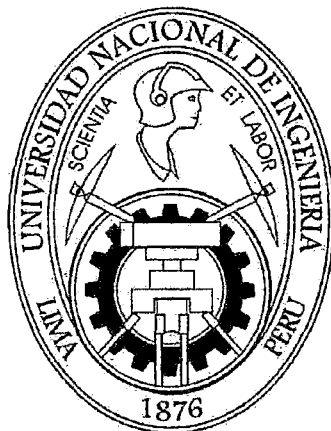


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL TRATAMIENTO SECUNDARIO DE AGUAS RESIDUALES DE UN MATADERO MEDIANTE EL USO DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL SUBSUPERFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL Y SU VARIANTE CON AIREACIÓN DEL LECHO FILTRANTE A ESCALA DE LABORATORIO”**

**TESIS**

**PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO SANITARIO**

**PRESENTADO POR:**

**OSCAR ALEJANDRO GARAY MIRANDA**

**ALFREDO GUILLERMO ENRIQUEZ HUAMAN**

**LIMA, PERÚ**

**2011**

**Digitalizado por:**

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

“Gracias a los compañeros y profesores de la UNI, a los trabajadores y amigos del laboratorio N°20 con quienes compartimos muchos días. A nuestros padres que con su ejemplo y esfuerzo forjaron en nosotros las ideas y sueños de superación. A los amigos que nos acompañaron en este camino”.

“A los que nos alentaron y motivaron, que sembraron nuestros sueños y metas e inculcaron el esfuerzo para alcanzarlas”.

A ustedes papá y mamá.

## RESUMEN

La presente investigación fue realizada en las instalaciones de Laboratorio N° 20 de la Facultad de Ingeniería Ambiental. Se trabajo con dos unidades Wetland de flujo sub superficial a escala de laboratorio y cuatro Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (R.A.F.A.). A uno de los Wetland se le acondicionó aireación mecánica al interior del lecho mediante un pequeño soplador. Para el estudio se utilizó agua residual del Camal "Frigorífico Esmeralda Corp. S.A.C".

Se evaluó y comparó los resultados que se generaron mediante el monitoreo de los siguientes parámetros: O.D., turbidez, Ph, S.S.T, Conductividad y Temperatura con una frecuencia diaria; D.B.O. y D.Q.O con una frecuencia semanal.

La evaluación se desarrollo durante 16 semanas y se dividió en periodos 1, 2 y 3 cuya duración fue de 8, 4 y 3 semanas respectivamente además de 1 semana de cierre donde se desconectó la aireación. En cada periodo, se evaluó con diferentes concentraciones de muestra (agua residual de camal) para el afluente: al 33,3%, 50% y 100% de concentración correspondiente a cada periodo de evaluación.

Se trabajo con un caudal de 23 ml/ min para cada Wetland durante 24 horas al día.

De los resultados para el Wetland S.A. en el periodo 1, concentración de 33.3% de la muestra de agua de Camal, no se nota mucha diferencia con el Wetland C.A. Pero en el periodo 3, al 100% de concentración, si es notoria la diferencia entre los resultados del Wetland C.A. y el Wetland S.A.

En promedio podemos indicar que en el periodo 3 (al 100% de concentración de agua de camal) se obtuvieron los siguientes resultados:

- En D.B.O., 976 mg/L al ingreso de los Wetlands, 34 mg/L a la Salida del Wetland C.A. (Remoción de 96,6%) y 368 mg/L a la salida del Wetland S.A. (Remoción de 61,8%).
- En D.Q.O., 2332 mg/L al ingreso de los Wetlands, 302 mg/L a la Salida del Wetland C.A. (Remoción de 86,5%) y 861mg/L a la salida del Wetland S.A. (Remoción de 62,5%).

- En S.S.T., 630 mg/L al ingreso de los Wetlands y 34,8 mg/L a la salida del Wetland C.A. (Remoción de 89,9%) y 133 mg/L a la salida del Wetland S.A. (Remoción de 80,8%).
- En Turbidez, 287,9 UNT al ingreso de los Wetlands, 11,8 UNT a la salida del Wetland C.A. (Remoción de 94,8%) y 58,9 UNT a la salida del Wetland S.A.. (Remoción de 75,9%).
- En O.D., 0,4 mg/L al ingreso de los Wetlands, 4,7 m/L a la salida del Wetland C.A. y 0,2 mg/L de O.D. a la salida del Wetland S.A.
- En conductividad, 6 mS/cm al ingreso de los Wetlands, 6 mS/cm a la salida del Wetland C.A. y 6,7 mS/cm a la salida del Wetland S.A.

Además se puede seguir el detalle de cada parámetro evaluado según su concentración por periodo de prueba, los cuales se encuentran por día para algunos parámetros y por semana para otros, en el cuerpo de esta Tesis.

## INDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>- 1 -</b>
<b>1.1. Aspectos Sanitarios</b> .....	<b>- 1 -</b>
<b>1.2. Aspectos económicos y socioculturales</b> .....	<b>- 2 -</b>
<b>1.3. Aspectos Legislativos</b> .....	<b>- 2 -</b>
<b>1.3.1. Normas Nacionales</b> .....	<b>- 2 -</b>
<b>1.4. Tratamiento de las aguas residuales en el Perú.</b> .....	<b>- 3 -</b>
<b>2. DISEÑO DE LA INVESTIGACION</b> .....	<b>- 4 -</b>
<b>2.1. Planteamiento del problema</b> .....	<b>- 4 -</b>
<b>2.1.1. Identificación del problema</b> .....	<b>- 4 -</b>
<b>2.1.2. Formulación del problema</b> .....	<b>- 5 -</b>
<b>2.1.3. Justificación de la investigación</b> .....	<b>- 6 -</b>
<b>2.2. Objetivos</b> .....	<b>- 7 -</b>
<b>2.2.1. Objetivos Generales</b> .....	<b>- 7 -</b>
<b>2.2.2. Objetivos Específicos</b> .....	<b>- 8 -</b>
<b>2.3. Hipótesis</b> .....	<b>- 8 -</b>
<b>2.4. Variables del estudio</b> .....	<b>- 8 -</b>
<b>3. MARCO TEORICO</b> .....	<b>- 9 -</b>
<b>3.1. Los humedales artificiales</b> .....	<b>- 9 -</b>
<b>3.1.1. Clasificación de los humedales artificiales</b> .....	<b>- 10 -</b>
<b>3.1.2. Componentes del humedal Subsuperficial</b> .....	<b>- 11 -</b>
<b>3.2. Plantas para Wetlands</b> .....	<b>- 17 -</b>
<b>3.2.1. Typha</b> .....	<b>- 17 -</b>
<b>3.2.2. Adaptaciones de las plantas a las inundaciones</b> .....	<b>- 20 -</b>
<b>3.2.3. Mecanismos de transporte de gas en las plantas Wetland</b> .....	<b>- 24 -</b>
<b>3.2.4. Biomasa, Productividad y descomposición</b> .....	<b>- 29 -</b>
<b>3.2.5. Evapotranspiración</b> .....	<b>- 31 -</b>
<b>3.2.6. Rol de las macrófitos en los humedales artificiales</b> .....	<b>- 33 -</b>
<b>3.3. Biopelículas (Biofilms)</b> .....	<b>- 34 -</b>
<b>3.4. Mecanismos para la remoción y transformación de los contaminantes de las aguas residuales</b> .....	<b>- 36 -</b>
<b>3.4.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno</b> .....	<b>- 36 -</b>
<b>3.4.2. Sólidos suspendidos</b> .....	<b>- 38 -</b>

3.4.3.	Materia orgánica.....	- 39 -
3.4.4.	Nitrógeno. ....	- 39 -
3.4.5.	Nitrógeno Orgánico .....	- 42 -
3.4.6.	Otros.....	- 44 -
4.	<b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>- 44 -</b>
4.1.	Agua residual a tratar.....	- 47 -
4.1.1.	Fuente.....	- 47 -
4.1.2.	Caracterización del agua industrial .....	- 48 -
4.2.	Tratamiento Primario.....	- 48 -
4.3.	Tratamiento Secundario.....	- 51 -
4.3.1.	RAFA.....	- 53 -
4.3.2.	Trampa para Lodos.....	- 54 -
4.4.	<b>Sistema de Tratamiento Principal en evaluación – Humedales Artificiales (Wetlands).....</b>	<b>- 55 -</b>
4.4.1.	Dispositivo de regulación e ingreso del caudal a las unidades ....	- 56 -
4.4.2.	Humedales Artificiales Sub Superficiales a Escala de Laboratorio-	58 -
4.4.3.	Zona de salida y drenaje de efluentes de los humedales.....	- 64 -
4.5.	Mediciones de caudal .....	- 65 -
4.5.1.	Caudal de ingreso y salida.....	- 66 -
4.6.	Periodo de Retención.....	- 66 -
4.7.	Análisis fisicoquímicos .....	- 67 -
4.7.1.	Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO).....	- 67 -
4.7.2.	Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	- 68 -
4.7.3.	Oxígeno Disuelto. (OD).....	- 68 -
4.7.4.	Turbidez.....	- 68 -
4.7.5.	Potencial de Hidrogeno (PH).....	- 69 -
4.7.6.	Temperatura .....	- 69 -
4.7.7.	Conductividad eléctrica .....	- 69 -
4.7.8.	Sólidos sedimentables (SS).....	- 69 -
4.7.9.	Sólidos suspendidos totales (SST).....	- 69 -
4.7.10.	Sulfatos.....	- 69 -
4.7.11.	Aceites y Grasas.....	- 70 -
4.7.12.	Nitrógeno Amoniacal .....	- 70 -

<b>5.</b>	<b>RESULTADOS Y COMENTARIOS</b> .....	<b>- 71 -</b>
5.1.	Variación del Caudal de ingreso y salida en el humedal.....	- 71 -
5.2.	Variación de la temperatura del agua residual en el sistema de tratamiento.....	- 72 -
5.3.	Variación de la conductividad.....	- 77 -
5.4.	Variación del PH y la capacidad buffer del sistema .....	- 86 -
5.5.	Variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	- 93 -
5.6.	Variación de la Demanda Química de Oxígeno.....	- 98 -
5.7.	Variación del Oxígeno Disuelto .....	- 103 -
5.8.	Variación de la turbiedad.....	- 109 -
5.9.	Variación de sólidos suspendidos totales (SST) .....	- 122 -
5.10.	Eficiencia de Remoción de Turbiedad .....	- 130 -
5.11.	Eficiencia de Remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno .....	- 134 -
5.12.	Eficiencia de Remoción de DQO .....	- 137 -
5.13.	Eficiencia de Remoción de Sólidos Suspendidos Totales .....	- 140 -
5.14.	EFICIENCIAS PROMEDIO .....	- 145 -
5.15.	Resultados promedio de Temperatura .....	- 149 -
5.16.	Resultados promedio de Conductividad.....	- 154 -
5.17.	Resultados promedio de pH.....	- 159 -
5.18.	Resultados promedio de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO).....	- 164 -
5.19.	Resultados promedio de Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	- 169 -
5.20.	Resultados promedio de Oxígeno Disuelto (OD).....	- 174 -
5.21.	Resultados promedio de Turbiedad.....	- 179 -
5.22.	Resultados promedio de Sólidos Suspendidos Totales (SST).....	- 184 -
5.23.	Resultados promedio de Carga orgánica. ....	- 189 -
<b>6.</b>	<b>OBSERVACIONES</b> .....	<b>- 198 -</b>
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>- 199 -</b>
<b>8.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>- 210 -</b>
<b>9.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b> .....	<b>- 211 -</b>
<b>10.</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>212</b>
10.1.	ARMADO DE UNIDADES WETLAND.....	212
10.2.	CIERRE Y EXPLORACIÓN DE UNIDADES WETLAND .....	235



## RELACION DE FOTOS

Foto N° 1: Alcantarilla, agua residual de un matadero.....	4 -
Foto N° 2: Vertimiento sin tratamiento sobre un cuerpo de agua.....	5 -
Foto N° 3: Tanque de sedimentación de muestras.....	49 -
Foto N° 4: Equipo refrigerador para almacenamiento de muestras a 6°C.....	50 -
Foto N° 5: Almacenamiento de muestras.....	50 -
Foto N° 6: Unidad de tratamiento Primario - Reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA). Se puede ver la bomba peristáltica y la trampa de grasa.....	52 -
Foto N° 7: Reactores anaerobios de flujo ascendente, durante el arranque, se puede ver la altura de lodos.....	54 -
Foto N° 8: Trampa de grasas.....	55 -
Foto N° 9: Unidades Wetland, al fondo la unidad aireada y al frente la unidad sin aireación.....	56 -
Foto N° 10: Bomba peristáltica y sistema de distribución al ingreso de los Wetland.....	57 -
Foto N° 11: Distribución del agua al ingreso de las unidades Wetland.....	57 -
Foto N° 12: Unidades Wetland, a escala de laboratorio.18/03/2010.....	58 -
Foto N° 13: Wetland horizontal de flujo sub superficial – Wetland SA.....	60 -
Foto N° 14: Wetland horizontal de flujo sub superficial - Wetland CA.....	61 -
Foto N° 15: Zona de salida y sistema de evacuación al desagüe.....	64 -
Foto N° 16: Zona de salida y sistema de evacuación a la red de desagüe.....	65 -
Foto N° 17: Equipo multiparametro HQ 40d - HACH.....	68 -
Foto N° 18: Tubo cortado y adecuado según diseño de unidades.....	212
Foto N° 19: Instalación de unidades en techo de laboratorio.....	213
Foto N° 20: Inclínación de futura unidad de tratamiento con ayuda de tacos de madera.....	214
Foto N° 21: Colocación y refuerzo de las tapas laterales.....	215
Foto N° 22: Orificio para la purga de aguas de la unidad.....	216
Foto N° 23: Válvula de control de purga de la unidad.....	216
Foto N° 24: Zona de salida de efluente de tratamiento.....	217
Foto N° 25: Zona de salida y control de nivel de agua al interior de la unidad.....	218
Foto N° 26: Jaula para seguridad de equipos.....	218
Foto N° 27: Bolsas con piedra chancada de 1/2".	219
Foto N° 28: Prueba hidráulica.....	220
Foto N° 29: Tuberías de ingreso y distribución del agua a tratar.....	221
Foto N° 30: Lavado de la piedra chancada.....	222
Foto N° 31: Futura unidad Wetland durante la prueba hidráulica.....	223
Foto N° 32: Tubería de protección y manguera que conecta difusor de piedra porosa con soplador.....	224
Foto N° 33: Soplador electromecánico (aireador).....	224
Foto N° 34: Instalación de difusor al interior del lecho de piedra.....	225
Foto N° 35: Prueba hidráulica después de la instalación de difusores.....	226
Foto N° 36: Instalaciones para la salida y recolección del efluente de las unidades Wetland. (antes de recubrirlas con concreto).....	226

Foto N° 37: Estructura de salida terminada para la recolección del efluente de Wetland.....	227
Foto N° 38: Estructura de salida ya integrada a las unidades Wetland. ....	227
Foto N° 39: Bomba peristáltica que impulsa el afluente hasta la distribución para cada unidad Wetland. ....	228
Foto N° 40: Zona de distribución hacia ambas unidades Wetland. ....	229
Foto N° 41: Ubicación de bomba peristáltica y tanque de almacenamiento de agua afluente. ....	230
Foto N° 42: Ubicación de la plantas al interior de las unidades Wetland.....	231
Foto N° 43: Instalación de planta al interior del lecho de piedra del Wetland. ....	231
Foto N° 44: Plantas ya instaladas en la unidad Wetland. ....	232
Foto N° 45: Planta (totora) y difusor instalados en el lecho de piedra del Wetland.	232
Foto N° 46: Vista de los Wetland a comparar en estudio. ....	233
Foto N° 47: Corte de totora que establece condiciones iniciales.....	234
Foto N° 48: Humedal antes de proceder a la evacuación del agua. ....	235
Foto N° 49: Totora al interior del Wetland antes de su extracción.....	236
Foto N° 50: Descarga por tubería de purga del Wetland.....	236
Foto N° 51: Ingreso del Wetland luego de haberse extraído la totora por completo.... -	237 -
Foto N° 52: Difusor de aire atrapado entre las raíces de la totora.....-	238 -
Foto N° 53: Raíces de la totora luego de ser extraídas del ingreso al Wetland. ...-	238 -
Foto N° 54: Fondo del Wetland luego de extraer la totora y parte del medio de soporte. ....	239 -
Foto N° 55: Biopelícula adherida en el medio de soporte del humedal.....-	239 -
Foto N° 56: Biopelícula adherida al medio de soporte del humedal, raíces ramificadas por todo el medio de soporte sumergido. ....	240 -
Foto N° 57: Tubería de distribución del aire que llega hasta la base de la totora, por debajo del lecho de soporte. ....	241 -
Foto N° 58: Raíces entrelazadas con el medio de soporte, al interior del Wetland.-	241 -
-	
Foto N° 59: Raíces de la totora adoptaron la forma del fondo del Wetland. ....-	242 -
Foto N° 60: Vista en corte transversal de plantas y raíces al interior del Wetland.-	243
-	
Foto N° 61: Vista en corte transversal de plantas y raíces. Luego de vaciar y extraer parte del medio de soporte del Wetland. ....	244 -
Foto N° 62: Plantas extraídas del Wetland, se nota que las raíces alcanzaron desarrollarse incluso a través de la grava (medio de soporte). ....	245 -

## RELACIÓN DE TABLAS

Tabla 1: Frecuencia de muestreos.....	47 -
Tabla 2: Diluciones por periodo de estudio.....	49 -
Tabla 3: Temperatura (C°) registrada para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 1.....	73 -
Tabla 4: Temperatura (C°) registrada para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 2.....	74 -
Tabla 5: Temperatura (C°) registrada para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 3.....	75 -
Tabla 6: Temperatura (C°) registrada para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante la semana de cierre.....	75 -
Tabla 7: Conductividad (mS/cm) registrada para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 1.....	77 -
Tabla 8: Conductividad (mS/cm) registrada para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 2.....	78 -
Tabla 9: Conductividad (mS/cm) registrada para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 3.....	80 -
Tabla 10: Conductividad (mS/cm) registrada para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante la semana de cierre.....	80 -
Tabla 11: pH registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 1.....	86 -
Tabla 12: pH registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 2.....	87 -
Tabla 13: pH registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 3.....	89 -
Tabla 14: pH registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante la semana de cierre.....	90 -
Tabla 15: DBO (mg/L) registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 1.....	93 -
Tabla 16: DBO (mg/L) registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 2.....	93 -
Tabla 17: DBO (mg/L) registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 3.....	94 -
Tabla 18: DBO (mg/L) registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante la semana de cierre.....	94 -
Tabla 19: DQO (mg/L) registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 1.....	98 -
Tabla 20: DQO (mg/L) registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 2.....	98 -
Tabla 21: DQO (mg/L) registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 3.....	99 -
Tabla 22: DQO (mg/L) registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante la semana de cierre.....	99 -

Tabla 23: OD (mg/L) registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 1. ....	103 -
Tabla 24: OD (mg/L) registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 2. ....	104 -
Tabla 25: OD (mg/L) registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 3. ....	105 -
Tabla 26: OD (mg/L) registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante la semana de cierre. ....	106 -
Tabla 27: Turbiedad (NTU) registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 1. ....	109 -
Tabla 28: Turbiedad (NTU) registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 2. ....	110 -
Tabla 29: Turbiedad (NTU) registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 3. ....	111 -
Tabla 30: Turbiedad (NTU) registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante la semana de cierre. ....	112 -
Tabla 31: SST (mg/L) registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 1. ....	122 -
Tabla 32: SST (mg/L) registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 2. ....	123 -
Tabla 33: SST (mg/L) registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 3. ....	124 -
Tabla 34: SST (mg/L) registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante la semana de cierre. ....	125 -
Tabla 35: Eficiencia en remoción de Turbidez (NTU) durante el periodo 1, para el Wetland CA y SA. ....	130 -
Tabla 36: Eficiencia en remoción de Turbidez (NTU) durante el periodo 2, para el Wetland CA y SA. (*) ....	131 -
Tabla 37: Eficiencia en remoción de Turbidez (NTU) durante el periodo 3, para el Wetland CA y SA. ....	132 -
Tabla 38: Eficiencia en remoción de Turbidez (NTU) durante la semana de cierre, para el Wetland CA y SA. ....	132 -
Tabla 39: Eficiencia en remoción (%) de DBO (mg/L) durante el periodo 1, para el Wetland CA y SA. ....	134 -
Tabla 40: Eficiencia en remoción (%) de DBO (mg/L) durante el periodo 2, para el Wetland CA y SA. (*) ....	134 -
Tabla 41: Eficiencia en remoción (%) de DBO (mg/L) durante el periodo 3, para el Wetland CA y SA. ....	135 -
Tabla 42: Eficiencia en remoción (%) de DBO (mg/L) durante la semana de cierre, para el Wetland CA y SA. ....	135 -
Tabla 43: Eficiencia en remoción (%) de DQO (mg/L) durante el periodo 1, para el Wetland CA y SA. ....	137 -
Tabla 44: Eficiencia en remoción (%) de DQO (mg/L) durante el periodo 2, para el Wetland CA y SA. (*) ....	137 -

Tabla 45: Eficiencia en remoción (%) de DQO (mg/L) durante el periodo 3, para el Wetland CA y SA.....	138 -
Tabla 46: Eficiencia en remoción (%) de DQO (mg/L) durante la semana de cierre, para el Wetland CA y SA.....	138 -
Tabla 47: Eficiencia en remoción (%) de SST (mg/L) durante el periodo 1, para el Wetland CA y SA.....	140 -
Tabla 48: Eficiencia en remoción (%) de SST (mg/L) durante el periodo 2, para el Wetland CA y SA. (*).....	141 -
Tabla 49: Eficiencia en remoción (%) de SST (mg/L) durante el periodo 3, para el Wetland CA y SA.....	142 -
Tabla 50: Eficiencia en remoción (%) de DQO (mg/L) durante la semana de cierre, para el Wetland CA y SA.....	142 -
Tabla 51: Porcentaje de Remoción en Turbidez por concentración.....	145 -
Tabla 52: Porcentaje de Remoción en D.B.O. por concentración de influente.....	146 -
Tabla 53: Porcentaje de Remoción en D.Q.O. por concentración de influente.....	147 -
Tabla 54: Porcentaje de Remoción en S.S.T. por concentración de influente.....	148 -
Tabla 55: Resultado promedio, mínimo y máximo de temperatura al 33,3% de concentración de influente.....	149 -
Tabla 56: Resultado promedio, mínimo y máximo de temperatura al 50% de concentración de influente.....	150 -
Tabla 57: Resultado promedio, mínimo y máximo de temperatura al 100% de concentración de influente.....	151 -
Tabla 58: Resultado promedio, mínimo y máximo de temperatura al 100% de concentración sin aireación.....	152 -
Tabla 59: Resultado promedio de temperatura por concentración.....	153 -
Tabla 60: Resultado promedio, mínimo y máximo de conductividad al 33.3% de concentración.....	154 -
Tabla 61: Resultado promedio, mínimo y máximo de conductividad al 50% de concentración.....	155 -
Tabla 62: Resultado promedio, mínimo y máximo de conductividad al 100% de concentración de influente.....	156 -
Tabla 63: Resultado promedio, mínimo y máximo de conductividad al 100% de concentración de influente sin aireación.....	157 -
Tabla 64: Resultado promedio de conductividad por concentración.....	158 -
Tabla 65: Resultado promedio, mínimo y máximo de ph al 33.3% de concentración de influente.....	159 -
Tabla 66: Resultado promedio, mínimo y máximo de pH al 50% de concentración de influente.....	160 -
Tabla 67: Resultado promedio, mínimo y máximo de pH al 100% de concentración de influente.....	161 -
Tabla 68: Resultado promedio, mínimo y máximo de pH al 100% de concentración sin aireación.....	162 -
Tabla 69: Resultado promedio de pH por concentración.....	163 -
Tabla 70: Resultado promedio, mínimo y máximo de D.B.O. al 33.3% de concentración de influente.....	164 -

Tabla 71: Resultado promedio, mínimo y máximo de D.B.O. al 50% de concentración de influente.....	- 165 -
Tabla 72: Resultado promedio, mínimo y máximo de D.B.O. al 100% de concentración de influente. ....	- 166 -
Tabla 73: Resultado promedio, mínimo y máximo de D.B.O. al 100% de concentración de influente sin aireación.....	- 167 -
Tabla 74: Resultado promedio D.B.O. por concentración. ....	- 168 -
Tabla 75: Resultado promedio, mínimo y máximo de D.Q.O. al 33.3% de concentración de influente. ....	- 169 -
Tabla 76: Resultado promedio, mínimo y máximo de D.Q.O. al 50% de concentración de influente.....	- 170 -
Tabla 77: Resultado promedio, mínimo y máximo de D.Q.O. al 100% de concentración de influente. ....	- 171 -
Tabla 78: Resultado promedio, mínimo y máximo de D.Q.O. al 100% de concentración de influente sin aireación.....	- 172 -
Tabla 79: Resultado promedio D.Q.O. por concentración.....	- 173 -
Tabla 80: Resultado promedio, mínimo y máximo de OD al 33,3% de concentración de influente.....	- 174 -
Tabla 81: Resultado promedio, mínimo y máximo de OD al 50% de concentración de influente. ....	- 175 -
Tabla 82: Resultado promedio, mínimo y máximo de OD al 100% de concentración de influente.....	- 176 -
Tabla 83: Resultado promedio, mínimo y máximo de OD al 100% de concentración de influente sin aireación. ....	- 177 -
Tabla 84: Resultado promedio de OD por concentración de influente. ....	- 178 -
Tabla 85: Resultado promedio, mínimo y máximo de Turbidez al 33.3% de concentración de influente. ....	- 179 -
Tabla 86: Resultado promedio, mínimo y máximo de Turbidez al 50% de concentración de influente. ....	- 180 -
Tabla 87: Resultado promedio, mínimo y máximo de Turbidez al 100% de concentración de influente. ....	- 181 -
Tabla 88: Resultado promedio, mínimo y máximo de Turbidez al 100% de concentración de influente sin aireación.....	- 182 -
Tabla 89: Resultado promedio de Turbidez por concentración.....	- 183 -
Tabla 90: Resultado promedio, mínimo y máximo de S.S.T. al 33.3% de concentración de influente. ....	- 184 -
Tabla 91: Resultado promedio, mínimo y máximo de S.S.T. al 50% de concentración de influente.....	- 185 -
Tabla 92: Resultado promedio, mínimo y máximo de S.S.T. al 100% de concentración de influente. ....	- 186 -
Tabla 93: Resultado promedio, mínimo y máximo de S.S.T. al 100% de concentración de influente en la semana de cierre. ....	- 187 -
Tabla 94: Resultado promedio de S.S.T. por concentración.....	- 188 -
Tabla 95: Resultado Promedio de Carga orgánica - periodo1 (al 33,3% de concentración de influente).....	- 189 -

Tabla 96: Resultado Promedio de Carga orgánica – periodo 2 (al 50% de concentración de influente). .....- 190 -

Tabla 97: Resultado Promedio de Carga orgánica - periodo 3 (al 100% de concentración de influente). .....- 192 -

Tabla 98: Resultado Promedio de Remoción de Carga orgánica (DBO) al 100% de concentración de influente-Sin aireación. ....- 193 -

Tabla 99: Resultados promedio de carga orgánica según concentración de muestra influente (periodos). .....- 195 -

Tabla 100: Resultados promedio de remoción de carga según concentración de muestra influente (periodos). .....- 196 -

Tabla 101: Porcentaje de remoción de carga orgánica promedio según la concentración de muestra influente (periodos). .....- 197 -

Tabla 102: RESUMEN RESULTADOS PROMEDIOS AL 33.3% DE CONCENTRACIÓN DE INFLUENTE .....- 199 -

Tabla 103: RESUMEN RESULTADOS PROMEDIOS AL 50% DE CONCENTRACIÓN DE INFLUENTE .....- 199 -

Tabla 104: RESUMEN RESULTADOS PROMEDIOS AL 100% DE CONCENTRACIÓN DE INFLUENTE .....- 200 -

Tabla 105: RESUMEN RESULTADOS PROMEDIOS AL 100% DE CONCENTRACIÓN DE INFLUENTE-SIN AIREACIÓN .....- 200 -

Tabla 106: Tasa superficial del Wetland SA y Wetland CA para la obtención de similar valor de la DBO de su efluente. ....- 204 -

## RELACIÓN DE GRAFICAS

Gráfica N° 1: Tratamiento de aguas residuales en el Perú .....	- 3 -
Gráfica N° 2: Temperatura del efluente de las unidades en evaluación, durante el desarrollo del Proyecto.....	- 72 -
Gráfica N° 3: Temperatura del efluente de las unidades en evaluación, durante el desarrollo del Proyecto.....	- 76 -
Gráfica N° 4: Conductividad de las unidades en evaluación, durante el desarrollo del Proyecto.....	81
Gráfica N° 5: Conductividad en el efluente Wetland SA y Wetland CA, durante el desarrollo del proyecto.....	82
Gráfica N° 6: Conductividad en el efluente Wetland CA y Wetland SA, durante el Periodo 1.....	83
Gráfica N° 7: Conductividad en el efluente Wetland CA y Wetland SA, durante el Periodo 2.....	84
Gráfica N° 8: Conductividad en el efluente Wetland CA y Wetland SA, durante el Periodo 3.....	85
Gráfica N° 9: PH del efluente de las unidades en evaluación, durante el desarrollo del Proyecto.....	- 91 -
Gráfica N° 10: PH del efluente del Wetland SA y Wetland CA, durante el desarrollo del Proyecto.....	- 92 -
Gráfica N° 11: DBO del efluente de las unidades en evaluación, durante el desarrollo del Proyecto.....	- 95 -
Gráfica N° 12: DBO del efluente del Wetland SA y Wetland SA, durante el desarrollo del Proyecto.....	- 97 -
Gráfica N° 13: DQO en el efluente del Wetland SA y Wetland CA, durante el desarrollo del Proyecto.....	- 100 -
Gráfica N° 14: DQO en el efluente del Wetland SA y Wetland CA, durante el desarrollo del Proyecto.....	- 102 -
Gráfica N° 15: Oxígeno Disuelto del efluente de las unidades en evaluación, durante el desarrollo del Proyecto.....	- 107 -
Gráfica N° 16: Oxígeno Disuelto del efluente del Wetland SA y Wetland CA, durante el desarrollo del Proyecto.....	- 108 -
Gráfica N° 17: Turbidez en el ingreso y salida del Wetland SA y Wetland CA, durante el desarrollo del Proyecto.....	- 113 -
Gráfica N° 18: Turbidez en efluente del Wetland SA y Wetland CA, durante el desarrollo del proyecto.....	- 114 -
Gráfica N° 19: Turbidez a la salida del Wetland CA y Wetland SA, en el Periodo 1.....	- 115 -
Gráfica N° 20: Turbidez a la salida del Wetland CA y Wetland SA, en el Periodo 2.....	- 116 -



Gráfica N° 21: Turbidez en el efluente Wetland SA y Wetland CA, durante el Periodo 3.....	- 117 -
Gráfica N° 22: Turbidez a la salida del Wetland CA, en el Periodo 1. ....	- 118 -
Gráfica N° 23: Turbidez a la salida del Wetland CA, en el Periodo 2. ....	- 119 -
Gráfica N° 24: Turbidez en el efluente Wetland CA, durante el Periodo 3, antes de suspender la aireación. ....	- 120 -
Gráfica N° 25: Turbidez en el efluente Wetland CA, durante el Periodo 3, incluyendo la semana de cierre (semana 16).....	- 121 -
Gráfica N° 26: SST en las unidades evaluadas, durante el estudio.....	- 126 -
Gráfica N° 27: SST en el efluente Wetland CA y Wetland SA, durante el Periodo 1...-	127 -
Gráfica N° 28: SST en el efluente del Wetland CA y Wetland SA, durante el Periodo 2.....	- 128 -
Gráfica N° 29: SST en el efluente Wetland CA y Wetland SA, durante el Periodo 3...-	129 -
Gráfica N° 30: Eficiencia de remoción en turbidez, durante el desarrollo del proyecto.-	133 -
Gráfica N° 31: Eficiencia de remoción de DBO, durante el desarrollo del proyecto.....-	136 -
Gráfica N° 32: Eficiencia de remoción de DQO, durante el desarrollo del proyecto. ....-	139 -
Gráfica N° 33: Eficiencia de remoción de SST, durante el desarrollo del proyecto.-	143 -
Gráfica N° 34: Porcentaje de Remoción en Turbidez por concentración de influente. -	145 -
Gráfica N° 35: Porcentaje de Remoción en D.B.O. por concentración de influente.....-	146 -
Gráfica N° 36: Porcentaje de Remoción en D.Q.O. por concentración de influente (diluciones).....	- 147 -
Gráfica N° 37: Porcentaje de Remoción en S.S.T. por concentración. ....	- 148 -
Gráfica N° 38: Resultado promedio, mínimo y máximo de temperatura al 33.3% de concentración de influente. ....	- 149 -
Gráfica N° 39: Resultado promedio, mínimo y máximo de temperatura al 50% de concentración de influente. ....	- 150 -
Gráfica N° 40: Resultado promedio, mínimo y máximo de temperatura al 100% de concentración de influente. ....	- 151 -
Gráfica N° 41: Resultado promedio, mínimo y máximo de temperatura al 100% de concentración de influente sin aireación.....	- 152 -
Gráfica N° 42: Resultado promedio de temperatura por concentración.....	- 153 -
Gráfica N° 43: Resultado promedio, mínimo y máximo de conductividad al 33,3% de concentración de influente. ....	- 154 -
Gráfica N° 44: Resultado promedio, mínimo y máximo de conductividad al 50% de concentración de influente. ....	- 155 -

Gráfica N° 45: Resultado promedio, mínimo y máximo de conductividad al 100% de concentración de influente. ....	156 -
Gráfica N° 46: Resultado promedio, mínimo y máximo de conductividad al 100% de concentración de influente sin aireación. ....	157 -
Gráfica N° 47: Resultado promedio de conductividad por concentración. ....	158 -
Gráfica N° 48: Resultado promedio, mínimo y máximo de ph al 33.3% de concentración de influente. ....	159 -
Gráfica N° 49: Resultado promedio, mínimo y máximo de pH al 50% de concentración de influente. ....	160 -
Gráfica N° 50: Resultado promedio, mínimo y máximo de pH al 100% de concentración de influente. ....	161 -
Gráfica N° 51: Resultado promedio, mínimo y máximo de pH al 100% de concentración de influente sin aireación. ....	162 -
Gráfica N° 52: Resultado promedio de pH por concentración. ....	163 -
Gráfica N° 53: Resultado promedio, mínimo y máximo de D.B.O. al 33.3% de concentración de influente. ....	164 -
Gráfica N° 54: Resultado promedio, mínimo y máximo de D.B.O. al 50% de concentración de influente. ....	165 -
Gráfica N° 55: Resultado promedio, mínimo y máximo de D.B.O. al 100% de concentración de influente. ....	166 -
Gráfica N° 56: Resultado promedio, mínimo y máximo de D.B.O. al 100% de concentración de influente sin aireación. ....	167 -
Gráfica N° 57: Resultado promedio D.B.O. por concentración. ....	168 -
Gráfica N° 58: Resultado promedio, mínimo y máximo de D.Q.O. al 33.3% de concentración de influente. ....	169 -
Gráfica N° 59: Resultado promedio, mínimo y máximo de D.Q.O. al 50% de concentración de influente. ....	170 -
Gráfica N° 60: Resultado promedio, mínimo y máximo de D.Q.O. al 100% de concentración de influente. ....	171 -
Gráfica N° 61: Resultado promedio, mínimo y máximo de D.Q.O. al 100% de concentración de influente sin aireación. ....	172 -
Gráfica N° 62: Resultado promedio D.Q.O. por concentración. ....	173 -
Gráfica N° 63: Resultado promedio, mínimo y máximo de OD al 33,3% de concentración de influente. ....	174 -
Gráfica N° 64: Resultado promedio, mínimo y máximo de OD al 50% de concentración de influente. ....	175 -
Gráfica N° 65: Resultado promedio, mínimo y máximo de OD al 100% de concentración de influente. ....	176 -
Gráfica N° 66: Resultado promedio, mínimo y máximo de OD al 100% de concentración de influente sin aireación. ....	177 -
Gráfica N° 67: Resultado promedio de OD por concentración de influente. ....	178 -
Gráfica N° 68: Resultado promedio, mínimo y máximo de Turbidez al 33.3% de concentración de influente. ....	179 -
Gráfica N° 69: Resultado promedio, mínimo y máximo de Turbidez al 50% de concentración de influente. ....	180 -

Gráfica N° 70: Resultado promedio, mínimo y máximo de Turbidez al 100% de concentración de influente. ....	181 -
Gráfica N° 71: Resultado promedio, mínimo y máximo de Turbidez al 100% de concentración de influente sin aireación. ....	182 -
Gráfica N° 72: Resultado promedio de Turbidez por concentración .....	183 -
Gráfica N° 73: Resultado promedio, mínimo y máximo de S.S.T. al 33.3% de concentración de influente. ....	184 -
Gráfica N° 74: Resultado promedio, mínimo y máximo de S.S.T. al 50% de concentración de influente. ....	185 -
Gráfica N° 75: Resultado promedio, mínimo y máximo de S.S.T. al 100% de concentración de influente. ....	186 -
Gráfica N° 76: Resultado promedio, mínimo y máximo de S.S.T. al 100% de concentración de influente en la semana cierre.....	187 -
Gráfica N° 77: Resultado promedio de S.S.T. por concentración.....	188 -
Gráfica N° 78: Resultado promedio de Carga orgánica –periodo 1. (Al 33.3% de concentración de influente) .....	189 -
Gráfica N° 79: Resultado promedio de Carga orgánica en el Wetland CA y SA - periodo 1 (al 33.3% de concentración de influente). ....	190 -
Gráfica N° 80: Resultado Promedio de Carga orgánica – periodo 2 (al 50% de concentración de influente). ....	191 -
Gráfica N° 81: Resultado Promedio de Carga orgánica en el Wetland CA y SA – periodo 2 (al 50% de concentración de influente). ....	191 -
Gráfica N° 82: Resultado Promedio de Carga orgánica - periodo 3 (al 100% de concentración de influente). ....	192 -
Gráfica N° 83: Resultado Promedio de Carga orgánica en el Wetland CA y SA - periodo 3 (al 100% de concentración de influente). ....	193 -
Gráfica N° 84: Resultado Promedio de Carga orgánica - periodo 4 (al 100% de concentración de influente sin aireación).....	194 -
Gráfica N° 85: Resultado Promedio de Carga orgánica en el Wetland CA y SA - periodo 4 (al 100% de concentración de influente sin aireación).....	194 -
Gráfica N° 86: Resultados promedio de carga orgánica según concentración de muestra influente (periodos). ....	195 -
Gráfica N° 87: Resultados promedio de remoción de carga orgánica según su concentración (periodos). ....	196 -
Gráfica N° 88: Porcentaje de remoción de carga orgánica promedio según la concentración (periodos). ....	197 -

## **1. INTRODUCCIÓN**

En la presente tesis de grado, se prueba un método tradicional conocido en el rubro de tratamiento de aguas residuales como: los humedales artificiales, que con muy bajo costo de operación y mantenimiento podrían realizar el tratamiento secundario de las aguas residuales industriales; en este caso específico: de los camales o mataderos que habitualmente poseen una mayor concentración de contaminantes.

Para la comparación se estudiaron 2 humedales de flujo sub superficial: uno de diseño tradicional y el otro potenciado con un sistema de aireación mecanizado para el lecho, en busca de un mejor resultado, pero con un agregado de costo debido al equipamiento para la aireación; se analizará si estos resultados pueden o no ser compensatorios al costo agregado por la instalación del equipamiento de aireación.

### **1.1. Aspectos Sanitarios**

La contaminación y alteración de la calidad de las aguas en los ecosistemas naturales, con mayor frecuencia son ocasionadas por las descargas de aguas residuales, tanto domesticas como industriales, cuyos primeros afectados son los organismos vivos que se desarrollan, viven y alimentan en el agua. Estas alteraciones ocasionan una cadena de reacciones que modifican las condiciones de supervivencia entre ellos, para luego afectar no solo a los animales, plantas y microorganismos en su hábitat natural y equilibrada, sino también a los seres humanos que utilizan éstas aguas. Y esto se ve reflejado en la escasez de fuentes de agua de buena calidad para el consumo humano, notándose la presencia de vectores, parásitos, trazas de metales e insectos; incluso hasta inhabilitar la explotación de productos como peces y plantas de cultivo (hortalizas y otros) que en la actualidad son regados con aguas residuales, sin ningún cuidado sanitario; dando lugar a

problemas epidemiológicos y medio ambientales, que en el Perú todavía vienen ocurriendo.

## **1.2. Aspectos económicos y socioculturales.**

En el país, la búsqueda del desarrollo y crecimiento tanto de las urbes como de las zonas rurales, no toma en cuenta los costos necesarios para amortiguar el impacto que ocasionan sus efluentes, ya que considerarlos reduciría su margen de ganancias. Actualmente existen muchas alternativas o soluciones para disipar el impacto ambiental o la contaminación por las aguas residuales, pero los costos no son aceptados o no hay esa conciencia o cultura como para querer priorizarlo y hacerlo.

## **1.3. Aspectos Legislativos**

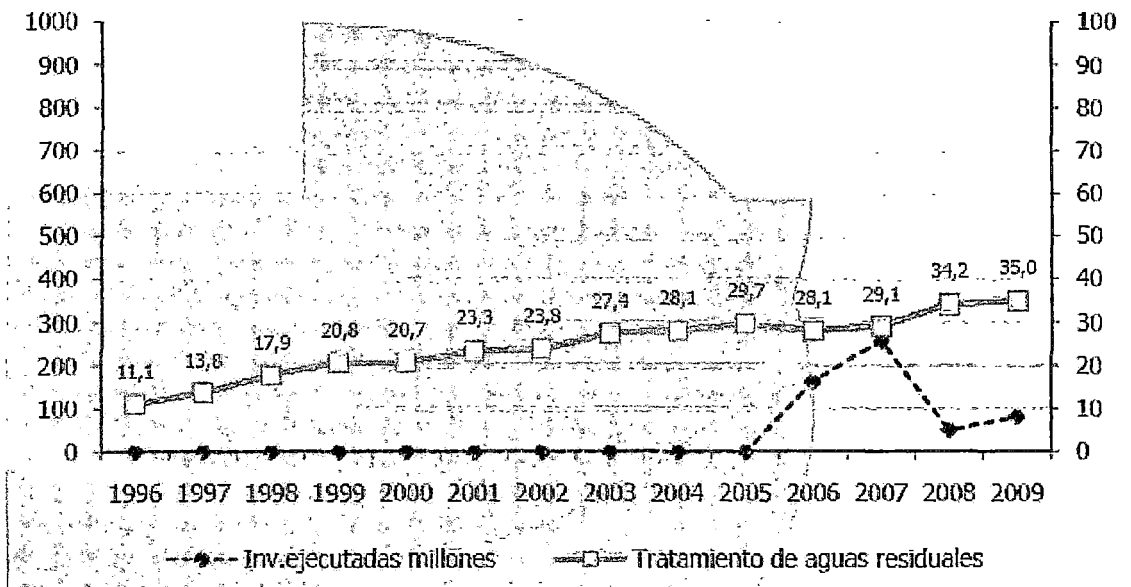
### **1.3.1. Normas Nacionales**

- Decreto Supremo 003-2010-MINAM, que regula con Límites Máximos Permisibles, los vertimientos de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, (PTAR), del sector vivienda.
- Decreto supremo 002-2008-MINAM, Estándares nacionales de calidad ambiental para agua.
- Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos.
- DECRETO SUPREMO N° 001-2010-AG, Reglamento de la ley de recursos hídricos.
- Reglamento de Desagües industriales. DL N° 28-60-SAPL (Límites máximos permisibles para vertidos a la red de alcantarillado)

#### 1.4. Tratamiento de las aguas residuales en el Perú.

La cobertura de tratamiento de aguas servidas se estimó en 35% a nivel nacional en el año 2009 <sup>1</sup>. Es decir que el 65% de las aguas residuales generadas no recibieron ningún tipo de tratamiento previo a su disposición final, lo cual representa un serio problema de contaminación al medio ambiente. Y qué decir de las aguas residuales industriales de las cuales no se tienen reportes consolidados a nivel nacional, pero evidentemente también es una fuente de contaminación para los ecosistemas.

Gráfica N° 1: Tratamiento de aguas residuales en el Perú <sup>1</sup>



<sup>1</sup> Indicadores de gestión de las EPS al 2009 – SUNASS, Gerencia de Supervisión y fiscalización -Consejo Directivo 22 de julio del 2010

## 2. DISEÑO DE LA INVESTIGACION

### 2.1. Planteamiento del problema

#### 2.1.1. Identificación del problema

La actual contaminación de los cuerpos de agua debido a las descargas sin tratamiento previo de las aguas residuales industriales, alterando los ecosistemas de ríos, lagos y mares.

**Foto N° 1:** Alcantarilla, agua residual de un matadero.



**Foto N° 2:** Vertimiento sin tratamiento sobre un cuerpo de agua.



### **2.1.2. Formulación del problema**

En nuestro país el manejo de las aguas residuales industriales constituye un problema crítico para la conservación de nuestro medio ambiente, pues se realizan vertidos directos (sin tratamiento) sobre los cursos de agua, además cuando los vertidos se realizan en las alcantarillas públicas, juegan un papel importante que muchas veces afecta el funcionamiento óptimo de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas manejadas por las EPS.

Las principales causas de la falta de tratamiento de aguas de matadero en nuestro país son: la falta de guía técnica y de difusión de tecnologías apropiadas para nuestra realidad, la falta de recursos económicos para implementar tecnologías costosas usadas actualmente en otros países y la falta de conciencia ambiental con una estricta normativa específica, así como mecanismos para fomentar su adecuada aplicación.



Los humedales artificiales tienen la desventaja de ser una alternativa para el tratamiento de las aguas residuales que requiere de espacio (superficie de terreno) para su implementación, llegando a ser este factor el determinante para ser desplazado por otra alternativa de tratamiento. Esta necesidad es la que se pretende superar con el presente estudio, así como encontrar mayores ventajas para su utilización masiva en el tratamiento de aguas residuales.

Mejorando las condiciones de aireación del lecho se espera aumentar los niveles de eficiencia en el tratamiento, adquirir nuevas ventajas o descubrir sus inconvenientes.

### **2.1.3. Justificación de la investigación**

El empleo de aireación a un Wetland subsuperficial ofrece una alternativa para el tratamiento de aguas residuales ya que posee un medio de contacto donde un conjunto de microorganismos conforman biopelículas capaces de remover la materia orgánica presente en el agua.

Se pretende fomentar sinergias o sumar ventajas para la consolidación de un nuevo sistema de tratamiento en el que un wetland y la diversidad biológica que puede poseer, se potencien con la disponibilidad de oxígeno que es muy requerido para diversos procesos biológicos. Además de la estimulación para el desarrollo de otros procesos que se puedan llevar al interior del Wetland.

Esta investigación permitirá determinar las ventajas y/o desventajas del uso de humedales artificiales subsuperficiales de flujo horizontal con aireación del lecho filtrante con respecto a los humedales tradicionales subsuperficiales de flujo horizontal como alternativa de tratamiento secundario para efluentes de mataderos. La

determinación de las eficiencias de remoción de materia orgánica de este sistema de tratamiento en escala piloto es importante debido a que nos permitirá conocer sus ventajas y así introducir nuevos criterios de tratamiento de aguas residuales.

Puede ser un aporte importante como alternativa para la reducción de la contaminación de los cuerpos receptores y el desarrollo sostenible en las localidades.

De ser positivo la hipótesis y de comprobada su aplicabilidad, puede tener impactos hacia otros sectores, debido a que puede darse el reuso del agua.

La factibilidad, está dada porque el tema de estudio puede ayudar a resolver la crisis actual por el uso del agua que se viene suscitando en muchas regiones del planeta, se puede dar a conocer una alternativa eficaz para el tratamiento de agua.

A nivel de conocimientos no se ha encontrado investigación que vaya específicamente en lo que se plantea y es una nueva variante para el uso de Wetland.

## **2.2. Objetivos**

### **2.2.1. Objetivos Generales**

- Determinar experimentalmente las ventajas del tratamiento secundario de aguas de matadero mediante humedales artificiales subsuperficiales de flujo horizontal con aireación del lecho filtrante, en su depuración con respecto a una unidad similar pero que no posee aireación del lecho filtrante.

### **2.2.2. Objetivos Específicos**

- Encontrar una alternativa eficaz para el tratamiento de las aguas residuales con un mayor impacto en la reducción de la contaminación.
- Comprobar la potencial utilización del Wetland como una alternativa complementaria de tratamiento equiparable o superior a las tecnologías convencionales.

### **2.3. Hipótesis**

La aireación del lecho filtrante en un wetland de flujo horizontal subsuperficial, incrementa la eficiencia del tratamiento biológico, con respecto a un wetland tradicional de flujo horizontal subsuperficial.

### **2.4. Variables del estudio**

Con relación a los parámetros indicadores de la operación óptima de la unidad, se han considerado para el proceso de monitoreo, las siguientes variables:

- ✓ Demanda Química de Oxígeno. (DQO)
- ✓ Demanda Biológica de Oxígeno. (DBO)
- ✓ Oxígeno Disuelto. (OD)
- ✓ Sólidos Suspendidos. (SS)
- ✓ Turbidez.
- ✓ Potencial de Hidrogeno. (PH)
- ✓ Temperatura.
- ✓ Conductividad.

### **3. MARCO TEORICO**

#### **3.1. Los humedales artificiales**

Los humedales son las zonas húmedas, encharcadas, pantanosas o marismas, charcas, turberas, aguas rasas, riveras, areneros o canales abandonados tanto naturales o artificiales; se distingue por que son suelos saturados con agua, que es un factor determinante en la naturaleza para que se desarrollen seres bióticos en estos ecosistemas.

Los humedales artificiales, son humedales construidos en el aspecto sanitario como una alternativa más para el tratamiento de las aguas residuales, buscando replicar los procesos de autodepuración que ocurre en un humedal natural. Dado que el objetivo primario es el tratamiento del agua residual, todo el diseño y creación de estos humedales artificiales apunta a esto. Pero no se deja de tomar en cuenta los otros productos o beneficios que se obtienen y lo hacen peculiar, como la presencia de plantas e insectos, entre otros seres que se generan en torno al humedal, creándose como parte de un ambiente paisajístico. Para luego al efluente del sistema darle otro posible uso, pero ya con una mejor calidad.

En su implementación se requiere de un área libre de terreno dependiendo principalmente de la cantidad y calidad de agua a tratar como también de las características del efluente que se espera obtener.

### 3.1.1. Clasificación de los humedales artificiales

Los humedales artificiales pueden ser clasificados según la ubicación del flujo de agua, así como por la dirección y trayectoria del mismo, generando diversas condiciones:

- a. Humedal de Flujo Superficial (H.F.S.)
- b. Humedal de Flujo Sub-Superficial (H.F.S.S.)
- c. Humedal de Flujo Vertical Ascendente o Descendente (H.V.F.A. o H.V.F.D.)

**a. Los Humedales con Flujo Superficial (H.F.S.);** Son de flujo libre o con el agua expuesta a la atmosfera e intemperie. Siendo poco profundos de entre 10 a 50 cm, tiene debajo del lecho saturado una capa impermeable, generalmente, en este lecho las plantas emergentes prenden sus raíces, se recomienda realizar un pre-tratamiento al afluente a tratar, de lo contrario se puede presentar procesos análogos a la eutrofización, disminuyendo el periodo de vida y rendimiento del humedal. Entre sus ventajas esta el fácil mantenimiento y operación, con bajos costos y construcción simple. Entre sus desventajas esta la necesidad de grandes áreas de terreno, con posible presencia de vectores como sancudos o mosquitos.

**b. Los Humedal de Flujo Sub-Superficial (H.F.S.S.);** El flujo de agua no está a la vista, dando la apariencia de un jardín; por ello, a veces pasa desapercibido como unidad de tratamiento. El flujo se desarrolla en un medio poroso, por ello se debe de tomar en cuenta el material del lecho a saturar (que constituye el humedal). Se gradúa cierta pendiente de 0.5% a 2 % al nivel de fondo de la superficie del material impermeable, y se toma en cuenta que plantas tienen raíces adecuadas para usar en este

sistema. Tiene casi las mismas ventajas que el H.F.S., pero se debe tener mayor cuidado en el pre tratamiento, ya que tendríamos como problema adicional la saturación del lecho, acortando aun más el periodo de vida del humedal en su flujo sub superficial; pero se evita el problema de vectores originados en el H.F.S.

Se considera como mínimo de 15cm a 30 cm como espesor o altura de material del lecho sin saturar por encima del nivel de agua de la capa o lecho saturado.

- c. **Humedal de Flujo Vertical (H.F.V.);** El afluente ingresa por la superficie superior del lecho, y éste se distribuye lo mejor posible a través de una red de tuberías o tuberías en paralelo, de tal manera que el agua vertida en la parte superior, haga un recorrido hasta el fondo, donde se encuentra la tubería de salida, que recolecta todo el flujo por el fondo y al extremo del lecho. Se considera tener un lecho de mayor altura que los otros humedales, ya que el contacto depende mucho de la altura del lecho.

### **3.1.2. Componentes del humedal Subsuperficial**

#### **a. Agua**

Factor primario para el adecuado funcionamiento del humedal ya que forma parte del medio en que se desarrollara el tratamiento. Se tiene que tomar en cuenta sus características químicas y físicas como la calidad o tipo de agua y el volumen o caudal a tratar. Siendo los procesos biológicos un papel importante en el humedal artificial, el agua que ingrese no debe ser de una extrema baja calidad, tales como: poseer temperaturas extremas, o

características corrosivas u otros factores extremos que no permitirían el desarrollo de algún tipo de micro vida.

Es por ello el agua antes de entrar al humedal, debe de pasar por un pre-tratamiento o tratamiento primario, con el fin de brindarle mayor ayuda y no cargarlo; entendiéndose que esta agua no solo se está tratando, si no se está reusando para el desarrollo de las plantas puestas en el humedal, claro que este es un objetivo no buscado, pero es un gran indicador del desarrollo normal del ecosistema en el humedal.

**b. Medio de soporte**

Está constituido por suelo o grava, debe tener entre sus características la porosidad necesaria, para que el flujo del agua residual y aire se produzca en régimen adecuado y se desarrollen diferentes procesos al interior del lecho, tales como: sedimentación, precipitación, colisión, retención entre otros procesos físicos y biológicos (como la presencia de una biopelícula, y otros microorganismos que tienen como alimento la materia orgánica de las aguas residuales).

Se debe de tener cuidado en la selección del tamaño de material, ya que si es muy pequeño, el crecimiento de la masa microbiológica generaría una obstrucción del lecho o una rápida saturación; tal es el caso que para los H.F.S.S. terminaría inundándose y convirtiéndose en un H.F.S.

**c. La vegetación**

Una característica importante a observar, es que la planta resista la calidad de agua a la cual sus raíces entraran en contacto, también de alguna manera que la planta sea de gran consumo de nutrientes o que demande buena cantidad de materia orgánica, reflejándose en su crecimiento. La materia orgánica que consume, es parte de lo que remueve el sistema de tratamiento.

Las plantas emergentes contribuyen al proceso de tratamiento del agua residual de la siguiente manera:

- Estabiliza el sustrato
- Dan lugar a velocidades de agua bajas, altos tiempos de retención hidráulica y permite que los materiales suspendidos sedimenten.
- Toman el carbono, nutrientes y minerales y los incorporan a sus tejidos.
- El escape de oxígeno desde las estructuras sub superficiales de las plantas, oxigena otros espacios dentro del sustrato.
- El tallo y los sistemas de la raíz dan lugar a sitios para la fijación de microorganismos.

**d. Los microorganismos**

Todo organismo vivo necesita una fuente de energía, carbono, nitrógeno, algo de azufre y fósforo; también necesitan de varios metales como: sodio, potasio, calcio, hierro, zinc y otros, pero en pequeñas cantidades. Para ello tienen enzimas y compuestos vitamínicos que ayudan al desarrollo de un metabolismo adecuado en su interior. Pero, ante todo los seres vivos necesitan agua para su crecimiento y vida. En el caso de las bacterias, todos los



nutrientes deben de estar en solución antes que puedan ser incorporados a sus organismos.

Podemos clasificar los microorganismos según su fuente de energía y fuente de carbono en:

- Fotógrafos, que utilizan la luz como fuente de energía, y dentro de estos tenemos los fotoautótrofos y fotoheterótrofos.
- Quimiótrofos, los cuales la obtienen la energía a partir de compuestos orgánicos de carbono, mediante procesos de oxidación.
- Autótrofos o quimio autótrofos con necesidades más simples, obtienen energía de la oxidación de compuestos inorgánicos en bajo estado de oxidación tales como  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}^-2$  y el  $\text{CO}_2$ . Tal es el caso de las plantas y algunas bacterias.
- Heterótrofos o quimioheterótrofos, que utilizan compuestos químicos como fuente energética y compuestos orgánicos como fuente de carbono. Frecuentemente un mismo compuesto actúa como fuente de energía o de carbono, para este tipo de microorganismo más complejos que el grupo anterior.

En consecuencia se observa el papel importante que tienen los microorganismos en el ciclo bioquímico del agua, capaces de actuar sobre muchos compuestos orgánicos tanto naturales como originados por el hombre, generando al final de sus procesos  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{O}_2$  en el caso de las algas, que son compuestos más simples y menos.

Estos micro-seres condicionan y al mismo tiempo están condicionados por la calidad de agua presente en el humedal, tipo de plantas, temperatura y otras características fisicoquímicas. Predominando los microorganismos que encuentran las mejores condiciones para su desarrollo; pero esto no impide que otros microorganismos también se desarrollen, de manera que los

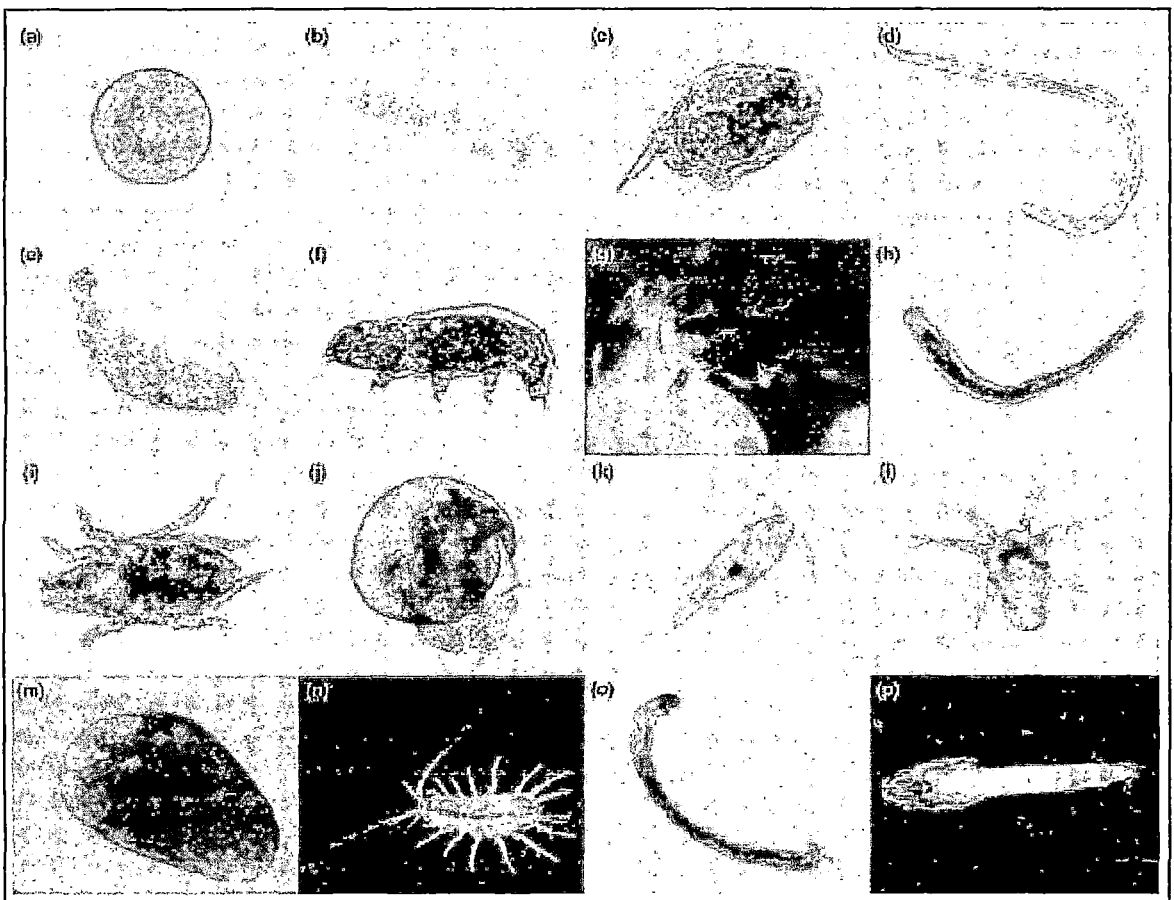
primeros no sean tan predominantes. La ausencia de un tipo de microorganismo o su desarrollo, nos da un indicio de la existencia o carencia de determinadas condiciones para el desarrollo de un tratamiento biológico adecuado, que frecuentemente está limitado por las características altamente tóxicas que pueda tener el agua residual a tratar.

**e. Animales vertebrados e invertebrados**

Siendo el humedal artificial la imitación de un humedal natural, es también todo un ecosistema creado; donde el agua, las plantas, los microorganismos y la misma materia orgánica presente (no solo la contenida en el agua sino también la aportada por las plantas), constituyen un hábitat para animales como aves e insectos, que ven en el humedal un sitio donde pueden encontrar albergue y comida.

Los invertebrados como los gusanos o larvas de insectos participan en el proceso de remoción de materia orgánica del agua ya que ellos también se alimentan de estos.

**Figura N°. 1** - Ejemplos de protozoos e invertebrados que se encuentran comúnmente en los sistemas de distribución de agua: (a) testácea (sin cáscara amebas), (b) Turbellaria (gusanos planos), (c) Los rotíferos; (d) Los nematodos (gusanos redondos), (e) Gastroticha; (f) Tardigrada; (g) gasterópodos (caracoles), (h) Oligochetes (gusanos comunes); (i) Hydrachnellae (ácaros del agua), (j) cladóceros (pulgas de agua); (k) Copepoda; (l) Las larvas de copépodos ; (m) ostrácodos; (n) Asellidae (acuáticos cochinillas); (o) Las larvas de Chironomidae; (p) para adultos de Chironomidae. Desde van Liverloo et al. (2002).<sup>2</sup>



<sup>2</sup> Wastewater Microbiology / Gabriel Bitton. - John Wiley & Sons, Inc- 3rd ed.- 2005

### 3.2. Plantas para Wetlands

#### 3.2.1. Typha

*Typha* spp. (Cattails) (Typhaceae) Son plantas perennes erectas rizomatosas con tallos juntos. Los rizomas son extensas ramas, producen brotes aéreos a intervalos (figura N°3) y crecen en profundidad en la dirección horizontal. Las hojas son planas o ligeramente redondeadas y llegan hasta la altura de 3 m.

