

Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente

Programa de Aprovechamiento y Conservación de Contextos
Patrimoniales -1D03
Proyecto de Aplicación Profesional

Construcción de un HUMEDAL para la remediación del Río Ahuisculco, Tala, Jalisco.



ANILLO PRIMAVERA
.ORG / TODO EL AÑO
ES PRIMAVERA

Equipo de intervención:

IC693557 - Héctor Martín Morett Salas
AB692526 - Luis Oscar Flores Nuño
AB692755 - María Susana Vázquez Beas

Profesores PAP:

Sandra Valdés Valdés
Pedro José Alcocer Santos

Tlaquepaque, Jalisco, Verano de 2017

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| RESUMEN..... | 3 |
| INTRODUCCIÓN..... | 4 |
| JUSTIFICACIÓN..... | 5 |
| OBJETIVOS..... | 6 |
| AHUISCULCO | 7 |
| LOS HUMEDALES ARTIFICIALES..... | 8 |
| • FUNCIONES DE LOS HUMEDALES:..... | 9 |
| • MECANISMOS DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES:..... | 9 |
| DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO (DBO) EN EL RÍO | 10 |
| • EL MUESTREO: | 11 |
| • RESULTADOS REPORTADOS:..... | 12 |
| ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA EN HUMEDALES..... | 14 |
| • OBSERVACIONES | 17 |
| DETALLES DEL PRETRATAMIENTO | 17 |
| • ALTERNATIVA 1. FILTRO DE ARENA RÁPIDO..... | 18 |
| • ALTERNATIVA 2. FILTRO DE ARENA DE FLUJO HACIA ARRIBA | 19 |
| • MANTENIMIENTO | 19 |
| ANÁLISIS DEMOGRÁFICO. POBLACIÓN DE DISEÑO..... | 20 |
| • CÁLCULO DEL GASTO MEDIO. | 21 |
| CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DEL HUMEDAL..... | 24 |
| • RESULTADOS DEL CÁLCULO DE DIMENSIONES DEL HUMEDAL..... | 25 |
| PROPUESTAS ARQUITECTÓNICAS..... | 26 |
| LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO..... | 27 |
| RECOMENDACIONES | 28 |
| PRÁCTICAS PARA MANTENER EL HUMEDAL FUNCIONANDO Y EN BUEN ESTADO.. | 28 |
| CONCLUSIONES | 29 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 31 |
| ANEXO 1: MANUAL PARA LA DETERMINACIÓN DE DBO..... | 32 |
| ANEXO 2: IMÁGENES EQUIPO RESPIROMÉTRICO PARA LA DETERMINACIÓN DE DBO | 40 |

ÍNDICE DE IMÁGENES

| | |
|---|----|
| Imagen 1. Manantial Ahuisculco | 4 |
| Imagen 2. Vista de la calle principal de Ahuisculco y zona de estudio | 5 |
| Imagen 3. Levantamiento Topográfico | 6 |
| Imagen 4 Río Ahuisculco | 8 |
| Imagen 5. Muestreo compuesto de las aguas residuales | 12 |
| Imagen 6. Equipo Respirométrico | 13 |
| Imagen 7. Filtro de arena rápido. | 18 |
| Imagen 8. Filtro de arena de flujo hacia arriba. | 19 |
| Imagen 9. Levantamiento topográfico en la glorieta de Ahuisculco. | 23 |
| Imagen 10. Zona de estudio para la construcción del Humedal. | 24 |
| Imagen 11. Propuesta Arquitectónica 1 | 26 |
| Imagen 12. Propuesta Arquitectónica 2. | 26 |
| Imagen 13. Gráfico del levantamiento topográfico. | 27 |

ÍNDICE DE MAPAS

| | |
|---|----|
| Mapa 1. Zona de estudio y ubicación del Humedal | 7 |
| Mapa 2 Zona de estudio y ubicación del Humedal | 11 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Mecanismos de remoción de los humedales según el contaminante | 9 |
| Tabla 2. DBO5 Registros diarios | 13 |
| Tabla 3. DBO5 Total | 14 |
| Tabla 4. Historial de población para la Localidad de Ahuisculco, Jal. | 20 |
| Tabla 5. Población de Estudio. | 20 |
| Tabla 6. Población de Diseño Proyectada. | 21 |
| Tabla 7. Clasificación de Climas por su Temperatura. | 21 |
| Tabla 8. Consumos Domésticos Percápita. | 21 |
| Tabla 9. Ubicación de los puntos de Muestreo. | 22 |
| Tabla 10. temperatura Promedio Mensual | 22 |
| Tabla 11. Cálculo del Gasto Medio. | 23 |
| Tabla 12. cálculo de superficie del Humedal. | 24 |
| Tabla 13. Dimensiones según las proporciones: 2:1 y 4:1 | 25 |

RESUMEN

En el Proyecto de la construcción de un humedal para la remediación del Río Ahuisculco, se presentan propuestas arquitectónicas para el desarrollo de un humedal en base a las dimensiones obtenidas gracias al estudio y análisis de la población de diseño, previendo que el humedal estará en funcionamiento durante al menos 20 años. Se presentan los resultados de la determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno y a partir de esto, se obtuvo la capacidad de carga de materia orgánica que podrá soportar el humedal sin presentar afectaciones al propio sistema, se proponen medidas de mantenimiento, y sistemas de tratamiento primario para tratar el agua residual directamente antes de ingresarla al sistema de macrófitas.

INTRODUCCIÓN

Se presentan en el siguiente reporte los resultados obtenidos a partir del seguimiento del estudio de la calidad y remediación del agua del río Ahuisculco, por medio de la instalación de humedales artificiales en puntos estratégicos a lo largo de la sección del río que interactúa con el poblado.

En este periodo se trabajó específicamente en la zona donde se encuentra el cruce principal del pueblo, conocida como “Zona 4” dentro del mapa de planeación, la cual cuenta con dos descargas de aguas residuales directas, sumando la acumulación de 5 descargas más ubicadas aguas arriba. El trabajo de investigación y de campo se realiza tomando siempre en cuenta las opiniones y sugerencias de los habitantes del pueblo.

En este periodo, el proyecto consistió en realizar el levantamiento topográfico, el análisis demográfico para la población de diseño, se realizó a su vez la estimación de la capacidad de carga del humedal, el muestreo de las descargas en cuestión, la determinación de DBO y un manual de operación para la determinación de DBO.

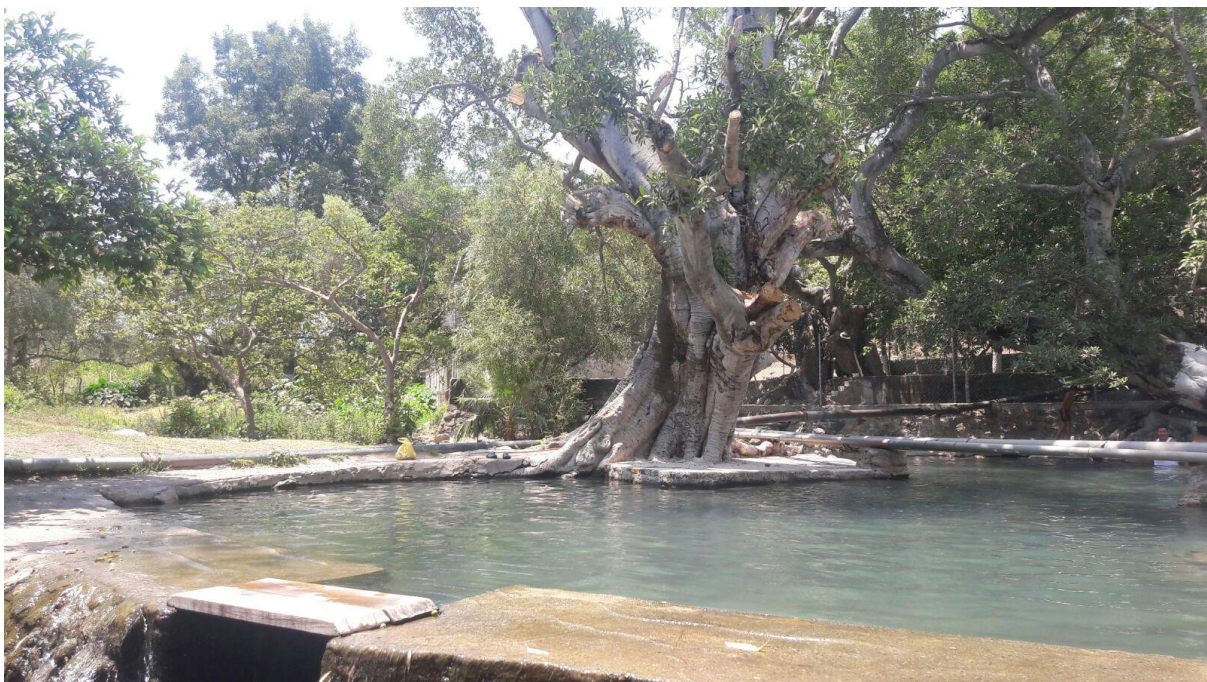


Imagen 1. Manantial Ahuisculco

JUSTIFICACIÓN.

La importancia en la elaboración de este proyecto recae, además de la protección de la biota presente en el río, en la conservación del principal corredor biológico para el bosque de La Primavera. El río Ahuisculco juega un papel vital en el corredor, además de tener una interacción directa con los habitantes de la localidad de Ahuisculco, por lo que su protección y mantenimiento adecuados son indispensables para su conservación.

