insolubles y representan los medios eficaces para inmovilizar muchos metales tóxicos en humedales. La volatilización, que implica la difusión de un compuesto disuelto desde el agua en la atmósfera, es otro mecanismo potencial de la remoción del contaminante en los humedales. La volatilización del amoníaco (NH_3) puede dar lugar a la remoción significativa de nitrógeno, si el pH del agua es alto (mayor que 8,5). Sin embargo, a pH más bajo cerca de 8,5, el nitrógeno del amoníaco existe casi exclusivamente en forma ionizada (amonio, NH_4^+), que no es volátil. Muchos tipos de compuestos orgánicos son volátiles, y se pierden fácilmente a la atmósfera desde los humedales y de otras aguas superficiales. Aunque la volatilización puede remover con eficacia ciertos contaminantes del agua, puede demostrar ser indeseable en algunos casos, debido al potencial para contaminar el aire con los mismos contaminantes. (Benefield, L.D. and C.W. Randall, 1980).

2.3 Tipos de Humedales

Son muy diversas las clasificaciones que existen en la identificación de los humedales artificiales. Vymazal (1998) sugiere una clasificación de

acuerdo con las características del material vegetal predominante en los lechos.

- a) Humedales contruidos, basados en macrófitas flotantes. Ej. ***Eichhornia crassipes, lemna minor.***
- b) Humedales contruidos, basados en macrófitas de hojas flotantes. Ej. ***Nymphaea alba, potamogeton gramineus.***
- c) Humedales contruidos, con macrófitas sumergidas. Ej ***Littorella uniflora, potamogeton crispus***
- d) Humedales contruidos, con macrófitas emergentes. Ej. ***Thypha latifolia, phragmites australis.***

Para el tratamiento de aguas residuales existe la posibilidad de usar las diferentes alternativas siempre y cuando las plantas se puedan adaptar a las condiciones ambientales. Sin embargo, las plantas correspondientes al grupo de macrófitas emergentes han demostrado buena capacidad de adaptación y en especial son resistentes a las condiciones ambientales adversas predominantes cuando se trata de aguas residuales.

Otra de las clasificaciones más importantes, y de la que sirve de referencia para el presente proyecto, se basa en el régimen hídrico, y en el cual se pueden distinguir dos tipos de sistemas de humedales artificiales desarrollados para el tratamiento de agua residual:

- a) Humedal artificial de flujo superficial (FS)
- b) Humedal artificial de flujo subsuperficial (FSS), dentro del cual se pueden encontrar de flujo horizontal (FSSH) y vertical (FSSV). Además, pueden existir combinaciones entre estos para formar sistemas híbridos.

2.3.1 Sistemas de flujo libre o superficial (FS)

Consisten en canales o balsas de poca profundidad (0.1 a 0.6 m) contruidas sobre el terreno con algún tipo de barrera que confina el

sistema y evita posibles filtraciones, y que contiene a su vez un lecho de grava o arena que soporta las raíces de la vegetación emergente y a través del cual circula el agua residual (figura 1). La superficie de agua está expuesta a la atmósfera y la trayectoria del flujo es horizontal.

Estos tipos de humedales son utilizados principalmente para tratamientos terciarios y, en algunos casos, para secundarios. A los sistemas de flujo superficial normalmente se les alimenta de agua residual pretratada, con algún tipo de tratamiento físico, de forma continua. El tratamiento se produce durante la circulación del agua a través de los tallos y raíces de la vegetación emergente. La exposición del agua a la atmósfera hace que el diseño adecuado de estos sistemas sea crucial para evitar problemas derivados de una posible sobrecarga del sistema, tales como aparición de olores y plagas de insectos. Los sistemas de flujo superficial también se pueden diseñar con el objetivo de crear nuevos hábitats para la fauna y flora o para mejorar las condiciones de humedales naturales próximos. Esta clase de sistemas suele incluir combinaciones de espacios abiertos y zonas vegetadas e islotes con la vegetación adecuada para proporcionar hábitats de cría para aves acuáticas.

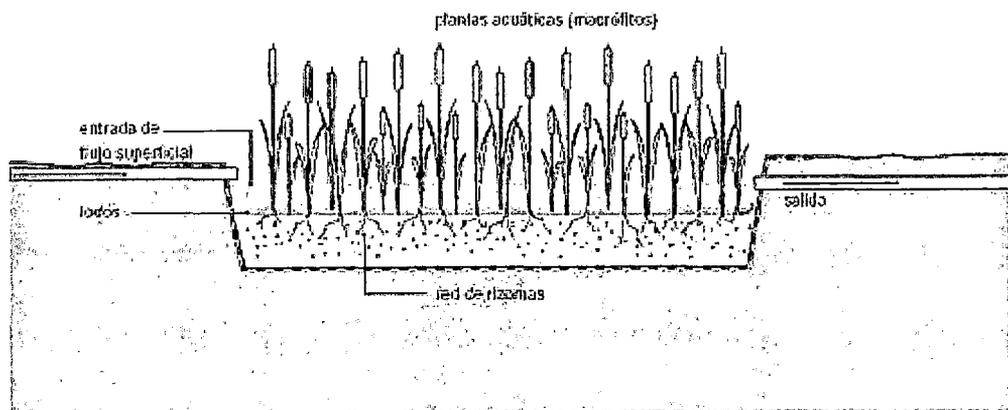


Figura 1: Humedal artificial de flujo superficial. Fuente:

<http://www.alianzaporelagua.org/Compendio/tecnologias/t/t5.html> último acceso 30-10-12

2.3.2 Sistemas de flujo Subsuperficial (FSS)

El humedal artificial de flujo subsuperficial consiste igualmente en una balsa o canal impermeabilizado del exterior, que se encuentra relleno de un material sólido poroso ocupando casi toda su profundidad. El agua residual circula a través del medio poroso y siempre por debajo de la superficie del mismo. Como medio poroso, se suele utilizar rocas o grava. Además de poseer un medio soporte, estos sistemas funcionan con vegetación emergente, cuyo papel es fundamental para su buen funcionamiento.

La circulación del agua a través del suelo o material de soporte parece ser siempre más efectiva que la circulación de superficie para muchos de los mecanismos de degradación de los contaminantes presentes en las aguas residuales. Durante el paso del agua residual a través del lecho poroso, se produce un contacto con zonas aerobias, anóxicas y anaerobias. La zona aerobia se encuentra en las zonas muy cercanas a la superficie y alrededor de las raíces y rizomas de las plantas. Los microorganismos que degradan la materia orgánica se encuentran formando una biopelícula alrededor de la grava y de las raíces de las plantas. Por lo tanto, cuanto mayor sea la superficie susceptible de ser ocupada por la biopelícula, mayor será la densidad de microorganismos y mayor el rendimiento del sistema. Este hecho hace que el área requerida sea menor que en los humedales de flujo superficial pero con un mayor coste debido al uso de una mayor cantidad de medio poroso. Además, con este sistema, se evitan problemas como posibles plagas de insectos, olores y, en climas fríos, aportan una mayor protección térmica.

Dentro de los humedales de flujo subsuperficial, como se enumeró anteriormente, se pueden encontrar dos tipos de flujo: flujo subsuperficial horizontal (FSSH) y flujo subsuperficial vertical (FSSV).

Los primeros trabajan con una alimentación continua realizada a lo largo de uno de los laterales. La recolección del agua depurada se realiza en la parte inferior del lado opuesto al de la alimentación. Como se ve en la

figura 2, el nivel de agua es regulado con una tubería flexible manteniendo en todo momento el lecho saturado de agua.

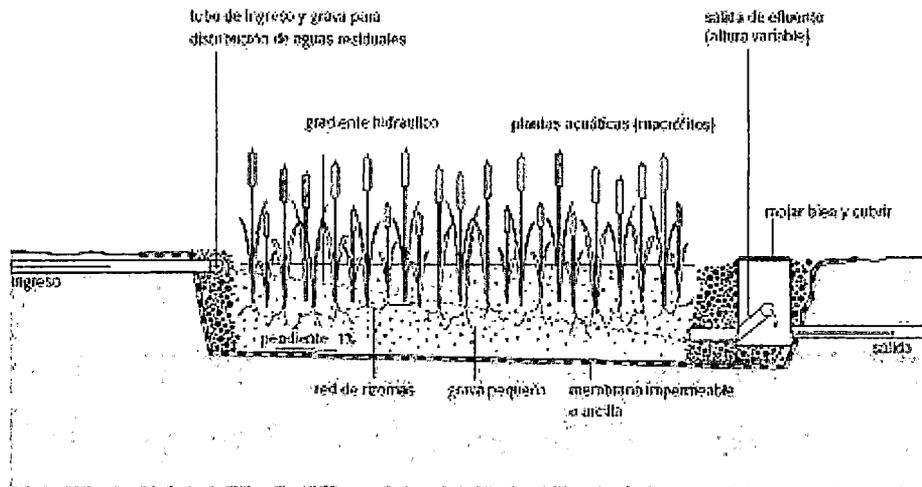


Figura 2. Sección transversal de un sistema de flujo sub-superficial horizontal.

Fuente: <http://www.alianzaporelaqua.org/Compendio/tecnologias/t/t5.html>

último acceso 30-10-12

En los humedales de flujo vertical, como se observa en la figura 3, la alimentación se realiza distribuida uniformemente y habitualmente por cargas por toda la superficie, y la recolección se realiza a lo largo de todo el fondo. La tubería de recolección está en la posición más baja para mantener condiciones insaturadas en el medio poroso. Con este sistema, se consigue un mayor contacto entre el agua residual y el aire dentro de los poros, por lo tanto, se dan mejores rendimientos en aquellos mecanismos aerobios que tienen lugar debido a un mayor aporte de oxígeno. Este tipo de humedales presenta el inconveniente en la operación por ser más compleja con respecto a los otros tipos de humedales.

De manera general los humedales artificiales de flujo subsuperficial son muy eficientes en lo referido a costo, consumo energético y mantenimiento, si los comparamos con sistemas convencionales.

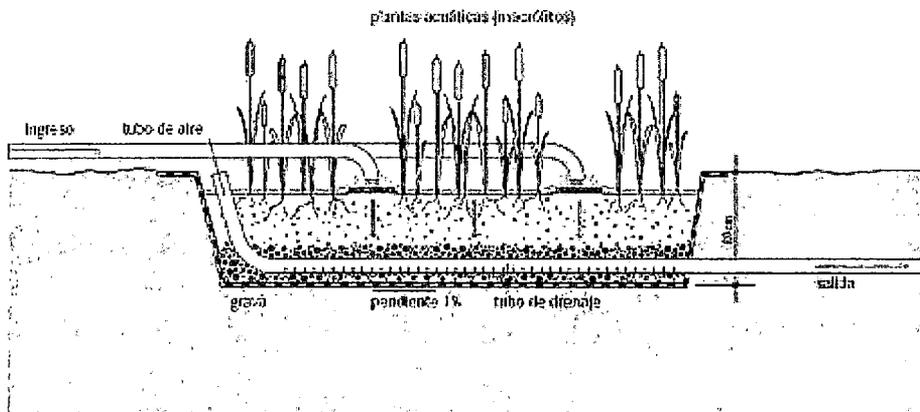


Figura 3. Sección transversal de un sistema de flujo sub-superficial vertical.

Fuente: <http://www.alianzaporelagua.org/Compendio/tecnologias/t/t5.html>

último acceso 30-10-12

2.4 Componentes de un Humedal

Los humedales artificiales contienen, básicamente, agua, un medio de soporte sólido y plantas emergentes. Otros componentes importantes de los humedales, como las comunidades de microorganismos y los invertebrados acuáticos, aparecen de forma espontánea durante su uso.

2.4.1 Agua

Es el componente de diseño más importante en un humedal artificial porque es el objeto del tratamiento ya que mediante esta unidad el agua que ingresa (afluente) contaminada será tratada obteniendo como resultado un agua a la salida (efluente) de mejores características físicas, químicas y biológicas.

El agua reúne todas las funciones del humedal y porque es a menudo el factor primario en el éxito o fracaso de este sistema de tratamiento.

Se debe considerar lo siguiente en el diseño de los humedales artificiales con respecto a agua:

- Pequeños cambios en la hidrología pueden tener efectos importantes en un humedal y en la efectividad del tratamiento.
- Debido al área superficial del agua y su poca profundidad, un sistema actúa recíproca y fuertemente con la atmósfera a través de la lluvia y la evapotranspiración (la pérdida combinada de agua por evaporación de la superficie de agua y pérdida a través de la transpiración de las plantas).
- La densidad de la vegetación en un humedal afecta fuertemente su hidrología, primero, obstruyendo caminos de flujo siendo sinuoso el movimiento del agua a través de la red de tallos, hojas, raíces, y rizomas y, segundo, bloqueando la exposición al viento y al sol para el caso de los humedales de flujo superficial.

2.4.2 Medio soporte

El relleno o medio de soporte junto con los sedimentos y los restos de vegetación, es importante por varias razones:

- Actúan como barrera primaria de tamizado.
- Actúan como estructura de soporte para las plantas y como superficie para el crecimiento y desarrollo de la masa microbiana. En esta función, el tamaño de partícula es importante, puesto que, cuanto más pequeño es el tamaño de partícula, mayor cantidad de biopelícula albergará, pero mayores probabilidades existirán de que se produzca una obturación de los poros (*clogging*) e inundaciones por encima del nivel subsuperficial (*flooding*). Por lo tanto, es necesario optimizar el tamaño de partícula.

- Facilitan los mecanismos de adsorción e intercambio iónico entre el agua residual y los componentes minerales del suelo. Por ejemplo, el ión amonio sufre una adsorción débil por parte del lecho, y la cantidad adsorbida depende en gran medida de las condiciones de pH, concentración, etc., en el seno del líquido (Kadlec y Knight, 1996).
- La permeabilidad del relleno o medio de soporte afecta el movimiento del agua a través del humedal.
- Favorecen la precipitación química de contaminantes disueltos, por ejemplo, precipitación de fosfatos con calcio, aluminio o hierro contenido en el relleno (Molle y col., 2003).

El comportamiento del humedal depende también de si el relleno está saturado de agua (FSSH) o está insaturado (FSSV). En un relleno saturado, el agua reemplaza el aire atmosférico, hecho que afecta, sobre todo, a la disponibilidad de oxígeno y determina la predominancia de mecanismos aerobios o anaerobios en los procesos biológicos que tienen lugar en el humedal. Cuando los aceptores de electrones alternativos al oxígeno (nitrito, hierro, manganeso, etc.) son insuficientes como para degradar la materia orgánica existente, aparecen zonas anaerobias en las que se dan procesos de fermentación. Por lo tanto, en un mismo sistema se estarán dando procesos aerobios, anóxicos y anaerobios. La distribución de estas zonas dependerá de las características del agua al ingreso, del aporte de oxígeno, de la morfología de las plantas (profundidad de las raíces, tipo de tallos, etc.), de las condiciones atmosféricas (viento, temperatura), etc. Existen estudios en los que se observa que el oxígeno es consumido inmediatamente, demostrando que las zonas aerobias y anóxicas son muy pequeñas y están localizadas en finas capas alrededor de las raíces y de la superficie del agua. La proporción de zonas aerobias y anóxicas disminuye a medida que se profundiza en el lecho poroso, es decir, que se aleja de las raíces y de la atmósfera.

2.4.3 Vegetación: Plantas acuáticas emergentes

Las plantas emergentes contribuyen al tratamiento del agua residual de varias maneras:

- Las plantas acuáticas que crecen en los FSS se supone que actúan como canales de transporte de gases (dióxido de carbono, metano, etc.) hacia la atmósfera y oxígeno hacia el relleno o medio de soporte. Por lo tanto, al aporte de oxígeno por difusión atmosférica a través de la superficie de la grava se le suma el aporte de la planta. La cantidad de oxígeno aportado por la planta depende de muchos factores: de la especie, del tamaño, de la época del año, de la edad de la planta, de las condiciones ambientales y del entorno, y de las condiciones oxidativas de las raíces. Las plantas suministran oxígeno a sus propias raíces para mantenerlas en condiciones aerobias. Si se encuentran con un lecho muy reductor, tienen que suministrar más oxígeno para contrarrestar esas condiciones. Es por esto que una misma especie puede aportar más oxígeno cuando está en contacto con agua residual. Esta cantidad de oxígeno transportado al lecho ha sido medido por varios autores y se encuentra en un amplio rango, incluso para la misma especie de plantas. Para *Phragmites australis* creciendo en lechos de grava, los valores varían entre 2.08 (Brix y Schierup, 1990) y $12 \text{ g O}_2/\text{m}^2/\text{d}$ (Armstrong y col., 1990).
- Las plantas contribuyen a estabilizar el cauce, influyen en la conductividad hidráulica del terreno, distribuyen y ralentizan la velocidad del agua, lo que favorece la sedimentación de los sólidos suspendidos y aumenta el tiempo de contacto entre el agua y la vegetación (Pettecrew y Kalff, 1992).

- Toman el carbono, nutrientes, y elementos de traza y los incorporan a los tejidos de la planta (Vymazal y col., 1998; Dierberg y Brezonik, 1984).
- La influencia de las raíces de las plantas es bastante grande. Alrededor de las raíces, existen gradientes de muchas de las especies químicas presentes en el agua (Kadlec y Knight, 1996). Éstos son atribuibles a la extracción de nutrientes y de otras sustancias por las plantas hacia su sistema de raíces. Esto agota las sustancias disueltas en el agua.
- Compactan el lecho dotándolo de estabilidad.
- Las raíces actúan como superficie para la fijación de microorganismos, aumentando así, la superficie de biopelícula (Kadlec y Knight, 1996; Bastviken y col., 2005).
- Minimizan el gradiente de temperatura dentro del relleno, protegiéndolo del frío en invierno y evitando flujos indeseables por diferencias de temperatura (García y Col., 2003; Brix, 1994).
- Cuando se mueren y se deterioran, dan lugar a restos de vegetación.

Hay estudios (Kadlec y Knight, 1996) con y sin plantas que concluyen que el rendimiento de depuración es mayor cuando las plantas están presentes.

Las plantas emergentes que frecuentemente se encuentran en la mayoría de los humedales para aguas residuales incluyen espadañas, carrizos, juncos, y juncos de laguna. Los juncos de laguna y las espadañas o una combinación de estas dos especies son las dominantes en la mayoría de los humedales artificiales en los Estados Unidos (USEPA, 1993).

También existen algunos sistemas con carrizos, siendo esta especie la dominante en los humedales artificiales europeos. Cuando se diseñan sistemas que específicamente buscan un incremento en los valores del hábitat, además de conseguir el tratamiento del agua residual, usualmente incluyen una gran variedad de plantas, especialmente para proporcionar alimentación y nido a las aves y otras formas de vida acuática.

Particularmente en el Perú, las especies vegetales más usadas en los sistemas de tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales son: ***Canna indica***, ***Cyperus Alternifolius***, ***Phragmites australis*** (carrizo), ***Bambusa vulgaris*** (bambú), ***Typha latifolia*** (Totora) y ***Scirpus lacustris*** (Juncos).

2.4.4 Microorganismos (Biopelícula)

Muchas transformaciones de los nutrientes y del carbono orgánico en humedales son debidas al metabolismo microbiano y están directamente relacionadas con el crecimiento de los microorganismos. Éstos incluyen, principalmente, bacterias, hongos, y protozoarios. Esta biomasa se encuentra formando una biopelícula alrededor de las partículas del lecho.

En general, los procesos microbiológicos por los cuales los microorganismos depuraran el agua residual en el humedal son los mismos que en los sistemas biológicos convencionales. Los microorganismos utilizan los nutrientes y el carbono tanto como fuente de energía como para la formación de nueva biomasa microbiana. La velocidad de crecimiento de esta nueva biomasa dependerá tanto de las condiciones ambientales como de la disponibilidad del substrato. La energía es obtenida por la oxidación de compuestos reducidos (dador de electrones) con un oxidante (aceptor de electrones) a través de la cadena respiratoria. Ejemplos de donantes de electrones pueden ser compuestos orgánicos, amonio, hidrógeno o sulfuros; mientras que, como aceptores se pueden encontrar oxígeno, nitrato, hierro (III), manganeso (IV) ó sulfato.

La mayoría de los procesos son llevados a cabo por bacterias heterótrofas y autótrofas. Dependiendo del aceptor final de electrones, el proceso será más o menos rentable. La degradación aerobia de materia orgánica alcanza mayor energía por unidad de masa de donador de electrones que la nitrificación o cualquier otra degradación orgánica. Las bacterias que no utilizan oxígeno como aceptor final de electrones tienen un crecimiento más lento ya que el proceso resulta, en general, menos eficiente que el de la respiración aeróbica. Existe una relación entre el potencial redox y los aceptores de electrones que actúan en la respiración microbiana dentro del humedal (García y Col., 2003).

Los microorganismos, en su crecimiento, consumen nutrientes incorporándolos a su estructura celular. Es obvio, por tanto, decir que las condiciones químicas y físicas que condicionan qué tipo de microorganismos van a existir (heterótrofos, autótrofos) influyen en la cantidad de nutrientes absorbida.

Las poblaciones microbianas se ajustan a los cambios en el agua que les llega y se pueden extender rápidamente cuando se tiene la suficiente energía. Cuando las condiciones medioambientales no son convenientes, muchos microorganismos se inactivan. La comunidad microbiana de un humedal puede ser afectada por sustancias tóxicas, como pesticidas y metales pesados, y debe tenerse cuidado para prevenir que tales sustancias se introduzcan en las cadenas tróficas en concentraciones perjudiciales.

2.5 Mecanismos básicos de depuración en un humedal artificial

Los humedales pueden tratar con efectividad altos niveles de demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), sólidos suspendidos (SS), y nitrógeno, así como niveles significativos de metales, compuestos orgánicos traza y patógenos. La eliminación de fósforo es mínima debido a las limitadas oportunidades de contacto del agua residual con el suelo. Los mecanismos básicos de tratamiento son el tamizado, la sedimentación, precipitación química, adsorción y degradación microbiológica de la DBO

y del nitrógeno, así como la captación por parte de la vegetación. Si no se practica la poda, se encuentra una fracción de la vegetación que se descompone y que permanece como materia orgánica refractaria, que termina formando turba en el humedal.

En la tabla 1, se pueden ver los principales procesos que se llevan a cabo en un humedal y que permiten la depuración del agua residual.

Tabla 1. Mecanismos de depuración predominantes en los humedales artificiales

Contaminantes	Mecanismos de eliminación
Sólidos suspendidos	<ul style="list-style-type: none"> • Sedimentación • Filtración
Materia orgánica (DBO5)	<ul style="list-style-type: none"> • Degradación microbiana aerobia • Degradación microbiana anaerobia
Nitrógeno	<ul style="list-style-type: none"> • Amonificación seguido por nitrificación microbiana y desnitrificación • Asimilación por parte de la plantas • Adsorción principal • Volatilización del amoniaco
Fosforo	<ul style="list-style-type: none"> • Adsorción por parte del lecho • Asimilación por parte de las plantas
Metales	<ul style="list-style-type: none"> • Adsorción por parte del lecho • Intercambio iónico
Patógenos	<ul style="list-style-type: none"> • Sedimentación • Filtración • Muerte natural • Irradiación ultravioleta

Fuente: Depuración de aguas residuales con humedales artificiales: Ventajas de los sistemas híbridos. Javier Mena Sanz, 2008

2.6 Aplicaciones

Estas características hacen que los humedales artificiales sean idóneos en sistemas rurales, sin alcantarillado y por tanto sin conexión a estaciones de tratamiento, con grandes extensiones de terreno disponibles (especialmente granjas o casas rurales), o también en algunas fincas industriales que generen efluentes de tipo orgánico y de elevada biodegradabilidad, como son las industrias agroalimentarias (como por ejemplo, lecherías y queserías), o también para la depuración de aguas ácidas de minas, o de lluvia.

También se puede usar en tratamientos de aguas grises para reuso en áreas verdes de conjuntos habitacionales.

Los aspectos que han motivado el creciente interés por esta tecnología son los siguientes:

- Proporcionan un tratamiento eficaz, eliminando de las aguas residuales un amplio espectro de contaminantes: materia orgánica, nutrientes, microorganismos patógenos, metales pesados, etc.
- Sus costes de inversión, operación y mantenimiento son significativamente menores que los de los sistemas convencionales de tratamiento.
- Proporcionan un tratamiento secundario y/o terciario produciendo un agua reutilizable en muchos casos.
- El aporte de oxígeno es espontáneo.
- No generan lodos.
- Aguantan bien las fluctuaciones de caudal o de carga contaminante.

- Están bien integrados dentro del paisaje, contribuyen al desarrollo de vida salvaje y tienen la posibilidad de ser utilizados para la concienciación y educación medioambiental.

A pesar de todas estas ventajas, se ha observado que:

- En países con clima templado durante el invierno disminuye la efectividad de depuración de estos sistemas, sobre todo en la eliminación de nitrógeno.
- La eliminación fósforo es baja y disminuye con el tiempo.
- Requieren grandes extensiones de terreno para alcanzar resultados satisfactorios.
- No pueden ser alimentados directamente con aguas residuales de altas cargas orgánicas o de sólidos suspendidos. Requieren pretratamientos, al menos, para eliminar un exceso de sólidos suspendidos que podría provocar la obturación del lecho en poco tiempo.

2.7 Consideraciones de diseño

El dimensionamiento y las características físicas del humedal construido dependen, entre otros factores, de la localización de la planta, de las características climáticas del sitio, de las características de calidad del agua afluente, de la calidad del agua efluente deseada, y de las restricciones de calidad del vertido de aguas tratadas, exigidas por las autoridades locales.

Es frecuente el uso de ecuaciones de primer orden, de regresiones estadísticas desarrolladas a partir de información obtenida de base de datos y/o el empleo de modelos numéricos empíricos. Las dimensiones obtenidas por estos métodos generan áreas mínimas de tratamiento, que

entre otros factores dependen del contaminante que se quiere eliminar, de la concentración original, del objetivo de calidad final, de la posición geográfica de la planta y las condiciones climáticas del sitio de localización.

A continuación se muestran algunos parámetros de diseño para humedales:

**Tabla N°2. Parámetros típicos de diseño para humedales
construidos para tratamiento de aguas residuales domesticas
(Adaptado de Constructed wetlands for wastewater treatment in
Europe 1998)**

Parámetro de Diseño	Tipos de Flujo		
	Horizontal	Sub-superficial	Vertical
Carga orgánica afluente	<112 DBO ₅ Kg ha ⁻¹ d ⁻¹	<150 DBO ₅ Kg ha ⁻¹ d ⁻¹	<112 DBO ₅ Kg ha ⁻¹ d ⁻¹
Carga hidráulica	< 5 cm d ⁻¹	< 5 cm d ⁻¹	< 5 cm d ⁻¹
Tiempo de retención hidráulica	5 – 15 días	< 5 días	1 – 2 días
Área específica por PE	De 5m ² a 20m ² PE	De 5m ² a 20m ² PE	De 1m ² a 5m ² PE
Relación largo ancho	10:01	03:01	NA
Profundidad	< 0.60 m	< 0.60 m	> 1.00 m
Pendiente del fondo	< 0.1%	< 0.1%	NA
Tipo de relleno	NA	Arenas y gravas	Arenas y gravas
Vegetación	Variable	Variable	Variable

**Fuente: Carlos Arias / Hans Brix, 2003. Humedales artificiales para el
tratamiento de aguas residuales.**

2.8 Consideraciones ambientales y de Salud Pública

La protección de la Salud Pública es el propósito fundamental del tratamiento de residuos y le sigue en importancia la protección del medio ambiente. Por tanto es responsabilidad de los ingenieros proyectistas, investigadores, científicos y gestores públicos involucrados, asegurar que los sistemas de tratamiento logren esta meta.

Dos aspectos convergentes propugnan para que los ingenieros consideren los procesos naturales, como son los sistemas de humedales artificiales. El primero es la demanda cada vez mayor de agua en un momento en que las fuentes más económicas ya están agotadas o están cerca de estarlo. El segundo aspecto es el volumen creciente de residuos biológicos y químicos que potencialmente entran en la red de aguas superficiales provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residual.

Desde este punto de vista y teniendo en cuenta que el costo de construir y operar instalaciones de tratamiento avanzado de agua residual, es bastante alto comparado con el costo del tratamiento primario y secundario, la búsqueda de un acercamiento diferente para pulir el efluente, ha renovado el interés en la aplicación al terreno o a humedales artificiales de efluentes de instalaciones convencionales de tratamiento de agua residual. Los sistemas que son más "naturales" en el sentido de que en ellos influyen más las condiciones medioambientales naturales de temperatura, lluvia, luz solar y acción del viento son alternativas útiles a los sistemas convencionales, ya que comparados con los sistemas convencionales, los sistemas naturales usan menos energía eléctrica y requieren menos mano de obra para las labores de operación y mantenimiento.

Desde el punto de vista de salud pública y medioambiental, los sistemas naturales tienen potencialmente más puntos de contacto con el ambiente y con el público, debido a la mayor extensión de terreno que involucran.

El control del efluente es complicado porque los indicadores de organismos (coliformes totales) no muestran claramente la magnitud de tratamiento del agua residual (por ejemplo remoción de organismos patógenos). Cualquier aplicación futura de agua residual a humedales artificiales debe estar libre de riesgos irrazonables para la salud pública. Puede controlarse el acceso público a estos sistemas cercando, de modo que en lo referente a salud pública solo sea necesario monitorear el efluente y tener un adecuado cuidado con los operarios de las instalaciones.