Inflorescencia (figura N°4) es una zona densamente compacta cilíndrica, 15 a 50 cm de pico largo, que puede producir hasta 200.000 semillas con un alto porcentaje de viabilidad (Prunster, 1940; Yeo, 1964). Las espigas femeninas son inferiores a los hombres y la distancia entre ellos es la base para la determinación.



Figura N°. 2, *Typha angustifolia*

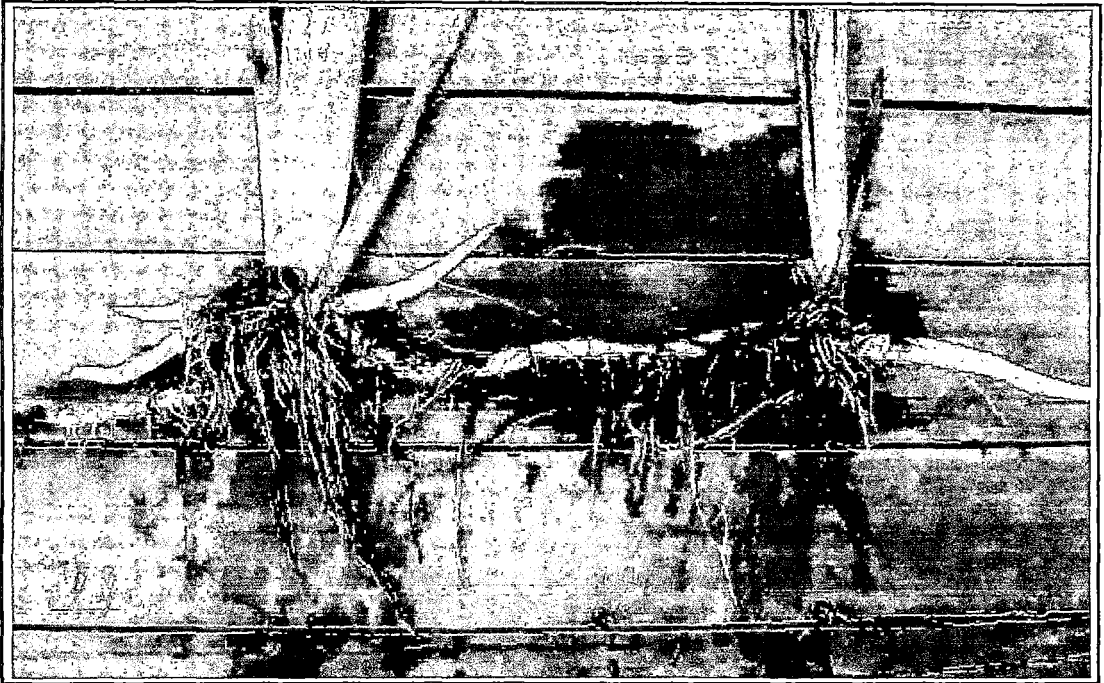
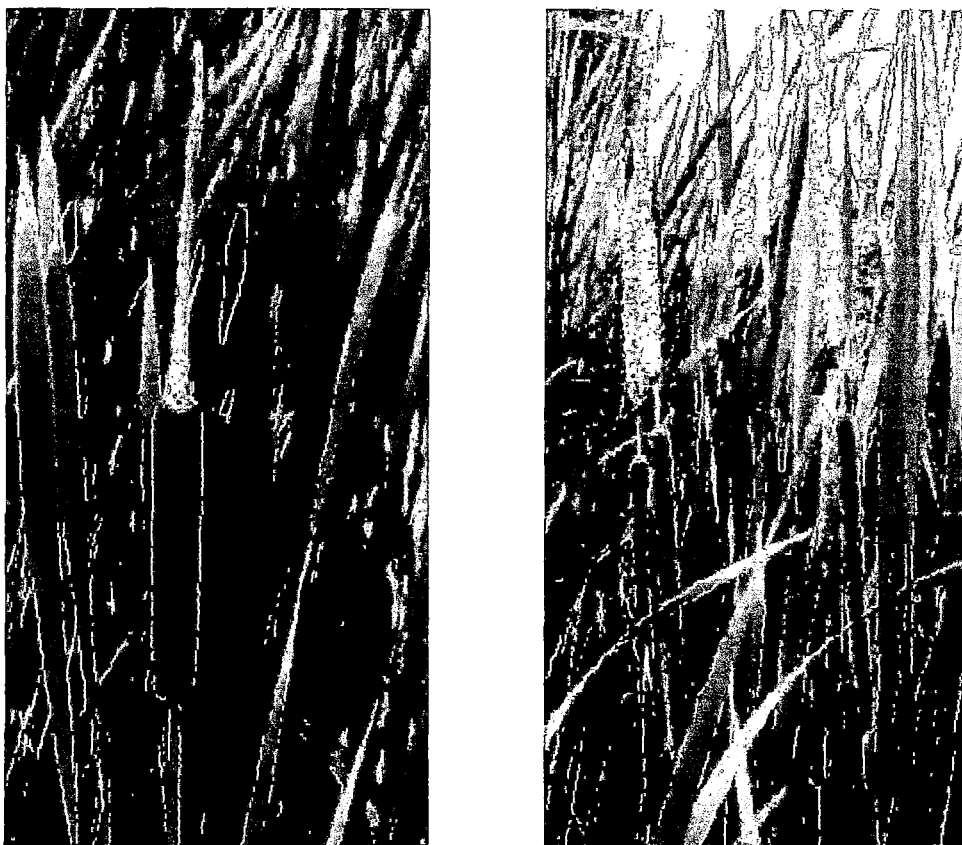


Figura N°. 3, Raíces y rizomas de *Typha latifolia*



**Figura N°. 4,** Inflorescencia de *Typha latifolia* (izquierda) y *Typha angustifolia* (derecha)

Espadaña, especies se encuentran comúnmente en bahías poco profundas, acequias, lagos, lagunas, ríos; tanto en agua salobre y dulce. Son cuatro las principales especies de *Typha*, entre otros, se encuentran en los humedales: *Typha latifolia* L. (espadaña común, de hoja ancha totora), *Typha angustifolia* L. (espadaña de hoja estrecha), con *Typha domingensis*. (Sur de totora, espadaña de Santo Domingo), *Typha glauca* GRD. (Totora Azul).

*Typha angustifolia* prefiere entre 30 y 110 cm de profundidad de agua y se enfrenta así con la disminución a corto plazo del nivel del agua y la sequía, incluso.

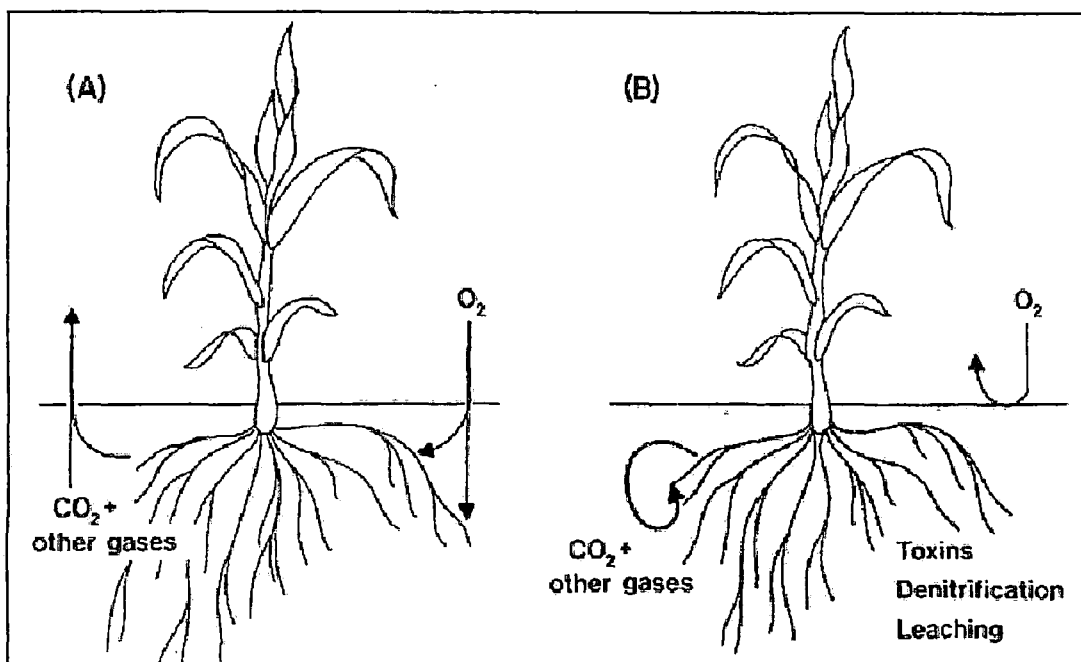
Por otra parte, *Typha latifolia* prefiere entre 20 y 50 cm de profundidad de agua y no le gusta las fluctuaciones del nivel del agua.

El uso de *Typha* en los humedales artificiales de flujo horizontal está limitada, principalmente porque las estructuras subterráneas (raíces y rizomas) son muy superficiales, los sedimentos ocupados por *Typha* son generalmente más anaeróbicos, entonces en presencia de otras plantas y tasa de humificación, la creación de suelo capa dentro de la zona de la raíz, es mucho más rápido en comparación con otras especies.

### **3.2.2. Adaptaciones de las plantas a las inundaciones**

Con las inundaciones, el espacio poroso del suelo está totalmente lleno de agua, y el intercambio gaseoso entre el suelo y la atmósfera es prácticamente eliminado (fig. 5).

Hay pocas especies de plantas que toleran la exposición prolongada a inundación del suelo tanto en características metabólicas y de la evasión (Hook et al, 1971; Juan y Greenway, 1976; Vartapetian et al, 1978; Gancho y Scholtens, 1978; Davies, 1980; Kozlowski, 1982), Lo que sugiere que la tolerancia de inundación no es transmitida por una adaptación única, sino más bien por una combinación de adaptaciones (Hook, 1984).



**Figura N°. 5.** Efecto de las inundaciones en el intercambio de gases entre las raíces, el suelo y atmósfera; en la lixiviación y la formación de la toxina en el suelo. (A) Bien aireado, desde 3,5 hasta 17 L. de  $O_2\ m^{-2}\ d^{-1}$ , (B) inundadas. De Jackson y Drew (1984), con autorización de Elsevier.

La literatura está llena de descripciones del comportamiento de las plantas a la inundación (Tabla 3-1). Un número tan elevado de respuestas diferentes han contribuido a la confusión en cuanto a cuáles de ellas son adaptaciones. Sin embargo, la capacidad de tolerar o evitar la anoxia es bastante común entre las plantas vasculares. Esto sugiere que sólo hay algunas soluciones morfológicas, fisiológicas y bioquímicas para el problema de la vida de las plantas en un hábitat periódicamente inundados (Hook, 1984). Otro problema en la interpretación de la respuesta de las plantas a la inundación y/o anegamiento es que en distintas poblaciones con diferencias genotípicas y fenotípicas de las inundaciones, sin duda, existe la tolerancia (Crawford y Tyler, 1969; Gill, 1970) y con toda



probabilidad, los investigadores no prestan atención a este detalle importante (Tineo, 1999).

Una amplia gama de adaptaciones deben darse para que las plantas crezcan en el agua o los humedales. Estas adaptaciones incluyen respuestas fisiológicas, adaptaciones morfológicas, respuestas de comportamiento, reproducción y otras estrategias. Estas características y los procesos afectan también la tolerancia a las inundaciones y la saturación de las especies, lo que influye en la distribución de plantas en los humedales. Las especies menos adaptadas poseen sólo adaptaciones menores y por lo tanto se suele limitar a los márgenes de las elevaciones más altas. Las especies con las adaptaciones más eficaces se encuentran en las condiciones más húmedas (Tineo, 1999).

Debido a su baja difusividad en el agua, la zona de oxigenados en la superficie del suelo puede limitarse a una profundidad de sólo unos pocos milímetros.

De Jackson y Drew (1984), con autorización de Elsevier. Gopal y Masing (1990) señaló que las inundaciones no pueden ser vistas como un factor de estrés del medio ambiente contra el cual las plantas deben adaptarse e incluso puede ser un requisito esencial para el crecimiento normal. Las plantas pueden adaptarse metabólicamente a tolerar la anoxia (verdaderamente tolerante a la anoxia), adaptación morfológica y fisiológicamente para evitar la anoxia (aparentemente anoxia tolerante), o no puede adaptarse y sucumbir rápidamente a la anoxia (anoxia intolerantes) (Vartapetian et al., 1978).

**Tabla 3-1.** Ejemplos de cultivo permanente sobre el suelo ( $\text{g m}^{-2}$ ) y la productividad primaria neta aérea (NAPP,  $\text{g m}^{-2} \text{año}^{-1}$ ) en los macrófitos de los humedales que crecen en bosques naturales.<sup>3</sup>

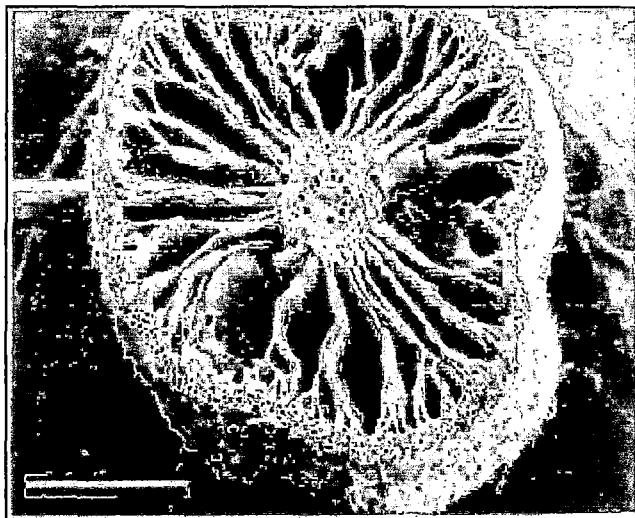
Species	Standing crop	NAPP	Location	Ref.
<b>Emergent</b>				
<i>Cyperus papyrus</i>	1,484-7,800	4,180-12,500	Kenya, Uganda	1-5
<i>Glyceria maxima</i>	656-2,690	660-2,860	Germany, Czech Rep., UK	6-13
<i>Phalaris arundinacea</i>	440-2,304	800-2,370	Canada, Czech Rep., India, UK, USA	14-21
<i>Phragmites australis</i>	413-9,890	780-12,898	Australia, Czech R., Denmark, UK, Finland, Germany, Morocco, Sweden	22-29
<i>Scirpus lacustris</i>	650-4,200	420-4,600	Czech R., Denmark, Germany	8,11, 12, 30
<i>Typha angustifolia</i>	800-5,190	807-4,040	Czech R., Denmark, UK, Germany, Poland	8, 13, 30, 31, 32
<i>Typha latifolia</i>	181-3,560	322-3,560	Canada, Czech R., Poland, UK, USA	13, 19, 33-38
<b>Submerged</b>				
<i>Ceratophyllum demersum</i>	500-700	228-960	Germany, India, Russia, Malawi, Sweden	8, 39, 40, 41, 42
<i>Myriophyllum spicatum</i>	20-402	150-640	Germany, India, USA	8, 43, 44, 45
<i>Potamogeton pectinatus</i>	100-1,313	143-830	Australia, India, Germany, Russia, Netherlands, Poland	8, 35, 39, 40, 46, 47
<b>Free-floating</b>				
<b>Lemnaceae</b>	10-295	750->1,000	India, Israel	39,48-50
<i>Eichhornia crassipes</i>	440-2,130	200-6,520	India, Japan, USA	39,51-54

1- Thompson et al. (1979), 2- Westlake (1975), 3- Jones and Maturi (1977), 4- Jones (1988), 5- Gaudet (1982), 6- Westlake (1966), 7- Jakrlóvá (1975), 8- Esteves (1979), 9- Ondok and Dykyjová (1973), 10- Květ and Ondok (1973), 11- Hejný et al. (1981), 12- Věber and Zahradník (1986), 13- Dykyjová (1971), 14- Ho (1979a), 15- Klíne and Boersma (1983), 16- Lawrence and Ashford (1969), 17- Hlávková-Kumnacká (1980), 18- Lukavská (1989), 19- Pearsall and Gorham (1956), 20- Handoo and Kaul (1982), 21- Whigham and Simpson (1975), 22- Hocking (1989), 23- Dykyjová and Květ (1982), 24- Larsen and Schierup (1981), 25- Kansanen et al. (1974), 26- Ennabili et al. (1998), 27- Björk (1967), 28- Boar et al. (1989), 29- Rolletschek et al. (2000), 30- Andersen (1976), 31- Mason and Bryant (1975), 32- Kufel (1991), 33- Dykyjová and Květ (1978), 34- Van der Valk and Bliss (1971), 35-

<sup>3</sup> Wastewater treatment in Constructed wetlands with horizontal sub surface flow - Jan Vymazal, Lenka Kröpfelová - © 2008 Springer Science + Business Media B.V.  
NAPP: es la biomasa que se incorporó en las partes aéreas (hojas, tallos, semillas y órganos asociados) de la planta.

### 3.2.3. Mecanismos de transporte de gas en las plantas Wetland

La principal característica anatómica de las plantas de los humedales es la presencia o desarrollo de espacios de aire en diferentes partes de las hojas, tallos, rizomas y raíces (Gopal y Masing, 1990; Brix, 1998; Tiner, 1999). La presencia de aerénquima (llena de aire) los tejidos (Fig. 6) y los vacíos en las plantas de los humedales ayudan mucho para que éstas plantas crezcan en suelos anaeróbicos o anóxicos. Según Gopal y Masing (1990), estos espacios de aire se han considerado importantes reservorios de oxígeno que se transporta a través de canales interconectados y hasta las raíces y otros órganos sumergidos (Arber, 1920; Sifton, 1945, 1957, Williams y Barber , 1961; y Whitmoyer Kawase, 1980).



**Figura N°. 6.** Micrografía de espacios de gas en las raíces de *Typha latifolia* (barra de escala, de 1 mm). De Brix (1998) con la autorización de Editores Backhuys.

Muchos estudios han demostrado un aumento de aerénquima en las plantas sometidas a inundaciones y fuertes anaerobiosis (Seliskar, 1988; Burdick y Mendelssohn, 1990; Kludze et al, 1994; Kludze y Delaune 1994, 1996). No está claro si la formación de aerénquima es

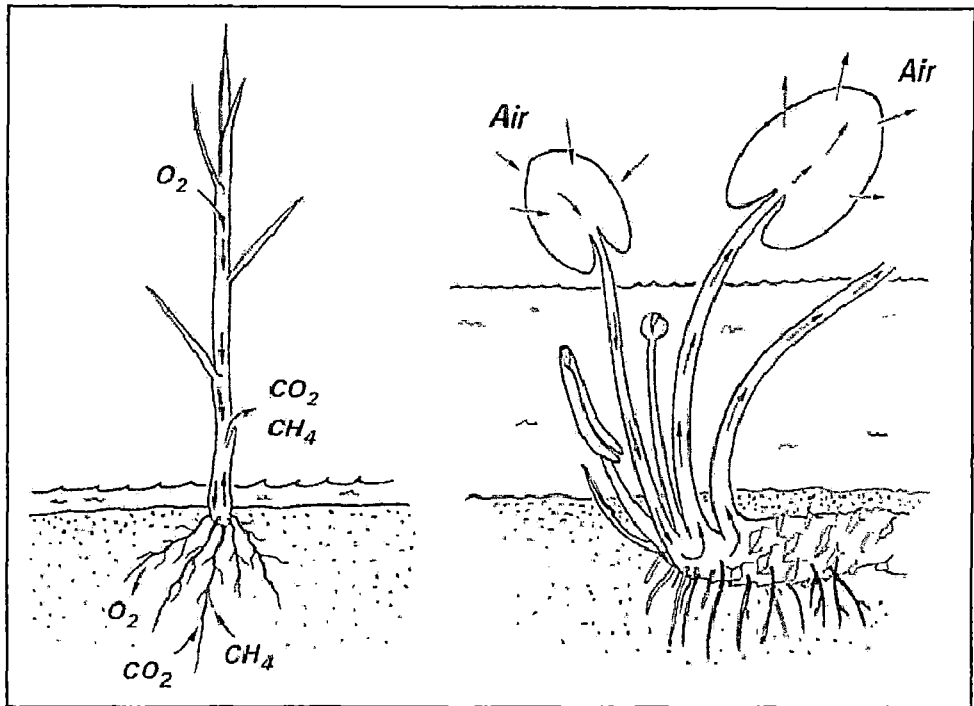
inducida por deficiencia de oxígeno o por la acumulación de anaerobiosis - causada por fitotoxinas y los productos gaseosos de descomposición (Kludze y Delaune, 1996). En algunas especies, el aumento de la producción de etileno en anaerobiosis mejora el desarrollo de aerénquima (Drew et al., 1979). La formación de aerénquima tarda varias semanas o meses para modificar por completo la anatomía radicular (Das y Jat, 1977; Keeley y Franz, 1979; Burdick, 1989).

La mayor parte del siguiente texto ha sido adoptado de Brix (en Vymazal et al., 1998b, con la autorización de los editores Backhuys). El transporte interno de oxígeno en las plantas de los humedales puede producirse por difusión molecular pasiva tras los gradientes de concentración dentro del sistema de lagunaje, y por el flujo convectivo (es decir, a flujo neto) de aire a través de los espacios interiores de gas de las plantas (Brix, 1993b). La difusión es el proceso por el cual la materia se transporta de una parte de un sistema a otro como resultado del movimiento molecular al azar. El movimiento neto de la materia será de las zonas con menor concentración o presión parcial a los sitios con concentraciones más bajas (fig. 7). En el caso de las plantas de los humedales, el oxígeno se difunde a lo largo de un gradiente de concentración de la atmósfera en las partes aéreas de la planta y por los espacios interiores de gas a los rizomas y raíces. Por el contrario, el CO<sub>2</sub> producido por la respiración de las raíces y CH<sub>4</sub> producidos en la difusión de sedimentos a lo largo de gradientes de concentración inversa se difunden en la dirección opuesta (Brix, 1993b).

La creencia general de que el transporte interior del gas a través del aire, espacios de brotes y raíces de las plantas de los humedales se produce exclusivamente por la difusión en fase gaseosa, ha sido invalidada recientemente. En muchas especies la convección, juega un papel importante para la aireación de los tejidos por debajo del suelo. El flujo de convección del aire en las plantas puede ser a través

de flujo o no a través del flujo (Armstrong et al., 1991) y puede ser iniciado por los diferentes procesos físicos (Brix, 1998).

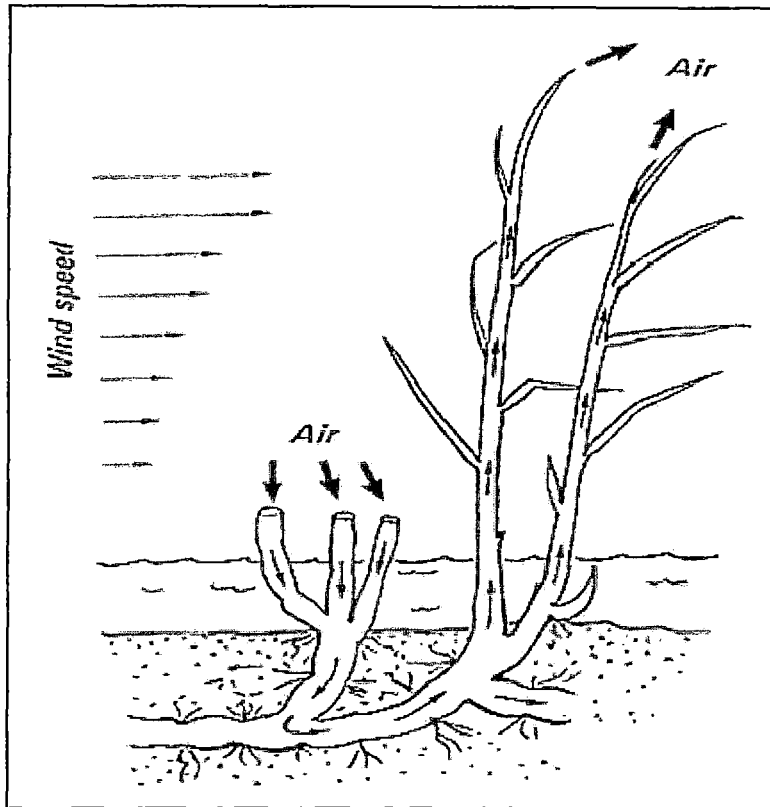
La convección en lirios de agua es impulsado por las diferencias de temperatura y presión de vapor de agua entre el interior de las hojas y el aire circundante (Knudsen difusión) (Schröder et al, 1986; Dacey, 1987). Las fuerzas impulsoras son dos procesos puramente físicos, a saber, la transpiración térmica y de humedad de presurización inducida. Transpiración térmica es el movimiento del gas a través de un tabique poroso, donde existe un gradiente de temperatura a través de la partición. Humedad inducida por la presurización se relaciona con las diferencias de presión inducidas por diferencias en la presión de vapor de agua a través de una partición porosa. El resultado de la presurización de humedad inducida es que la presión total será mayor en el lado más húmedo de la partición. En el caso de los lirios de agua, la presurización es mayor en las hojas más jóvenes.



**Figura N°. 7.** Izquierda: Difusión pasiva de gases en el sistema lagunar de las plantas de los humedales. El oxígeno se difunde a lo largo de un gradiente de concentración de la atmósfera en las partes aéreas y se establece en los espacios interiores de gas de los rizomas y raíces. Por el contrario, al  $\text{CO}_2$  producido por la respiración de las raíces y  $\text{CH}_4$  producidos en la difusión de sedimentos a lo largo de la pendiente inversa en la dirección opuesta. De Brix (1993b).

Derecha: La ventilación a presión de la raíces del sistema no se limitan a los lirios de agua y las especies con una morfología similar. La aireación de los rizomas de *Phragmites australis* (caña común) es significativamente mayor por una convección similar a través del mecanismo de flujo (Armstrong y Armstrong, 1990).

Además, las investigaciones han demostrado que la presurización interna y convección a través del flujo impulsado por gradientes de temperatura y presión de vapor de agua parece ser los atributos comunes de una amplia gama de plantas de humedales, incluidas las especies con hojas cilíndricas y lineal como *Typha* (Espadaña), *Schoenoplectus* (Junco) y *Eleocharis* (Spikerush) (Brix et al, 1992; Bendix et al, 1994; Tombjerg et al, 1994).



**Figura N° 8.** Venturi inducida por convección a través del flujo de *Phragmites australis*. Los brotes más altos y cañas de edad están expuestos a la velocidad del viento superior a los brotes rotos y cerca de rastrojos al nivel del suelo. Esto induce una diferencia de presión que aspira el aire atmosférico en los sistemas de raíces subterráneas. De Brix (1993b). Copyright © 1993 de Humedales Construidos para el Mejoramiento de la Calidad del Agua por la Asamblea General Moshiri (ed.). Reproducido con permiso de Taylor & Francis, una división de Informa plc.

Un tipo de paso continuo de convección - Venturi de convección inducida (figura N°8) - se ha demostrado en *Phragmites* (Armstrong et al, 1992.). Este mecanismo se basa en el gradiente de la velocidad del viento alrededor de la planta, la velocidad es más alta en los puestos más altos en el dosel. En contraste con la humedad y la temperatura inducido por convección, la convección inducida por venturi puede

operar en las plantas dañadas y muertas, y también durante la noche y el invierno, cuando el vapor de agua y los gradientes de temperatura son pequeñas o faltan (Brix, 1989, 1998).

#### **3.2.4. Biomasa, Productividad y descomposición**

La biomasa es más frecuente definida como la masa de todos los tejidos vivos en un momento dado en una determinada unidad de superficie de la Tierra (Lieth y Whittaker, 1975). Se suele dividir en subterráneos (raíces, rizomas, tubérculos, etc) y la biomasa aérea (todas las partes vegetativas y reproductivas por encima del nivel del suelo).

Raíces y rizomas de los macrófitos sumergidos forman parte menor de la biomasa total de la planta que en el caso de las especies de hojas flotantes y emergentes (Tabla 3-1).



**Tabla 3-1.** Porcentaje de la biomasa total que se encuentran en los tejidos subterráneos (raíces y rizomas) de los macrófitos acuáticos adultos (basado en Wetzel, 2001, con permiso de Elsevier).<sup>4</sup>

Type and species	Common name	% of total biomass
<b>Submerged</b>		
<i>Ceratophyllum demersum</i>	Coontail	<10
<i>Elodea canadensis</i>	Common waterweed	<5
<i>Myriophyllum spicatum</i>	Eurasian watermilfoil	6-12
<i>Potamogeton pectinatus</i>	Sago pondweed	18
<i>Potamogeton perfoliatus</i>	Reed-head grass	31-51
<i>Vallisneria americana</i>	Wild celery	48
<i>Isoetes lacustris</i>	Quillwort	20-52
<b>Floating</b>		
<i>Eichhornia crassipes</i> *	Water hyacinth	10-56
<b>Floating-leaved</b>		
<i>Nuphar</i> spp.	Yellow water lily	46-80
<i>Nymphaea</i> spp.	Water lily	48-80
<b>Emergent</b>		
<i>Acorus calamus</i>	Sweet flag	49-66
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	Water plantain	40
<i>Carex lasiocarpa</i>	Hairy fruited sedge	50-78
<i>Carex rostrata</i>	Beaked sedge	18-82
<i>Cyperus fuscus</i>	Brown cyperus	7-8
<i>Cyperus papyrus</i>	Papyrus	31
<i>Eleocharis rostellata</i>	Small-beaked spikerush	47
<i>Equisetum fluviatile</i>	Water horsetail	40-83
<i>Glyceria maxima</i>	Sweet mannagrass	>30-67
<i>Phragmites australis</i>	Common reed	>36-96
<i>Pontederia cordata</i>	Pickereelweed	56-67
<i>Scirpus lacustris</i>	Giant bulrush	>46-90
<i>Sparganium</i> sp.	Bur-reed	>25-66
<i>Typha angustifolia</i>	Narrowleaf cattail	>32-67
<i>Typha latifolia</i>	Broadleaf cattail	29-82
<i>Zizania aquatica</i>	Annual wildrice	7-29

After Westlake (1965, 1966, 1968); McNaughton (1966), Fiala et al. (1968); Knipling et al. (1970); Lack (1973); Bernard (1974); Nicholson and Best (1974); Kansanen and Niemi (1974); Ozimek et al. (1976, 1986); Schiemer and Prosser (1976); Andersen (1976); Szczepańska (1976); Fiala (1976, 1978); Whigham and Simpson (1978); Schierup (1978); Květ and Husák (1978); Kaul et al. (1978); Thompson et al. (1979); Toivonen and Lappalainen (1980); Dykyjová (1980); Grace and Wetzel (1981); Center and Spencer (1981); Han (1985); Twilley et al. (1985); Bernard and Fiala (1986); Hwang et al. (1996); Saarinen (1998). \*submerged roots

<sup>4</sup> Wastewater treatment in Constructed wetlands with horizontal sub surface flow - Jan Vymazal, Lenka Kröpfelová - © 2008 Springer Science + Business Media B.V. Pag, 110

### 3.2.5. Evapotranspiración

Las pérdidas de agua atmosférica a partir de un humedal se producen en el agua y el suelo (la evaporación), y de parte de las plantas emergentes (transpiración). La combinación se denomina evapotranspiración. Se ha sabido durante mucho tiempo que la evapotranspiración es un componente muy importante del balance de agua y la ecología de los ecosistemas de humedales (por ejemplo, Otis, 1914; Penfound y Earle, 1948, Timmer y Weldon, 1967). Para iniciar la evapotranspiración la relación evaporación/transpiración ( $E_t / E_o$ ) es comúnmente  $> 1.0$  y puede alcanzar valores de hasta 5 o más (Tabla 3-2).

Las pérdidas por evaporación de cuerpos de agua y los humedales están muy modificadas por la transpiración de las plantas acuáticas con hojas flotantes y emergentes. La tasa de transpiración y las pérdidas por evaporación en la atmósfera varían de acuerdo con una serie de parámetros físicos (por ejemplo, la velocidad del viento, humedad y temperatura) y los parámetros metabólicos y las diferentes características estructurales de las especies vegetales (Brezny et al, 1973;. BERNATOWICZ et al, 1976. , Ondok Piband, 1985, 1986, Boyd, 1987; Koerselman y Beltran, 1988; Jones, 1992).

La evapotranspiración juega también un papel importante en los humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. Algunos sistemas de tratamiento usan especies de plantas con alta tasa de evapotranspiración, es decir, sauces (*Salix* sp.) con el fin de proporcionar el servicio de descarga.

Tabla 3-2. Representación de las tasas de evapotranspiración (Et) por las plantas acuáticas y la comparación de las tasas de evaporación de agua del lago abierto (Eo). Sobre la base de Wetzel (2001) con permiso de Elsevier. Especies emergentes a menos que se indique: FF - flotación libre. FL - hojas flotantes.<sup>5</sup>

Species (locality)	mm d <sup>-1</sup>	E <sub>t</sub> /E <sub>o</sub>	Reference
<i>Alternanthera philoxeroides</i> (Alabama)	4.0 – 6.3	1.26	1
Arctic bog (Canada)	2.2 – 7.3		2
<i>Azolla caroliniana</i> (Argentina) FF	7.1	0.95	3
<i>Carex acutiformis</i> / <i>Sphagnum</i> (The Netherlands)	1.0 – 3.7	1.65	4
<i>Carex diandra</i> (The Netherlands)	1.1 – 3.9	1.68	4
<i>Carex lurida</i> (Alabama)	4.0 – 6.3	1.33	1
<i>Carex</i> dominated subarctic marsh (Ontario)	2.6 – 3.1	0.74 – 1.02	5
<i>Eichhornia crassipes</i> (Alabama) FF	6 – 11	1.31 – 2.52	6
<i>E. crassipes</i> (India) FF	3.8 – 10.5	1.30 – 1.96	7
<i>E. crassipes</i> (Argentina) FF		2.67	3
<i>E. crassipes</i> (Florida) FF		1.50 – 2.52	8
<i>E. crassipes</i> (Texas) FF		3.20 – 5.30	9
<i>Juncus effusus</i> (Alabama)	3.8 – 8.0	1.52	1
<i>Justicia americana</i> (Alabama)	2.2 – 6.4	1.17	1
Marsh grasses (Czech Republic)	2.0 – 10.5		10
<i>Nymphaea lotus</i> (India) F-L	2.5 – 6.0	0.82 – 1.35	7
<i>Oryza sativa</i> (Australia)	6 – 13		11
<i>Panicum regidulum</i> (Alabama)	5.5 – 7.5	1.58	1
<i>Phragmites australis</i> marsh (Czech Republic)	1.4 – 6.9	1.03	12
<i>P. australis</i> marsh (Czech Republic)	6.9 – 11.4		13, 14
<i>Salvinia molesta</i> (India) FF	2.1 – 6.8	0.96 – 1.39	7
Seed-grass marsh, <i>Carex</i> , <i>Calamagrostis</i> , <i>Glyceria</i> (Czech Republic)	2.2 – 4.5		15, 16
<i>Typha domingensis</i> (Florida)	2.7 – 4.7	1.3	17, 18
<i>Typha latifolia</i> (Alabama)	4 – 12	1.05 – 2.50	6
<i>T. latifolia</i> (The Netherlands)	0.9 – 4.7	1.87	4
<i>T. latifolia</i> (Poland)		1.20 – 2.40	19
<i>Typha</i> sp. marsh (Czech Republic)	3.2 – 5.7		20
Willow carr, <i>Salix</i> sp. (Czech Republic)	2.4 – 4.8		16

1- Boyd (1987), 2-Roulet and Woo (1988), 3-Lallana et al. (1987), 4-Koerselman and Beltman (1988), 5-Lafleur (1990), 6- Snyder and Boyd (1987), 7-Rao (1988), 8-De Busk et al. (1983), 9-Idso (1979), 10-Rychnovská et al. (1972), 11-Humphreys et al. (1994), 12- Šmíd (1975), 13-Květ (1973), 14-Rychnovská and Šmíd (1973), 15-Příbáň and Ondok (1985), 16-Příbáň and Ondok (1986), 17-Glenn et al. (1995), 18-Abrew (1996), 19- Bematowicz et al. (1976), 20-Příbáň and Šmíd (1982).

<sup>5</sup>Wastewater treatment in Constructed wetlands with horizontal sub surface flow - Jan Vymazal, Lenka Kröpfelová - © 2008 Springer Science + Business Media B.V. – pag.115

### 3.2.6. Rol de las macrófitas en los humedales artificiales

La presencia de macrófitas es uno de los rasgos más conspicuos de los humedales y su presencia distinguen humedales artificiales de los filtros de tierra sin plantar o lagunas. Las macrófitas de crecimiento en los humedales artificiales tienen varias propiedades en relación con el proceso de tratamiento (Tabla 3-4) que se convierten en un componente esencial del diseño (Brix, 1996).

**Tabla 3-4.** Resumen de la función de los macrófitas en los humedales de tratamiento construidos. De Brix (1996) con el permiso de Universität für Bodenkultur, Viena, Austria.<sup>6</sup>

Propiedades de Macrófitas	Rol en el proceso de tratamiento
Tejido aéreo de la planta	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Atenuación de luz → menor crecimiento de fitoplancton.</li> <li>- Influencia de microclima → Aislamiento durante invierno.</li> <li>- Reducción de la velocidad del viento → reducción del riesgo de re-suspensión.</li> <li>- Estética, agradable apariencia del sistema.</li> <li>- Almacenamiento de nutrientes.</li> </ul>
Tejidos vegetales en el agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Efecto de filtrado → filtrar los desechos grandes</li> <li>- Reducción de velocidad de la corriente → aumento en la tasa de sedimentación, reducción del riesgo de resuspensión.</li> <li>- Proporciona superficie de biopelícula adjunta</li> <li>- La excreción de oxígeno fotosintético → aumenta la degradación aeróbica</li> <li>- Absorción de nutrientes</li> </ul>
Raíces y rizomas en la sedimentación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La estabilización de la superficie del sedimento → menos erosión.</li> <li>- Prevenir el medio de la obstrucción en los sistemas de flujo vertical.</li> <li>- La liberación de la degradación del oxígeno aumenta (y la nitrificación)</li> <li>- Absorción de nutrientes</li> <li>- La liberación de los antibióticos</li> </ul>

<sup>6</sup> Wastewater treatment in Constructed wetlands with horizontal sub surface flow - Jan Vymazal, Lenka Kröpfelová - © 2008 Springer Science + Business Media B.V. – pag.116

La presencia de vegetación en los humedales construidos distribuye y reduce la velocidad de la corriente del agua (Pettecrew y Kalff, 1992; Somes et al, 1996.). Esto crea mejores condiciones para la sedimentación de sólidos en suspensión y reduce el riesgo de resuspensión. Soportes de los macrófitos emergentes reducen sustancialmente las velocidades del viento cerca de la superficie del suelo o el agua, en comparación con velocidades por encima de la vegetación (Brix, 1994a, 1998). Esto crea las condiciones adecuadas para el asentamiento de sólidos en suspensión, evita la resuspensión, mejorando así la eliminación de sólidos suspendidos en humedales artificiales con la superficie de agua libre. Por otro lado, reducir la velocidad del viento reduce la aireación de la columna de agua.

### **3.3. Biopelículas (Biofilms)**

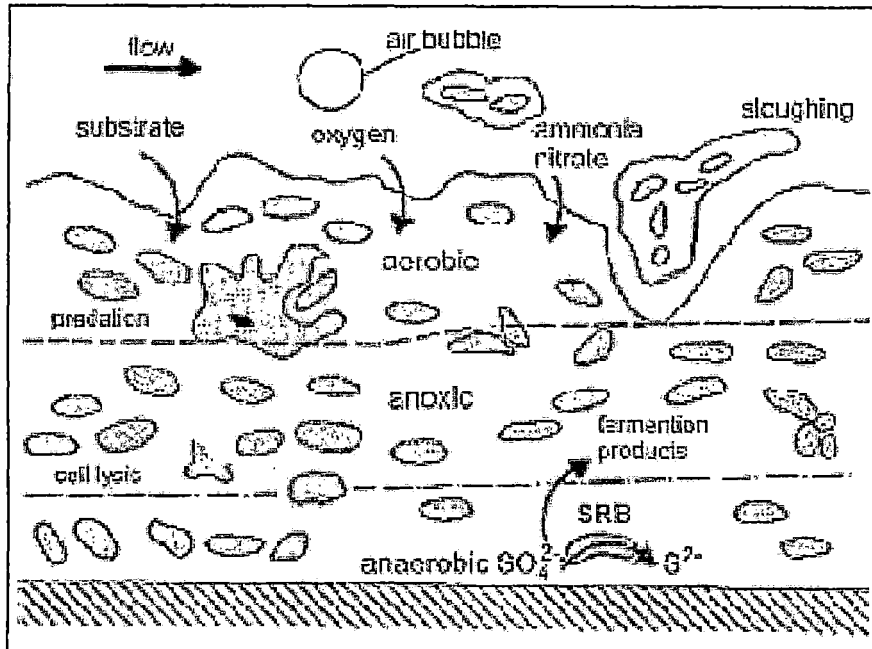
Las biopelículas son ecosistemas pequeños, por lo general consisten de tres capas de diferentes espesores, que cambian en grosor y composición con la ubicación y el tiempo (Meyer-Reil, 1996). En la primera fase de la colonización, las macromoléculas son adsorbidas en la limpieza de superficies sólidas (proteínas, polisacáridos, la lignina; Wingender y Flemming 1999), debido a que son transportados desde el líquido a granel a la superficie sólida más rápido que los microorganismos. Como consecuencia de esta absorción, la cobertura de la superficie sólida se reduce con el agua.

Durante la segunda fase, las células microbianas se adhieren a esta superficie preparada. Con frecuencia, no forman capas cerradas de espesor uniforme, sino que forman pequeñas colonias adjuntas, las cuales pueden extenderse por el crecimiento y mayor fijación. Por lo general, estas células se suministran de sustrato y oxígeno y son capaces de crecer a su tasa máxima. Durante este proceso, ellas producen moléculas orgánicas, que se difunden a través de la pared celular y sustancias poliméricas

extracelulares (EPS) catalizados por exoenzimas. Estas moléculas EPS son necesarias para la formación de un biofilm estable (Wingener y Flemming 1999). En la tercera fase, el biofilm puede consistir en bacterias y EPS, el grueso de los cuales es una función de la tasa de crecimiento y depende de la estabilidad de la biopelícula y el esfuerzo de corte del agua que fluye (Van Loodsrecht et al. 1995). A bajas tensiones tangenciales, los organismos eucariotas (protozoos, insectos y sus huevos y larvas) suelen establecerse. Todos estos organismos viven en una comunidad. Los materiales tales como sustratos y el oxígeno se transportan en la biopelícula por difusión y convección y los productos son transportados fuera de la biopelícula.

El oxígeno puede llegar sólo a la parte exterior de la biopelícula, lo que resulta en un crecimiento de microorganismos aerobios, tales como las bacterias nitrificantes y protozoos. El nitrato y el nitrito producido en esta capa se reducen por el metabolismo anóxico dentro de una capa media, lo que resulta en una capa interior anaeróbica directamente en la superficie sólida, donde el ácido acético y sulfato pueden ser reducidos (Marshall y Blainey 1991).

Figura N°. 9. Biopelícula (acorde a Marshall y Blainey 1991)<sup>7</sup>



### 3.4. Mecanismos para la remoción y transformación de los contaminantes de las aguas residuales.

#### 3.4.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno

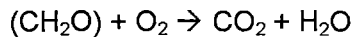
La  $DBO_5$  es el parámetro más usado para el diseño de humedales artificiales, por constituir su remoción el principal objetivo de la mayoría de plantas de tratamiento, sobre todo de aguas residuales domésticas.

Existen incertidumbres aun sobre los mecanismos que permiten reducir la  $DBO_5$  en los lechos del humedal. Por una parte, la materia orgánica asociada a los sólidos en suspensión quedará retenida, así habrá una reducción de la  $DBO_5$  asociada a los sólidos a medida

<sup>7</sup> Fundamentals of biological Wastewater Treatment, Udo Wiesmann, Su Choi-© 2007 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim

que las partículas chocan o se adhieren a la superficie de las plantas y del relleno. Los mecanismos de degradación de la materia orgánica disuelta se producen gracias a la presencia de microorganismos que forman la biopelícula. En este sentido se asume que los compuestos orgánicos son degradados de forma simultánea mediante procesos aerobios y anaerobios, aunque resulta difícil cuantificar la proporción en que se producen cada uno de ellos. (A, Piriz, 2000)

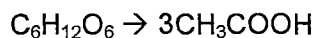
La degradación aerobia de la materia disuelta se realiza gracias a la presencia de las bacterias aerobias heterótrofas; la reacción fundamental que tiene lugar es la siguiente:



Un aporte insuficiente de oxígeno a este grupo de bacterias reducirá enormemente su desarrollo, pasando a predominar entonces la degradación anaerobia.

La degradación anaerobia es un proceso con diversas fases que ocurre en zonas del humedal con ausencia de oxígeno disuelto. El proceso es realizado por bacterias heterótrofas de tipo anaeróbico estricto o facultativo. En una primera fase los productos obtenidos en la fermentación son ácidos grasos como el acético y el láctico, alcoholes y gases.

Fermentación acética:

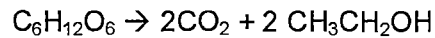


Fermentación láctica:



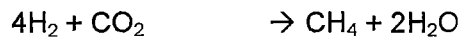
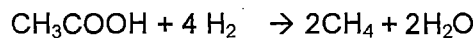
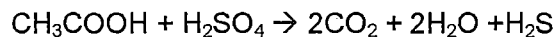


Fermentación alcohólica:



El ácido acético es el primero en formarse en la mayoría de ocasiones; a partir de este las bacterias anaerobias sulfato-reductoras y las formadoras de metano empiezan a actuar.

Mientras que las bacterias que forman ácidos son capaces de adaptarse a diversas condiciones ambientales, las responsables de la metalogénesis únicamente actúan en condiciones de pH entre 6,5 y 7,5. Las reacciones correspondientes a esta segunda fase son las siguientes:



La degradación anaerobia es más lenta que la aerobia y predomina en condiciones de ausencia de oxígeno disuelto y cuando se tiene cargas orgánicas altas.

### 3.4.2. Sólidos suspendidos.

Los sólidos suspendidos presentes en el agua pueden ser eliminados por sedimentación, potenciada por las reducidas velocidades de circulación y por la escasa profundidad, así como por la filtración a través de las formas vegetales vivas y de los desechos vegetales.

Los fenómenos que habitualmente se presentan en un humedal subsuperficial son la absorción, sedimentación, choques con otras partículas, coagulación y filtración.

En los sistemas que contemplan la circulación sub superficial del agua, los sólidos suspendidos pueden ser eliminados por filtración en el terreno o en el medio sub superficial.

Anomalías en el comportamiento del humedal, como velocidad excesiva, pueden ocasionar el arrastre o resuspensión de partículas, de aquellas retenidas en los poros o en la biopelícula. La muerte y descomposición de los organismos que habitan en el humedal, ocasionan un aumento de SST en el efluente.

#### **3.4.3. Materia orgánica.**

La materia orgánica biodegradable presente en el agua residual ya sea soluble o insoluble, se elimina por degradación microbiana. Los microorganismos responsables de esta degradación están asociados a las biopelículas desarrolladas sobre la superficie de las partículas del suelo, vegetación y desechos vegetales.

En general los sistemas de humedales se diseñan de tal modo que resulte posible mantener condiciones aeróbicas, y por ende propiciar el proceso de descomposición a través de la acción de microorganismos aeróbicos, evitando y minimizando problemas de olores asociados con la digestión anaeróbica.

#### **3.4.4. Nitrógeno.**

El nitrógeno dentro del humedal puede presentarse asociado tanto a partículas sólidas como compuestos disueltos. El nitrógeno orgánico está formado principalmente por compuestos tales como: proteínas,

aminoácidos y urea. El nitrógeno inorgánico se presenta en forma de amoníaco, nitritos y nitratos. La proporción relativa de cada uno de ellos depende del tipo de agua residual y del tratamiento que haya recibido antes de su llegada al humedal.

La transformación y eliminación de nitrógeno en sistemas naturales, implica una serie de procesos y reacciones complejas, los cuales dependen a su vez, de la forma en que está presente el nitrógeno: nitrógeno orgánico, amoníaco o nitrato.

Existen diversos mecanismos de remoción de nitrógeno, dependiendo del estado en que se encuentre; entre los más comunes tenemos la retención de nitrógeno asociada a los sólidos suspendidos, la asimilación, nitrificación, desnitrificación, difusión de sustancias disueltas y, con mayor dificultad, la volatilización del amoníaco.

La amonificación es el primero de los pasos en la mineralización del nitrógeno orgánico. Abarca un conjunto de procesos bioquímicos complejos, que conllevan una liberación de energía utilizada en algunos casos por los microorganismos para su crecimiento, incorporándose entonces el amoníaco directamente en la biomasa. Otros factores importantes en este proceso son la temperatura y el pH, produciéndose en óptimas condiciones a temperaturas elevadas y con pH entre 6,5 y 8,5.

La nitrificación es el principal proceso capaz de eliminar amoníaco en los humedales, oxidándolo de forma secuencial a nitritos y a nitratos, para ello se requiere oxígeno libre, la suficiente alcalinidad y la temperatura adecuada.

La existencia de zonas anaeróbicas dentro del humedal propician el proceso de desnitrificación, mediante el cual el nitrato pasa a actuar

como aceptor de electrones a causa de la ausencia de oxígeno y se obtiene finalmente nitrógeno gas, el cual escapa al medio ambiente; para ello se requiere adicionalmente una fuente de carbono y condiciones y temperatura adecuadas.

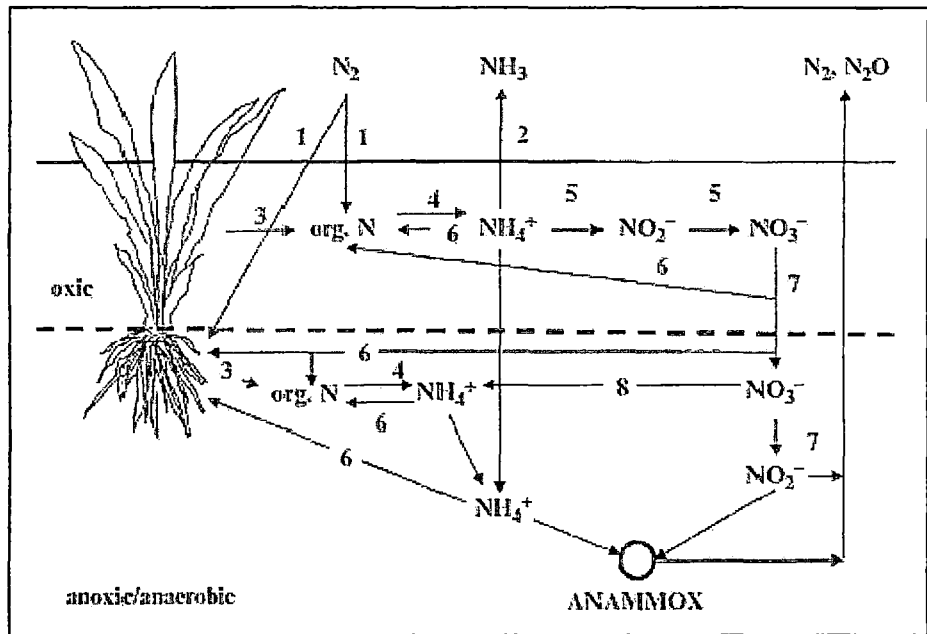
El régimen de flujo subsuperficial es casi anaerobio, excepto a pocas pulgadas de la superficie y de los lugares aerobios cercanos a las raíces de las plantas, por lo que es posible la nitrificación y la desnitrificación.

Aunque los humedales de flujo subsuperficial tienen capacidad para desnitrificar el nitrógeno presente en forma de nitrato, lo que limita la remoción de nitrógeno es la etapa de nitrificación.

Los porcentajes de remoción dependen de las características del afluente, sobre la base de la experiencia en el campo con sistemas de flujo subsuperficial se puede precisar que el potencial de remoción del nitrógeno puede tomar varios años en desarrollarse, por lo menos se requieren dos o tres etapas del crecimiento de las plantas y sistemas de raíces para desarrollar suficiente vegetación que soporte la nitrificación microbiana y así alcanzar el equilibrio.

Respecto a la eliminación de amoníaco, en ocasiones se han llegado a obtener efluentes con concentraciones mayores que la correspondiente al afluente (Reed et al., 1995), indicando una producción neta durante el tratamiento en el humedal. Se cree que el origen de este amoníaco es la descomposición anaeróbica del nitrógeno orgánico acumulado en el lecho en forma de partículas.

**Figura N°. 10.** Principales transformaciones de nitrógeno en zonas aeróbicas y anaeróbicas de un humedal artificial. 1- Fijación de  $N_2$ , 2- Volatilización del Amonio, 3- lixiviación, 4- amonificación (mineralización), 5-nitrificación, 6-absorción, 7- difusión de nitrato y consecuente desnitrificación, 8- nitrato-amonificación. ANAMMOX (Anaerobic Amonia Oxidation)<sup>8</sup>.



### 3.4.5. Nitrógeno Orgánico

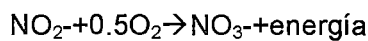
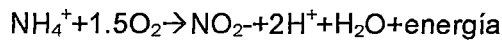
#### a. El nitrógeno amoniacal

En los humedales la mayor parte del amoniaco afluente y del amoniaco convertido (a amonio o amoniaco) se absorbe temporalmente, mediante reacciones de intercambio iónico, sobre las partículas del suelo. El amoniaco adsorbido es apto para el consumo por la vegetación y los organismos, o para el proceso de nitrificación biológica.

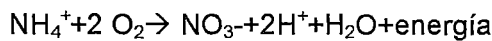
La nitrificación es el primer paso en la eliminación del nitrógeno por el proceso de nitrificación-desnitrificación. Son dos los

<sup>8</sup> Wastewater treatment in Constructed wetlands with horizontal sub surface flow - Jan Vymazal, Lenka Kröpfelová - © 2008 Springer Science + Business Media B.V. - Pag. 25

géneros de bacterias responsables de la nitrificación, Nitrosomas y Nitrobacter. Las Nitrosomas realizan la oxidación del amonio. La no acumulación de nitrito en el sistema es un indicador de que la conversión de amoniaco a nitrito se produce por medio de complejas reacciones, las cuales se pueden resumir en las siguientes:



Siendo la reacción total:



#### **b. Nitratos**

El nitrógeno en forma de nitratos, permanece en solución y es transportado como parte del agua percolada. Si no se elimina por consumo de las plantas o por procesos de desnitrificación, el nitrato percolará alcanzando los niveles de la napa subterránea.

En principio, dos sistemas enzimas están involucrados en la reducción de nitratos: asimilación y desasimilación. En el primer caso el nitrato es convertido hacia amonio el cual es luego utilizado para la incorporación del nitrógeno en la materia celular; en el segundo caso, se forma el nitrógeno gaseoso. Este último es llamado nitrificación.

La desnitrificación es la etapa de la eliminación del nitrógeno. El primer paso consiste en la conversión de nitrato a nitrito y a continuación se producen óxidos nítrico, óxido nitroso y

nitrógeno gaseoso. Las reacciones de reducción del nitrógeno son las siguientes:



Los tres últimos compuestos son gaseosos y se pueden liberar a la atmosfera. Es importante resaltar que la presencia de oxígeno (OD) reduce el sistema enzimático necesario para el desarrollo del proceso de desnitrificación. La alcalinidad también se eleva debido a la conversión del nitrato a nitrógeno gas. La temperatura afecta a las tasas de eliminación de nitratos y a la del crecimiento bacteriano.

#### **3.4.6. Otros.**

Compuestos como el fosforo, trazas de metales y patógenos también son removidos. Si se da una remoción, según a las condiciones que tenga cada caso en particular. Unos más que otros pero estos no fueron vistos en la presente investigación.

## **4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

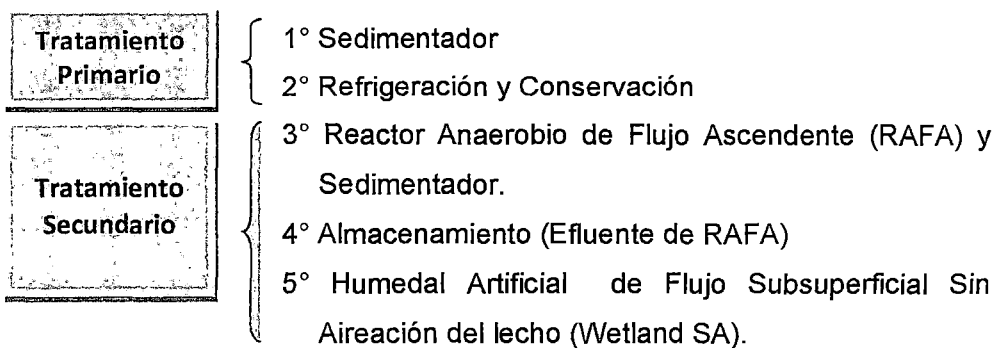
Tomando en cuenta las condiciones y objetivos dados, la investigación se desarrolló en los ambientes del laboratorio y el techo de las oficinas del Laboratorio N°20 de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería, en la ciudad de Lima. Durante un periodo de evaluación de 16 semanas desde febrero del 2010 a la primera semana de Agosto del 2010.

El sistema de tratamiento operaba las 24 horas de lunes a sábado para las unidades Wetland con aireación (Wetland CA) y Wetland sin aireación (Wetland SA).

Los reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFA) operaban de lunes a viernes de 8:30 a 18:00 Hrs.

Los sistemas de tratamiento estaban compuestos por:

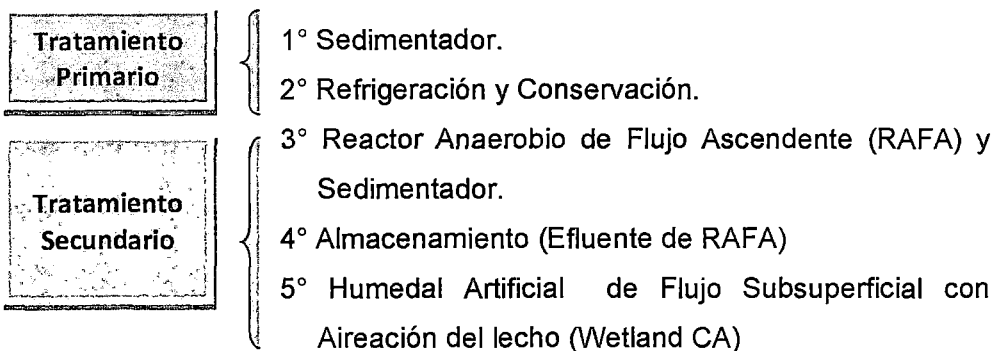
**Sistema 1:**



*Puntos de muestreo:*

- ✓ Ingreso del RAFA
- ✓ Salida del RAFA / Ingreso de Wetland SA
- ✓ Salida de Wetland SA

**Sistema 2:**

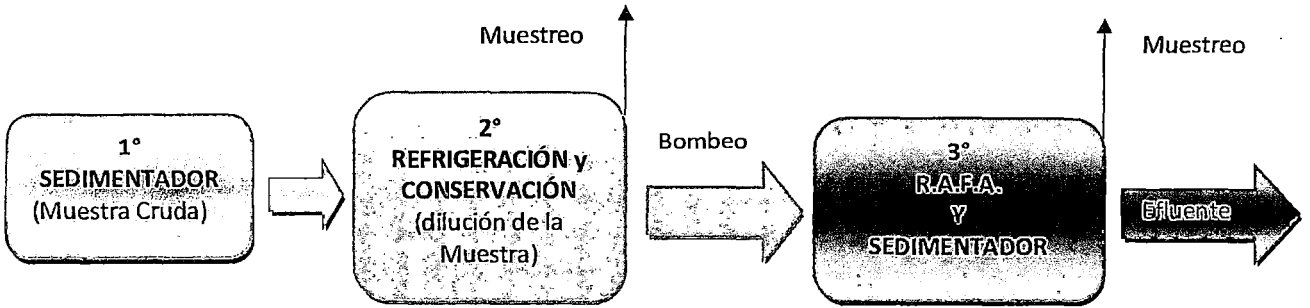


*Puntos de muestreo:*

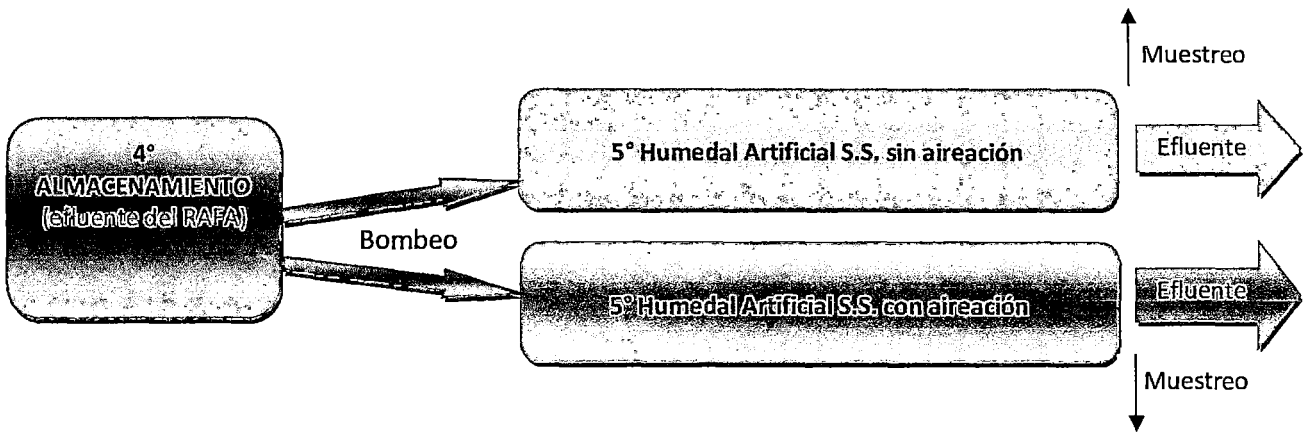
- ✓ Ingreso del RAFA
- ✓ Salida del RAFA / Ingreso de Wetland CA
- ✓ Salida de Wetland CA



### Tratamiento Primario y Secundario



### Tratamiento Secundario



La frecuencia de los muestreos (al ingreso y salida de las unidades) desarrollados durante el estudio, fueron de la siguiente manera:

**Tabla 1: Frecuencia de muestreos.**

PARAMETROS	FRECUENCIA DE MUESTREOS x SEMANA		
	UASB + Trampa de Lodos	Wetland CA	Wetland SA
TEMPERATURA	5 a 10	5 a 10	5 a 10
PH	5 a 10	5 a 10	5 a 10
CONDUCTIVIDAD	5 a 10	5 a 10	5 a 10
TURBIDEZ	5 a 10	5 a 10	5 a 10
OD	5 a 10	5 a 10	5 a 10
DQO	1 a 2	1 a 2	1 a 2
DBO	1 a 2	1 a 2	1 a 2
NITROGENO AMONIACAL	1 a 2	1 a 2	1 a 2
SOLIDOS SUSPENDIDOS	5 a 10	5 a 10	5 a 10

#### **4.1. Agua residual a tratar**

##### **4.1.1. Fuente**

El agua residual industrial proveniente de la Planta de Faena de Ganado (Camal) de la empresa Esmeralda Corp S.A.C. específicamente del sector de beneficios a ganado vacuno donde se produce lavado de residuos del animal, de sangre y del proceso de evisceración. La toma de las muestras se realizó después de las rejillas finas, antes de su ingreso a un tanque componente del sistema de tratamiento que la empresa viene utilizando.