Actualmente el afluente se encuentra contaminado por desechos de aguas residuales domésticas, así como por la presencia de residuos sólidos y líquidos arrojados de forma directa o indirecta al río. El actual proyecto pretende tratar el agua proveniente de las descargas domésticas como primer paso para que el río regrese a su estado natural. Esto será posible gracias al trabajo en conjunto con la fundación Selva Negra, así como la participación e interés del Ejido de Ahuisculco y sus habitantes.



Imagen 2. Vista de la calle principal de Ahuisculco y zona de estudio

OBJETIVOS

- Realizar el levantamiento topográfico en la zona 4, elegida estratégicamente por ser el lugar más concurrido y céntrico de la localidad. Además, aquí se encuentran ubicadas dos descargas de aguas residuales, las cuales reducen la calidad de agua del río.
- Determinar que parámetros se pueden estudiar de forma sencilla para determinar la calidad del agua.
- Realizar el muestreo y el análisis de calidad del agua de las descargas directas al río.
- Proponer infraestructura de acuerdo con la estimación de la capacidad de carga del humedal.
- Realizar un manual para la realización del estudio de la calidad del agua.



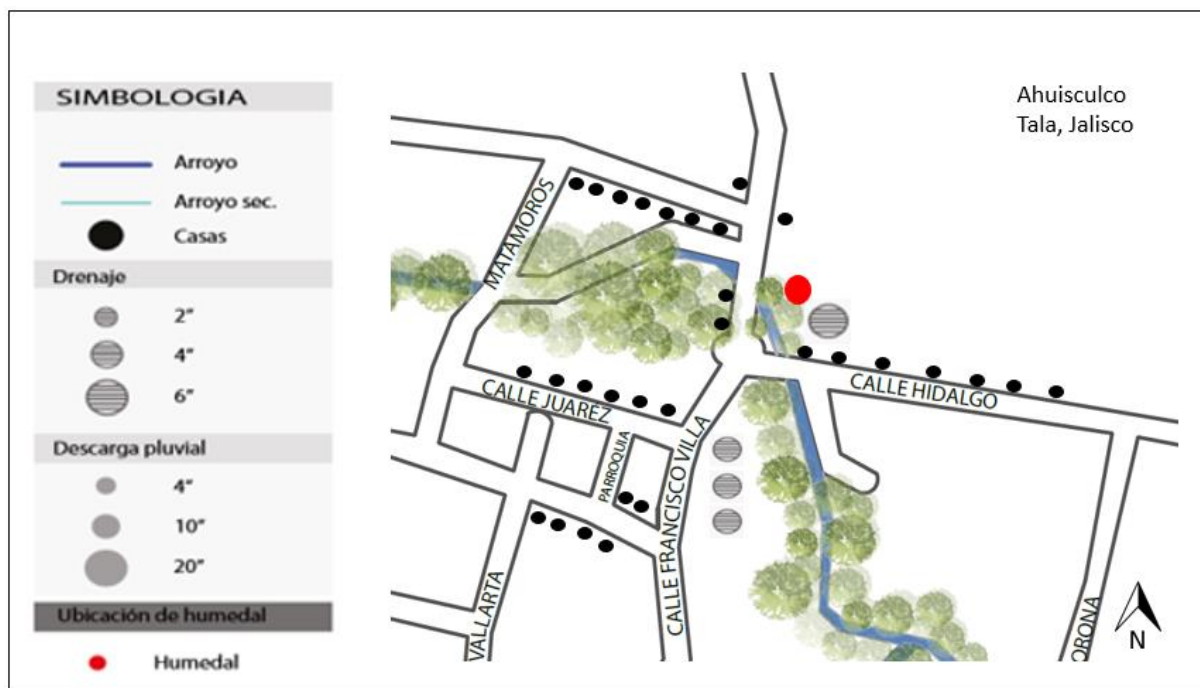
Imagen 3. Levantamiento Topográfico

AHUISCULCO

Ahuiscalco es una localidad ubicada en el municipio de Tala, Jalisco. Al suroeste del Bosque de la Primavera, poblado perteneciente a la microcuenca “Ahuiscalco”, cuenta con aproximadamente 587 viviendas y se desarrolla a lo largo del río de nombre homónimo.

La microcuenca de Ahuiscalco posee uno de los corredores biológicos mejor conservados del Bosque de la Primavera, los cuales, son los encargados de conectar la flora y fauna del bosque con diferentes zonas naturales. Gracias a la ubicación del río Ahuiscalco, en Tala se encuentra ubicado uno de los principales corredores biológicos del bosque de La Primavera, el cual conecta con el cerro del Tepopote, el volcán de Tequila, Cerro de Ahuiscalco y Cerro Viejo.

Tomando en cuenta los estudios realizados en el periodo de otoño 2016, en la zona propuesta para la instalación del humedal se encuentran tres descargas de agua residual. Las cuales, al momento de realizar la salida de campo se encontraban completamente secas por lo que se decidió mover la propuesta a las siguientes descargas, tal y como se muestra en el mapa 1. Se eligió la zona 4 para realizar el humedal de prueba por ser el cruce principal del pueblo y por contar con un nivel visible de contaminación.



Mapa 1. Zona de estudio y ubicación del Humedal



Imagen 4 Río Ahuisculco

LOS HUMEDALES ARTIFICIALES

A los sistemas de fitorremediación de aguas residuales se les conoce como humedales. Estos consisten en la plantación de plantas macrófitas sobre un sustrato arenoso, impermeabilizado en el fondo para evitar la infiltración del agua a tratar en la tierra. La depuración del agua es posible gracias a las interacciones físicas, químicas y biológicas que producen las macrófitas, eliminando los contaminantes mediante la sedimentación, degradación microbiana, absorción, reacciones químicas y volatilización.

El funcionamiento de los humedales artificiales se fundamenta en tres principios básicos: (Delgadillo et al, 2010)

- La actividad bioquímica de microorganismos
- El aporte de oxígeno a través de los vegetales durante el día
- El apoyo físico de un lecho inerte

FUNCIONES DE LOS HUMEDALES:

Estos sistemas son atractivos para el tratamiento de aguas residuales debido a que los contaminantes son fijados en la superficie del suelo, mientras que la materia orgánica es transformada gracias a la acción de los microorganismos, logrando un tratamiento progresivo manteniendo un bajo consumo de energía y poco mantenimiento.

MECANISMOS DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES:

Los sistemas de tratamiento basados en macrófitas desarrollan mecanismos de depuración según los contaminantes que se encuentren en el agua. Algunos de los principales procesos que ocurren en los humedales artificiales se encuentran descritos en la siguiente tabla:

Tabla 1. Mecanismos de remoción de los humedales según el contaminante

| Parámetro evaluado | Mecanismos de remoción |
|----------------------------|---|
| Sólidos suspendidos | Sedimentación/filtración |
| DBO | Degradación microbiana (aeróbica y anaeróbica) |
| | Sedimentación (Acumulación de materia orgánica/lodo en la superficie del sedimento) |
| Nitrógeno Amoniacal | Amonificación seguida por nitrificación y desnitrificación amoniacal |
| Patógenos | Sedimentación/filtración |
| | Declinación |
| | Radiación ultravioleta |
| | Excreción de antibióticos por las raíces de las macrófitas |

Fuente: Delgadillo et al. 2010

En este periodo se trabajará específicamente con la remoción de la materia orgánica. La remoción de materia orgánica se lleva a cabo mediante la biodegradación aeróbica o anaeróbica, la cual es realizada por los microorganismos. La sedimentación y la filtración son procesos físicos claves para la reducción del DBO.

DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO (DBO) EN EL RÍO

La demanda bioquímica de oxígeno es un parámetro que representa la cantidad de oxígeno necesaria para la degradación biológica, principalmente por bacterias, de la materia orgánica que contiene la muestra de las descargas y se expresa en mgO₂/L. Este parámetro se utiliza para obtener una aproximación de qué tan contaminada se encuentra la muestra ya que existe una relación entre la DBO y la materia orgánica presente en la muestra bajo ciertas condiciones, entre más alto sea el valor de DBO mayor será la cantidad de materia orgánica dentro de la muestra.

Se utilizó el método respirométrico para la determinación de DBO en la muestra. El método respirométrico para la determinación de la DBO₅ se basa en la medición del consumo de oxígeno, o la producción de CO₂, en una botella respirométrica. Este objetivo se logra midiendo la variación de la presión en la botella mediante un manómetro sensible. En el método clásico se calcula la diferencia entre el oxígeno disuelto en la muestra inicial y final (al final del periodo de 5 días). Es por esto que es importante mantener la muestra a 20 °C ya que una variación en la temperatura representa una variación en la presión lo cual afectaría las lecturas registradas por el medidor de DBO.

El subíndice de DBO₅ se debe a que se mide esta demanda al final de un periodo de 5 días ya que después de este periodo comienza un proceso llamado nitrificación, el cual ocurre de forma natural. La nitrificación es la oxidación biológica de nitratos y nitritos el cual aporta el nitrógeno a los suelos, elemental para su desarrollo, este proceso se lleva a cabo por bacterias del género *nitrosomas* y *nitrobacter*. La nitrificación requiere de oxígeno para funcionar por lo que las lecturas de DBO después de 5 días no se deben solo a la degradación de la materia orgánica y es por esto que como convención se mide el DBO₅.

EL MUESTREO:

Para obtener las muestras se realizó lo que se conoce como un muestreo compuesto, utilizando un bote de polipropileno de boca ancha limpio, se tomaron una serie de muestras en un periodo de 3 horas esto con el fin de obtener una muestra representativa de las descargas. El muestreo se llevó a cabo en las descargas de agua residual anterior al humedal propuesto en este periodo.