Los principales contaminantes en el agua residual entran en las siguientes categorías: nitrógeno, fosforo, organismos patógenos, metales pesados y trazas orgánicas. Los patógenos incluyen bacterias, virus, protozoarios y helmintos. Los metales pesados incluyen cadmio, cobre, plomo, mercurio, selenio y zinc. Las trazas orgánicas incluyen compuestos sintéticos muy estables (sobre todo hidrocarburos clorados).

Las consideraciones en cuanto a salud, se refieren principalmente a nitrógeno, metales pesados, patógenos o trazas orgánicas.

2.8.1 Nitrógeno

El nitrógeno está limitado en el agua de boca para proteger la salud de los niños y puede limitarse en aguas superficiales para prevenir eutrofización. Puede eliminarse nitrógeno en estos sistemas mediante procesos de nitrificación/desnitrificación y posterior pérdida de gas a la atmosfera. La remoción de nitrógeno en sistemas de humedales artificiales está entre un 25 y un 85%.

2.8.2 Fósforo

La remoción de fosforo en humedales no es muy eficaz debido a las limitadas oportunidades de contacto entre el agua residual y el terreno.

Los mecanismos principales para la remoción de fósforo son la captación por parte de las plantas y la retención en el terreno.

2.8.3 Patógenos

En lo referente a las aguas superficiales que recibirán la descarga del efluente del humedal artificial, los patógenos de interés en los sistemas de tratamiento acuáticos son bacterias y virus. Generalmente no es una preocupación la contaminación del agua subterránea, ni la transmisión a otros lugares vía aerosoles. El agua subterránea no se contaminara en sistemas que estén sellados por una arcilla impermeable o por una barrera de material sintético.

La investigación se ha dirigido a la transmisión de enfermedades parasitarias a los animales y el hombre por medio de la aplicación el terreno de aguas residuales municipales y lodos de plantas de tratamiento. Estudios significativamente completos indican que los parásitos no aumentan en el ganado que ha estado en contacto con pastos regados por agua residual. Los resultados son consistentes en varias regiones del mundo, como Estados Unidos, Polonia y Australia. Estos estudios, aunque no han sido realizados en sistemas de humedales artificiales, indican que el potencial de problemas serios no parece estar presente.

2.8.3.1 Bacterias

La fauna puede verse afectada por los sistemas de humedales, ya que los lodos anaerobios pueden contener el organismo causante del botulismo (*Clostridium Botulinum*). El control de este patógeno puede lograrse en gran medida por puntos de dispersión múltiples para el humedal de flujo superficial. Este patógeno no es un problema para las aves salvajes en humedales de flujo sub superficial.

Las principales vías de transmisión de enfermedades a los seres humanos desde el agua residual son: el contacto directo con el agua residual, transporte de aerosoles, cadena alimenticia, e inadecuado tratamiento del agua de bebida.

Investigaciones en Santee, California, con sistemas de flujo subsuperficial, han estudiado la contribución de la vegetación a la eliminación de bacterias coliformes en humedales artificiales. Cada lecho del humedal consistió en una impermeabilización plástica y una excavación de 18.5m de largo por 3.5m de ancho y 0.76m de profundidad, con vegetación emergente que crece en arena gruesa. El flujo del afluente era agua residual municipal primaria. Los niveles de coliformes totales en el afluente eran de 6.75×10^7 NMP/100ml y se redujeron a 5.77×10^6 NMP/100ml (99% de reducción). El tiempo de residencia hidráulico era de 5.5 días. El declive de la población de coliformes es debido a la sedimentación, filtración y absorción. La luz del sol ha demostrado tener un efecto letal en los coliformes.

Midiendo la proporción de inactivación de bacterias coliformes en bolsas selladas, con incubación in situ debajo de la superficie de la arena gruesa de un humedal tipo SSF, el resultado fue que la proporción de inactivación a través del sistema del humedal era dos veces la de uno sin contacto con la vegetación. La diferencia indica que la mitad de la degradación se debe a la acción que la vegetación efectúa.

En California donde la legislación es estricta respecto a los humedales naturales, los humedales artificiales presentan algunas ventajas sobre los naturales, ya que los efluentes finales pueden tratarse con cloro. La desinfección con cloro de efluentes de humedales artificiales puede producir aguas que se pueden reutilizar sin restricción, siempre que los niveles de coliformes totales puedan reducirse a $<2,2$ NMP /100ml (legislación referente a reutilización de aguas del estado de California) o <1.000 /100ml en el 80% de las muestras (recomendación de la Organización Mundial de la Salud). Hay una tendencia creciente a no

usar cloro como desinfectante en casos donde la formación trihalometanos (THM) es probable. La desinfección del efluente del humedal con ultravioleta (UV) u ozono es una alternativa ya que no producen THM.

2.8.3.2 Virus

Los virus en la mayoría de los sistemas del tratamiento son más resistentes a la inactivación que las bacterias. Se probó la eficacia de remoción de un sistema de SFS en Santee, California, con un indicador de polución viral (bacteriófago MS-2); se informó de un 98.3% en escala de demostración (800m²) con un lecho de juncos y un tiempo de detención de 5.5 días. Esto involucro la plantación en el agua residual afluente de virus MS-2 se escogió porque es un bacteriófago de ARN casi de igual tamaño que los enterovirus y es más resistente a los rayos UV, el calor y la desinfección que la mayoría de los virus entéricos.

2.8.4 Metales

Los metales pesados son contaminantes medioambientales comunes que se producen como resultado de actividades industriales, comerciales y domésticas, y aunque las normas obligan a las industrias que vierten estos productos a alcanzar niveles de pretratamiento altos, la presencia o no en el agua residual depende de la eficiencia del sistema de control de los vertidos industriales.

Las unidades de proceso convencionales de tratamiento primario y secundario en las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales son inadecuadas para la remoción eficaz de metales pesados. Procesos avanzados, incluida la precipitación química, electrolisis, osmosis inversa e intercambio iónico, son usados para el pretratamiento de fuentes conocidas de metales pesados en aguas residuales industriales. El uso de estos procesos para quitar concentraciones bajas de metales pesados en agua residual municipal tiene la desventaja de un costo de capital alto

y unos costes de funcionamiento y mantenimiento también altos. Las desventajas adicionales pueden ser costes de energía eléctrica relativamente altos para la electrolisis y la osmosis inversa y la producción de cantidades grandes de lodos voluminosos con un alto tiempo de decantación en los procesos de la precipitación química.

Por tanto, un proceso del tratamiento que precipita y retiene metales pesados en el área confinada de un humedal artificial logra el mismo nivel de remoción con menos mano de obra y menores costes de energía. El objetivo del tratamiento para los metales pesados es quitar los metales del medio ambiente y de la cadena alimenticia, sobre todo la cadena alimenticia en ríos y aguas marinas.

2.8.5 Trazas orgánicas

Las aguas residuales municipales e industriales contienen concentraciones variables de compuestos orgánicos sintéticos. Durante 1960-1970, los investigadores medioambientales se dieron cuenta de la tendencia de algunos contaminantes orgánicos a resistirse a ser removidos en el tratamiento convencional del agua residual y persistir en el ambiente por periodos muy largos. Una observación más perturbadora era que esos compuestos tóxicos persistentes fueron encontrados acumulándose en las cadenas alimenticias, debido a la tendencia de los compuestos.

III. HIPOTESIS

Los microorganismos que degradan la materia orgánica se encuentran formando una biopelícula alrededor de la grava y de las raíces de las plantas. Por lo tanto, cuanto mayor sea la superficie susceptible de ser ocupada por la biopelícula, mayor será la densidad de microorganismos y mayor el rendimiento del sistema

En ese sentido la hipótesis del proyecto se plantea sobre la base de que el humedal artificial con grava de tamaño 3/4" a 1", presentara una mayor remoción de materia orgánica en relación a los otros 02 humedales. Ello debido a que esta contendrá la grava de menor tamaño, y por ende tenderá a formar una mayor área de contacto entre los microorganismos y el sustrato (agua residual).

IV. OBJETIVOS

Objetivo General

- El objetivo principal del presente proyecto es determinar el rango de tamaño de grava, que presenta la mayor remoción de materia orgánica en el agua residual, considerando para tal efecto iguales condiciones de caudal, temperatura, especie vegetal y dimensiones en los tres humedales artificiales

Objetivos Especificos

- Determinar la Demanda Química y Bioquímica de Oxígeno a la entrada y salida de los humedales, así como en el tanque de almacenamiento.
- Determinar los parámetros básicos como ph, temperatura, turbiedad y evaporación.
- Evaluar la eficiencia de remoción de los humedales artificiales en función a 02 caudales diferentes: 20ml/min (28.8 l/día) y 30ml/min (43.2 l/día)

Metas

- Habilitación de la zona de trabajo
- Construcción de 03 humedales artificiales, cuya grava presente los siguientes rangos de tamaño: (3/4"-1", 1.1/2"-2" y 2"-2.1/2")

- Colocación de plantaciones de la especie *Canna indica* verde de floración roja.
- Habilitación de un tanque de almacenamiento que permita alimentar continuamente a los humedales
- Construcción de un sistema de distribución de caudales, que permita alimentar de uniformemente a los humedales.

V. DESCRIPCION DEL PROYECTO

El proyecto consiste en la construcción de 03 humedales artificiales que serán empleadas para el tratamiento secundario del agua residual proveniente del RAFA (reactor anaerobio de flujo ascendente) ubicada en la Planta Piloto CITRAR.



Foto N°1. Ubicación de la Planta de Tratamiento de Agua residual CITRAR

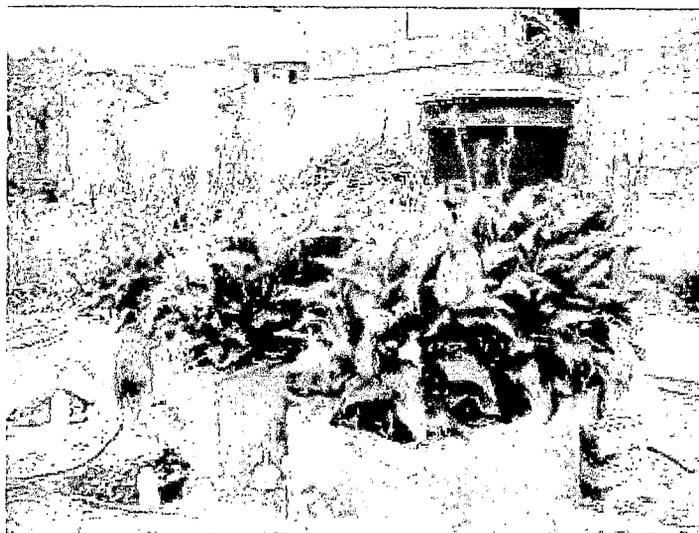


Foto N°2. Vista de los Humedales artificiales. Fuente propia

La captación del agua residual se llevó a cabo desde la zona de sedimentación del reactor y será impulsada mediante una bomba de 0.5HP, hacia un tanque de almacenamiento que alimentara por gravedad a los humedales artificiales. El agua residual una vez en el tanque será repartida a los humedales mediante un pequeño distribuidor de caudales preparado para trabajar con caudales desde 10ml/min a 30ml/min.

Los humedales fueron construidos de material noble con dimensiones 1.20x0.40x0.50m cada uno. El material utilizado como medio de soporte se conformo por grava, confitillo y arena gruesa, dispuestos en capas de 0.35, 0.05 y 0.05m respectivamente. La grava contenida en cada humedal fue de diferente tamaño, considerándose para nuestro proyecto de investigación 03 rangos de tamaño: 3/4" - 1", 1.1/2" - 2", 2" - 2.1/2".

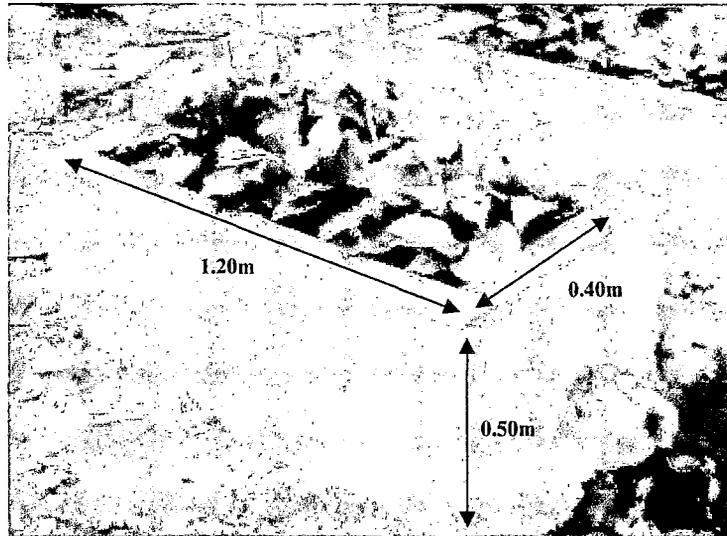


Foto N°3. Dimensiones de los humedales artificiales. Fuente propia

Para lograr el objetivo de la investigación evaluamos las características del agua residual a la entrada y la salida de los humedales, así como también a la salida del tanque de almacenamiento. Los análisis efectuados para estimar dicho nivel de remoción fueron:

- DQO (Demanda Química de Oxígeno)
- DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno al quinto día)
- Sólidos suspendidos totales
- Turbiedad
- Temperatura
- pH

VI. DESCRIPCION DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES

6.1. Tanque de Almacenamiento

El tanque de almacenamiento está conformado por un tanque de PVC de 500 litros de capacidad, ubicado al ingreso de los humedales y elevado a 0.60m sobre el nivel del suelo.



Foto N°4. Tanque de almacenamiento de 500 Litros. Fuente propia

Entre las funciones básicas del tanque de almacenamiento se encuentran la de proveer carga hidráulica para el flujo a través de los humedales artificiales y facilitar la regulación del caudal al ingreso de los mismos.

Así mismo el tanque estuvo provisto con un dispositivo de recolección superficial de agua, instalado adecuadamente en su interior, y cuya función fue la de captar el agua superficialmente y mantener la carga hidráulica constante durante el tiempo que duro la etapa de pruebas.

6.2. Distribuidor de caudal

El distribuidor de caudal fue ubicado a la salida del tanque de almacenamiento, permitiendo la repartición equitativa del caudal entre los 03 humedales.

Este dispositivo fabricado artesanalmente con un envase plástico, cuya función fue conducir caudales iguales hacia cada uno de los humedales. Mediante pequeñas mangueras y reguladores de caudal situados a la salida de cada una de estas se pudo regular el caudal a los valores establecidos en la presente tesis.

Este dispositivo permitió regular el caudal en un rango de 20 a 30 ml/min.
(43.2 l/d a 28.8 l/d)

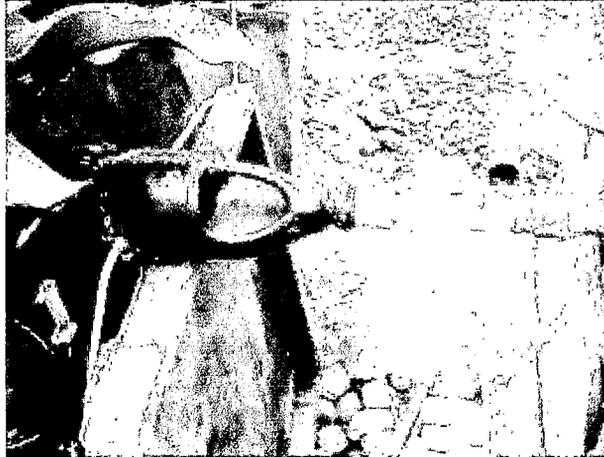


Foto N°5. Distribuidor de caudal ubicado a la salida del tanque. Fuente propia



Foto N°6. Regulación del caudal. Fuente propia

6.3. Humedales artificiales

Los humedales artificiales fueron ubicados inmediatamente después del tanque de almacenamiento y fueron construidos en material noble con

una base de concreto de 10 cm de espesor, muros laterales de ladrillos unidos con mortero y revestidos con lechada de cemento, para asegurar una adecuada impermeabilización

Las dimensiones internas de los tres (03) módulos construidos son:

Largo: 1.20m

Ancho: 0.40m

Altura: 0.50m

El fondo de cada humedal está construido de forma tal que presenta una pendiente de aproximadamente 1%.

Los humedales artificiales cuentan con dispositivos de ingreso, conformado por tuberías PVC de 1/2" con seis perforaciones de 1.0mm de para una mejor distribución del afluente. La zona de ingreso de los humedales estuvo conformada exclusivamente por grava de aproximadamente 1.1/2" de tamaño.

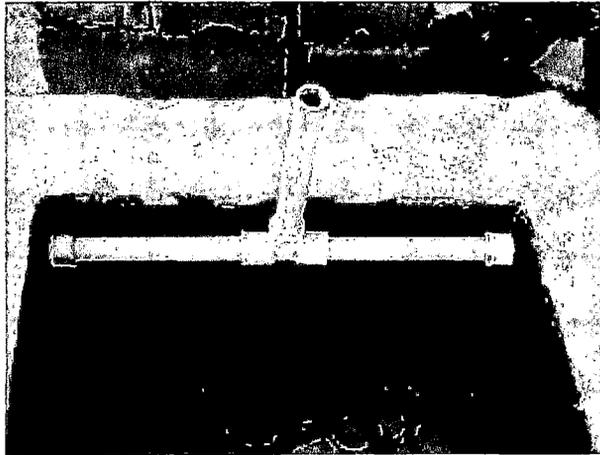


Foto N°7. Tubería PVC de 1/2" con perforaciones de 2.0mm para la distribución del afluente. Fuente propia

La recolección del agua residual se lleva a cabo desde la parte baja del humedal, mediante tuberías PVC de 1/2" con seis perforaciones de 5.0mm para la recolección del efluente.

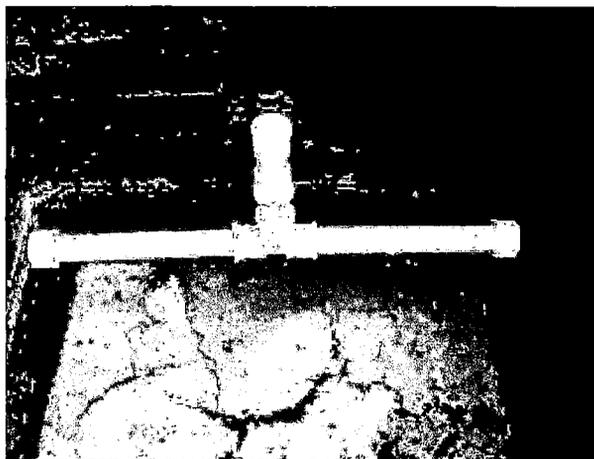


Foto N°8. Tubería PVC de 1/2" con perforaciones de 5.0mm para la recolección del efluente. Fuente propia

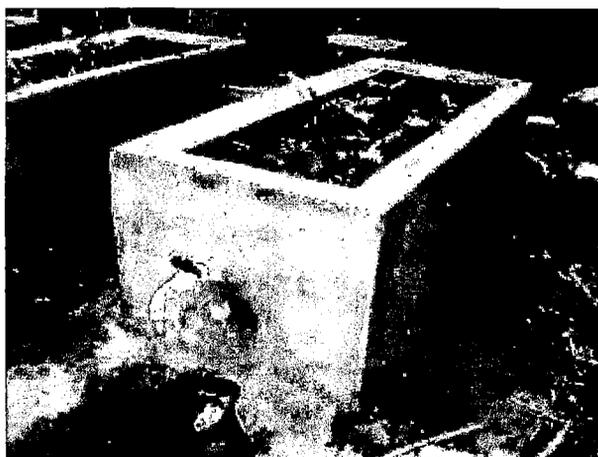


Foto N°9. Humedal artificial construido de material noble. Fuente propia

6.3.1. Agua

La fuente de agua para el proceso experimental tuvo como fuente de abastecimiento los desagües provenientes del asentamiento humano "El

Angel" y "El Milagro", los cuales recibieron tratamiento primario antes de su ingreso a la unidad de tratamiento (humedales experimentales).

Este tratamiento primario consistió en el paso de los desagües por una cámara de rejillas, desarenador y UASB (RAFA) en el orden mencionado, con lo cual se redujo la carga orgánica, sólidos totales y coliformes fecales; obteniendo como producto el afluente adecuado y necesario para realizar los ensayos en nuestros humedales artificiales.

6.3.2. Medio de soporte

El material para el medio de soporte estuvo conformado por grava en el fondo, confitillo en el nivel inmediatamente superior y arena gruesa en la parte superior, dispuestos en 03 capas de 0.35, 0.05 y 0.05m respectivamente. La grava utilizada es de diferente tamaño, y se han considerado para este caso 03 rangos diferentes para cada humedal: 3/4" - 1", 1.1/2" - 2", 2" - 2.1/2".

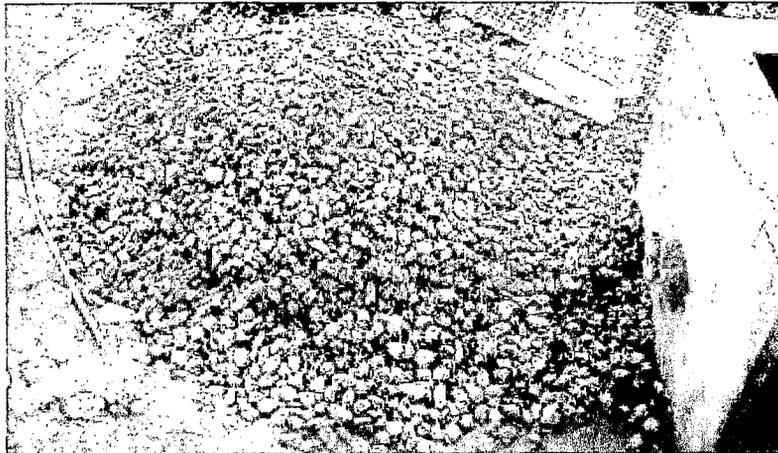


Foto N°10. Grava pequeña tamaño comprendido de 3/4" a 1". Fuente propia

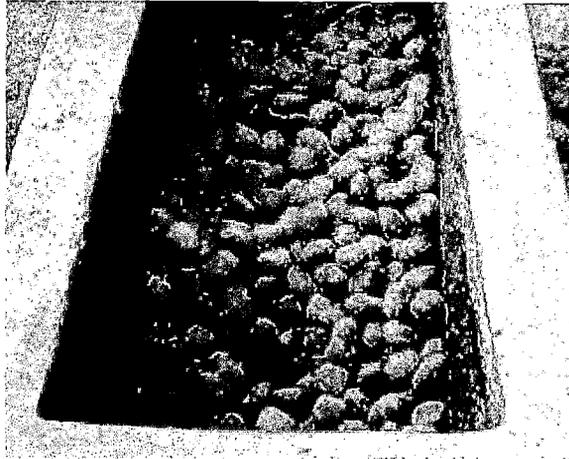


Foto N°11. Grava pequeña tamaño comprendido de 1.1/2" a 2". Fuente propia

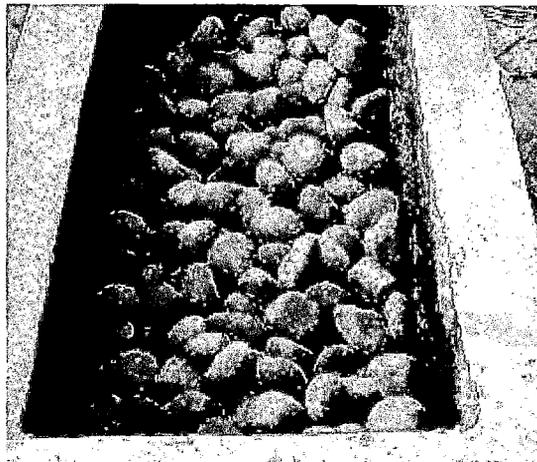


Foto N°12. Grava pequeña tamaño comprendido de 2" a 2.1/2". Fuente propia

6.3.3 Especie Vegetal

La especie vegetal utilizada en el proyecto corresponde a la *Canna indica*, cuyas características pasamos a detallar brevemente a continuación.

a) Familia

Canna indica (*achira, achera, sagú, capacho, biri, cucuyús, juquián*, caña de India o *papantla*) es una planta perenne de 1,5 a 3 m de altura perteneciente a la familia de las *cannáceas*

b) Nombres

Adeira, Munay (amahuaca), wayampai (aguaruna)

c) Descripción

La ***Canna indica*** es una planta herbácea que crece con tallos que pueden variar de 0.40m a 2.50m de alto y posee rizoma corto y tuberoso. Sus tallos están envueltos en vainas de hojas laminares. Sus flores pueden ser de color rojo, amarillo o anaranjado, esto depende de la especie. Su fruto capsular tiene semillas esféricas muy duras y de color negro.

La cosecha de la achira para la producción de almidón se realiza entre los 6 y 9 meses, esto varía según las condiciones de precipitación, tipo de suelo y altura sobre el nivel del mar.

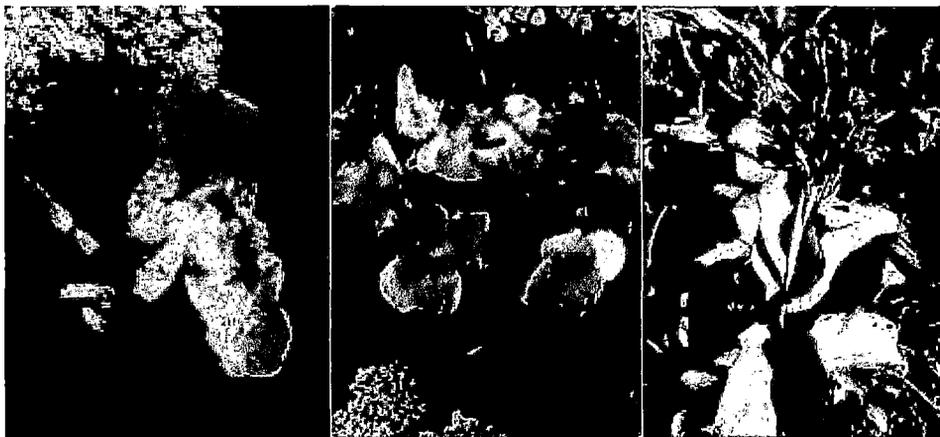


Foto N°13. Variedades de *Canna indica* según el color de la flor, de izquierda a derecha tenemos achira amarilla, achira naranja y achira roja.

Fuente propia

d) Distribución

La achira es de origen sudamericano y se cultivaba en el Perú hace 4,500 años. Se ha distribuido en todo el mundo desarrollándose en climas tropicales y subtropicales. En el Perú, se encuentran cultivos de **achira** en la costa y sierra.

La achira se puede cultivar desde el nivel del mar hasta los 2.700 msnm, pero prospera en climas montañosos tropicales o subtropicales templados, entre los 800 y 1,850 msnm; a temperatura promedio de 14 a 27 °C y precipitaciones anuales mínimas de 500 mm y hasta de 1.200 mm.

Crece muy bien en suelos livianos de textura franca o franco-limosa. Tolerancia a la acidez y crece en pH de 4.5 a 8.0, su mejor comportamiento se observa en pH de 5.0 a 6.5.

e) Origen

Cultivada desde la época prehispánica. Existen representaciones en la cerámica de la costa peruana y restos de los rizomas en tumbas de 2,500 años de antigüedad. Actualmente, sólo en Ecuador y Perú es un cultivo de regular importancia.

f) Usos

Alimento: Los rizomas se consumen cocidos, horneados y crudos. Las hojas se comen tiernas como verdura.

Almidón: Se rayan los rizomas, se echa en agua, se decantan las fibras y se seca el almidón. El almidón de esta planta tiene los granos más grandes que se conocen, fácil de separar y de color transparente cuando

cocido. Es un alimento muy adecuado para niños, ancianos y enfermos.

Medicinal: Muchas aplicaciones en la medicina popular.

Forraje: Para vacunos, cerdos y cuyes

g) Variedades

Se conocen las achiras verdes con rizomas blancos y hojas verdes, las achiras moradas con los rizomas con cobertura de color violeta y las hojas de color morado.

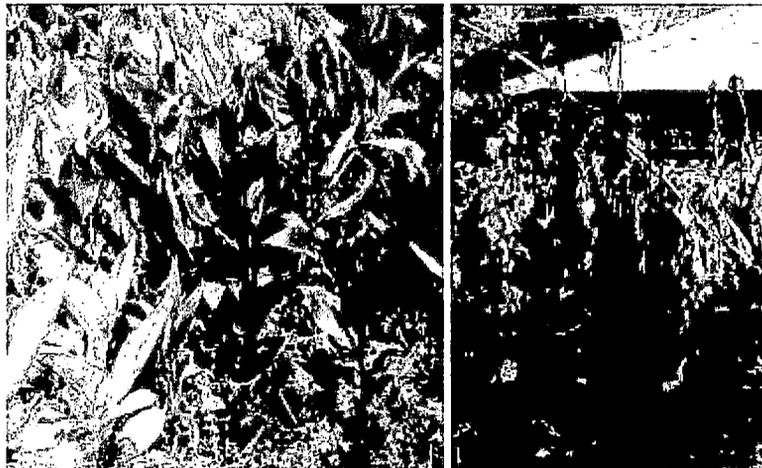


Foto N°14. Izquierda *Canna indica* morada y derecha *Canna indica* verde.

Fuente propia

Para efectos del proyecto se sembró **achira verde** en 02 filas de 06 unidades cada una, dando un total de 12 unidades para cada humedal.