#### 4.1.2. Caracterización del agua industrial

Las muestras tomadas fueron llevadas adecuadamente al laboratorio para su análisis, donde se determino el valor para los siguientes parámetros:

- Temperatura:	25 °C
- Turbidez:	395 UNT
- PH:	7,99
- Conductividad:	6,50 mS/cm
- Sólidos suspendidos totales:	764 mg/L
- Demanda Bioquímica de Oxígeno:	1480 mg/L
- Demanda Química de Oxígeno:	4010 mg/L
- Sólidos Sedimentables:	30 mL/L/Hr
- Oxígeno Disuelto:	0,4 mg/L
- Aceites y grasas totales	110 mg/L

#### 4.2. Tratamiento Primario

Una vez recogidas las muestras, fueron llevadas en galoneras hasta las instalaciones del laboratorio N°20 (FIA-UNI) luego se vaciaron en un tanque de 80 litros, dejándose reposar por un periodo de dos horas aproximadamente, con el objetivo que los sólidos sedimentables queden retenidos, así como las grasas y material flotante.

El efluente pre tratado fue recolectado y llevado al congelador a 6 °C aproximadamente. Para su utilización como afluente en el RAFA, previamente, según el periodo de estudio se hizo la dilución correspondiente, de la siguiente manera:

Tabla 2: Diluciones por periodo de estudio.

	SEMANAS	% DILUCION	DESCRIPCION
PERIODO 1	1era hasta 8va	33.3%	1:2 (1 volumen de influente con 2 volúmenes de agua).
PERIODO 2	9na hasta 12va	50.0%	1:1 (1 volumen de influente con 1 volúmenes de agua).
PERIODO 3	13va hasta 15va	100.0%	No se hizo dilución.
SEMANA DE CIERRE	16va	100.0%	No se hizo dilución.

Foto N° 3: Tanque de sedimentación de muestras.

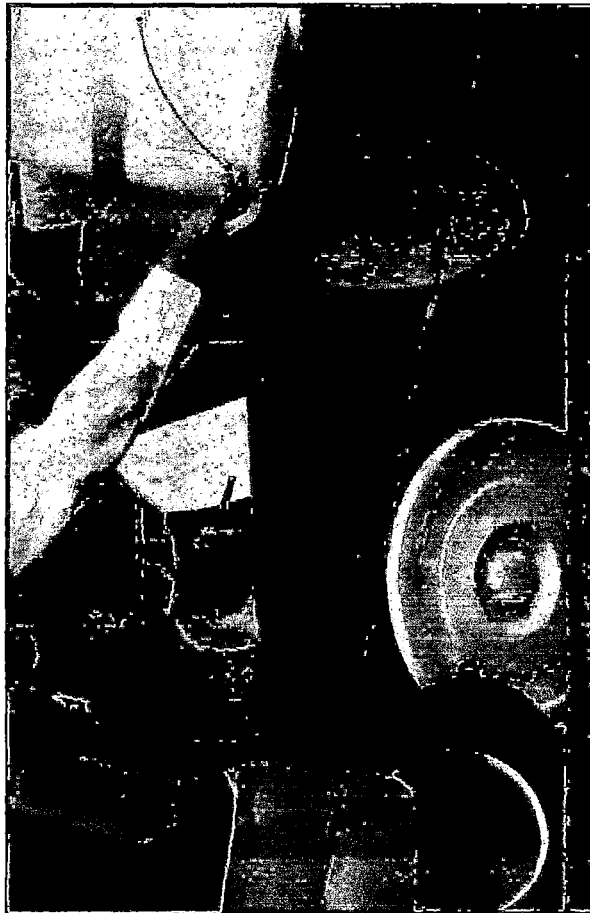


Foto N° 4: Equipo refrigerador para almacenamiento de muestras a 6°C.

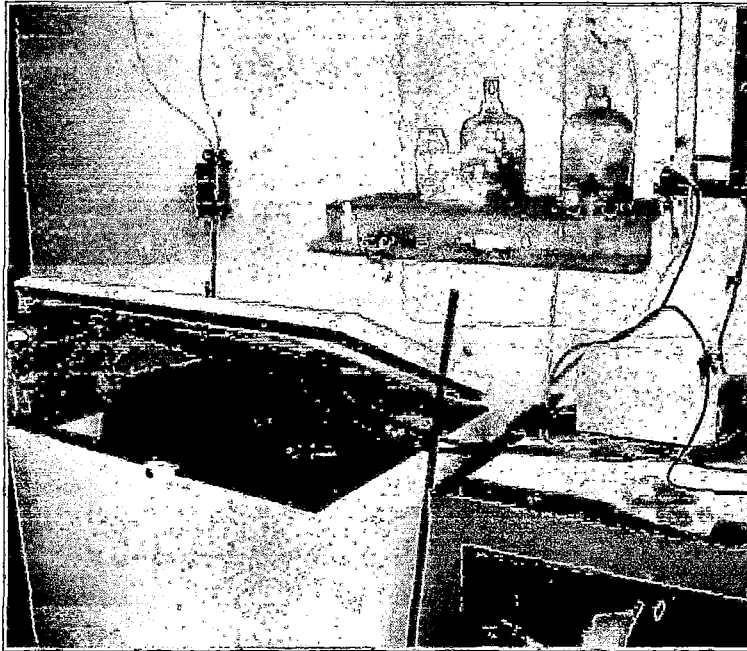


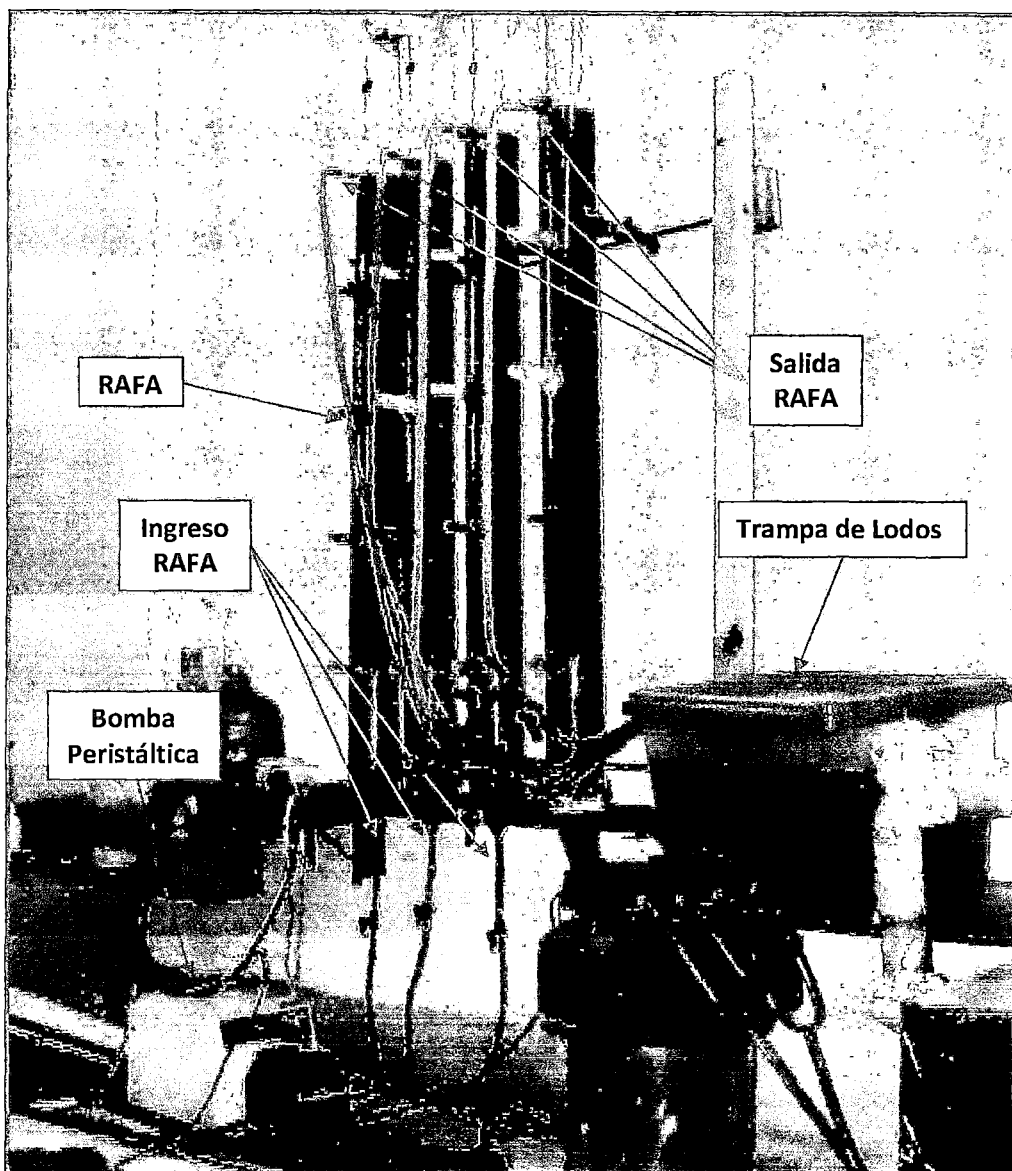
Foto N° 5: Almacenamiento de muestras.



### **4.3. Tratamiento Secundario**

Utilizando como afluente el agua preparada y almacenada en la refrigeradora, dentro de un cilindro de HDPE a una temperatura aproximadamente de 6 C°; mediante una bomba peristáltica se impulsa el agua hacia las cuatro unidades RAFA (Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente), la bomba posee dos cabezales y cada cabezal distribuye con un accesorio "Y" a dos unidades RAFA y cada entrada de reactor cuenta con válvulas de paso para graduar su ingreso desde la parte inferior de cada unidad y equilibrar el caudal. El efluente de cada unidad sale por la parte superior, donde con mangueras se conduce hacia una trampa de lodos, y luego descarga en una galonera de 40 litros. Aquí se almacena todo el efluente del tratamiento primario para luego llevarse al depósito e ingreso del tratamiento secundario que se encuentra en la parte exterior del laboratorio.

Foto N° 6: Unidad de tratamiento Primario - Reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA). Se puede ver la bomba peristáltica y la trampa de lodos.



Tanto las instalaciones del sistema de tratamiento primario como la operación del sistema fueron tomadas de investigaciones y proyectos realizados anteriormente con los mismos equipos e instalaciones. Pero para nuestra investigación fueron adaptados según nuestras necesidades.

#### 4.3.1. RAFA

El sistema de tratamiento propuesto consideró la utilización de cuatro (04) Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA) a escala de laboratorio, el material utilizado para estas unidades es acrílico de 1,20 m de longitud y 4" de Ø, con salida en la parte inferior (por el fondo) y cinco salidas horizontales de muestreo a diferente altura.

El inóculo que se utilizó en los reactores de flujo continuo fue el proveniente del Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (RAFA) de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (UNITRAR), ubicada cerca al campus de la UNI.

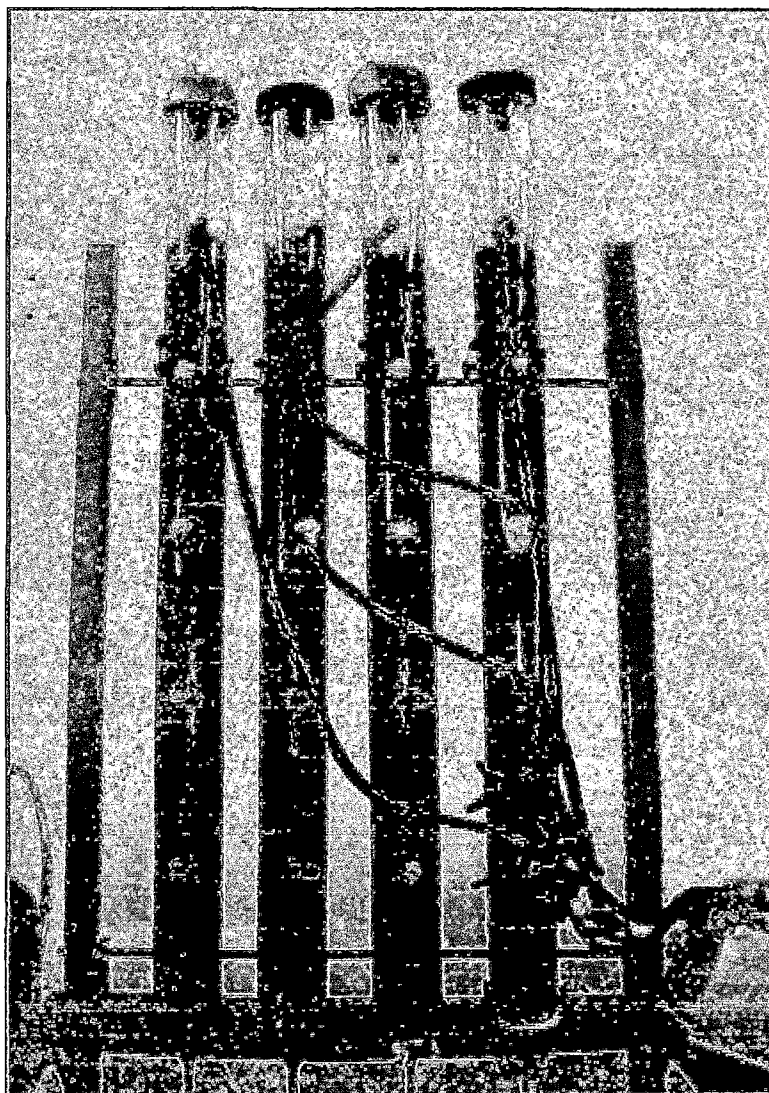
Se llenó cada unidad con lodo hasta una altura de 40 cm. En el arranque, se hizo la alimentación en cada RAFA con glucosa (0,5%) para ayudar a la adaptación del lodo inoculado, de esta manera se entregó los nutrientes necesarios a los microorganismos anaerobios, preparándolos para degradar la materia orgánica contenida en el agua residual industrial que fluirá a través de los reactores, según su capacidad amortiguadora, para evitar una caída del proceso (acidificación). El caudal que circuló por cada unidad fue de 33,75mL/min.

Para nuestra investigación no se hicieron mayores cambios en el RAFA, se buscó mantener las mismas condiciones de operación desde el inicio hasta el final.

Se tomaron muestras al ingreso de esta unidad, la frecuencia fue de lunes a viernes, y los parámetros evaluados eran según la Tabla N°1.



Foto N° 7: Reactores anaerobios de flujo ascendente, durante el arranque, se puede ver la altura de lodos.



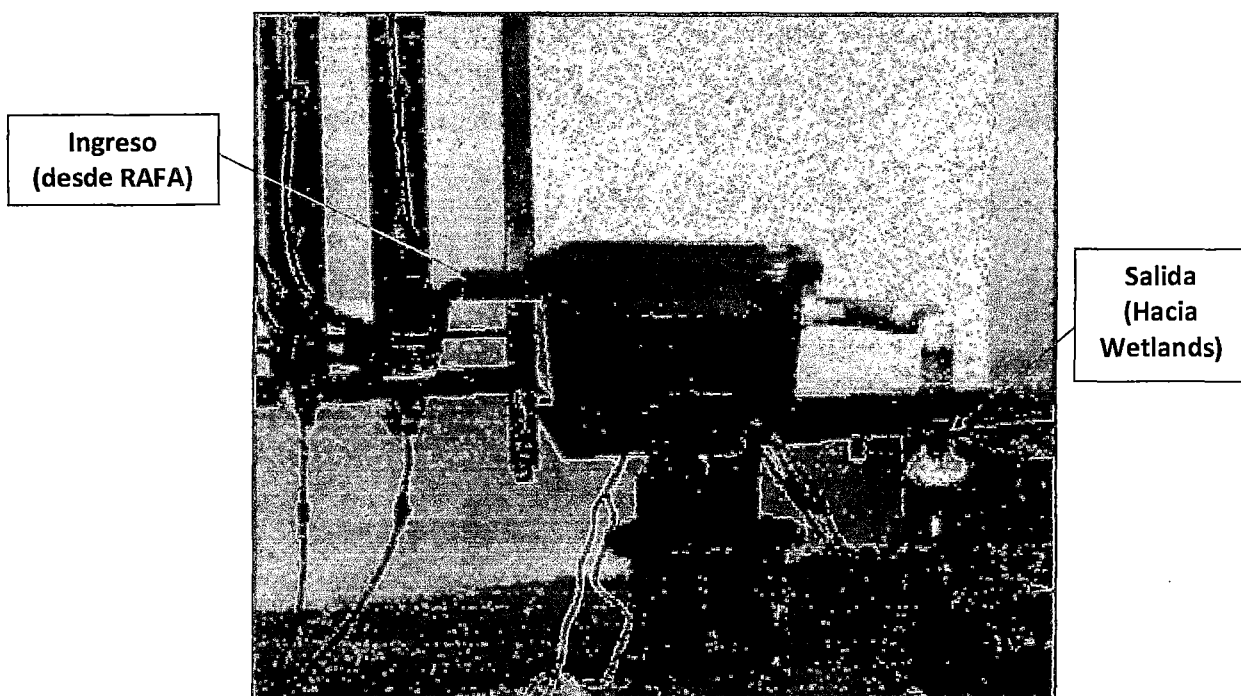
#### 4.3.2. Trampa para Lodos

El objetivo es retener en su interior todo lodo o material sólido que pueda salir de las unidades RAFA debido a inconvenientes en su operación o funcionamiento, de esta manera se reduciría su posible efecto negativo en las posteriores unidades de tratamiento.

Está constituido por un recipiente de PVC adaptado con unos accesorios "T", nipples y codos. El envase es transparente con tapa removible, conviene que sea transparente para saber que tanto lodo se está atrapando o votando de las unidades RAFA, también el momento en que es necesario la limpieza y mantenimiento.

El efluente de esta unidad fue monitoreado.

Foto N° 8: Trampa de lodos

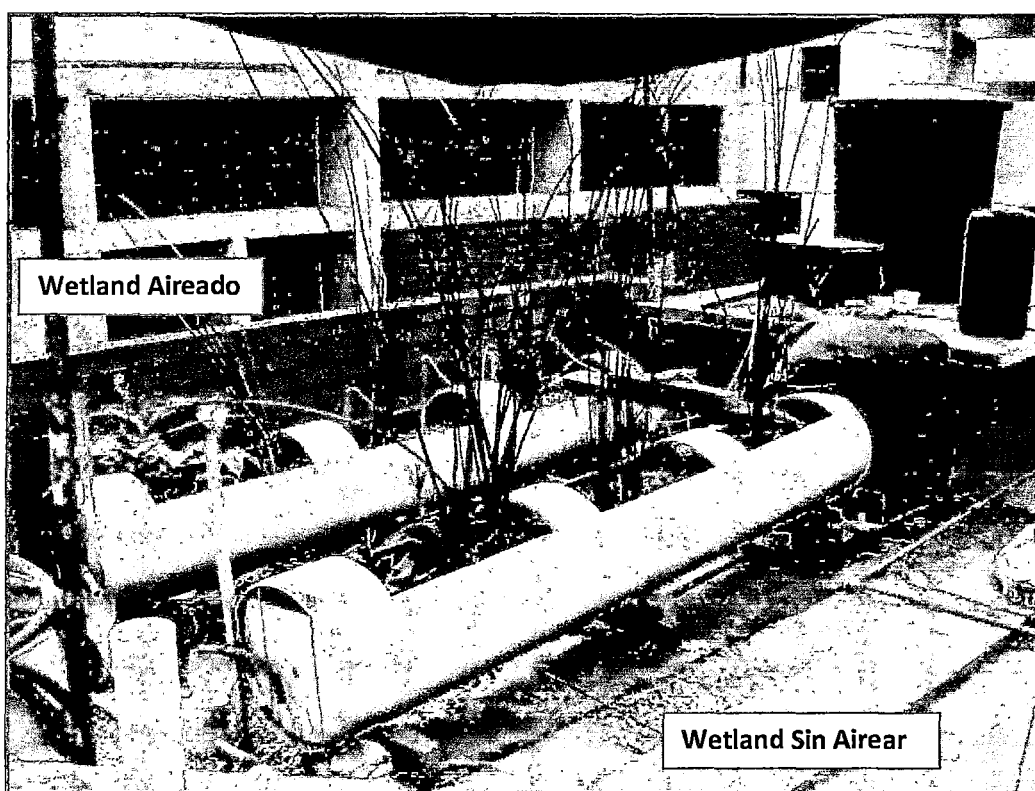


#### 4.4. Sistema de Tratamiento Principal en evaluación – Humedales Artificiales (Wetlands).

Ubicado en la parte superior de las instalaciones del Laboratorio N°20 (en el techo). Donde se instalo el sistema del tratamiento en evaluación que consiste en dos unidades de Humedal Artificial de flujo Sub Superficial a escala de laboratorio uno de ellos con una variación agregada, que consiste en la aireación por la parte interior y debajo del su lecho de

pedras, originando procesos y resultados diferentes. Se debe considerar también que en este ambiente se instalaron la bomba peristáltica y el soplador, un toldo de modo provisional y el sistema de drenaje del efluente hacia un punto de recolección de muestra y para descarga a la red de desagüe.

**Foto N° 9:** Unidades Wetland, al fondo la unidad aireada y al frente la unidad sin aireación.



#### **4.4.1. Dispositivo de regulación e ingreso del caudal a las unidades**

Se utilizó una bomba peristáltica, la cual succionaba de un recipiente de 60 litros, el cual almacenaba el efluente del tratamiento primario. Esta bomba distribuía a las dos unidades utilizando un accesorio “Y” del cual salían dos ramales ubicados al mismo nivel de altura, al final alimentaban en forma de goteo constante a cada ingreso, que eran

hechos con accesorios de codos, "T" y un tubo horizontal con agujeros equidistantes para la distribución homogénea.

Foto N° 10: Bomba peristáltica y sistema de distribución al ingreso de los Wetland.

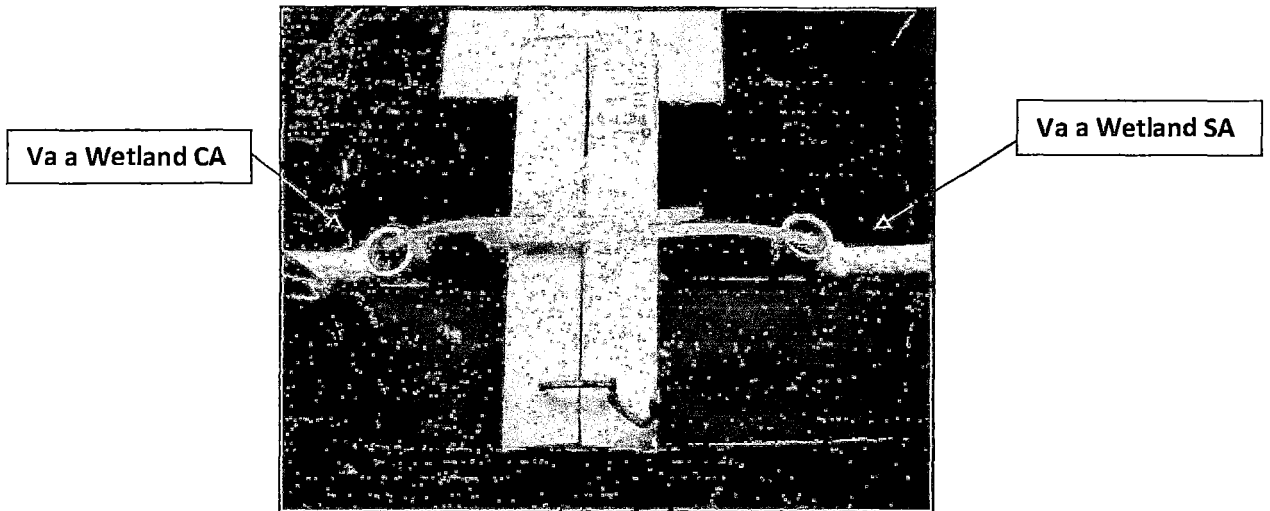
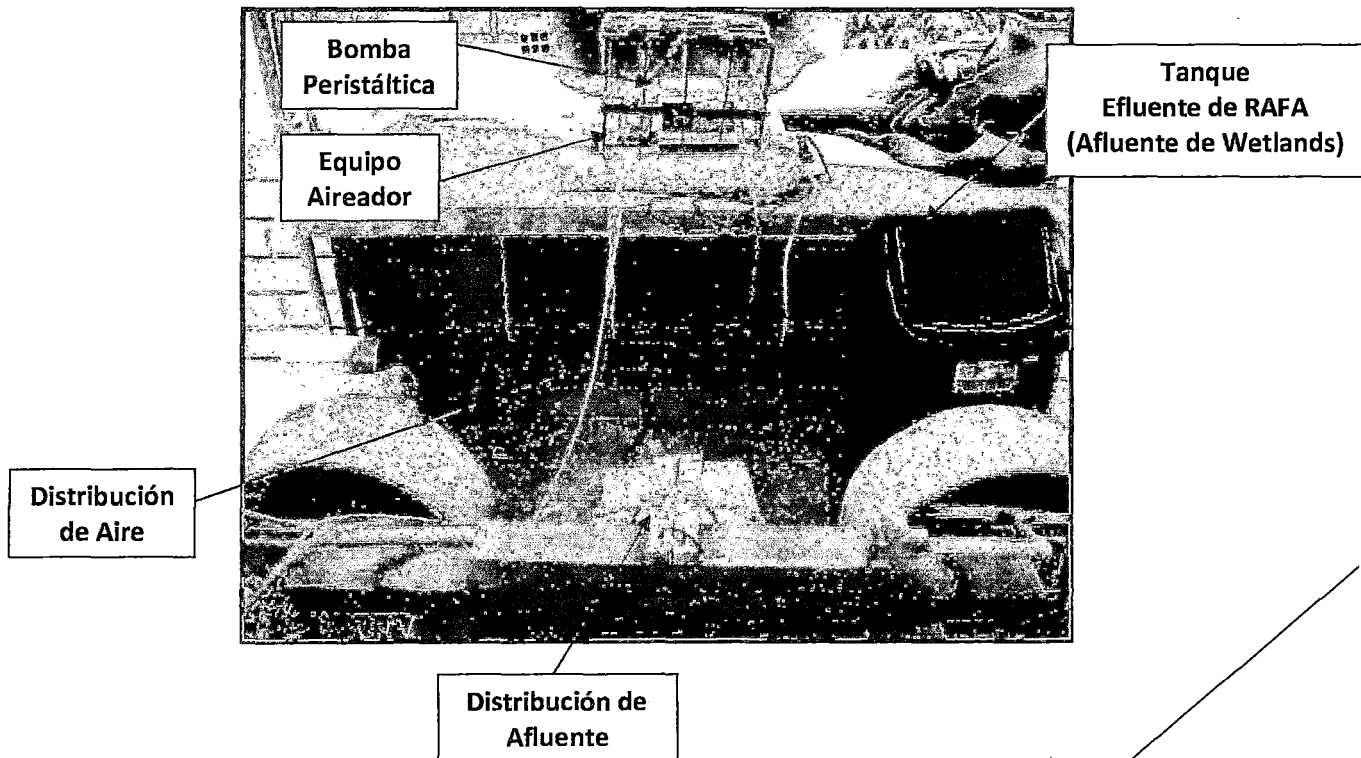


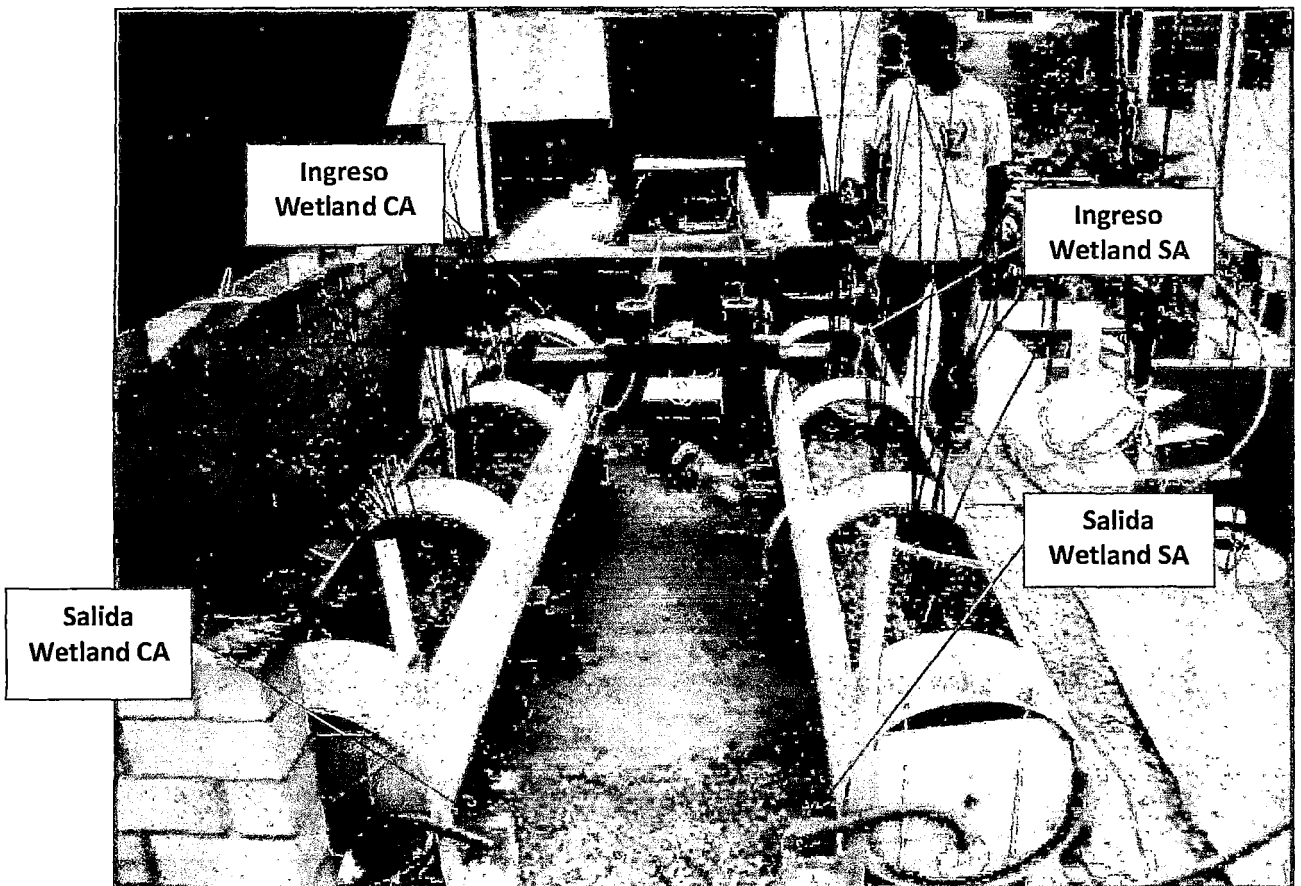
Foto N° 11: Distribución del agua al ingreso de las unidades Wetland.



#### 4.4.2. Humedales Artificiales Sub Superficiales a Escala de Laboratorio

Se implementaron dos unidades Wetland de flujo sub superficial, considerando los parámetros recomendados para su diseño convencional, ambas unidades poseen características similares (dimensiones, número de plantas, pendiente, nivel de agua al interior, caudal, medio de soporte, etc.), la diferencia entre estas unidades, es que una de ellas posee un sistema de aireación del medio de soporte a través de un soplador, tuberías y difusores.

Foto N° 12: Unidades Wetland, a escala de laboratorio.18/03/2010.



**a. Humedal Artificial de Flujo Sub Superficial (WETLAND SA)**

La unidad está constituida por un tubo de PVC de 16" de diámetro, el cual se le hicieron ventanas rectangulares por donde sobresalen las plantas que se instalaron, la unidad está dividida en tres zonas: ingreso, central y salida. Una pantalla con orificios circulares de 1/2" ayuda a uniformizar el flujo y separa la zona de ingreso de la zona central.

La zona de ingreso posee una longitud horizontal de 35 cm del tubo, aquí se colocó piedra chancada (1,5 a 2 pulgadas), también posee un orificio en el fondo para purga, que se conecta con una válvula esférica para el control del flujo.

La zona central contiene piedra chancada de 1/2" y las plantas (totora y achira), el flujo se realiza sub superficialmente entre las piedras y las raíces de las plantas, la pendiente es de aprox. 2% y el periodo de retención de aprox. 2 días (teórico 2.8 días).

La zona de salida, ocupa una longitud horizontal de 20 cm, posee en el fondo un orificio para la purga con una válvula de control de flujo, se colocó piedra chancada de 1,5 a 2 pulgadas y se hizo un orificio a 5cm del fondo (en la pared vertical-perpendicular al tubo) por donde sale el efluente de la unidad.

El nivel de agua al interior de la unidad era de aproximadamente 0.22m, medido desde el fondo del tubo.

**Foto N° 13: Wetland horizontal de flujo sub superficial – Wetland SA**



**b. Humedal Artificial de Flujo Sub Superficial con Aireación (WETLAND CA).**

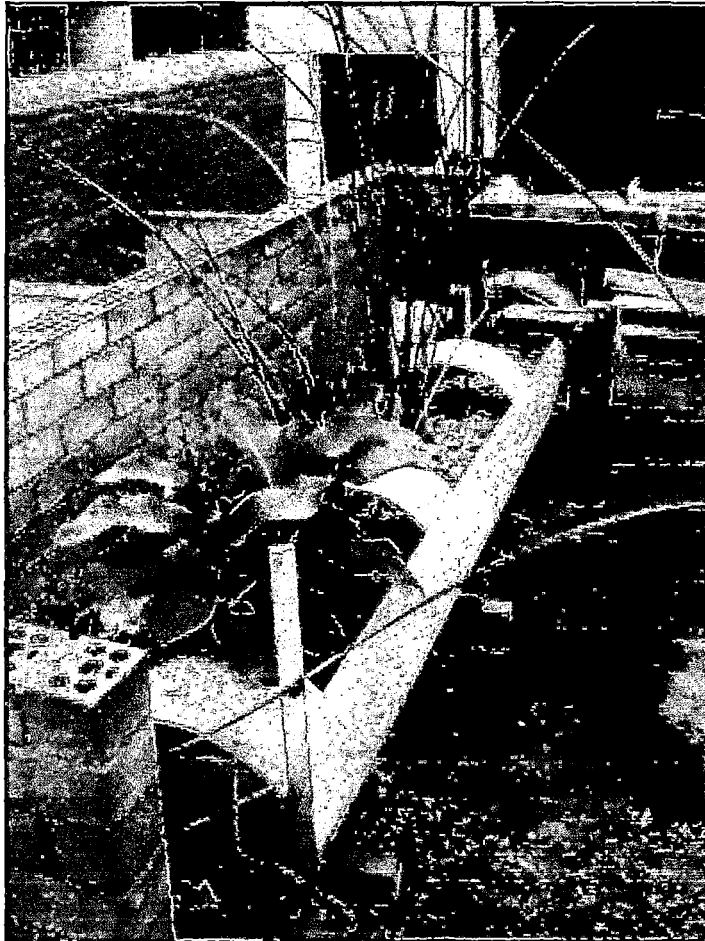
Se buscó que tenga las mismas características físicas (estructurales) que la otra unidad (Wetland SA), la aireación se dio con una bomba de aire o soplador que se ubicó al costado de la bomba peristáltica, este soplador tiene cuatro salidas que abastecen de aire a cuatro puntos, separados una distancia de 50 cm a lo largo del Wetland CA desde la pantalla de ingreso hasta la zona de salida. Las mangueras provenientes de la soplador

descienden por tuberías a través del lecho llegando hasta el fondo de la unidad donde se instalaron los difusores de piedra porosa de 20cm de largo.

El flujo de agua es como en el Wetland SA pero alterado por efecto de la aireación y burbujeo del difusor, que origina turbulencia en el interior, y otros procesos físicos, químicos, biológicos en el lecho de piedra.

El tramo final de un metro de longitud no recibe aireación.

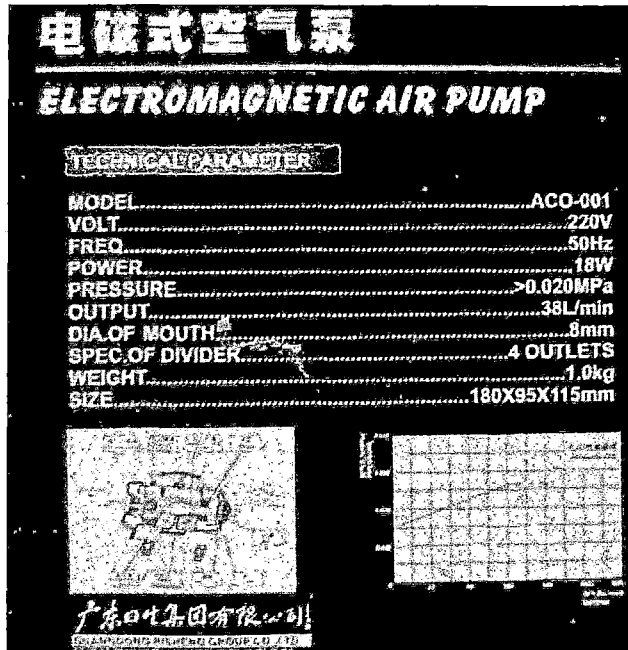
**Foto N° 14:** Wetland horizontal de flujo sub superficial - Wetland CA





o Equipo Aireador:

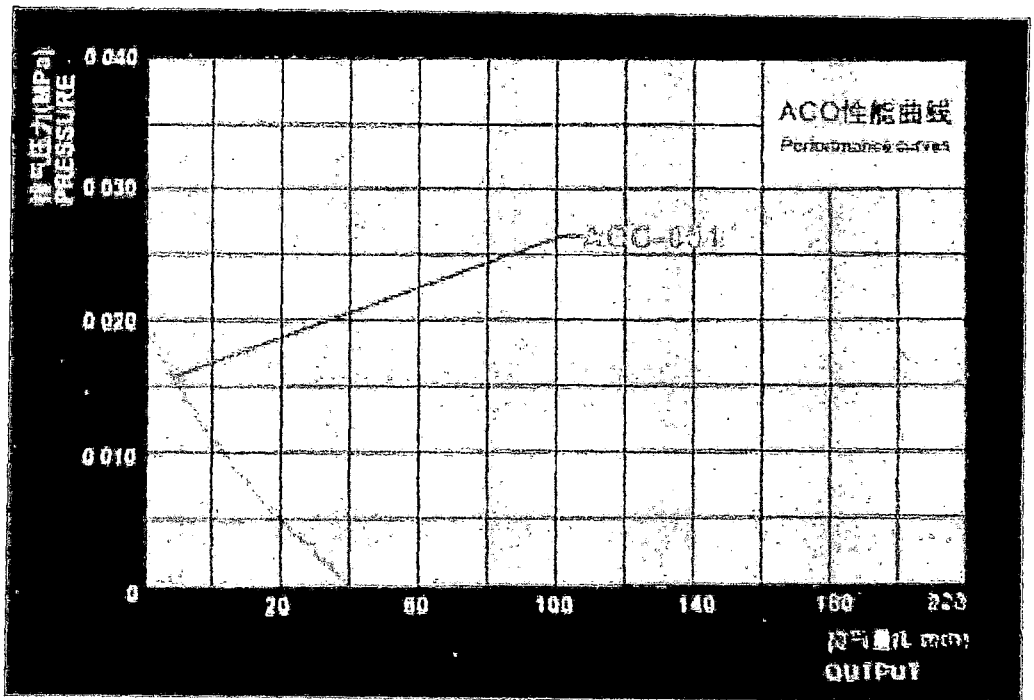
Datos de Fabricante de la Soplador



El nivel de agua desde el fondo del tubo es 22cm aprox. Pero asumimos 30 cm por las perdidas de carga en accesorios y el lecho, además del empuje del agua debido a su mayor densidad.

Se tiene:      10197 cm de H<sub>2</sub>O      <>      1Mpa  
                  →      30 cm de H<sub>2</sub>O            <>      0,0029Mpa

De la Grafica de la curva de la Soplador o bomba de aire:



Se tiene que a 0,003Mpa el caudal de aire es 25 L/min. Según Grafico.

Se tenia cuatro difusores que distribuian 6,25L/min uniformemente desde la entrada hasta la salida del humedal.

La Energia consumida por el soplador es 18W.

#### **4.4.3. Zona de salida y drenaje de efluentes de los humedales.**

Se observa la zona de salida de los Wetland, compuesta por una manguera flexible que permite tomar las muestras cómodamente. Las mangueras descargan sobre unos recipientes en forma de embudo, que a su vez conducen el efluente por una manguera hacia la tubería de desagüe más cercana.

**Foto N° 15: Zona de salida y sistema de evacuación al desagüe**



**Foto N° 16:** Zona de salida y sistema de evacuación a la red de desagüe.



#### **4.5. Mediciones de caudal**

La medición de los caudales se realizó durante el arranque del sistema y se buscó tener un caudal constante al ingreso de las dos unidades, con la ayuda de la bomba peristáltica. Las mediciones dieron como resultado un caudal de:  $Q = 23 \text{ ml/min}$ .

#### 4.5.1. Caudal de ingreso y salida

El caudal de ingreso se midió realizando aforos volumétricos. Para nuestro caso el caudal fue impulsado a través de una bomba peristáltica, que facilito mucho la operación proporcionando un caudal de ingreso a cada unidad sin variaciones notables.

#### 4.6. Periodo de Retención

Se determino el periodo de retención teóricamente mediante la siguiente formula:  $Q=V/T$ .

Según los datos de cada unidad:

Diámetro de Tubería:	0,42	m
Altura de agua:	0,22	m
Largo:	2,55	m
Área transversal:	0,07	m <sup>2</sup>
Volumen:	0,19	m <sup>3</sup>
Volumen de agua (*):	0,09	m <sup>3</sup>
Caudal Ingreso:	23	mL/min
<b>PR:</b>	<b>2,8</b>	<b>día</b>

\*Nota: El volumen de agua se sacó con una prueba de porosidad.

A continuación se detalla los resultados de la prueba de porosidad realizada:

<b>VOLUMEN DE AGUA EN UN RECIPIENTE CON GRAVA:</b>				
<b>Se determino que el volumen de agua representa el:</b>				<b>48,8%</b>
del volumen del recipiente donde se tiene sumergido grava				
Volumen del recipiente utilizado:		1020	mL	
				%
Prueba N°1	Agua	520	mL	51,0%
	grava	500	mL	
Prueba N°2	agua	475	mL	46,6%
	grava	545	mL	

#### **4.7. Análisis fisicoquímicos**

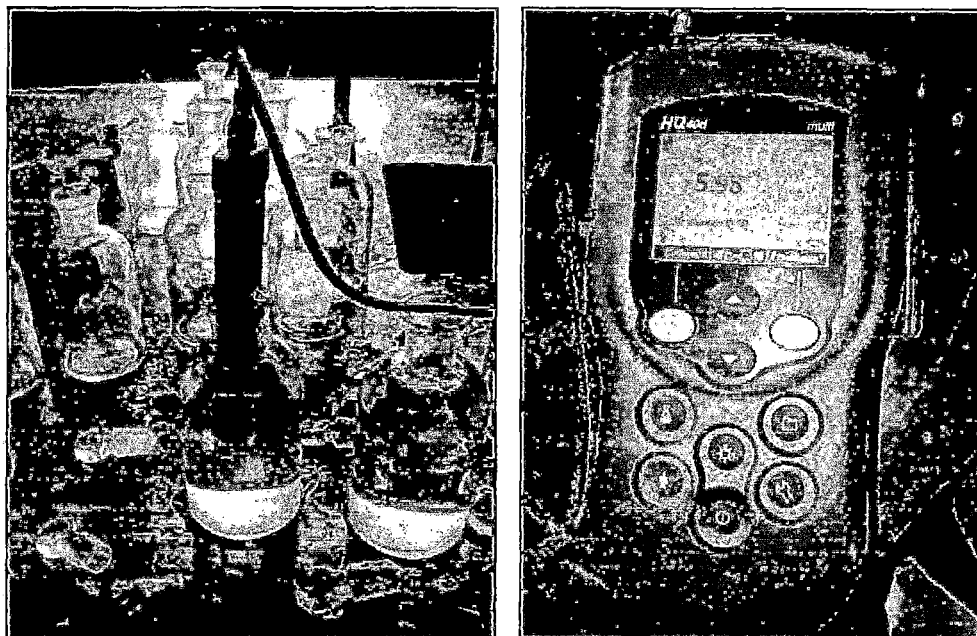
Los análisis fisicoquímicos se realizaron durante 16 semanas comprendidas en los meses de Abril, Mayo, Junio, Julio y primera semana de agosto del 2010. La mayoría de estos análisis se realizaron con equipos del laboratorio N°20 de la Universidad Nacional de Ingeniería.

##### **4.7.1. Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO)**

La remoción de demanda bioquímica de oxígeno fue evaluada continuamente de acuerdo al método de las diluciones indicada en los Métodos Normalizados para el análisis de agua potable y agua residual (APHA-AWWA\_WPCF).

APHA-AWWA\_WEF 5210-B: 1998; 20 th. Biochemical Oxigen Demand (BOD). 5 Day BOD Test. Y con ayuda de un equipo multiparametro marca Hach- HQ 40d.

Foto N° 17: Equipo multiparametro HQ 40d - HACH.



#### 4.7.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Fue evaluada continuamente de acuerdo al método de reflujó con dicromato, indicado en los métodos normalizados para el análisis de agua potable y agua residual. APHA-AWWA\_WEF 5220-B: 1998; 20 th. Chemical Oxygen Demand (DQO). Open Reflux Method.

#### 4.7.3. Oxígeno Disuelto. (OD)

APHA-AWWA\_WEF 4500-OC: 1998; 20 th. Ed. Azide modification.  
Se realizó con un equipo multiparametro marca HACH - HQ 40d.

#### 4.7.4. Turbidez

APHA -AWWA-WEF 2130.B: 1998; 20 th Ed. Turbidity, Nephelometric Method. La turbiedad se midió de acuerdo al

método de patrones por turbiedad utilizando un turbidímetro marca HACH.

#### **4.7.5. Potencial de Hidrogeno (PH)**

APHA-AWWA\_WEF 4500-H+ B: 1998; 20 th Ed. Método electrométrico. Se realizo con el equipo multiparametro marca HACH - HQ 40d.

#### **4.7.6. Temperatura**

APHA-AWWA\_WEF 4500-H+ B: 1998; 20 th Ed. Métodos de campo. Se realizo con el equipo multiparametro marca HACH - HQ 40d.

#### **4.7.7. Conductividad eléctrica**

APHA-AWWA\_WEF 2510-A: 1998; 20 th Ed. Conductividad eléctrica. Se realizo con el equipo multiparametro marca HACH - HQ 40d.

#### **4.7.8. Sólidos sedimentables (SS)**

APHA-AWWA-WEF 2540 F: 1998; 20 th Ed. Se realizo el ensayo con ayuda del cono imhof, y considerando lo indicado en los métodos estándar.

#### **4.7.9. Sólidos suspendidos totales (SST)**

Fueron realizados de acuerdo a los métodos gravimétricos indicados en los métodos normalizados para el análisis de agua potable y aguas residuales. APHA-AWWA\_WEF 2540-D: 1998; 20 th Ed. Solids: Total Suspended Solids Dried at 103-105 °C.

#### **4.7.10. Sulfatos**

Los Sulfatos acuerdo al Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y aguas residuales APHA-AWWA\_WEF 4500- SO4-E: 1998; 20 th. Ed. y con ayuda de un turbídímetro.



#### **4.7.11. Aceites y Grasas**

APHA-AWWA-WEF 5520 D: 1998; 20 th Ed.

#### **4.7.12. Nitrógeno Amoniacal**

APHA-AWWA-WEF 4500- NH<sub>3</sub>-D: 1998; 20 th Ed. Amonia Selective Electrode Method. Se realizo con el equipo multiparametro marca HACH - HQ 40d - Salicylate Method.

## 5. RESULTADOS Y COMENTARIOS

El desarrollo del proyecto está comprendido por 16 semanas de estudio, que contemplan 3 periodos:

### Periodo 1:

Ocho semanas, desde la semana 1 hasta la semana 8. Donde la concentración del influente fue diluida en una relación de 1:2 (1 volumen de influente con 2 volúmenes de agua).

### Periodo 2:

Cuatro semanas, desde la semana 9 hasta la semana 12. Donde la concentración del influente fue diluida en una relación de 1:1 (1 volumen de influente con 1 volúmenes de agua).

### Periodo 3:

Cuatro semanas, desde la semana 13 hasta la semana 16 Donde la concentración del influente no fue diluido.

### Semana de cierre:

Comprende la semana 16, durante esta semana se apago el aireador del Wetland CA y la concentración del influente no fue diluido.

### 5.1. Variación del Caudal de ingreso y salida en el humedal

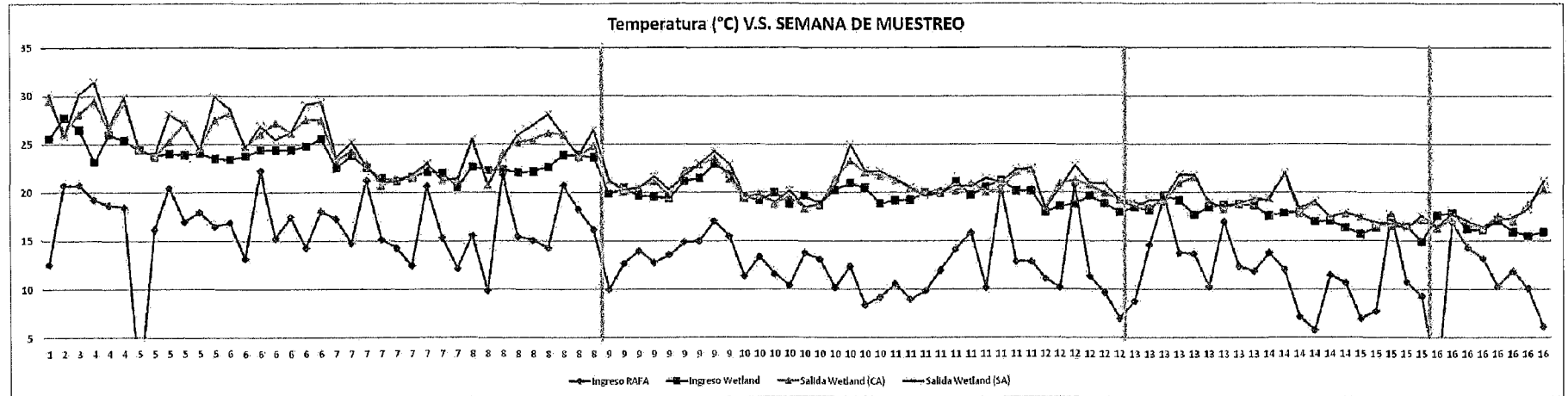
Para determinar la variación de caudal durante el periodo de estudio se hicieron mediciones, mediante aforos volumétricos al ingreso y salida de las unidades Wetland (con aire y sin aire).

El caudal de ingreso promedio y utilizado para la operación de cada unidad Wetland (humedal) durante todo el estudio fue de 23 mL/min.

Los resultados de las mediciones indican que el caudal de ingreso a cada unidad varía muy poco, hasta en 0.2 mL/min, probablemente debido a que el caudal de ingreso a cada unidad fue impulsado por una bomba peristáltica. El caudal de salida se determinó y en promedio resultado: 16 mL/min (en cada unidad)

## 5.2. Variación de la temperatura del agua residual en el sistema de tratamiento

Gráfica N° 2: Temperatura del efluente de las unidades en evaluación, durante el desarrollo del Proyecto.



Durante las semanas en que se desarrollo el estudio se nota la tendencia decreciente de la temperatura, similar a la tendencia registrada para la temperatura ambiental en la ciudad de Lima en los meses correspondientes.

Respecto a la temperatura del agua al ingreso del RAFA, se observan picos debido a que la regulación de la temperatura en la congeladora no fue la mejor, también porque entre la extracción de la muestra y la medición, a veces transcurrían muchos minutos.

**Tabla 3:** Temperatura (C°) registrada para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 1.

Muestreo N°	Semana	Fecha	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
1	1	23/03/2010	12,6	25,6	29,5	30,1
2	2	31/03/2010	20,8	27,7	26,2	25,8
3	3	08/04/2010	20,8	26,5	28,1	30,2
4	3	09/04/2010	-	-	-	-
5	4	14/04/2010	19,3	23,2	29,5	31,4
6	4	15/04/2010	18,7	26,0	26,4	26,9
7	4	16/04/2010	18,5	25,4	29,3	29,8
8	5	20/04/2010	-	24,4	24,5	24,4
9	5	21/04/2010	16,2	23,8	23,7	23,8
10	5	21/04/2010	20,5	24,0	25,3	28,1
11	5	22/04/2010	17,0	23,9	27,2	27,1
12	5	23/04/2010	18,0	24,1	24,6	24,4
13	5	23/04/2010	16,5	23,5	27,5	29,9
14	6	26/04/2010	16,9	23,4	28,2	28,6
15	6	27/04/2010	13,2	23,8	24,8	24,7
16	6	27/04/2010	22,3	24,4	26,1	26,9
17	6	28/04/2010	15,3	24,4	27,2	25,5
18	6	28/04/2010	17,5	24,4	26,2	26,2
19	6	29/04/2010	14,3	24,8	27,6	29,1
20	6	30/04/2010	18,1	25,6	27,5	29,4
21	7	03/05/2010	17,3	22,6	23,3	23,7
22	7	04/05/2010	14,8	23,8	24,3	25,2
23	7	04/05/2010	21,3	22,6	23,0	22,7
24	7	05/05/2010	15,2	21,5	20,7	21,1
25	7	05/05/2010	14,3	21,2	21,4	21,2
26	7	06/05/2010	12,5	21,6	21,5	21,9
27	7	06/05/2010	20,7	22,2	23,0	23,0
28	7	07/05/2010	15,4	22,0	21,3	21,3
29	7	07/05/2010	12,2	20,6	21,3	21,4
30	8	10/05/2010	15,6	22,7	25,3	25,5
31	8	11/05/2010	9,9	22,3	20,8	20,8
32	8	11/05/2010	21,9	22,4	24,1	23,6
33	8	12/05/2010	15,5	22,1	25,2	26,0
34	8	12/05/2010	15,1	22,2	25,5	27,0
35	8	13/05/2010	14,3	22,7	26,2	28,1
36	8	13/05/2010	20,8	23,9	26,0	26,0
37	8	14/05/2010	18,3	23,9	23,7	23,8
38	8	14/05/2010	16,2	23,7	24,9	26,5
<b>PROMEDIO:</b>			<b>16,9</b>	<b>23,6</b>	<b>24,8</b>	<b>25,3</b>
<b>MÁXIMO:</b>			<b>22,3</b>	<b>27,7</b>	<b>29,5</b>	<b>31,4</b>
<b>MÍNIMO:</b>			<b>9,9</b>	<b>20,6</b>	<b>20,1</b>	<b>20,3</b>

**Tabla 4:** Temperatura (C°) registrada para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 2.

Muestreo N°	Semana	Fecha	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
39	9	17/05/2010	10,0	19,9	21,3	21,2
40	9	18/05/2010	12,7	20,5	20,1	20,3
41	9	18/05/2010	14,0	19,7	20,5	20,5
42	9	19/05/2010	12,8	19,6	21,2	21,7
43	9	19/05/2010	13,6	19,4	19,7	20,3
44	9	20/05/2010	14,9	21,2	22,3	21,8
45	9	20/05/2010	15,0	21,5	22,9	23,0
46	9	21/05/2010	17,1	23,0	23,6	24,3
47	9	21/05/2010	15,5	21,9	21,4	22,9
48	10	24/05/2010	11,4	19,6	19,4	19,6
49	10	24/05/2010	13,4	19,2	19,9	19,8
50	10	25/05/2010	11,6	20,0	18,8	19,0
51	10	25/05/2010	10,4	18,8	19,6	20,2
52	10	26/05/2010	13,8	19,7	18,4	18,5
53	10	26/05/2010	13,1	18,8	18,7	18,8
54	10	27/05/2010	10,2	20,3	21,4	20,8
55	10	27/05/2010	12,4	21,0	23,3	25,0
56	10	28/05/2010	8,4	20,5	22,1	22,2
57	10	28/05/2010	9,2	18,9	21,8	22,2
58	11	31/05/2010	10,6	19,2	21,3	21,4
59	11	31/05/2010	9,0	19,3	20,5	20,5
60	11	01/06/2010	9,9	20,0	20,0	19,7
61	11	01/06/2010	12,0	19,9	20,3	20,0
62	11	02/06/2010	14,2	21,2	20,2	20,8
63	11	02/06/2010	15,9	19,8	21,0	20,7
64	11	03/06/2010	10,2	20,6	20,1	21,5
65	11	03/06/2010	20,6	21,3	20,3	21,1
66	11	04/06/2010	12,9	20,2	22,2	22,4
67	11	04/06/2010	12,9	20,2	22,4	22,5
68	12	07/06/2010	11,1	18,0	18,6	18,3
69	12	08/06/2010	10,2	18,6	21,0	20,5
70	12	08/06/2010	20,8	18,8	21,3	22,8
71	12	09/06/2010	11,4	19,7	20,8	21,0
72	12	09/06/2010	9,7	18,9	20,0	21,0
73	12	10/06/2010	7,0	18,0	19,3	19,2
74	12	11/06/2010	12,3	18,9	20,5	0,0
<b>PROMEDIO:</b>			<b>12,5</b>	<b>19,9</b>	<b>20,6</b>	<b>20,3</b>
<b>MÁXIMO:</b>			<b>20,8</b>	<b>23,0</b>	<b>23,6</b>	<b>25,0</b>
<b>MÍNIMO:</b>			<b>7,0</b>	<b>18,0</b>	<b>18,4</b>	<b>18,3</b>

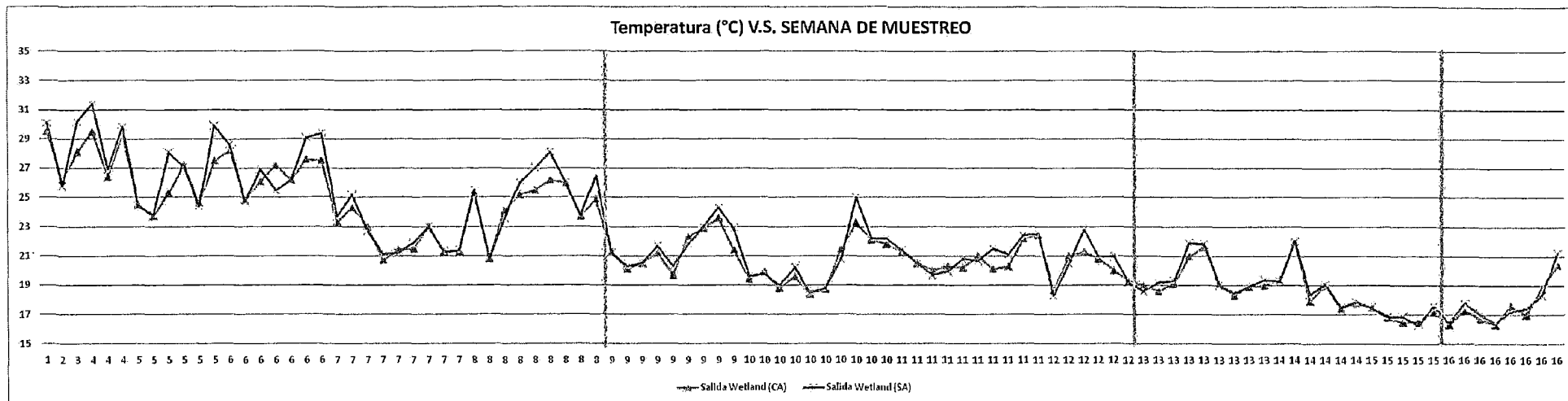
**Tabla 5:** Temperatura (C°) registrada para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 3.

Muestreo N°	Semana	Fecha	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
75	13	14/06/2010	8,8	18,5	19,0	18,6
76	13	14/06/2010	14,6	18,2	18,6	19,2
77	13	15/06/2010	19,6	19,7	19,1	19,3
78	13	16/06/2010	13,8	19,2	21,0	21,9
79	13	16/06/2010	13,7	17,7	21,6	21,8
80	13	17/06/2010	10,3	18,5	19,1	19,0
81	13	17/06/2010	17,0	18,7	18,3	18,5
82	13	18/06/2010	12,4	18,8	18,9	18,9
83	13	18/06/2010	11,9	18,7	19,0	19,4
84	14	23/06/2010	13,8	17,6	19,4	19,3
85	14	23/06/2010	12,1	17,9	21,9	22,0
86	14	24/06/2010	7,2	18,0	17,9	18,4
87	14	24/06/2010	5,8	17,0	19,0	19,1
88	14	25/06/2010	11,5	17,1	17,4	17,5
89	14	25/06/2010	10,7	16,4	17,8	17,9
90	15	30/06/2010	7,0	15,7	17,5	17,5
91	15	01/07/2010	7,8	16,4	16,8	16,9
92	15	01/07/2010	17,7	17,1	16,5	16,9
93	15	02/07/2010	10,8	16,6	16,5	16,3
94	15	02/07/2010	9,3	14,9	17,2	17,6
<b>PROMEDIO:</b>			<b>11,8</b>	<b>17,6</b>	<b>18,4</b>	<b>18,6</b>
<b>MÁXIMO:</b>			<b>19,6</b>	<b>19,7</b>	<b>21,9</b>	<b>22,0</b>
<b>MÍNIMO:</b>			<b>5,8</b>	<b>14,9</b>	<b>16,3</b>	<b>16,3</b>

**Tabla 6:** Temperatura (C°) registrada para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante la semana de cierre.