Mapa 2 Zona de estudio y ubicación del Humedal

Se utilizaron cubrebocas y guantes de látex, se colocó el bote abierto directamente en la descarga para tomar una cantidad pequeña de muestra, dejando espacio para las siguientes muestras, el bote se almacenó en un lugar frío (en este caso, una hielera con hielos). El proceso se llevó a cabo cada hora durante 4 horas.

La muestra fue almacenada en un refrigerador a -4°C y antes del transcurso de 24 hrs. se llevó a cabo el procedimiento para determinar DBO en la muestra.

RESULTADOS REPORTADOS:

La metodología para esta prueba consistió en la preparación de 5 disoluciones y un blanco. Se establecieron distintos factores de dilución aleatorios con el fin de obtener resultados confiables.

| MUESTRA (ml) | VOLUMEN TOTAL (ml) | VOLUMEN DE AGUA (ml) | MARCA |
|--------------|--------------------|----------------------|-------|
| 4 | 400 | 396 | 1 |
| 40 | 400 | 360 | 2 |
| 62.5 | 250 | 187.5 | 3 |
| 75 | 150 | 75 | 4 |
| 100 | 100 | 0 | 5 |
| BLANCO | --- | --- | B |

Tabla 1.



Imagen 5. Muestreo compuesto de las aguas residuales



Imagen 6. Equipo Respirométrico

Después de recopilar la información del equipo respirométrico durante 5 días, se obtuvieron las siguientes lecturas:

Tabla 2. DBO5 Registros diarios

| DBO5 | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------|
| MARCA | Día 1 | Día 2 | Día 3 | Día 4 | Día 5 | Factor de dilución |
| 1 | 837 | --- | --- | --- | --- | 0.02 |
| 2 | 47.1 | 68.5 | 83.3 | --- | --- | 0.1 |
| 3 | 95 | 139 | 171 | 187 | 190 | 0.25 |
| 4 | 177 | 177 | 177 | 177 | 164 | 0.5 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| B | 58 | 71.2 | 70.6 | 71.2 | 69.6 | |

Para obtener el valor de DBO real se sigue la siguiente fórmula:

$$DBO\ real = (DBO\ obtenido - DBO\ blanco) * factor\ de\ dilucion$$

Donde:

DBO real= DBO experimental y resultado a reportar

DBO obtenido= DBO que aparece en el medidor de cada muestra en el quinto día

DBO blanco= DBO obtenido en el agua para dilución en el quinto día

Tabla 3. DBO5 Total

| DBOs total | | | |
|------------|-------|--------------------|------------------|
| Marca | Día 5 | Factor de dilución | DBO total (ml/L) |
| 1 | --- | 100 | --- |
| 2 | --- | 10 | --- |
| 3 | 190 | 4 | 481.6 |
| 4 | 164 | 2 | 188.8 |
| 5 | 0 | 1 | -69.6 |
| B | 69.6 | --- | --- |

La Demanda Bioquímica de Oxígeno en las descargas de Ahuiscalco es de **481.6 mg de oxígeno/L.**

De acuerdo con la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEMARNAT-1996, QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAS Y BIENES NACIONALES, el Promedio Diario del límite máximo permisible de Demanda Bioquímica de Oxígeno para la protección de la vida acuática es de 60 ml/L. Mientras que para la descarga en humedales naturales se permite un límite de 150 ml/L, lo que significa que es necesario un pretratamiento para comenzar a tratar el agua dentro del humedal.

ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA EN HUMEDALES

Se conoce como capacidad de carga a la estimación de la cantidad de contaminante que puede soportar el entorno sin presentar efectos negativos

Se presenta una lista de los factores que determinan las propiedades características de los humedales.

1. **Hidrología:** Es el principal factor que define el humedal, el tipo de vegetación y la productividad.
2. **Morfología:** Características topográficas y batimétricas
3. **Carga:** Aportación de Sólidos, DBO5, entre otros
4. **Temperatura:** Ya que interviene en todas las funciones que tienen lugar en el sistema

Trabajando en conjunto con estos factores se obtendrán las propiedades que definirán al humedal.

PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO PARA CONOCER LA CAPACIDAD DE CARGA DE UN HUMEDAL

Para obtener la capacidad de carga (C_c) de un humedal primero es necesario:

- Delimitar la superficie que ocupará el humedal
- Aforar los afluentes que aportan agua al humedal
- Estimar el Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)

$$TRH = \frac{A(y)}{Q}$$

Donde:

TRH = Tiempo de Retención Hidráulica en días

A = Área unitaria (m^2)

Q = Gasto en m^3/s (de preferencia es el gasto ecológico)

y = tirante en (m)

- Cálculos para realizar la medición de la sección transversal

En caso de encontrarse con un río en forma de "V" se utiliza la siguiente fórmula:

$$A = d \left(\sum h_i \right)$$

Donde:

A = área de la sección (m^2)

d = ancho de cada porción (m)

$\sum h_i$ = suma de las alturas intermedias (m)

- Cálculo de la capacidad de carga

Se tiene que:

$$\frac{C_e}{C_o} = e^{-Kr(t)}$$

Donde:

C_e = Concentración de equilibrio en el efluente = C_p = Concentración máxima permisible en el cuerpo de agua.

C_o = Concentración inicial del contaminante = C_c = capacidad de carga

y para obtener la capacidad de carga:

$$C_c = \frac{C_p}{e^{-Kt(THR)}}$$

Donde:

C_c = Capacidad de carga en mg/l, correspondiendo a la concentración permisible en la descarga

C_p = Concentración permisible de un contaminante en el humedal

Kt = Constante de decaimiento del contaminante

$$K_r = k_{20}(1.06)^{T-20}$$

$$Kt = 0.678(1.06)^{(T-20)}$$

$$Kt = 0.718 d^{-1}$$

El Tiempo de Retención Hidráulico para el área de interés es de 0.77 días. Este se obtuvo en estudios previos durante el Proyecto de Aplicación profesional en otoño de 2016.

Partiendo de un Límite máximo permisible de DBO en el humedal artificial de 225 $\text{mg O}_2/\text{L}$. Se elige este límite aportando un amortiguamiento del 150% con respecto al límite máximo permisible establecido en la Norma-002-SEMARNAT-1996 para descargas de aguas residuales en humedales naturales.

$$C_c = \frac{225 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{e^{-0.678(0.77)}}$$

$$379 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ DBO total}$$

Se tiene una capacidad de carga de 379 mg/L de DBO total para el humedal en cuestión. De acuerdo al estudio, realizado en este periodo de la determinación de DBO en las descargas analizadas; se cuenta con una concentración de 481 mg/L , aproximadamente 127% la capacidad de carga descrita anteriormente. Este hecho significa la necesidad de una dilución con el agua encontrada en el cauce del río para lograr el equilibrio y no sobrecargar el ecosistema. Esta dilución dependerá de la cantidad de la demanda bioquímica de oxígeno en la descarga directa con el límite máximo permisible establecido para el humedal. Aproximadamente una dilución del 200%

OBSERVACIONES

El límite máximo permisible de la Demanda Bioquímica de Oxígeno para las descargas de aguas residuales en humedales naturales es de 150 mg/L, el límite máximo que se aceptará en el humedal artificial será 50% más del establecido por la norma oficial mexicana, o sea 225 mg/L. Del humedal debe salir aproximadamente 60 mg/L de DBO para permitir la protección de la vida acuática dentro del Río Ahuisculco.

Para la realización de esta dilución se debe tomar en cuenta el gasto ecológico, el cual hace referencia al caudal mínimo y necesario en los cuerpos de agua receptores que se debe mantener para asegurar el equilibrio ecológico y proteger las condiciones ambientales. Para esto: “Se sugiere que sea un 10% del caudal promedio en el mes i, por lo tanto, el caudal anual será el promedio de la suma del gasto ecológico de cada mes” (Ollervides, 2008).

DETALLES DEL PRETRATAMIENTO

Debido a la naturaleza del agua, es necesario la implementación de una planta de tratamiento primario. El pretratamiento consiste en la limpieza física del agua, debe contar con una cisterna de almacenamiento y sedimentación, así como filtración. “El almacenamiento ayudará a sedimentar los sólidos en suspensión y, al hacerlo en la oscuridad de un tanque cerrado, contribuye a mejorar la calidad del agua desde el punto de vista del control bacteriológico” (Fraenkel, 2006). El papel que juega la filtración en el tratamiento primario es el de eliminar patógenos del agua, así como remover materia suspendida y químicos disueltos.

ALTERNATIVA 1. FILTRO DE ARENA RÁPIDO

Existen dos tipos principales de filtros usados para la limpieza del agua, filtros de arena y filtros de grava. Es necesario sedimentar los sólidos antes de comenzar el proceso de filtración para evitar el bloqueo prematuro del medio filtrante.

Debido a que el agua que se limpiará será para regresar al cauce del río Ahuisculco, el sistema de filtración que mejor se adapta es el conocido como filtro de arena rápido.