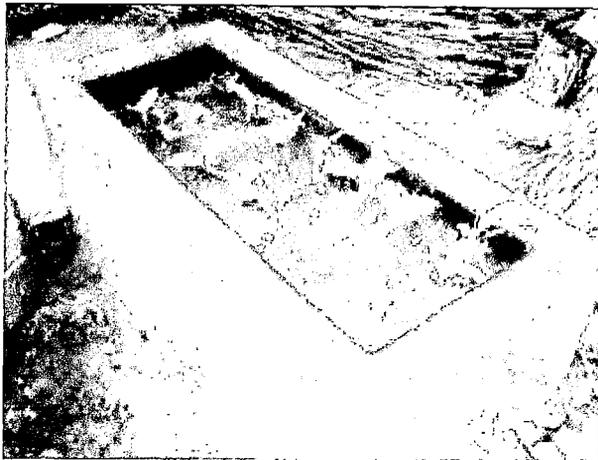


Foto N°15. Sembrado de *Canna indica* en 02 filas de 06 unidades para cada humedal. Fuente propia.



Foto N°16. Especie vegetal *Canna indica*. Fuente propia

6.3.4. Microorganismos

Los microorganismos que generalmente se esperan encontrar sobre la biopelícula formada en la superficie del medio soporte así como alrededor de los rizomas son bacterias, hongos, y protozoarios.

Sobre la superficie del humedal se desarrolló el crecimiento de insectos de diferente tipo, principalmente de hormigas y *oniscídeos* cuyo nombre común es chanchito de tierra.

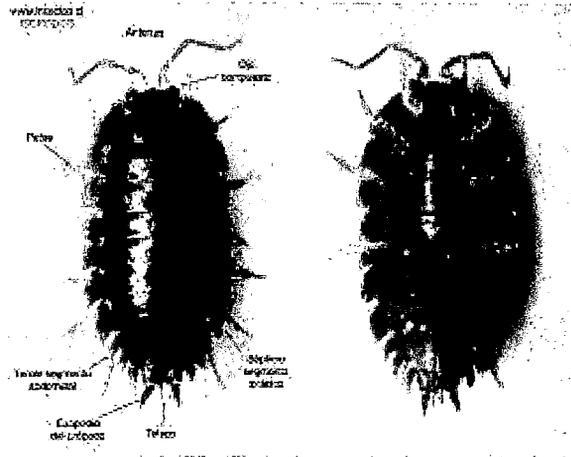


Foto N°17. *Oniscídeos*, comúnmente conocido como chanchito de tierra

VII. DIMENSIONAMIENTO DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES

El dimensionamiento de los humedales artificiales se ha desarrollado siguiendo una cinética de primer orden según el modelo de Sherwood C. Reed (1988), tal como indica la "Guía para el Diseño y Construcción de un humedal construido con flujos sub superficiales" (U.S. EPA-Región 6, 1993)

Esta guía de diseño, nos muestra los procedimientos de diseño y construcción de humedales artificiales, sugeridos para la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno y de los sólidos suspendidos totales.

En ese sentido se optó por utilizar esta guía, debido a que dentro de los objetivos del proyecto, estaba determinar los niveles de remoción de la Demanda bioquímica de oxígeno.

7.1 Dimensionamiento de los humedales artificiales.

a) Determinando constante de velocidad de reacción:

$$K_r = K_{20} \times 1.05^{(T-20)}$$

Donde:

K_{20} : Constante de reacción de primer orden a 20°C = 1.2 día⁻¹

T: Temperatura = 22.13 °C

Reemplazando se tiene:

$$K_r = 1.2 \times 1.05^{(22.13-20)}$$

$$K_r = 1.331 \text{ día}^{-1}$$

b) Determinando Área superficial:

$$A_s = Q \times \ln(C_o/C_e) / (K_t \times y \times n)$$

Donde:

Q: Caudal medio a través del humedal m³/día = 0.048

C_o: Concentración del contaminante en el afluente, mg/l = 89.10

C_e: Concentración del contaminante en el efluente, mg/l = 10.00

(Considerando una eficiencia de remoción del 90%)

y: Profundidad de la celda del humedal, m = 0.35

n: Porosidad del humedal = 0.414

Reemplazando se tiene:

$$A_s = 0.048 \times \ln(89.10/10.00) / (1.331 \times 0.35 \times 0.414)$$

$$A_s = 0.544 \text{ m}^2$$

c) Determinando ancho compatible con el gradiente hidráulico:

$$W = (1/y) \times (Q \times A_s / m / K_s)^{0.5}$$

Donde:

W: Ancho de la celda del humedal, m

Q: Caudal medio a través del humedal m³/día = 0.048

As: Área superficial del humedal, m² = 0.544

m: pendiente del fondo del lecho, % expresado como decimal = 0.01

y: profundidad del agua en el humedal, m = 0.35

Ks: Conductividad hidráulica, m³/m²/día = 10000

Reemplazando se tiene:

$$W = (1/0.35) \times (0.048 \times 0.544 / 0.01 / 10000)^{0.5}$$

$$W = 0.046 \text{ m (ancho mínimo)}$$

d) Determinando dimensiones:

Considerando una relación largo/ancho = 3, se tiene:

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

$$\text{Largo} = 1.27 \text{ m}$$

VIII. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El procedimiento experimental se ha planteado en 03 etapas importantes: Construcción, Acondicionamiento y Operación de los humedales artificiales.

8.1 Construcción de los Humedales Artificiales

La construcción de los humedales constituyó la primera etapa de la tesis de investigación. Esta se llevó a cabo utilizando materiales de construcción tales como: ladrillos, cemento, arena fina, arena gruesa y agua. La construcción de los 03 humedales se efectuó en simultáneo durante un mes.

El medio de soporte para los humedales estuvo constituido por grava, confitillo y arena gruesa, distribuidos en 03 capas de 0.35, 0.05 y 0.05m respectivamente, con un borde libre de 0.05m para cada humedal.

La zona de entrada estuvo provista de grava de 1.1/2" aproximadamente con la finalidad de lograr una mejor distribución del afluente de agua residual.

La grava utilizada presento las siguientes características, luego del análisis correspondiente:

Tabla N°3. Coeficientes de uniformidad y permeabilidad hidráulica

Humedal	D ₁₀	D ₃₀	D ₆₀	Cu	Cu	Permeabilidad Hidráulica
A	16	19.50	23	1.44	1.03	10000
B	30	40	45	1.50	1.19	10000
C	50	56	64	1.28	0.98	10000

Fuente. Elaboración propia

Donde:

- **D₁₀**: es el **diámetro eficaz** o abertura del tamiz por la que pasa el 10% de partículas del suelo. Juega un importante papel en el valor de la conductividad hidráulica del suelo.
- **D₆₀** es la abertura del tamiz por la que pasa el 60 % de partículas del suelo.
- **D₃₀** es abertura del tamiz por la que pasa el 30 % de partículas del suelo.

Los dispositivos de entrada y salida del agua residual se prepararon con tuberías de PVC 1/2" perforadas para una mejor distribución y recolección.

En cuanto al tanque de almacenamiento, este consistió en un tanque de PVC de 500 litros de capacidad, ubicado a 0.60m sobre el nivel del suelo, con una tubería a la salida de Ø3/4" en la parte baja del tanque para conectarse al distribuidor de caudales y finalmente alimentar a los humedales.

La alimentación del tanque de almacenamiento se llevo a cabo mediante una bomba de 0.5HP, impulsando el agua residual desde la zona de sedimentación del RAFA. El bombeo se efectuó de forma inter diaria con la finalidad de mantener el nivel del tanque constante y lograr una carga hidráulica uniforme sobre los humedales.

8.2. Acondicionamiento de los Humedales Artificiales

El acondicionamiento de los humedales se llevo a cabo durante los 02 meses siguientes a la construcción. En esta etapa se utilizo el efluente de la laguna terciaria como acelerador del crecimiento de la película biológica en los humedales. Este proceso solo se llevo a cabo durante la primera semana del acondicionamiento; posteriormente se procedió a utilizar agua residual proveniente del RAFA.

8.3. Operación de los Humedales Artificiales

La operación de los humedales artificiales se dividió en 02 etapas, de acuerdo a los siguientes caudales:

Tabla N°4. Caudales de operación en los humedales

Etapas	Caudal	Duración
1era	43.2 l/día	01 mes
2da	28.8 l/día	02 meses

Fuente. Elaboración propia

8.4. Determinación de la Evapotranspiración.

Medimos la evapotranspiración por intermedio un sistema construido especialmente para este fin.

La unidad construida para medir la evapotranspiración consta de una tina con superficie de forma elíptica cuyos diámetros son 54cm y 72cm, y una altura de 31cm.

Se realizó la perforación de la tina por uno de sus lados y se acondicionó una tubería rígida transparente para registrar la variación del nivel de agua dentro de la unidad, esta variación de nivel representa la evapotranspiración de un día (24 horas).

El tiempo durante el cual se realizo esta medición fue de 19 días y por lo tanto registramos 19 lecturas de evapotranspiración.

En las fotos siguientes se muestra la unidad construida para medir la evapotranspiración.



Foto N°18. Unidad destinada a medir la evapotranspiración. Fuente propia

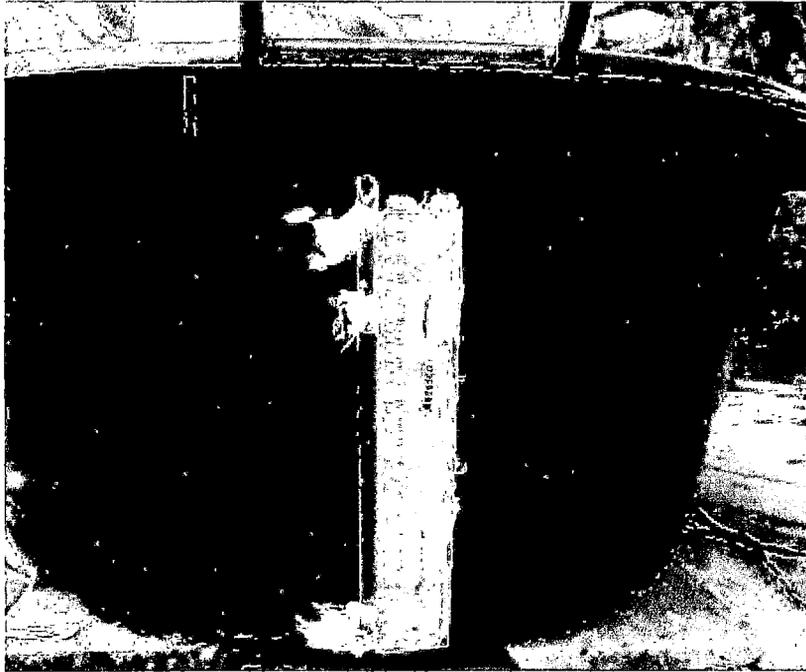


Foto N°19. Se muestra el punto del cual se realizo la toma de lecturas de la evapotranspiración. Fuente propia

IX. RESULTADOS

9.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

De los datos del muestreo se pudo obtener los siguientes valores de DBO₅, tal como se muestran en el siguiente cuadro.

Tabla N°5. Valores de DBO₅, según los caudales de operación

CAUDAL	FECHA	DBO ₅ (mg/l)			
		Tanque septico	Humedal "A" G. pequeña	Humedal "B" G. mediana	Humedal "C" G. grande
43.2 l/d	03/12/2010	89.10	9.90	81.17	12.87
43.2 l/d	10/12/2010	41.75	8.98	8.57	7.98
43.2 l/d	17/12/2010	79.74	20.72	45.11	22.5
43.2 l/d	07/01/2011	93.05	39.60	51.47	45.50
28.8 l/d	21/01/2011	26.35	5.40	3.60	1.80
28.8 l/d	28/01/2011	70.98	22.75	21.84	18.20
28.8 l/d	04/03/2011	48.00	14.00	-	19.00

Fuente. Elaboración propia

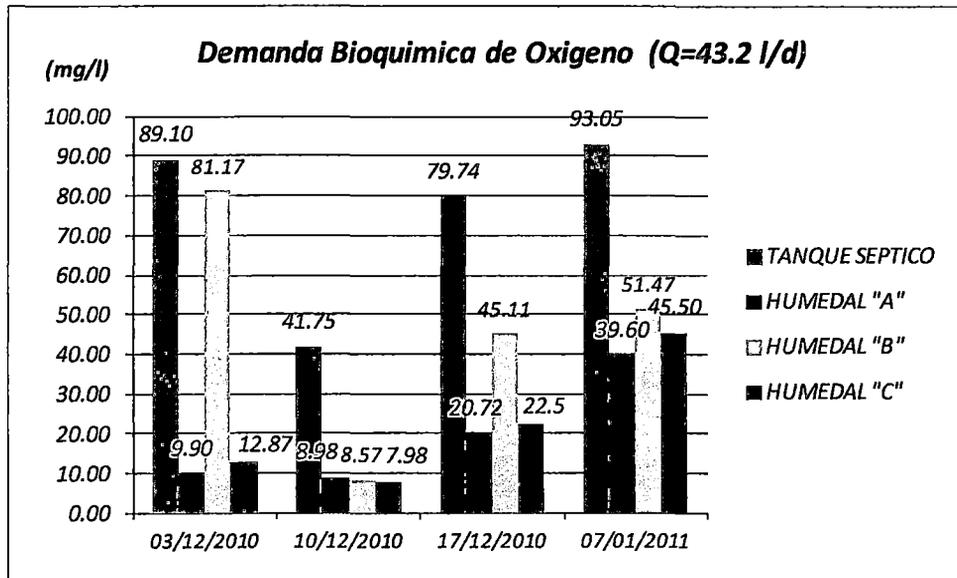
Así mismo, se pudo calcular los siguientes valores promedio de DBO₅, para cada humedal:

Tabla N°6. Valores de DBO₅ promedio

	DBO ₅ promedio (mg/l)
Tanque septico	64.14
Humedal A	17.34
Humedal B	35.29
Humedal C	18.26

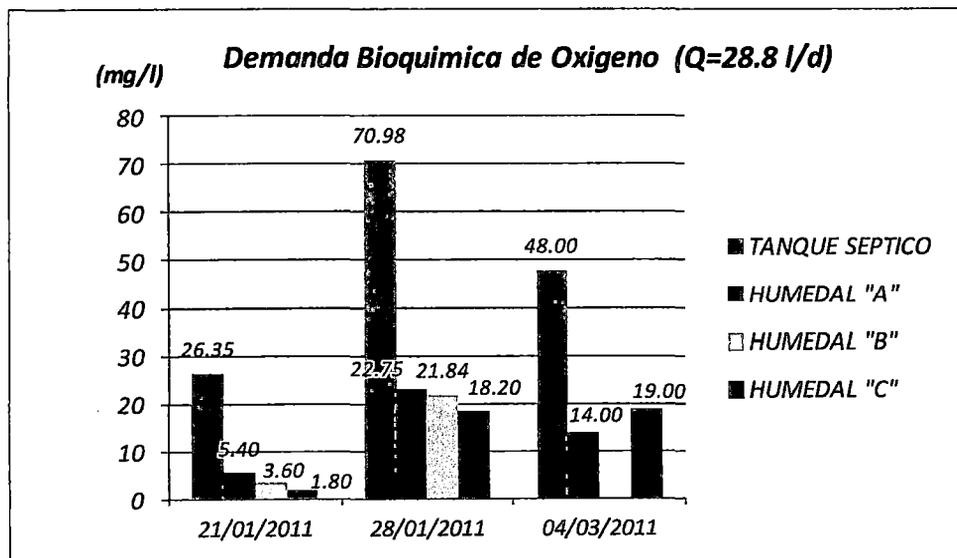
Fuente. Elaboración propia

Para un Caudal de 43 l/d



Fuente. Elaboración propia

Para un Caudal de 28.8 l/d



Fuente. Elaboración propia

9.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

De los datos del muestreo se pudo obtener los siguientes valores de DQO, tal como se muestran en el siguiente cuadro.

Tabla N°7. Valores de DQO, según los caudales de operación

CAUDAL	FECHA	DQO (mg/l)			
		Tanque septico	Humedal "A" G. pequeña	Humedal "B" G. mediana	Humedal "C" G. grande
43.2 l/d	03/12/2010	235.00	69.00	100.00	90.00
43.2 l/d	10/12/2010	191.00	67.00	82.00	61.00
43.2 l/d	17/12/2010	204.00	89.00	134.00	80.00
43.2 l/d	07/01/2011	261.00	96.00	122.00	114.00
28.8 l/d	21/01/2011	184.00	82.00	89.00	72.00
28.8 l/d	28/01/2011	159.00	60.00	69.00	62.00
28.8 l/d	04/02/2011	194.00	64.00	61.00	81.00
28.8 l/d	11/02/2011	154.00	63.00	79.00	74.00
28.8 l/d	04/03/2011	100.00	67.00	82.00	79.00

Fuente. Elaboración propia

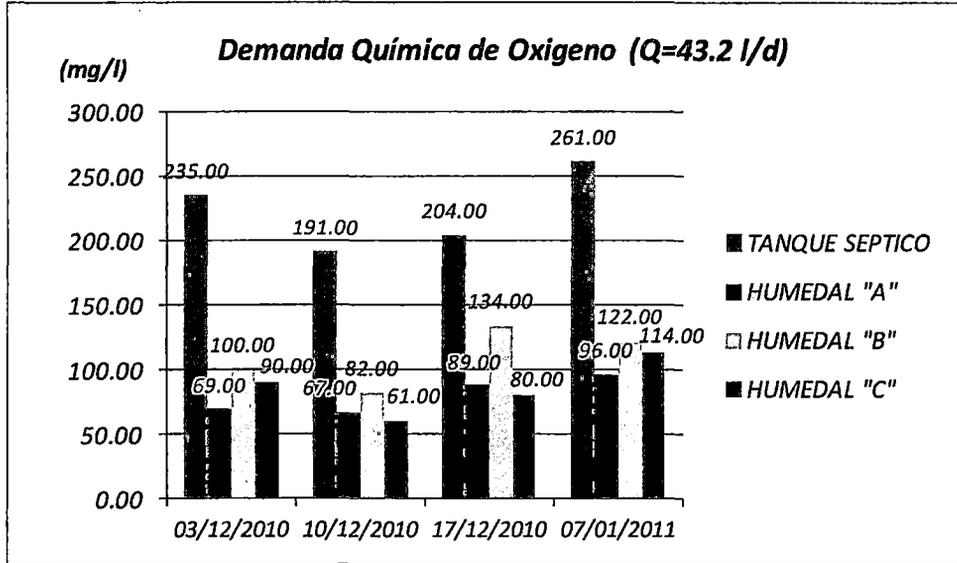
Así mismo, se pudo calcular los siguientes valores promedio de DQO, para cada humedal:

Tabla N°8. Valores de DBO5 promedio

	DQO promedio (mg/l)
Tanque septico	186.89
Humedal A	73.00
Humedal B	90.89
Humedal C	79.22

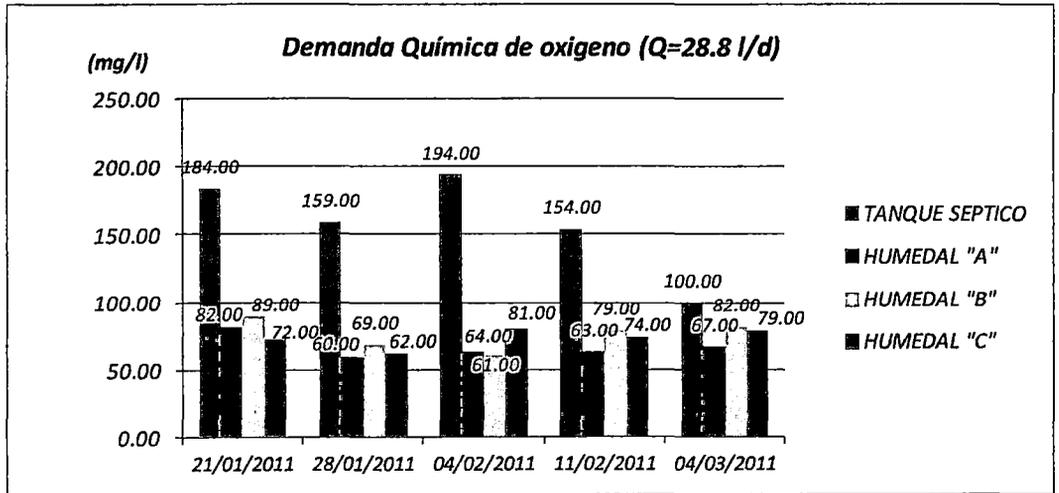
Fuente. Elaboración propia

Para un Caudal de 43.2 l/d



Fuente. Elaboración propia

Para un Caudal de 28.8 l/d

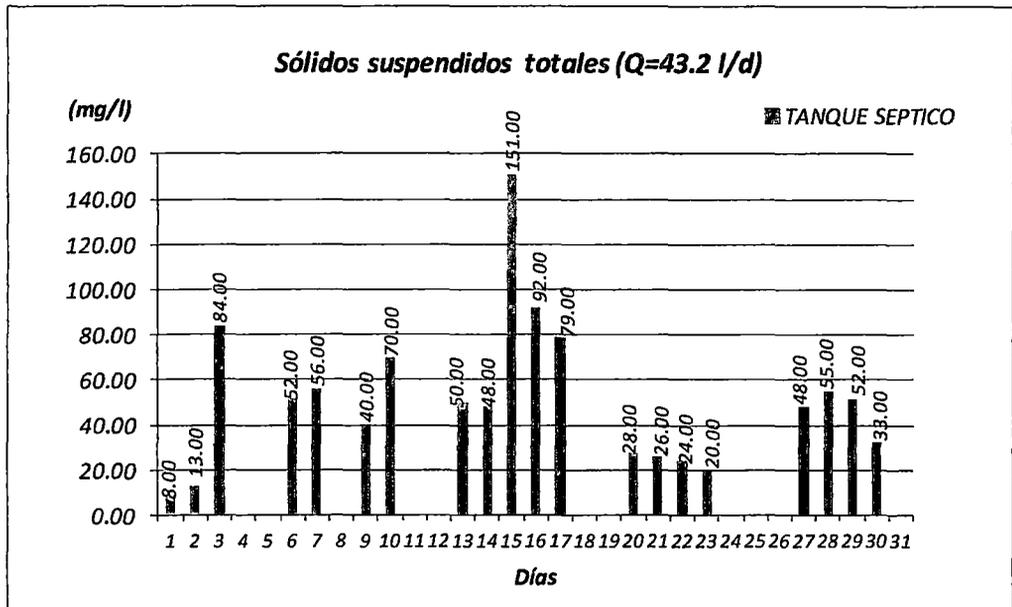


Fuente. Elaboración propia

9.3. Sólidos Suspendedos Totales (SST)

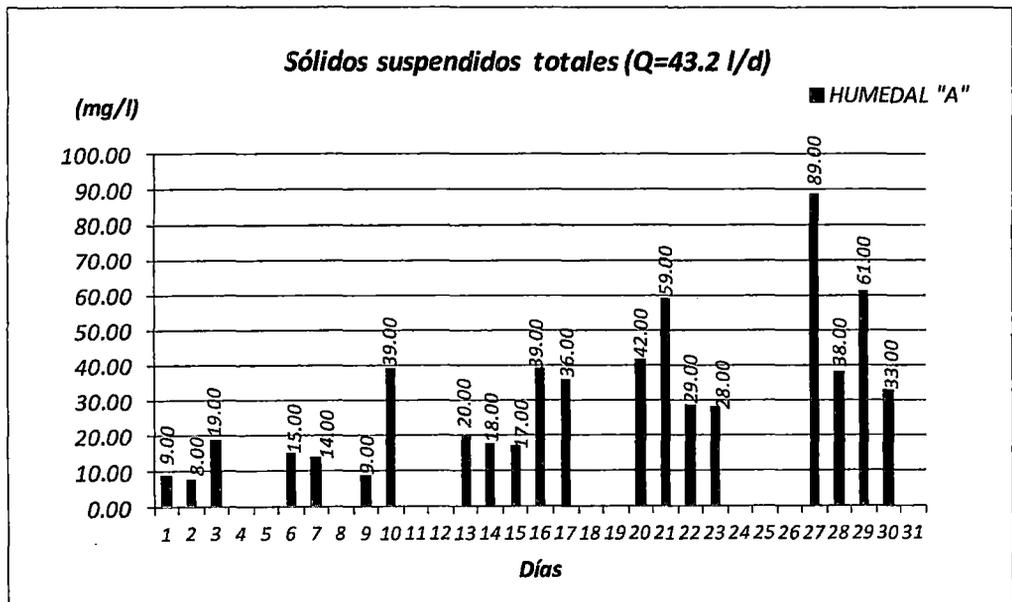
Para un Caudal de 43.2 l/d

a) Tanque Séptico



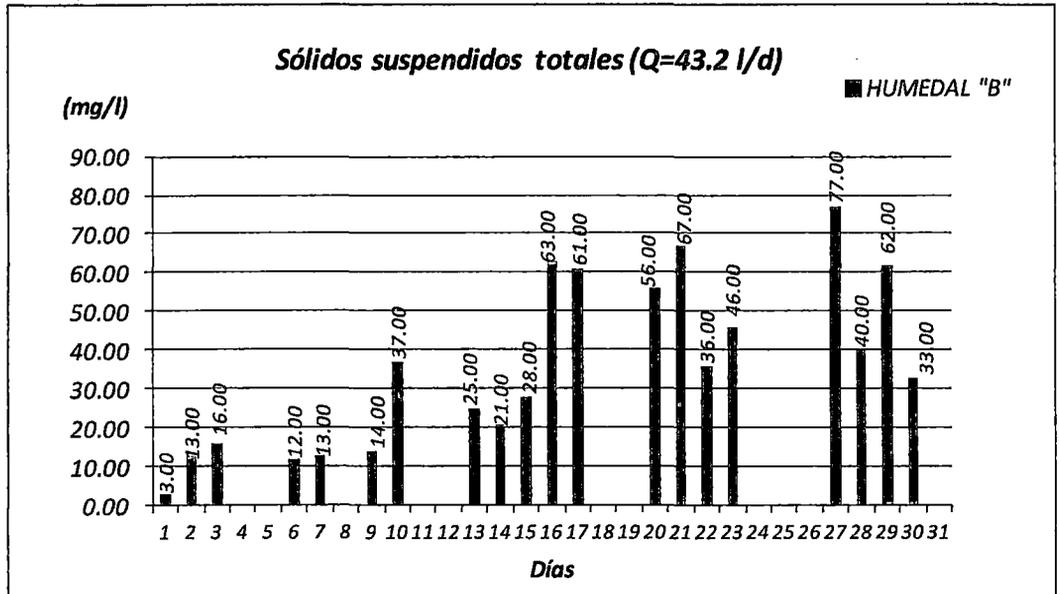
Fuente. Elaboración propia

b) Humedal "A"



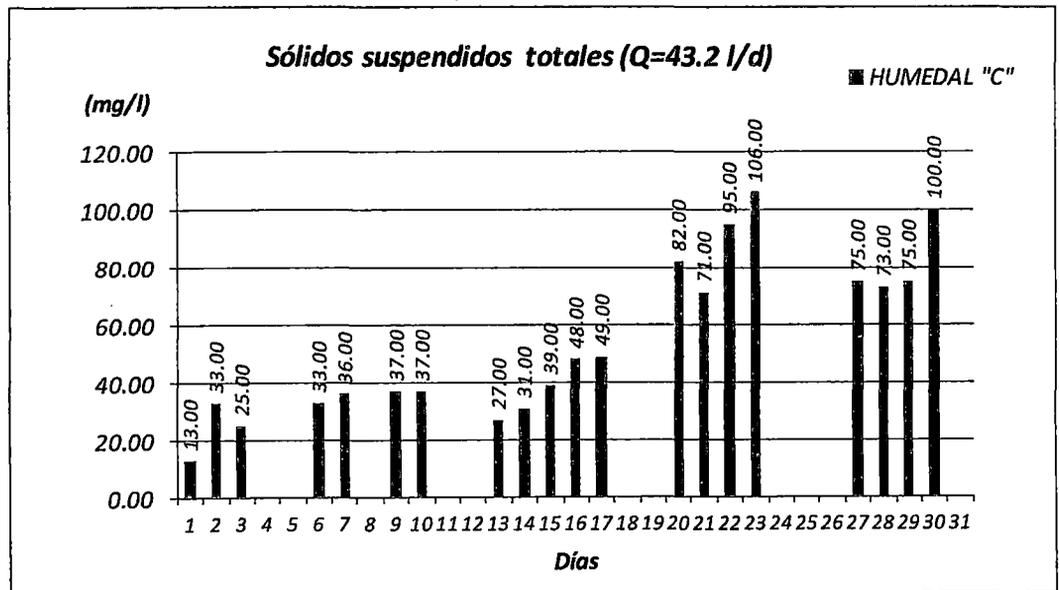
Fuente. Elaboración propia

c) Humedal "B"



Fuente. Elaboración propia

d) Humedal "C"