Muestreo N°	Semana	Fecha	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
95	16	05/07/2010	-	17,60	16,30	16,40
96	16	06/07/2010	16,90	17,90	17,30	17,80
97	16	07/07/2010	14,30	16,20	16,70	17,00
98	16	07/07/2010	13,20	16,10	16,30	16,40
99	16	08/07/2010	10,30	17,10	17,60	17,20
100	16	08/07/2010	11,90	15,90	17,00	17,40
101	16	09/07/2010	10,10	15,50	18,80	18,30
102	16	09/07/2010	6,20	15,90	20,40	21,20
<b>PROMEDIO:</b>			<b>11,84</b>	<b>16,53</b>	<b>17,80</b>	<b>17,92</b>
<b>MÁXIMO:</b>			<b>16,90</b>	<b>17,90</b>	<b>20,40</b>	<b>21,20</b>
<b>MÍNIMO:</b>			<b>6,20</b>	<b>15,50</b>	<b>16,30</b>	<b>16,40</b>

Gráfica N° 3: Temperatura del efluente de las unidades en evaluación, durante el desarrollo del Proyecto.



Periodo 1: Para el Wetland CA la temperatura osciló entre: 20,7 y 29,5°C, en el Wetland SA estuvo entre: 20,8 y 31,4°C.

Periodo 2: Para el Wetland CA la temperatura osciló entre: 18,4 y 23,6°C, en el Wetland SA estuvo entre: 18,3 y 25,0°C.

Periodo 3: Para el Wetland CA la temperatura osciló entre: 16,5 y 21,9°C, en el Wetland SA estuvo entre: 16,3 y 22,0°C.

### 5.3. Variación de la conductividad

**Tabla 7:** Conductividad (*mS/cm*) registrada para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 1.

Muestra o N°	Semana	Fecha	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
1	1	23/03/2010	3,71	2,80	2,35	2,92
2	2	31/03/2010	6,85	3,66	2,73	2,88
3	3	08/04/2010	-	-	-	-
4	3	09/04/2010	-	-	-	-
5	4	14/04/2010	-	-	-	-
6	4	15/04/2010	-	-	-	-
7	4	16/04/2010	2,93	3,18	3,46	3,39
8	5	20/04/2010	-	2,74	2,86	2,81
9	5	21/04/2010	2,44	2,86	2,82	2,81
10	5	21/04/2010	2,46	2,67	2,87	2,81
11	5	22/04/2010	2,40	2,72	2,78	2,75
12	5	23/04/2010	2,56	2,79	2,68	2,73
13	5	23/04/2010	2,54	2,82	2,72	2,75
14	6	26/04/2010	2,54	2,87	2,84	2,96
15	6	27/04/2010	2,51	3,15	2,74	2,92
16	6	27/04/2010	2,47	2,97	2,75	2,90
17	6	28/04/2010	2,45	2,93	1,71	2,87
18	6	28/04/2010	2,42	2,79	2,74	2,91
19	6	29/04/2010	2,41	2,65	2,77	3,02
20	6	30/04/2010	2,48	2,70	2,71	3,02
21	7	03/05/2010	2,54	2,74	3,02	3,23
22	7	04/05/2010	2,49	2,81	2,90	3,24
23	7	04/05/2010	2,54	2,71	2,92	3,24
24	7	05/05/2010	2,49	2,79	2,78	3,21
25	7	05/05/2010	2,55	2,68	2,76	3,04
26	7	06/05/2010	2,49	2,77	2,72	2,99
27	7	06/05/2010	2,45	2,71	2,75	3,15
28	7	07/05/2010	2,42	2,75	2,69	2,94
29	7	07/05/2010	2,42	2,63	2,71	2,99
30	8	10/05/2010	2,23	2,64	2,83	3,04
31	8	11/05/2010	2,23	2,61	2,77	3,00
32	8	11/05/2010	3,26	2,81	2,80	3,01
33	8	12/05/2010	3,17	3,51	2,70	2,95



Muestra o N°	Semana	Fecha	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
34	8	12/05/2010	3,23	3,46	2,76	3,08
35	8	13/05/2010	3,20	3,73	2,72	3,03
36	8	13/05/2010	3,12	3,65	2,79	3,20
37	8	14/05/2010	3,12	3,75	2,88	3,11
38	8	14/05/2010	3,08	3,51	3,00	3,33
<b>PROMEDIO:</b>			<b>2,79</b>	<b>2,96</b>	<b>2,81</b>	<b>3,06</b>
<b>MÁXIMO:</b>			<b>6,85</b>	<b>3,75</b>	<b>3,46</b>	<b>3,71</b>
<b>MÍNIMO:</b>			<b>2,23</b>	<b>2,61</b>	<b>1,71</b>	<b>2,73</b>

**Tabla 8:** Conductividad (*mS/cm*) registrada para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 2.

Muestra o N°	Semana	Fecha	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
39	9	17/05/2010	3,10	3,40	3,20	3,71
40	9	18/05/2010	3,30	3,57	3,29	3,65
41	9	18/05/2010	3,17	3,50	3,30	3,71
42	9	19/05/2010	3,08	3,57	3,27	3,64
43	9	19/05/2010	3,10	3,46	3,28	3,64
44	9	20/05/2010	3,24	3,55	3,29	3,68
45	9	20/05/2010	3,27	3,49	3,36	3,79
46	9	21/05/2010	3,34	3,67	3,36	3,68
47	9	21/05/2010	3,45	3,62	3,46	3,87
48	10	24/05/2010	3,40	4,08	3,38	4,03
49	10	24/05/2010	3,42	3,71	3,40	4,02
50	10	25/05/2010	3,38	3,84	3,37	3,84
51	10	25/05/2010	3,38	3,67	3,34	3,88
52	10	26/05/2010	3,17	3,79	3,31	3,80
53	10	26/05/2010	3,14	3,60	3,31	3,76
54	10	27/05/2010	3,20	3,76	3,34	3,68
55	10	27/05/2010	3,30	3,61	3,50	3,87
56	10	28/05/2010	3,32	3,90	3,47	4,02
57	10	28/05/2010	3,27	3,72	3,57	4,22
58	11	31/05/2010	3,26	4,01	3,73	4,20

Muestra o N°	Semana	Fecha	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
59	11	31/05/2010	3,30	3,69	3,74	4,26
60	11	01/06/2010	3,31	3,82	3,65	4,23
61	11	01/06/2010	3,35	3,66	3,68	4,33
62	11	02/06/2010	3,26	3,84	3,60	4,05
63	11	02/06/2010	3,31	3,69	3,65	4,15
64	11	03/06/2010	3,23	3,68	3,63	4,09
65	11	03/06/2010	3,38	3,61	3,72	4,27
66	11	04/06/2010	3,27	3,52	3,68	4,79
67	11	04/06/2010	3,27	3,52	3,78	4,21
68	12	07/06/2010	3,88	3,53	3,62	4,33
69	12	08/06/2010	3,87	4,06	3,62	4,03
70	12	08/06/2010	5,46	4,02	3,66	4,56
71	12	09/06/2010	5,33	5,18	4,01	3,60
72	12	09/06/2010	5,35	5,55	4,08	3,61
73	12	10/06/2010	5,29	5,92	3,72	4,49
74	12	11/06/2010	5,20	5,76	4,17	0,00
<b>PROMEDIO:</b>			<b>3,59</b>	<b>3,90</b>	<b>3,57</b>	<b>3,90</b>
<b>MÁXIMO:</b>			<b>5,46</b>	<b>5,92</b>	<b>4,17</b>	<b>4,79</b>
<b>MÍNIMO:</b>			<b>3,08</b>	<b>3,40</b>	<b>3,27</b>	<b>3,60</b>

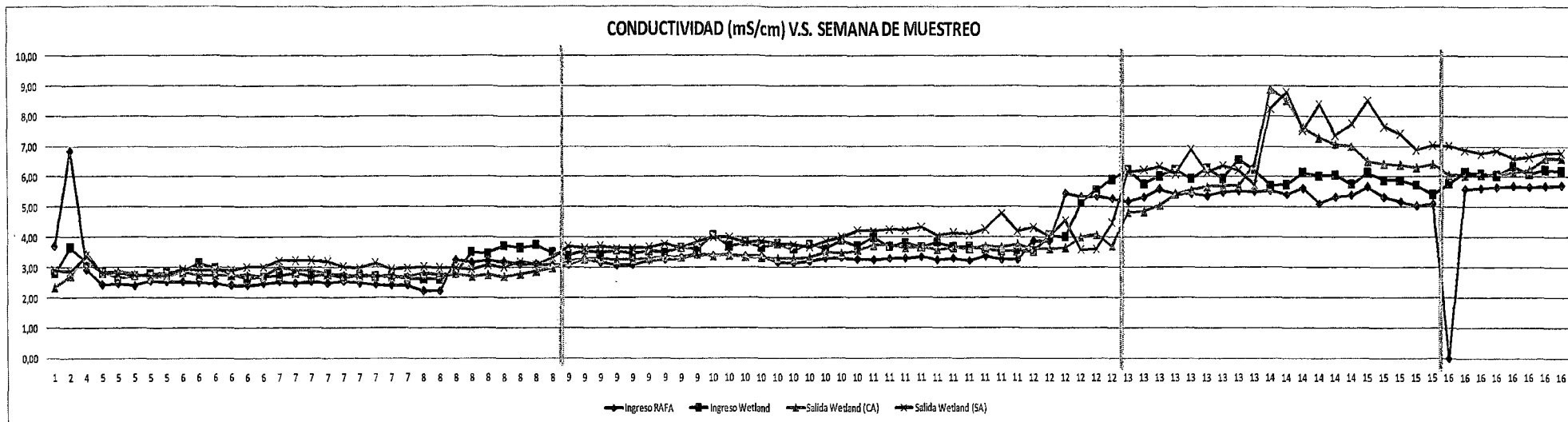
**Tabla 9:** Conductividad (*mS/cm*) registrada para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 3.

Muestra o N°	Semana	Fecha	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
75	13	14/06/2010	5,19	6,22	4,83	6,17
76	13	14/06/2010	5,33	5,77	4,85	6,23
77	13	15/06/2010	5,60	6,03	5,06	6,35
78	13	16/06/2010	5,41	6,24	5,43	6,10
79	13	16/06/2010	5,45	5,94	5,56	6,90
80	13	17/06/2010	5,38	6,30	5,68	6,16
81	13	17/06/2010	5,50	5,95	5,71	6,38
82	13	18/06/2010	5,54	6,57	5,73	6,23
83	13	18/06/2010	5,52	6,23	6,40	5,75
84	14	23/06/2010	5,55	5,71	8,90	8,26
85	14	23/06/2010	5,42	5,75	8,53	8,80
86	14	24/06/2010	5,62	6,14	7,64	7,54
87	14	24/06/2010	5,12	6,03	7,30	8,42
88	14	25/06/2010	5,33	6,06	7,09	7,37
89	14	25/06/2010	5,40	5,76	7,02	7,76
90	15	30/06/2010	5,67	6,13	6,52	8,54
91	15	01/07/2010	5,33	5,89	6,43	7,66
92	15	01/07/2010	5,18	5,89	6,40	7,43
93	15	02/07/2010	5,04	5,73	6,31	6,90
94	15	02/07/2010	5,12	5,42	6,43	7,05
<b>PROMEDIO:</b>			<b>5,39</b>	<b>5,99</b>	<b>6,02</b>	<b>6,71</b>
<b>MÁXIMO:</b>			<b>5,67</b>	<b>6,57</b>	<b>6,43</b>	<b>7,66</b>
<b>MÍNIMO:</b>			<b>5,04</b>	<b>5,42</b>	<b>5,43</b>	<b>5,75</b>

**Tabla 10:** Conductividad (*mS/cm*) registrada para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante la semana de cierre.

Muestra o N°	Semana	Fecha	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
95	16	05/07/2010	0,00	5,79	6,08	7,03
96	16	06/07/2010	5,61	6,16	6,06	6,89
97	16	07/07/2010	5,63	6,10	6,07	6,77
98	16	07/07/2010	5,66	6,04	6,07	6,86
99	16	08/07/2010	5,70	6,35	6,15	6,61
100	16	08/07/2010	5,67	6,09	6,23	6,66
101	16	09/07/2010	5,70	6,22	6,61	6,77
102	16	09/07/2010	5,72	6,19	6,62	6,78
<b>PROMEDIO:</b>			<b>5,67</b>	<b>6,12</b>	<b>6,29</b>	<b>6,74</b>
<b>MÁXIMO:</b>			<b>5,72</b>	<b>6,35</b>	<b>6,62</b>	<b>6,86</b>
<b>MÍNIMO:</b>			<b>5,61</b>	<b>5,79</b>	<b>6,07</b>	<b>6,61</b>

Gráfica N° 4: Conductividad de las unidades en evaluación, durante el desarrollo del Proyecto.

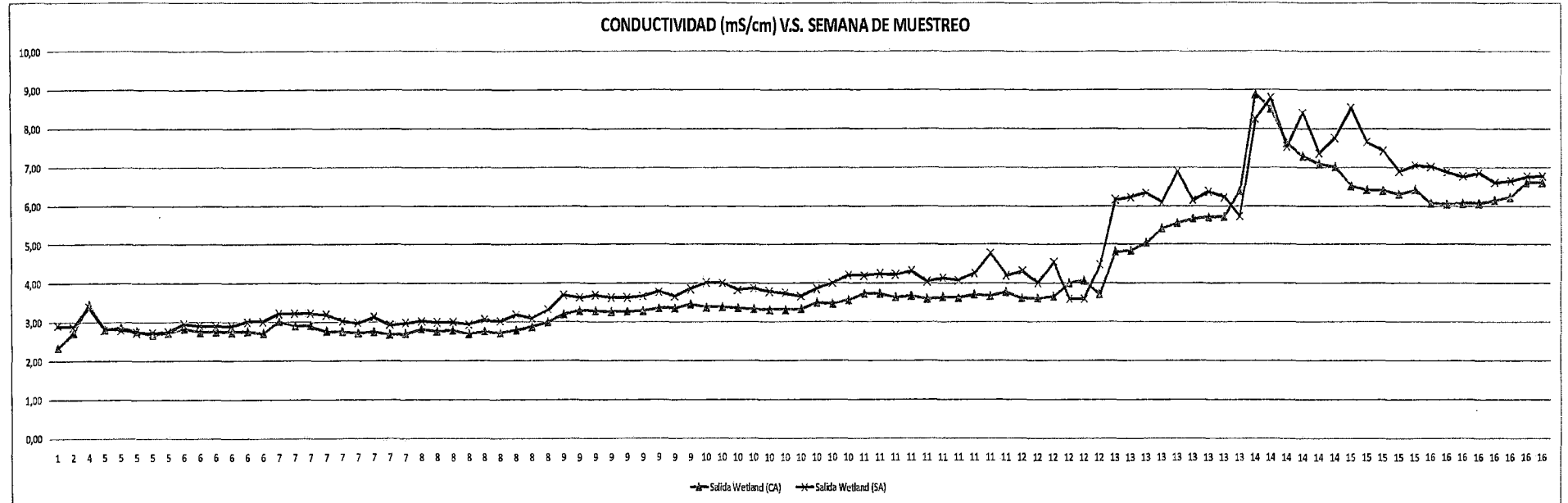


Se observa, los resultados marcan claramente los periodos existentes en el desarrollo del proyecto.

Además se observa el pico en la semana 14, para los resultados de las salidas de los Wetland, esto porque se llevo a cabo la prueba de trazadores.

También se nota en los puntos de cambio, la repercusión de las variaciones en el RAFA, ingreso de Wetland se dan en la salida de los Wetland, luego del periodo de retención.

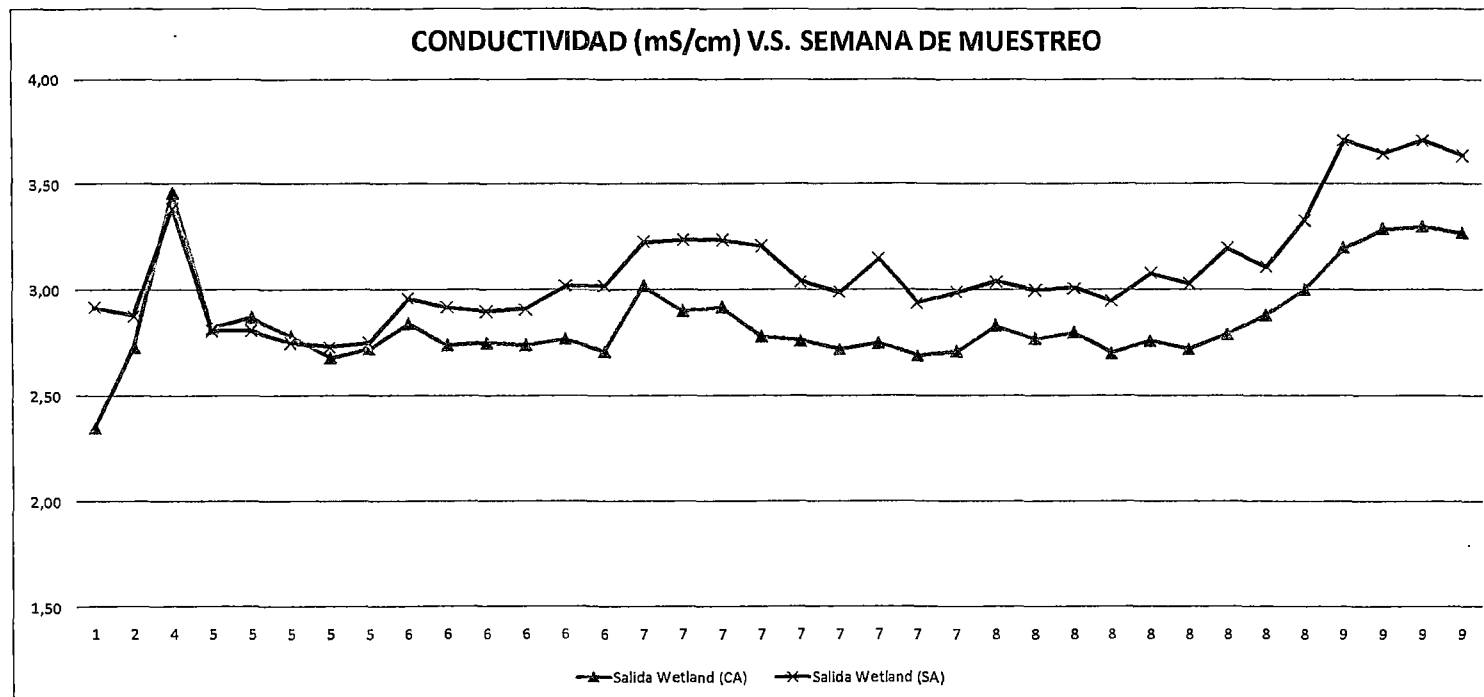
Gráfica N° 5: Conductividad en el efluente Wetland SA y Wetland CA, durante el desarrollo del proyecto.



Se nota que la salida del Wetland SA presenta valores mayores de conductividad que la salida de la unidad Wetland CA, durante el desarrollo del estudio. Así también se nota que los valores registrados para cada unidad (Wetland CA y Wetland SA), se van incrementando desde el periodo 1 hasta el periodo 3.

## PERIODO 1:

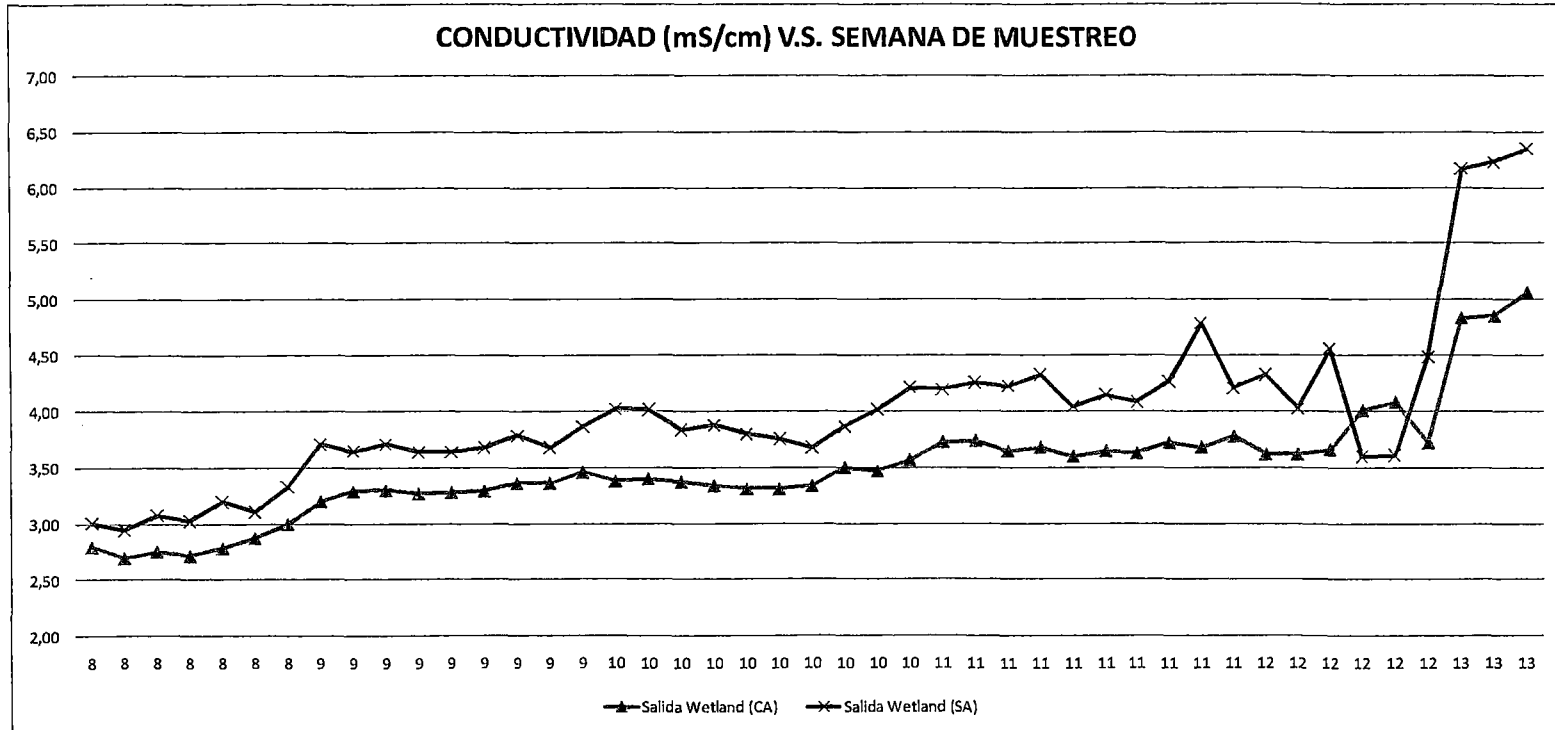
Gráfica N° 6: Conductividad en el efluente Wetland CA y Wetland SA, durante el Periodo 1.



Se observa que los resultados del efluente Wetland SA, presenta valores superiores de conductividad en comparación a la unidad Wetland CA. Los datos de conductividad están entre 2,68 y 3,02 mS/cm en la salida del Wetland CA; y entre 2,73 a 3,33mS/cm en la salida del Wetland SA.

## PERIODO 2:

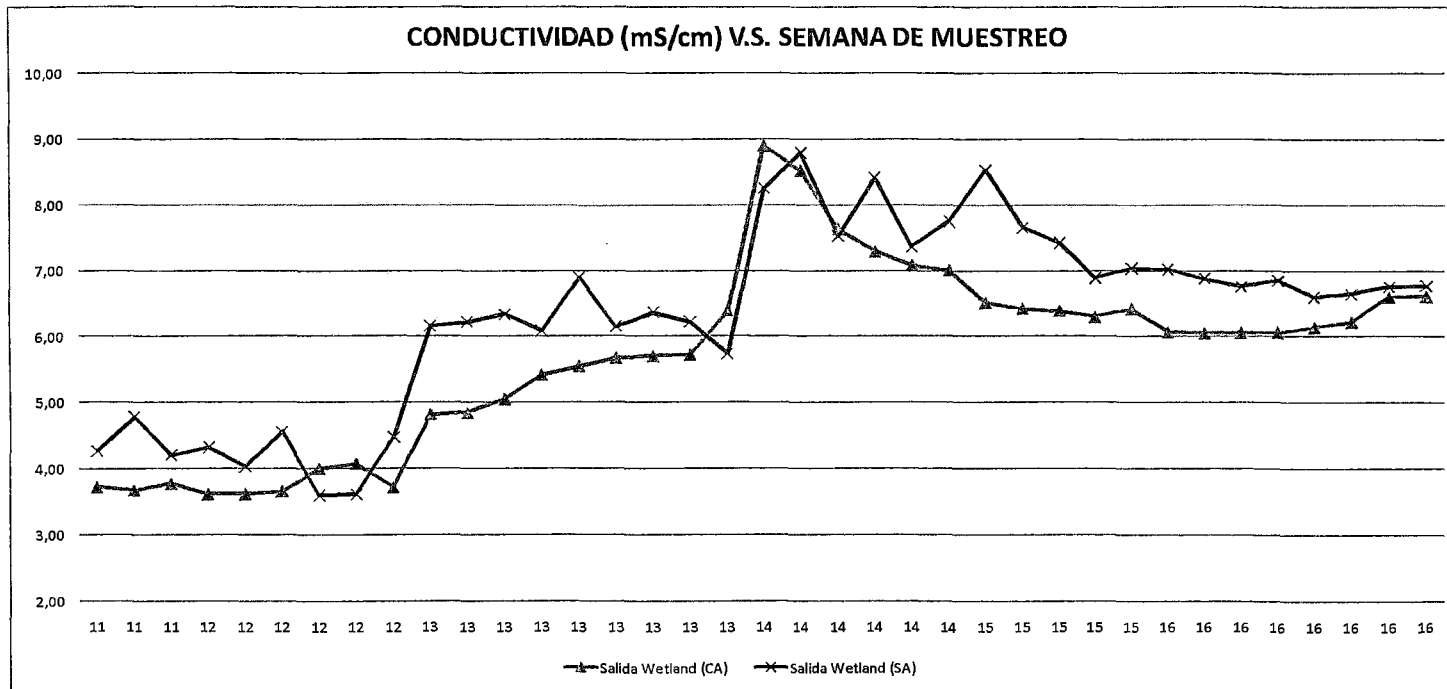
Gráfica N° 7: Conductividad en el efluente Wetland CA y Wetland SA, durante el Periodo 2.



Los resultados a la salida del Wetland SA oscilan entre 3,33 y 4,79mS/cm. Y los del Wetland CA entre 3,2 y 4,01 mS/cm. Se nota en la semana 12 la caída de los valores de conductividad registrados a la salida de la unidad Wetland SA, debido a un incidente (rotura de la tubería de purga) que provoco el vaciado de la unidad.

## PERIODO 3:

Gráfica N° 8: Conductividad en el efluente Wetland CA y Wetland SA, durante el Periodo 3.



Durante este periodo se llevo a cabo la prueba de trazadores, se puede notar en el incremento de la semana 13. El incremento en la semana 12 es debido a la variación en la concentración de la muestra de ingreso (paso de condiciones del periodo 2 al periodo 3).



#### 5.4. Variación del PH y la capacidad buffer del sistema

Tabla 11: pH registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 1.

Muestreo N°	Semana	Fecha	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
1	1	23/03/2010	7,26	7,84	8,16	8,13
2	2	31/03/2010	7,93	7,85	8,31	7,97
3	3	08/04/2010	7,73	7,64	8,44	8,05
4	3	09/04/2010	-	-	-	-
5	4	14/04/2010	7,74	7,79	8,32	8,02
6	4	15/04/2010	7,57	7,71	8,16	7,99
7	4	16/04/2010	7,46	7,89	8,40	7,99
8	5	20/04/2010	-	7,91	8,03	7,81
9	5	21/04/2010	8,09	7,79	8,09	7,69
10	5	21/04/2010	8,08	7,95	8,04	7,77
11	5	22/04/2010	7,93	7,89	7,94	7,74
12	5	23/04/2010	7,63	7,85	8,18	7,65
13	5	23/04/2010	7,76	7,91	8,19	7,94
14	6	26/04/2010	7,64	7,95	7,85	7,86
15	6	27/04/2010	7,78	7,65	7,87	7,66
16	6	27/04/2010	7,43	7,98	8,07	7,95
17	6	28/04/2010	7,89	7,91	8,18	7,86
18	6	28/04/2010	7,84	7,95	7,94	7,76
19	6	29/04/2010	7,79	7,95	7,92	7,83
20	6	30/04/2010	7,56	8,03	8,08	8,05
21	7	03/05/2010	7,65	7,75	7,59	7,77
22	7	04/05/2010	7,96	7,87	7,89	7,75
23	7	04/05/2010	7,75	8,04	7,86	7,65
24	7	05/05/2010	8,37	7,99	7,95	7,51
25	7	05/05/2010	8,41	8,12	7,84	7,49
26	7	06/05/2010	8,35	7,96	7,90	7,60
27	7	06/05/2010	8,01	8,10	7,72	7,43
28	7	07/05/2010	8,24	7,89	7,84	7,63
29	7	07/05/2010	8,27	8,00	7,69	7,45

Muestreo N°	Semana	Fecha	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
30	8	10/05/2010	8,03	7,97	7,70	7,78
31	8	11/05/2010	8,13	7,94	7,63	7,75
32	8	11/05/2010	7,48	8,06	7,78	7,81
33	8	12/05/2010	7,95	7,70	7,74	7,85
34	8	12/05/2010	7,95	7,95	7,80	7,72
35	8	13/05/2010	7,79	7,74	7,98	7,96
36	8	13/05/2010	7,37	7,72	7,85	7,73
37	8	14/05/2010	7,73	7,78	7,78	7,62
38	8	14/05/2010	7,68	7,85	7,67	7,51
<b>PROMEDIO:</b>			<b>7,84</b>	<b>7,89</b>	<b>7,95</b>	<b>7,77</b>
<b>MÁXIMO:</b>			<b>8,41</b>	<b>8,12</b>	<b>8,44</b>	<b>8,13</b>
<b>MÍNIMO:</b>			<b>7,26</b>	<b>7,64</b>	<b>7,59</b>	<b>7,43</b>

Tabla 12: pH registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 2.

Muestreo N°	Semana	Fecha	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
39	9	17/05/2010	7,64	7,81	7,69	7,58
40	9	18/05/2010	7,57	7,88	8,23	7,82
41	9	18/05/2010	7,50	7,74	7,71	7,60
42	9	19/05/2010	7,66	7,92	7,94	7,92
43	9	19/05/2010	7,68	7,84	7,67	7,83
44	9	20/05/2010	7,84	7,83	7,81	7,79
45	9	20/05/2010	7,79	7,85	7,61	7,90
46	9	21/05/2010	7,77	8,08	7,71	8,05
47	9	21/05/2010	7,56	7,81	7,57	7,89
48	10	24/05/2010	7,64	8,10	7,57	7,47
49	10	24/05/2010	7,68	8,14	7,56	7,46
50	10	25/05/2010	7,86	8,08	7,73	7,53

Muestreo N°	Semana	Fecha	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
51	10	25/05/2010	7,94	8,13	7,58	7,50
52	10	26/05/2010	8,52	7,72	7,88	7,76
53	10	26/05/2010	8,48	8,13	7,76	7,77
54	10	27/05/2010	8,16	7,81	7,72	7,84
55	10	27/05/2010	7,89	7,89	7,78	8,00
56	10	28/05/2010	8,05	8,00	7,77	8,00
57	10	28/05/2010	8,06	8,09	7,54	7,77
58	11	31/05/2010	8,17	7,94	7,48	8,00
59	11	31/05/2010	8,22	8,13	7,98	7,63
60	11	01/06/2010	8,16	7,89	7,76	7,87
61	11	01/06/2010	8,18	8,02	7,58	7,66
62	11	02/06/2010	7,86	7,97	7,82	7,96
63	11	02/06/2010	8,07	8,16	7,71	8,05
64	11	03/06/2010	8,10	7,91	7,62	7,94
65	11	03/06/2010	7,39	8,30	7,48	7,87
66	11	04/06/2010	7,94	7,96	7,85	8,00
67	11	04/06/2010	7,94	7,96	7,65	7,99
68	12	07/06/2010	7,67	7,87	7,46	7,74
69	12	08/06/2010	7,80	7,87	7,61	7,88
70	12	08/06/2010	7,87	7,89	7,50	6,59
71	12	09/06/2010	8,42	8,15	7,58	7,98
72	12	09/06/2010	8,32	8,01	7,68	7,39
73	12	10/06/2010	8,44	8,14	7,79	7,79
74	12	11/06/2010	8,37	8,25	7,66	-
<b>PROMEDIO:</b>			<b>8,0</b>	<b>8,0</b>	<b>7,7</b>	<b>7,8</b>
<b>MÁXIMO:</b>			<b>8,5</b>	<b>8,3</b>	<b>8,0</b>	<b>8,1</b>
<b>MÍNIMO:</b>			<b>7,4</b>	<b>7,7</b>	<b>7,5</b>	<b>6,6</b>

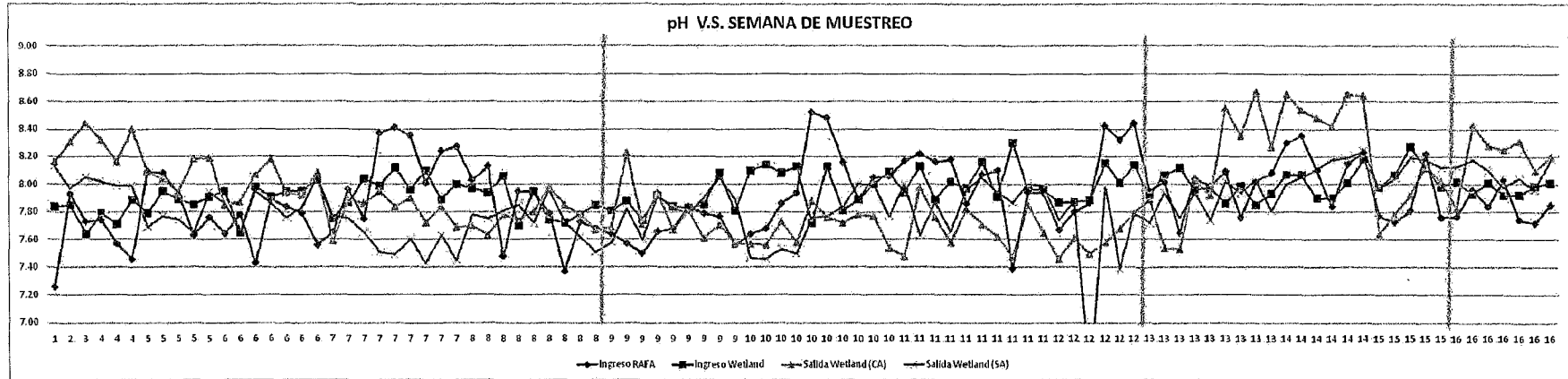
**Tabla 13:** pH registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 3.

Muestreo N°	Semana	Fecha	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
75	13	14/06/2010	7,95	7,92	7,89	7,72
76	13	14/06/2010	8,02	8,07	7,54	7,94
77	13	15/06/2010	7,65	8,12	7,53	7,76
78	13	16/06/2010	8,04	7,96	8,03	7,94
79	13	16/06/2010	7,99	7,97	7,92	7,74
80	13	17/06/2010	8,09	7,86	8,55	8,02
81	13	17/06/2010	7,76	7,99	8,35	7,94
82	13	18/06/2010	8,02	7,85	8,67	8,03
83	13	18/06/2010	8,08	7,93	8,27	7,81
84	14	23/06/2010	8,30	8,07	8,65	8,00
85	14	23/06/2010	8,35	8,07	8,54	8,05
86	14	24/06/2010	8,10	7,90	8,48	8,11
87	14	24/06/2010	7,84	7,90	8,42	8,18
88	14	25/06/2010	8,15	8,01	8,65	8,19
89	14	25/06/2010	8,23	8,18	8,64	8,24
90	15	30/06/2010	7,77	7,98	7,64	7,97
91	15	01/07/2010	7,73	8,07	7,78	8,04
92	15	01/07/2010	7,81	8,27	7,92	8,19
93	15	02/07/2010	8,22	8,12	8,13	8,18
94	15	02/07/2010	7,76	7,98	8,02	8,12
<b>PROMEDIO:</b>			<b>8,0</b>	<b>8,0</b>	<b>8,2</b>	<b>8,0</b>
<b>MÁXIMO:</b>			<b>8,4</b>	<b>8,3</b>	<b>8,7</b>	<b>8,2</b>
<b>MÍNIMO:</b>			<b>7,7</b>	<b>7,9</b>	<b>7,6</b>	<b>7,7</b>

**Tabla 14:** pH registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante la semana de cierre.

<b>Muestreo N°</b>	<b>Semana</b>	<b>Fecha</b>	<b>Ingreso RAFA</b>	<b>Salida RAFA - Ingreso Wetland</b>	<b>Salida Wetland (CA)</b>	<b>Salida Wetland (SA)</b>
95	16	05/07/2010	-	8,42	7,69	8,01
96	16	06/07/2010	7,77	8,02	7,83	8,13
97	16	07/07/2010	7,96	7,93	8,43	8,18
98	16	07/07/2010	7,84	8,01	8,28	8,10
99	16	08/07/2010	8,03	7,92	8,25	7,98
100	16	08/07/2010	7,74	7,92	8,31	8,04
101	16	09/07/2010	7,72	7,99	8,10	7,96
102	16	09/07/2010	7,85	8,01	8,20	8,18
<b>PROMEDIO:</b>			<b>7,84</b>	<b>8,03</b>	<b>8,26</b>	<b>8,07</b>
<b>MÁXIMO:</b>			<b>8,03</b>	<b>8,42</b>	<b>8,43</b>	<b>8,18</b>
<b>MÍNIMO:</b>			<b>7,72</b>	<b>7,92</b>	<b>8,10</b>	<b>7,96</b>

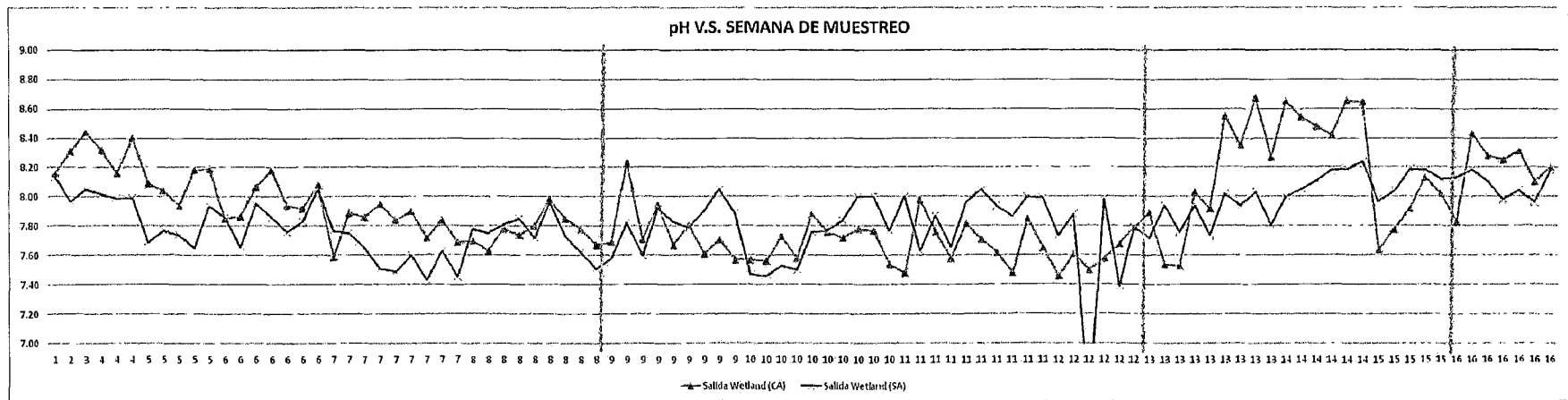
Gráfica N° 9: PH del efluente de las unidades en evaluación, durante el desarrollo del Proyecto.



Los valores de pH promedio registrados durante el estudio para cada periodo fueron:

- Para el Ingreso del RAFA: 7,63; 7,95; 7,99 y 7,84; correspondiente al periodo 1, 2, 3 y semana de cierre respectivamente.
- En la salida del RAFA- Ingreso a Wetlans: 7,89; 7,98; 8,01 y 8,03; correspondiente los periodos 1, 2, 3 y semana de cierre respectivamente.
- En la salida del Wetland CA: 7,95; 7,68; 8,22 y 8,26; correspondiente los periodos 1, 2, 3 y semana de cierre respectivamente.
- En la salida del Wetland SA: 7,77; 7,78; 8,05 y 8,07; correspondiente los periodos 1, 2, 3 y semana de cierre respectivamente.

Gráfica N° 10: PH del efluente del Wetland SA y Wetland CA, durante el desarrollo del Proyecto.



### 5.5. Variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno

**Tabla 15:** DBO (mg/L) registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 1.

Muestreo N°	Semana	Fecha	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
2	2	31/03/2010	285,2	228,9	26,1	22,8
3	3	08/04/2010	365,3	189,9	66,5	54,5
5	4	14/04/2010	361,2	175,0	24,3	54,5
10	5	21/04/2010	298,3	443,7	10,7	23,3
18	6	28/04/2010	217,3	435,7	3,6	32,5
25	7	05/05/2010	363,2	181,5	2,2	32,5
34	8	12/05/2010	492,9	363,6	3,2	22,4
<b>PROMEDIO:</b>			<b>340</b>	<b>288</b>	<b>20</b>	<b>35</b>
<b>MÁXIMO:</b>			<b>493</b>	<b>444</b>	<b>66</b>	<b>54</b>
<b>MÍNIMO:</b>			<b>217</b>	<b>175</b>	<b>2</b>	<b>22</b>

**Tabla 16:** DBO (mg/L) registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 2.

Muestreo N°	Semana	Fecha	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
43	9	19/05/2010	662,2	359,3	7,7	22,1
53	10	26/05/2010	827,9	485,2	1,0	71,5
63	11	02/06/2010	767,1	436,7	0,8	87,9
72	12	09/06/2010	1144,4	476,1	7,3	-
74	12	11/06/2010	-	738,7	7,3	-
<b>PROMEDIO:</b>			<b>850</b>	<b>499</b>	<b>5</b>	<b>61</b>
<b>MÁXIMO:</b>			<b>1144</b>	<b>739</b>	<b>8</b>	<b>88</b>
<b>MÍNIMO:</b>			<b>662</b>	<b>359</b>	<b>1</b>	<b>22</b>



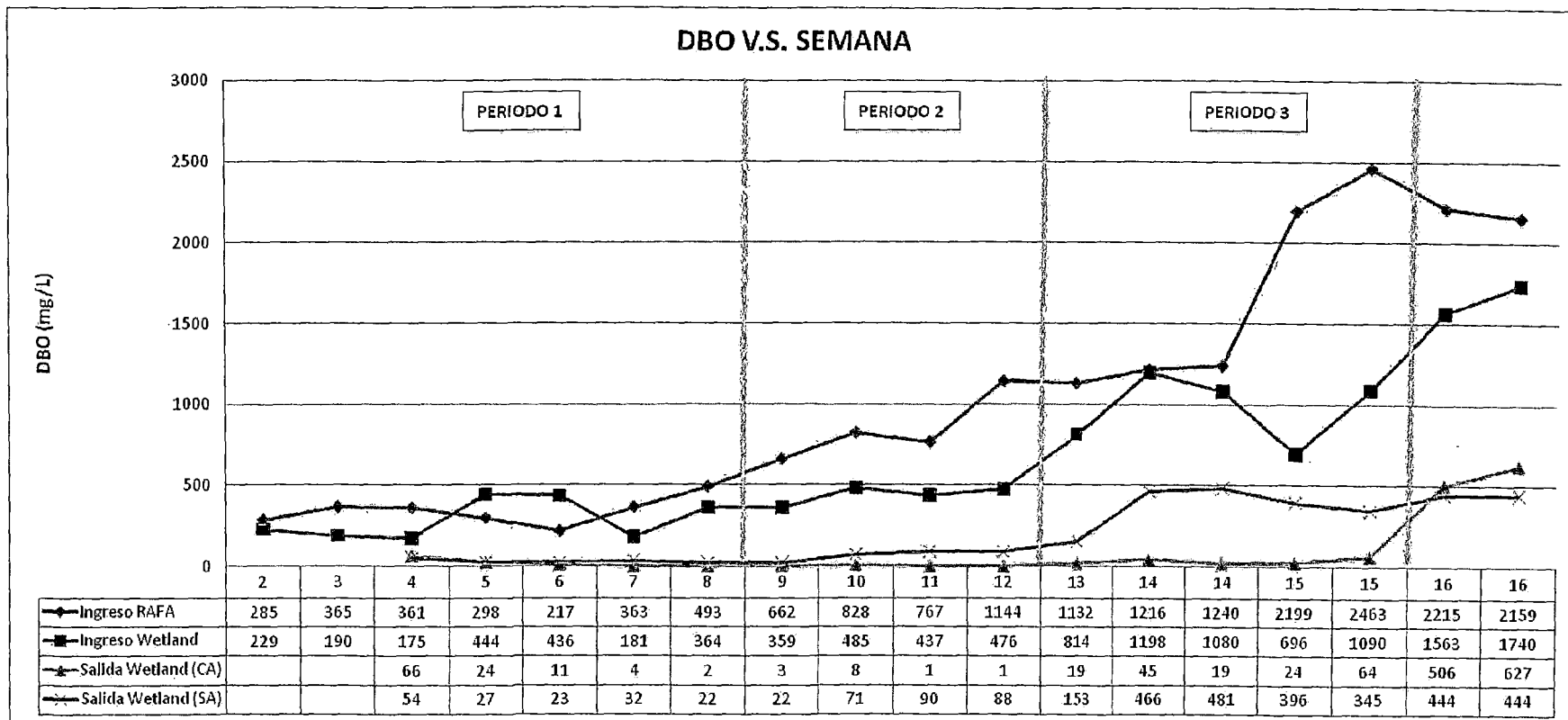
**Tabla 17:** DBO (mg/L) registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 3.

Muestreo N°	Semana	Fecha	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
79	13	16/06/2010	1131,6	814,4	18,9	153,1
85	14	23/06/2010	1215,7	1197,8	45,1	465,8
87	14	24/06/2010	1240,3	1080,2	18,7	481,5
90	15	30/06/2010	2198,8	695,6	24,2	395,7
92	15	01/07/2010	2463,0	1090,3	63,7	345,1
<b>PROMEDIO:</b>			<b>1650</b>	<b>976</b>	<b>34</b>	<b>368</b>
<b>MÁXIMO:</b>			<b>2463</b>	<b>1198</b>	<b>64</b>	<b>481</b>
<b>MÍNIMO:</b>			<b>1132</b>	<b>696</b>	<b>19</b>	<b>153</b>

**Tabla 18:** DBO (mg/L) registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante la semana de cierre.

Muestreo N°	Semana	Fecha	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
98	16	07/07/2010	2214,5	1562,8	63,7	345,1
100	16	08/07/2010	2158,6	1740,4	505,6	444,4
<b>PROMEDIO:</b>			<b>2187</b>	<b>1652</b>	<b>285</b>	<b>395</b>
<b>MÁXIMO:</b>			<b>2215</b>	<b>1740</b>	<b>506</b>	<b>444</b>
<b>MÍNIMO:</b>			<b>2159</b>	<b>1563</b>	<b>64</b>	<b>345</b>

Gráfica N° 11: DBO del efluente de las unidades en evaluación, durante el desarrollo del Proyecto.



Se intento mantener la concentración de ingreso en cada periodo, pero como se observa en la práctica no se da, además se nota que aplicar diluciones no es exacto en cuando a parámetros como la DBO.

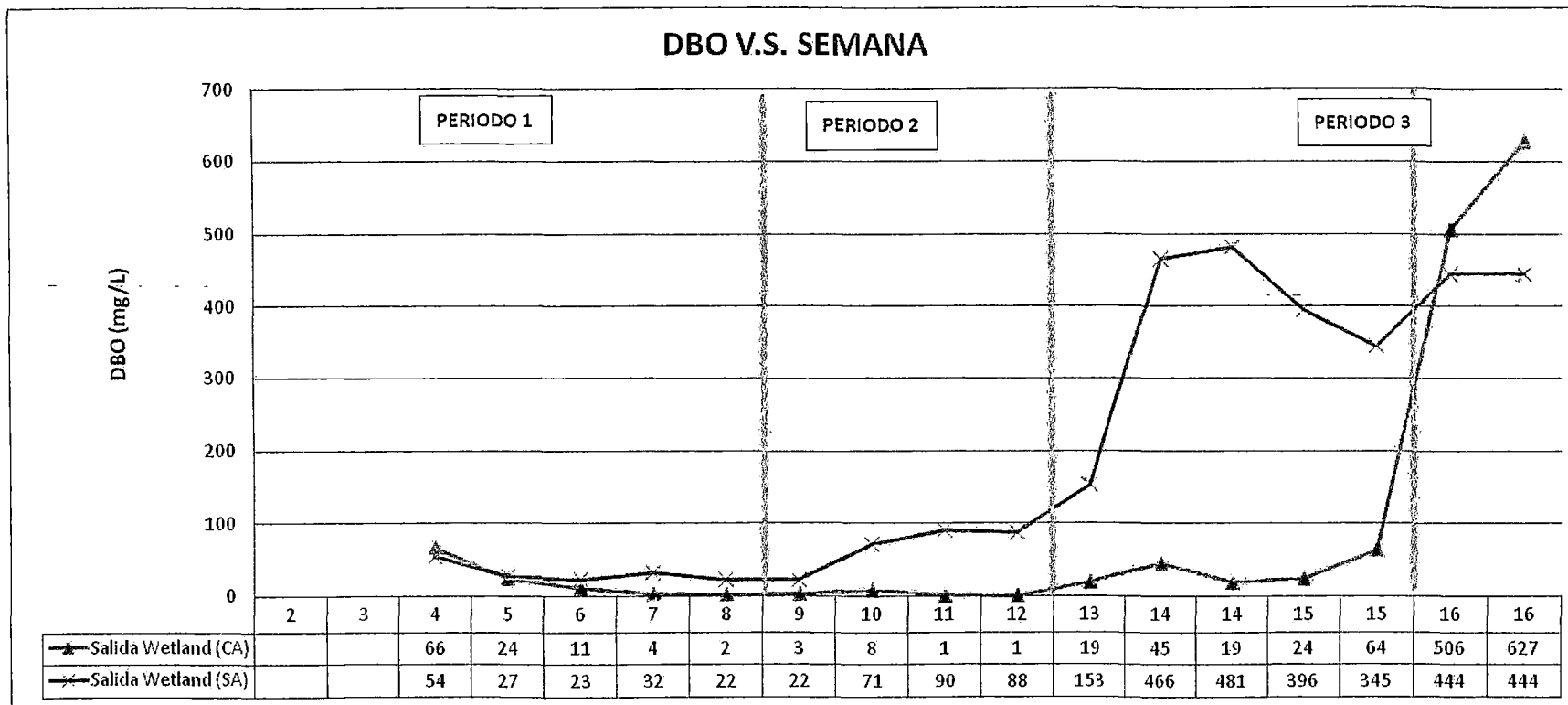
Durante el periodo 1, se registran valores de DBO similares para los efluentes del Wetland SA y Wetland CA. Para el Wetland CA la DBO estuvo entre 2 y 24 mg/L, mientras que para el Wetland SA estuvo entre 22 y 32 mg/L.

En el periodo 2, la DBO en el Wetland SA varía entre 22 y 90 mg/L; mientras que para el Wetland CA la DBO estuvo entre 1 y 8 mg/L.

Durante el periodo 3, la DBO a la salida del Wetland SA varía entre 153 y 481 mg/L; mientras que para el Wetland CA se registro entre 19 y 64mg/L (hasta antes del cese de la aireación).

Al final de la semana 15 se observa el incremento de la DBO a la salida del Wetland CA, producto de haberse cesado la aireación mecanizada al interior de esta unidad.

Gráfica N° 12: DBO del efluente del Wetland SA y Wetland CA, durante el desarrollo del Proyecto.



Aquí se puede notar mejor la diferencia en los resultados del Wetland CA y Wetland SA, durante el desarrollo del proyecto. También se observa el cambio brusco de comportamiento del Wetland CA que corresponde a la semana 15 en la cual se dejó de airear.

### 5.6. Variación de la Demanda Química de Oxígeno

**Tabla 19:** DQO (mg/L) registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 1.

Muestreo N°	Semana	Fecha	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
1	1	31/03/2010	430	270	424	242
3	3	08/04/2010	2850	1300	189	258
5	4	14/04/2010	1165	598	27	92
10	5	21/04/2010	1803	940	37	92
18	6	28/04/2010	1100	810	13	143
25	7	05/05/2010	1090	600	170	277
34	8	12/05/2010	2200	1310	41	94
<b>PROMEDIO:</b>			<b>1520</b>	<b>833</b>	<b>129</b>	<b>171</b>
<b>MÁXIMO:</b>			<b>2850</b>	<b>1310</b>	<b>424</b>	<b>277</b>
<b>MÍNIMO:</b>			<b>430</b>	<b>270</b>	<b>13</b>	<b>92</b>

**Tabla 20:** DQO (mg/L) registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 2.

Muestreo N°	Semana	Fecha	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
43	9	19/05/2010	1410	800	42	172
53	10	26/05/2010	2370	1140	85	339
63	11	02/06/2010	1860	1140	58	394
72	12	09/06/2010	3250	1690	85	-
74	12	11/06/2010	-	1730	85	-
<b>PROMEDIO:</b>			<b>2223</b>	<b>1300</b>	<b>71</b>	<b>302</b>
<b>MÁXIMO:</b>			<b>3250</b>	<b>1730</b>	<b>85</b>	<b>394</b>
<b>MÍNIMO:</b>			<b>1410</b>	<b>800</b>	<b>42</b>	<b>172</b>

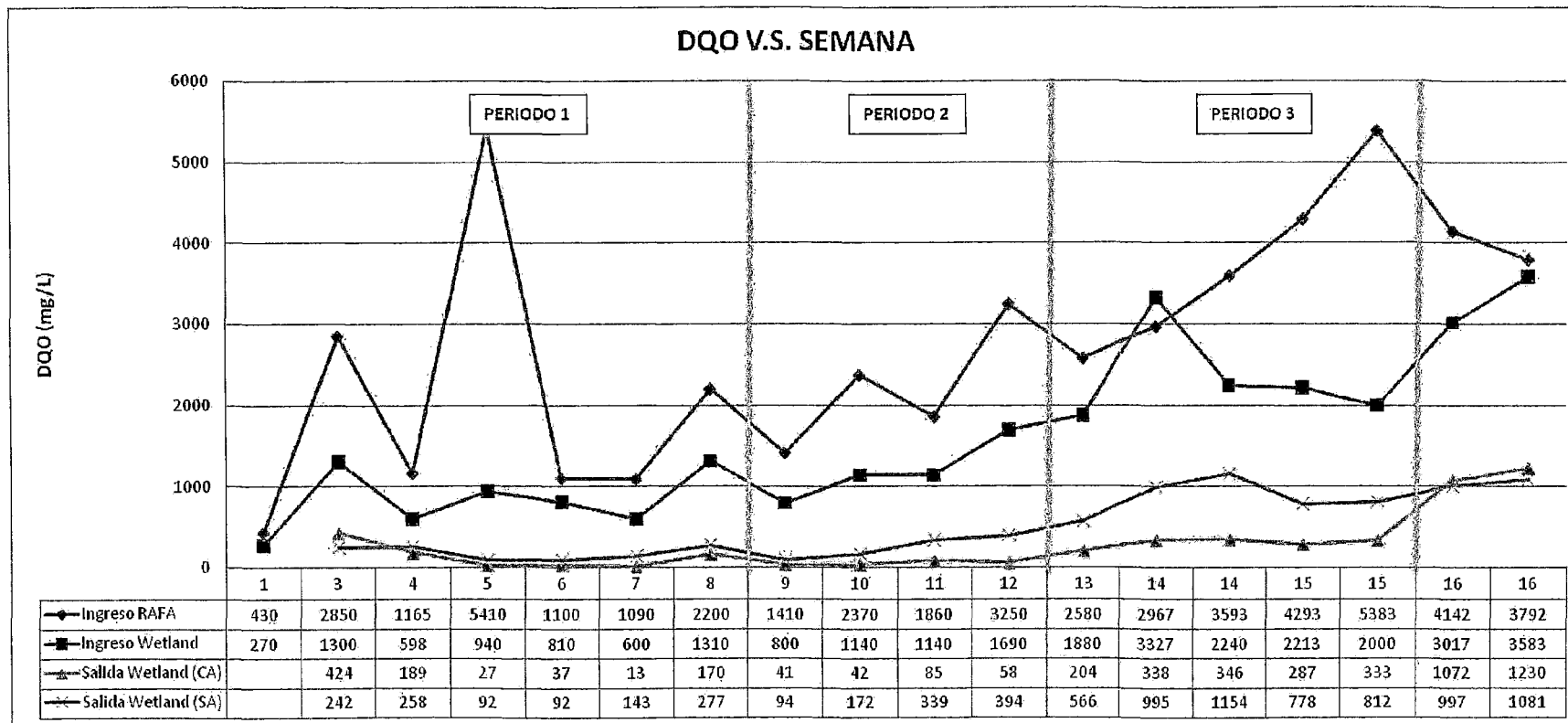
**Tabla 21:** DQO (mg/L) registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 3.

<b>Muestreo N°</b>	<b>Semana</b>	<b>Fecha</b>	<b>Ingreso RAFA</b>	<b>Salida RAFA - Ingreso Wetland</b>	<b>Salida Wetland (CA)</b>	<b>Salida Wetland (SA)</b>
79	13	16/06/2010	2580	1880	204	566
85	14	23/06/2010	2967	3327	338	995
87	14	24/06/2010	3593	2240	346	1154
90	15	30/06/2010	4293	2213	287	778
92	15	01/07/2010	5383	2000	333	812
<b>PROMEDIO:</b>			<b>3763</b>	<b>2332</b>	<b>302</b>	<b>861</b>
<b>MÁXIMO:</b>			<b>5383</b>	<b>3327</b>	<b>346</b>	<b>1154</b>
<b>MÍNIMO:</b>			<b>2580</b>	<b>1880</b>	<b>204</b>	<b>566</b>

**Tabla 22:** DQO (mg/L) registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante la semana de cierre.

<b>Muestreo N°</b>	<b>Semana</b>	<b>Fecha</b>	<b>Ingreso RAFA</b>	<b>Salida RAFA - Ingreso Wetland</b>	<b>Salida Wetland (CA)</b>	<b>Salida Wetland (SA)</b>
98	16	07/07/2010	4142	3017	1072	997
100	16	08/07/2010	3792	3583	1230	1081
<b>PROMEDIO:</b>			<b>3967</b>	<b>3300</b>	<b>1151</b>	<b>1039</b>
<b>MÁXIMO:</b>			<b>4142</b>	<b>3583</b>	<b>1230</b>	<b>1081</b>
<b>MÍNIMO:</b>			<b>3792</b>	<b>3017</b>	<b>1072</b>	<b>997</b>

Gráfica N° 13: DQO en el efluente del Wetland SA y Wetland CA, durante el desarrollo del Proyecto.

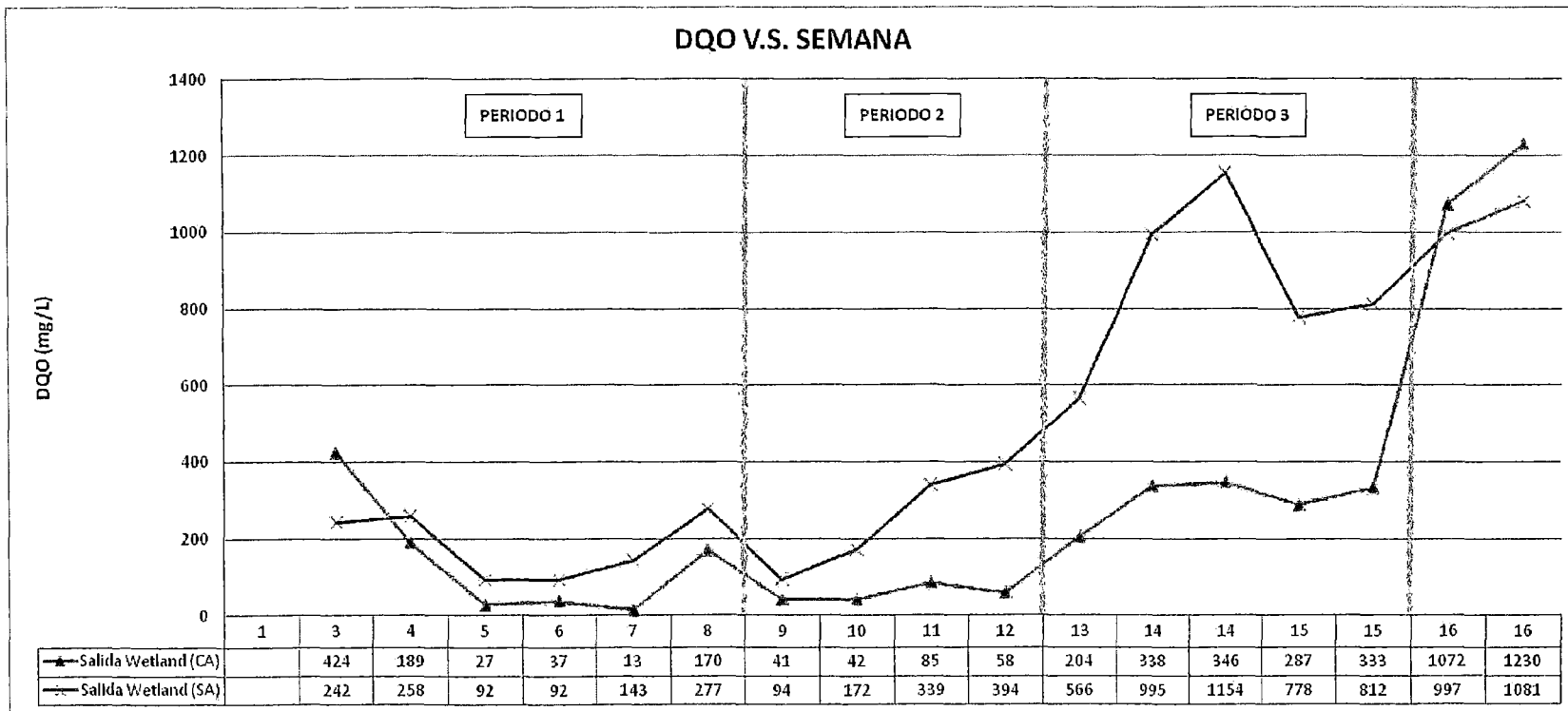


Durante el periodo 1, los resultados del Wetland SA (entre 92mg/L y 277mg/L) estan por encima de los del Wetland CA (entre 13mg/L y 189mg/L).