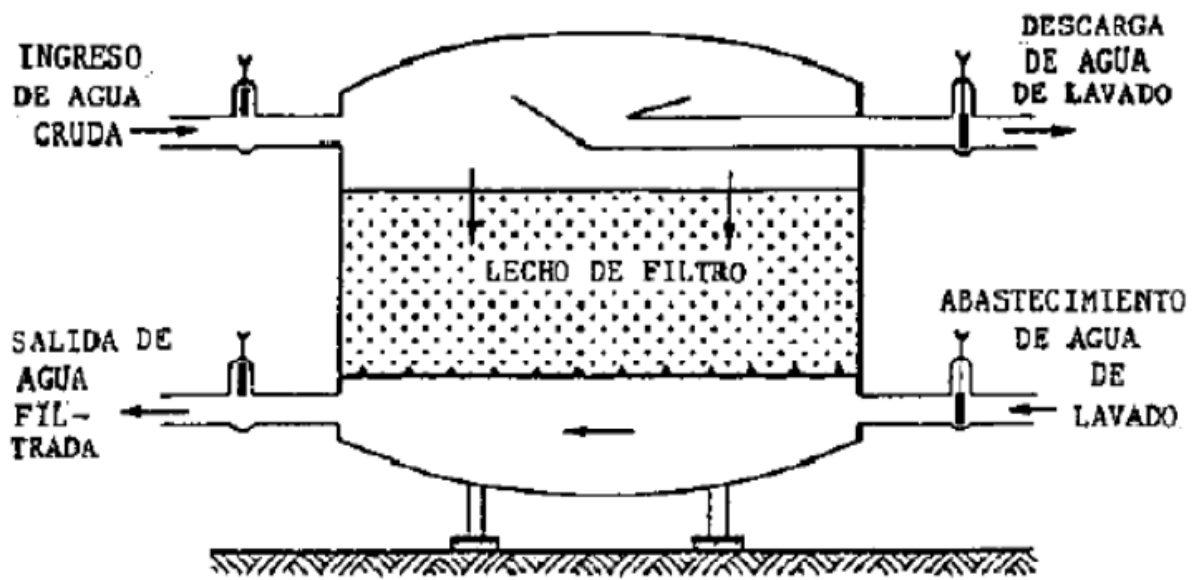


Imagen 7. Filtro de arena rápido.

Fuente: Universidad Politécnica de Cartagena, 2012

Los filtros de arena rápidos cuentan con una cama de arena de 0.5 a 1mm con un metro de profundidad, más una capa de grava de 30 cm de profundidad. La manera de operar de estos filtros es completamente mecánica. Los filtros de arena rápida necesitan limpieza frecuente, la cual se puede realizar enjuagando y agitando la cama de arena con agua limpia.

ALTERNATIVA 2. FILTRO DE ARENA DE FLUJO HACIA ARRIBA

Una variante más de estos filtros son los filtros de arena de flujo hacia arriba, estos son de menor escala y es posible instalarlos utilizando un barril de 200 litros. El agua se introduce bajo presión en la base del filtro, donde se encuentra la cama de grava, para ser empujada por el lecho de 250 a 300 mm de arena. La manera de operar de este filtro es principalmente mecánica, logrando la limpieza de microorganismos. Para evitar el levantamiento de arena dentro del filtro, la tasa de flujo debe ser restringida, este filtro alcanza una tasa de 100 a 1500 l/h/m², dependiendo de la calidad del agua.

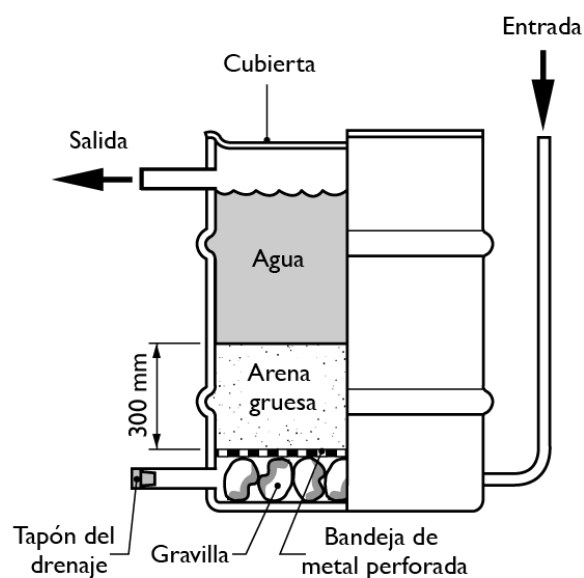


Imagen 8. Filtro de arena de flujo hacia arriba.

Fuente: Maocho, 2013

MANTENIMIENTO

El filtro de arena de flujo hacia arriba precisa de una limpieza periódica, su limpieza es muy sencilla y consiste en cerrar la entrada, se retira el tapón de drenaje drenando así el agua y la mugre que contiene el barril.

ANÁLISIS DEMOGRÁFICO. POBLACIÓN DE DISEÑO.

Se consultó en la base de datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) los datos de los censos poblacionales correspondientes a la localidad de Ahuisculco, Jal. Los resultados encontrados fueron los siguientes:

Tabla 4. Historial de población para la Localidad de Ahuisculco, Jal.

| Historial de Población para la Localidad de Ahuisculco, Jal. | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Año | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 |
| Habitantes | 2,208 | 2,315 | 2,287 | 2,338 |

Fuente: INEGI

El número de habitantes obtenido de la base de datos del INEGI corresponde a la totalidad de la localidad. Para el diseño del humedal, se calculó el número de habitantes de manera proporcional a la cantidad de viviendas que abastecen a la descarga de aguas residuales ubicada en nuestra área de trabajo. De acuerdo a los levantamientos realizados por integrantes del proyecto en semestres anteriores, 65 viviendas abastecen a la descarga ubicada en la zona de trabajo y se estimó un promedio de 4.0 habitantes por vivienda de acuerdo a estadísticas de INEGI. De dicho cálculo se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 5. Población de Estudio.

| Población de Estudio | | |
|-----------------------------|------------|-------------------|
| Zona Estudio | 65 | Viviendas |
| Densidad | 4 | Hab/Viv |
| Población | 260 | Habitantes |

Con estos datos, se procedió a calcular la población de diseño mediante la tasa de crecimiento poblacional. El tiempo de vida útil del humedal está proyectado mínimo a 20 años, por lo tanto, la población de diseño fue proyectada para el año 2040 mediante el siguiente modelo matemático:

$$P(t) = C \cdot e^{Kp \cdot t}$$

$$Kp = \ln\left(\frac{P_0}{P_1}\right)$$

Donde:

P(t) = Población (Habitantes)

C = Población Inicial (Habitantes)

Kp = Constante de Población

t = Tiempo (Lustros)

De dicho cálculo se obtuvieron los resultados mostrados en la siguiente tabla. Concluyendo que la población de diseño para el humedal será de 290 habitantes.

Tabla 6. Población de Diseño Proyectada.

| Población de Diseño Proyectada | | | | |
|--------------------------------|------|------|------|------|
| Año | 2015 | 2020 | 2030 | 2040 |
| Habitantes | 260 | 266 | 278 | 290 |

CÁLCULO DEL GASTO MEDIO.

Se entiende como dotación de agua potable, a la cantidad de agua necesaria para satisfacer la demanda de la población en un día medio anual. El Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), mencionó que la dotación de agua potable depende principalmente del clima de la localidad y la clase socioeconómica de los usuarios. Sus dotaciones se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 7. Clasificación de Climas por su Temperatura.

| Clasificación de Climas por su Temperatura | |
|--|---------------|
| Temperatura Media Anual (°C) | Tipo de Clima |
| Mayor a 22 | Cálido |
| de 18 a 22 | Semicálido |
| de 12 a 17.9 | Templado |
| de 5 a 11.9 | Semifrío |
| Menor a 5 | Frío |

Fuente: CONAGUA

Tabla 8. Consumos Domésticos Percápita.

| Consumos Domésticos Percápita | | | |
|-------------------------------|--|-------|---------|
| Tipo de Clima | Consumo por Clase Socioeconómica (lts/hab/día) | | |
| | Residencial | Media | Popular |
| Cálido | 400 | 230 | 185 |
| Semicálido | 300 | 205 | 130 |
| Templado | 250 | 195 | 100 |

Nota: Para los casos de climas semifrío y frío, se consideran los mismos valores que para el clima templado.

Fuente: CONAGUA

La organización Selva Negra A.C. nos proporcionó información de su base de datos en donde tienen ubicados diferentes puntos de muestreo a lo largo de la localidad de manera estratégica. La descripción de los puntos de muestreo y la temperatura media para cada mes del año se observan en las siguientes tablas.

Tabla 9. Ubicación de los puntos de Muestreo.

| Ubicación de los Puntos de Muestreo | | | | |
|--|--------------------------------|-----------------|---------|---------------|
| Punto de Muestreo | Descripción | Coordenadas UTM | | Altura (msnm) |
| | | X | Y | |
| 1 | Alberca en el Ojo de Agua | 635611 | 2273957 | 1378 |
| 2 | Inicio del Poblado | 635317 | 2274529 | 1355 |
| 3 | Puente dentro del Poblado | 635443 | 2274901 | 1344 |
| 4 | Puente a la Salida del Poblado | 634020 | 2275501 | 1344 |

Fuente: SELVA NEGRA A.C.

Tabla 10. temperatura Promedio Mensual

| Temperatura Promedio Mensual | | | | |
|-------------------------------------|--------|------------|---------|-----------|
| Punto de Muestreo | Mes | | | |
| | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre |
| 1 | 27.0 | 26.0 | 26.5 | 27.0 |
| 2 | 25.1 | 25.0 | 25.5 | 24.0 |
| 3 | 23.0 | 23.0 | 23.0 | 21.0 |
| 4 | 24.0 | 24.0 | 24.0 | 21.0 |

Fuente: SELVA NEGRA A.C.

Nuestra zona de trabajo corresponde al punto de muestreo 3 con descripción “Puente dentro del Poblado”. Al observar los resultados para este punto, se llegó a la conclusión que la temperatura media anual de la localidad es de 23°C, la cual corresponde a un clima cálido de acuerdo al Sistema de Clasificación Climática de Köpen propuesto en el MAPAS.