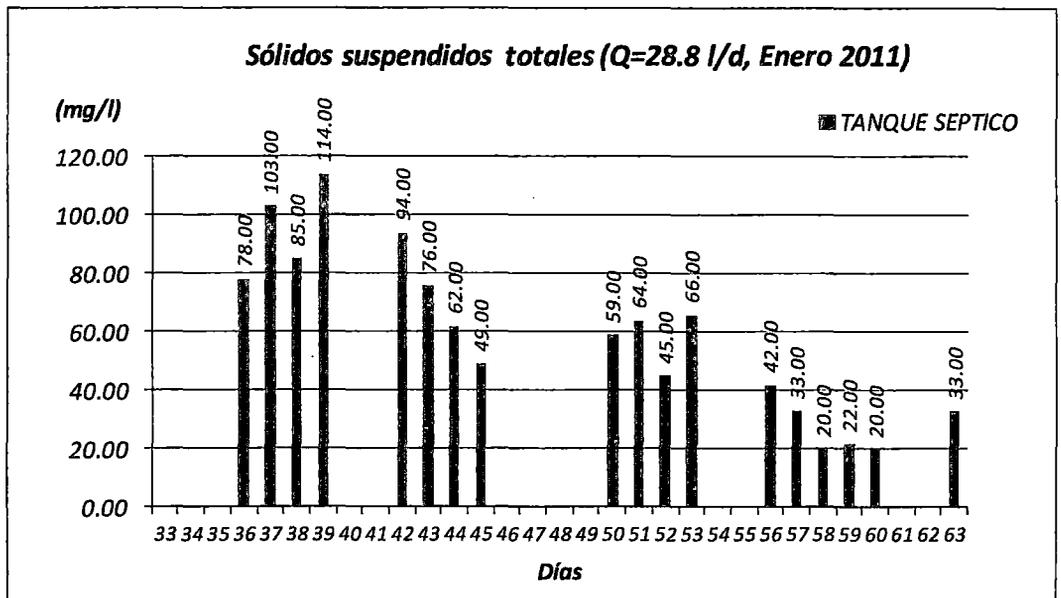


Fuente. Elaboración propia

Para un Caudal de 28.8 l/d

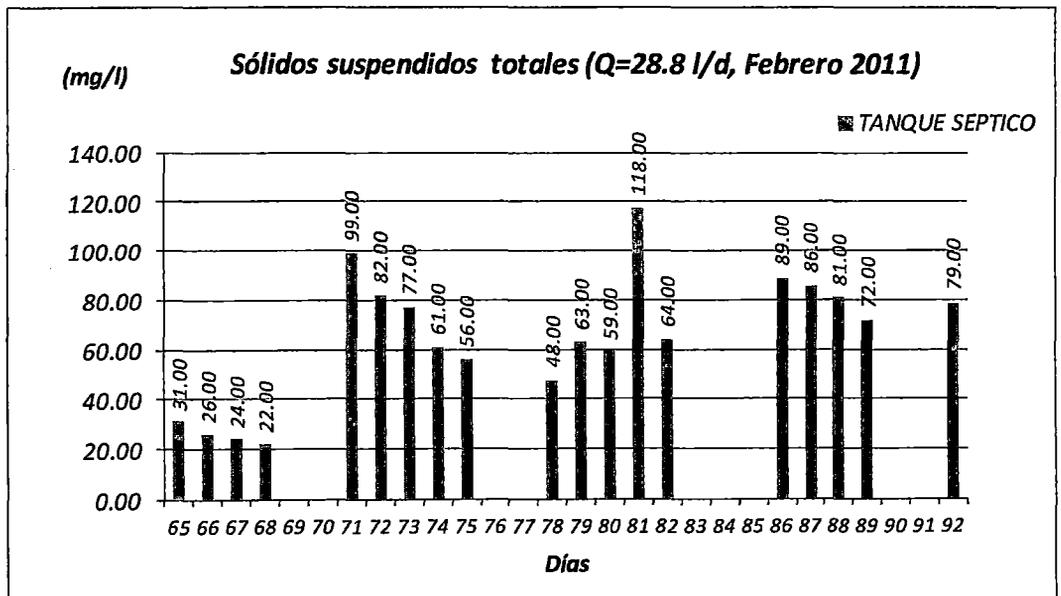
a) Tanque Séptico

➤ Enero 2011



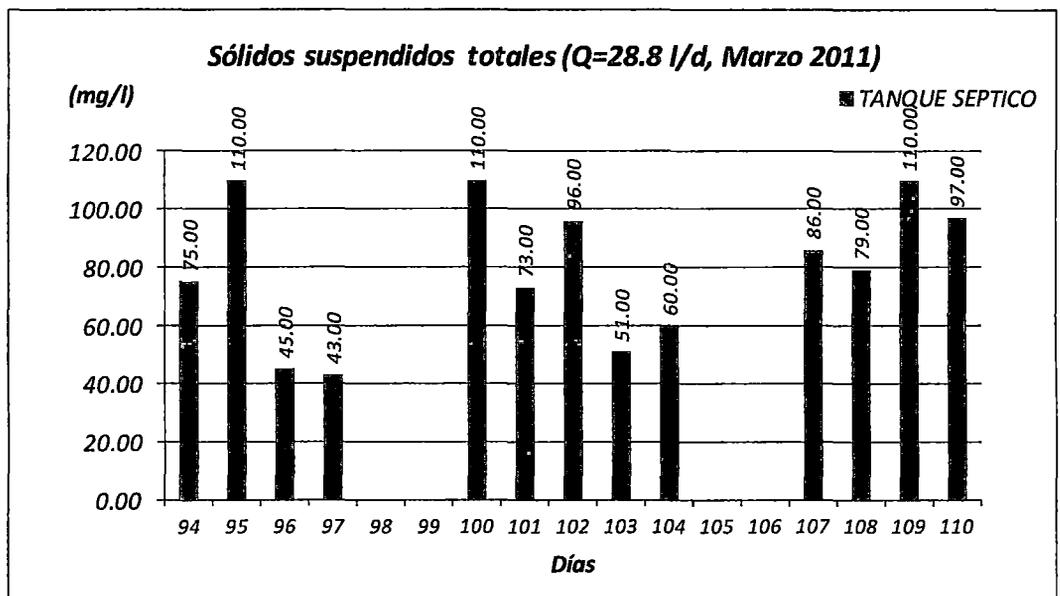
Fuente. Elaboración propia

➤ Febrero 2011



Fuente. Elaboración propia

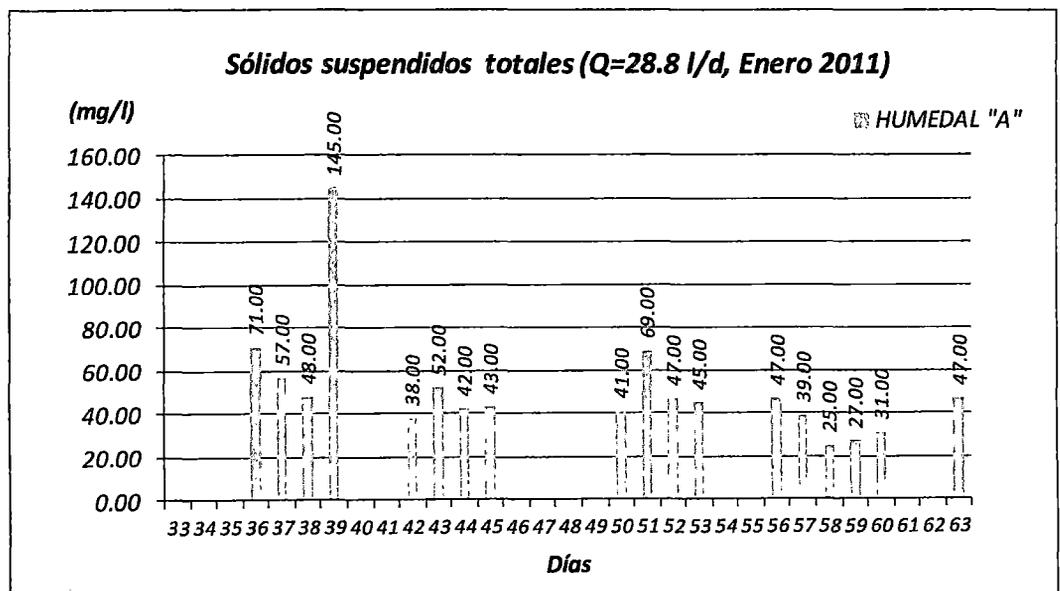
➤ Marzo 2011



Fuente. Elaboración propia

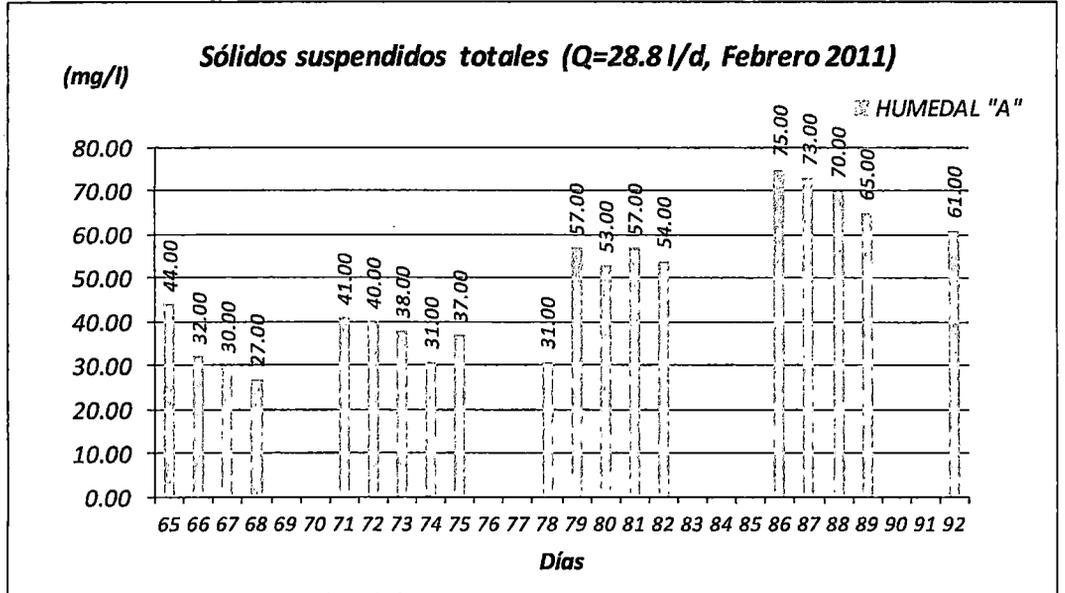
b) Humedal "A"

➤ Enero 2011



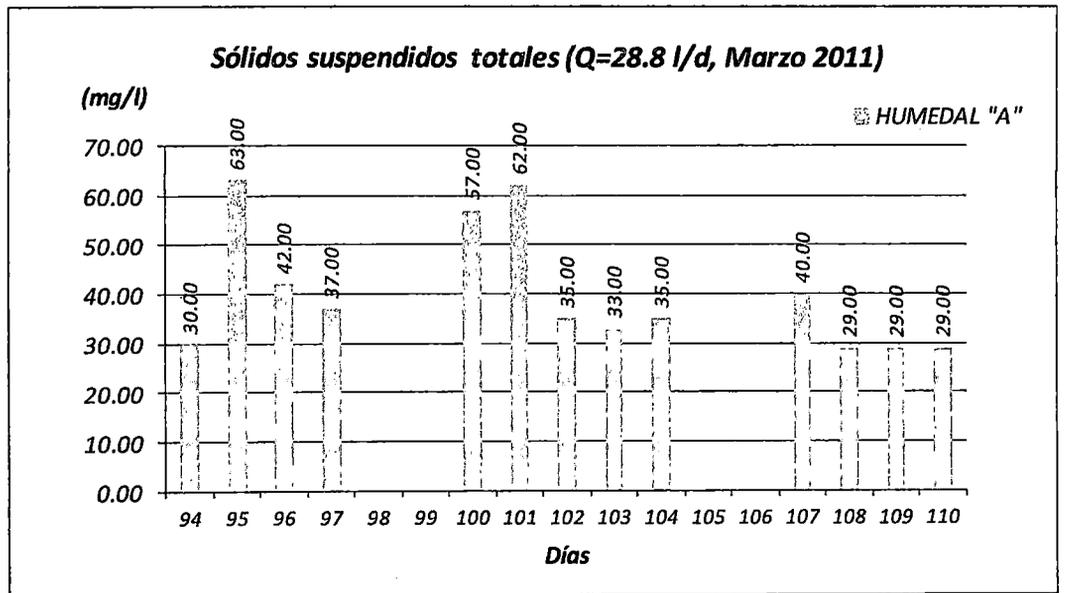
Fuente. Elaboración propia

➤ Febrero 2011



Fuente. Elaboración propia

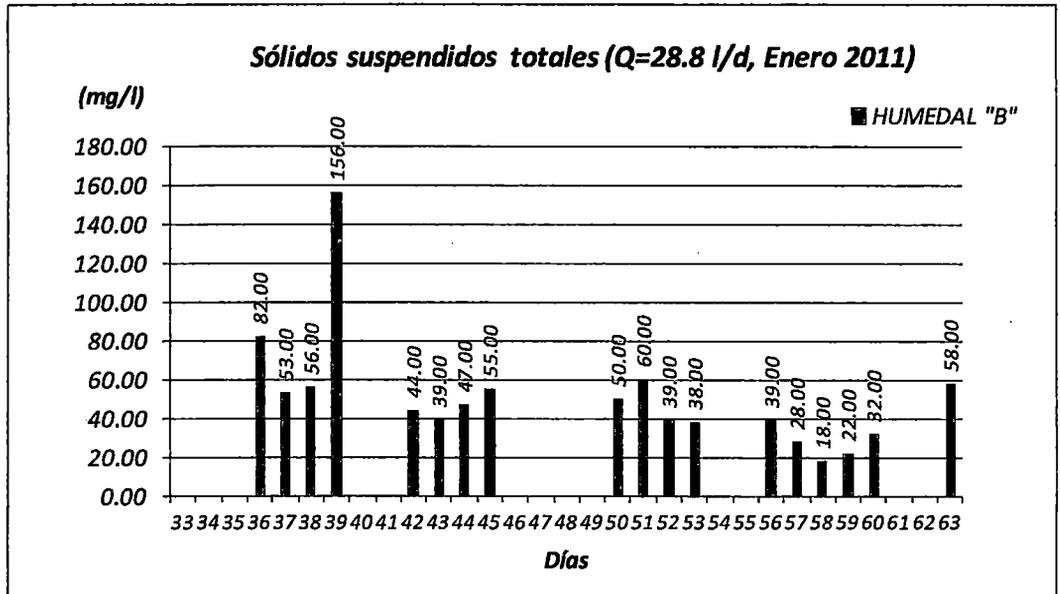
➤ Marzo 2011



Fuente. Elaboración propia

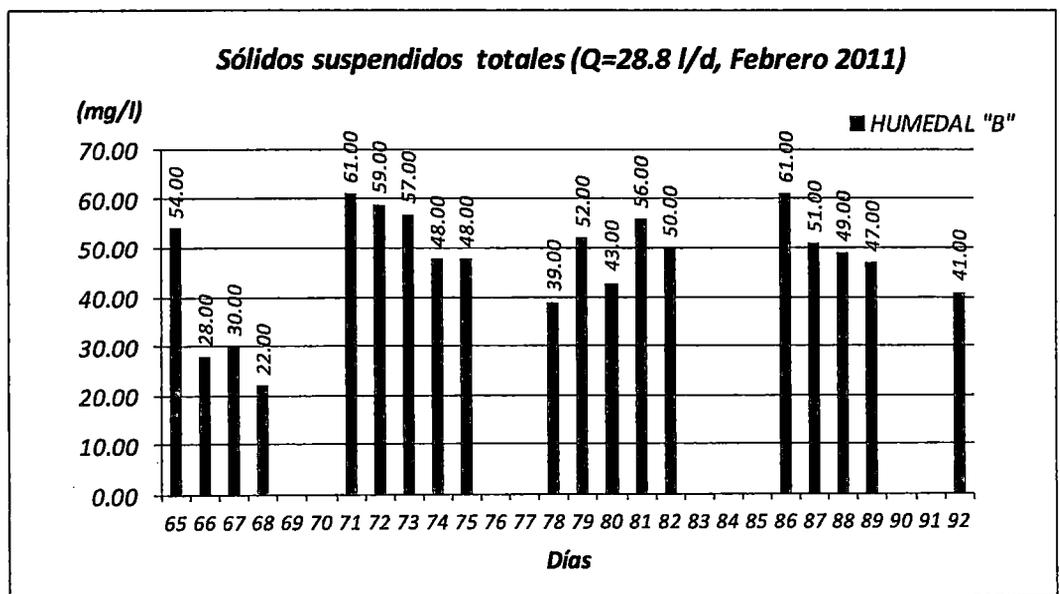
c) Humedal "B"

➤ Enero 2011



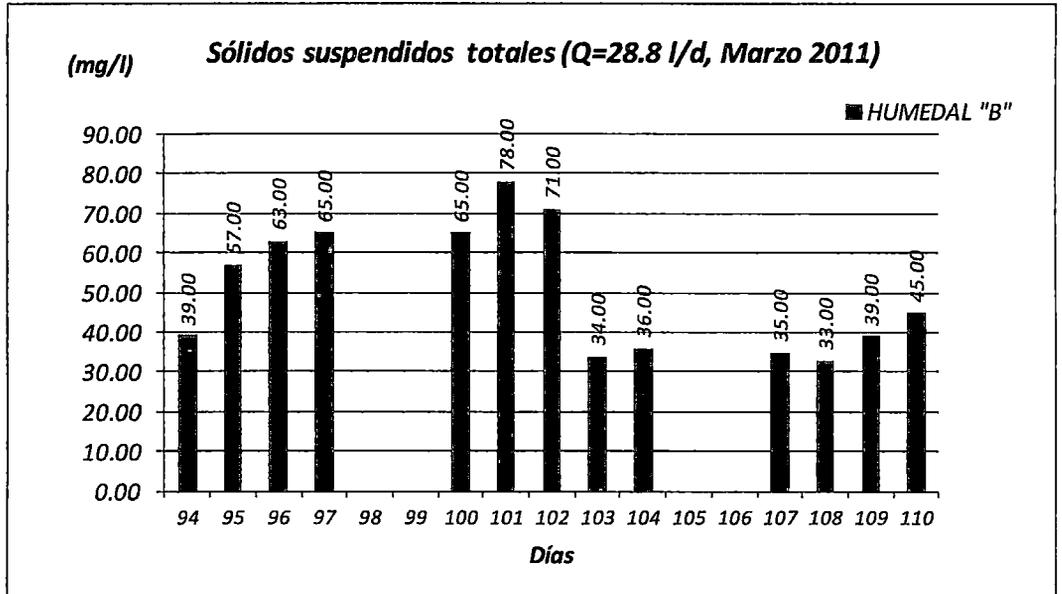
Fuente. Elaboración propia

➤ Febrero 2011



Fuente. Elaboración propia

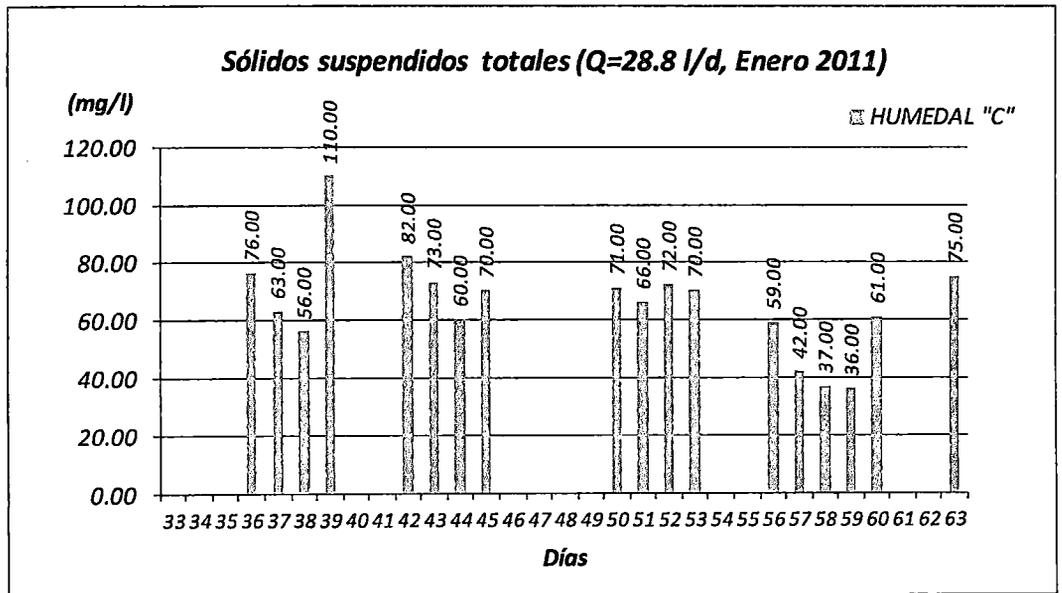
➤ Marzo 2011



Fuente. Elaboración propia

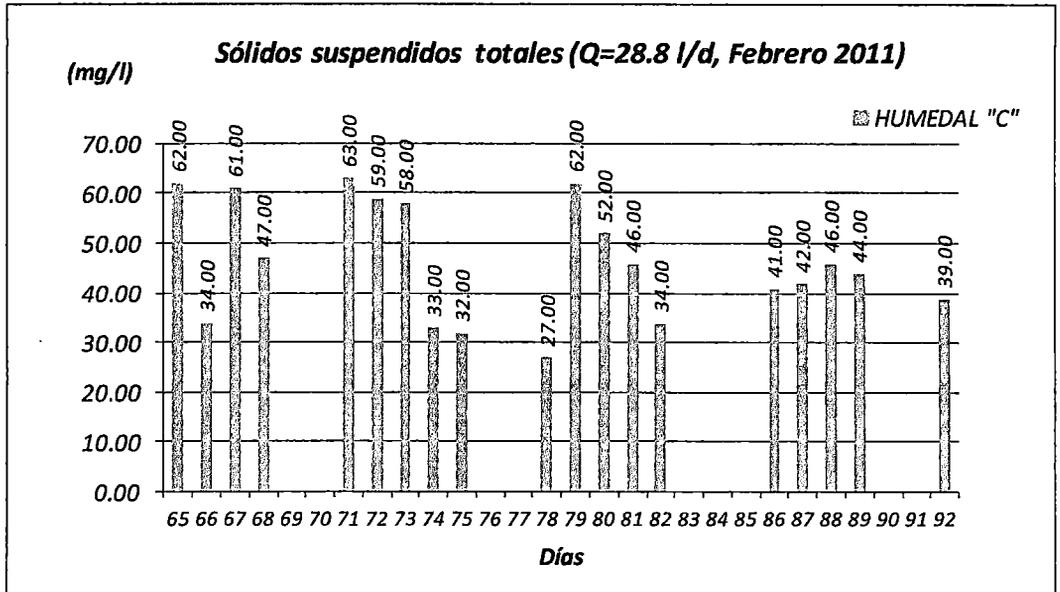
d) Humedal "C"

➤ Enero 2011



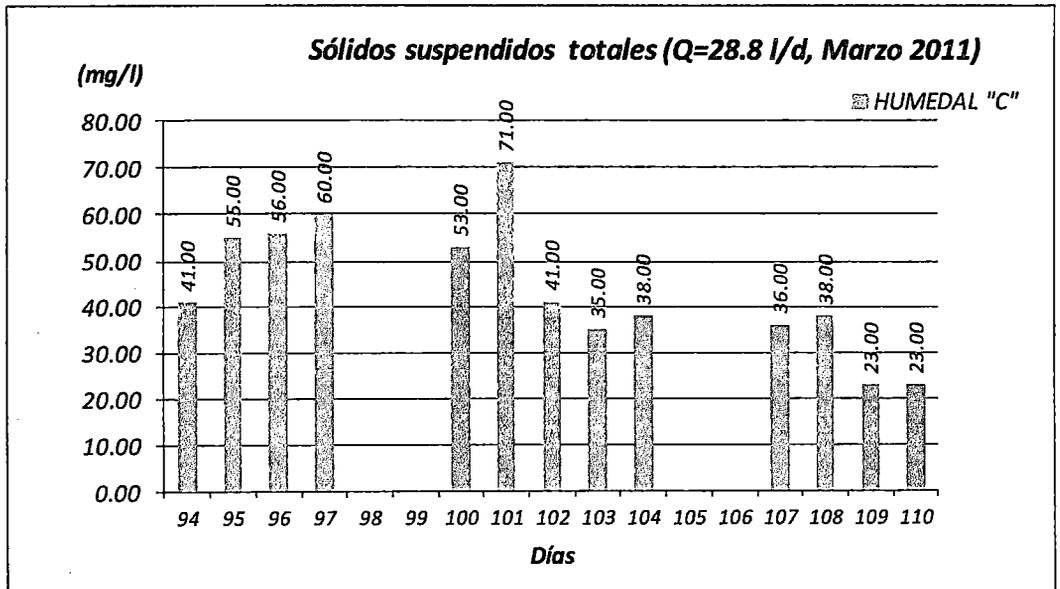
Fuente. Elaboración propia

➤ Febrero 2011



Fuente. Elaboración propia

➤ Marzo 2011

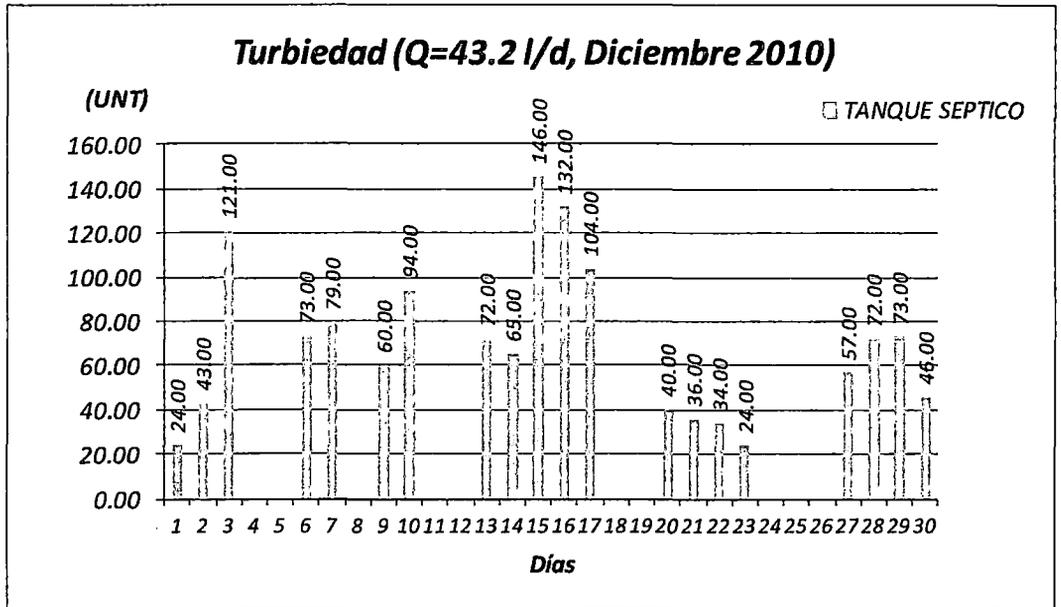


Fuente. Elaboración propia

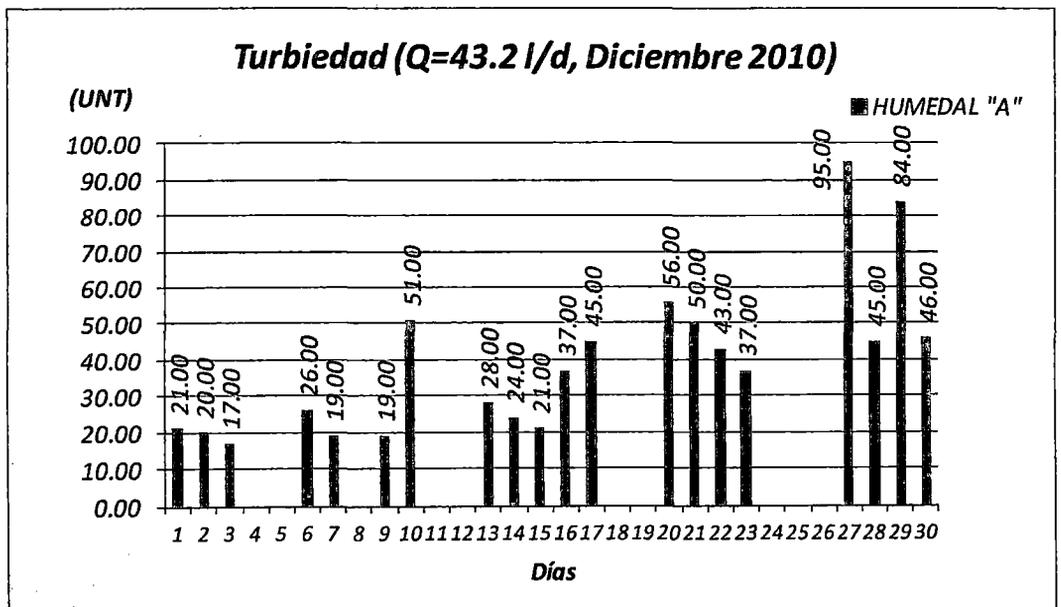
9.4. Turbiedad

Para un Caudal de 43.2 l/d

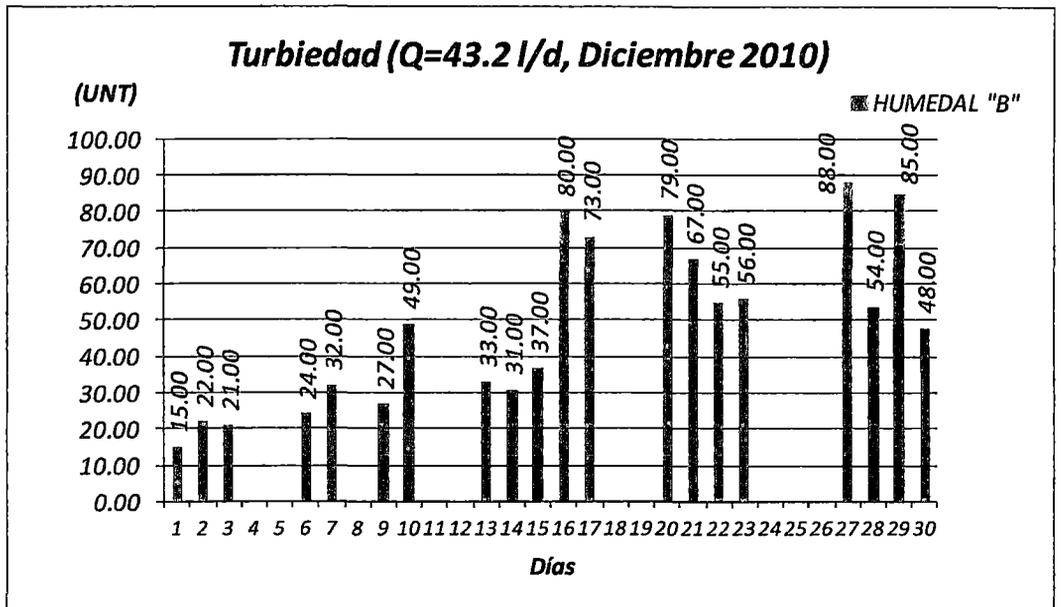
a) Tanque Séptico



b) Humedal "A"