Similarmente ocurre en el periodo 2 resultando para el Wetland SA valores entre 94 y 394 mg/L, y en el Wetland CA entre 41 y 85 mg/L. Para el periodo 3, se nota el incremento en la semana 15-16 debido al cese de la aireacion en la unidad Wetland CA.



Gráfica N° 14: DQO en el efluente del Wetland SA y Wetland CA, durante el desarrollo del Proyecto.



### 5.7. Variación del Oxígeno Disuelto

**Tabla 23:** OD (mg/L) registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 1.

Muestreo N°	Semana	Fecha	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
1	1	23/03/2010	0,55	0,18	5,26	3,32
2	2	31/03/2010	0,75	0,39	6,40	6,28
3	3	08/04/2010	0,12	0,17	6,23	4,23
4	3	09/04/2010	-	-	-	-
5	4	14/04/2010	0,13	0,22	5,98	4,51
6	4	15/04/2010	1,64	0,36	5,65	4,06
7	4	16/04/2010	4,52	0,16	6,29	4,44
8	5	20/04/2010	0,00	0,14	5,98	5,14
9	5	21/04/2010	0,09	0,32	4,94	4,74
10	5	21/04/2010	0,25	0,15	5,28	4,79
11	5	22/04/2010	0,25	0,18	5,60	4,40
12	5	23/04/2010	0,69	0,21	6,74	4,99
13	5	23/04/2010	0,26	0,57	6,75	5,54
14	6	26/04/2010	0,11	1,47	6,06	4,83
15	6	27/04/2010	0,35	0,24	5,79	4,47
16	6	27/04/2010	0,39	0,16	5,59	5,24
17	6	28/04/2010	1,23	0,16	6,10	4,42
18	6	28/04/2010	0,37	0,16	5,06	3,38
19	6	29/04/2010	0,44	1,65	5,62	4,52
20	6	30/04/2010	3,06	0,19	6,86	4,72
21	7	03/05/2010	0,16	2,01	4,85	4,96
22	7	04/05/2010	1,26	0,24	6,26	5,14
23	7	04/05/2010	0,15	1,90	5,11	4,29
24	7	05/05/2010	0,82	0,68	6,66	4,74
25	7	05/05/2010	0,62	0,74	5,48	3,60
26	7	06/05/2010	0,29	0,70	7,11	4,09
27	7	06/05/2010	0,26	0,51	5,87	4,22
28	7	07/05/2010	0,34	0,27	6,32	2,86

Muestreo N°	Semana	Fecha	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
29	7	07/05/2010	0,32	0,84	5,59	3,55
30	8	10/05/2010	0,60	2,55	6,12	4,46
31	8	11/05/2010	1,31	1,74	6,43	5,14
32	8	11/05/2010	0,60	2,11	6,05	5,33
33	8	12/05/2010	0,94	0,45	6,21	5,77
34	8	12/05/2010	0,15	0,74	6,20	4,73
35	8	13/05/2010	0,50	0,36	6,40	5,98
36	8	13/05/2010	0,12	0,30	6,30	5,03
37	8	14/05/2010	0,19	0,40	4,74	3,32
38	8	14/05/2010	0,16	0,18	4,79	2,68
<b>PROMEDIO:</b>			<b>0,67</b>	<b>0,64</b>	<b>5,91</b>	<b>4,33</b>
<b>MÁXIMO:</b>			<b>4,52</b>	<b>2,55</b>	<b>7,11</b>	<b>6,28</b>
<b>MÍNIMO:</b>			<b>0,09</b>	<b>0,14</b>	<b>4,74</b>	<b>0,42</b>

Tabla 24: OD (mg/L) registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 2.

Muestreo N°	Semana	Fecha	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
39	9	17/05/2010	0,70	3,37	5,51	3,92
40	9	18/05/2010	0,56	1,02	6,72	1,11
41	9	18/05/2010	2,97	2,49	5,53	0,42
42	9	19/05/2010	1,19	1,72	6,12	0,53
43	9	19/05/2010	1,03	3,22	5,28	0,33
44	9	20/05/2010	0,78	1,09	6,63	0,40
45	9	20/05/2010	0,21	0,19	5,51	1,82
46	9	21/05/2010	1,11	0,83	5,92	1,74
47	9	21/05/2010	0,88	0,86	5,18	2,66
48	10	24/05/2010	1,66	1,99	5,23	3,08
49	10	24/05/2010	0,20	3,52	4,96	4,19
50	10	25/05/2010	0,83	0,41	5,80	1,19
51	10	25/05/2010	0,19	0,15	5,40	0,28
52	10	26/05/2010	0,20	0,31	6,92	0,47
53	10	26/05/2010	0,73	1,30	5,98	0,28
54	10	27/05/2010	0,47	0,19	6,13	1,31
55	10	27/05/2010	0,25	0,15	6,13	1,36
56	10	28/05/2010	0,62	0,12	5,23	0,13

Muestreo N°	Semana	Fecha	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
57	10	28/05/2010	0,75	2,56	3,85	0,21
58	11	31/05/2010	0,25	0,23	3,55	0,31
59	11	31/05/2010	0,42	1,33	5,20	0,30
60	11	01/06/2010	0,27	0,26	6,12	0,35
61	11	01/06/2010	0,22	0,21	4,75	0,31
62	11	02/06/2010	0,16	0,14	6,74	0,15
63	11	02/06/2010	0,23	0,86	6,00	0,43
64	11	03/06/2010	0,35	0,25	5,53	0,16
65	11	03/06/2010	0,91	2,16	3,99	0,23
66	11	04/06/2010	0,29	1,66	6,07	0,20
67	11	04/06/2010	0,29	1,66	5,19	0,15
68	12	07/06/2010	2,47	2,55	6,04	0,41
69	12	08/06/2010	2,16	1,21	6,12	0,41
70	12	08/06/2010	0,27	2,88	5,67	3,88
71	12	09/06/2010	0,28	0,17	5,71	0,25
72	12	09/06/2010	0,41	0,17	4,12	0,44
73	12	10/06/2010	0,54	0,25	5,25	0,25
74	12	11/06/2010	0,34	0,14	5,85	0,00
<b>PROMEDIO:</b>			<b>0,70</b>	<b>1,16</b>	<b>5,49</b>	<b>0,83</b>
<b>MÁXIMO:</b>			<b>2,97</b>	<b>3,52</b>	<b>6,92</b>	<b>4,19</b>
<b>MÍNIMO:</b>			<b>0,16</b>	<b>0,12</b>	<b>3,55</b>	<b>0,13</b>

Tabla 25: OD (mg/L) registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 3.

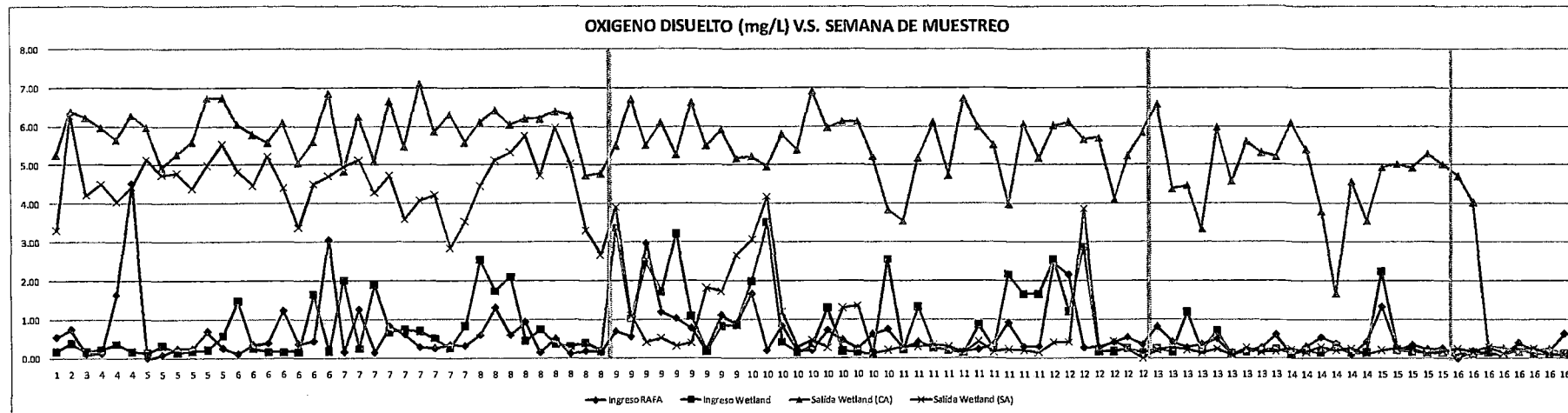
Muestreo N°	Semana	Fecha	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
75	13	14/06/2010	0,82	0,25	6,59	0,23
76	13	14/06/2010	0,43	0,17	4,39	0,28
77	13	15/06/2010	0,28	1,19	4,48	0,23
78	13	16/06/2010	0,36	0,21	3,35	0,15
79	13	16/06/2010	0,51	0,70	5,99	0,24
80	13	17/06/2010	0,14	0,12	4,58	0,10
81	13	17/06/2010	0,16	0,17	5,62	0,27
82	13	18/06/2010	0,28	0,20	5,33	0,17
83	13	18/06/2010	0,61	0,24	5,22	0,18
84	14	23/06/2010	0,08	0,11	6,10	0,24

Muestreo N°	Semana	Fecha	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
85	14	23/06/2010	0,30	0,20	5,41	0,16
86	14	24/06/2010	0,54	0,14	3,80	0,29
87	14	24/06/2010	0,38	0,31	1,68	0,21
88	14	25/06/2010	0,10	0,14	4,58	0,26
89	14	25/06/2010	0,42	0,15	3,56	0,12
90	15	30/06/2010	1,33	2,25	4,95	0,21
91	15	01/07/2010	0,19	0,21	5,03	0,26
92	15	01/07/2010	0,34	0,17	4,94	0,22
93	15	02/07/2010	0,23	0,14	5,29	0,13
94	15	02/07/2010	0,26	0,15	5,03	0,18
<b>PROMEDIO:</b>			<b>0,39</b>	<b>0,36</b>	<b>4,70</b>	<b>0,20</b>
<b>MÁXIMO:</b>			<b>1,33</b>	<b>2,25</b>	<b>6,10</b>	<b>0,29</b>
<b>MÍNIMO:</b>			<b>0,08</b>	<b>0,11</b>	<b>1,68</b>	<b>0,10</b>

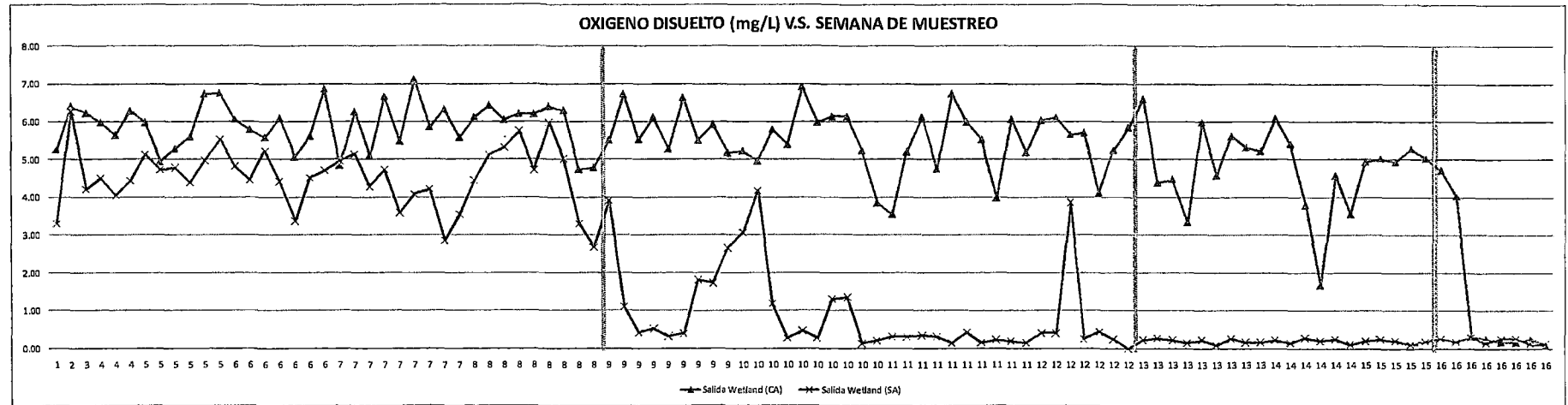
**Tabla 26:** OD (mg/L) registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante la semana de cierre.

Muestreo N°	Semana	Fecha	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
95	16	05/07/2010	-	0,11	4,72	0,25
96	16	06/07/2010	0,19	0,12	4,04	0,17
97	16	07/07/2010	0,14	0,15	0,32	0,29
98	16	07/07/2010	0,10	0,09	0,26	0,13
99	16	08/07/2010	0,39	0,22	0,17	0,25
100	16	08/07/2010	0,21	0,13	0,17	0,26
101	16	09/07/2010	0,17	0,10	0,25	0,11
102	16	09/07/2010	0,63	0,12	0,09	0,10
<b>PROMEDIO:</b>			<b>0,26</b>	<b>0,13</b>	<b>0,21</b>	<b>0,19</b>
<b>MÁXIMO:</b>			<b>0,63</b>	<b>0,22</b>	<b>0,32</b>	<b>0,29</b>
<b>MÍNIMO:</b>			<b>0,10</b>	<b>0,09</b>	<b>0,09</b>	<b>0,10</b>

Gráfica N° 15: Oxígeno Disuelto del efluente de las unidades en evaluación, durante el desarrollo del Proyecto.



Gráfica N° 16: Oxígeno Disuelto del efluente del Wetland SA y Wetland CA, durante el desarrollo del Proyecto.



Se nota que para el periodo 1 la diferencia en la concentración de OD en los Wetland (CA y SA) no es mucha, luego en el periodo 2 se puede notar una diferencia mayor, notándose picos (en la semana 12), debido a que ocurrió un incidente que vacio por completo la unidad. Luego en la semana 9-10 ocurrió un incidente en el RAFA (su efluente estaba oscuro, al parecer ingreso una sustancia dañina).

### 5.8. Variación de la turbiedad

**Tabla 27:** Turbiedad (NTU) registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 1.

Muestreo N°	Semana	Fecha	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
1	1	23/03/2010	-	-	3,09	14,50
2	2	31/03/2010	800,00	81,00	0,41	2,08
3	3	08/04/2010	193,00	204,00	1,64	8,00
4	3	09/04/2010	138,00	120,00	1,22	12,40
5	4	14/04/2010	149,00	158,00	0,76	7,62
6	4	15/04/2010	135,00	75,20	0,30	7,20
7	4	16/04/2010	190,00	175,00	0,71	14,50
8	5	20/04/2010	0,00	40,04	0,70	2,56
9	5	21/04/2010	127,00	94,90	0,46	2,86
10	5	21/04/2010	89,50	118,00	0,71	3,13
11	5	22/04/2010	110,00	114,00	0,53	5,55
12	5	23/04/2010	203,00	54,20	0,50	5,40
13	5	23/04/2010	164,00	136,00	0,74	6,06
14	6	26/04/2010	112,00	244,00	0,30	4,14
15	6	27/04/2010	260,00	89,50	0,37	4,22
16	6	27/04/2010	146,00	133,00	0,36	4,20
17	6	28/04/2010	125,00	119,00	0,33	5,05
18	6	28/04/2010	92,00	106,00	0,27	5,17
19	6	29/04/2010	142,00	121,00	0,22	6,42
20	6	30/04/2010	136,00	68,00	0,53	32,00
21	7	03/05/2010	143,00	124,00	0,32	7,02
22	7	04/05/2010	116,00	81,00	0,52	5,73
23	7	04/05/2010	78,00	159,00	0,46	5,47
24	7	05/05/2010	46,80	159,00	0,34	9,51
25	7	05/05/2010	42,00	132,00	0,33	12,00
26	7	06/05/2010	95,00	78,90	0,37	30,90
27	7	06/05/2010	75,00	149,00	0,57	12,20
28	7	07/05/2010	63,40	50,00	0,30	40,00
29	7	07/05/2010	159,00	94,90	0,47	18,80
30	8	10/05/2010	150,00	111,00	0,36	7,12
31	8	11/05/2010	108,00	54,50	0,34	5,40
32	8	11/05/2010	233,00	157,00	0,39	5,43



Muestreo N°	Semana	Fecha	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
33	8	12/05/2010	206,00	120,00	0,75	4,60
34	8	12/05/2010	222,00	141,00	0,44	4,75
35	8	13/05/2010	162,00	106,00	0,73	4,34
36	8	13/05/2010	203,00	89,40	0,72	4,19
37	8	14/05/2010	126,00	105,00	0,31	5,59
38	8	14/05/2010	190,00	121,00	0,67	10,30
<b>PROMEDIO:</b>			<b>159,16</b>	<b>115,77</b>	<b>0,59</b>	<b>12,05</b>
<b>MÁXIMO:</b>			<b>800,00</b>	<b>244,00</b>	<b>3,09</b>	<b>99,00</b>
<b>MÍNIMO:</b>			<b>42,00</b>	<b>40,04</b>	<b>0,22</b>	<b>2,08</b>

**Tabla 28:** Turbiedad (NTU) registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 2.

Muestreo N°	Semana	Fecha	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
39	9	17/05/2010	349,00	142,00	0,40	33,50
40	9	18/05/2010	148,00	95,00	0,70	99,00
41	9	18/05/2010	238,00	126,00	0,60	15,30
42	9	19/05/2010	168,00	128,00	0,81	143,00
43	9	19/05/2010	169,00	115,00	0,38	124,00
44	9	20/05/2010	243,00	93,00	0,44	100,00
45	9	20/05/2010	270,00	136,00	0,47	33,60
46	9	21/05/2010	351,00	127,00	0,36	85,00
47	9	21/05/2010	455,00	147,00	0,45	67,00
48	10	24/05/2010	784,00	242,00	0,50	31,50
49	10	24/05/2010	484,00	267,00	0,70	29,20
50	10	25/05/2010	407,00	166,00	0,69	81,00
51	10	25/05/2010	606,00	292,00	0,53	94,30
52	10	26/05/2010	158,00	126,00	0,60	126,00
53	10	26/05/2010	168,00	143,00	0,48	114,00
54	10	27/05/2010	171,00	104,00	0,64	78,80
55	10	27/05/2010	236,00	149,00	0,72	154,00
56	10	28/05/2010	245,00	130,00	0,70	120,00
57	10	28/05/2010	281,00	221,00	0,69	136,00
58	11	31/05/2010	151,00	165,00	0,47	114,00
59	11	31/05/2010	227,00	215,00	0,47	164,00
60	11	01/06/2010	205,00	128,00	0,51	67,90

Muestreo N°	Semana	Fecha	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
61	11	01/06/2010	450,00	149,00	0,53	91,30
62	11	02/06/2010	189,00	104,00	0,39	48,30
63	11	02/06/2010	249,00	223,00	0,52	140,00
64	11	03/06/2010	486,00	137,00	0,72	32,90
65	11	03/06/2010	193,00	185,00	0,47	55,00
66	11	04/06/2010	235,00	136,00	0,71	241,00
67	11	04/06/2010	235,00	136,00	0,40	85,00
68	12	07/06/2010	276,00	157,00	0,46	146,00
69	12	08/06/2010	436,00	165,00	1,07	112,00
70	12	08/06/2010	389,00	167,00	0,96	48,60
71	12	09/06/2010	435,00	112,00	0,89	92,10
72	12	09/06/2010	326,00	179,00	0,30	79,60
73	12	10/06/2010	166,00	120,00	1,02	52,80
74	12	11/06/2010	201,00	308,00	0,39	-
<b>PROMEDIO:</b>			<b>299,44</b>	<b>159,31</b>	<b>0,59</b>	<b>97,19</b>
<b>MÁXIMO:</b>			<b>784,00</b>	<b>308,00</b>	<b>1,07</b>	<b>241,00</b>
<b>MÍNIMO:</b>			<b>148,00</b>	<b>93,00</b>	<b>0,30</b>	<b>29,20</b>

Tabla 29: Turbiedad (NTU) registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 3.

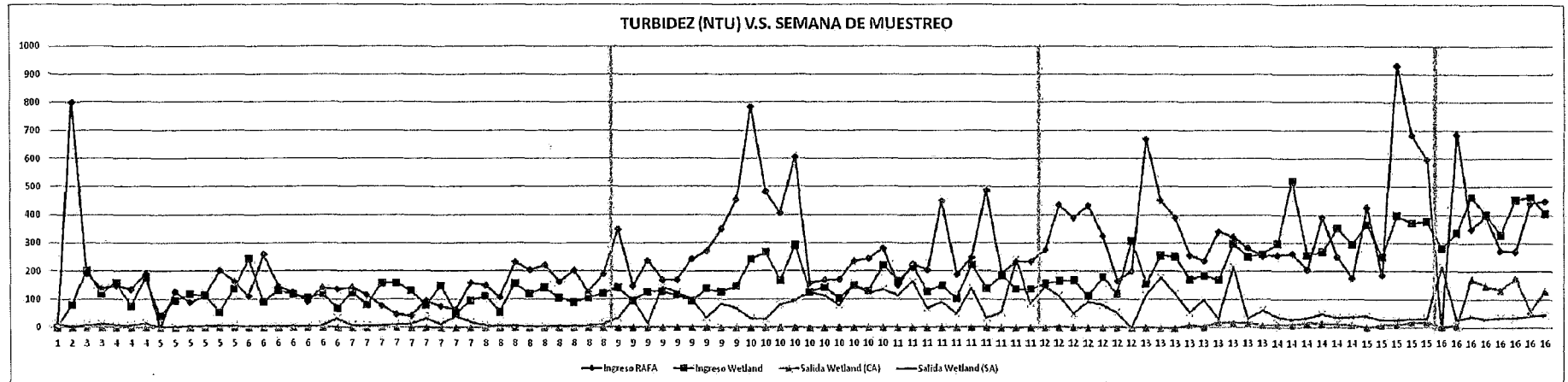
Muestreo N°	Semana	Fecha	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
75	13	14/06/2010	669,00	156,00	0,50	114,00
76	13	14/06/2010	453,00	256,00	0,64	177,00
77	13	15/06/2010	391,00	251,00	0,63	120,00
78	13	16/06/2010	258,00	171,00	10,40	54,50
79	13	16/06/2010	238,00	185,00	3,26	98,40
80	13	17/06/2010	342,00	170,00	19,50	31,60
81	13	17/06/2010	323,00	298,00	17,30	216,00
82	13	18/06/2010	284,00	252,00	17,20	32,40
83	13	18/06/2010	254,00	261,00	11,40	61,00
84	14	23/06/2010	257,00	298,00	9,95	37,90
85	14	23/06/2010	263,00	521,00	9,95	28,10
86	14	24/06/2010	207,00	257,00	16,00	32,80
87	14	24/06/2010	392,00	268,00	15,30	49,40
88	14	25/06/2010	252,00	354,00	12,80	36,10

Muestreo N°	Semana	Fecha	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
89	14	25/06/2010	176,00	295,00	10,10	39,00
90	15	30/06/2010	427,00	367,00	3,05	41,80
91	15	01/07/2010	187,00	252,00	9,52	26,90
92	15	01/07/2010	930,00	397,00	10,50	27,40
93	15	02/07/2010	683,00	371,00	19,80	31,80
94	15	02/07/2010	597,00	378,00	19,00	31,20
<b>PROMEDIO:</b>			<b>379,15</b>	<b>287,90</b>	<b>11,83</b>	<b>58,92</b>
<b>MÁXIMO:</b>			<b>930,00</b>	<b>521,00</b>	<b>19,80</b>	<b>216,00</b>
<b>MÍNIMO:</b>			<b>176,00</b>	<b>156,00</b>	<b>3,05</b>	<b>26,90</b>

**Tabla 30:** Turbiedad (NTU) registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante la semana de cierre.

Muestreo N°	Semana	Fecha	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
95	16	05/07/2010	-	281,00	3,67	215,00
96	16	06/07/2010	686,00	337,00	6,00	28,10
97	16	07/07/2010	350,00	464,00	172,00	39,60
98	16	07/07/2010	396,00	401,00	148,00	30,40
99	16	08/07/2010	274,00	329,00	134,00	36,50
100	16	08/07/2010	271,00	455,00	176,00	35,40
101	16	09/07/2010	442,00	464,00	59,80	42,90
102	16	09/07/2010	450,00	406,00	131,00	45,90
<b>PROMEDIO:</b>			<b>409,86</b>	<b>392,13</b>	<b>136,80</b>	<b>38,45</b>
<b>MÁXIMO:</b>			<b>686,00</b>	<b>464,00</b>	<b>176,00</b>	<b>45,90</b>
<b>MÍNIMO:</b>			<b>271,00</b>	<b>281,00</b>	<b>59,80</b>	<b>30,40</b>

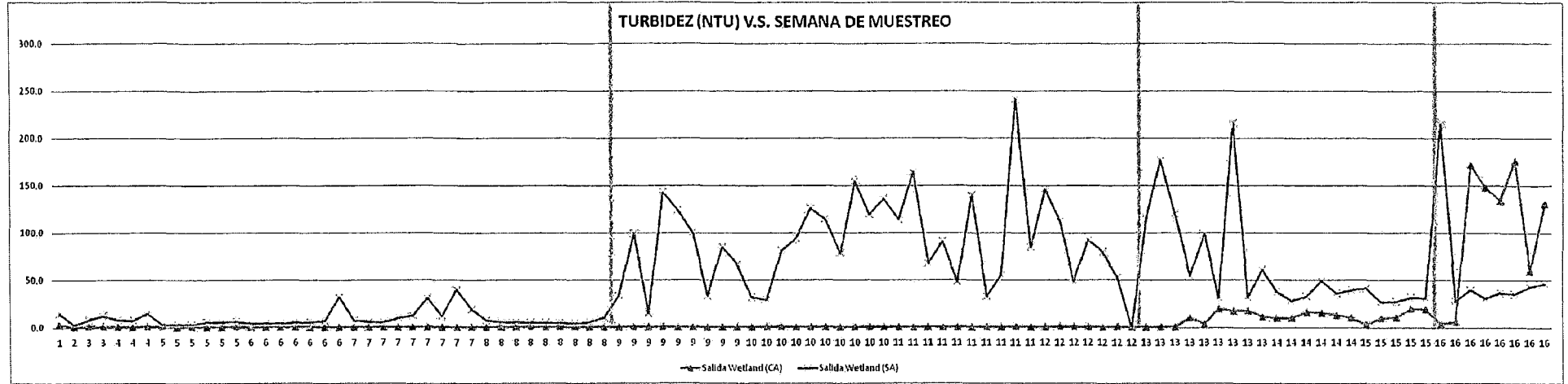
**Gráfica N° 17:** Turbidez en el ingreso y salida del Wetland SA y Wetland CA, durante el desarrollo del Proyecto.



Se observa la tendencia estable en los resultados a la salida del Wetland CA, con valores bajos de turbidez en todos los periodos del proyecto, al final se nota el cambio abrupto debido al cese de la aireación, en la semana 16.

Para la muestra de la salida del RAFA (ingreso de los Wetlands), se nota la tendencia de los resultados a lo largo de las 16 semanas, de manera creciente conforme a la mayor concentración de su influente.

Gráfica N° 18: Turbidez en efluente del Wetland SA y Wetland CA, durante el desarrollo del proyecto.

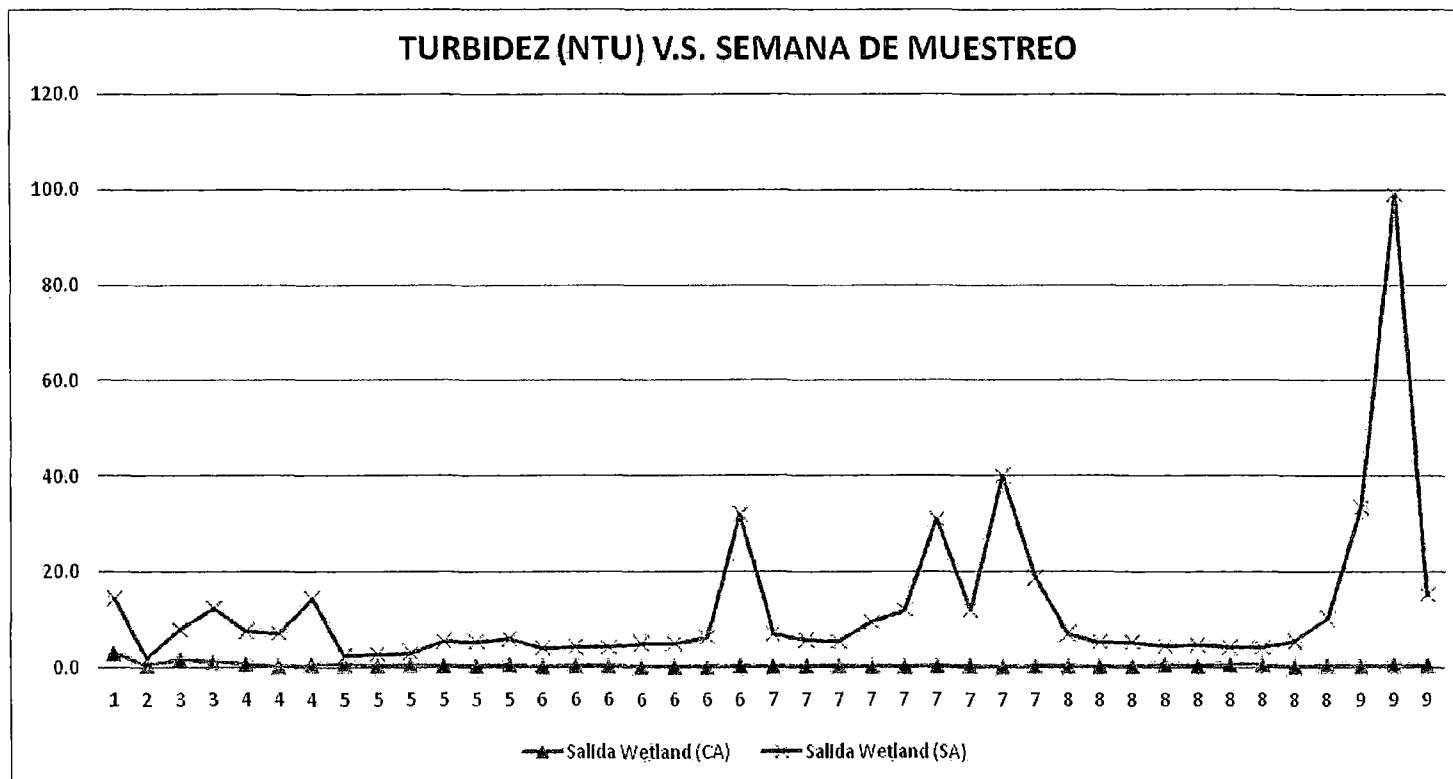


Para curva que denota los resultados a la salida del Wetland SA, se observan variaciones (picos), en cambio en la unidad Wetland CA los valores reportados son casi los mismos, contrastando la información de los resultados de otros parámetros evaluados, se nota que la unidad Wetland CA, asimila y amortigua mejor las fluctuaciones que pudiera haber en la calidad de su afluente.

Además también se observa en la semana 16 la intersección de las líneas, consecuencia de suspensión de la aireación de la unidad Wetland CA.

PERIODO 1:

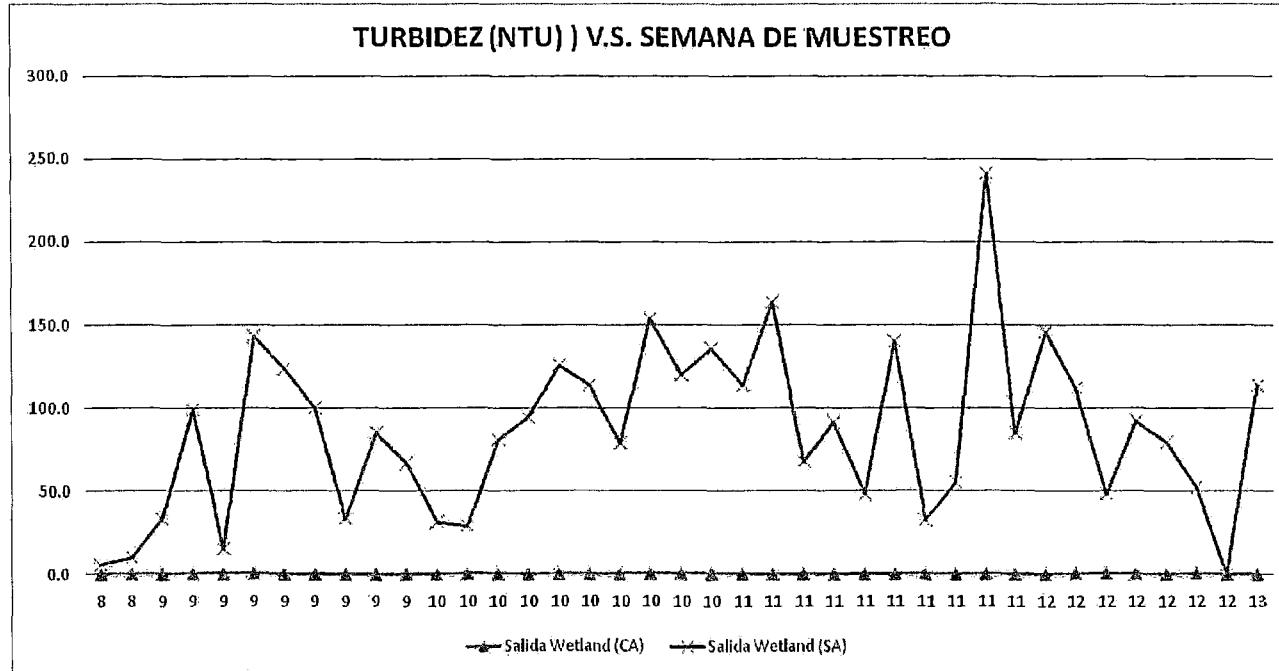
Gráfica N° 19: Turbidez a la salida del Wetland CA y Wetland SA, en el Periodo 1.



Los resultados de turbidez en este periodo para Wetland SA oscilan entre 2,1 y 40 NTU.

PERIODO 2:

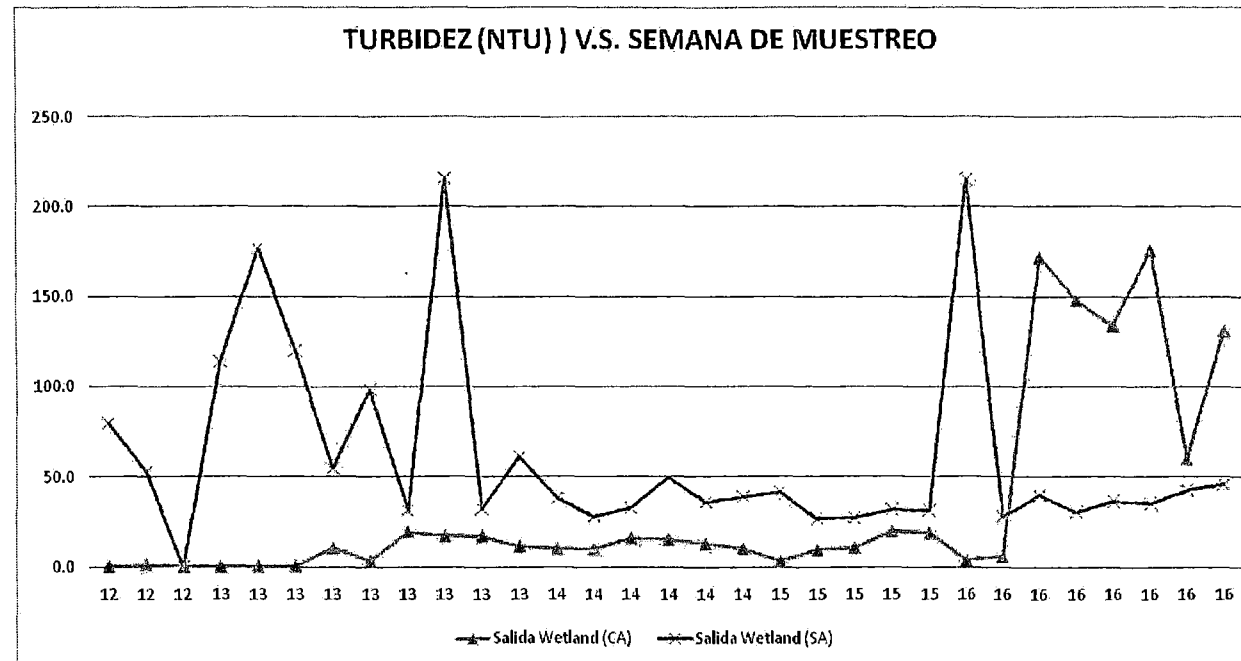
Gráfica N° 20: Turbidez a la salida del Wetland CA y Wetland SA, en el Periodo 2.



Para este periodo los valores de turbidez en el Wetland SA resultaron entre 15,3 y 241 NTU. En la unidad Wetland CA resultaron entre 0,4 a 1,1 NTU. Aquí se puede notar que los resultados para la salida del Wetland CA están entre un rango corto, por lo gráfico se observa un tendencia casi constante.

PERIODO 3:

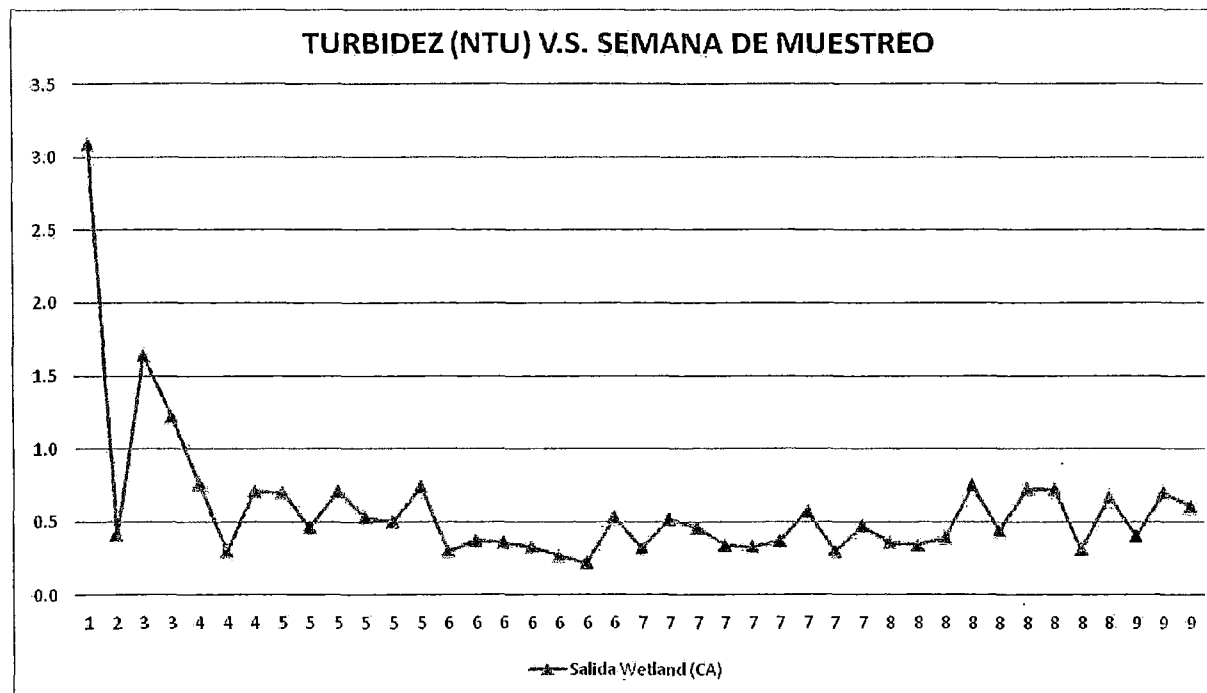
Gráfica N° 21: Turbidez en el efluente Wetland SA y Wetland CA, durante el Periodo 3.



En este periodo los resultados de la unidad Wetland SA oscilan entre 26,9 y 216 NTU. La caída en la semana 12 se debe a un incidente ocurrido a la unidad Wetland SA.

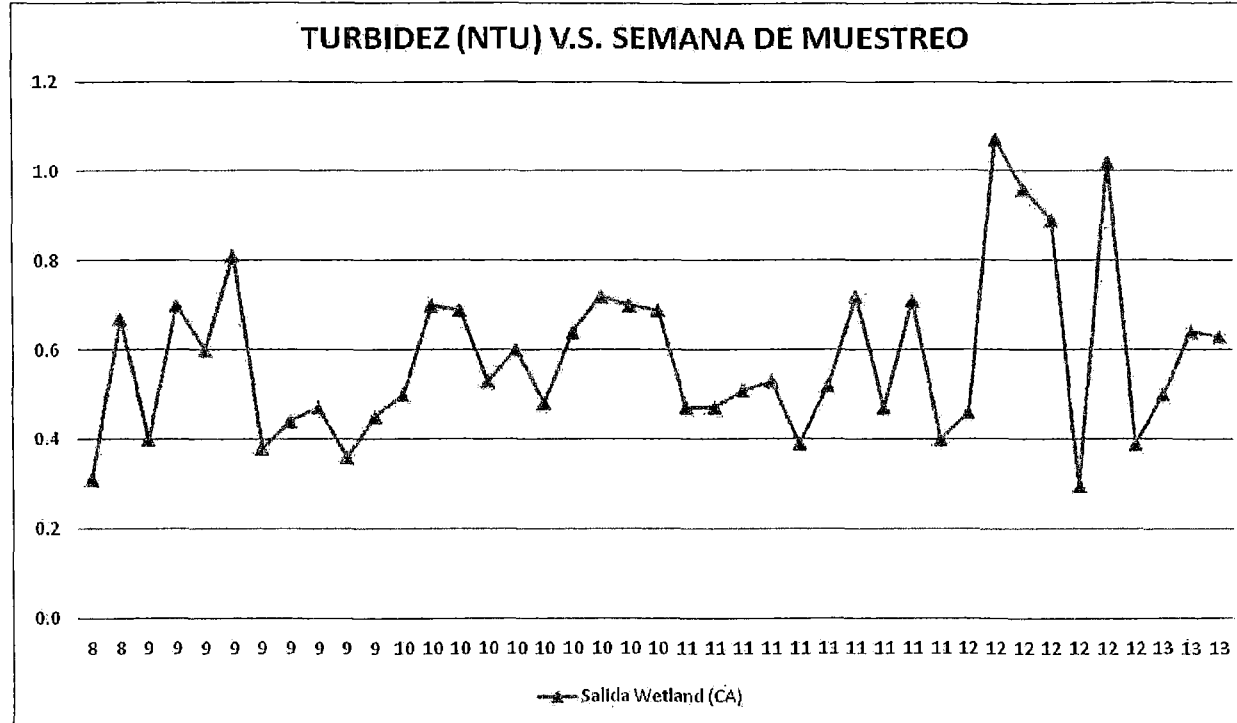


Gráfica N° 22: Turbidez a la salida del Wetland CA, en el Periodo 1.



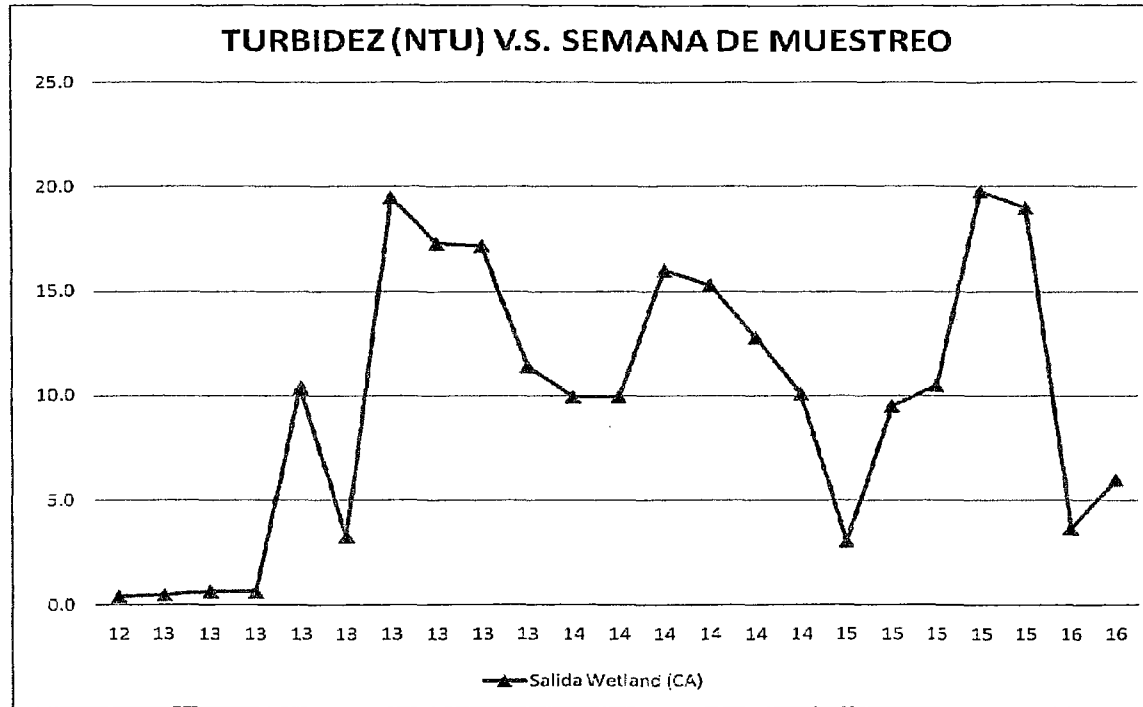
Aquí se puede notar para el Wetland CA el periodo en que el humedal se encuentra en proceso de adaptación, en este periodo se obtuvieron valores entre 0,3 y 3,1 NTU.

Gráfica N° 23: Turbidez a la salida del Wetland CA, en el Periodo 2.



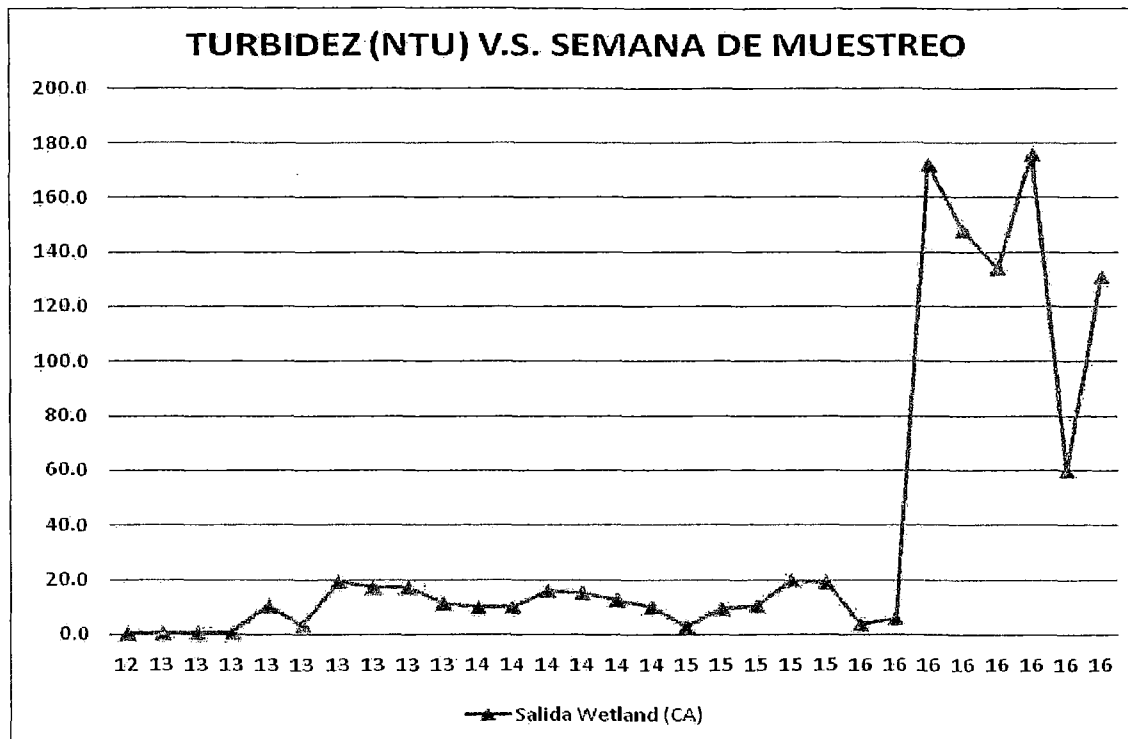
Se nota el cambio o pico correspondiente a la variación (incremento) de la concentración del influente. Los valores durante este periodo para el Wetland CA oscilan entre 0,3 a 1,1 NTU.

Gráfica N° 24: Turbidez en el efluente Wetland CA, durante el Periodo 3, antes de suspender la aireación.



En este periodo los resultados oscilan entre 3,1 y 19,8 NTU. En este periodo se puede notar que los resultados varían en un rango más amplio

Gráfica N° 25: Turbidez en el efluente Wetland CA, durante el Periodo 3, incluyendo la semana de cierre (semana 16).



Se observa el pico ocasionado por la suspensión de la aireación mecanizada en la unidad Wetland CA, cabe mencionar que la suspensión de la aireación se produjo al final de la semana 15. Durante este periodo se reportaron valores de 0,5 a 19,8 NTU (hasta antes de suspender la aireación).

### 5.9. Variación de sólidos suspendidos totales (SST)

**Tabla 31:** SST (mg/L) registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 1.

Muestreo N°	Semana	Fecha	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
1	1	23/03/2010	-	-	-	-
2	2	31/03/2010	-	-	-	-
3	3	08/04/2010	-	-	-	-
4	3	09/04/2010	-	-	-	-
5	4	14/04/2010	-	-	-	-
6	4	15/04/2010	328	104	2	23
7	4	16/04/2010	356	196	2	28
8	5	20/04/2010	-	92	1	9
9	5	21/04/2010	223	150	1	8
10	5	21/04/2010	190	154	1	9
11	5	22/04/2010	580	179	2	17
12	5	23/04/2010	394	155	2	17
13	5	23/04/2010	400	222	2	18
14	6	26/04/2010	282	292	2	15
15	6	27/04/2010	399	211	1	14
16	6	27/04/2010	385	228	2	16
17	6	28/04/2010	256	341	3	19
18	6	28/04/2010	215	550	3	18
19	6	29/04/2010	325	590	2	22
20	6	30/04/2010	296	575	3	58
21	7	03/05/2010	321	491	1	19
22	7	04/05/2010	263	1067	2	19
23	7	04/05/2010	191	476	3	19
24	7	05/05/2010	130	244	1	26
25	7	05/05/2010	115	229	2	48
26	7	06/05/2010	200	192	2	80
27	7	06/05/2010	175	223	2	39
28	7	07/05/2010	140	132	1	93
29	7	07/05/2010	199	120	1	50
30	8	10/05/2010	191	132	1	20
31	8	11/05/2010	267	89	1	15

Muestreo N°	Semana	Fecha	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
32	8	11/05/2010	448,00	223,00	1,00	15,00
33	8	12/05/2010	414,00	231,00	2,00	14,00
34	8	12/05/2010	403,00	261,00	2,00	17,00
35	8	13/05/2010	367,00	251,00	2,00	14,00
36	8	13/05/2010	414,00	223,00	2,00	14,00
37	8	14/05/2010	310,00	587,00	1,00	16,00
38	8	14/05/2010	384,00	116,00	1,00	25,00
<b>PROMEDIO:</b>			<b>298,78</b>	<b>282,61</b>	<b>1,72</b>	<b>28,94</b>
<b>MÁXIMO:</b>			<b>580,00</b>	<b>1067,00</b>	<b>3,00</b>	<b>94,00</b>
<b>MÍNIMO:</b>			<b>115,00</b>	<b>89,00</b>	<b>1,00</b>	<b>8,00</b>

Tabla 32: SST (mg/L) registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 2.

Muestreo N°	Semana	Fecha	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
39	9	17/05/2010	726,00	396,00	2,00	55,00
40	9	18/05/2010	388,00	701,00	2,00	94,00
41	9	18/05/2010	527,00	840,00	1,00	59,00
42	9	19/05/2010	368,00	1500,00	2,00	146,00
43	9	19/05/2010	383,00	1224,00	1,00	149,00
44	9	20/05/2010	527,00	1442,00	3,00	120,00
45	9	20/05/2010	708,00	765,00	2,00	73,00
46	9	21/05/2010	904,00	489,00	2,00	106,00
47	9	21/05/2010	723,00	538,00	2,00	98,00
48	10	24/05/2010	884,00	397,00	1,00	41,00
49	10	24/05/2010	953,00	422,00	2,00	42,00
50	10	25/05/2010	768,00	350,00	2,00	80,00
51	10	25/05/2010	1420,00	449,00	3,00	103,00
52	10	26/05/2010	369,00	327,00	2,00	132,00
53	10	26/05/2010	394,00	365,00	1,00	110,00
54	10	27/05/2010	386,00	251,00	3,00	74,00
55	10	27/05/2010	459,00	288,00	4,00	153,00
56	10	28/05/2010	463,00	282,00	5,00	129,00

Muestreo N°	Semana	Fecha	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
57	10	28/05/2010	499,00	341,00	5,00	152,00
58	11	31/05/2010	345,00	286,00	2,00	109,00
59	11	31/05/2010	446,00	356,00	3,00	142,00
60	11	01/06/2010	414,00	350,00	2,00	67,00
61	11	01/06/2010	514,00	300,00	3,00	79,00
62	11	02/06/2010	388,00	321,00	2,00	82,00
63	11	02/06/2010	459,00	327,00	5,00	140,00
64	11	03/06/2010	588,00	293,00	4,00	79,00
65	11	03/06/2010	359,00	569,00	4,00	99,00
66	11	04/06/2010	459,00	857,00	5,00	213,00
67	11	04/06/2010	459,00	857,00	4,00	97,00
68	12	07/06/2010	479,00	644,00	3,00	136,00
69	12	08/06/2010	865,00	729,00	3,00	121,00
70	12	08/06/2010	769,00	629,00	3,00	65,00
71	12	09/06/2010	1642,00	746,00	2,00	123,00
72	12	09/06/2010	643,00	534,00	2,00	81,00
73	12	10/06/2010	466,00	433,00	2,00	179,00
74	12	11/06/2010	475,00	694,00	3,00	-
<b>PROMEDIO:</b>			<b>600,53</b>	<b>563,67</b>	<b>2,69</b>	<b>116,31</b>
<b>MÁXIMO:</b>			<b>1642,00</b>	<b>1500,00</b>	<b>5,00</b>	<b>318,00</b>
<b>MÍNIMO:</b>			<b>345,00</b>	<b>251,00</b>	<b>1,00</b>	<b>41,00</b>

Tabla 33: SST (mg/L) registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante el periodo 3.

Muestreo N°	Semana	Fecha	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
75	13	14/06/2010	1056,00	349,00	3,00	317,00
76	13	14/06/2010	835,00	467,00	3,00	318,00
77	13	15/06/2010	772,00	565,00	2,00	173,00
78	13	16/06/2010	568,00	689,00	35,00	129,00
79	13	16/06/2010	537,00	474,00	13,00	152,00
80	13	17/06/2010	658,00	417,00	64,00	101,00

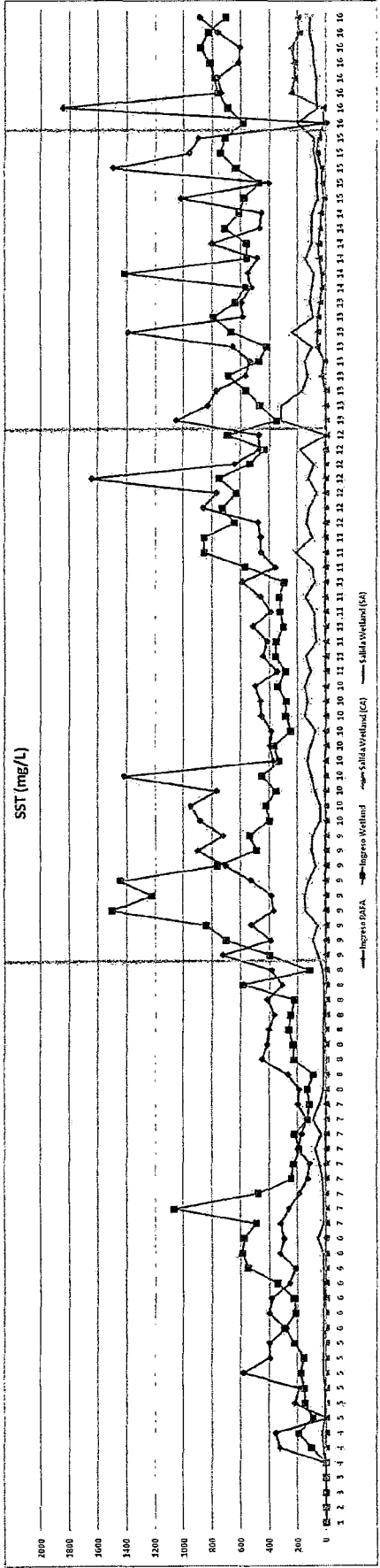
Muestreo N°	Semana	Fecha	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
81	13	17/06/2010	1390,00	669,00	59,00	244,00
82	13	18/06/2010	588,00	792,00	58,00	94,00
83	13	18/06/2010	596,00	637,00	41,00	111,00
84	14	23/06/2010	530,00	568,00	32,00	105,00
85	14	23/06/2010	553,00	1414,00	32,00	88,00
86	14	24/06/2010	487,00	556,00	52,00	149,00
87	14	24/06/2010	806,00	559,00	55,00	105,00
88	14	25/06/2010	470,00	712,00	43,00	106,00
89	14	25/06/2010	457,00	613,00	37,00	101,00
90	15	30/06/2010	1021,00	574,00	14,00	61,00
91	15	01/07/2010	406,00	472,00	31,00	68,00
92	15	01/07/2010	1495,00	635,00	33,00	64,00
93	15	02/07/2010	961,00	740,00	62,00	86,00
94	15	02/07/2010	899,00	714,00	55,00	84,00
<b>PROMEDIO:</b>			<b>754,25</b>	<b>630,80</b>	<b>34,82</b>	<b>133,05</b>
<b>MÁXIMO:</b>			<b>1495,00</b>	<b>1414,00</b>	<b>64,00</b>	<b>244,00</b>
<b>MÍNIMO:</b>			<b>406,00</b>	<b>349,00</b>	<b>13,00</b>	<b>61,00</b>

Tabla 34: SST (mg/L) registrado para cada unidad evaluada, valores promedio, máximo y mínimo durante la semana de cierre.

Muestreo N°	Semana	Fecha	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
95	16	05/07/2010	-	587,00	18,00	207,00
96	16	06/07/2010	1850,00	693,00	24,00	64,00
97	16	07/07/2010	740,00	762,00	246,00	69,00
98	16	07/07/2010	766,00	783,00	221,00	67,00
99	16	08/07/2010	618,00	817,00	225,00	90,00
100	16	08/07/2010	607,00	884,00	244,00	93,00
101	16	09/07/2010	763,00	830,00	187,00	116,00
102	16	09/07/2010	889,00	706,00	198,00	116,00
<b>PROMEDIO:</b>			<b>890,43</b>	<b>757,75</b>	<b>220,17</b>	<b>91,83</b>
<b>MÁXIMO:</b>			<b>1850,00</b>	<b>884,00</b>	<b>246,00</b>	<b>116,00</b>
<b>MÍNIMO:</b>			<b>607,00</b>	<b>587,00</b>	<b>187,00</b>	<b>67,00</b>

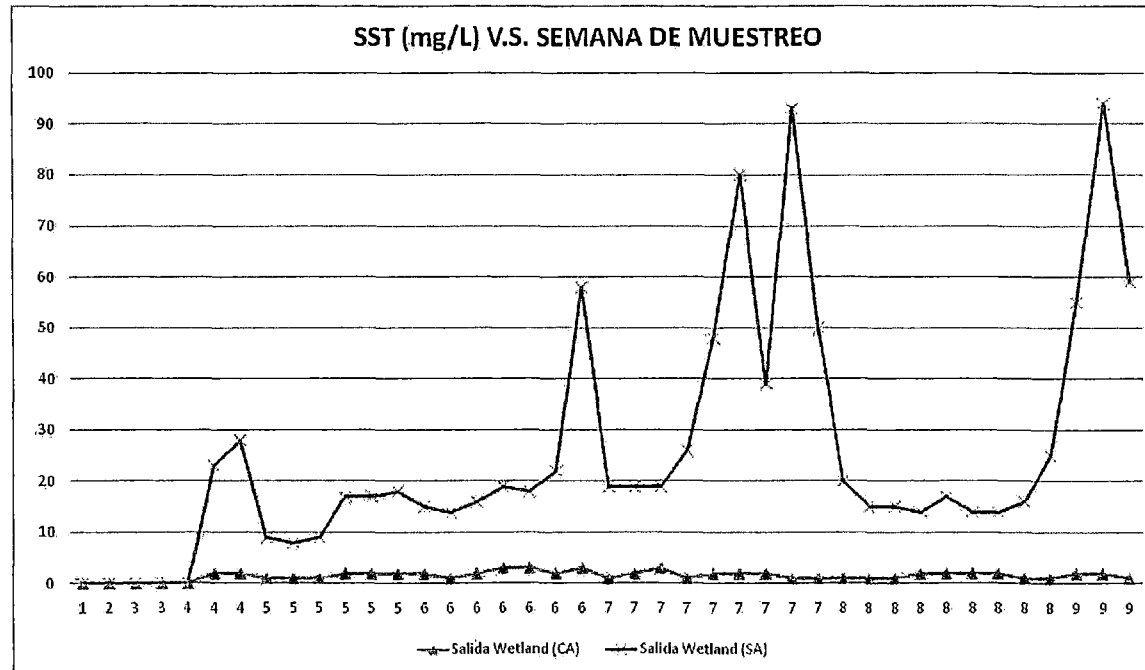


Gráfica N° 26: SST en las unidades evaluadas, durante el estudio.