En forma paralela, se consideró a la localidad de Ahuisculco como un poblado de clase socioeconómica de nivel popular, y por lo tanto, le corresponde una dotación de agua potable de 185 litros por habitante por día, de acuerdo a los consumos domésticos per cápita propuestos por la CONAGUA en el MAPAS.

La población de diseño y la dotación de agua potable son datos importantes para estimar el gasto medio en los tubos de descarga de aguas residuales de nuestra zona de trabajo, es decir, el volumen de agua desalojado medido en unidad de tiempo. Para ello se empleó la siguiente ecuación:

$$Q_{MEDI0} = \frac{Ap \cdot P}{86400}$$

Donde:

Q_{MEDI0} = Gasto medio (lts/s)

Ap = Aportación de aguas residuales = 80% dotación de agua potable (lts/hab/día)

P = Población de Diseño (hab)

86400 = Número de segundos que tiene el día

Tabla 11. Cálculo del Gasto Medio.

| Cálculo del Gasto Medio | | |
|-------------------------|------|-------------|
| Dotación | 185 | lts/hab/día |
| Aportación | 148 | lts/hab/día |
| Habitantes | 290 | hab |
| Q_{MEDI0} | 0.50 | lts/seg |

Como resultado de los cálculos se obtuvo que el volumen de agua que en promedio es desalojado de la tubería de aguas residuales ubicada en nuestra zona de trabajo es de 0.50 litros por segundo, y por lo tanto, el humedal deberá de tener la capacidad de almacenar y sanear dicho volumen de agua.



Imagen 9. Levantamiento topográfico en la glorieta de Ahuisculco.

CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DEL HUMEDAL.

Los factores más importantes para determinar la superficie de tendido del humedal fueron el gasto medio en la tubería de las descargas, y el tiempo de retención necesario para lograr la calidad de agua deseada. La fórmula utilizada y los resultados son los siguientes:

$$As = \frac{Q_{MEDIO} \cdot t}{\eta \cdot d_w}$$

Donde:

As = Superficie del Humedal (m²)

Q_{MEDIO} = Gasto medio (lts/s)

t = Tiempo de Retención (días)

η = Porosidad Efectiva del Sustrato (%)

d_w = Profundidad del Sustrato (m)

Tabla 12. cálculo de superficie del Humedal.

| Cálculo de Superficie del Humedal | | |
|--|--------|---------------------|
| Q _{MEDIO} | 42.92 | m ³ /día |
| t | 0.77 | día |
| η | 40 | % |
| d _w | 0.50 | m |
| As | 165.24 | m ² |



Imagen 10. Zona de estudio para la construcción del Humedal.

Para determinar las dimensiones lado por lado del humedal, seguimos la recomendación propuesta en la bibliografía (Yocum, 2011) donde menciona que para una mejor eficiencia del humedal se recomienda dimensionar el humedal en proporciones 2:1 o 4:1. Para ello se utilizó la siguiente relación:

$$w = \sqrt{\frac{As}{R_A}} \qquad l = \frac{As}{w}$$

Donde:

w = Ancho del Humedal (m)

l = Longitud del Humedal (m)

As = Superficie del Humedal (m²)

R_A = Relación Largo-Ancho

RESULTADOS DEL CÁLCULO DE DIMENSIONES DEL HUMEDAL.

Tabla 13. Dimensiones según las proporciones: 2:1 y 4:1

| Dimensiones Proporción 2:1 | | |
|----------------------------|--------------|---------------------------|
| Largo (m) | Ancho (m) | Área (m ²) |
| 18 | 9 | 162 |

| Dimensiones Proporción 4:1 | | |
|----------------------------|--------------|---------------------------|
| Largo (m) | Ancho (m) | Área (m ²) |
| 28 | 7 | 196 |

PROPUESTAS ARQUITECTÓNICAS.

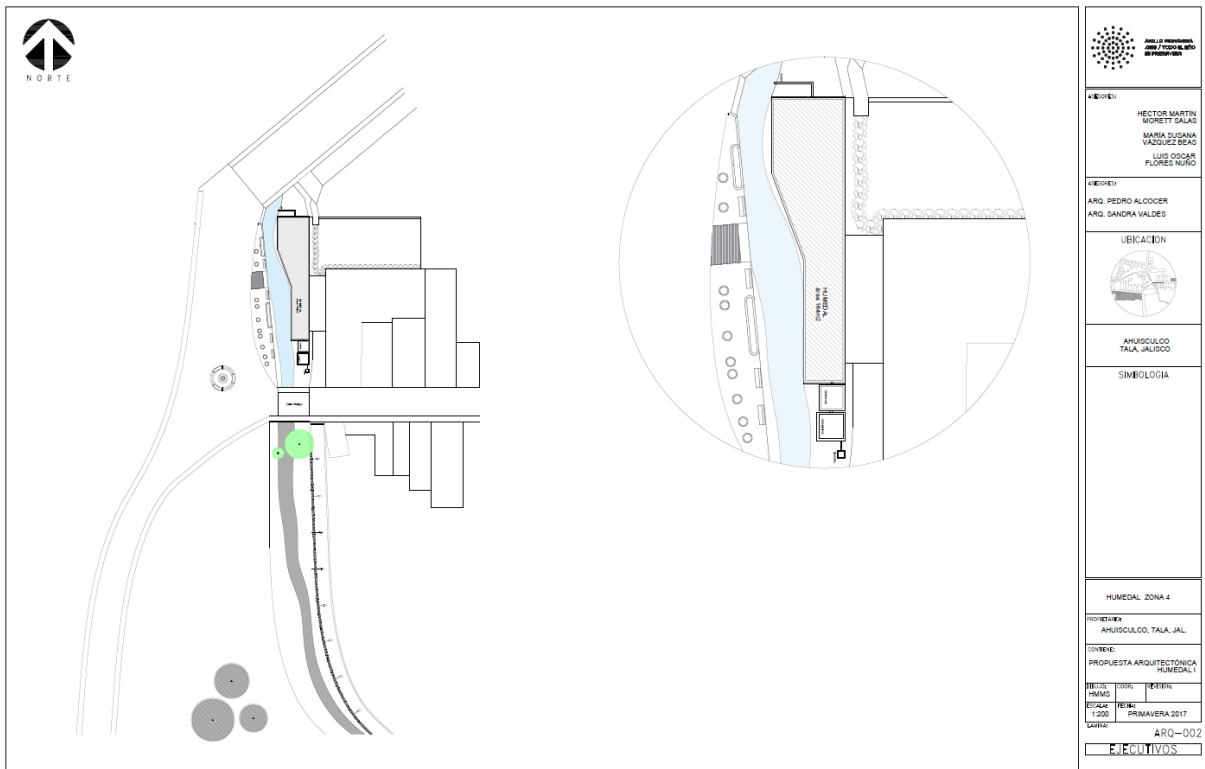


Imagen 11. Propuesta Arquitectónica 1

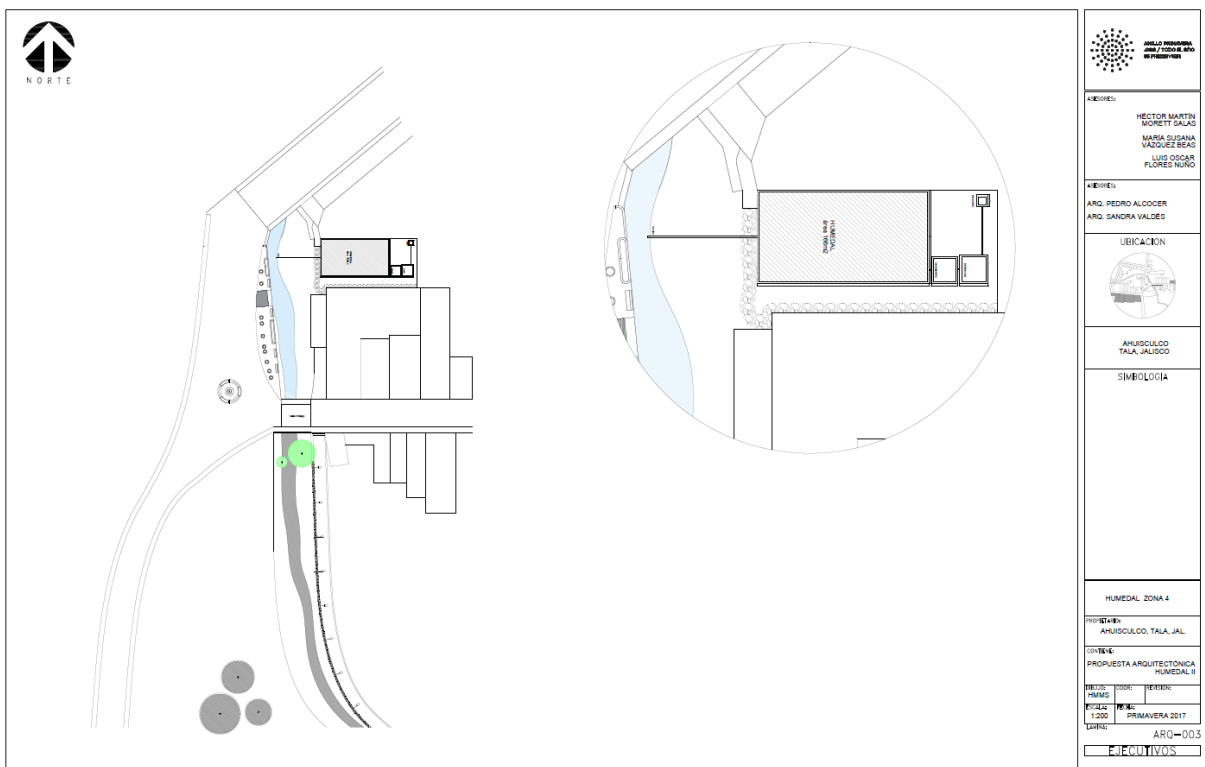


Imagen 12. Propuesta Arquitectónica 2.