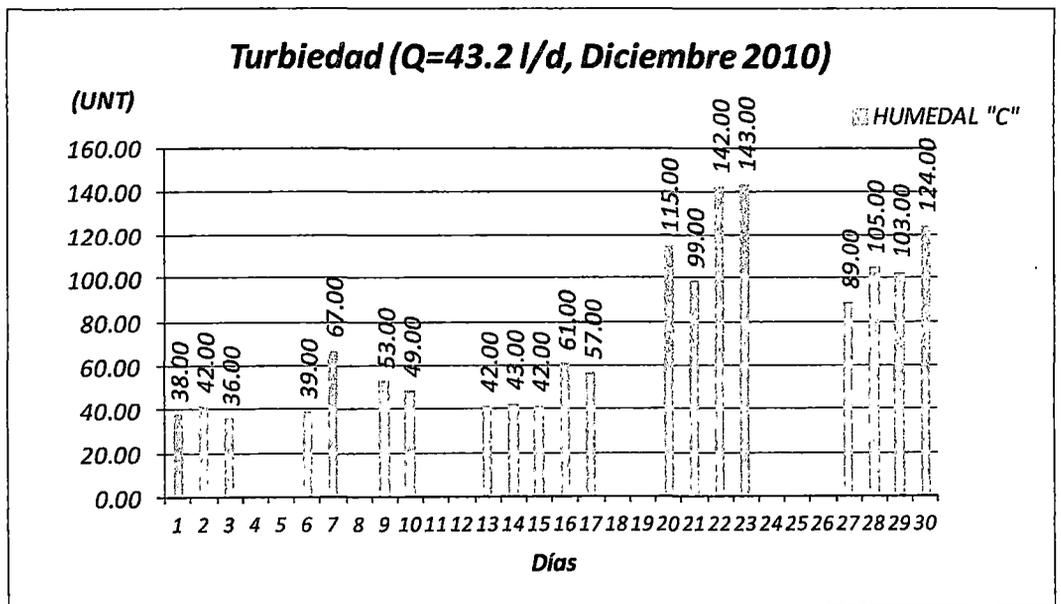


c) Humedal "B"



Fuente. Elaboración propia

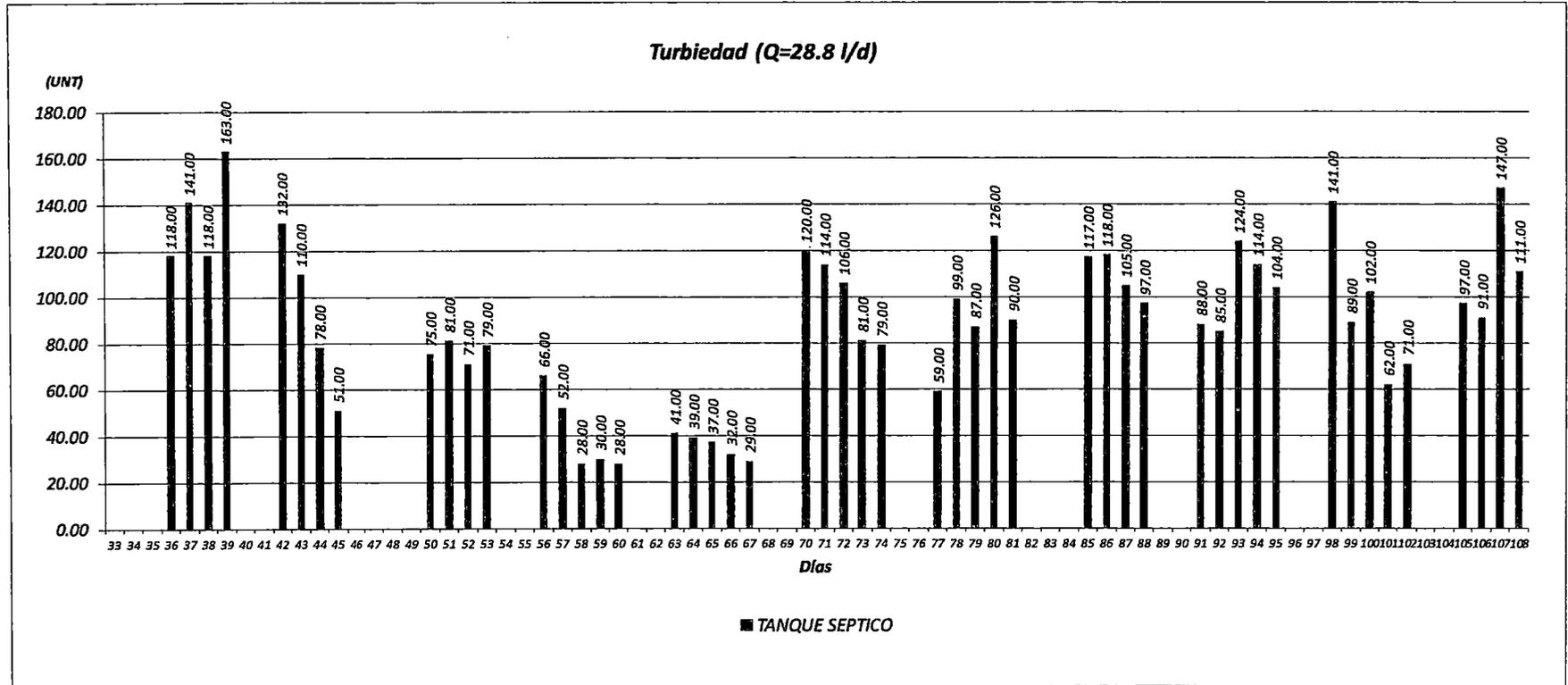
d) Humedal "C"



Fuente. Elaboración propia

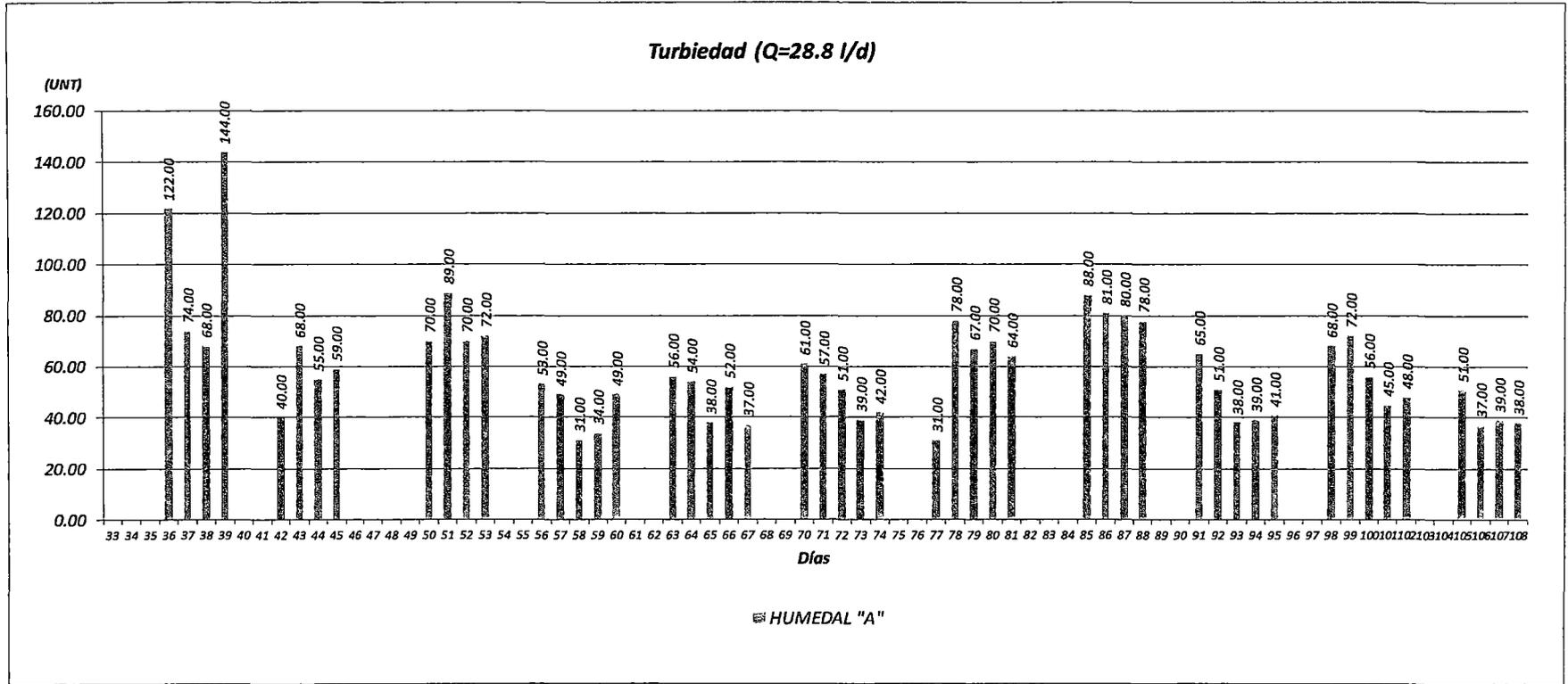
Para un Caudal de 28.8 l/d

a) Tanque Séptico



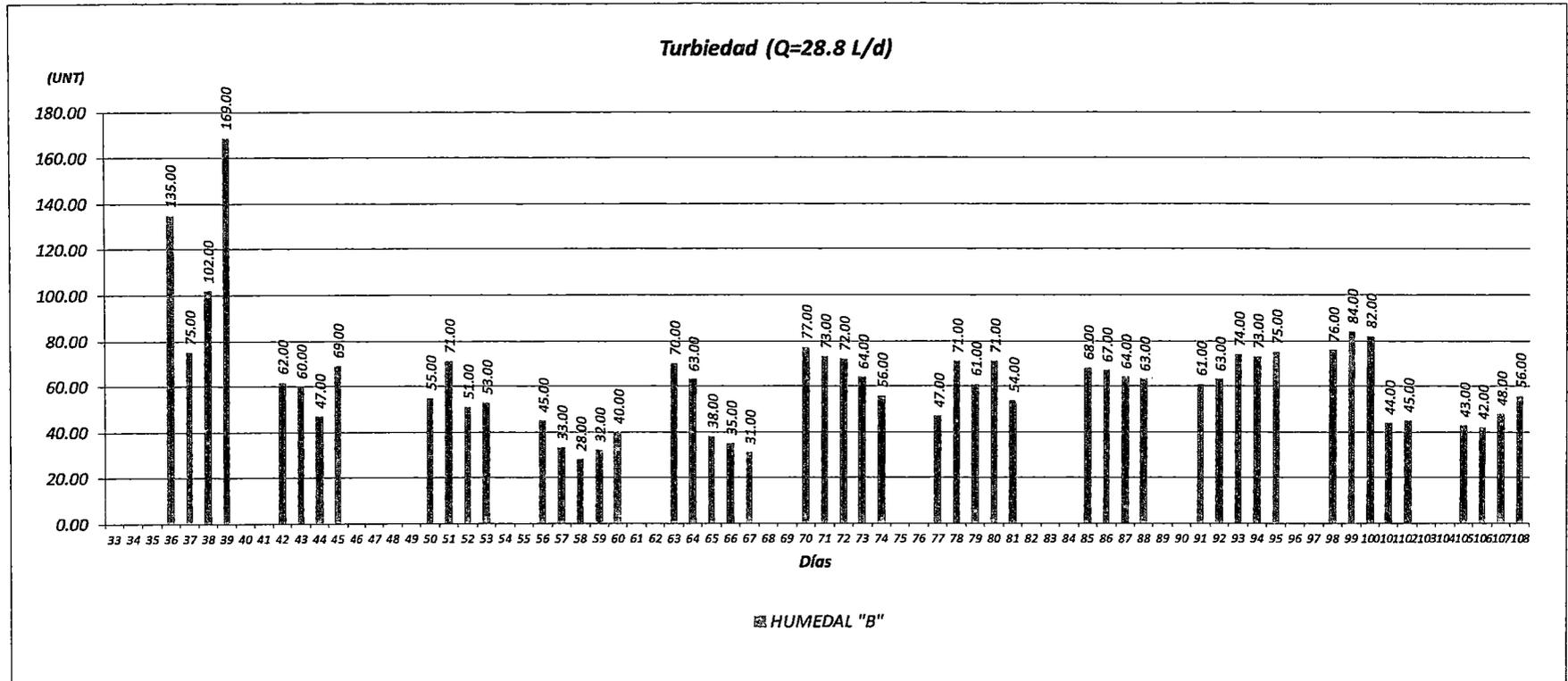
Fuente. Elaboración propia

b) Humedal "A"



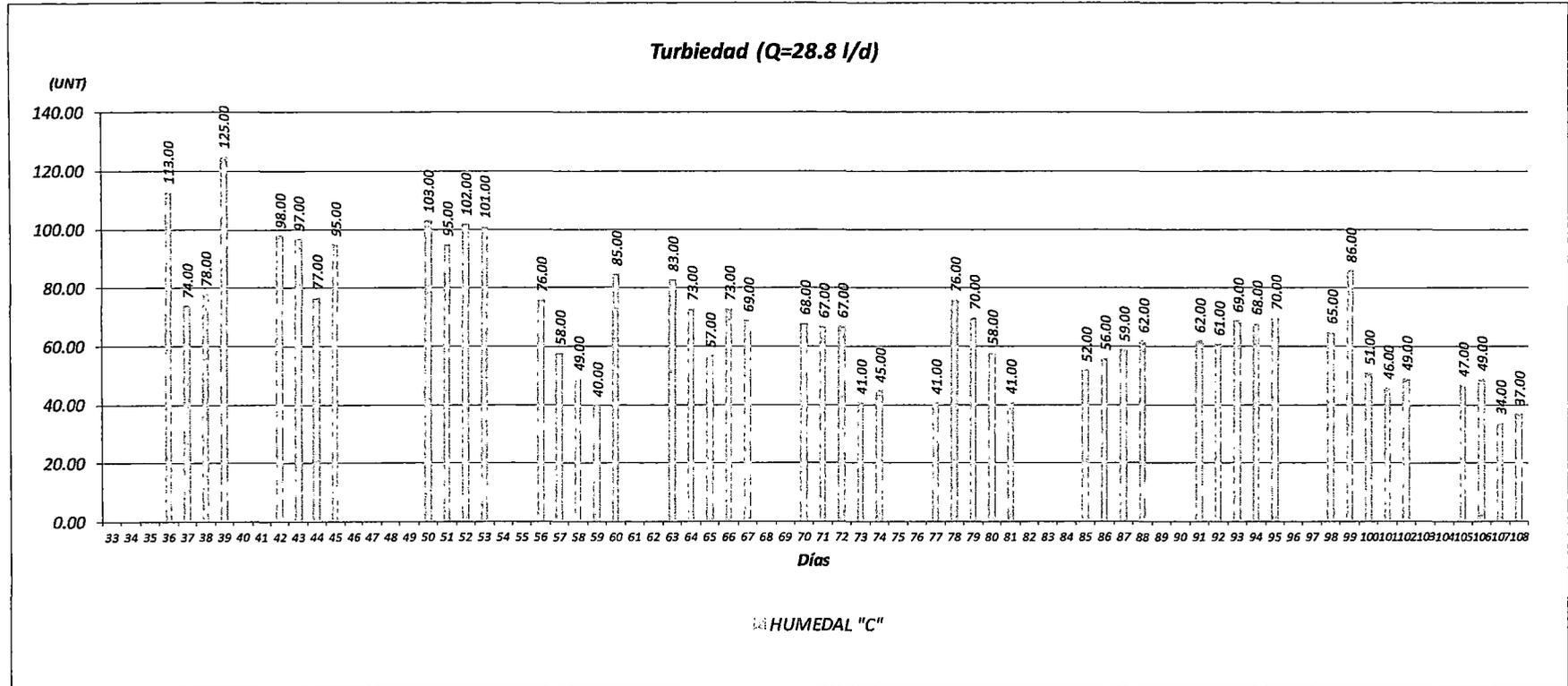
Fuente. Elaboración propia

c) Humedal "B"



Fuente. Elaboración propia

d) Humedal "C"

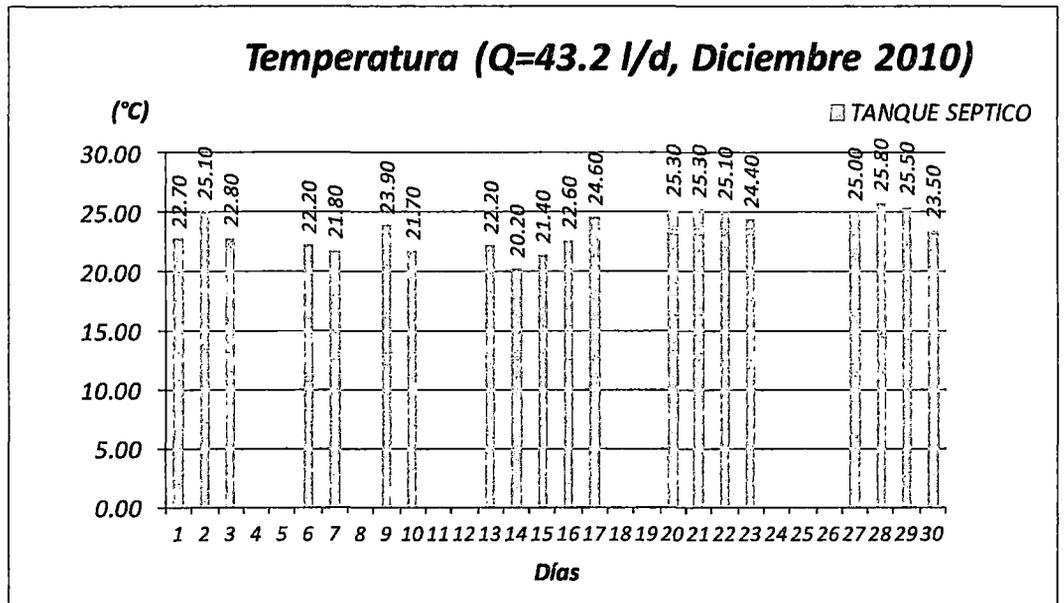


Fuente. Elaboración propia

10.5 Temperatura

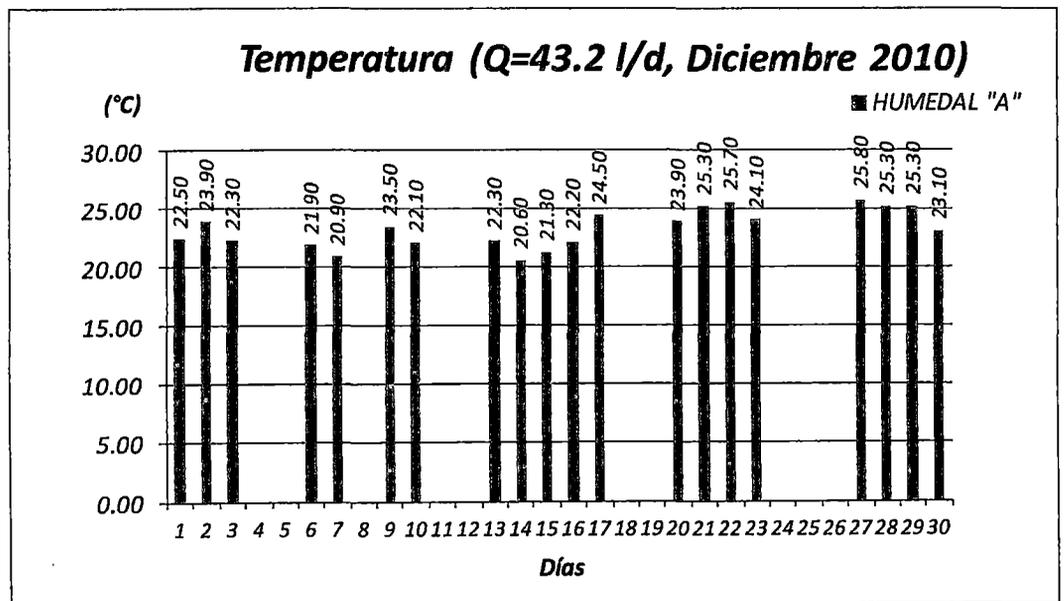
Para un Caudal de 43.2 l/d

a) Tanque Séptico



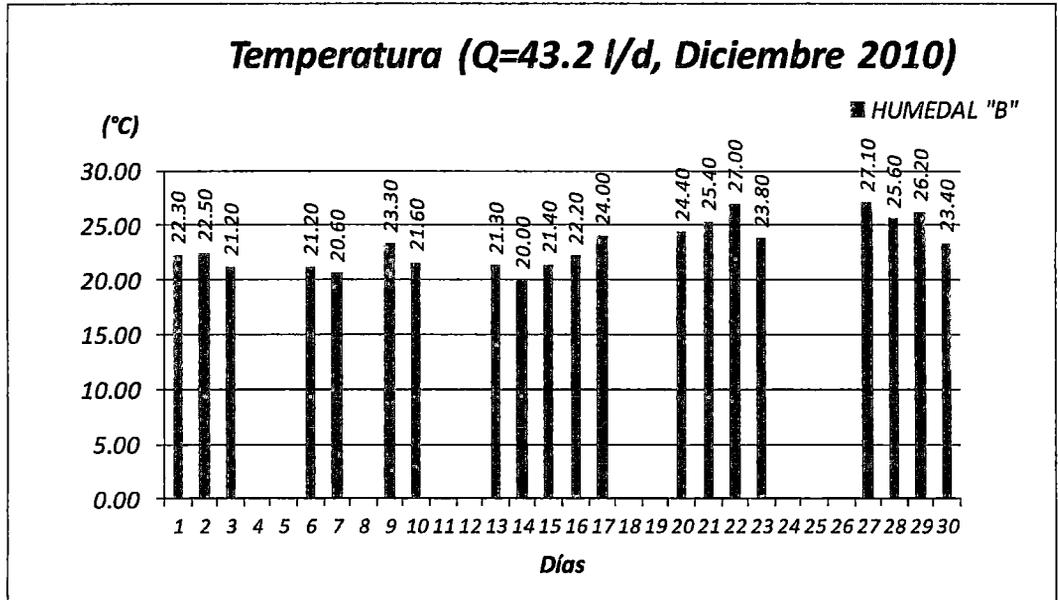
Fuente. Elaboración propia

b) Humedal "A"



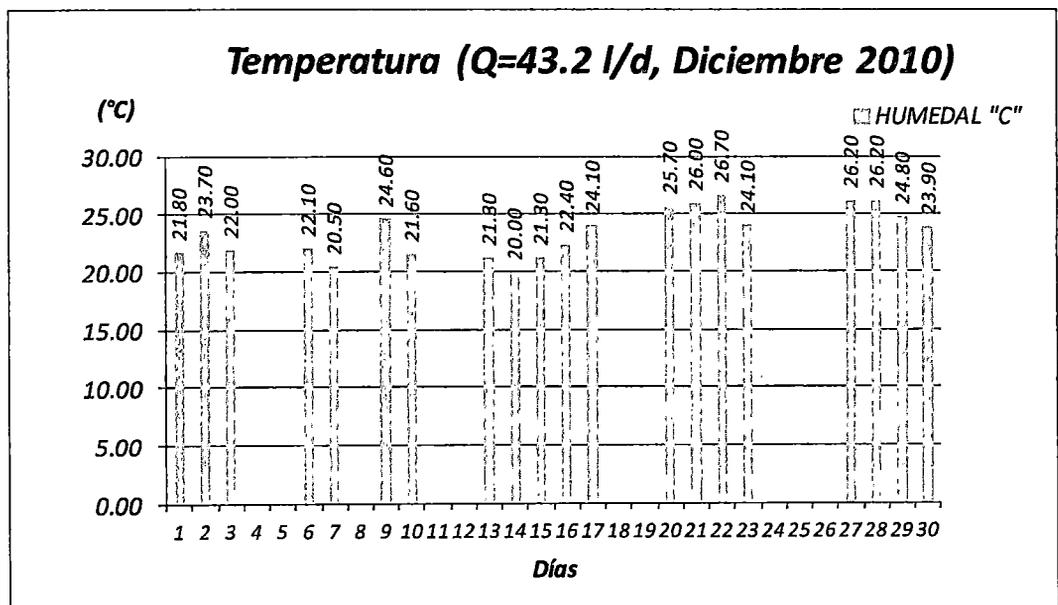
Fuente. Elaboración propia

c) Humedal "B"



Fuente. Elaboración propia

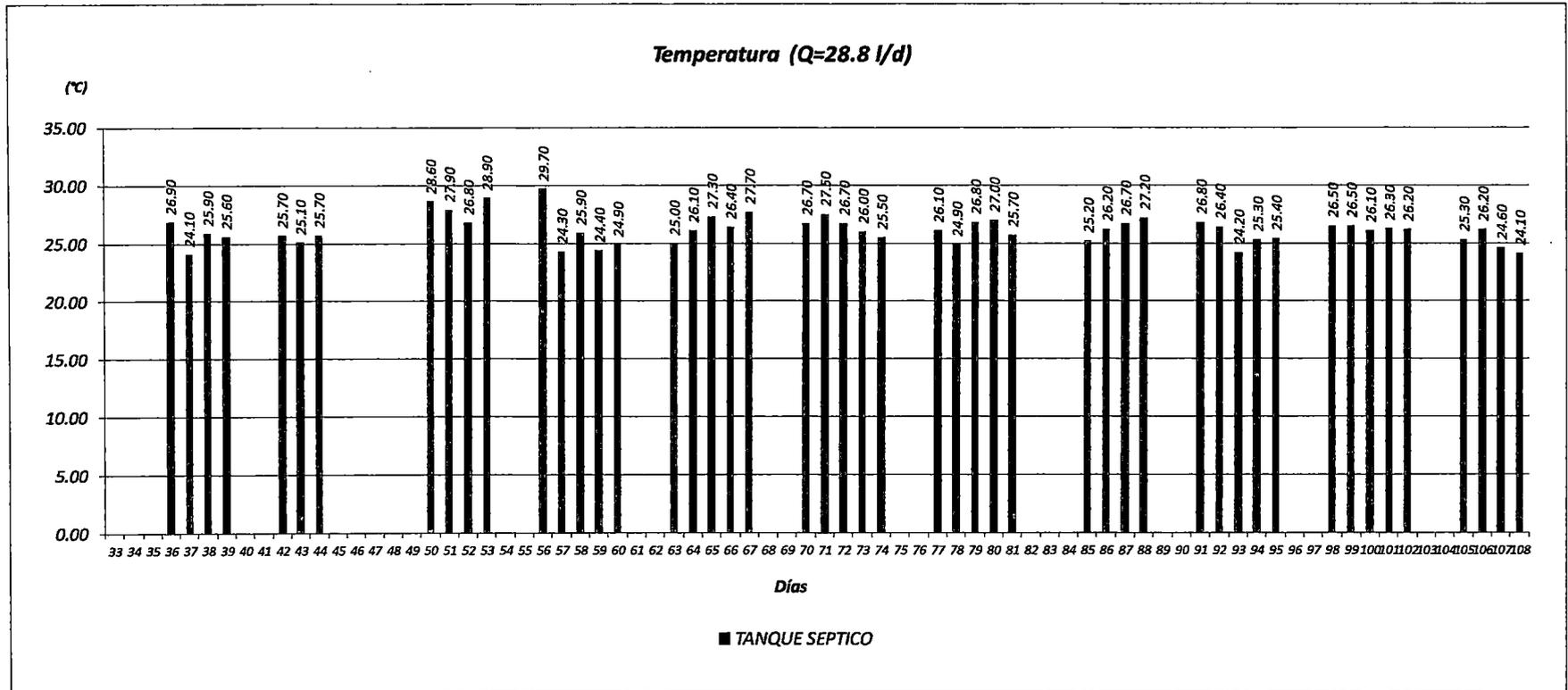
d) Humedal "C"