PERIODO 1:

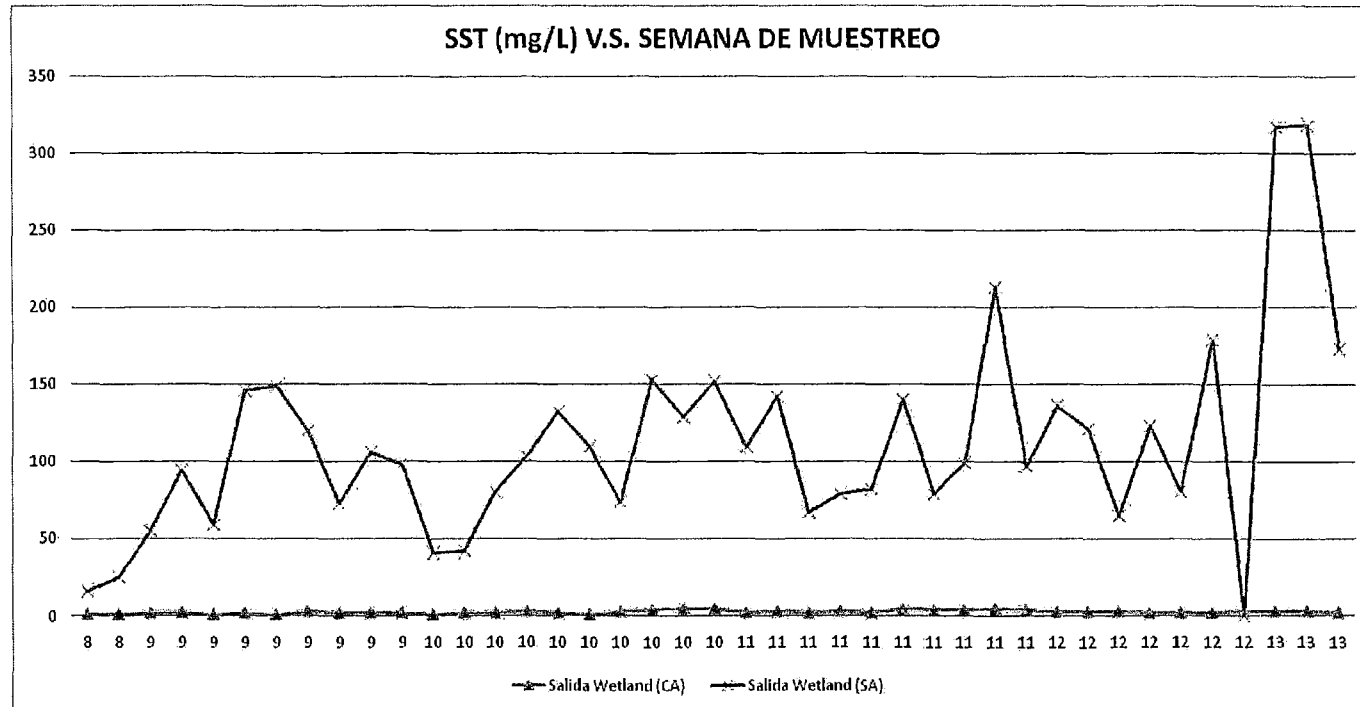
Gráfica N° 27: SST en el efluente Wetland CA y Wetland SA, durante el Periodo 1.



Durante este periodo los valores de SST en el Wetland SA se encontraban entre 8 y 94mg/L, para el Wetland CA los SST varían entre 1 y 3 mg/L.

PERIODO 2:

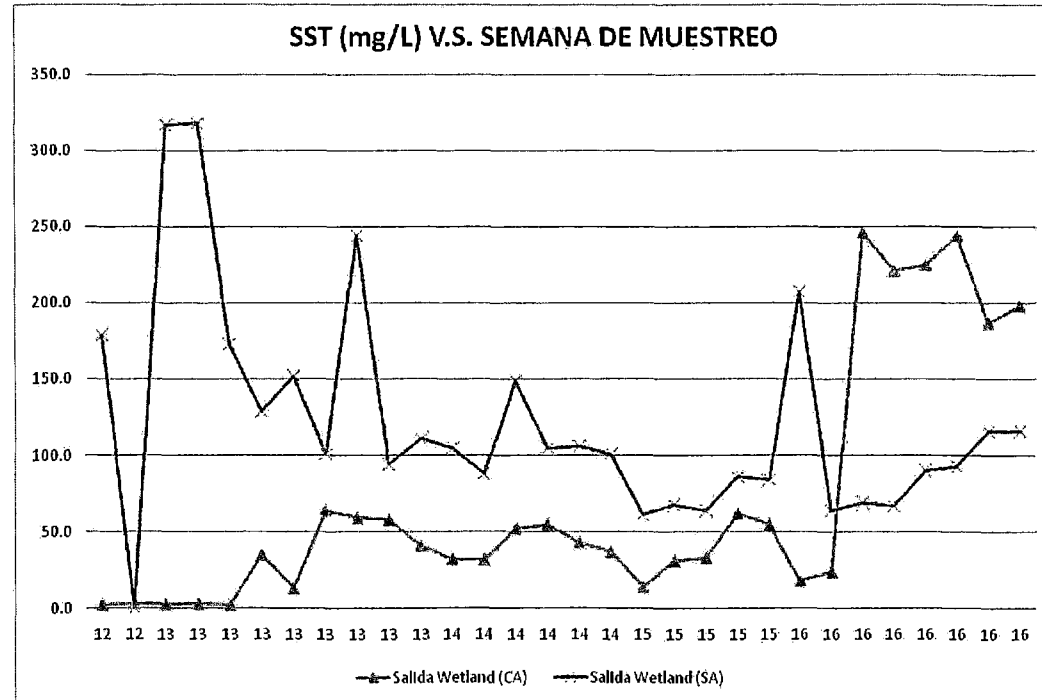
Gráfica N° 28: SST en el efluente del Wetland CA y Wetland SA, durante el Periodo 2.



Durante este periodo los valores de SST en el Wetland SA se encontraban entre 41 y 213mg/L, para el Wetland CA los SST varían entre 1 y 5 mg/L.

PERIODO 3:

Gráfica N° 29: SST en el efluente Wetland CA y Wetland SA, durante el Periodo 3.



Durante este periodo los valores de SST en el Wetland SA se encontraban entre 61 y 318 mg/L, para el Wetland CA los SST varían entre 2 y 64 mg/L hasta antes del cese de la aireación (Wetland CA)

**5.10. Eficiencia de Remoción de Turbiedad**

**Tabla 35:** Eficiencia en remoción de Turbidez (NTU) durante el periodo 1, para el Wetland CA y SA.

PERIODO 1:		TURBIDEZ (NTU)						
Semana	FECHA DE INICIO:	R.A.F.A		SALIDA R.A.F.A	WETLAND CA		WETLAND SA	
		Ingreso	Eficiencia (%)	INGRESO Wetland	Salida	Eficiencia (%)	Salida	Eficiencia (%)
4	14/04/2010	149,0	-6,0	158,0	0,71	99,6	14,5	90,8
5	21/04/2010	127,0	25,3	94,9	0,50	99,5	5,4	94,3
5	21/04/2010	89,5	-31,8	118,0	0,74	99,4	6,1	94,9
6	26/04/2010	112,0	-117,9	244,0	0,33	99,9	5,1	97,9
6	27/04/2010	260,0	65,6	89,5	0,22	99,8	6,4	92,8
6	27/04/2010	146,0	8,9	133,0	0,22	99,8	6,4	95,2
6	28/04/2010	125,0	4,8	119,0	0,53	99,6	32,0	73,1
6	28/04/2010	92,0	-15,2	106,0	0,53	99,5	32,0	69,8
7	04/05/2010	116,0	30,2	81,0	0,37	99,5	30,9	61,9
7	04/05/2010	78,0	-103,8	159,0	0,57	99,6	12,2	92,3
7	05/05/2010	46,8	-239,7	159,0	0,30	99,8	40,0	74,8
7	05/05/2010	42,0	-214,3	132,0	0,47	99,6	18,8	85,8
8	10/05/2010	150,0	26,0	111,0	0,44	99,6	4,8	95,7
8	11/05/2010	108,0	49,5	54,5	0,73	98,7	4,3	92,0
8	11/05/2010	233,0	32,6	157,0	0,72	99,5	4,2	97,3
8	12/05/2010	206,0	41,7	120,0	0,31	99,7	5,6	95,3
8	12/05/2010	222,0	36,5	141,0	0,67	99,5	10,3	92,7
<b>PROMEDIO:</b>		<b>135,4</b>	<b>-24,0</b>	<b>128,1</b>	<b>0,49</b>	<b>99,6</b>	<b>14,1</b>	<b>88,0</b>

**Nota:** La fecha de inicio corresponde al día de muestreo en el ingreso, los datos de las salidas corresponden al muestreo realizado transcurrido el PR~2días para las unidades Wetland.

**Tabla 36:** Eficiencia en remoción de Turbidez (NTU) durante el periodo 2, para el Wetland CA y SA. (\*)

PERIODO 2:		TURBIDEZ (NTU)						
Semana	FECHA DE INICIO:	R.A.F.A		SALIDA R.A.F.A.	WETLAND CA		WETLAND SA	
		Ingreso	Eficiencia (%)	INGRESO Wetland	Salida	Eficiencia (%)	Salida	Eficiencia (%)
9	17/05/2010	349,0	59,3	142,0	0,38	99,7	124,0	12,7
9	18/05/2010	238,0	47,1	126,0	0,47	99,6	33,6	73,3
9	19/05/2010	168,0	23,8	128,0	0,36	99,7	85,0	33,6
9	19/05/2010	169,0	32,0	115,0	0,45	99,6	67,0	41,7
10	24/05/2010	784,0	69,1	242,0	0,60	99,8	126,0	47,9
10	24/05/2010	484,0	44,8	267,0	0,48	99,8	114,0	57,3
10	25/05/2010	407,0	59,2	166,0	0,64	99,6	78,8	52,5
10	25/05/2010	606,0	51,8	292,0	0,72	99,8	154,0	47,3
10	26/05/2010	158,0	20,3	126,0	0,70	99,4	120,0	4,8
10	26/05/2010	168,0	14,9	143,0	0,69	99,5	136,0	4,9
11	31/05/2010	151,0	-9,3	165,0	0,39	99,8	48,3	70,7
11	31/05/2010	227,0	5,3	215,0	0,52	99,8	140,0	34,9
11	01/06/2010	205,0	37,6	128,0	0,72	99,4	32,9	74,3
11	01/06/2010	450,0	66,9	149,0	0,47	99,7	55,0	63,1
11	02/06/2010	249,0	10,4	223,0	0,40	99,8	85,0	61,9
12	07/06/2010	276,0	43,1	157,0	0,30	99,8	79,6	49,3
12	08/06/2010	436,0	62,2	165,0	1,02	99,4	52,8	68,0
12	08/06/2010	389,0	57,1	167,0	1,02	99,4	52,8	68,4
12	09/06/2010	435,0	74,3	112,0	0,39	99,7	-	-
12	09/06/2010	326,0	45,1	179,0	0,39	99,8	-	-
<b>PROMEDIO:</b>		<b>333,8</b>	<b>40,7</b>	<b>170,4</b>	<b>0,56</b>	<b>99,7</b>	<b>88,0</b>	<b>48,1</b>

**Nota:** La fecha de inicio corresponde al día de muestreo en el ingreso, los datos de las salidas corresponden al muestreo realizado transcurrido el PR~2días para las unidades Wetland.

(\*) Para el cálculo del promedio, máximos y mínimos no se consideró los valores correspondientes al 09/06/2010 (Wetland SA), debido al incidente ocurrido, que se detalla en el anexo3.

**Tabla 37:** Eficiencia en remoción de Turbidez (NTU) durante el periodo 3, para el Wetland CA y SA.

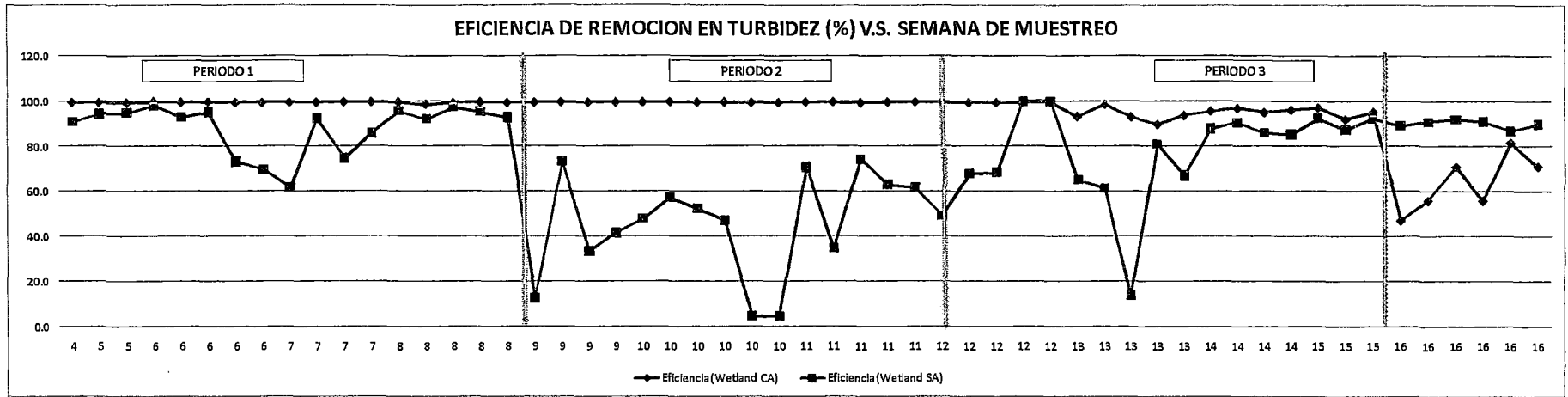
PERIODO 3:		TURBIDEZ (NTU)						
Semana	FECHA DE INICIO:	R.A.F.A		SALIDA R.A.F.A	WETLAND CA		WETLAND SA	
		Ingreso	Eficiencia (%)	INGRESO Wetland	Salida	Eficiencia (%)	Salida	Eficiencia (%)
13	14/06/2010	669,0	76,7	156,0	10,40	93,3	54,5	65,1
13	14/06/2010	453,0	43,5	256,0	3,26	98,7	98,4	61,6
13	15/06/2010	391,0	35,8	251,0	17,30	93,1	216,0	13,9
13	16/06/2010	258,0	33,7	171,0	17,20	89,9	32,4	81,1
13	16/06/2010	238,0	22,3	185,0	11,40	93,8	61,0	67,0
14	23/06/2010	257,0	-16,0	298,0	12,80	95,7	36,1	87,9
14	23/06/2010	263,0	-98,1	521,0	15,30	97,1	49,4	90,5
14	24/06/2010	207,0	-24,2	257,0	12,80	95,0	36,1	86,0
14	24/06/2010	392,0	31,6	268,0	10,10	96,2	39,0	85,4
15	30/06/2010	427,0	14,1	367,0	10,50	97,1	27,4	92,5
15	01/07/2010	187,0	-34,8	252,0	19,80	92,1	31,8	87,4
15	01/07/2010	930,0	57,3	397,0	19,00	95,2	31,2	92,1
<b>PROMEDIO:</b>		<b>389,3</b>	<b>11,8</b>	<b>281,6</b>	<b>13,3</b>	<b>94,8</b>	<b>59,4</b>	<b>75,9</b>

**Tabla 38:** Eficiencia en remoción de Turbidez (NTU) durante la semana de cierre, para el Wetland CA y SA.

SEMANA DE CIERRE:		TURBIDEZ (NTU)						
Semana	FECHA DE INICIO:	R.A.F.A		SALIDA R.A.F.A	WETLAND CA		WETLAND SA	
		Ingreso	Eficiencia (%)	INGRESO Wetland	Salida	Eficiencia (%)	Salida	Eficiencia (%)
16	05/07/2010	-	-	281,0	148,0	47,3	30,4	89,2
16	06/07/2010	686,0	50,9	337,0	148,0	56,1	30,4	91,0
16	07/07/2010	350,0	-32,6	464,0	134,0	71,1	36,5	92,1
16	07/07/2010	396,0	-1,3	401,0	176,0	56,1	35,4	91,2
16	08/07/2010	274,0	-20,1	329,0	59,8	81,8	42,9	87,0
16	08/07/2010	271,0	-67,9	455,0	131,0	71,2	45,9	89,9
<b>PROMEDIO:</b>		<b>395,4</b>	<b>-14,2</b>	<b>377,8</b>	<b>132,8</b>	<b>63,9</b>	<b>36,9</b>	<b>90,1</b>

**Nota:** La fecha de inicio corresponde al día de muestreo en el ingreso, los datos de las salidas corresponden al muestreo realizado transcurrido el PR~2días para las unidades Wetland.

Gráfica N° 30: Eficiencia de remoción en turbidez, durante el desarrollo del proyecto.



Se puede notar la marcada diferencia entre los resultados de la unidad Wetland SA y el Wetland CA, durante el desarrollo del estudio. Así, para el periodo 1 la eficiencia estuvo entre 61,9 y 97,9% para el Wetland SA mientras que en el Wetland CA entre 98.7 y 99.8%.

Durante el periodo 2, la eficiencia en el Wetland SA resulto entre 4,8 y 74,3%, mientras que en el Wetland CA 99,4 y 99,8%

Para el periodo 3 la eficiencia en el Wetland SA estuvo entre 13,9 y 92,5%, mientras el Wetland CA obtuvo eficiencias entre 89,9 y 99,8%

Además se puede observar la tendencia casi constante en el Wetland CA y la variabilidad de los resultados en el Wetland SA.



### 5.11. Eficiencia de Remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno

**Tabla 39:** Eficiencia en remoción (%) de DBO (mg/L) durante el periodo 1, para el Wetland CA y SA.

PERIODO 1:		R.A.F.A		SALIDA R.A.F.A	WETLAND CA		WETLAND SA	
Semana	FECHA DE INICIO:	Ingreso	Eficiencia (%)	INGRESO Wetland	Salida	Eficiencia (%)	Salida	Eficiencia (%)
4	14/04/2010	361,2	51,6	175,0	24,3	86,1	27,3	84,4
5	21/04/2010	298,3	-48,7	443,7	10,7	97,6	23,3	94,7
6	28/04/2010	217,3	-100,5	435,7	3,6	99,2	32,5	92,5
7	05/05/2010	363,2	50,0	181,5	2,2	98,8	22,4	87,7
8	12/05/2010	492,9	26,2	363,6	3,2	99,1	22,1	93,9
<b>PROMEDIO:</b>		<b>346,6</b>	<b>-4,3</b>	<b>319,9</b>	<b>8,8</b>	<b>96,2</b>	<b>25,5</b>	<b>90,7</b>

**Tabla 40:** Eficiencia en remoción (%) de DBO (mg/L) durante el periodo 2, para el Wetland CA y SA. (\*)

PERIODO 2:		R.A.F.A		SALIDA R.A.F.A	WETLAND CA		WETLAND SA	
Semana	FECHA DE INICIO:	Ingreso	Eficiencia (%)	INGRESO Wetland	Salida	Eficiencia (%)	Salida	Eficiencia (%)
9	19/05/2010	662,2	45,7	359,3	7,7	97,9	71,5	80,1
10	26/05/2010	827,9	41,4	485,2	1,0	99,8	90,3	81,4
11	02/06/2010	767,1	43,1	436,7	0,8	99,8	87,9	79,9
12	09/06/2010	1144,4	58,4	476,1	7,3	98,5	0,0	0,0
<b>PROMEDIO:</b>		<b>850,4</b>	<b>47,2</b>	<b>439,3</b>	<b>4,2</b>	<b>99,0</b>	<b>83,2</b>	<b>80,5</b>

**Nota:** La fecha de inicio corresponde al día de muestreo en el ingreso, los datos de las salidas corresponden al muestreo realizado transcurrido el PR~2días para las unidades Wetland.

(\*) Para el cálculo del promedio, máximos y mínimos no se consideró los valores correspondientes al 09/06/2010 (Wetland SA), debido al incidente ocurrido, que se detalla en el anexo3.

**Tabla 41:** Eficiencia en remoción (%) de DBO (mg/L) durante el periodo 3, para el Wetland CA y SA.

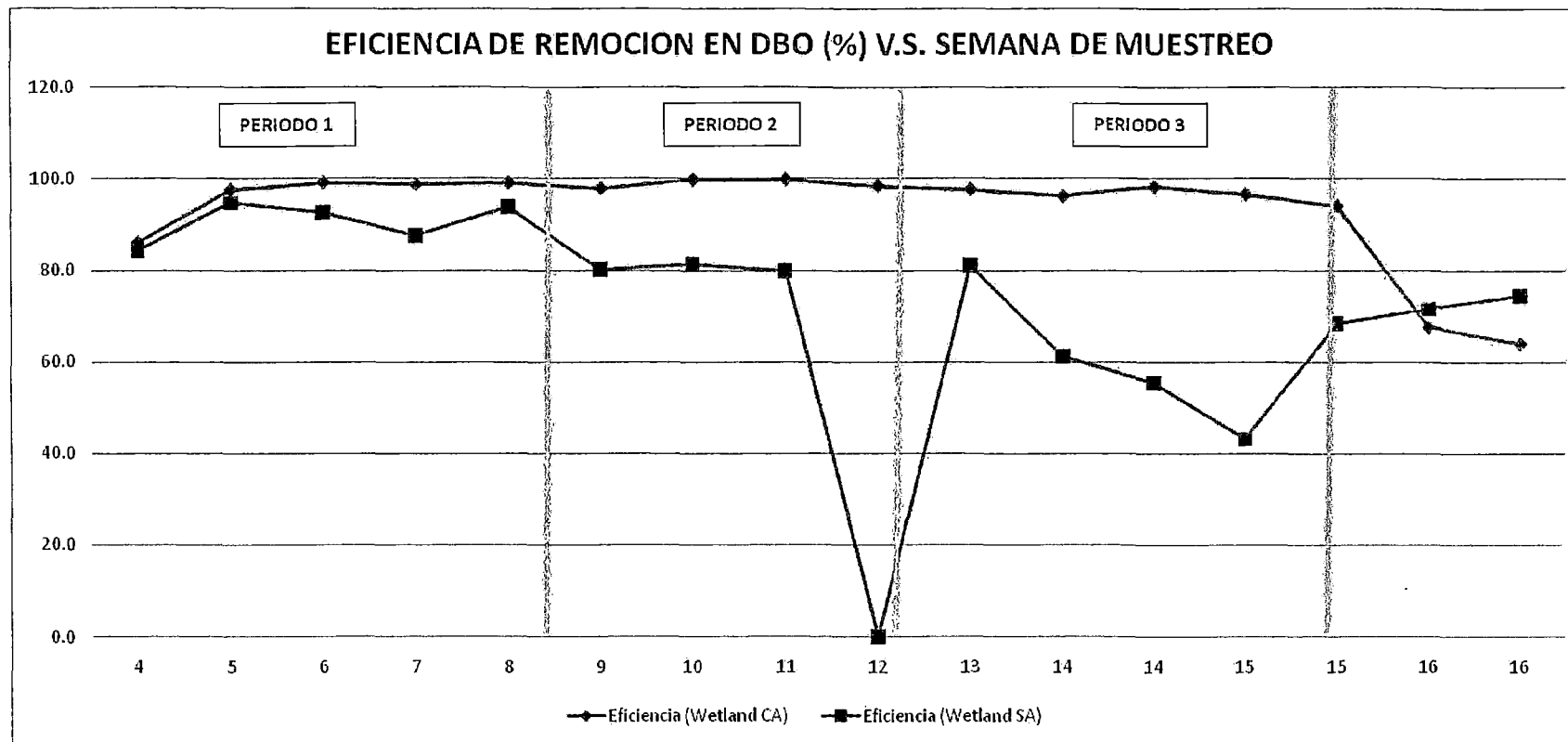
PERIODO 3:					DBO (mg/L)			
Semana	FECHA DE INICIO:	R.A.F.A		SALIDA R.A.F.A	WETLAND CA		WETLAND SA	
		Ingreso	Eficiencia (%)	INGRESO Wetland	Salida	Eficiencia (%)	Salida	Eficiencia (%)
13	16/06/2010	1131,6	28,0	814,4	18,9	97,7	153,1	81,2
14	23/06/2010	1215,7	1,5	1197,8	45,1	96,2	465,8	61,1
14	24/06/2010	1240,3	12,9	1080,2	18,7	98,3	481,5	55,4
15	30/06/2010	2198,8	68,4	695,6	24,2	96,5	395,7	43,1
15	01/07/2010	2463,0	55,7	1090,3	63,7	94,2	345,1	68,3
<b>PROMEDIO:</b>		<b>1649,9</b>	<b>33,3</b>	<b>975,6</b>	<b>34,1</b>	<b>96,6</b>	<b>368,2</b>	<b>61,8</b>

**Tabla 42:** Eficiencia en remoción (%) de DBO (mg/L) durante la semana de cierre, para el Wetland CA y SA.

SEMANA DE CIERRE:					DBO (mg/L)			
Semana	FECHA DE INICIO:	R.A.F.A		SALIDA R.A.F.A	WETLAND CA		WETLAND SA	
		Ingreso	Eficiencia (%)	INGRESO Wetland	Salida	Eficiencia (%)	Salida	Eficiencia (%)
16	07/07/2010	2214,5	29,4	1562,8	505,6	67,6	444,4	71,6
16	08/07/2010	2158,6	19,4	1740,4	627,2	64,0	444,3	74,5
<b>PROMEDIO:</b>		<b>2186,6</b>	<b>24,4</b>	<b>1651,6</b>	<b>566,4</b>	<b>65,8</b>	<b>444,4</b>	<b>73,0</b>

**Nota:** La fecha de inicio corresponde al día de muestreo en el ingreso, los datos de las salidas corresponden al muestreo realizado transcurrido el PR~2días para las unidades Wetland.

Gráfica N° 31: Eficiencia de remoción de DBO, durante el desarrollo del proyecto.



En la grafica se nota que la eficiencia en remocion de la DBO en el Wetland CA es superior al Wetland SA en casi todo el horizonte del proyecto.

De manera similar al anterior grafico aquí se nota la repercusion que tuvo el incidente (rotura de tubería de purga) ocurrido en la semana 12 en el Wetland SA. También se observa que la eficiencia del Wetland CA es superior a la del Wetland SA en todo el horizonte del proyecto a excepcion de la semana 16 en que se suspendio la aireacion del Wetland CA.

En el periodo 1 la eficiencia del Wetland CA esta entre: 71,7 y 98,4%, en el periodo 2 entre: 92,5 y 95%, y para el periodo 3 (hasta antes de suspender la aireacion) entre: 83,4 y 89,8%.

En el periodo 1 la eficiencia del Wetland SA esta entre: 53,8 y 92,8%, en el periodo 2 entre: 65,8 y 78,5%, y para el periodo 3 entre: 48,5 y 70,1%.

Además se puede observar la tendencia casi constante en el Wetland CA, durante los periodos 1, 2 y 3.

### 5.12. Eficiencia de Remoción de DQO

**Tabla 43:** Eficiencia en remoción (%) de DQO (mg/L) durante el periodo 1, para el Wetland CA y SA.

PERIODO 1:		DQO (mg/L)						
Semana	FECHA DE INICIO:	R.A.F.A		SALIDA R.A.F.A	WETLAND CA		WETLAND SA	
		Ingreso	Eficiencia (%)	INGRESO Wetland	Salida	Eficiencia (%)	Salida	Eficiencia (%)
4	14/04/2010	1165,0	48,7	598,0	27,0	95,5	92,0	84,6
5	21/04/2010	5410,0	82,6	940,0	37,0	96,1	92,0	90,2
6	28/04/2010	1100,0	26,4	810,0	13,0	98,4	143,0	82,3
7	05/05/2010	1090,0	45,0	600,0	170,0	71,7	277,0	53,8
8	12/05/2010	2200,0	40,5	1310,0	41,0	96,9	94,0	92,8
<b>PROMEDIO:</b>		<b>2193,0</b>	<b>48,6</b>	<b>851,6</b>	<b>57,6</b>	<b>91,7</b>	<b>139,6</b>	<b>80,8</b>

**Tabla 44:** Eficiencia en remoción (%) de DQO (mg/L) durante el periodo 2, para el Wetland CA y SA. (\*)

PERIODO 2:		DQO (mg/L)						
Semana	FECHA DE INICIO:	R.A.F.A		SALIDA R.A.F.A	WETLAND CA		WETLAND SA	
		Ingreso	Eficiencia (%)	INGRESO Wetland	Salida	Eficiencia (%)	Salida	Eficiencia (%)
9	19/05/2010	1410,0	43,3	800,0	42,0	94,8	172,0	78,5
10	26/05/2010	2370,0	51,9	1140,0	85,0	92,5	339,0	70,3
11	02/06/2010	1860,0	38,7	1140,0	58,0	94,9	394,0	65,4
12	09/06/2010	3250,0	48,0	1690,0	85,0	95,0	-	-
<b>PROMEDIO:</b>		<b>2222,5</b>	<b>45,5</b>	<b>1192,5</b>	<b>67,5</b>	<b>94,3</b>	<b>301,7</b>	<b>71,4</b>

**Nota:** La fecha de inicio corresponde al día de muestreo en el ingreso, los datos de las salidas corresponden al muestreo realizado transcurrido el PR~2días para las unidades Wetland.

(\*) Para el cálculo del promedio, máximos y mínimos no se consideró los valores correspondientes al 09/06/2010 (Wetland SA), debido al incidente ocurrido, que se detalla en el anexo3.

**Tabla 45:** Eficiencia en remoción (%) de DQO (mg/L) durante el periodo 3, para el Wetland CA y SA.

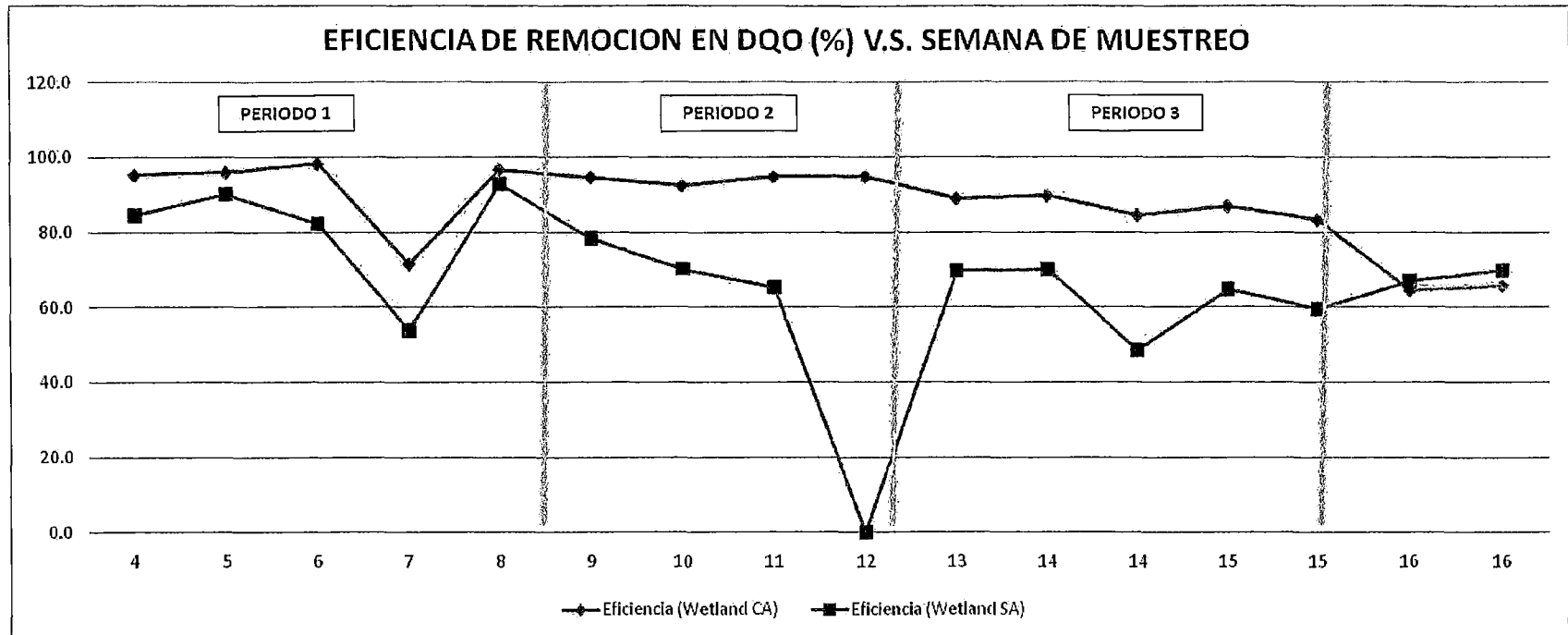
PERIODO 3:		R.A.F.A		SALIDA R.A.F.A	DQO (mg/L)		WETLAND SA	
Semana	FECHA DE INICIO:	R.A.F.A		INGRESO Wetland	WETLAND CA		WETLAND SA	
		Ingreso	Eficiencia (%)		Salida	Eficiencia (%)	Salida	Eficiencia (%)
13	16/06/2010	2580,0	27,1	1880,0	204,0	89,1	566,0	69,9
14	23/06/2010	2966,7	-12,1	3326,7	338,0	89,8	995,0	70,1
14	24/06/2010	3593,3	37,7	2240,0	346,0	84,6	1154,0	48,5
15	30/06/2010	4293,3	48,4	2213,3	287,0	87,0	778,0	64,8
15	01/07/2010	5383,3	62,8	2000,0	333,0	83,4	812,0	59,4
<b>PROMEDIO:</b>		<b>3763,3</b>	<b>32,8</b>	<b>2332,0</b>	<b>301,6</b>	<b>86,8</b>	<b>861,0</b>	<b>62,5</b>

**Tabla 46:** Eficiencia en remoción (%) de DQO (mg/L) durante la semana de cierre, para el Wetland CA y SA.

SEMANA DE CIERRE:		R.A.F.A		SALIDA R.A.F.A	DQO (mg/L)		WETLAND SA	
Semana	FECHA DE INICIO:	R.A.F.A		INGRESO Wetland	WETLAND CA		WETLAND SA	
		Ingreso	Eficiencia (%)		Salida	Eficiencia (%)	Salida	Eficiencia (%)
16	07/07/2010	4141,7	27,2	3016,7	1072,0	64,5	997,0	67,0
16	08/07/2010	3791,7	5,5	3583,3	1230,0	65,7	1081,0	69,8
<b>PROMEDIO:</b>		<b>3966,7</b>	<b>16,3</b>	<b>3300,0</b>	<b>1151,0</b>	<b>65,1</b>	<b>1039,0</b>	<b>68,4</b>

**Nota:** La fecha de inicio corresponde al día de muestreo en el ingreso, los datos de las salidas corresponden al muestreo realizado transcurrido el PR~2días para las unidades Wetland.

Gráfica N° 32: Eficiencia de remoción de DQO, durante el desarrollo del proyecto.



Aquí se nota una caída en la semana 12 para el Wetland SA, debido a que ocurrió un incidente que provoco el vaciado de la unidad, en consecuencia no se pudo extrae muestra para realizar los analisis.

Se nota que la eficiencia en remocion de la DQO en el Wetland CA se encuentra por encima de los valores registrados para el Wetland SA, durante el todo el horizonte del proyecto, excepto en la semana 15-16 que fue cuando se dejo de airear el

Wetland CA, así se puede observar en esa semana la disminución de la eficiencia del Wetland CA, incluso con valores por debajo de los registrados en el Wetland SA.

Además se puede observar la tendencia casi constante en el Wetland CA, durante el periodo 1, 2 y 3.

Se puede notar una ligera tendencia a mejora en la eficiencia del Wetland SA a partir de la semana 15, debido a que realizó una purga en la unidad.

### 5.13. Eficiencia de Remoción de Sólidos Suspendedos Totales

**Tabla 47:** Eficiencia en remoción (%) de SST (mg/L) durante el periodo 1, para el Wetland CA y SA.

PERIODO 1:		SST (mg/L)						
Semana	FECHA DE INICIO:	R.A.F.A		SALIDA R.A.F.A.	WETLAND CA		WETLAND SA	
		Ingreso	Eficiencia (%)	INGRESO Wetland	Salida	Eficiencia (%)	Salida	Eficiencia (%)
4	14/04/2010	223,0	32,7	150,0	2,0	98,7	17,0	88,7
5	21/04/2010	190,0	18,9	154,0	2,0	98,7	18,0	88,3
5	21/04/2010	282,0	-3,5	292,0	3,0	99,0	19,0	93,5
6	26/04/2010	399,0	47,1	211,0	2,0	99,1	22,0	89,6
6	27/04/2010	385,0	40,8	228,0	2,0	99,1	22,0	90,4
6	27/04/2010	256,0	-33,2	341,0	3,0	99,1	58,0	83,0
6	28/04/2010	215,0	-155,8	550,0	3,0	99,5	58,0	89,5
6	28/04/2010	263,0	-305,7	1067,0	2,0	99,8	80,0	92,5
7	04/05/2010	191,0	-149,2	476,0	2,0	99,6	39,0	91,8
7	04/05/2010	130,0	-87,7	244,0	1,0	99,6	93,0	61,9
7	05/05/2010	115,0	-99,1	229,0	1,0	99,6	50,0	78,2
7	05/05/2010	191,0	30,9	132,0	2,0	98,5	17,0	87,1
8	10/05/2010	267,0	66,7	89,0	2,0	97,8	14,0	84,3
8	11/05/2010	448,0	50,2	223,0	2,0	99,1	14,0	93,7
8	11/05/2010	414,0	44,2	231,0	1,0	99,6	16,0	93,1
8	12/05/2010	403,0	35,2	261,0	1,0	99,6	25,0	90,4
8	12/05/2010	726,0	45,5	396,0	1,0	99,7	149,0	62,4
<b>PROMEDIO:</b>		<b>299,9</b>	<b>-24,8</b>	<b>310,2</b>	<b>1,9</b>	<b>99,2</b>	<b>41,8</b>	<b>85,8</b>

**Nota:** La fecha de inicio corresponde al día de muestreo en el ingreso, los datos de las salidas corresponden al muestreo realizado transcurrido el PR~2días para las unidades Wetland.

**Tabla 48:** Eficiencia en remoción (%) de SST (mg/L) durante el periodo 2, para el Wetland CA y SA. (\*)

PERIODO 2:		R.A.F.A		SALIDA R.A.F.A	WETLAND CA		WETLAND SA	
Semana	FECHA DE INICIO:	Ingreso	Eficiencia (%)	INGRESO Wetland	Salida	Eficiencia (%)	Salida	Eficiencia (%)
9	17/05/2010	388,0	-80,7	701,0	3,0	99,6	120,0	82,9
9	18/05/2010	527,0	-59,4	840,0	2,0	99,8	73,0	91,3
9	18/05/2010	368,0	-307,6	1500,0	2,0	99,9	106,0	92,9
9	19/05/2010	383,0	-219,6	1224,0	2,0	99,8	98,0	92,0
9	19/05/2010	884,0	55,1	397,0	2,0	99,5	132,0	66,8
10	24/05/2010	953,0	55,7	422,0	1,0	99,8	110,0	73,9
10	24/05/2010	768,0	54,4	350,0	3,0	99,1	74,0	78,9
10	25/05/2010	1420,0	68,4	449,0	4,0	99,1	153,0	65,9
10	25/05/2010	369,0	11,4	327,0	5,0	98,5	129,0	60,6
10	26/05/2010	394,0	7,4	365,0	5,0	98,6	152,0	58,4
10	26/05/2010	345,0	17,1	286,0	2,0	99,3	82,0	71,3
11	31/05/2010	446,0	20,2	356,0	5,0	98,6	140,0	60,7
11	31/05/2010	414,0	15,5	350,0	4,0	98,9	79,0	77,4
11	01/06/2010	514,0	41,6	300,0	4,0	98,7	99,0	67,0
11	01/06/2010	388,0	17,3	321,0	5,0	98,4	213,0	33,6
11	02/06/2010	459,0	28,8	327,0	4,0	98,8	97,0	70,3
11	02/06/2010	479,0	-34,4	644,0	2,0	99,7	81,0	87,4
12	07/06/2010	865,0	15,7	729,0	2,0	99,7	179,0	75,4
12	08/06/2010	769,0	18,2	629,0	2,0	99,7	179,0	71,5
12	08/06/2010	1642,0	54,6	746,0	3,0	99,6	-	-
12	09/06/2010	643,0	17,0	534,0	3,0	99,4	-	-
12	09/06/2010	1056,0	67,0	349,0	35,0	90,0	129,0	63,0
<b>PROMEDIO:</b>		<b>657,9</b>	<b>-6,2</b>	<b>552,1</b>	<b>4,5</b>	<b>98,8</b>	<b>121,3</b>	<b>72,1</b>

**Nota:** La fecha de inicio corresponde al día de muestreo en el ingreso, los datos de las salidas corresponden al muestreo realizado transcurrido el PR~2días para las unidades Wetland.

(\*) Para el cálculo del promedio, máximos y mínimos no se consideró los valores correspondientes al 09/06/2010 (Wetland SA), debido al incidente ocurrido, que se detalla en el anexo3.



**Tabla 49:** Eficiencia en remoción (%) de SST (mg/L) durante el periodo 3, para el Wetland CA y SA.

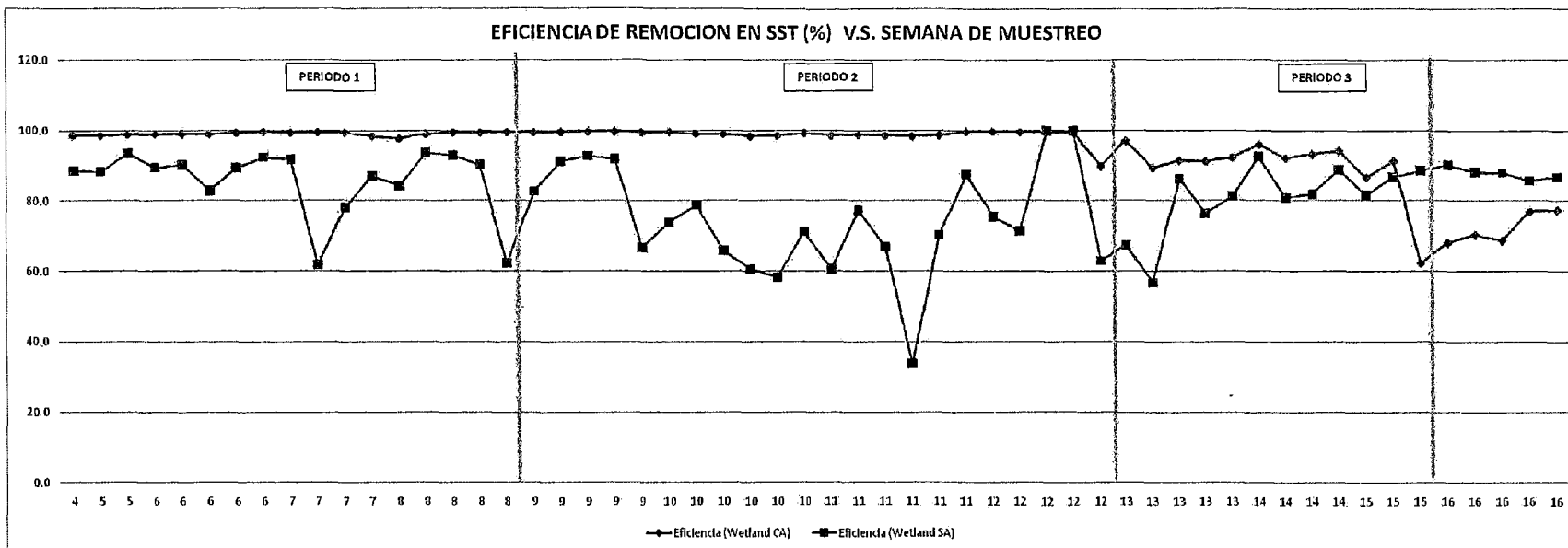
PERIODO 3:		R.A.F.A		SALIDA R.A.F.A.	WETLAND CA		WETLAND SA	
Semana	FECHA DE INICIO:	Ingreso	Eficiencia (%)	INGRESO Wetland	Salida	Eficiencia (%)	Salida	Eficiencia (%)
13	14/06/2010	835,0	44,1	467,0	13,0	97,2	152,0	67,5
13	14/06/2010	772,0	26,8	565,0	59,0	89,6	244,0	56,8
13	15/06/2010	568,0	-21,3	689,0	58,0	91,6	94,0	86,4
13	16/06/2010	537,0	11,7	474,0	41,0	91,4	111,0	76,6
13	16/06/2010	530,0	-7,2	568,0	43,0	92,4	106,0	81,3
14	23/06/2010	553,0	-155,7	1 414,0	55,0	96,1	105,0	92,6
14	23/06/2010	487,0	-14,2	556,0	43,0	92,3	106,0	80,9
14	24/06/2010	806,0	30,6	559,0	37,0	93,4	101,0	81,9
14	24/06/2010	1 021,0	43,8	574,0	33,0	94,3	64,0	88,9
15	30/06/2010	406,0	-16,3	472,0	62,0	86,9	86,0	81,8
15	01/07/2010	1 495,0	57,5	635,0	55,0	91,3	84,0	86,8
15	01/07/2010	-	-	587,0	221,0	62,4	67,0	88,6
<b>PROMEDIO:</b>		<b>728,2</b>	<b>0,0</b>	<b>630,0</b>	<b>60,0</b>	<b>89,9</b>	<b>110,0</b>	<b>80,8</b>

**Tabla 50:** Eficiencia en remoción (%) de DQO (mg/L) durante la semana de cierre, para el Wetland CA y SA.

SEMANA DE CIERRE:		R.A.F.A		SALIDA R.A.F.A.	WETLAND CA		WETLAND SA	
Semana	FECHA DE INICIO:	Ingreso	Eficiencia (%)	INGRESO Wetland	Salida	Eficiencia (%)	Salida	Eficiencia (%)
16	05/07/2010	1 850,0	62,5	693,0	221,0	68,1	67,0	90,3
16	06/07/2010	740,0	-3,0	762,0	225,0	70,5	90,0	88,2
16	07/07/2010	766,0	-2,2	783,0	244,0	68,8	93,0	88,1
16	07/07/2010	618,0	-32,2	817,0	187,0	77,1	116,0	85,8
16	08/07/2010	607,0	-45,6	884,0	198,0	77,6	116,0	86,9
<b>PROMEDIO:</b>		<b>916,2</b>	<b>-4,1</b>	<b>787,8</b>	<b>215,0</b>	<b>72,4</b>	<b>96,4</b>	<b>87,9</b>

**Nota:** La fecha de inicio corresponde al día de muestreo en el ingreso, los datos de las salidas corresponden al muestreo realizado transcurrido el PR~2días para las unidades Wetland.

Gráfica N° 33: Eficiencia de remoción de SST, durante el desarrollo del proyecto.



En la grafica se puede observar que la eficiencia en remoción de SST del Wetland CA está por encima de lo registrado en el Wetland SA, a lo largo del horizonte del proyecto, a excepción de la semana 15-16 (donde se suspendió la aireación en el Wetland CA). Además se puede observar la tendencia casi constante en el Wetland CA y la variabilidad de los resultados en el Wetland SA.

En el periodo 1 la eficiencia del Wetland CA esta entre: 97,8 y 99,8%, en el periodo 2 entre: 98,4 y 99,9%, y para el periodo 3 (hasta antes de suspender la aireacion) entre: 86,9 y 97,2%.

En el periodo 1 la eficiencia del Wetland SA esta entre: 61,9 y 93,7%, en el periodo 2 entre: 33,6y 92,9%, y para el periodo 3 entre: 56,8 y 92,6%.

También se observa la caída brusca de la eficiencia en el Wetland CA, luego de suspender su aireación.

5.14. EFICIENCIAS PROMEDIO

Gráfica N° 34: Porcentaje de Remoción en Turbidez por concentración de influente.

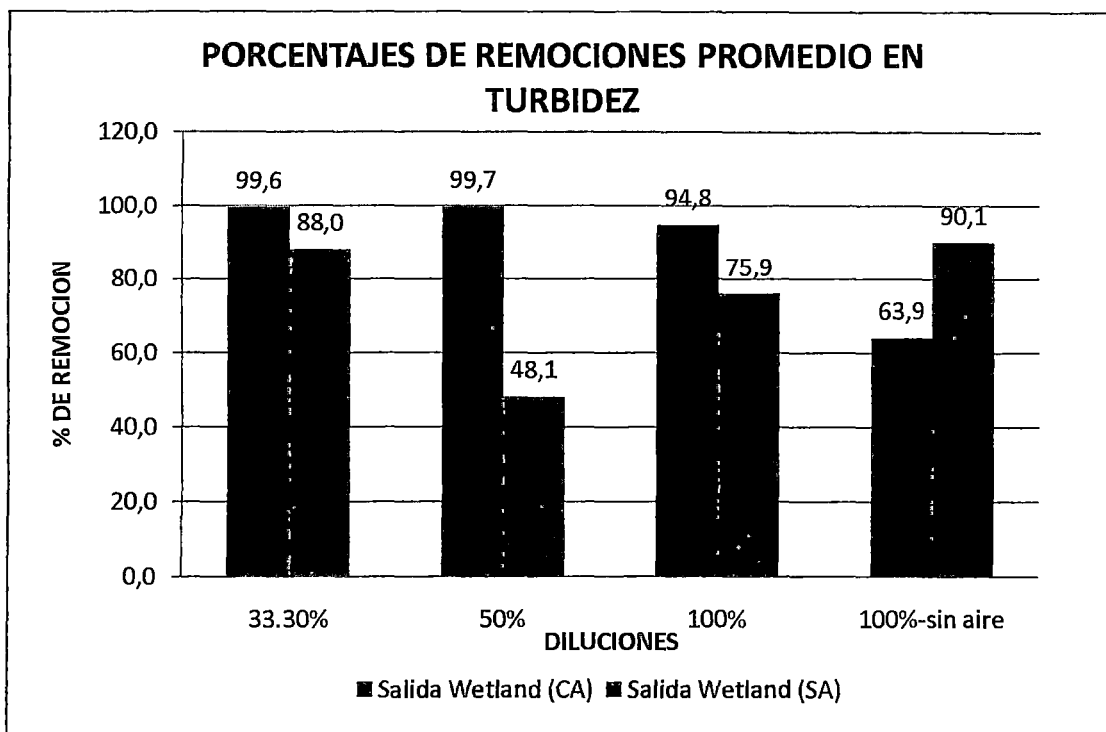


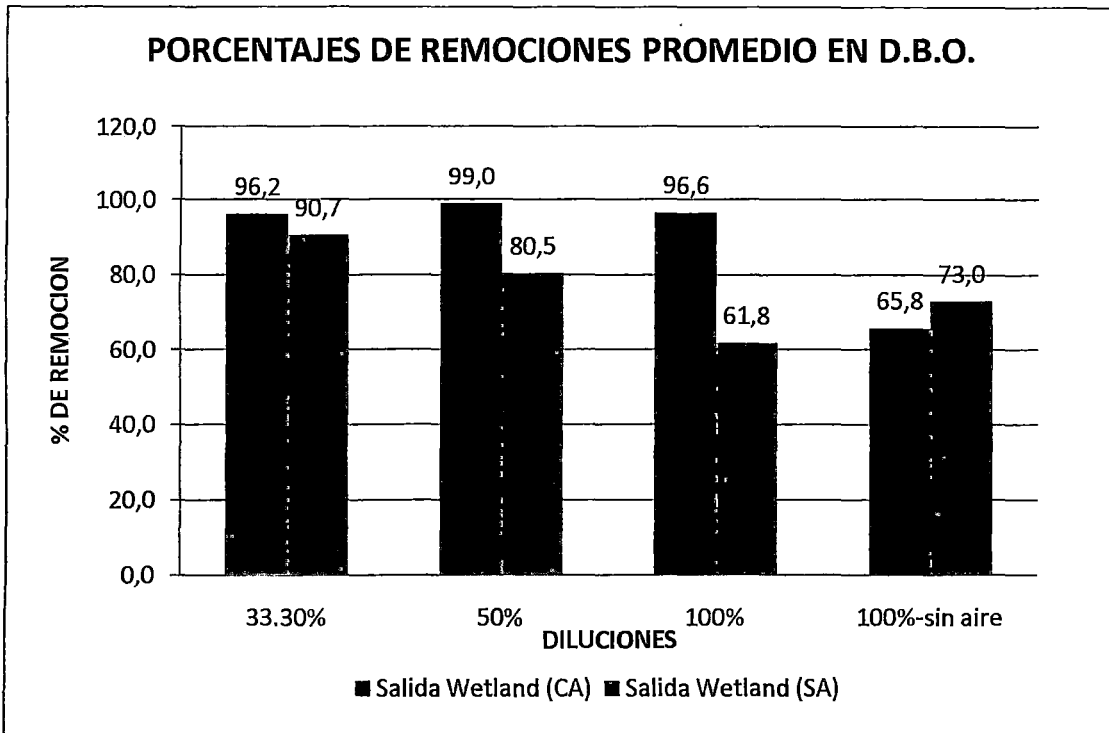
Tabla 51: Porcentaje de Remoción en Turbidez por concentración.

% de concentración de muestra	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
33,30%	99,6	88,0
50%	99,7	48,1
100%	94,8	75,9
100%-sin aire	63,9	90,1

Se observa que la remoción, de la turbidez en el Wetland C.A. se mantiene casi constante, en los tres primeros Periodos y se nota una baja de remoción en el Wetland S.A. al 48% pero luego una alza hasta un 75,9%. Esto puede deberse a que se realizó una purga en el Wetland S.A. Y en el periodo "100%-sin aire" hay una caída de la remoción por desactivar el soplador de aire; aquí el ecosistema dentro del Wetland que estaba con

aireación se está adaptando a su nueva condición y baja su rendimiento en el proceso de cambio.

**Gráfica N° 35:** Porcentaje de Remoción en D.B.O. por concentración de influente.



**Tabla 52:** Porcentaje de Remoción en D.B.O. por concentración de influente.

% de concentración de muestra	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
33,30%	96,2	90,7
50%	99,0	80,5
100%	96,6	61,8
100%-sin aire	65,8	73,0

Se observa que la remoción de la D.B.O se mantiene casi constante en los tres primeros periodos para el Wetland C.A. Y que en el Wetland S.A. disminuye, a pesar de la purga. Y en el periodo "100%-sin aire" sucede la

disminución de la remoción en el Wetland C.A. debido probablemente a que se dejó de airear.

Gráfica N° 36: Porcentaje de Remoción en D.Q.O. por concentración de influente (diluciones).

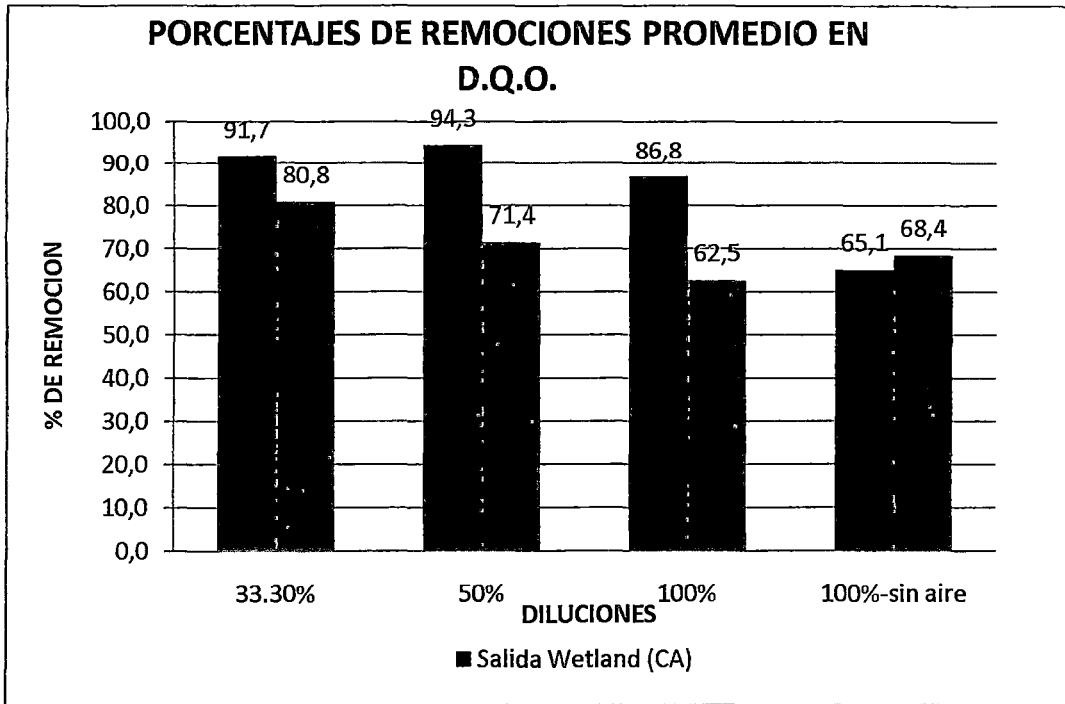


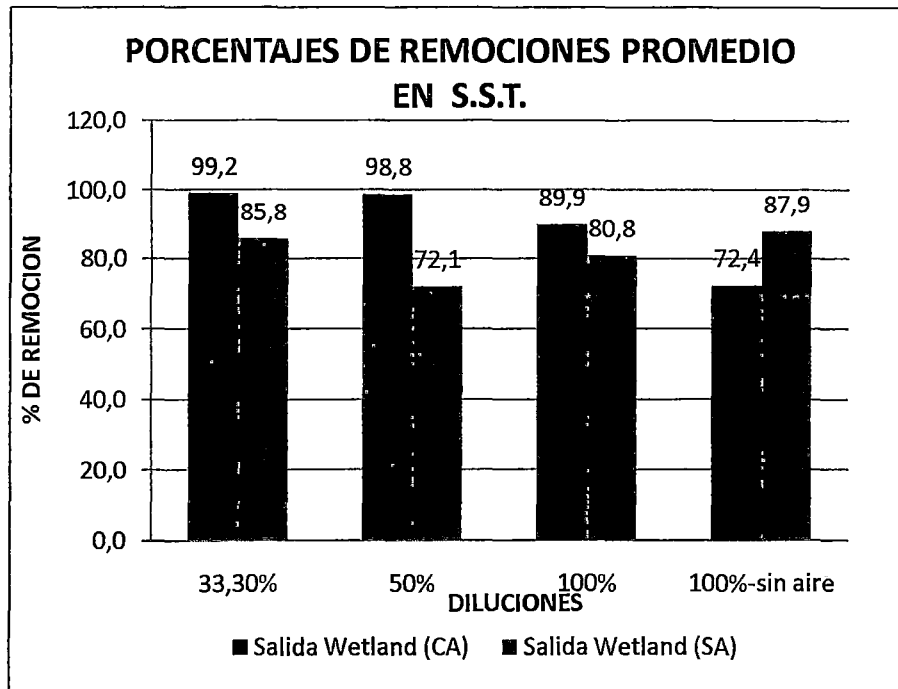
Tabla 53: Porcentaje de Remoción en D.Q.O. por concentración de influente.

% de concentración de muestra	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
33,30%	91,7	80,8
50%	94,3	71,4
100%	86,8	62,5
100%-sin aire	65,1	68,4

Se observa que se mantiene la remoción de la DQO en el Wetland C.A. y Disminuye gradualmente en el Wetland S.A. Pero se produce la

caída cuando se desconecta la aireación en el sistema aireado, coincidentemente como sucede con los demás parámetros.

**Gráfica N° 37:** Porcentaje de Remoción en S.S.T. por concentración.



**Tabla 54:** Porcentaje de Remoción en S.S.T. por concentración de influente.

% de concentración de muestra	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
33.30%	99,2	85,8
50%	98,8	72,1
100%	89,9	80,8
100%-sin aire	72,4	87,9

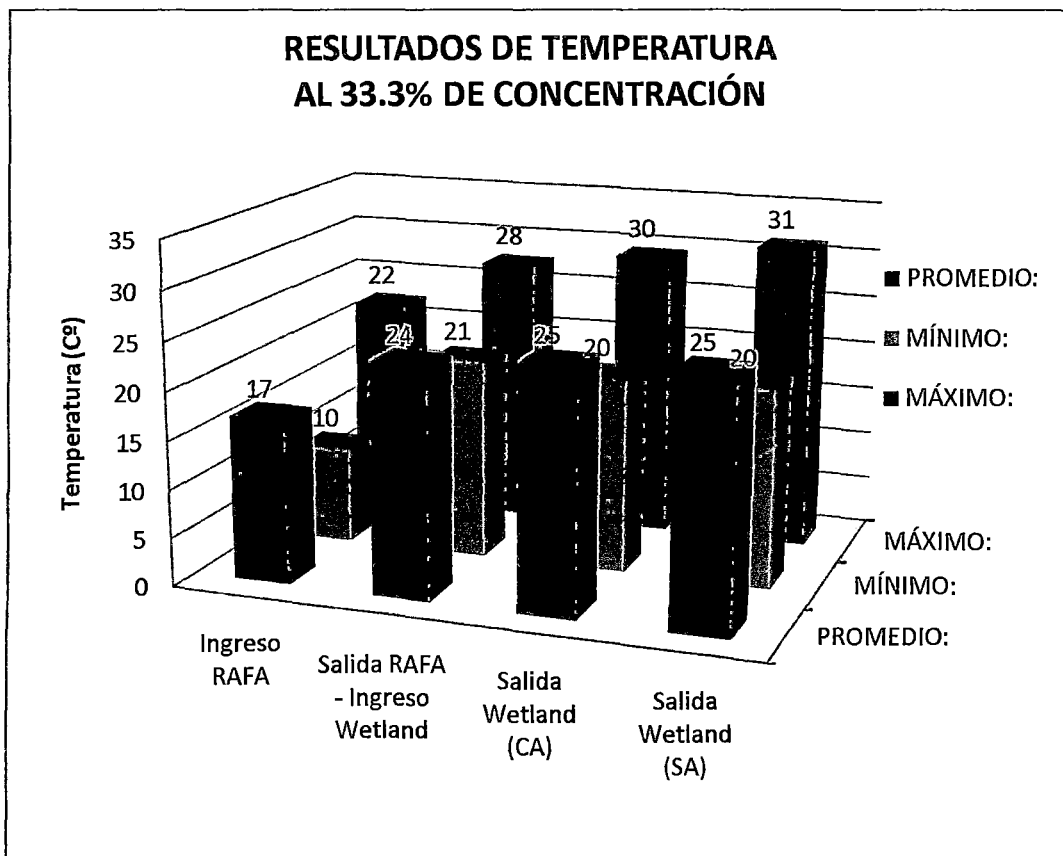
Se observa que en la remoción de S.S.T. hay una tendencia a decrecer en el Wetland C.A. En el Wetland S.A. al aumentar la concentración de 50% al 100% de concentración la remoción pasa del 72% a 80% de remoción, a pesar del aumento de concentración, esto puede deberse al efecto de haber purgado la unidad.