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

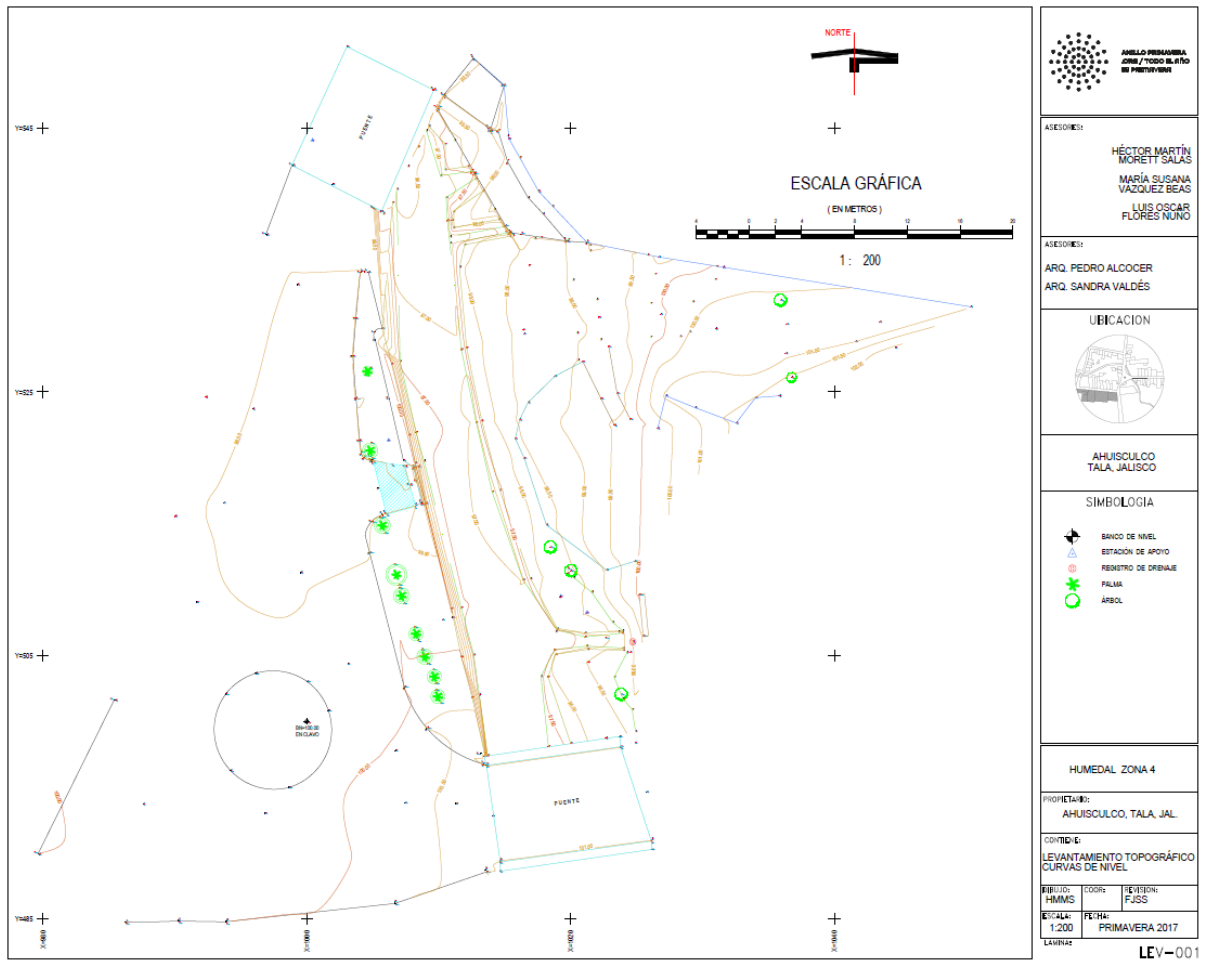


Imagen 13. Gráfico del levantamiento topográfico.

RECOMENDACIONES

PRÁCTICAS PARA MANTENER EL HUMEDAL FUNCIONANDO Y EN BUEN ESTADO.

- Es muy importante para el saneamiento del humedal no superar la capacidad de carga, promover un buen manejo de la cuenca, así como del nacimiento del agua.
- Para el diseño del mismo se recomienda medir el caudal de la descarga específica, ya sea por tirantes o por colección de volumen, para saber que caudal tendrá que manejar el humedal y así corregir las dimensiones de diseño según sea el caso.
- Concientizar a los pobladores que son ellos quienes pueden acelerar o retrasar el proceso de deterioro del humedal. Si se le proporciona el mantenimiento y cuidado apropiado la vida útil del humedal se puede extender por varios años, en caso contrario ocurre lo inverso.
- Durante la etapa de diseño final del sistema se recomienda escribir un plan de operación y mantenimiento el cual se debe de enfocar en:
- Contar con el tiempo de retención suficiente para que exista el contacto necesario entre el agua con la comunidad microbiana, la capa de residuos de vegetación y con el sedimento.
- Asegurar que el flujo alcance toda la extensión del humedal
- Mantener un ambiente saludable para los microorganismos.
- Mantener un crecimiento de vegetación saludable.

Otros aspectos para considerar en el plan:

- Siendo que es un humedal de flujo sub-superficial, se debe de verificar que no exista flujo en la superficie del sistema.
- Inspeccionar diques, vertederos y estructuras de control de flujo de forma periódica y después de cualquier anomalía en el flujo.
- Las estructuras de salida se pueden ver afectadas por subidas importantes de caudal o por la formación de hielo
- Cualquier daño, corrosión u obstrucción se debe de corregir lo más pronto posible para evitar reparaciones más costosas.
- Hay que regular el nivel del agua para no exceder los límites de tolerancia de las plantas usadas en el humedal, estas pueden soportar cambios temporales pero un exceso de nivel de agua por un largo periodo de tiempo puede dañar de forma severa a las plantas
- Se deben de retirar las especies de plantas invasoras sin usar herbicidas.

- Los roedores pueden dañar la estructura del humedal por lo que se recomienda utilizar las medidas necesarias para retirarlos del humedal o bien evitar su desarrollo dentro del humedal
- Para evitar un exceso de mosquitos en el humedal, los cuales son comunes en los humedales, hay que mantener un flujo constante en el humedal.

CONCLUSIONES

Se realizó el manual de la práctica de DBO para evaluar de forma sencilla la efectividad del humedal como tratamiento de aguas residuales. Este análisis se puede llevar a cabo por cualquier usuario con interés en el tema, sin embargo, existen otros parámetros en los que su análisis conlleva cierta dificultad por lo que se recomienda que un ingeniero ambiental o un ingeniero químico lo lleve a cabo ya que estas carreras tienen un mayor grado de experiencia en el laboratorio. Aunque la DBO por sí sola puede servir como marco de referencia para obtener un mejor criterio se recomienda evaluar los siguientes parámetros:

- Caudal: ya sea por colección de volumen o por tirantes. La evaluación de este parámetro sirve para modificar las especificaciones del humedal dependiendo del caudal específico de las descargas en dicho lugar.
- DQO: por refluo cerrado método hach. Junto con DBO este parámetro ayuda a determinar la cantidad de materia orgánica presente en la muestra en cuestión.
- Nitrógeno total Kjeldall: revisar NMX determinación de nutrientes para seleccionar la metodología por la cual se tiene que evaluar. El nitrógeno está relacionado con la acidificación de ríos y lagos además de la eutrofización de las aguas dulces y la toxicidad directa de los compuestos nitrogenados para la biota del río.
- Fósforo: revisar NMX determinación de nutrientes para seleccionar metodología por la cual se tiene que evaluar. Al igual que el nitrógeno este elemento es vital para el desarrollo de la biota sin embargo, una cantidad excesiva de fósforo puede llevar a la eutrofización de las aguas dulces.
- Oxígeno Disuelto: revisar bibliografías para seleccionar metodología. Una cantidad adecuada de OD es necesaria para tener una buena calidad de agua y para el desarrollo de la biota acuática. Una cantidad alta de OD puede ser peligrosa para la vida acuática causando la “enfermedad de la burbuja de gas” en la fauna del río.

Como complemento también se recomienda analizar pH y temperatura ya que es muy sencillo de medir estos parámetros y son de gran importancia para determinar la calidad del agua.

Después de hacer los cálculos necesarios para el dimensionamiento y diseño del humedal, se realizaron dos propuestas arquitectónicas para la ubicar el humedal en el terreno. Posterior a las propuestas se realizó el levantamiento topográfico para poder comprobar que nuestras propuestas son viables y que realmente se pudieran ejecutar conforme a lo arquitectónico. De dicho levantamiento se concluye que la primera propuesta arquitectónica no es viable ya que la superficie destinada para el humedal actualmente se encuentra habitada por una familia que construyó su casa a orillas del río. Parte de los objetivos del proyecto son evitar problemas con los vecinos de la localidad, por lo que mover a la familia a otra ubicación no es una opción, y por lo tanto, la propuesta queda descartada.