Fuente. Elaboración propia

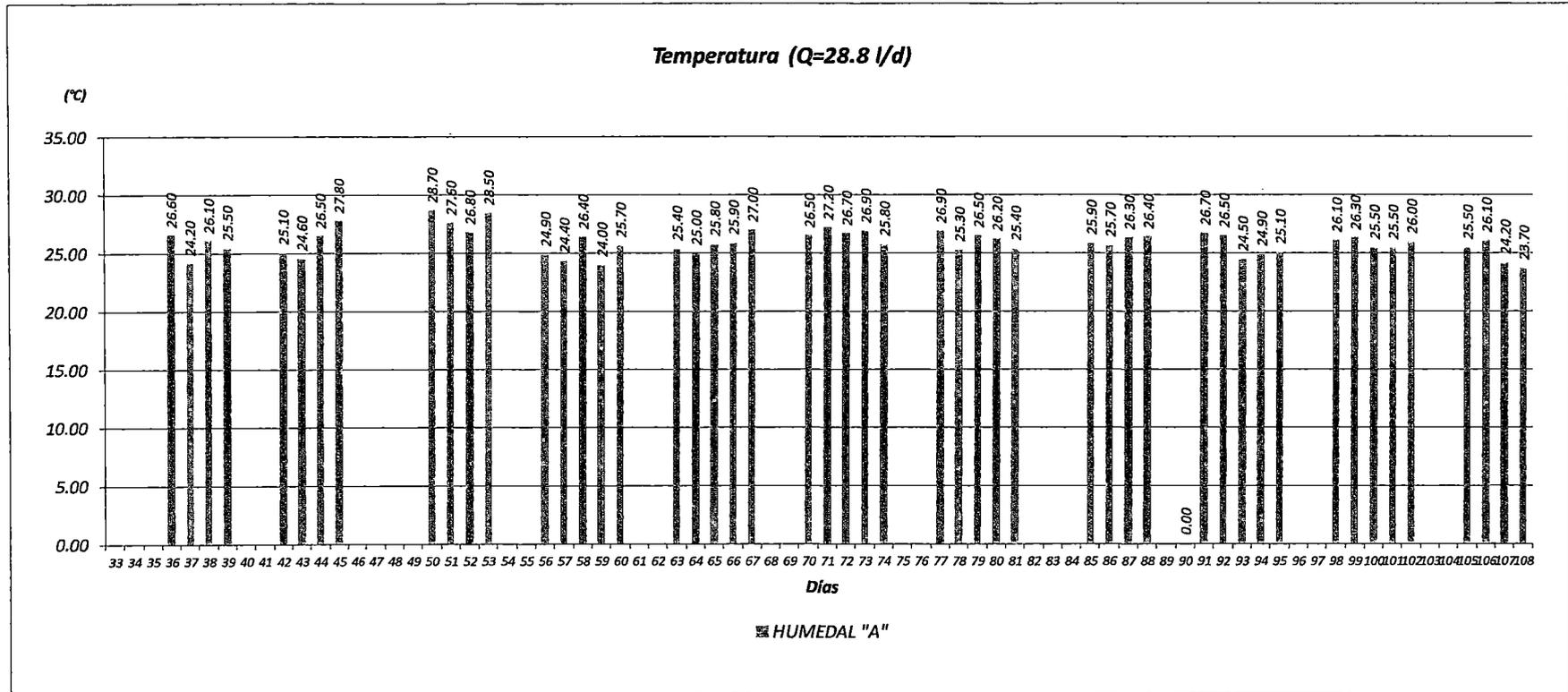
Para un Caudal de 28.8 l/d

a) Tanque Séptico



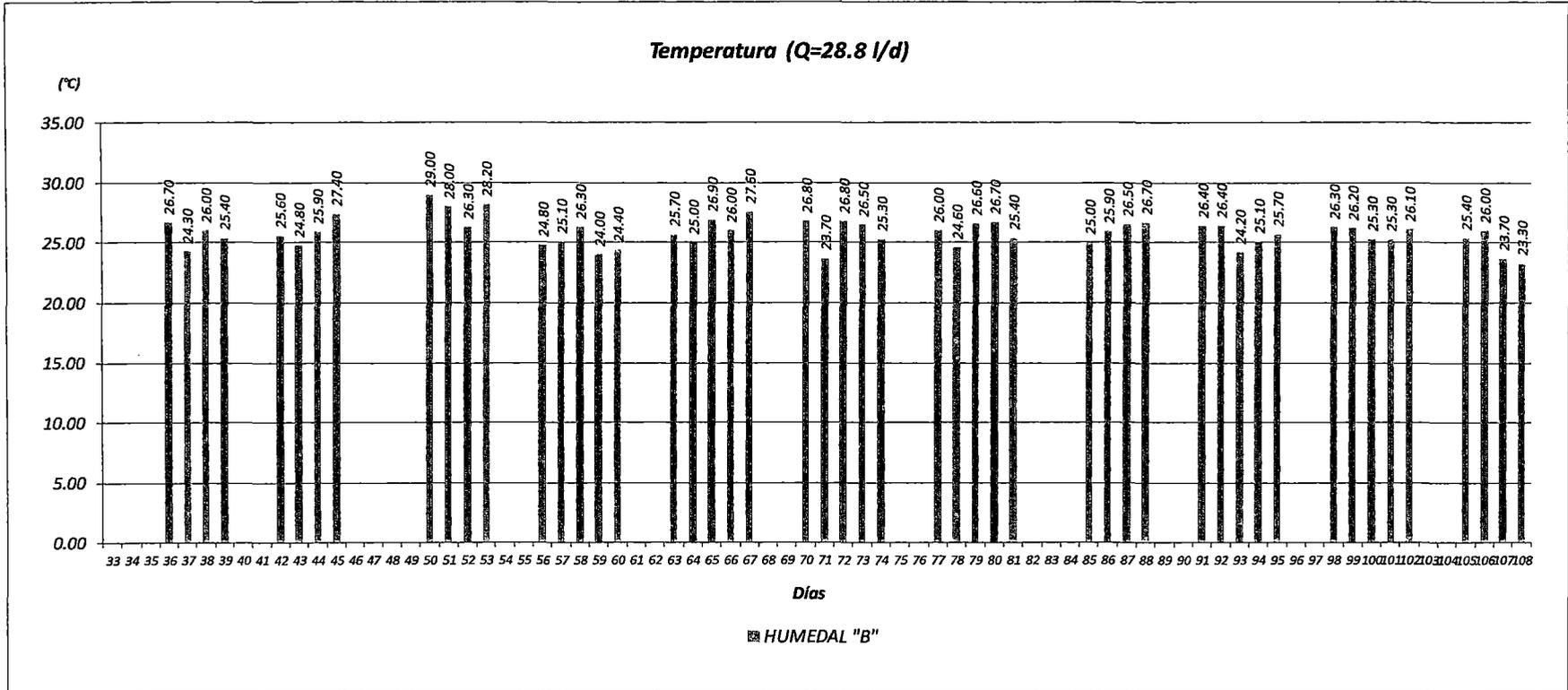
Fuente. Elaboración propia

b) Humedal "A"



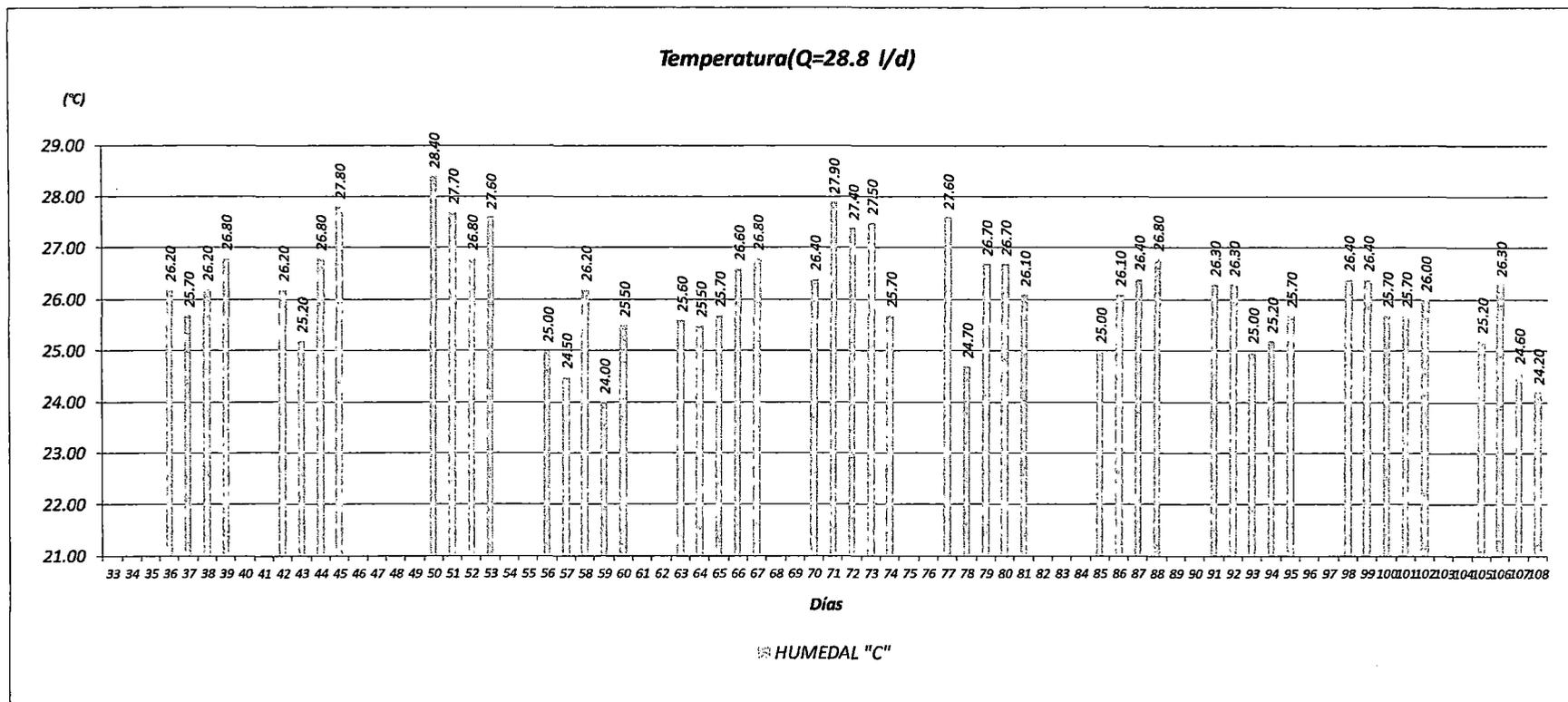
Fuente. Elaboración propia

c) Humedal "B"



Fuente. Elaboración propia

d) Humedal "C"

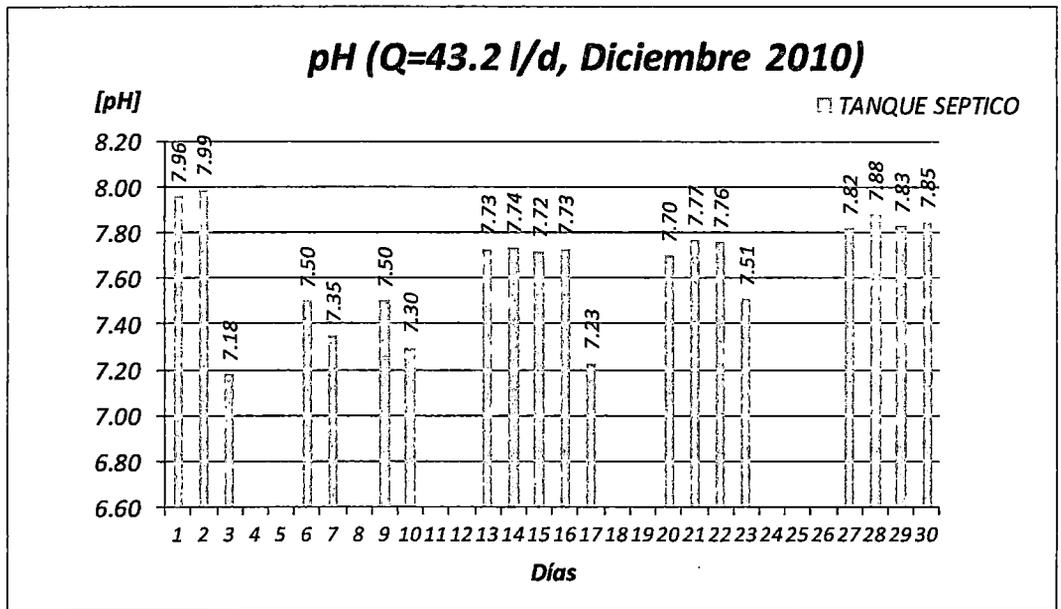


Fuente. Elaboración propia

9.6. PH

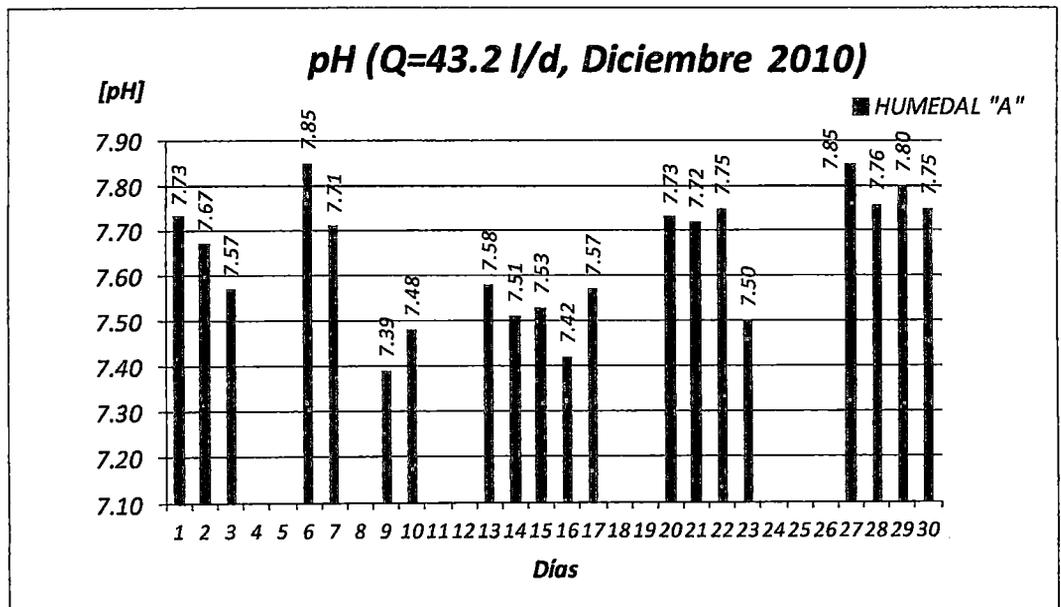
Para un Caudal de 43.2 l/d

a) Tanque Séptico



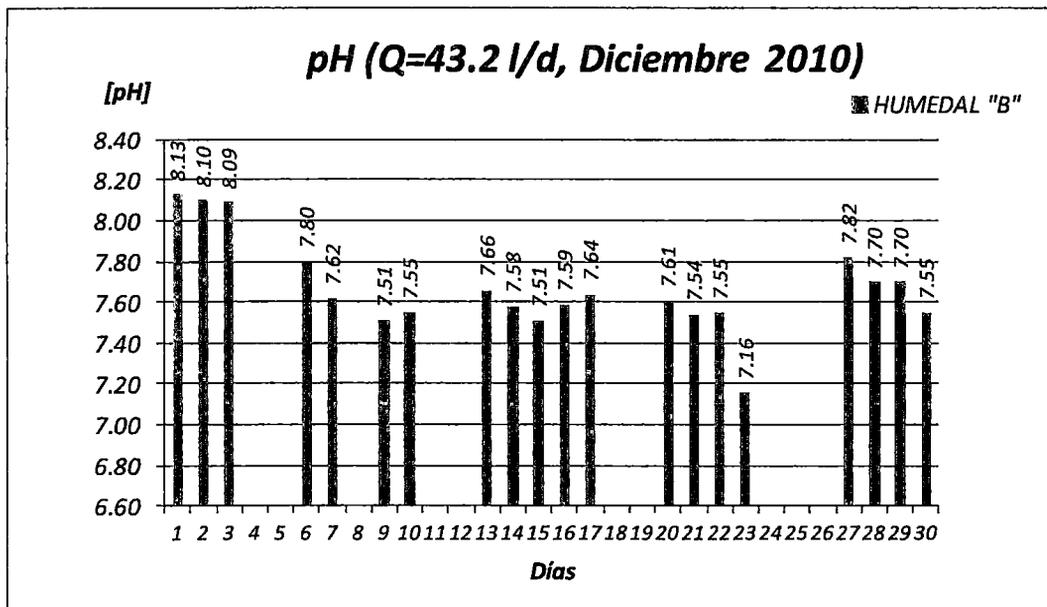
Fuente. Elaboración propia

b) Humedal "A"



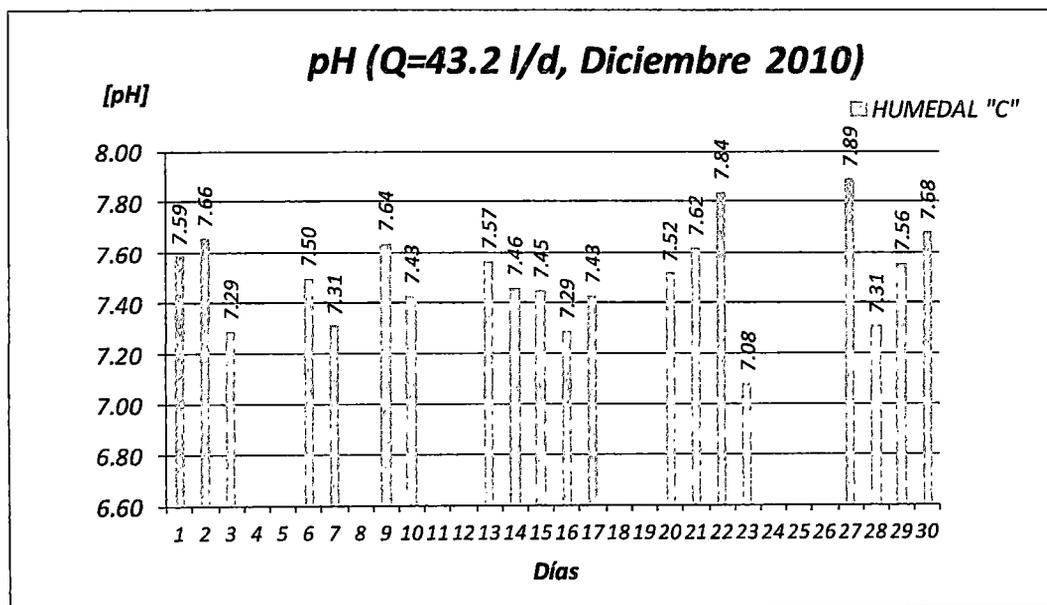
Fuente. Elaboración propia

c) Humedal "B"



Fuente. Elaboración propia

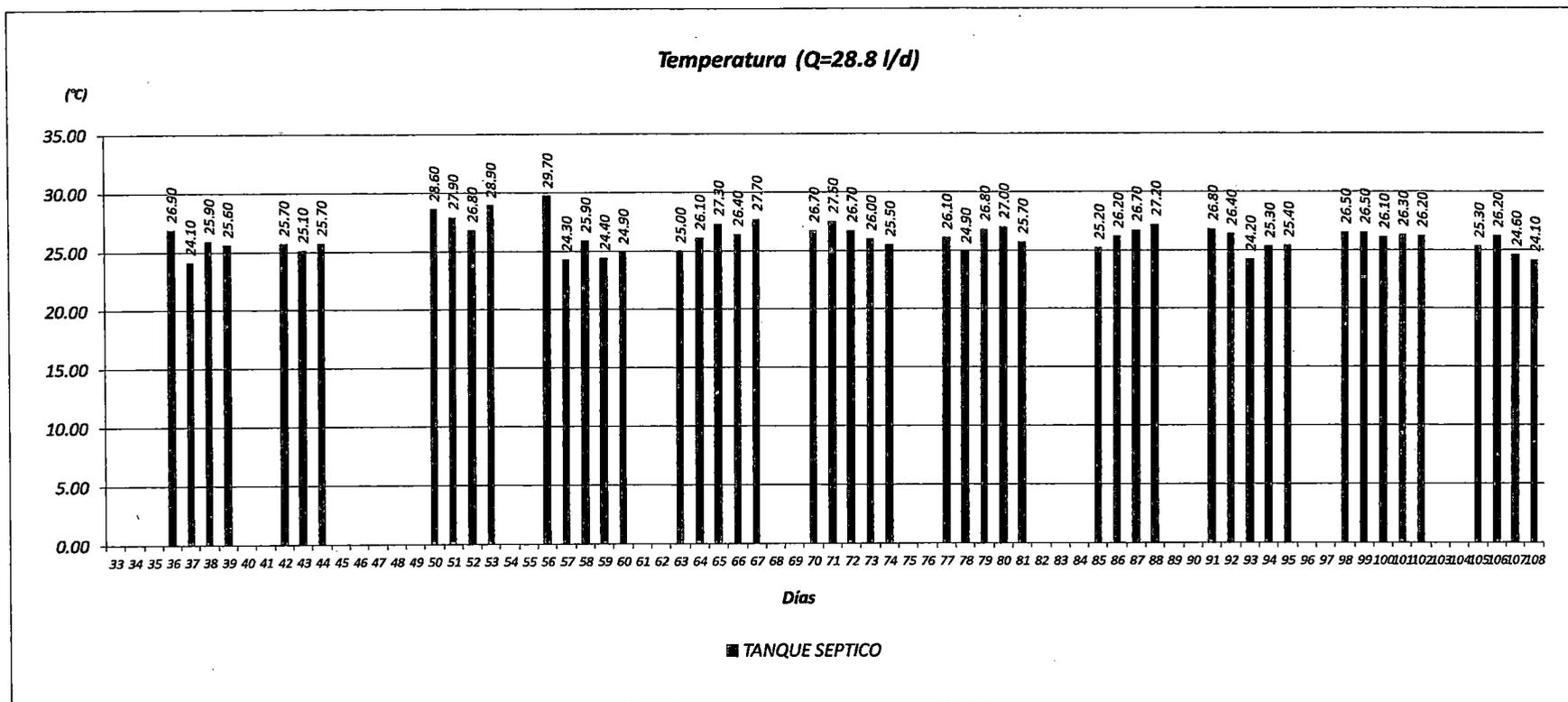
d) Humedal "C"



Fuente. Elaboración propia

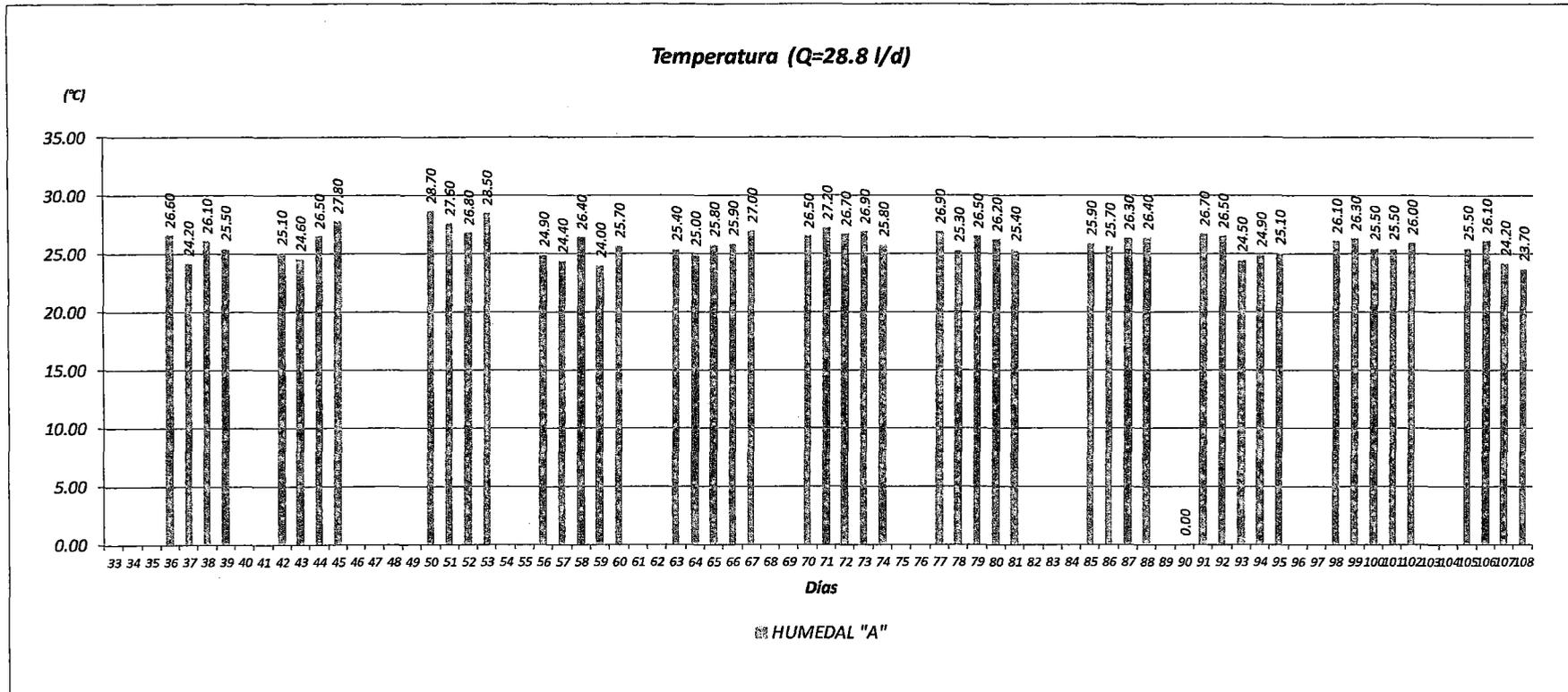
Para un Caudal de 28.8 l/d

a) Tanque Séptico



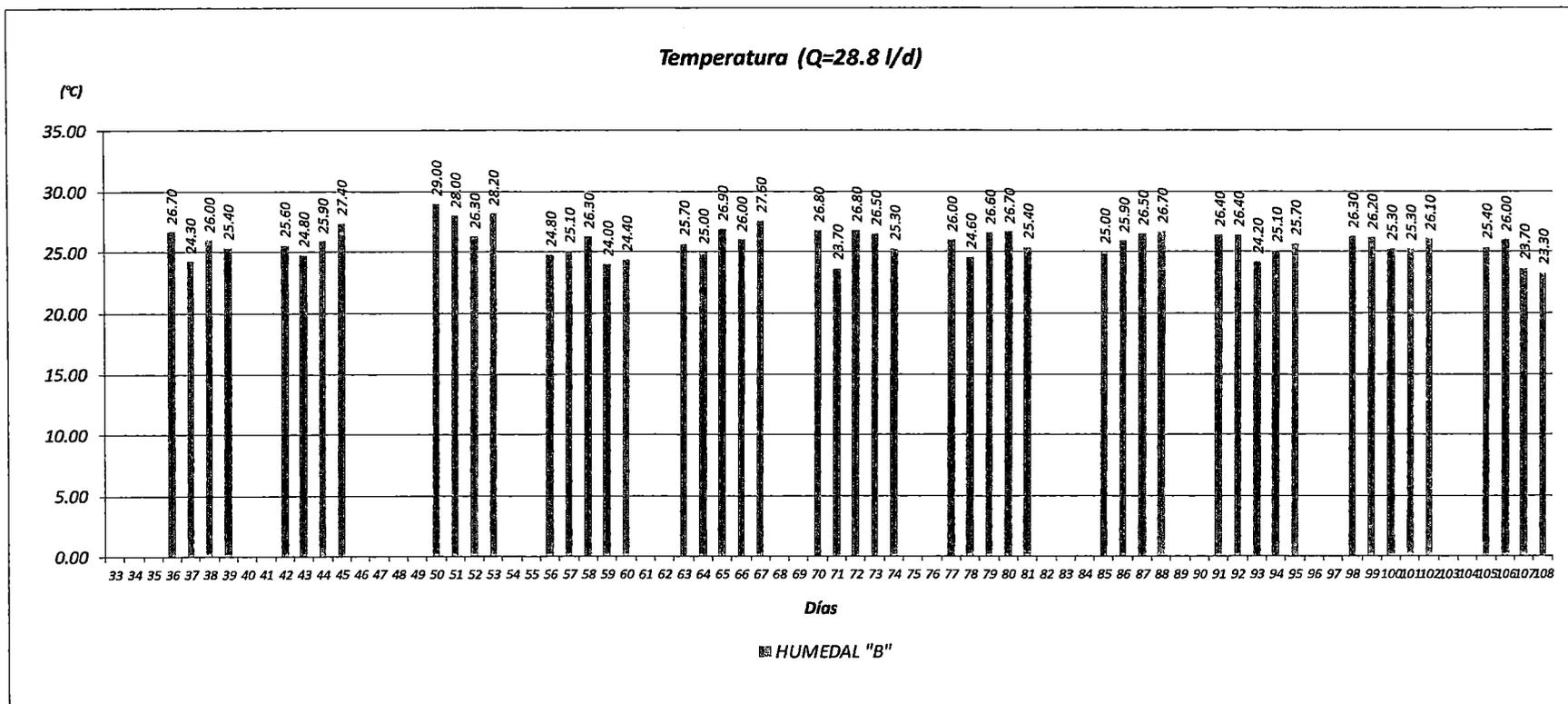
Fuente. Elaboración propia

b) Humedal "A"