5.15. Resultados promedio de Temperatura

Tabla 55: Resultado promedio, mínimo y máximo de temperatura al 33,3% de concentración de influente.

Temperatura (C°)	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
MÁXIMO:	22	28	30	31
MÍNIMO:	10	21	20	20
PROMEDIO:	17	24	25	25

Gráfica N° 38: Resultado promedio, mínimo y máximo de temperatura al 33.3% de concentración de influente.

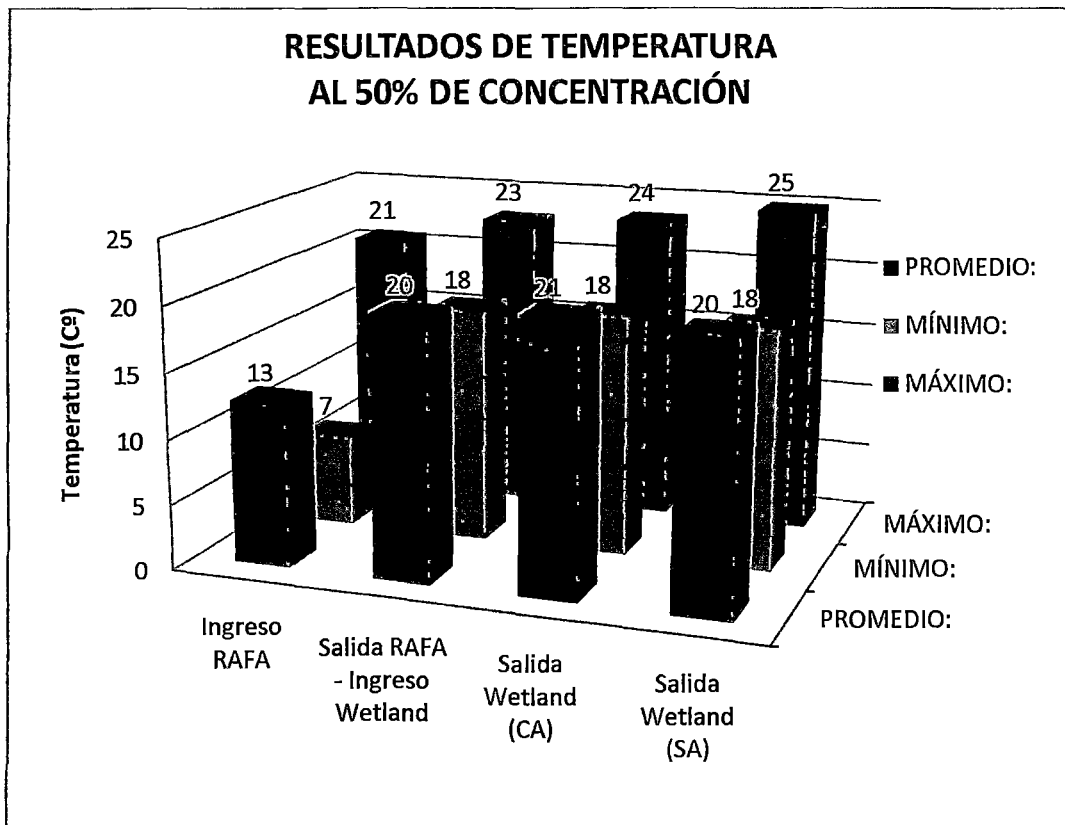




**Tabla 56:** Resultado promedio, mínimo y máximo de temperatura al 50% de concentración de influente.

Temperatura (C°)	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
MÁXIMO:	21	23	24	25
MÍNIMO:	7	18	18	18
PROMEDIO:	13	20	21	20

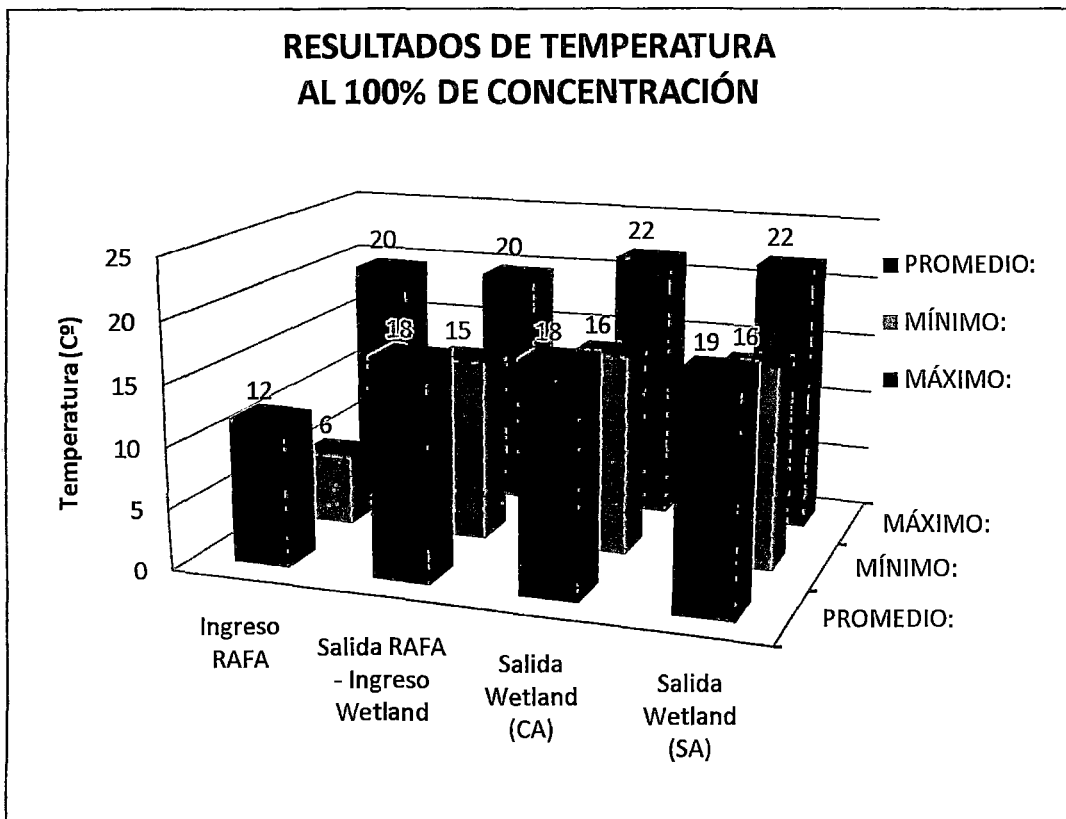
**Gráfica N° 39:** Resultado promedio, mínimo y máximo de temperatura al 50% de concentración de influente.



**Tabla 57:** Resultado promedio, mínimo y máximo de temperatura al 100% de concentración de influente.

Temperatura (C°)	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
MÁXIMO:	20	20	22	22
MÍNIMO:	6	15	16	16
PROMEDIO:	12	18	18	19

**Gráfica N° 40:** Resultado promedio, mínimo y máximo de temperatura al 100% de concentración de influente.



**Tabla 58:** Resultado promedio, mínimo y máximo de temperatura al 100% de concentración sin aireación.

Temperatura (C°)	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
MÁXIMO:	17	18	20	21
MÍNIMO:	6	16	16	16
PROMEDIO:	12	17	18	18

**Gráfica N° 41:** Resultado promedio, mínimo y máximo de temperatura al 100% de concentración de influente sin aireación.

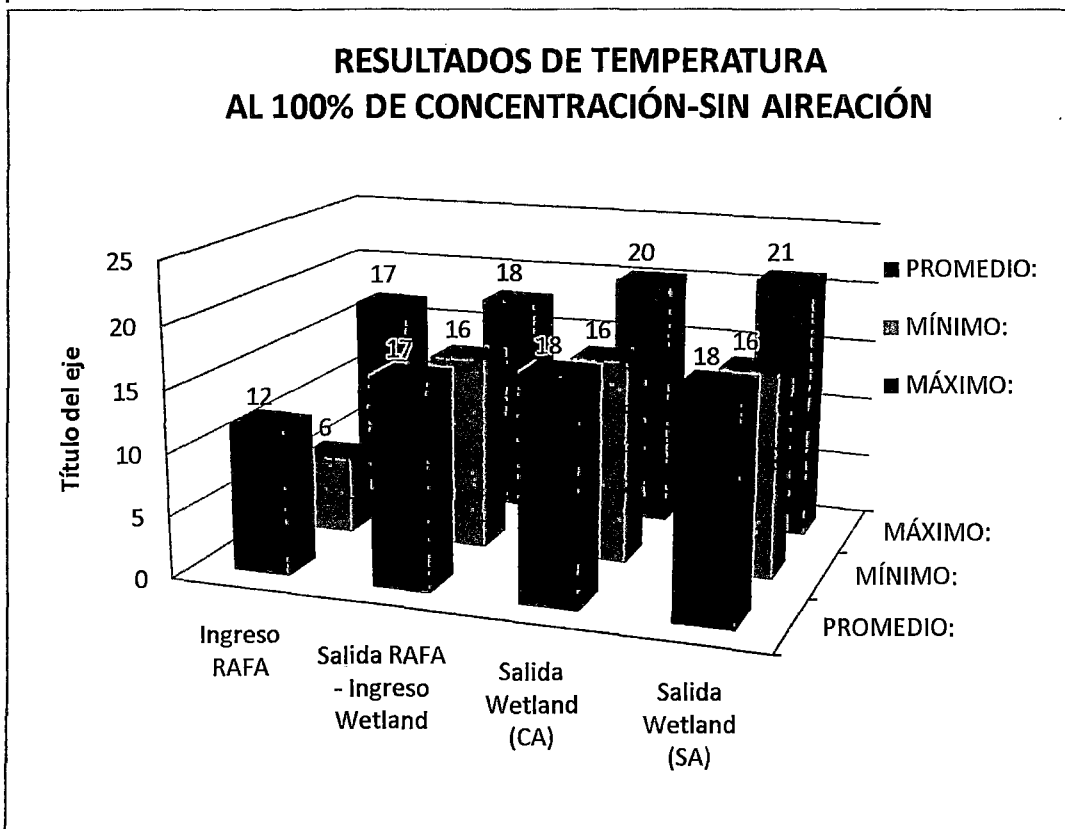
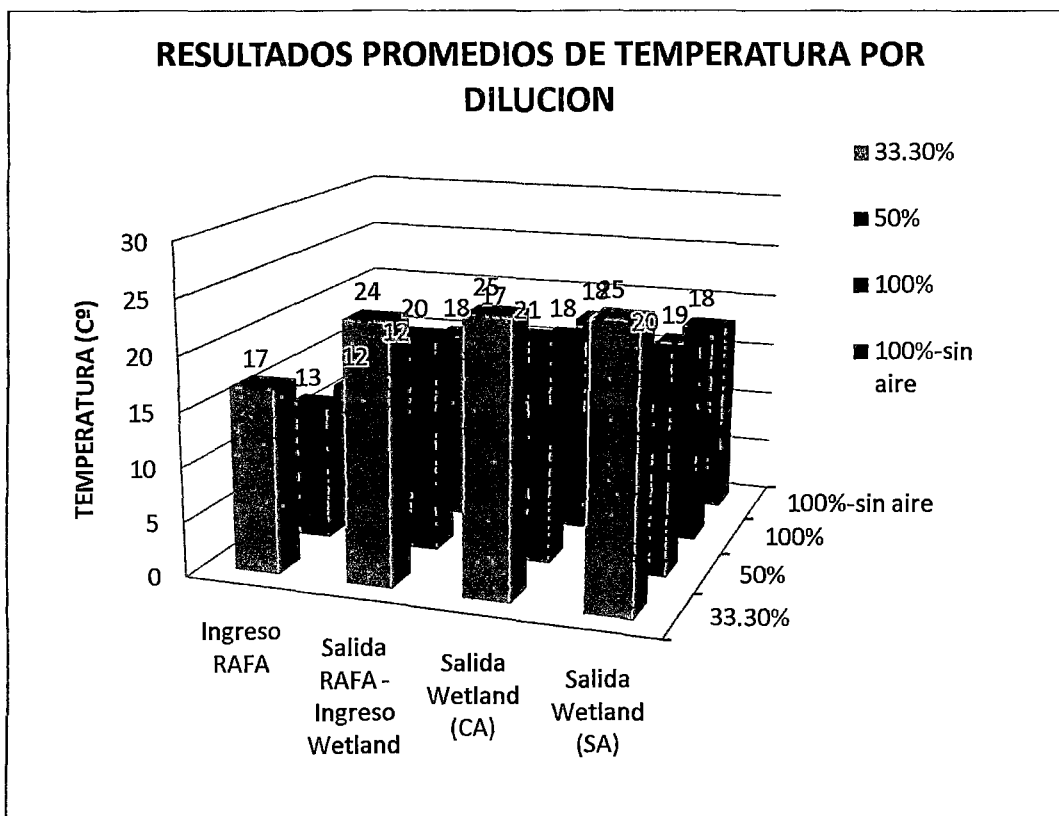


Tabla 59: Resultado promedio de temperatura por concentración.

% de concentración de muestra	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
33.30%	17	24	25	25
50%	13	20	21	20
100%	12	18	18	19
100%-sin aire	12	17	18	18

Gráfica N° 42: Resultado promedio de temperatura por concentración.

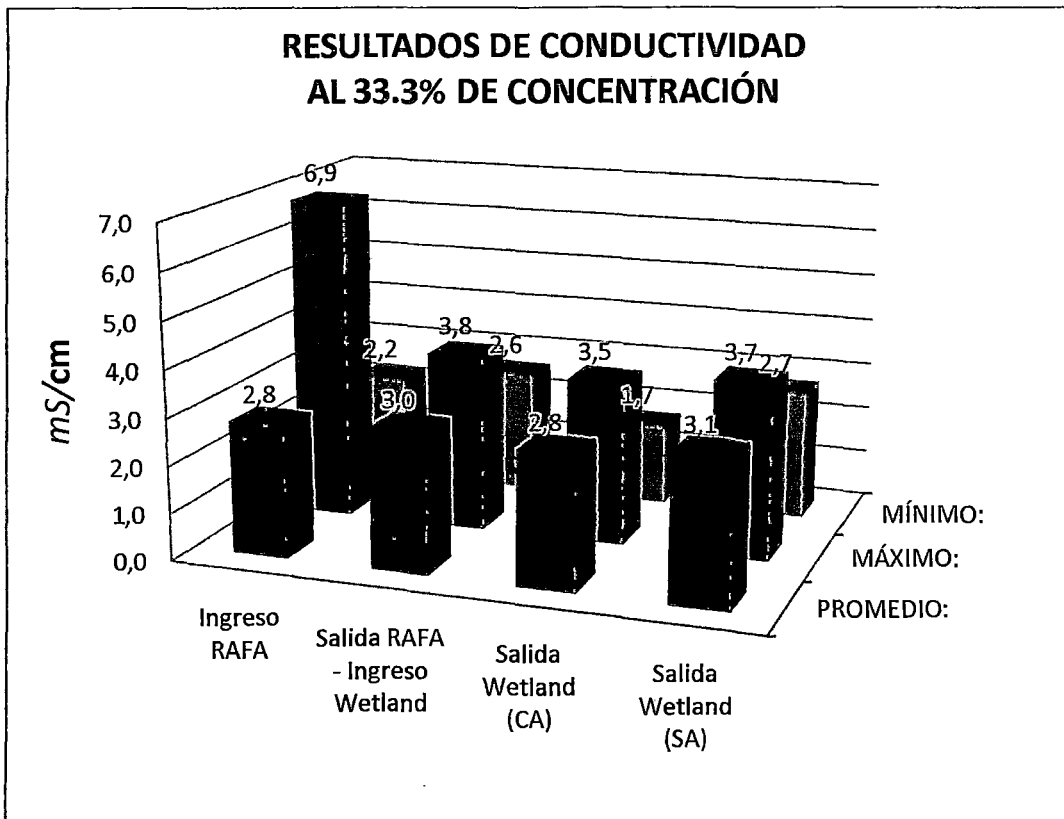


### 5.16. Resultados promedio de Conductividad

Tabla 60: Resultado promedio, mínimo y máximo de conductividad al 33.3% de concentración.

Conductividad (mS/cm)	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
MÍNIMO:	2,2	2,6	1,7	2,7
MÁXIMO:	6,9	3,8	3,5	3,7
PROMEDIO:	2,8	3,0	2,8	3,1

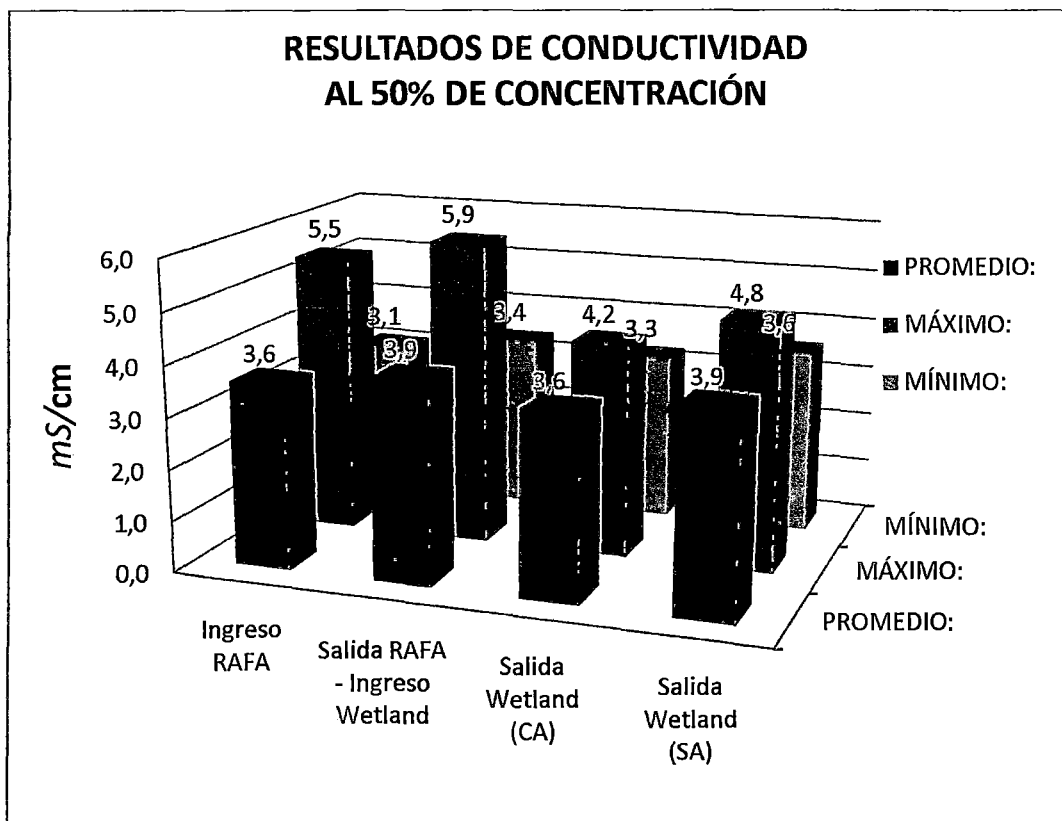
Gráfica N° 43: Resultado promedio, mínimo y máximo de conductividad al 33,3% de concentración de influente.



**Tabla 61:** Resultado promedio, mínimo y máximo de conductividad al 50% de concentración.

Conductividad (mS/cm)	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
MÍNIMO:	3,1	3,4	3,3	3,6
MÁXIMO:	5,5	5,9	4,2	4,8
PROMEDIO:	3,6	3,9	3,6	3,9

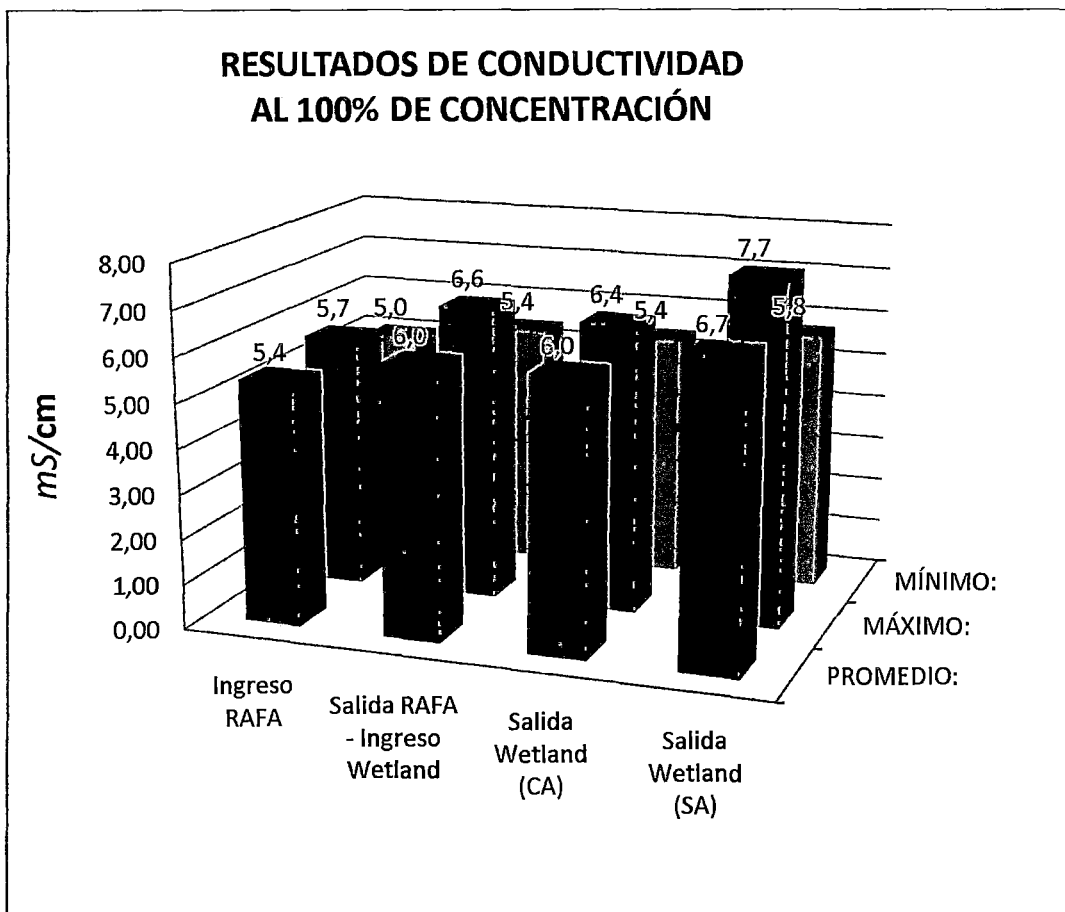
**Gráfica N° 44:** Resultado promedio, mínimo y máximo de conductividad al 50% de concentración de influente.



**Tabla 62:** Resultado promedio, mínimo y máximo de conductividad al 100% de concentración de influente.

Conductividad (mS/cm)	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
MÍNIMO:	5,0	5,4	5,4	5,8
MÁXIMO:	5,7	6,6	6,4	7,7
PROMEDIO:	5,4	6,0	6,0	6,7

**Gráfica N° 45:** Resultado promedio, mínimo y máximo de conductividad al 100% de concentración de influente.



**Tabla 63:** Resultado promedio, mínimo y máximo de conductividad al 100% de concentración de influente sin aireación.

Conductividad (mS/cm)		Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
	MÍNIMO:	5,6	5,8	6,1	6,6
	MÁXIMO:	5,7	6,4	6,6	6,9
	PROMEDIO:	5,7	6,1	6,3	6,7

**Gráfica N° 46:** Resultado promedio, mínimo y máximo de conductividad al 100% de concentración de influente sin aireación.

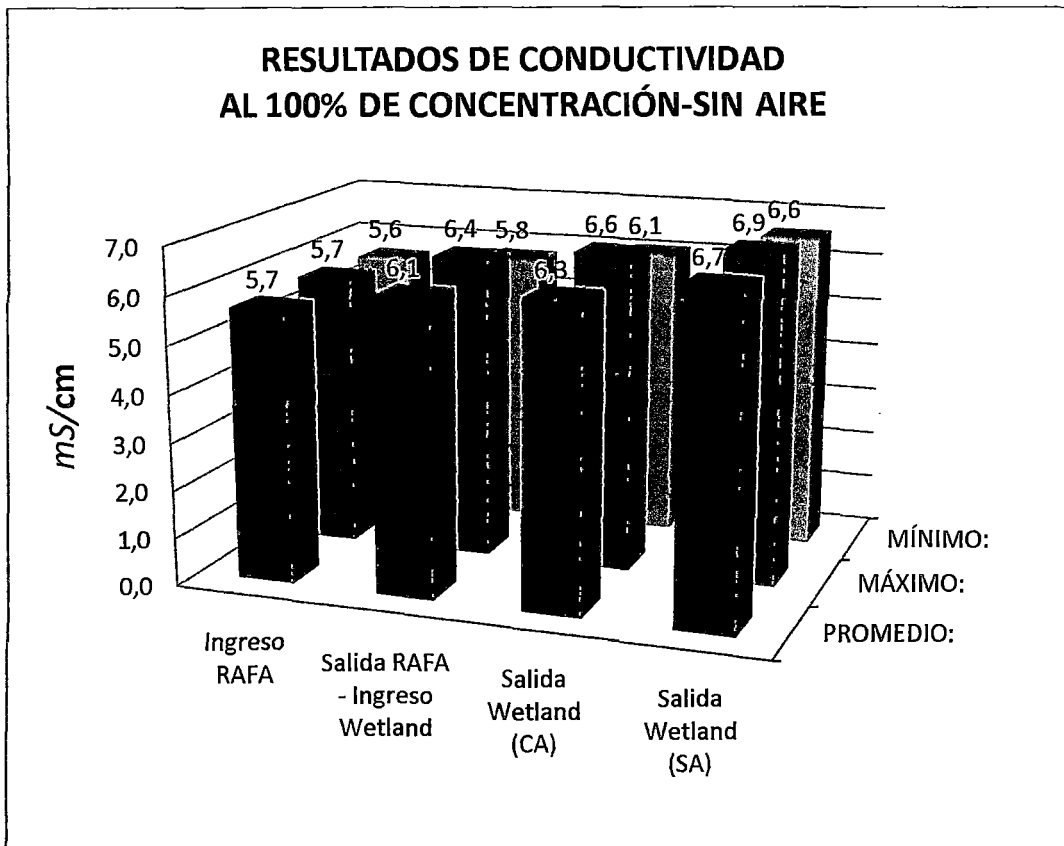
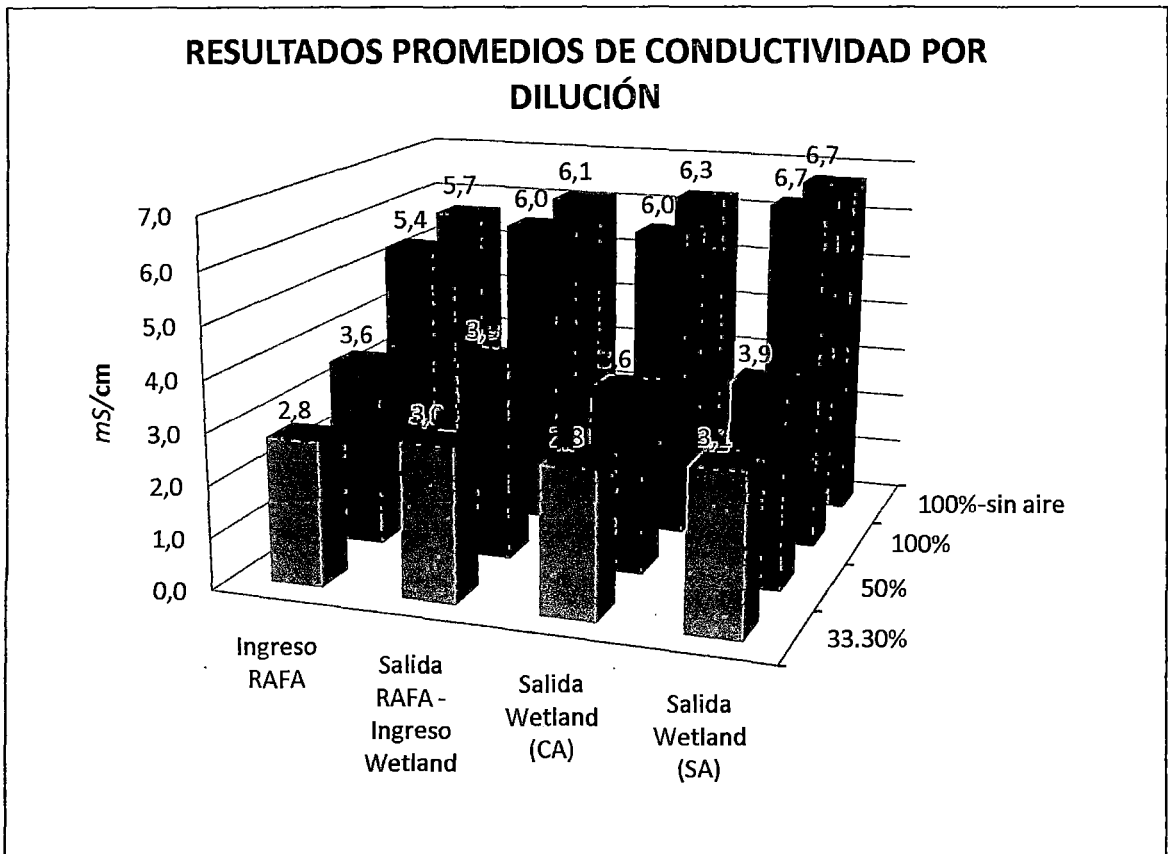




Tabla 64: Resultado promedio de conductividad por concentración.

% concentración de muestra		Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
	33,30%	2,8	3,0	2,8	3,1
	50%	3,6	3,9	3,6	3,9
	100%	5,4	6,0	6,0	6,7
	100%-sin aire	5,7	6,1	6,3	6,7

Gráfica N° 47: Resultado promedio de conductividad por concentración.

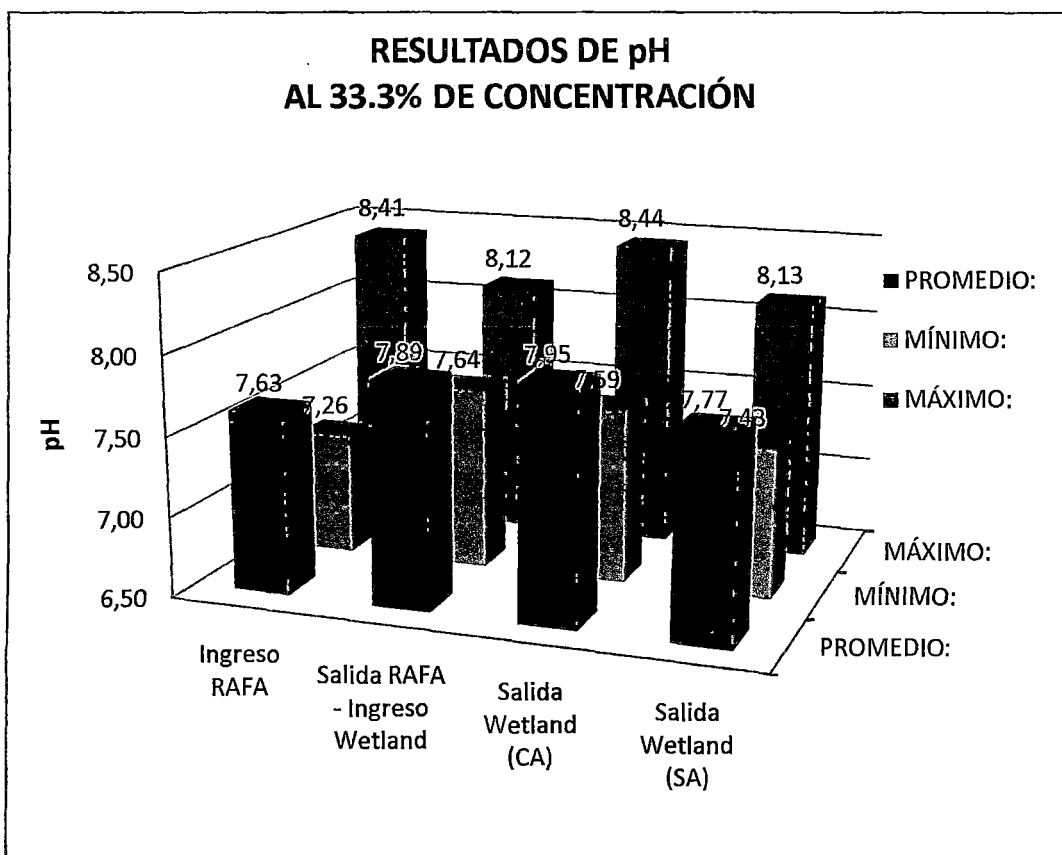


5.17. Resultados promedio de pH

Tabla 65: Resultado promedio, mínimo y máximo de ph al 33.3% de concentración de influente.

Conductividad (mS/cm)	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
MÁXIMO:	7,6	7,6	7,9	8,0
MÍNIMO:	7,3	7,7	7,9	7,7
PROMEDIO:	7,6	7,7	7,8	7,8

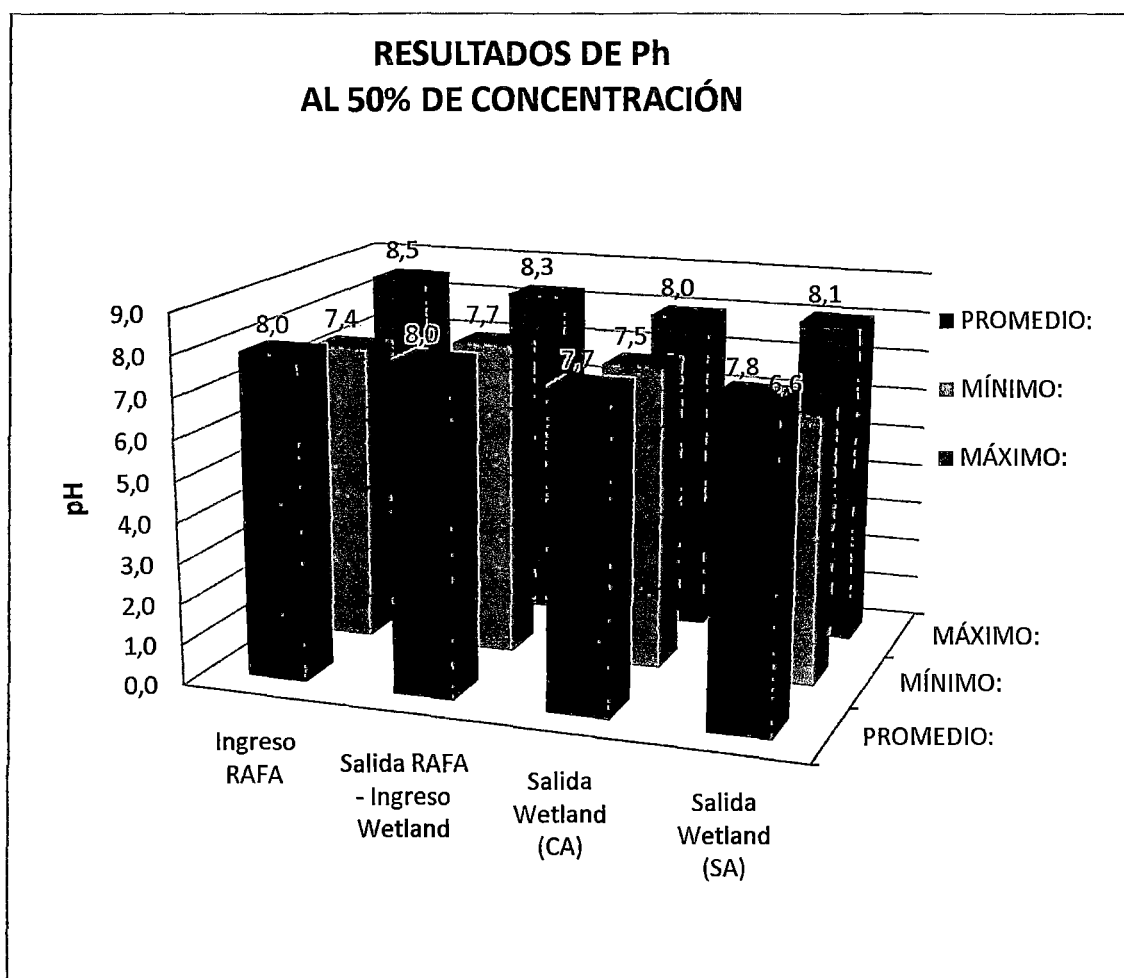
Gráfica N° 48: Resultado promedio, mínimo y máximo de ph al 33.3% de concentración de influente.



**Tabla 66:** Resultado promedio, mínimo y máximo de pH al 50% de concentración de influente.

Conductividad (mS/cm)	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
MÁXIMO:	8,5	8,3	8,0	8,1
MÍNIMO:	7,4	7,7	7,5	6,6
PROMEDIO:	8,0	8,0	7,7	7,8

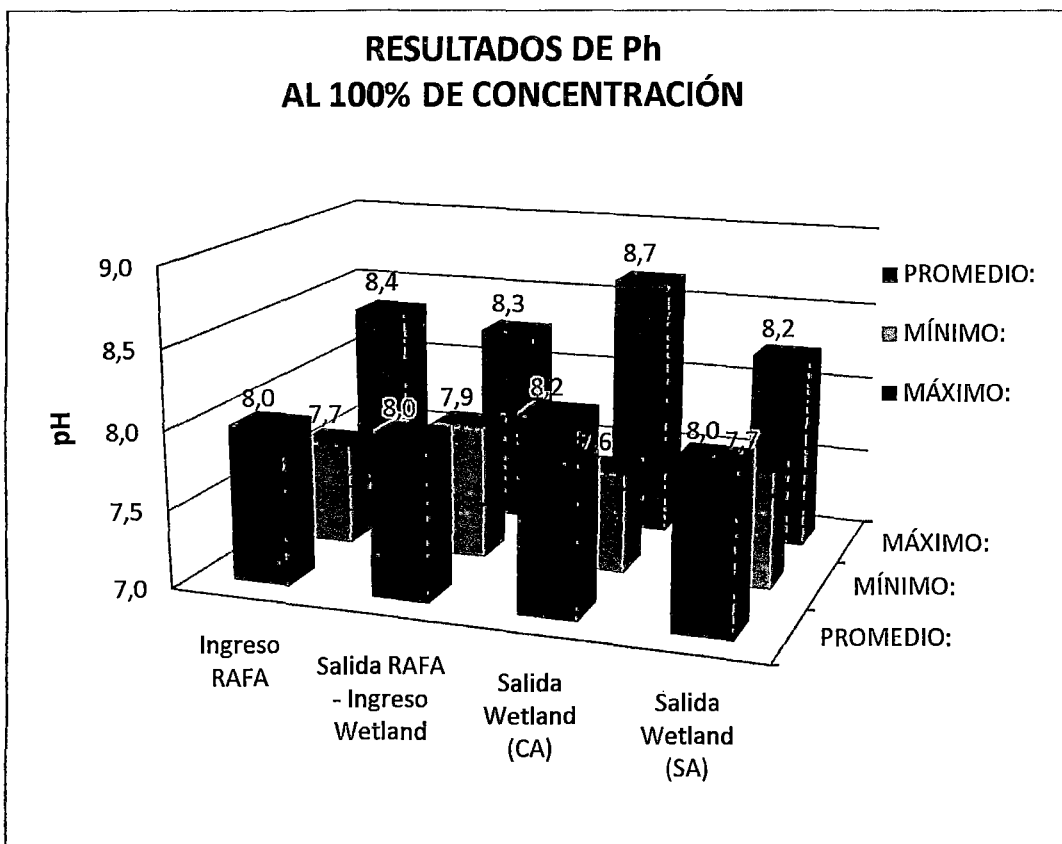
**Gráfica N° 49:** Resultado promedio, mínimo y máximo de pH al 50% de concentración de influente.



**Tabla 67:** Resultado promedio, mínimo y máximo de pH al 100% de concentración de influente.

Conductividad (mS/cm)	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
MÁXIMO:	8,4	8,3	8,7	8,2
MÍNIMO:	7,7	7,9	7,6	7,7
PROMEDIO:	8,0	8,0	8,2	8,0

**Gráfica N° 50:** Resultado promedio, mínimo y máximo de pH al 100% de concentración de influente.



**Tabla 68:** Resultado promedio, mínimo y máximo de pH al 100% de concentración sin aireación.

Conductividad (mS/cm)	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
MÁXIMO:	8,0	8,4	8,4	8,2
MÍNIMO:	7,7	7,9	8,1	8,0
PROMEDIO:	7,8	8,0	8,3	8,1

**Gráfica N° 51:** Resultado promedio, mínimo y máximo de pH al 100% de concentración de influente sin aireación.

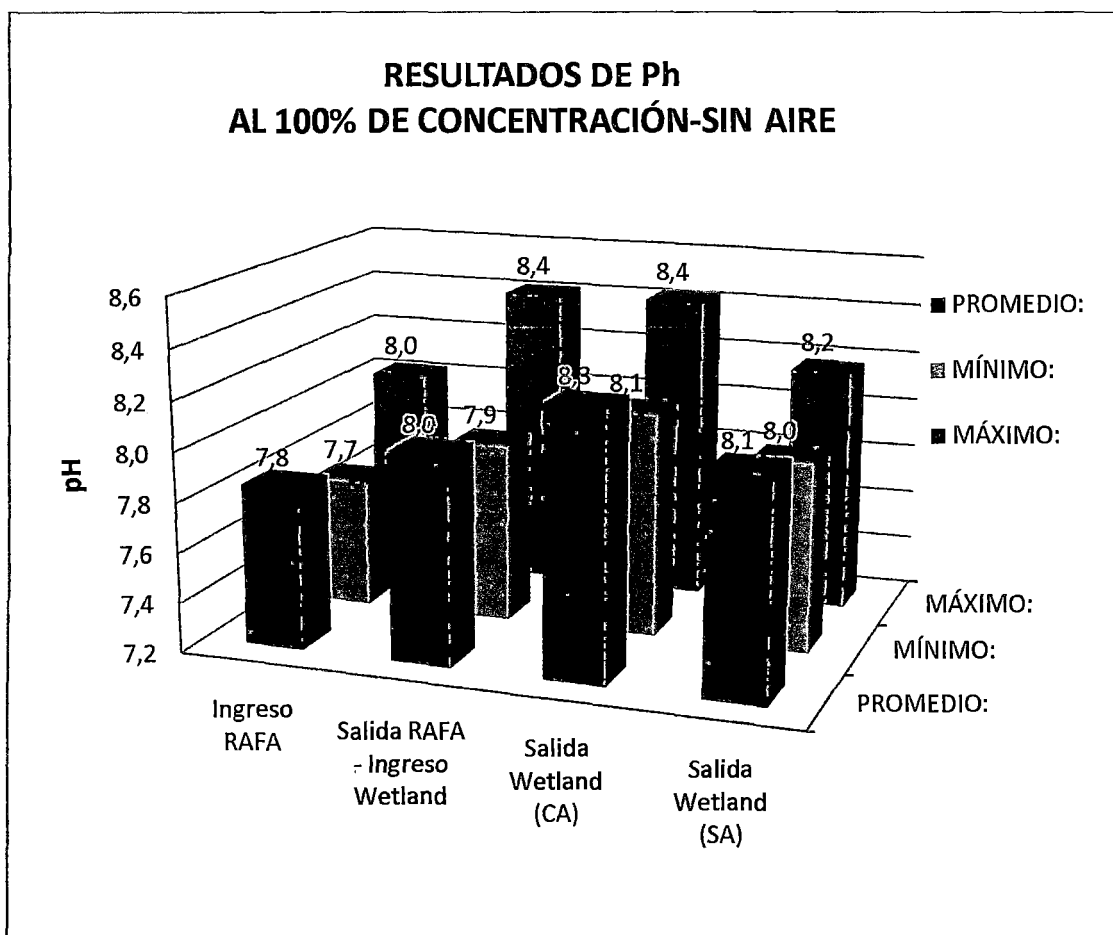
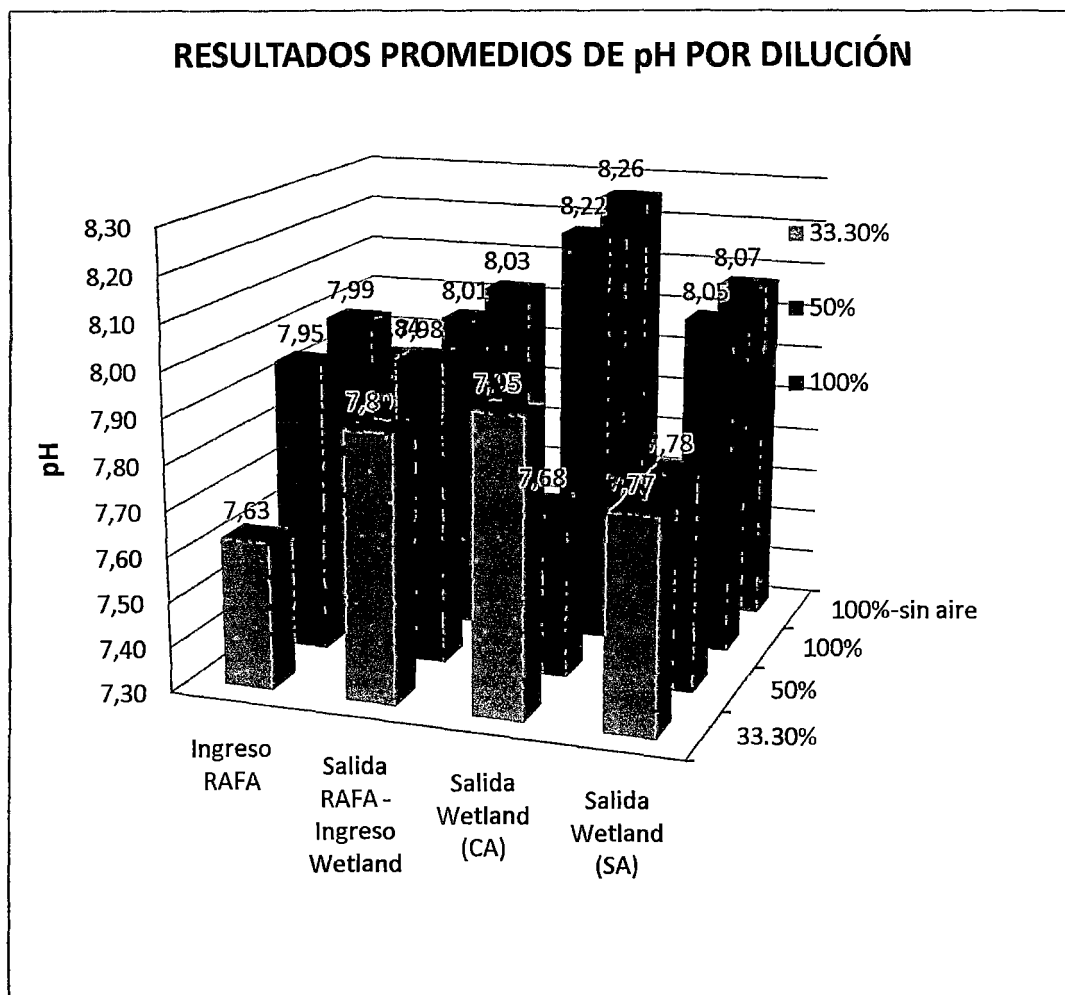


Tabla 69: Resultado promedio de pH por concentración.

% de concentración de muestra		Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
	33,30%	7,63	7,89	7,95	7,77
	50%	7,95	7,98	7,68	7,78
	100%	7,99	8,01	8,22	8,05
	100%-sin aire	7,84	8,03	8,26	8,07

Gráfica N° 52: Resultado promedio de pH por concentración.



**5.18. Resultados promedio de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)**

**Tabla 70:** Resultado promedio, mínimo y máximo de D.B.O. al 33.3% de concentración de influente.

D.B.O. (mg/L)	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
PROMEDIO:	340	288	20	35
MÍNIMO:	217	175	2	22
MÁXIMO:	493	444	66	54

**Gráfica N° 53:** Resultado promedio, mínimo y máximo de D.B.O. al 33.3% de concentración de influente.

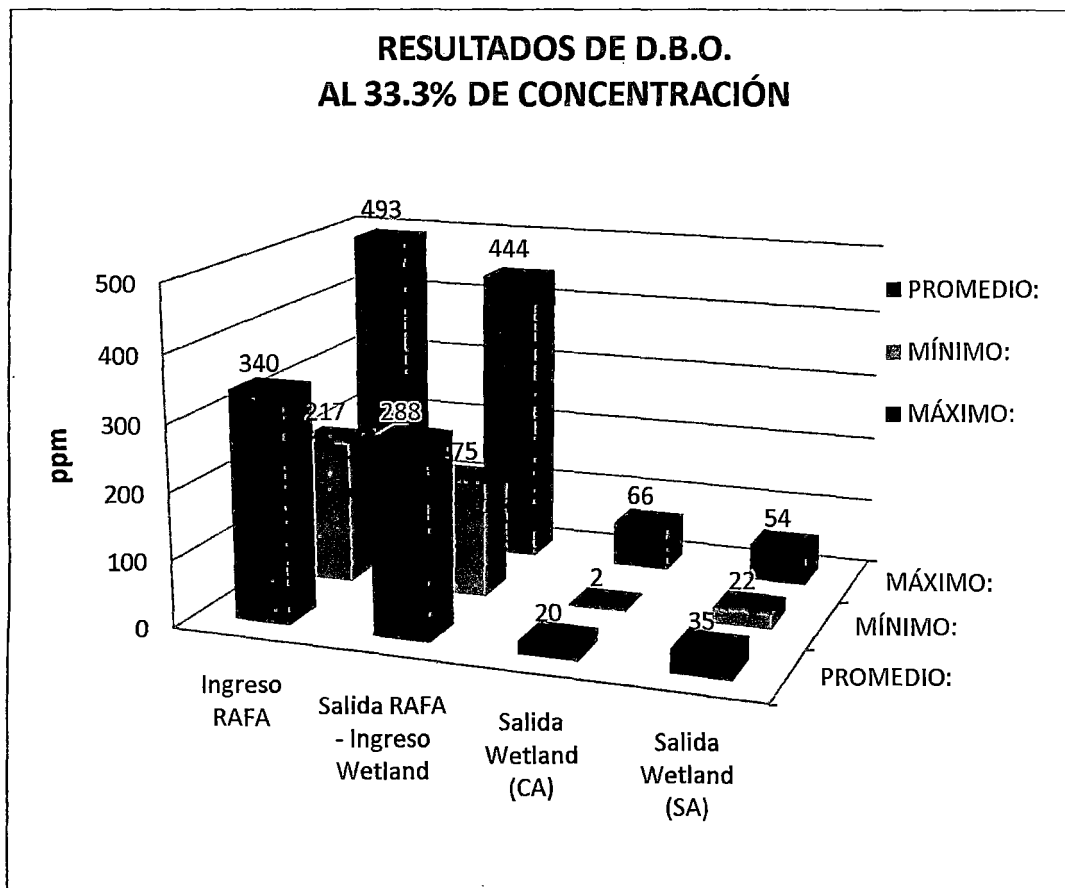
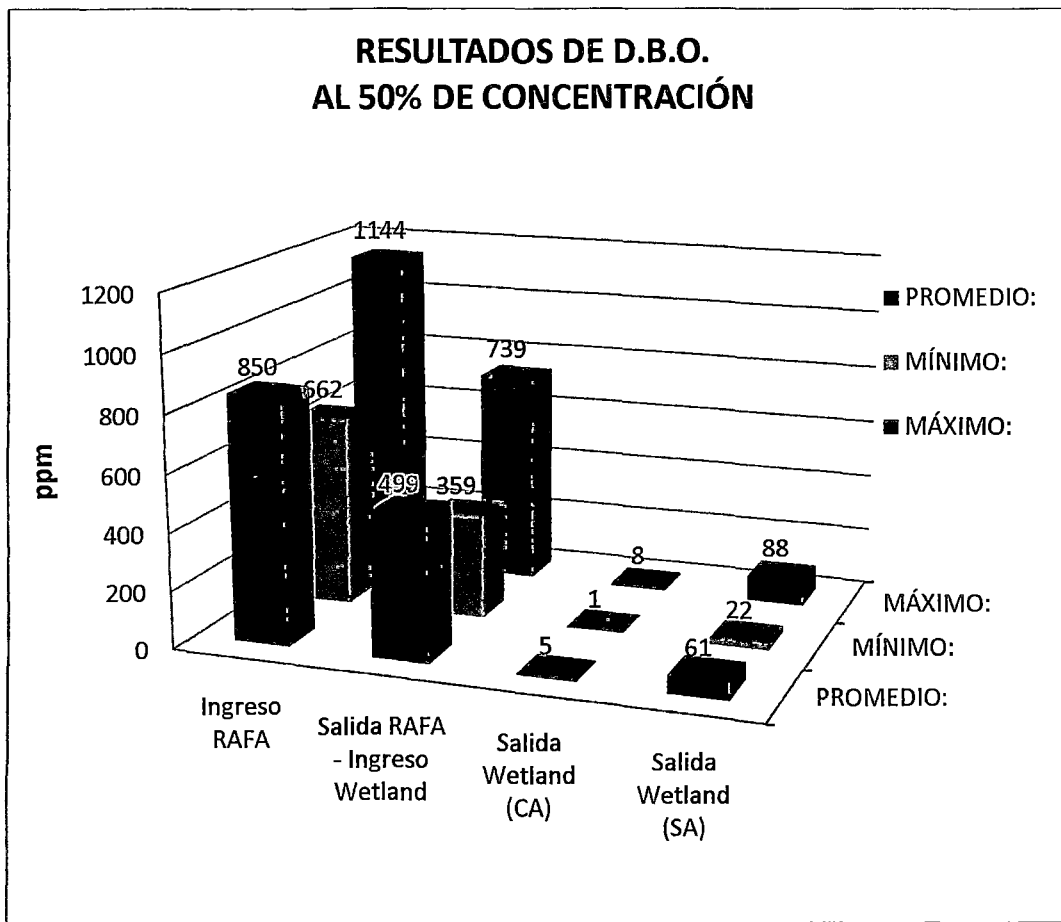


Tabla 71: Resultado promedio, mínimo y máximo de D.B.O. al 50% de concentración de influente.

D.B.O. (mg/L)	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
PROMEDIO:	850	499	5	61
MÍNIMO:	662	359	1	22
MÁXIMO:	1144	739	8	88

Gráfica N° 54: Resultado promedio, mínimo y máximo de D.B.O. al 50% de concentración de influente.

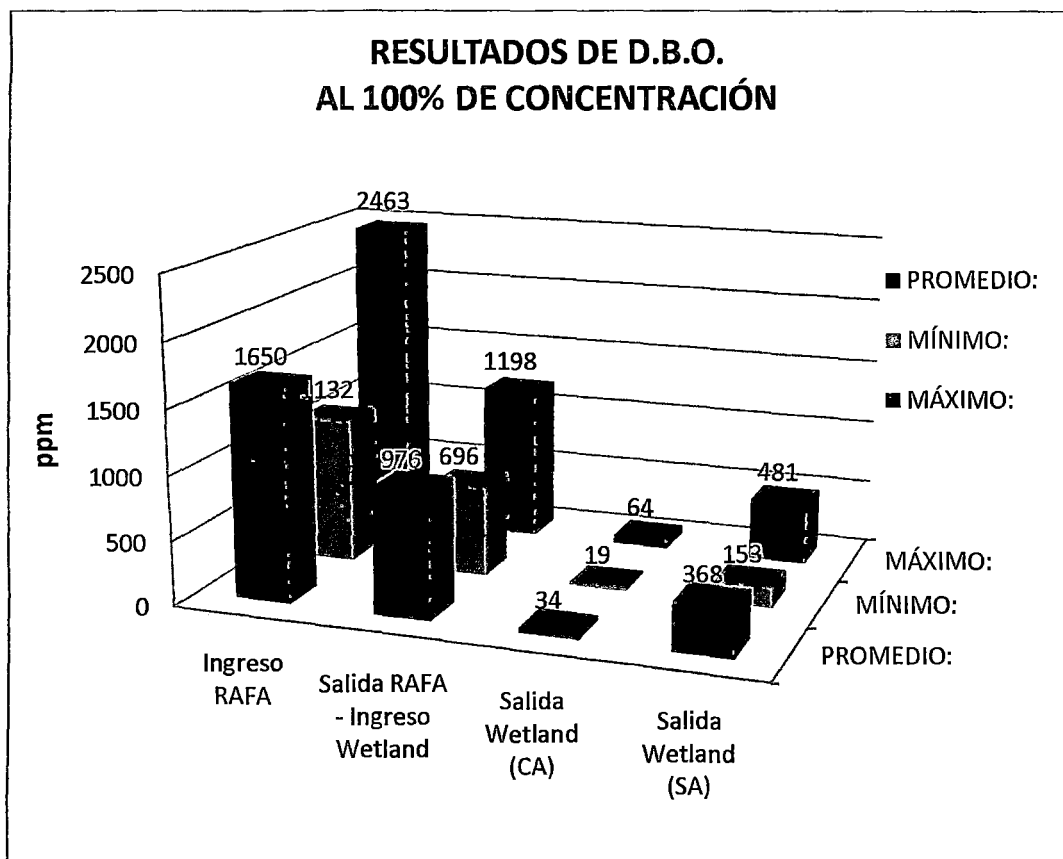




**Tabla 72:** Resultado promedio, mínimo y máximo de D.B.O. al 100% de concentración de influente.

D.B.O. (mg/L)	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
PROMEDIO:	1650	976	34	368
MÍNIMO:	1132	696	19	153
MÁXIMO:	2463	1198	64	481

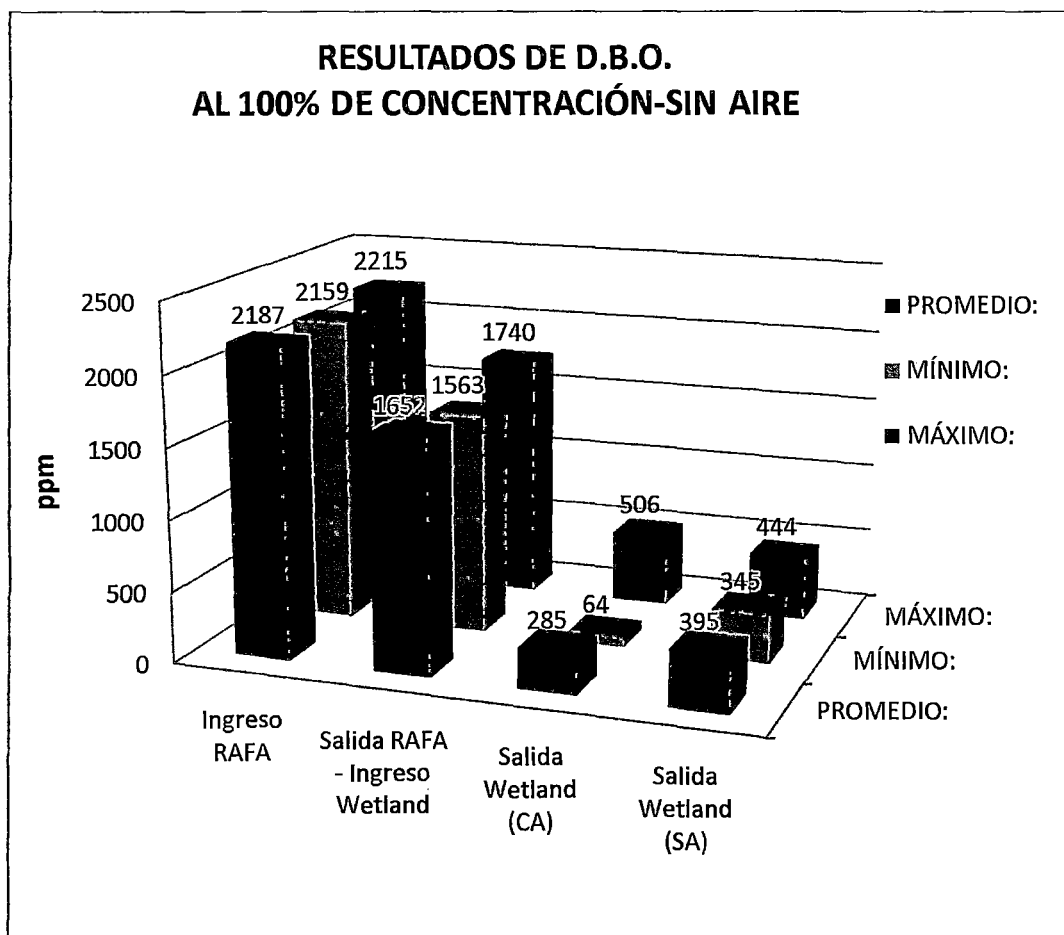
**Gráfica N° 55:** Resultado promedio, mínimo y máximo de D.B.O. al 100% de concentración de influente.



**Tabla 73:** Resultado promedio, mínimo y máximo de D.B.O. al 100% de concentración de influente sin aireación.

D.B.O. (mg/L)	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
PROMEDIO:	2187	1652	285	395
MÍNIMO:	2159	1563	64	345
MÁXIMO:	2215	1740	506	444

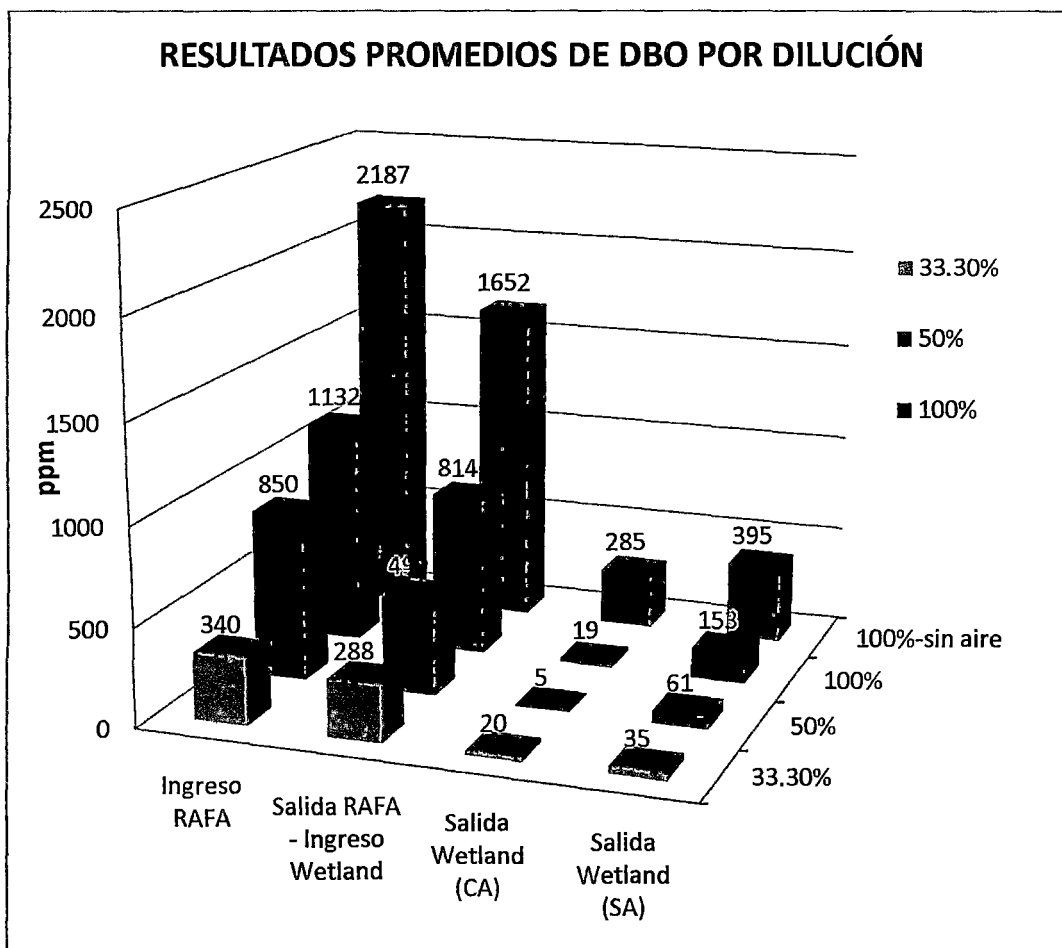
**Gráfica N° 56:** Resultado promedio, mínimo y máximo de D.B.O. al 100% de concentración de influente sin aireación.