En nuestra segunda propuesta arquitectónica, la superficie destinada para la construcción del humedal se encuentra actualmente deshabitada por lo que se convierte en nuestra mejor opción para ejecutar el proyecto. Sin embargo, durante la última visita realizada a la localidad, los vecinos nos comentaron que ese terreno no pertenece al ejido, sino a particulares y que se encuentra dividido en dos lotes con propietarios distintos. Este tema debe ser tratado con el Ejido de Ahuiscolco y la asociación de Selva Negra previo a la continuación del proyecto. Después de solucionar los problemas de disponibilidad del terreno, el siguiente paso sería realizar un presupuesto de obra para encontrar la mejor solución del proyecto al más bajo costo.

BIBLIOGRAFÍA

- Respirometría. (n.d.). Consultado el 27 de junio, 2017 de “<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/22553/Capitulo2.pdf>”. Tesis de Biblioteca Digital de Universidad de Sonora
- SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL, & Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO 5 días, INCUBACIÓN Y ELECTROMETRÍA Consultado el 27 de Junio, 2017 de “<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Bioqu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/ca6e1594-4217-4aa3-9627-d60e5c077dfa>”
- VELP SCIENTIFICA. (n.d.). *Equipos Velp para determinación Manométrica de la D.B.O Manual de Operaciones*. Consultado el 27 de Junio, 2017, de “<http://www.ictsl.net/downloads/d.b.o.digitalcastellano.pdf>”
- Camargo, J., & Alonso, A. (2007). Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua, e implicaciones del cambio climático. *Ecosistemas: revista Científica de Ecología y Medio Ambiente*, 16(2), 2007th ser. Retrieved July 6, 2017, from “<https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/457>”
- Fraenkel, P., & Thake, J. (2006). *Dispositivos de Elevación del Agua. Manual para usuarios y planificadores*. Roma, Italia: Alfaomega.
- Lara, J. (1999), *Depuración de aguas residuales urbanas mediante humedales artificiales* [tesis de maestría], Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña, Máster en ingeniería y gestión ambiental.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. F., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba, Bolivia: Serie Técnica.
- Arias, I., A., C., & Brix. (2003). *Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales*. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 17-24.

ANEXO 1: MANUAL PARA LA DETERMINACIÓN DE DBO

Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente

Programa de Aprovechamiento y Conservación de Contextos

Patrimoniales -1D03

Proyecto de Aplicación Profesional

Manual de Operación para la Medición de DBO en Descargas Residuales Domésticas



ITESO

Universidad Jesuita
de Guadalajara



ANILLO PRIMAVERA
.ORG / TODO EL AÑO
ES PRIMAVERA

Equipo de intervención:

IC693557 - Héctor Martín Morett Salas

AB692526 - Luis Oscar Flores Nuño

AB692755 - María Susana Vázquez Beas

Profesores PAP:

Sandra Valdés Valdés

Pedro José Alcocer Santos

Tlaquepaque, Jalisco, Verano de 2017

Introducción

Antecedentes

La comunidad de Ahuisculco es una comunidad independiente que gestiona en su totalidad su río y sus recursos hídricos sin depender de la CONAGUA por lo que no cuentan con diversos estudios hidrológicos pertinentes para la construcción del humedal. Esta comunidad está interesada en la preservación de su afluente, sin embargo, descarga sus aguas residuales domésticas directamente a este sin ningún tratamiento previo ya que no conocen una mejor manera de desechar sus aguas grises. Estas descargas causan un mal olor y un daño a la biota presente en la cuenca lo cual causa una disconformidad en la comunidad. En consecuencia, los estudiantes del PAP Anillo Primavera proponen la construcción de una serie de humedales a lo largo del río para tratar el agua antes de descargarla en el río.

Objetivo General

Aunque ya se construyó un prototipo que comprueba la funcionalidad de los humedales para el tratamiento del agua no se tiene prevista forma de evaluar la efectividad de dicho proyecto una vez realizado. Es por esto que se propone realizar este manual de operación en el cual se describe el proceso de muestreo y experimentación para facilitar la determinación de DBO en las descargas residuales. Se sugiere muestrear las descargas tanto antes de entrar al humedal y después para así evaluar la diferencia de dicho parámetro en las descargas y así contar con un criterio para determinar la efectividad del proyecto. Hay que mencionar que el laboratorio del ITESO no cuenta con la certificación para utilizar estos datos en un documento oficial por lo que estos solo sirven como base de referencia para así tener un mejor criterio del proyecto.

Objetivo Específico

El manual está hecho para estudiantes que tengan experiencia previa en prácticas de laboratorio, aunque, con asistencia de algún profesor, también la podría llevar a cabo alguien con poca a nula experiencia en estos temas. Se intenta usar un lenguaje simple y claro, además de ser específico, para hacer el entendimiento de este manual accesible para todo el que tenga interés en el tema.

Prefacio

La demanda bioquímica de oxígeno, de su acrónimo DBO, es un parámetro que representa la cantidad de oxígeno necesaria para la degradación biológica, principalmente por bacterias, de las materias orgánicas que contiene la muestra en cuestión y se expresa en mg/L. Este parámetro se utiliza para obtener una aproximación de qué tan contaminada se encuentra la muestra ya que existe una relación entre la DBO y la materia orgánica presente en la muestra, entre más alto sea el valor de DBO mayor será la cantidad de materia orgánica dentro de la muestra. Es necesario que este parámetro sea medido hasta máximo 5 días después, ya que después de este periodo comienza el proceso de nitrificación el cual requiere de oxígeno para llevarse a cabo y al medir el oxígeno consumido ya no será solo por la demanda bioquímica sino también por este proceso.

La nitrificación se refiere al proceso en el cual las bacterias nitrificantes (microorganismos autótrofos: Nitrosomas y Nitrobacter) oxidan el nitrógeno amoniacal en dos etapas consecutivas. Como resultado de estas reacciones puede existir una demanda adicional de oxígeno lo cual afectaría los datos tomados de DBO. Aunque este proceso de nitrificación se puede inhibir adicionando 2-cloro-6-(triclorometil) piridina, al medirlo dentro del periodo de 5 días se elimina la necesidad de utilizar este compuesto.

Para su determinación existe el método directo, en el cual se mide el oxígeno disuelto (OD) en el momento en el que se toma la muestra y se mide 5 días después de la medición inicial. También existe el método de dilución en el cual se utilizan diluciones de la muestra y se supone que existe una correlación entre la cantidad del contaminante y la velocidad del consumo de oxígeno y así se relacionan directamente con la muestra original. También existen métodos instrumentales los cuales se derivan de métodos respirométricos los cuales permiten la medición automática de la evolución de la DBO en el curso de oxidación de las materias orgánicas contenidas en el agua.

En la actualidad existen diversas normas en México que especifican el método para la determinación de la DBO como la NMX-AA-028-SCFI-2001, la cual describe al método de dilución. Según la norma se coloca el volumen de muestreo en un frasco de agua y se añade por cada litro de agua 1 mL de las siguientes diluciones: disolución de sulfato de magnesio disolución de cloruro de calcio disolución de cloruro férrico y disolución amortiguadora de fosfatos. Posteriormente se analiza y se almacena el agua de dilución, como se describe en la norma, para siempre tener muestra disponible para los análisis. Sin embargo, debido a la naturaleza de la muestra, no es necesario agregar estas soluciones y en su lugar se usará sulfito de sodio e hidróxido de potasio.

Dependiendo de la muestra puede ser necesario agregar inóculos de microorganismos, nutrientes para el desarrollo de estos y ácido sulfúrico o hidróxido de sodio para neutralizar el pH de la muestra. La muestra se extrae de una tubería de descargas de aguas residuales domésticas por lo tanto no es necesario agregar inóculos o nutrientes, ya que existe una gran cantidad de microorganismos y nutrientes en este tipo de muestras. Como la muestra tiene su origen en aguas residuales domésticas, y no industriales también se puede suponer que el pH es relativamente neutro por lo que no es necesario neutralizar la muestra. Por último, es relativamente común encontrar cloro en estas descargas como consecuencia de las actividades de limpieza que se llevan a cabo en el hogar en consecuencia es necesario agregar sulfito de sodio. El sulfito de sodio se encargará de eliminar los iones de cloro libre en la muestra, la importancia de eliminarlos yace en que el cloro puede eliminar a los microorganismos presentes en la muestra. El hidróxido de potasio se tiene que agregar a cualquier análisis de DBO para la absorción de CO₂ que se produce naturalmente.

El método respirométrico para la determinación de la DBO₅ se basa en la medición del consumo de oxígeno, o la producción de CO₂, en una botella respirométrica. Este objetivo se logra midiendo la variación de la presión en la botella mediante un manómetro sensible. En el método clásico se calcula la diferencia entre el oxígeno disuelto en la muestra inicial y final (al final del periodo de 5 días). Es por esto que es importante mantener la muestra a 20 °C ya que una variación en la temperatura representa una variación en la presión lo cual afectaría las lecturas registradas por el medidor de DBO.

Este método tiene muchas limitaciones entre ellas la cantidad de oxígeno disponible en la muestra por lo cual es importante utilizar frascos de 1 L y llenarlas con medio litro de muestra para contar con 125 mg de oxígeno. En este caso se utilizará una botella de medio litro y se dejará espacio suficiente para el oxígeno. Debido a estas limitaciones cualquier variación o error en la manipulación de la muestra o equipo tendrá grandes variaciones en los resultados a registrar.