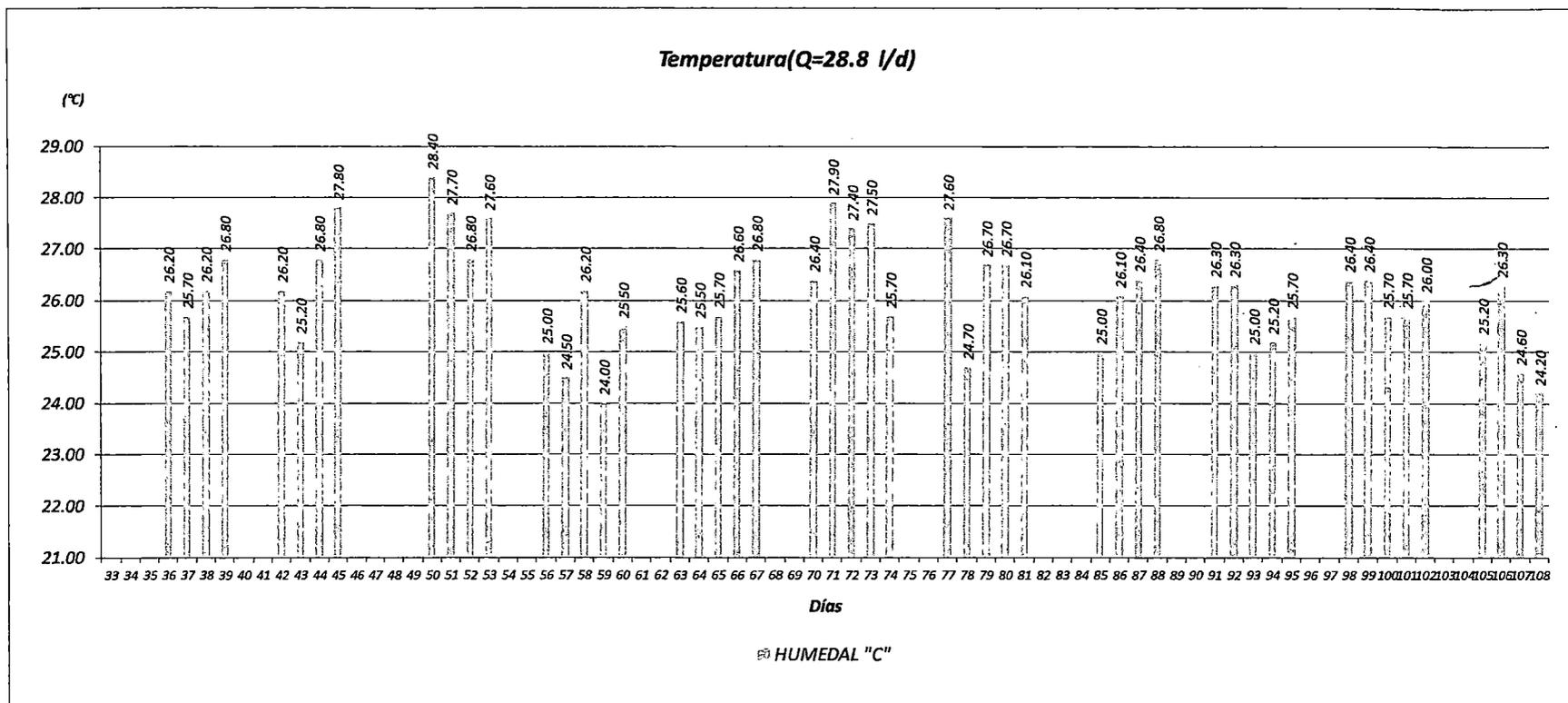
Fuente. Elaboración propia

c) Humedal "B"



Fuente. Elaboración propia

d) Humedal "C"



Fuente. Elaboración propia

9.7. Eficiencias de Remoción

En esta investigación se calcularon los niveles de remoción de DBO_5 , DQO, SST y Turbiedad en cada uno de los humedales, y cuyos resultados mostramos a continuación:

Tabla N°9. Eficiencias de Remoción de DBO_5

CAUDAL	FECHA	DBO_5 (mg/l)				Eficiencia (E)		
		Tanque septico	Humedal "A" G. pequeña	Humedal "B" G. mediana	Humedal "C" G. grande	Humedal "A" G. pequeña	Humedal "B" G. mediana	Humedal "C" G. grande
43.2 l/d	03/12/2010	89.10	9.90	81.17	12.87	88.89%	8.90%	85.56%
43.2 l/d	10/12/2010	41.75	8.98	8.57	7.98	78.49%	79.47%	80.89%
43.2 l/d	17/12/2010	79.74	20.72	45.11	22.5	74.02%	43.43%	71.78%
43.2 l/d	07/01/2011	93.05	39.60	51.47	45.50	57.44%	44.69%	51.10%
28.8 l/d	21/01/2011	26.35	5.40	3.60	1.80	79.51%	86.34%	93.17%
28.8 l/d	28/01/2011	70.98	22.75	21.84	18.20	67.95%	69.23%	74.36%
28.8 l/d	04/03/2011	48.00	14.00	-	19.00	70.83%		60.42%
Promedio						73.88%	55.34%	73.90%

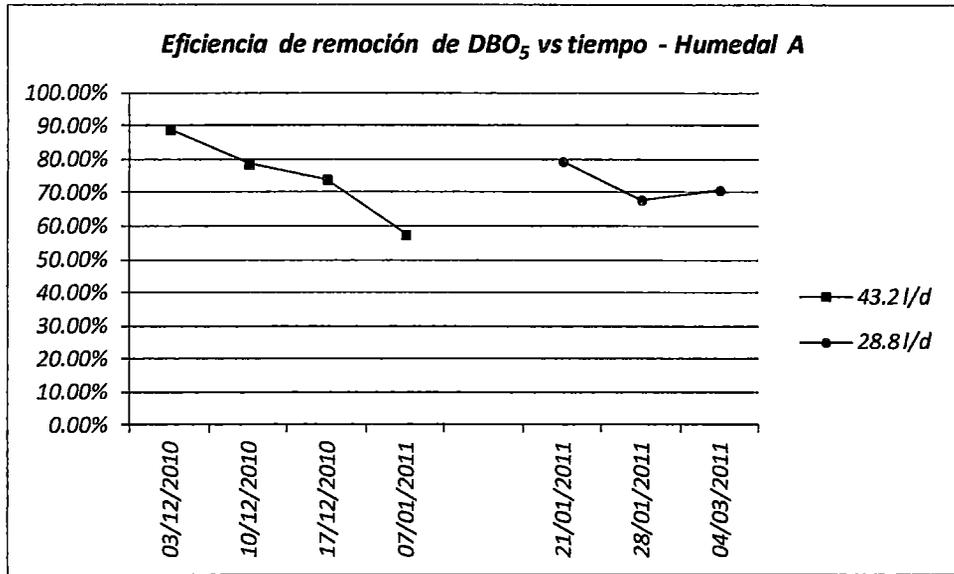
Fuente. Elaboración propia

Tabla N°10. Eficiencias de Remoción de DQO

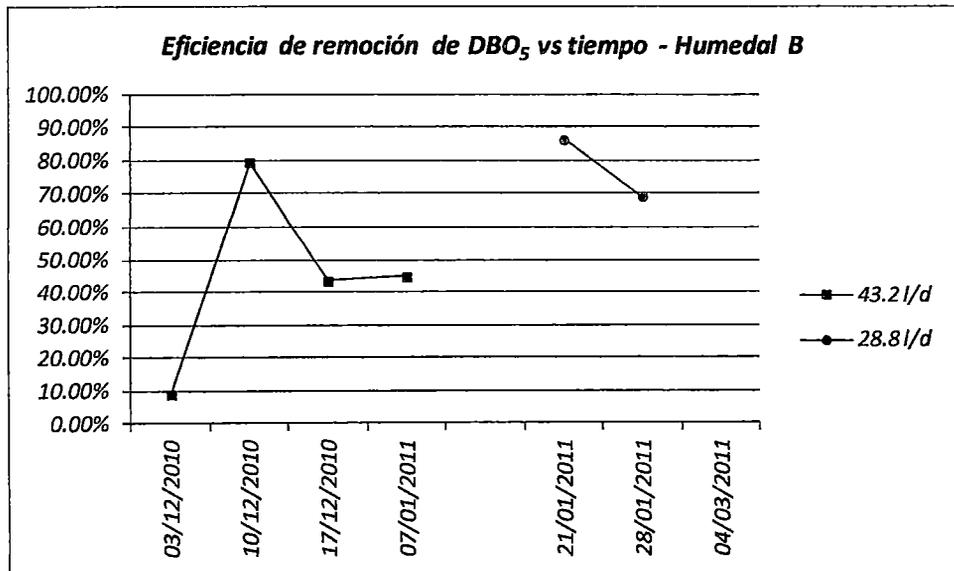
CAUDAL	FECHA	DQO (mg/l)				Eficiencia (E)		
		Tanque septico	Humedal "A" G. pequeña	Humedal "B" G. mediana	Humedal "C" G. grande	Humedal "A" G. pequeña	Humedal "B" G. mediana	Humedal "C" G. grande
43.2 l/d	03/12/2010	235.00	69.00	100.00	90.00	70.64%	57.45%	61.70%
43.2 l/d	10/12/2010	191.00	67.00	82.00	61.00	64.92%	57.07%	68.06%
43.2 l/d	17/12/2010	204.00	89.00	134.00	80.00	56.37%	34.31%	60.78%
43.2 l/d	07/01/2011	261.00	96.00	122.00	114.00	63.22%	53.26%	56.32%
28.8 l/d	21/01/2011	184.00	82.00	89.00	72.00	55.43%	51.63%	60.87%
28.8 l/d	28/01/2011	159.00	60.00	69.00	62.00	62.26%	56.60%	61.01%
28.8 l/d	04/02/2011	194.00	64.00	61.00	81.00	67.01%	68.56%	58.25%
28.8 l/d	11/02/2011	154.00	63.00	79.00	74.00	59.09%	48.70%	51.95%
28.8 l/d	04/03/2011	100.00	67.00	82.00	79.00	33.00%	18.00%	21.00%
Promedio						59.11%	49.51%	55.55%

Fuente. Elaboración propia

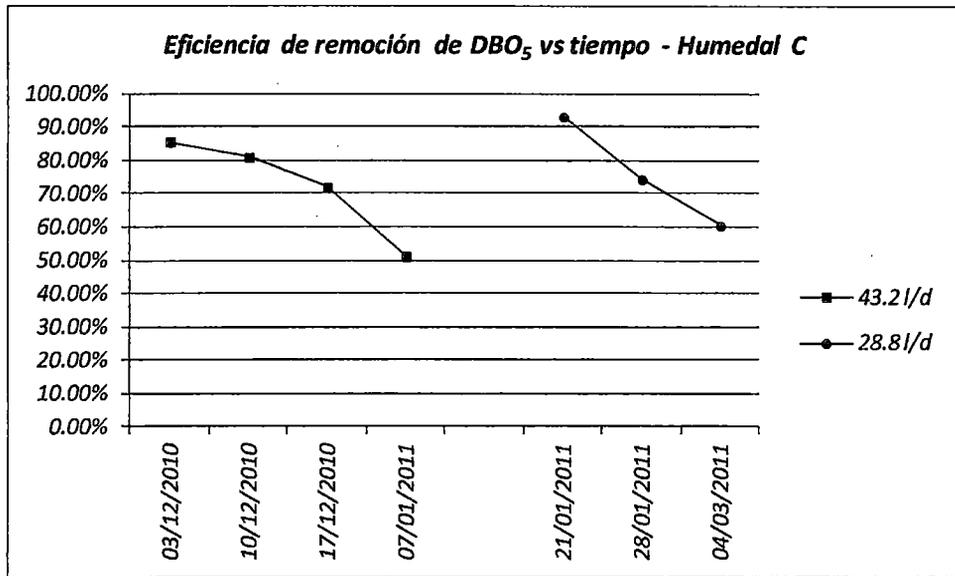
Por otro lado se analizo el comportamiento de la eficiencia de remoción con respecto al tiempo, encontrándose que esta disminuye con el paso del mismo.



Fuente. Elaboración propia



Fuente. Elaboración propia



Fuente. Elaboración propia

9.8 Carga orgánica

En la investigación se calcularon también los valores carga orgánica a la salida de los humedales artificiales y del tanque séptico. Así mismo se calcularon los valores promedio, tal como se indica a continuación.

Tabla N°11. Valores de carga orgánica

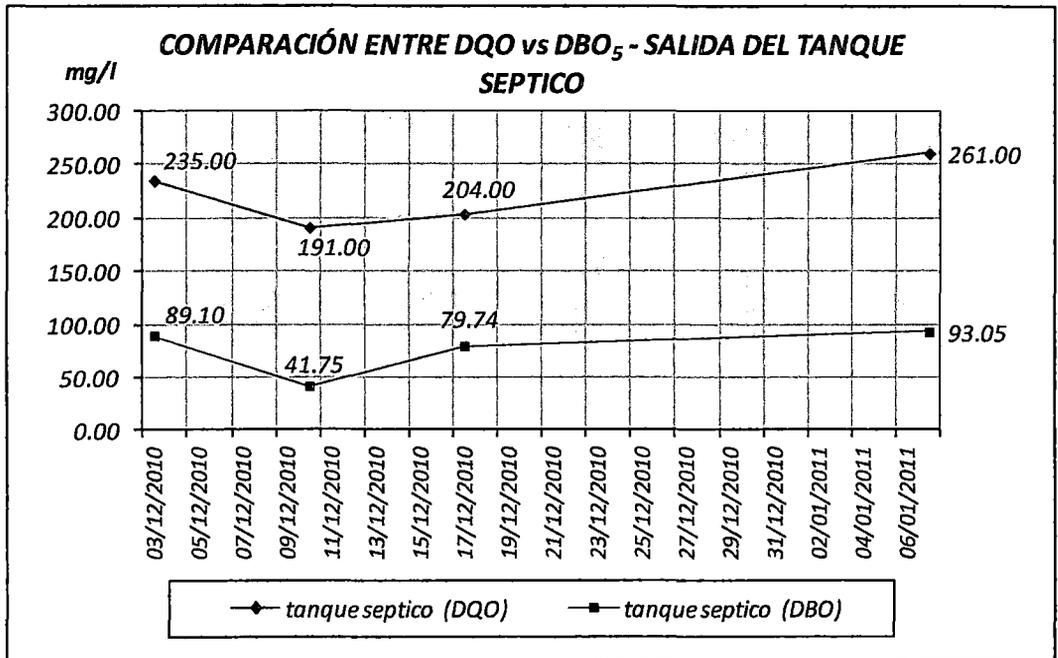
CAUDAL (l/d)	CARGA ORGANICA (Kg/día)			
	T. septico	Humedal "A"	Humedal "B"	Humedal "C"
43.20	3.85	0.43	3.51	0.56
43.20	1.80	0.39	0.37	0.34
43.20	3.44	0.90	1.95	0.97
43.20	4.02	1.71	2.22	1.97
28.80	0.76	0.16	0.10	0.05
28.80	2.04	0.66	0.63	0.52
28.80	1.38	0.40	0.00	0.55
Promedio	2.47	0.66	1.25	0.71

Fuente. Elaboración propia

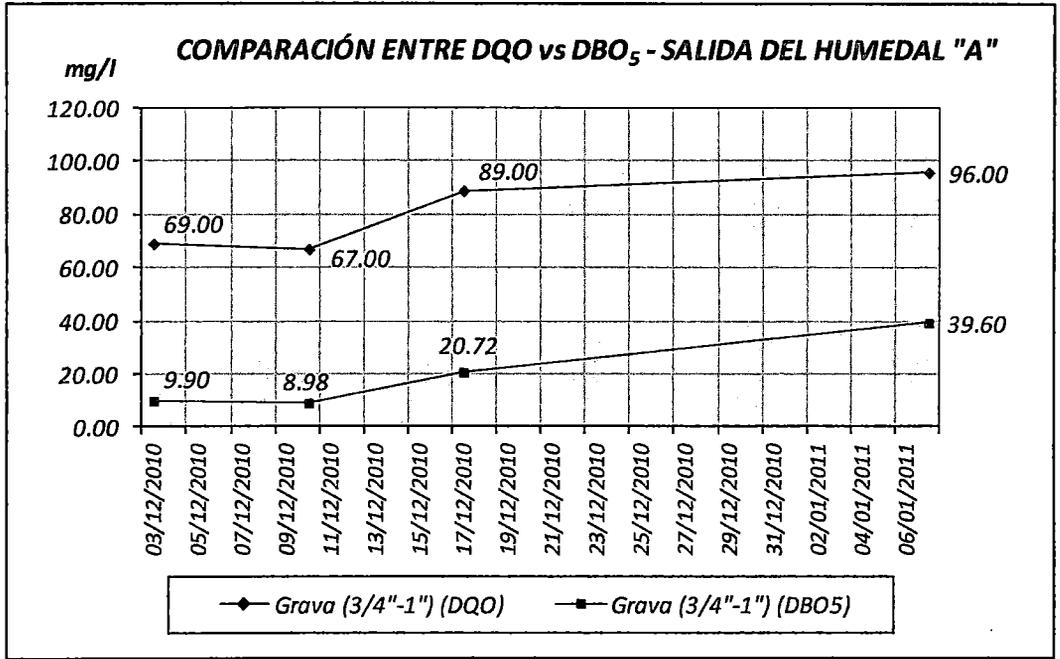
9.9 Comparación entre DQO y DBO₅

Se realizó una comparación entre la DBO₅ y la DQO, a la salida del tanque séptico y los humedales. Los resultados de dicha comparación se muestran a continuación en los siguientes gráficos.

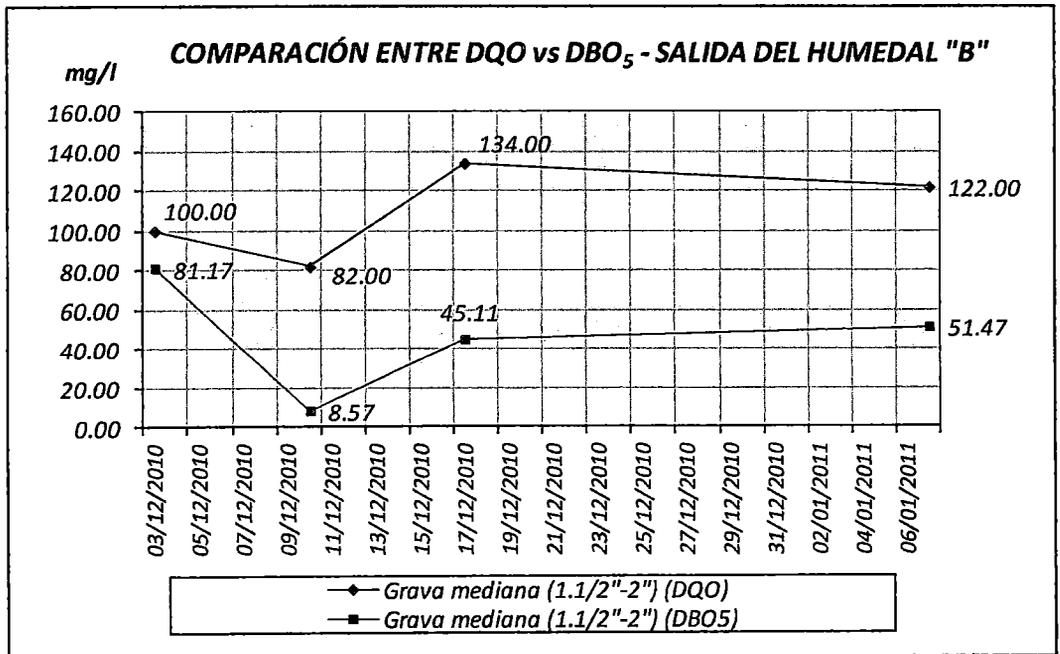
Para un Caudal de 43.2 l/d



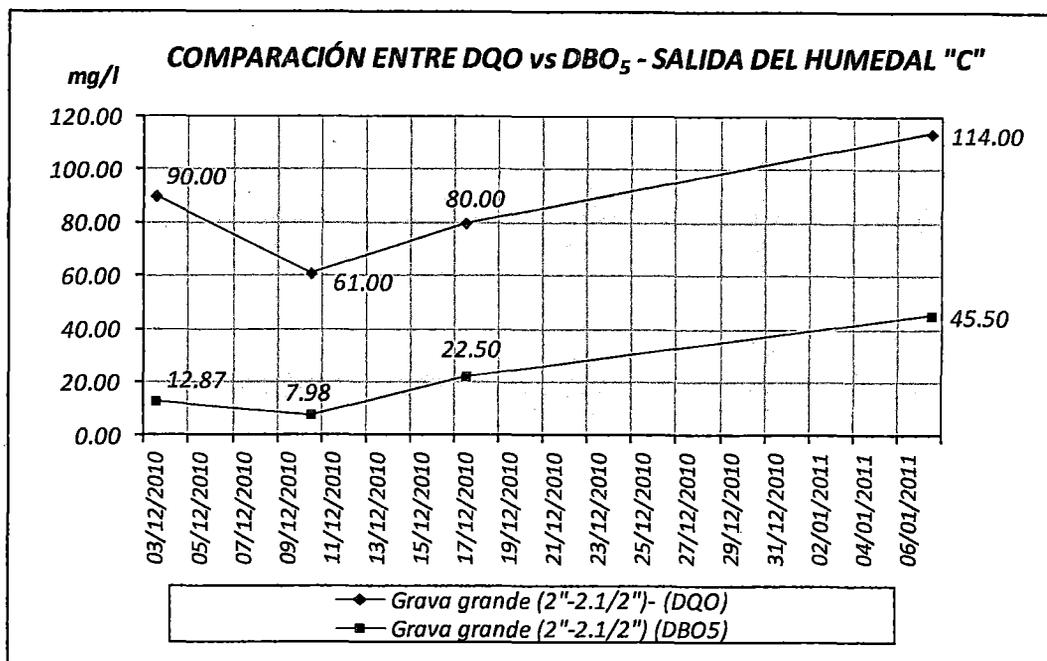
Fuente. Elaboración propia



Fuente. Elaboración propia



Fuente. Elaboración propia



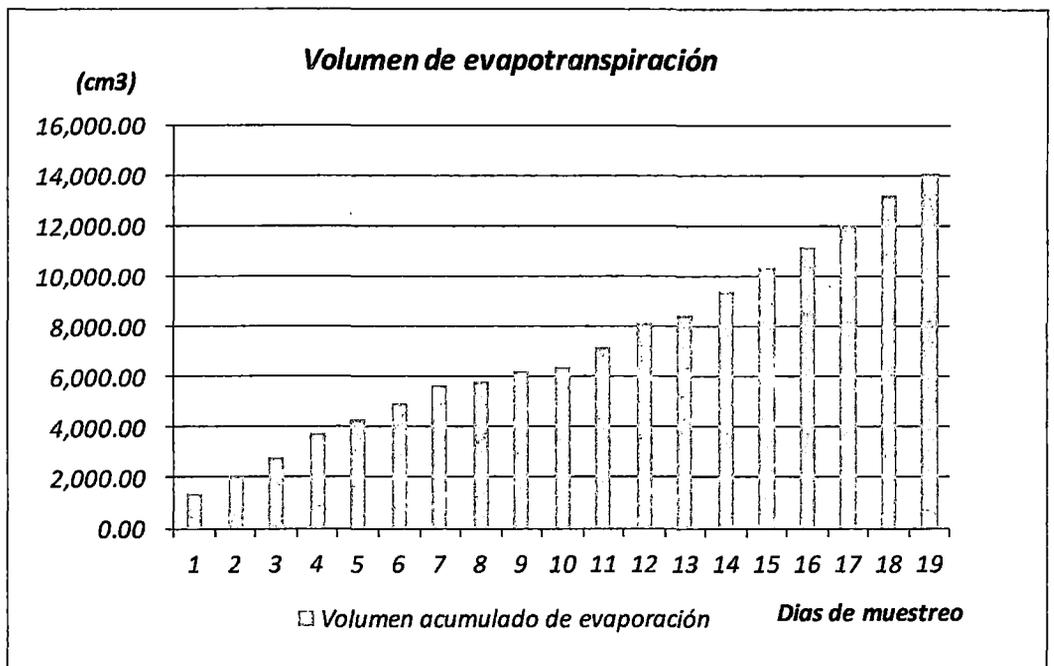
Fuente. Elaboración propia

9.10 Resultados de la Evapotranspiración.

Tabla N°11. Registros de Evapotranspiración.

N° de días de muestreo	Fecha	Hora	Lectura (cm)		Diferencia (cm)	Evaporación (cm ³)	Evaporación acumulada (cm ³)	Evap Promedio (cm ³)
			Inicial	Final				
1	04/09/2012	10:00 a.m.	20.50	19.80	0.70	1,319.47	1,319.47	744.06
2	05/09/2012	09:00 a.m.	19.80	19.40	0.40	753.98	2,073.45	744.06
3	06/09/2012	10:00 a.m.	19.40	19.00	0.40	753.98	2,827.43	744.06
4	07/09/2012	10:00 a.m.	19.00	18.50	0.50	942.48	3,769.91	744.06
5	10/09/2012	10:00 a.m.	18.90	18.60	0.30	565.49	4,335.40	744.06
6	11/09/2012	10:00 a.m.	18.60	18.30	0.30	565.49	4,900.88	744.06
7	12/09/2012	10:00 a.m.	18.30	17.90	0.40	753.98	5,654.87	744.06
8	13/09/2012	10:00 a.m.	17.90	17.80	0.10	188.50	5,843.36	744.06
9	14/09/2012	10:00 a.m.	17.80	17.60	0.20	376.99	6,220.35	744.06
10	17/09/2012	10:00 a.m.	20.00	19.90	0.10	188.50	6,408.85	744.06
11	18/09/2012	10:00 a.m.	19.90	19.50	0.40	753.98	7,162.83	744.06
12	19/09/2012	10:00 a.m.	19.50	19.00	0.50	942.48	8,105.31	744.06
13	20/09/2012	10:00 a.m.	19.00	18.80	0.20	376.99	8,482.30	744.06
14	21/09/2012	10:00 a.m.	18.80	18.30	0.50	942.48	9,424.78	744.06
15	24/09/2012	10:00 a.m.	20.00	19.50	0.50	942.48	10,367.26	744.06
16	25/09/2012	10:00 a.m.	20.00	19.60	0.40	753.98	11,121.24	744.06
17	26/09/2012	10:00 a.m.	20.00	19.50	0.50	942.48	12,063.72	744.06
18	27/09/2012	10:00 a.m.	20.00	19.40	0.60	1,130.97	13,194.69	744.06
19	28/09/2012	10:00 a.m.	20.00	19.50	0.50	942.48	14,137.17	744.06

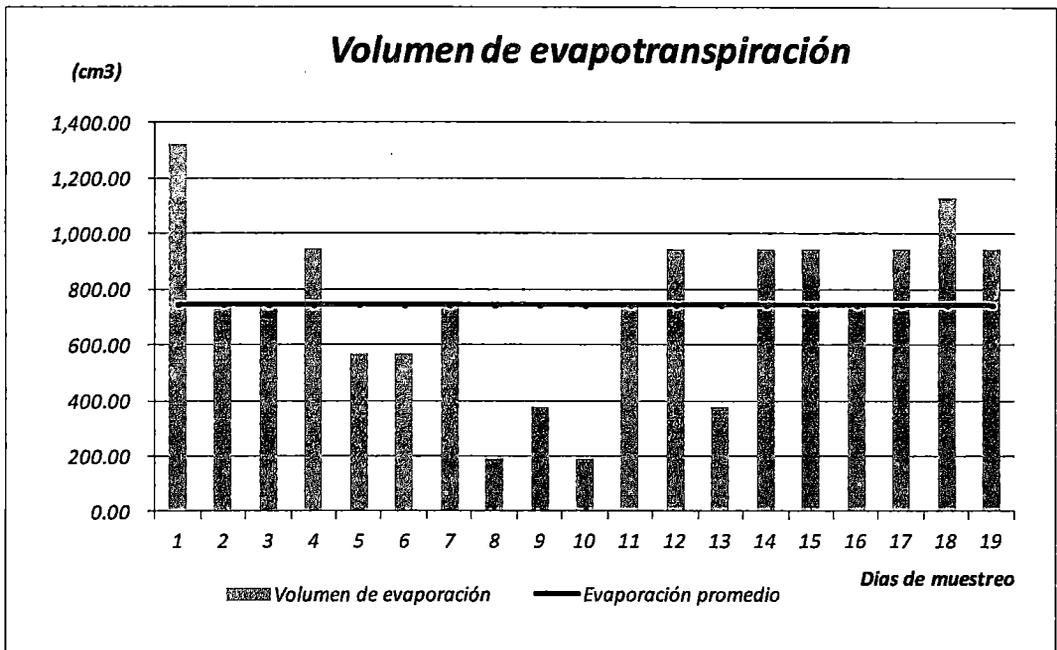
Fuente. Elaboración propia



Fuente. Elaboración propia

Tabla N°12. Resumen de resultados obtenidos.

Evapotranspiración promedio (cm)	0.42	cm
Área de la tina (cm²)	3,053.63	cm ²
Volumen de evaporación (cm³)	1,285.74	cm ³



Fuente. Elaboración propia

X. CONCLUSIONES

- 1) El sistema conformado por los tres humedales artificiales de flujo sub superficial presentan valores máximos de remoción de la demanda Bioquímica de Oxígeno al quinto día (DBO_5) de 88.89% en el humedal de grava pequeña (A), 86.34% en el humedal de grava mediana (B) y 93.17% para el humedal de grava grande (C).
- 2) El sistema ha presentando valores máximos de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DQO) de 70.64% en el humedal de grava pequeña (A), 68.56% en el humedal de grava mediana (B) y 68.06% para el humedal de grava grande (C).
- 3) Los valores promedio de DBO_5 al ingreso y a la salida de los humedales de grava pequeña (A), mediana (B) y grande (C) son de 64.14 mg/l, 17.34 mg/l, 35.29 mg/l respectivamente y 18.26 mg/l, lo que demuestra una mayor remoción del humedal A, en comparación con el B y C.
- 4) Los valores promedio de DQO al ingreso y a la salida de los humedales A, B y C son de 186.89 mg/l, 73.00 mg/l, 90.89 mg/l y 79.22 mg/l.
- 5) El valor de evapotranspiración promedio es de 744.06 cm³ durante un día registrado durante el periodo de un mes. Al evaporarse el agua se incrementa la concentración de las sustancias disueltas en ella como son la DBO_5 , DQO, sólidos totales, etc.
- 6) La evapotranspiración acumulada al finalizar el día 19 de monitoreo es de 14137.17 cm³

- 7) La carga orgánica promedio en el afluente fue de 2.47KgDBO₅/día y del efluente fue de 0.66, 1.25 y 0.71 KgDBO₅/día, para los humedales A, B y C respectivamente.

XI. RECOMENDACIONES

- 1) Se recomienda impermeabilizar suficientemente el interior de los humedales a fin de evitar filtraciones futuras y acortar el tiempo de acondicionamiento de los humedales. En este caso la impermeabilización se logro con varias capas de lechada de cemento.
- 2) Se recomienda efectuar aforos constantes de los caudales que ingresan a los humedales, a efectos de regularlos e igualarlos a los caudales de diseño.
- 3) Se recomienda lavar la grava antes de colocarla dentro del humedal a fin de limpiar las partículas finas existentes y evitar posibles interferencias en los resultados de laboratorio, así como la rápida saturación del medio soporte.
- 4) Se recomienda prever una alimentación continua al tanque de almacenamiento. De esta manera se asegurara un nivel constante y una carga constante sobre el punto de salida, y por ende un caudal constante a la salida del tanque, este caudal deberá ser distribuido adecuadamente entre los humedales.
- 5) Para un rápido crecimiento de las plantas y microorganismos en el se recomienda utilizar agua residual tratada, ya sea proveniente de un tratamiento primario o secundario. En este caso se utilizó agua residual proveniente de la laguna secundaria.

- 6) Se recomienda cortar (podar) periódicamente las plantas para evitar el crecimiento excesivo de las mismas en el humedal.
- 7) Considerar la evapotranspiración (evaporación mas transpiración de las plantas) como factor importante durante de tratamiento ya que en áreas grandes el consumo de agua por las plantas puede ser alto y en climas cálidos la evapotranspiración es alta afectando de esta manera la lectura de los parámetros DBO₅, DQO, Sólidos Totales, etc.

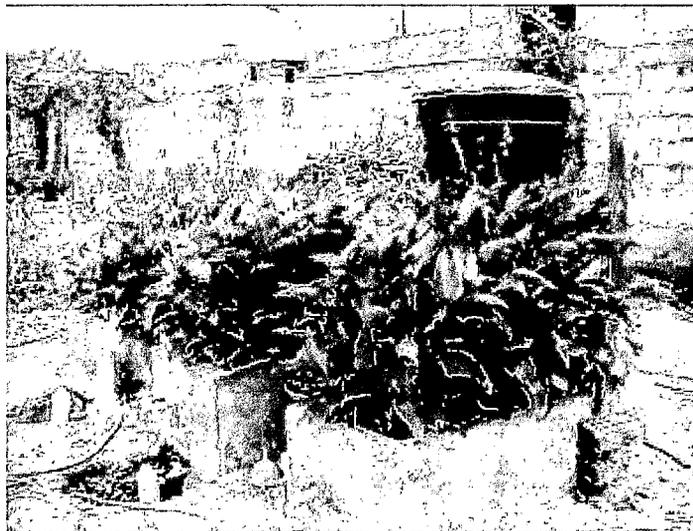
XII. PANEL DE FOTOS

Foto N°1: Humedales artificiales de 1.20x0.40x0.50m, y un tanque de almacenamiento para un funcionamiento continuo de los humedales

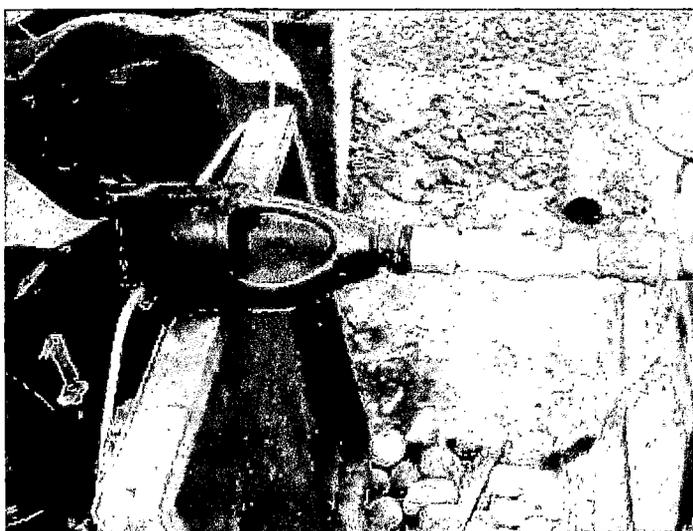


Foto N°2. Distribuidor de caudales elaborado artesanalmente para una mejor repartición del agua residual proveniente del tanque de almacenamiento

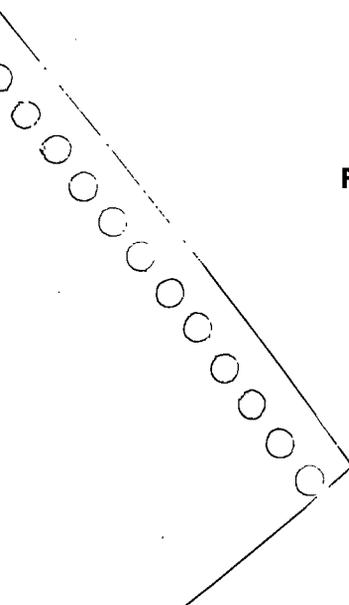




Foto N°3. Especie vegetal *Cana Indica*



Foto N°4. Toma de muestras a la salida de los humedales, en frascos de 1000ml para la medición de la DBO5 y DQO



Foto N°5. Medición de la DQO con equipo portátil facilitado por CITRAR



Foto N°6. Integrante de la Tesis y operario de mantenimiento de CITRAR, momentos antes de la medición de la DQO y SST

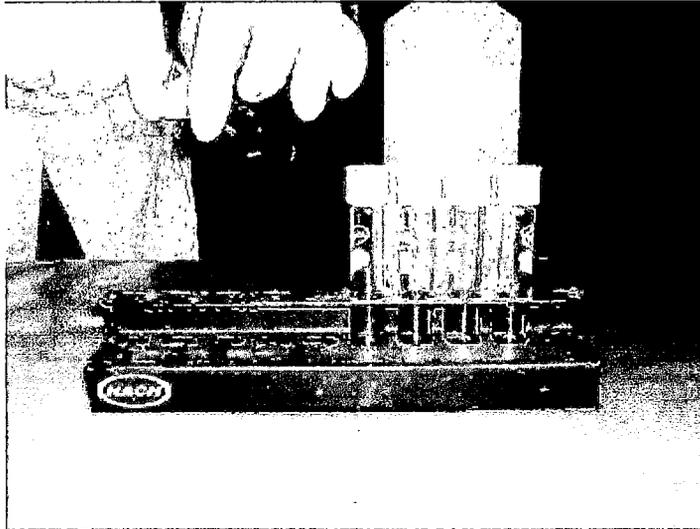
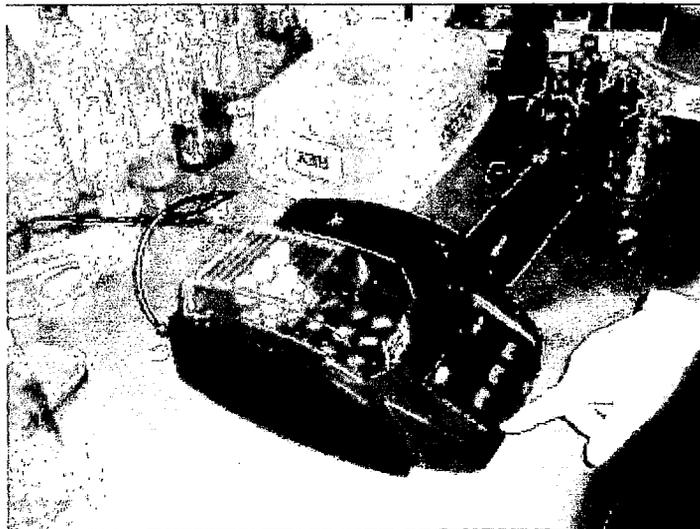


Foto N°7. Kit de Viales para la medición de la DQO



**Foto N°8. Equipo portátil con el cual se efectuaba la medición de turbiedad,
Sólidos suspendidos y DQO**

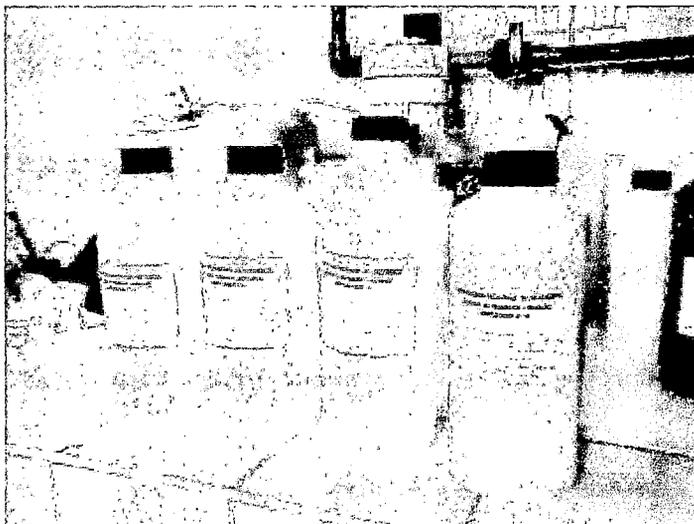


Foto N°9. Rotulado de las muestras, antes de ser llevadas al laboratorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental.



Foto N°10. Colocación de las muestras en un cooler, listas para ser llevadas al laboratorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental para la medición de DBO_5



Foto N°11. Semillas de *Canna Indica*.



Foto N°12. Fuente de agua residual utilizado para la alimentación de los humedales artificiales (efluente de UASB-CITAR)

XIII. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- **Javier Mena Sanz.**
Depuración de aguas residuales con humedales artificiales: Ventajas de los sistemas híbridos.
 Alquimia Soluciones Ambientales.
 Consejo Nacional del Medio Ambiente - España
Link: http://www.alquimiaimasd.com/UserFiles/ficheros/IdiAplicada/2643_JMena.pdf
- **Carlos A. Arias I. / Hans Brix – 2003.**
Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales
 Ciencia e Ingeniería Neogranadina, julio, numero 013
 Universidad militar Nueva Granada. Bogotá – Colombia
Link: <http://www.redalyc.org/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=91101302&iCveNum=9402>
Página: 18-22
- **Wilmer Alberto Llagas Chafloque, Enrique Guadalupe Gómez.**
Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM
 Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG Vol 15, N°17, 85-86, 2006, Lima– Perú
Link: <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/699/552>.
Página: 86-96
- **Jaime Andrés Lara Borrero**
Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales
 Instituto Catalán de Tecnología, Universidad Politécnica de Cataluña
 Máster en Ingeniería y Gestión ambiental, Barcelona, mayo de 1999.
Link: <http://www.aprchile.cl/pdfs/Humedales.pdf>

Página: 45-74

- **Metcalf & Eddy. Tercera Edición. Editorial Mc Graw Hill**
Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, Vertido y reutilización.
Volumen 2
Terrenos pantanosos artificiales
Página: 1125-1137
- **Ronald W. Crites, Joe Middlebrooks, Sherwood C. Reed**
Natural Wastewater Treatment System
Chapter 7. Subsurface and Vertical Flow Constructed Wetlands
Página: 335-374
- **Compendio de sistemas tecnologías de saneamiento.**
<http://www.alianzaporelagua.org/Compendio/tecnologias/t/t5.html>

XIV. ANEXOS

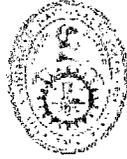
8.1 INDICE DE FOTOS

- Foto N°1** : Ubicación de la Planta de Tratamiento de Agua residual CITRAR
- Foto N°2** : Vista de los Humedales artificiales
- Foto N°3** : Dimensiones de los humedales artificiales
- Foto N°4** : Tanque de almacenamiento de 500 Litros
- Foto N°5** : Distribuidor de caudal ubicado a la salida del tanque
- Foto N°6** : Manguera quirúrgica para la regulación de caudal
- Foto N°7** : Tubería PVC de 1/2" perforada para la distribución del afluente
- Foto N°8** : Tubería PVC de 1/2" perforada para la recolección del efluente
- Foto N°9** : Humedal artificial construido de material noble
- Foto N°10** : Grava pequeña tamaño comprendido de 3/4" a 1"
- Foto N°11** : Grava pequeña tamaño comprendido de 1.1/2" a 2"
- Foto N°12** : Grava pequeña tamaño comprendido de 2" a 2.1/2"
- Foto N°13** : Variedad de achira según el color de la flor, de izquierda a derecha
tenemos achira amarilla, achira naranja y achira roja.
- Foto N°14** : Izquierda achira morada y derecha achira verde.
- Foto N°15** : Sembrado de ACHIRA en 02 filas de 06 unidades para cada humedal
- Foto N°16** : Especie vegetal ACHIRA
- Foto N°17** : Oniscídeos, comúnmente conocido como chanchito de Tierra.
- Foto N°18** : Unidad destinada a medir la evaporación.
- Foto N°19** : Se muestra el punto en el cual se realizó la toma de lecturas de la evapotranspiración

8.2 INDICE DE TABLAS

- Tabla N°1** : Mecanismos de depuración predominantes en los humedales artificiales.
- Tabla N°2** : Parámetros típicos de diseño para humedales.
- Tabla N°3** : Coeficientes de uniformidad y permeabilidad hidráulica.
- Tabla N°4** : Caudales de operación en los humedales.
- Tabla N°5** : Valores de DBO5, según los caudales de operación.
- Tabla N°6** : Valores de DBO5 promedio.
- Tabla N°7** : Valores de DQO, según los caudales de operación.
- Tabla N°8** : Valores de DQO promedio.
- Tabla N°9** : Eficiencias de remoción de DBO5.
- Tabla N°10** : Eficiencias de remoción de DQO.
- Tabla N°11** : Registro de Evapotranspiración.
- Tabla N°12** : Resumen de resultados de evapotranspiración.

8.3 ANALISIS FISICOQUIMICOS



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
LABORATORIO N° 20-INGENIERIA SANITARIA

INFORME DE ANÁLISIS N°194-2010- LAB N° 20

Solicitante : RAFAEL INFANTES FLORES
Proyecto : Teaña
Muestra : Desagón
Procedencia : Unizar
Fecha de muestreo : 03-12-2010 Hora: M1: 2:00 p.m. M2: 2:00 p.m.
M3: 2:00 p.m. M4: 2:00 p.m.
Fecha de recepción : 03-12-2010

RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

Referencia

M1: Tanque Séptico M2: Salida de humedal
M3: Salida de humedal M4: Salida de humedal

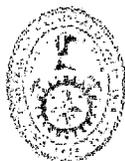
PARAMETRO	UNIDAD	M1	M2	M3	M4	METODO
DBD ₅	mg/L	89.10	9.93	81.17	12.97	Winkler

Los análisis se han efectuado tomando en cuenta los METODOS NORMALIZADOS PARA EL ANALISIS DE AGUAS POTABLES Y RESIDUALES APHA-1995-WPCF 19.101

Lima, 03 de Diciembre del 2010

ING. VALÉRY MAUVINO CANO
JEFE (e) LABORATORIO N° 20

010 214520 010 200200 107 01 00160001



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL

LABORATORIO N° 20 - INGENIERIA SANITARIA

INFORME DE ANÁLISIS N°202-2010- LAB N° 20

Solicitante : DANIEL PEÑA OROCAJA
Proyecto : Tuzia
Muestra : Desagüe
Procedencia : Uañin
Fecha de muestreo : 10-12-2010 Hora: M1: 11:00 a.m. M2: 11:00 a.m.
Fecha de recepción : 10-12-2010 M3: 11:00 a.m. M4: 11:00 a.m.

RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

Referencia

M1: Tanque Séptico M2: Salida de humedal
M3: Salida de humedal M4: Salida de humedal

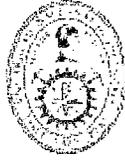
PARAMETRO	UNIDAD	M1	M2	M3	M4	METODO
DBO ₅	mg/L	41.75	8.88	8.57	7.96	5210.1

Los análisis se han efectuado tomando en cuenta los MÉTODOS NORMALIZADOS PARA EL ANÁLISIS DE AGUAS POTABLES Y RESIDUALES APHA-APHA WPCF 18 edición.

Lima, 29 de Diciembre del 2010

ING. VALERY MAURICIO RAMO
JEFE (e) LABORATORIO N° 20

[*] La muestra fue interceptada por el solicitante.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
 LABORATORIO N° 20 - INGENIERIA SANITARIA

INFORME DE ANÁLISIS N° 210-2010- LAB N° 20

Solicitante : DANIEL PEÑA OROCAJA
 Proyecto : Tesis
 Muestra : Desagüe
 Precedencia : Urgente
 Fecha de muestreo : 07-01-2011 Hora: M1: 11:00 a.m. M2: 11:00 a.m.
 M3: 11:00a.m. M4: 11:00 a.m.
 Fecha de recepción : 07-01-2011

RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

Referencia

M1: Tanque Séptico
 M3: Salida de humedad "B"

M2: Salida de humedad "A"
 M4: Salida de humedad "C"

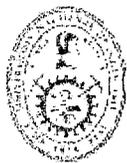
PARAMETRO	UNIDAD	M1	M2	M3	M4	METODO
DBO ₅	mg/l	83.65	39.60	51.47	45.50	Winkler

Los análisis se han efectuado tomando en cuenta los METODOS NORMALIZADOS PARA EL ANÁLISIS DE AGUAS POTABLES Y RESIDUALES APHA-1800-A WPCF 19 edición

Lima, 12 de Enero del 2011

 ING. VALERY BAUTINO CANO
 JEFE (c) LABORATORIO N° 20

(*) La muestra fue tomada por el solicitante



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
 LABORATORIO N° 20 - INGENIERIA SANITARIA

INFORME DE ANÁLISIS N°009-2011- LAB N° 20

Solicitante : DANIEL PEÑA OROCAJA
 Proyecto : Tesis
 Muestra : Desague
 Proveniencia : Urbana
 Fecha de muestreo : 21-01-2011 Hora: M1: 13:30 p.m. M2: 13:30 p.m.
 M3: 13:30 p.m. M4: 13:30 p.m.
 Fecha de recepción : 21-01-2011

RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

Referencias

M1: Tanque Séptico M2: Selda de humedad "A"
 M3: Selda de humedad "B" M4: Selda de humedad "C"

PARÁMETRO	UNIDAD	M1	M2	M3	M4	METODO
OD ₅	mg/L	26.35	5.4	3.6	1.8	Winkler

Los análisis se han efectuado tomando en cuenta los **MÉTODOS NORMALIZADOS PARA EL ANÁLISIS DE AGUAS POTABLES Y RESIDUALES APHA-APWA-NTCF** 19 edición.


 Lima, 01 de Febrero del 2011
ING. VALERY BAUTINO CANO
 JEFE (e) LABORATORIO N° 20

* La muestra fue tomada por el solicitante



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
 LABORATORIO N° 20 - INGENIERIA SANITARIA

INFORME DE ANÁLISIS N°042-2011- LAB N° 20

Solicitante : DANIEL PERA CROCAJA
 Proyecto : Teste
 Muestra : Desagüe
 Procedencia : Unimar
 Fecha de muestreo : 4-3-2011 Hora: M1 : 2:00 p.m. M2 : 2:00 p.m.
 M3 : 2:00 p.m. M4 : 2:00 p.m.
 Fecha de recepción : 4-03-2011

RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

Referencia

M1: Tanque Séptico
 M2: Salida de humedad "A"
 M3: Salida de humedad "D"
 M4: Salida de humedad "C"

PARAMETRO	UNIDAD	M1	M2	M3	M4	METODO
DBO ₅	mg/L	48	14	17	19	Winkler

Los análisis se han efectuado tomando en cuenta los METODOS NORMALIZADOS PARA EL ANALISIS DE AGUAS POTABLES Y RESIDUALES APHA-AWWA-WPCF 18 edición

Lima-03 de Marzo del 2011
ING. VALERY MARTINO CARDO
 JEFE (e) LABORATORIO N° 20

La muestra se tomó por el sistema

8.3 ANALISIS GRANULOMETRICO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Civil

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos y Pavimentos

Av. Tupac Amaru N° 210 - Lima 25 - Perú - Teléfonos 381-3842 - Central telefónica 461-1070 - Anexo 309

INFORME N° S12 - 092-1

SOLICITANTE : RAFAEL MARCOS INFANTE FLORES / DANIEL PEÑA ORDOÑA
 PROYECTO : EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL EN FUNCIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DE GRAVA EN EL MEDIO FILTRANTE
 UBICACIÓN : CITRAR
 FECHA : 31 DE ENERO, 2012

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Director :
 Muestra : HUMEDAL "A"
 Prof. (m.) :

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

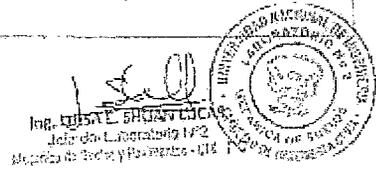
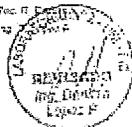
Tamiz	Abertura (mm)	Pasa	(% Acumulado)	
			Reteni	Pasa
3"	76.200	-	-	-
2"	50.800	-	-	-
1 1/2"	38.100	-	-	100.0
1"	25.400	11.0	11.0	89.0
3/4"	19.050	81.4	72.4	27.6
1/2"	12.500	26.3	88.7	1.3
3/8"	9.525	0.0	88.8	1.2
1/4"	6.350	0.2	90.7	0.3
Nº4	4.750	0.1	99.9	0.1
Nº10	2.000	-	99.9	0.1
Nº20	0.840	-	99.9	0.1
Nº30	0.600	-	99.9	0.1
Nº40	0.425	-	99.9	0.1
Nº50	0.295	-	99.9	0.1
Nº100	0.149	-	99.9	0.1
Nº200	0.074	-	99.9	0.1
Nº300	-	0.1	-	-

% Grava	99.9
% Arena	-
% Fines	0.1



Nota: Muestra recibida e identificada por el Solicitante

Atestado
 Muestra



Análisis Granulométrico - Humedal A



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Civil
Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos y Pavimentos

No. Tupac Amaru N° 210 - Lima 25 - Perú. Telefax 561-3842 Central Telefónica 481-1070 Anexo 308

INFORME N° S12 - 092-2

SOLICITANTE : RAFAEL MARCOS INFANTE FLORES / DANIEL PEÑA DROCAJA
 PROYECTO : EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL EN FUNCIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DE GRAVA EN EL MEDIO FILTRANTE
 UBICACIÓN : CITRAR
 FECHA : 31 DE ENERO, 2012

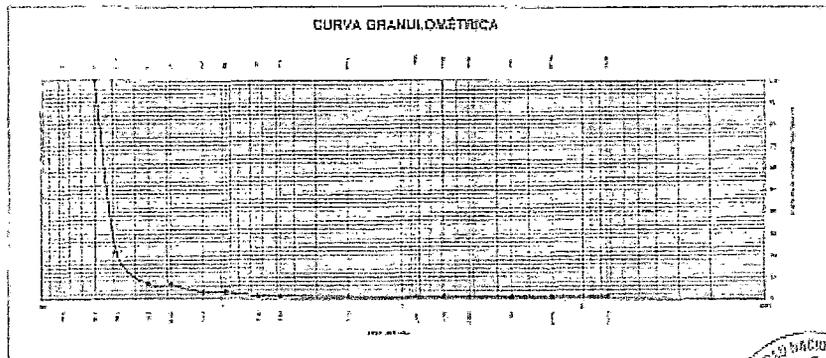
REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Catsoi : -
 Muestra : HUMEDAL "B"
 Prof. (m) : -

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

Tamiz	Abertura (mm)	Porcentaje Retenido	(%) Acumulado	Passa
3"	76.200	-	-	-
2"	50.800	-	-	100.0
1 1/2"	38.100	78.8	78.8	91.1
1"	25.400	14.3	63.7	8.8
3/4"	19.050	0.8	63.8	8.2
1/2"	12.700	3.1	66.9	3.1
3/8"	9.525	-	66.9	3.1
1/4"	6.350	1.7	68.6	4.8
Nº4	4.750	0.3	68.9	1.1
Nº10	2.000	0.1	69.0	1.1
Nº20	0.840	-	69.5	1.1
Nº30	0.590	-	69.9	1.1
Nº40	0.420	-	69.5	1.1
Nº60	0.250	-	69.9	1.1
Nº100	0.149	-	69.9	1.1
Nº200	0.074	-	69.9	1.1
- Nº200		1.1		

% grava	99.88
% arena	0.07
% finos	0.07



Nota: Muestra recibida y clasificada por el Sistema.

Construye
 Analiza



Ing. LUISA E. SHIMAN LUCAS
 Jefa del Laboratorio N° 2
 Mecánica de Suelos y Pavimentos - IIAJ - TIC
 Perú - Teléfono 561-3842



Análisis Granulométrico - Humedal B



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Civil

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos y Pavimentos

Av. Topac Amazo N° 210 - Lima 25 - Perú. Teléfono: 381-3842 Central Telefónica: 481-1870 Anexo 308

INFORME N° 812 - 092.2

SOLICITANTE : RAFAEL MARCOS INFANTE FLORES / DANIEL PEÑA OROCAJA
 PROYECTO : EVALUACION DE LA EFICIENCIA DE REMOCION DE UN LIQUIDO ARTIFICIAL
 EN FUNCION DE LA GRANULOMETRIA DE GRAVA EN EL MEDIO FILTRANTE*
 UBICACION : CITRAR
 FECHA : 31 DE ENERO, 2012

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Categoría : -
 Muestra : HUMEDAL C
 Tipo : -

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

Tamiz	Abertura (mm)	(%) Retenido	(%) Acumulado	Pasa
2"	75.200	-	100.0	-
1 1/2"	38.100	89.5	99.9	10.5
1"	25.400	-	99.7	0.3
3/4"	19.050	1.3	98.0	1.0
1/2"	12.700	0.8	98.8	1.2
3/8"	9.525	0.6	99.3	0.7
1/4"	6.350	0.1	99.4	0.6
Nº4	4.750	0.4	99.2	0.2
Nº10	2.000	0.0	99.8	0.2
Nº20	0.840	-	99.8	0.2
Nº30	0.600	-	99.8	0.2
Nº40	0.425	-	99.8	0.2
Nº60	0.250	-	99.8	0.2
Nº100	0.149	-	99.8	0.2
Nº200	0.074	-	99.8	0.2
- Nº300	-	0.2	-	-

% Grava	00.01
% arena	0.01
% limos	0.2



Nota: A los efectos de este informe se utilizó el siguiente:



Análisis Granulométrico - Humedal C

Coefficientes de Uniformidad y Curvatura**Análisis Granulométrico - Humedal A**

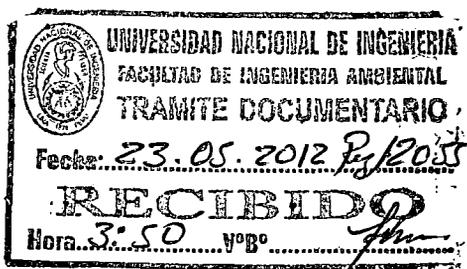
D10	16
D30	19.5
D60	23
Cu	1.44
Cc	1.03

Análisis Granulométrico - Humedal B

D10	30
D30	40
D60	45
Cu	1.50
Cc	1.19

Análisis Granulométrico - Humedal C

D10	50
D30	56
D60	64
Cu	1.28
Cc	0.98



SOLICITO:

**DESIGNACIÓN DE PROFESOR ESPECIALISTA
Y FECHA DE SUSTENTACIÓN**

Señor Decano de la Facultad de Ingeniería Ambiental

Yo, **Daniel Arturo Peña Orocaja** de código UNI N° 19982605F con **Rafael Marcos Infante Flores** de código UNI N° 19982680H, egresados de la especialidad de Ingeniería Sanitaria nos presentamos ante usted con respeto y exponemos lo siguiente:

Que habiendo culminado con la elaboración de nuestra tesis con nombre "EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOSIÓN DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL EN FUNCIÓN DE LA GRANULOMETRIA DE GRAVA EN EL MEDIO FILTRANTE" con la respectiva aprobación de nuestro Ing. Asesor, solicitamos a usted designar profesor especialista y programarnos fecha de sustentación, para lo cual adjuntamos lo siguiente:

- Tres ejemplares anillados de la tesis (un original y dos copias)
- Original de Constancia de egresado por cada uno de los tesistas.
- Original de Certificado de Estudios Depurado por cada uno de los tesistas.
- Copia del Diploma de Bachiller legalizado por el fedatario de la UNI por cada uno de los tesistas.
- Original Hoja de No Adeudos por cada uno de los tesistas.
- Original de los recibos de Pago abonado en Tesorería UNI por derecho de título profesional de cada uno de los tesistas.
- 3 fotografías a color sin anteojos tamaño pasaporte y recientes por cada uno de los tesistas.

Por lo expuesto:

Pido a usted acceder a nuestra solicitud por ser de justicia.

Daniel Arturo Peña Orocaja
Telefono: 993971527
DNI: 40001779
Email: sidharta_daniel@hotmail.com

Rafael Marcos Infante Flores
Telefono: 997820706
DNI: 40703319
Email: rafael_m24@hotmail.com

Lima 23 de Mayo de 2012