Equipo

- 6 medidores de DBO VELP (Respirómetro)* (Ilustración 4)
- 6 agitadores magnéticos* (Ilustración 3)
- 6 botellas para medición DBO de 500 ml* (Ilustración 5)
- Base de agitación* (Ilustración 7)
- 6 trampas de hidróxido de potasio* (Ilustración 2)
- Incubadora
- 2 micro-espátulas metálicas
- Pipetas graduadas de 1, 2 y 5 ml
- Probetas graduadas de 250 y 500 ml
- Balanza gravimétrica
- 2 vasos de precipitado de 500 ml
- 1 vaso de precipitado de 1 L
- Agitador de cristal

Reactivos

- Agua destilada
- Sulfito de Sodio
- Cloruro de Potasio
- Nutrientes A, B, C y D* (Ilustración 6)

*Estos materiales y reactivos se encuentran almacenados en la caja del equipo de medidores de DBO ya que son parte del equipo necesario para medición de DBO

Procedimiento

Muestreo

Para obtener las muestras se recomienda hacer un muestreo compuesto. Con un bote de polipropileno boca ancha limpio, de preferencia esterilizado, se tomarán una serie de muestras en un periodo determinado. Por ejemplo, en un periodo de 4 horas tomar muestras cada 30 mins en el mismo bote de polipropileno para obtener una muestra que represente el promedio.

Utilizar cubrebocas y guantes de látex, poner el bote abierto directamente en la descarga que se quiera medir para tomar una cantidad pequeña de muestra, dejando espacio para las siguientes muestras, almacenar el bote en un lugar frío (por ejemplo, una hielera con hielos).

Repetir el proceso las veces que sean necesarias y posibles. Entre más largo sea el periodo de muestreo y más muestras se tomen el resultado será más acercado a la realidad.

Es importante no almacenar la muestra por más de 24 horas, es decir hacer el experimento máximo 24 horas después de que se tomaron las muestras.

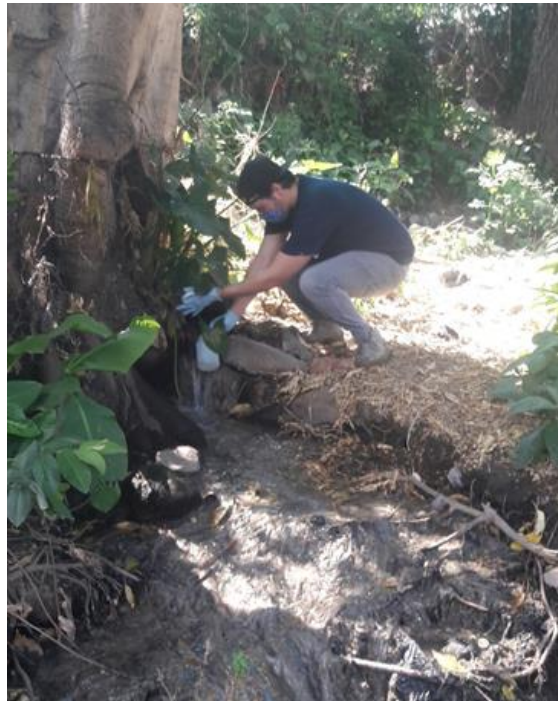


Ilustración 1 Muestreo de Descarga de Agua Residual Ahuisculco

Se recomienda tomar muestras para su análisis antes de que entre al humedal y saliendo del humedal para poder evaluar el funcionamiento de este a partir de la diferencia de DBO en el influente y efluente. Esto quiere decir que se tendrá que hacer el experimento dos veces y, ya que solo existen 6 medidores de DBO, se tendrá que hacer dos viajes para muestrear.

** Como alternativa, para no hacer estos dos viajes, se puede hacer la prueba de DBO del blanco antes de tomar la muestra y, una vez obtenido el DBO5 del blanco, utilizar 3 respirómetros para la entrada al humedal y los 3 restantes para el efluente del humedal.

Preparación agua para dilución

En un vaso de precipitado de 1 L verter 1L de agua destilada y agregar 1 ml de cada uno de los nutrientes incluidos en la caja (A, B, C y D) y agitar con un agitador de cristal para homogeneizar la muestra.

Experimento

Hacer 2 diluciones de 150 ml con un factor de dilución 1:2 (1 ml de muestra por cada 2 ml de dilución o 1 ml de muestra por cada ml de agua para dilución) y 3 diluciones de 250 ml con un factor de 1:4 (1ml de muestra por cada 4 ml de dilución o 1 ml de muestra por cada ml de agua para dilución). Verter las 5 diluciones a las botellas para la medición de DBO y verter 250 ml de agua para dilución en la botella restante (blanco). (Es importante tratar el blanco igual que las otras muestras para obtener datos con un menor error relativo).

**En caso de querer hacer solo un viaje se recomienda hacer 2 diluciones de 250 ml con un factor de 1:4 y uno de 150 ml con factor de dilución de 1:2 de la entrada al humedal y de la salida del humedal c/u. Aun así es preferente hacer los dos viajes para obtener resultados con el menor error relativo posible.

Etiquetar las botellas y los medidores de DBO de tal forma que se puedan identificar las diluciones de cada botella e identificar el medidor con su respectiva botella. (De preferencia utilizar cinta adhesiva y plumón).

Después hay que ajustar la escala en los medidores de DBO, para eso hay que presionar el botón que dice SET, la primera vez que se presione se mostrará la escala a la cual el medidor está ajustado actualmente, la segunda vez que se presione se cambiara la escala. Hay que ajustar la escala a 250 para las diluciones de 250 ml 1:4 y para el blanco; para las diluciones de 150 ml 1:2 se ajusta la escala a 600.

Agregar 1.58 g/L de sulfito de sodio a cada botella para DBO, para este fin es necesario utilizar la pesa gravimetrica para obtener un aproximado de la cantidad de sulfito de sodio a agregar. También es necesario agregar hidróxido de potasio en las trampas de potasa hasta justo antes de los orificios en dichas trampas. Esto último es muy importante ya que si cae hidróxido de potasio directamente a la muestra se tiene que desechar la muestra y repetir el experimento.

Agregar un agitador magnético a cada una de las botellas inclinándola un poco para evitar salpicar la muestra. Poner la trampa de potasa con cuidado de no tirar la potasa a la muestra a cada una de las botellas y enroscar el medidor de DBO a su botella correspondiente. Colocar las botellas a la base incluida junto con los medidores.

Por último, ajustar la incubadora a 20 °C, poner la base con las botellas dentro de la incubadora y conectar la base a una fuente de alimentación eléctrica y presionar START en cada medidor para iniciar el ciclo de medición. Se recomienda hacer un letrero y pegarlo a la incubadora especificando el PAP la fecha y en letras grandes y legibles “No desconectar” ya que es común que se tiren las muestras si no se sabe de quienes son.

Este proceso tarda hasta 5 días para obtener las 5 mediciones necesarias, los medidores almacenan de forma automática lecturas cada 24 horas para facilitar el experimento, pero se recomienda revisarlos de forma periódica para corroborar que no haya ningún problema con los medidores y que la incubadora se encuentre trabajando a 20 °C.

Para obtener las lecturas almacenadas en la memoria de los medidores mantener presionado el botón de START para entrar en el modo de memoria después, presionar SET para mostrar la medición, volver a presionar START para cambiar a la siguiente medición y volver a presionar SET para obtener la segunda lectura y así sucesivamente. Si se tiene dudas de esto último consultar el manual incluido en el equipo o bien, pedirlo en el almacén del laboratorio (lo tienen almacenado como medidores de DBO).

Para obtener el valor de DBO real se sigue la siguiente fórmula:

$$DBO\ real = (DBO\ obtenido - DBO\ blanco) * factor\ de\ dilucion$$

Donde:

DBO real= DBO experimental y resultado a reportar

DBO obtenido= DBO que aparece en el medidor de cada muestra en el quinto día

DBO blanco= DBO obtenido en el agua para dilución en el quinto día

Por ejemplo, si se tiene una muestra de 250 ml con un factor de dilución 1:4 y un DBO₅ de 190 mg/L y se obtiene un DBO₅ del agua para dilución de 77 mg/L:

$$DBO\ real = (190mg/L - 77mg/L) * 4$$

Lo cual da un resultado de 452 mg/L este resultado es el que se tiene que reportar. Hay que recordar que DBO₅ es la lectura obtenida después de 5 días de incubación.

ANEXO 2: IMÁGENES EQUIPO RESPIROMÉTRICO PARA LA DETERMINACIÓN DE DBO

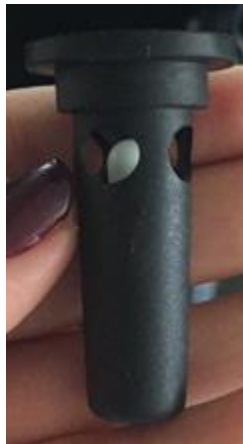


Ilustración 2: Trampa de KOH



Ilustración 3: Agitador magnético



Ilustración 4: Medidor DBO



Ilustración 5: Botella para medición de DBO



Ilustración 6: Nutrientes A, B, C y D



Ilustración 7: Base para agitación

Bibliografía del Manual

- Respirometría. (n.d.). Consultado el 27 de junio, 2017 de <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/22553/Capitulo2.pdf>
- Tesis de Biblioteca Digital de Universidad de Sonora SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL, & Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO 5 días, INCUBACIÓN Y ELECTROMETRÍA Consultado el 27 de Junio, 2017 de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Bioqu%C3%ADmica+d e+Ox%C3%ADgeno..pdf/ca6e1594-4217-4aa3-9627-d60e5c077dfa>
- VELP SCIENTIFICA. (n.d.). *Equipos Velp para determinación Manométrica de la D.B.O Manual de Operaciones*. Consultado el 27 de Junio, 2017, de <http://www.ictsl.net/downloads/d.b.o.digitalcastellano.pdf>