**Tabla 74:** Resultado promedio D.B.O. por concentración.

% de concentración de muestra	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
33.30%	340	288	20	35
50%	850	499	5	61
100%	1132	814	19	153
100%-sin aire	2187	1652	285	395

**Gráfica N° 57:** Resultado promedio D.B.O. por concentración.

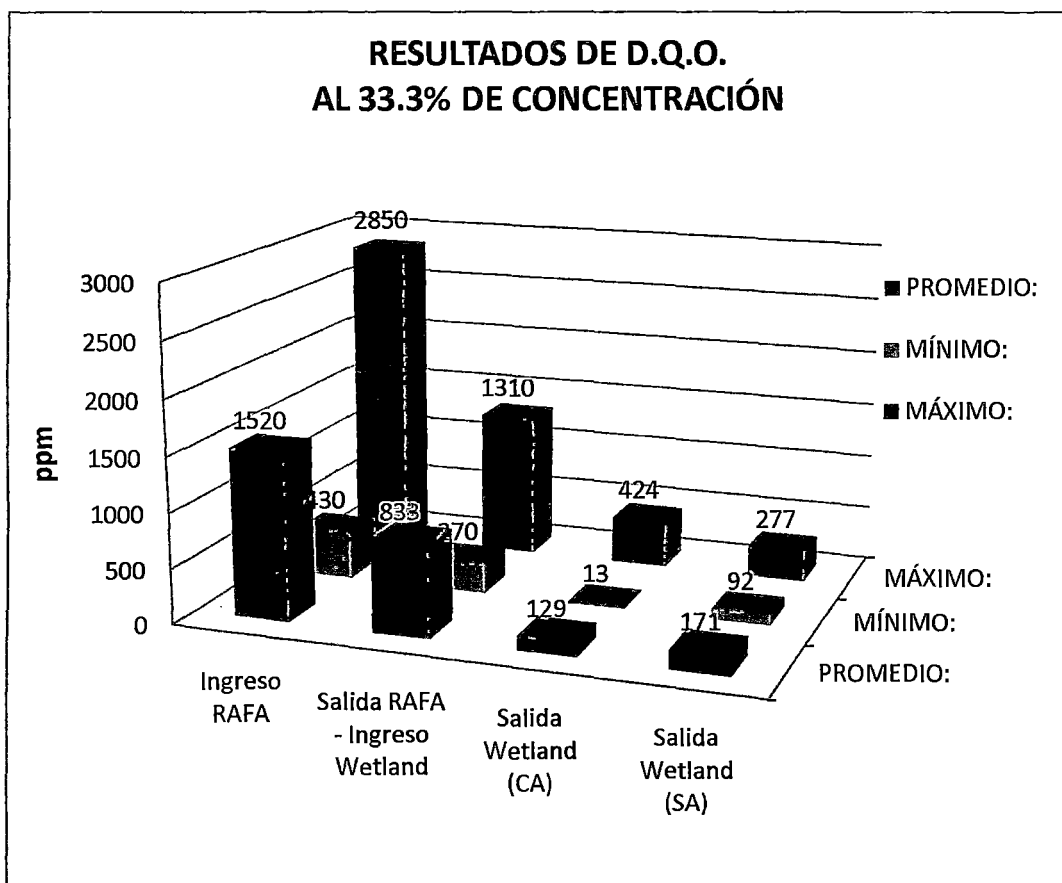


5.19. Resultados promedio de Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Tabla 75: Resultado promedio, mínimo y máximo de D.Q.O. al 33.3% de concentración de influente.

D.Q.O. (mg/L)	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
PROMEDIO:	1165	598	27	92
MÍNIMO:	1100	810	13	143
MÁXIMO:	1803	940	37	92

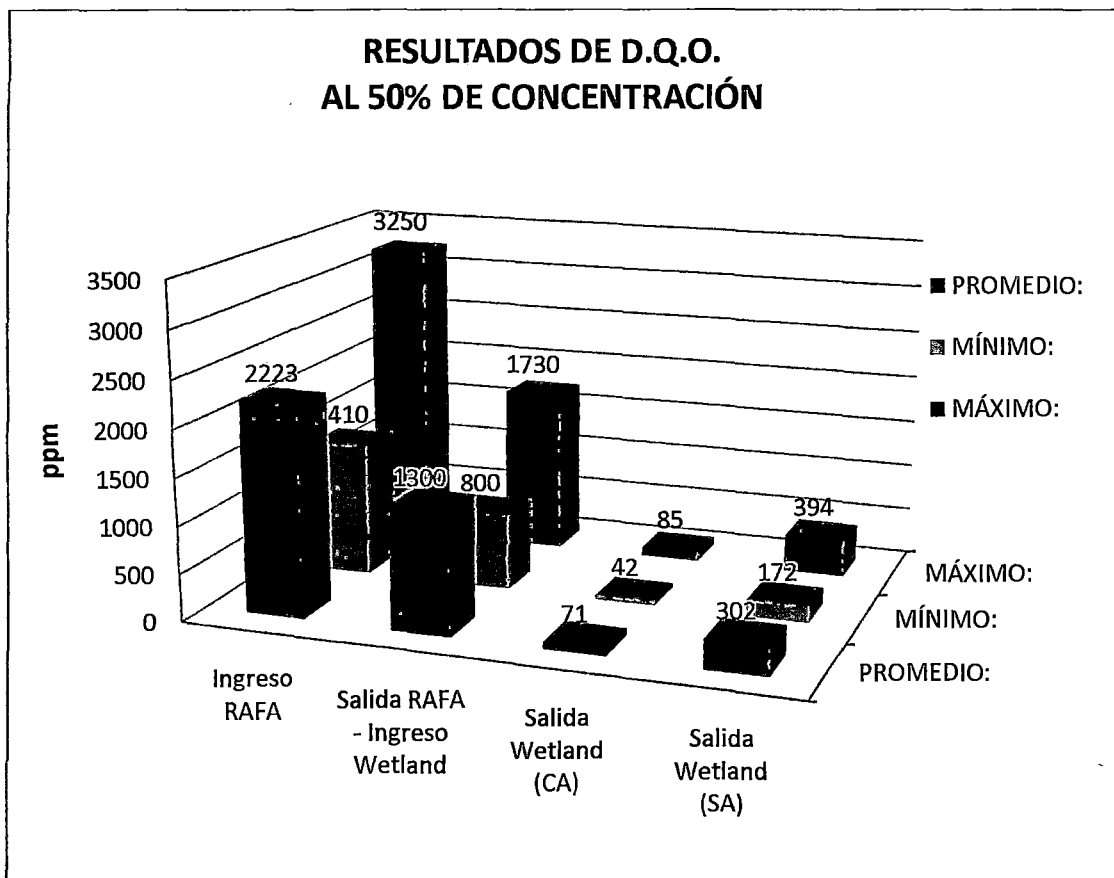
Gráfica N° 58: Resultado promedio, mínimo y máximo de D.Q.O. al 33.3% de concentración de influente.



**Tabla 76:** Resultado promedio, mínimo y máximo de D.Q.O. al 50% de concentración de influente.

D.Q.O. (mg/L)	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
PROMEDIO:	2223	1300	71	302
MÍNIMO:	1410	800	42	172
MÁXIMO:	3250	1730	85	394

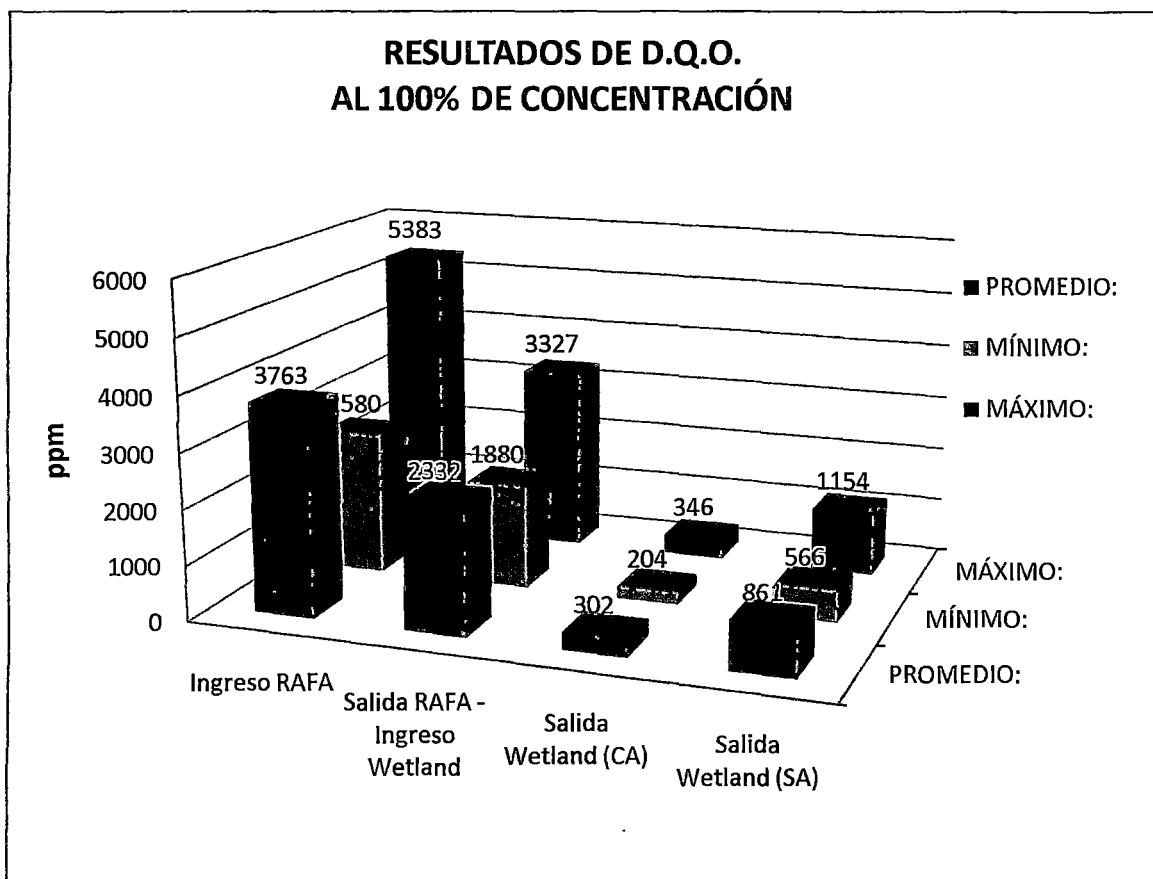
**Gráfica N° 59:** Resultado promedio, mínimo y máximo de D.Q.O. al 50% de concentración de influente.



**Tabla 77:** Resultado promedio, mínimo y máximo de D.Q.O. al 100% de concentración de influente.

D.Q.O. (mg/L)	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
PROMEDIO:	3763	2332	302	861
MÍNIMO:	2580	1880	204	566
MÁXIMO:	5383	3327	346	1154

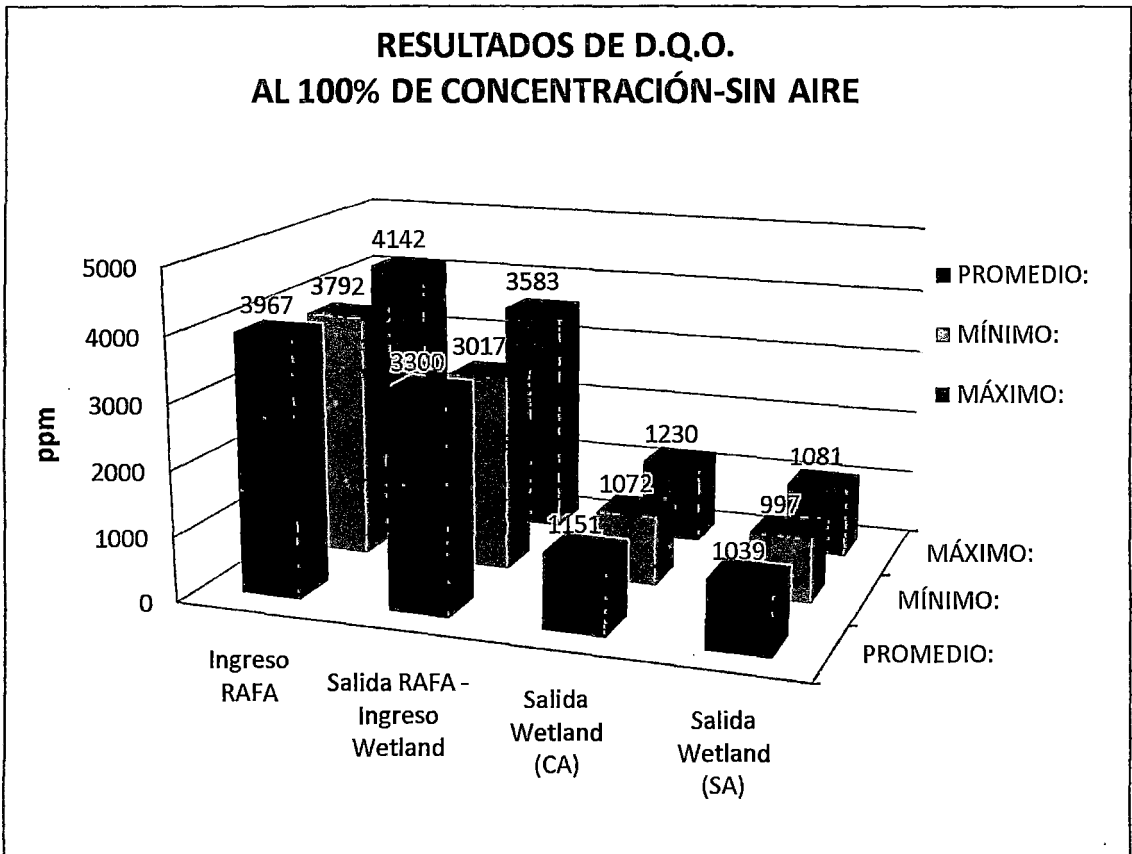
**Gráfica N° 60:** Resultado promedio, mínimo y máximo de D.Q.O. al 100% de concentración de influente.



**Tabla 78:** Resultado promedio, mínimo y máximo de D.Q.O. al 100% de concentración de influente sin aireación.

D.Q.O. (mg/L)	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
PROMEDIO:	3967	3300	1151	1039
MÍNIMO:	3792	3017	1072	997
MÁXIMO:	4142	3583	1230	1081

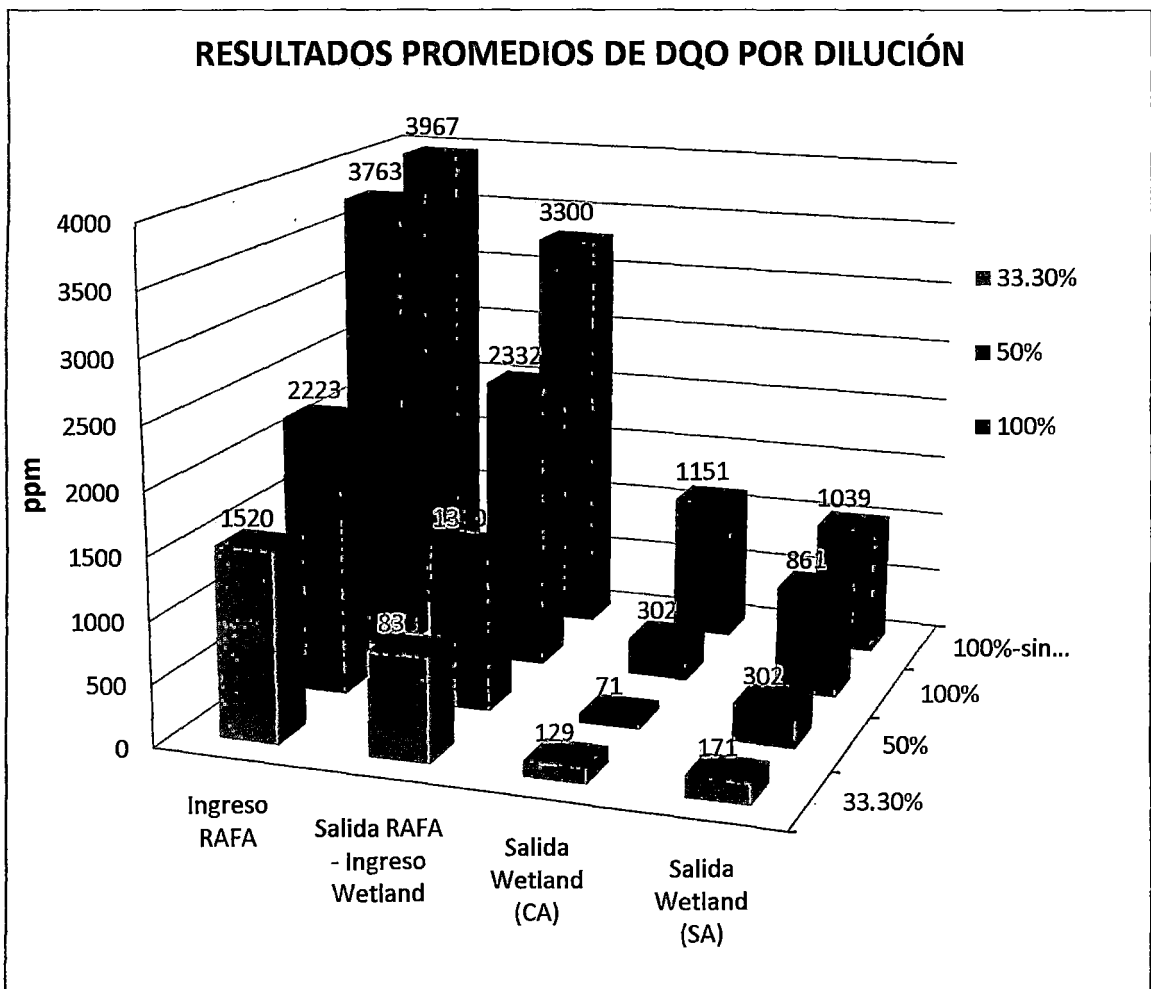
**Gráfica N° 61:** Resultado promedio, mínimo y máximo de D.Q.O. al 100% de concentración de influente sin aireación.



**Tabla 79:** Resultado promedio D.Q.O. por concentración.

% de concentración de muestra	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
33.30%	1520	833	129	171
50%	2223	1300	71	302
100%	3763	2332	302	861
100%-sin aire	3967	3300	1151	1039

**Gráfica N° 62:** Resultado promedio D.Q.O. por concentración.



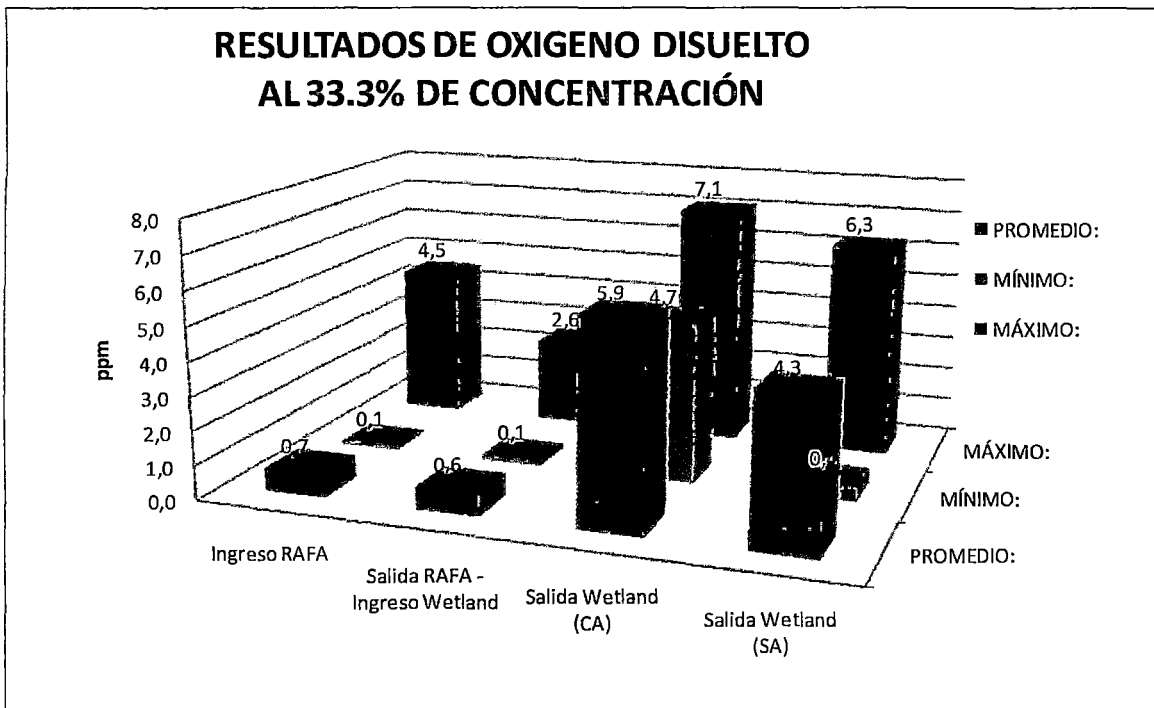


5.20. Resultados promedio de Oxígeno Disuelto (OD)

Tabla 80: Resultado promedio, mínimo y máximo de OD al 33,3% de concentración de influente.

Oxígeno Disuelto (mg/L)	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
PROMEDIO:	0,7	0,6	5,9	4,3
MÁXIMO:	4,5	2,6	7,1	6,3
MÍNIMO:	0,1	0,1	4,7	0,4

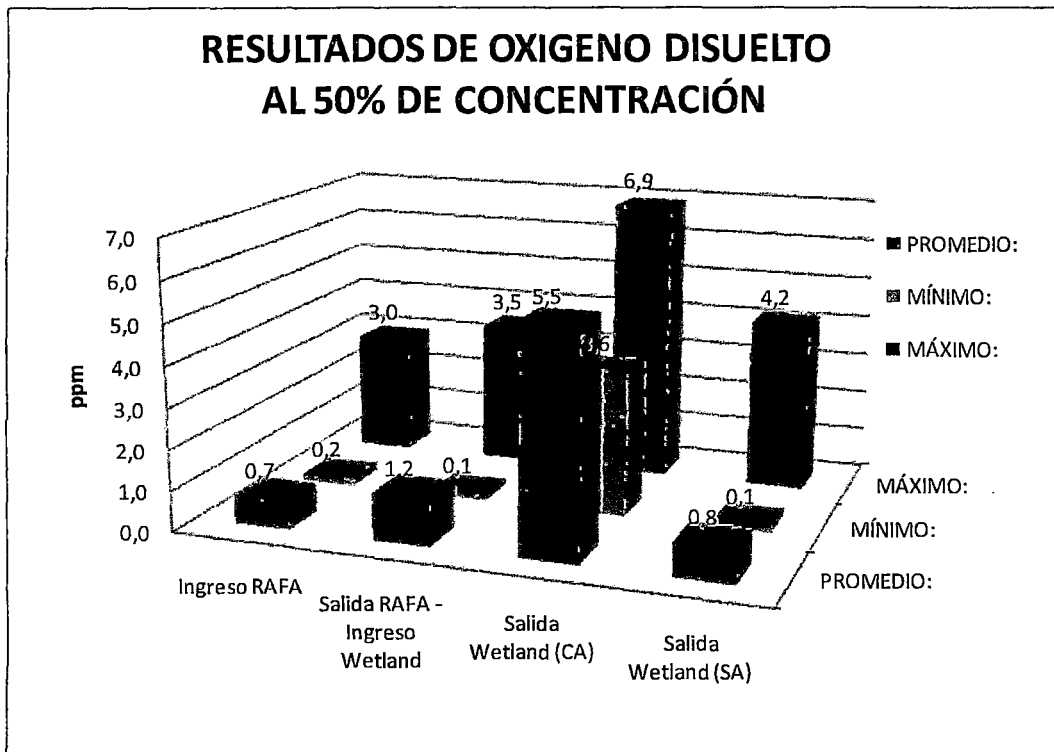
Gráfica N° 63: Resultado promedio, mínimo y máximo de OD al 33,3% de concentración de influente.



**Tabla 81:** Resultado promedio, mínimo y máximo de OD al 50% de concentración de influente.

Oxígeno Disuelto (mg/L)	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
PROMEDIO:	0,7	1,2	5,5	0,8
MÍNIMO:	0,2	0,1	3,6	0,1
MÁXIMO:	3,0	3,5	6,9	4,2

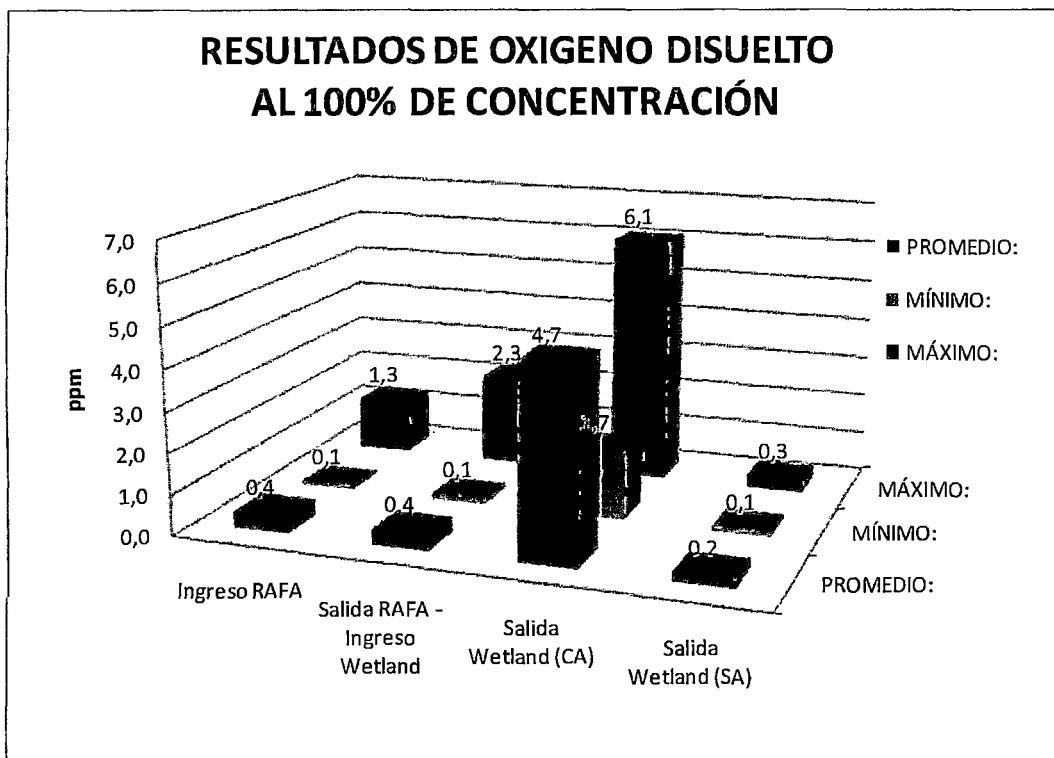
**Gráfica N° 64:** Resultado promedio, mínimo y máximo de OD al 50% de concentración de influente.



**Tabla 82:** Resultado promedio, mínimo y máximo de OD al 100% de concentración de influente.

Oxígeno Disuelto (mg/L)	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
PROMEDIO:	0,4	0,4	4,7	0,2
MÍNIMO:	0,1	0,1	1,7	0,1
MÁXIMO:	1,3	2,3	6,1	0,3

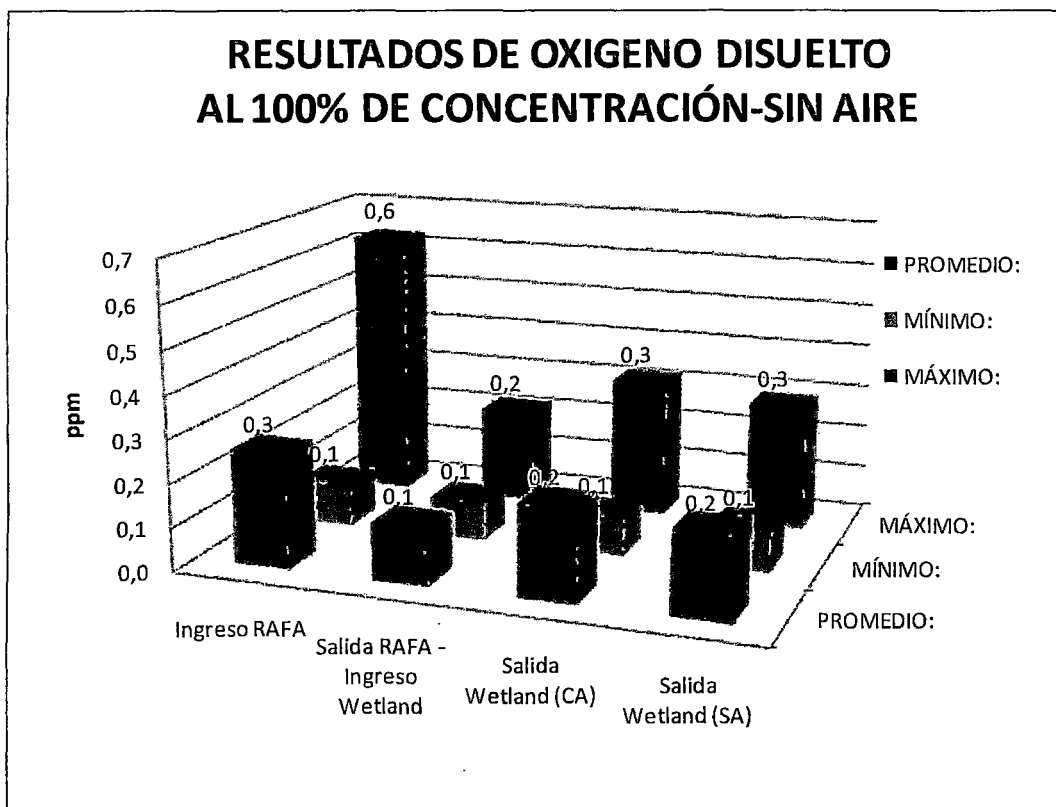
**Gráfica N° 65:** Resultado promedio, mínimo y máximo de OD al 100% de concentración de influente.



**Tabla 83:** Resultado promedio, mínimo y máximo de OD al 100% de concentración de influente sin aireación.

Oxígeno Disuelto (mg/L)	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
PROMEDIO:	0,3	0,1	0,2	0,2
MÍNIMO:	0,1	0,1	0,1	0,1
MÁXIMO:	0,6	0,2	0,3	0,3

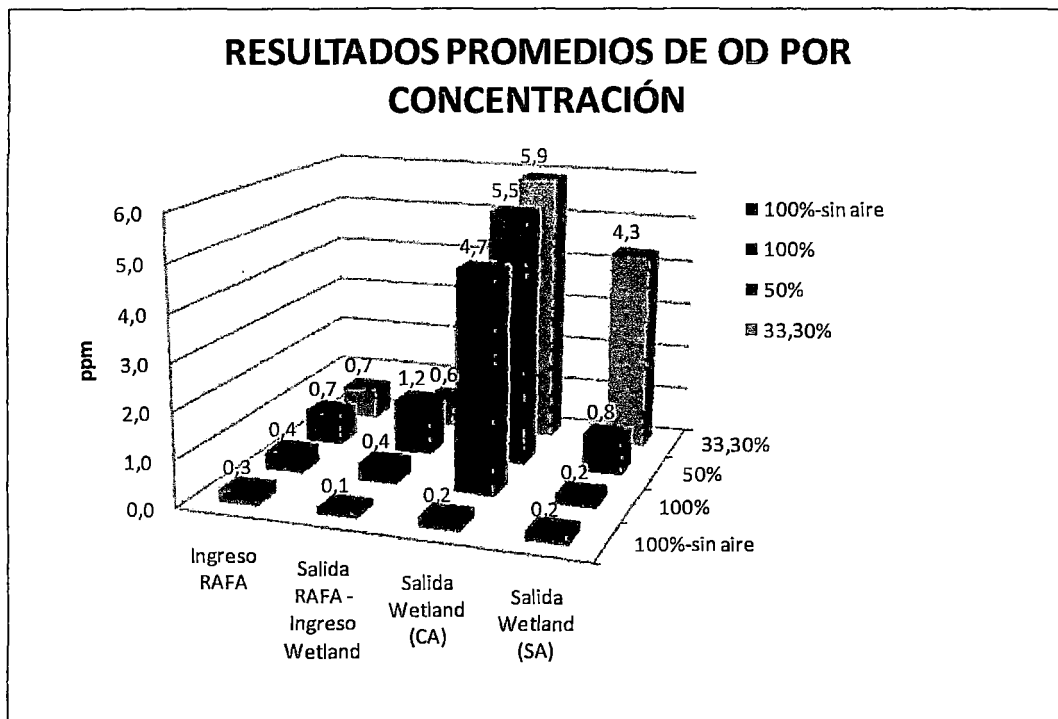
**Gráfica N° 66:** Resultado promedio, mínimo y máximo de OD al 100% de concentración de influente sin aireación.



**Tabla 84:** Resultado promedio de OD por concentración de influente.

% de CONCENTRACIÓN de muestra	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
33,30%	0,7	0,6	5,9	4,3
50%	0,7	1,2	5,5	0,8
100%	0,4	0,4	4,7	0,2
100%-sin aire	0,3	0,1	0,2	0,2

**Gráfica N° 67:** Resultado promedio de OD por concentración de influente.

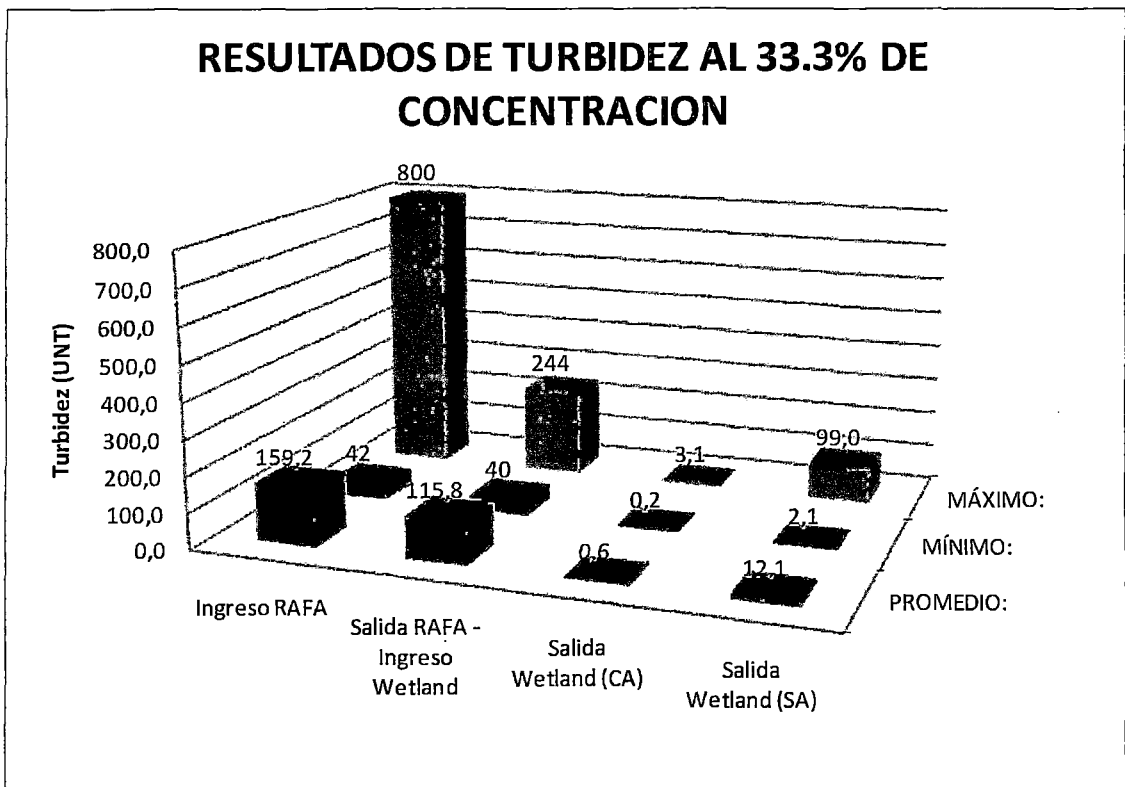


5.21. Resultados promedio de Turbiedad

Tabla 85: Resultado promedio, mínimo y máximo de Turbidez al 33.3% de concentración de influente.

Turbidez (UNT)	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
MÁXIMO:	800,0	244,0	3,1	99,0
MÍNIMO:	42,0	40,0	0,2	2,1
PROMEDIO:	159,2	115,8	0,6	12,1

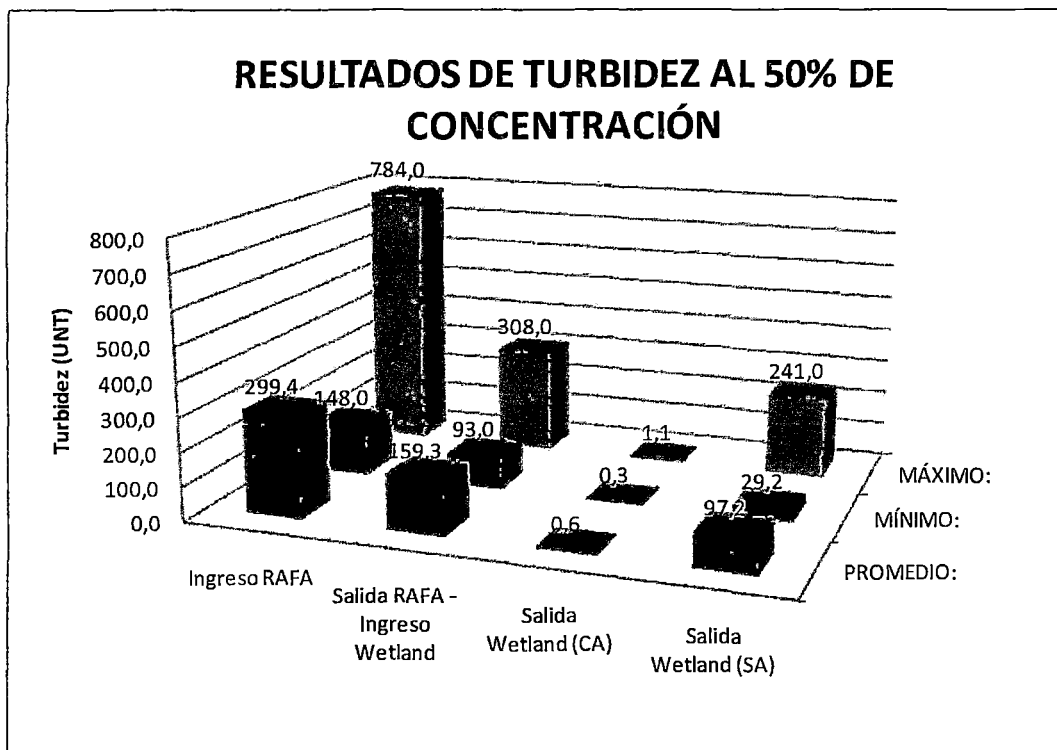
Gráfica N° 68: Resultado promedio, mínimo y máximo de Turbidez al 33.3% de concentración de influente.



**Tabla 86:** Resultado promedio, mínimo y máximo de Turbidez al 50% de concentración de influente.

Turbidez (UNT)	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
MÁXIMO:	784,00	308,00	1,07	241,00
MÍNIMO:	176,0	156,0	3,1	26,9
PROMEDIO:	379,2	287,9	11,8	58,9

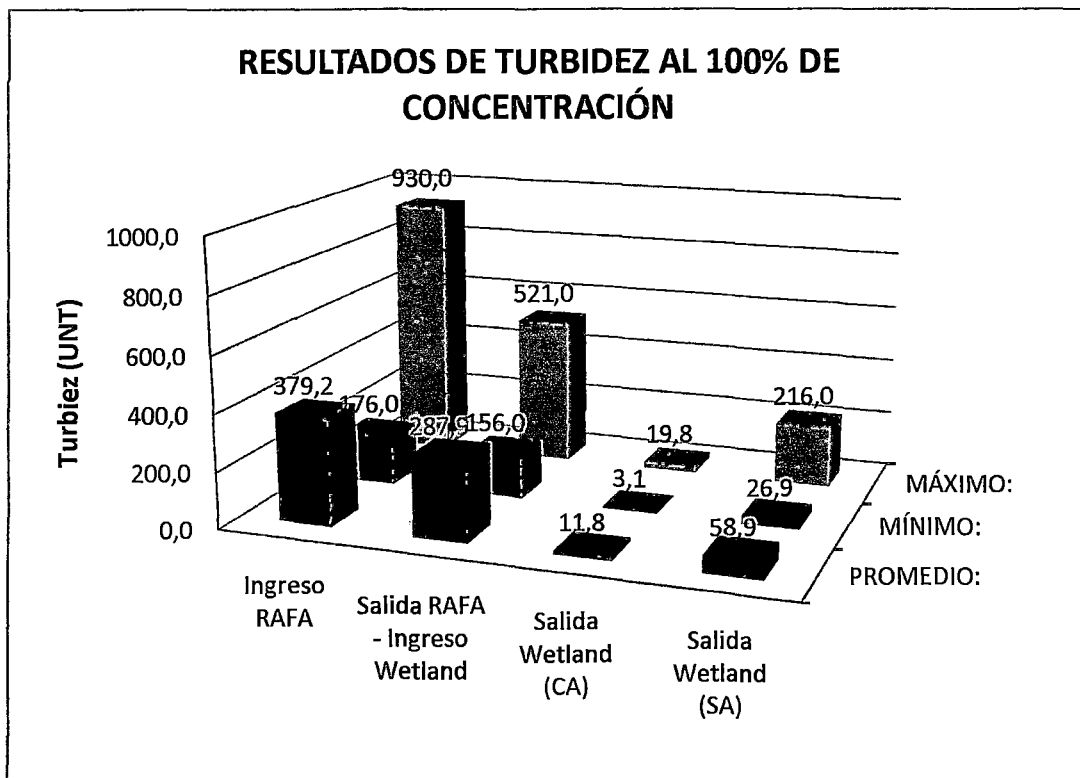
**Gráfica N° 69:** Resultado promedio, mínimo y máximo de Turbidez al 50% de concentración de influente.



**Tabla 87:** Resultado promedio, mínimo y máximo de Turbidez al 100% de concentración de influente.

Turbidez (UNT)	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
MÁXIMO:	930,00	521,00	19,80	216,00
MÍNIMO:	176,0	156,0	3,1	26,9
PROMEDIO:	379,2	287,9	11,8	58,9

**Gráfica N° 70:** Resultado promedio, mínimo y máximo de Turbidez al 100% de concentración de influente.





**Tabla 88:** Resultado promedio, mínimo y máximo de Turbidez al 100% de concentración de influente sin aireación.

Turbidez (UNT)	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
MÁXIMO:	686,00	464,00	176,00	45,90
MÍNIMO:	271,0	281,0	59,8	30,4
PROMEDIO:	409,9	392,1	136,8	38,5

**Gráfica N° 71:** Resultado promedio, mínimo y máximo de Turbidez al 100% de concentración de influente sin aireación.

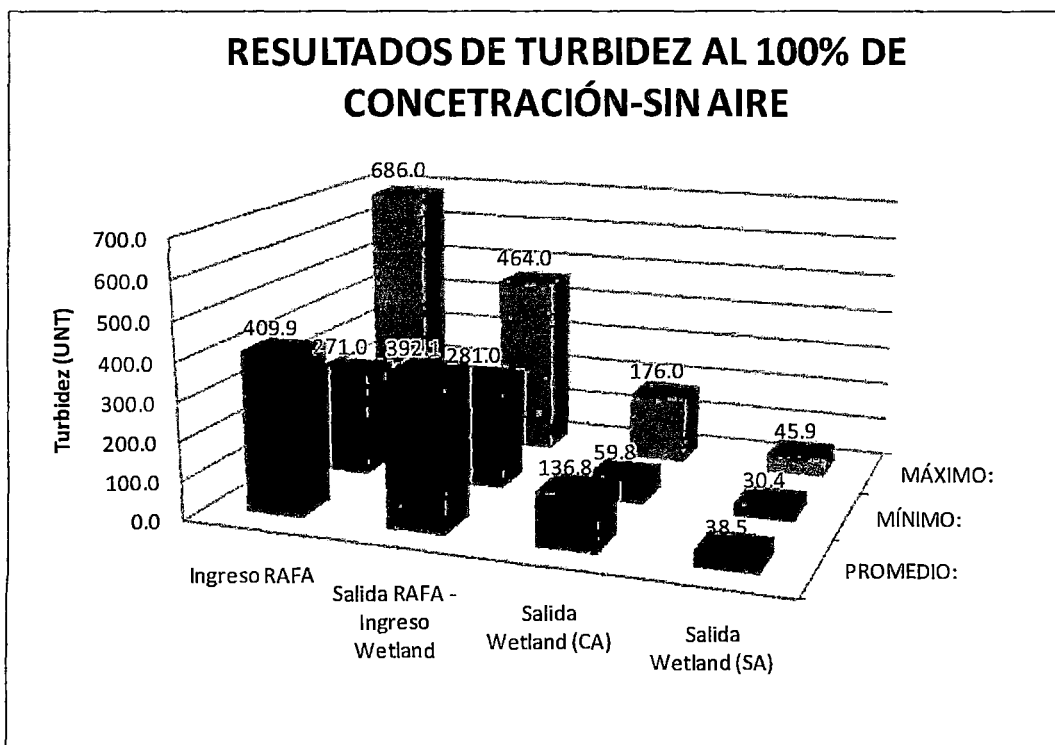
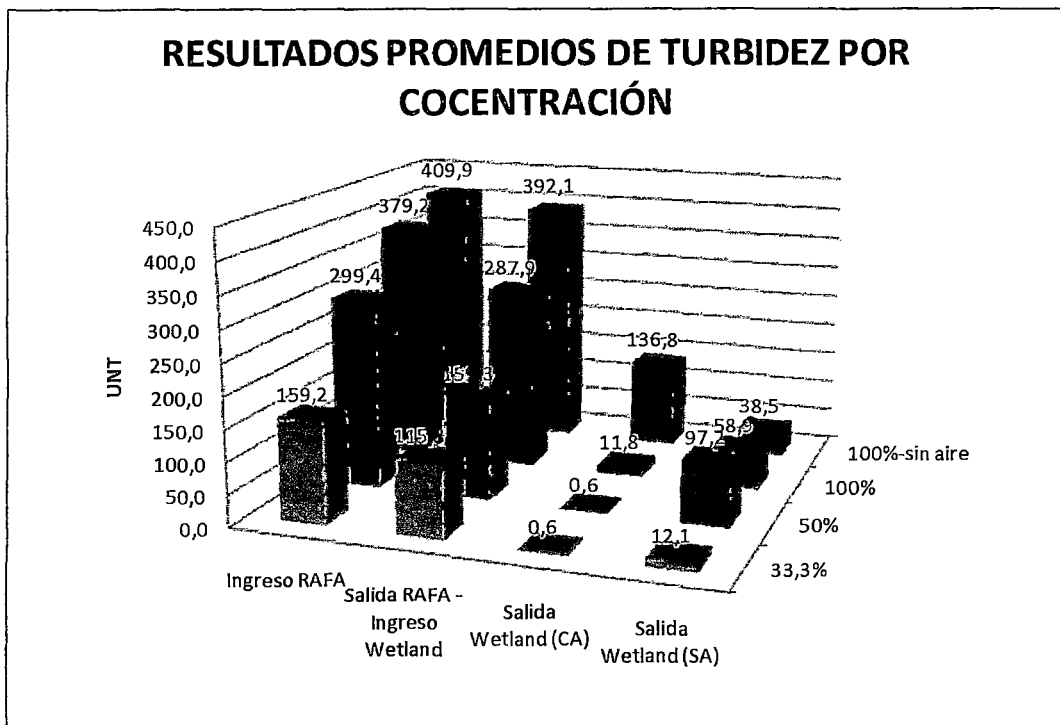


Tabla 89: Resultado promedio de Turbidez por concentración.

% de CONCENTRACIÓN de muestra	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
33,3%	159,2	115,8	0,6	12,1
50%	299,4	159,3	0,6	97,2
100%	379,2	287,9	11,8	58,9
100%-sin aire	409,9	392,1	136,8	38,5

Gráfica N° 72: Resultado promedio de Turbidez por concentración

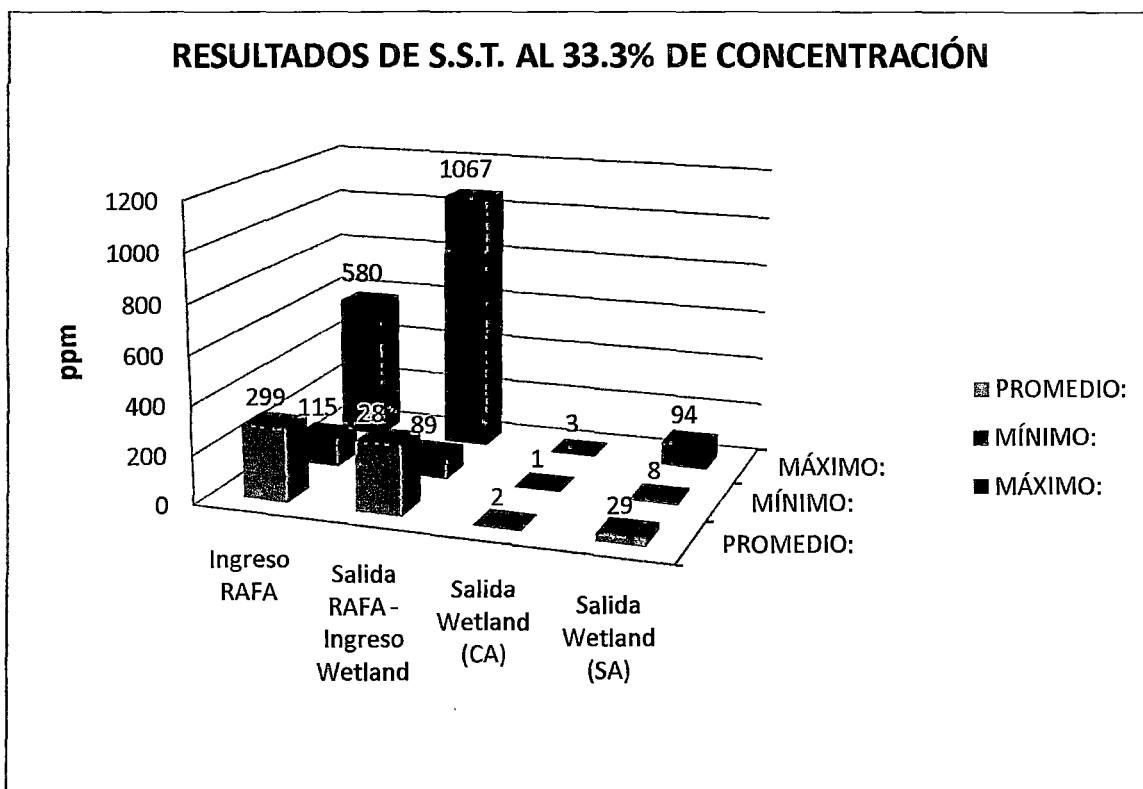


**5.22. Resultados promedio de Sólidos Suspendedos Totales (SST)**

**Tabla 90:** Resultado promedio, mínimo y máximo de S.S.T. al 33.3% de concentración de influente.

SST (PPM)	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
MÁXIMO:	580	1067	3	94
MÍNIMO:	115	89	1	8
PROMEDIO:	299	283	2	29

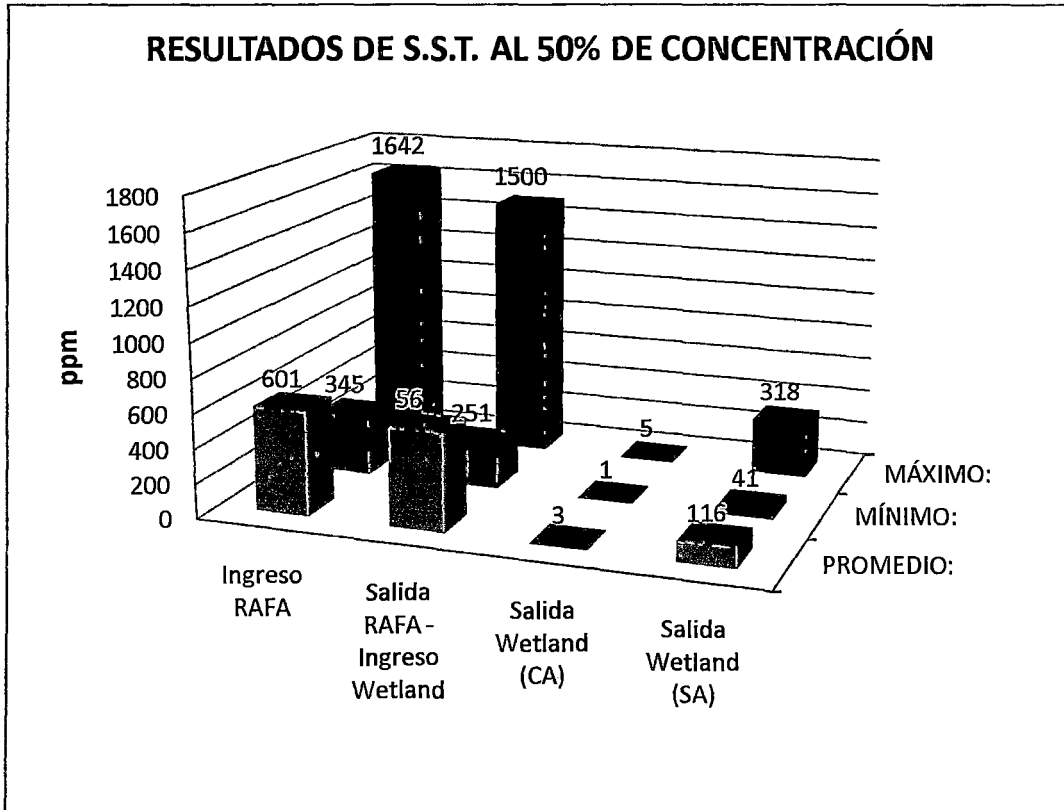
**Gráfica N° 73:** Resultado promedio, mínimo y máximo de S.S.T. al 33.3% de concentración de influente.



**Tabla 91:** Resultado promedio, mínimo y máximo de S.S.T. al 50% de concentración de influente.

SST (PPM)	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
MÁXIMO:	1642	1500	5	318
MÍNIMO:	345	251	1	41
PROMEDIO:	601	564	3	116

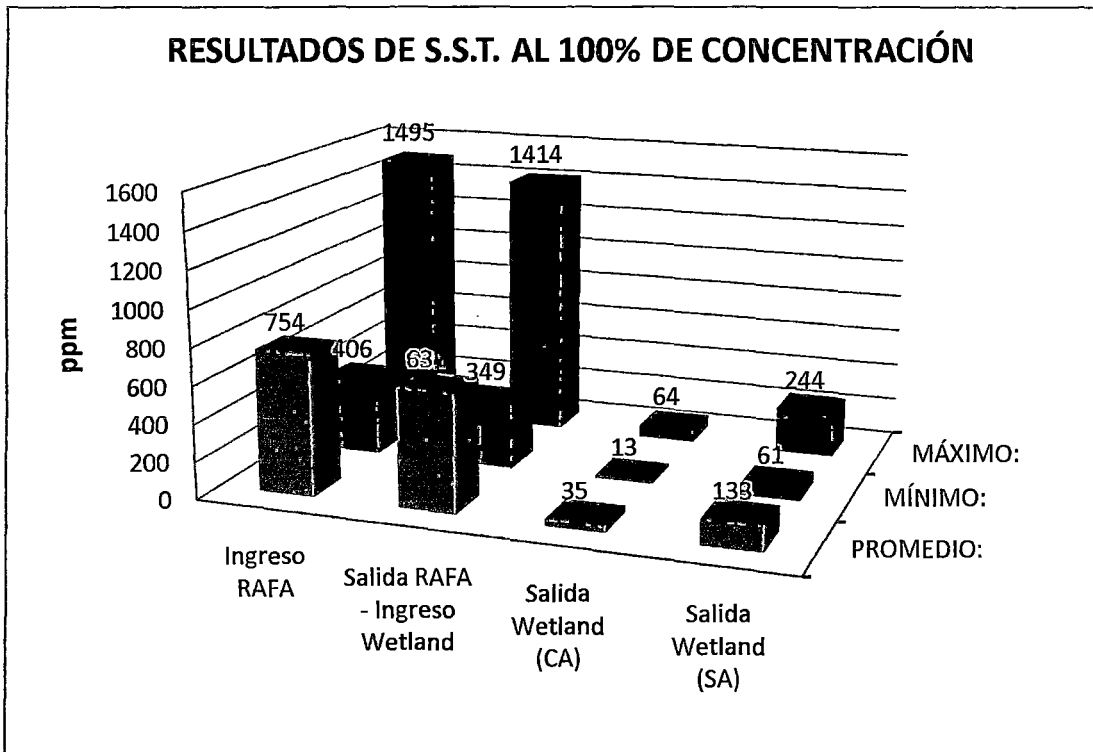
**Gráfica N° 74:** Resultado promedio, mínimo y máximo de S.S.T. al 50% de concentración de influente.



**Tabla 92:** Resultado promedio, mínimo y máximo de S.S.T. al 100% de concentración de influente.

SST (PPM)	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
MÁXIMO:	1495	1414	64	244
MÍNIMO:	406	349	13	61
PROMEDIO:	754	631	35	133

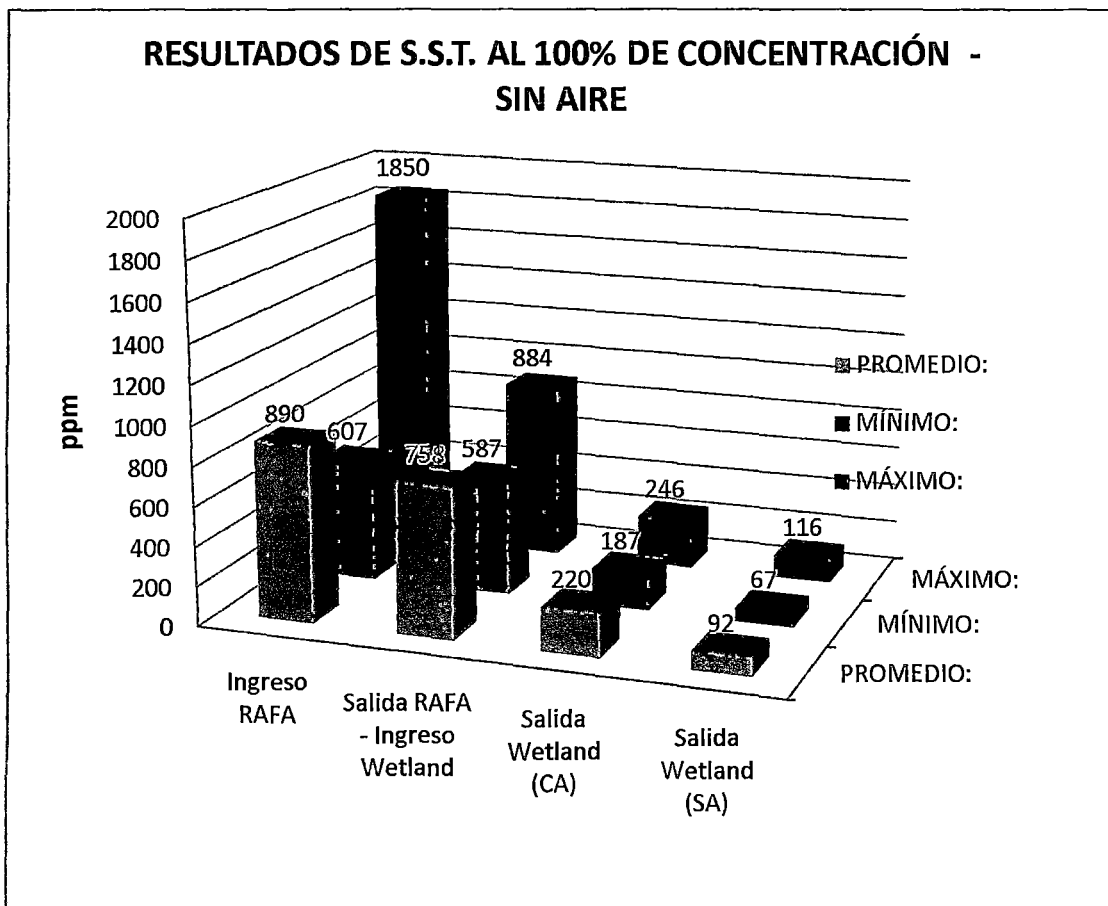
**Gráfica N° 75:** Resultado promedio, mínimo y máximo de S.S.T. al 100% de concentración de influente.



**Tabla 93:** Resultado promedio, mínimo y máximo de S.S.T. al 100% de concentración de influente en la semana de cierre.

SST (PPM)	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
MÁXIMO:	1850	884	246	116
MÍNIMO:	607	587	187	67
PROMEDIO:	890	758	220	92

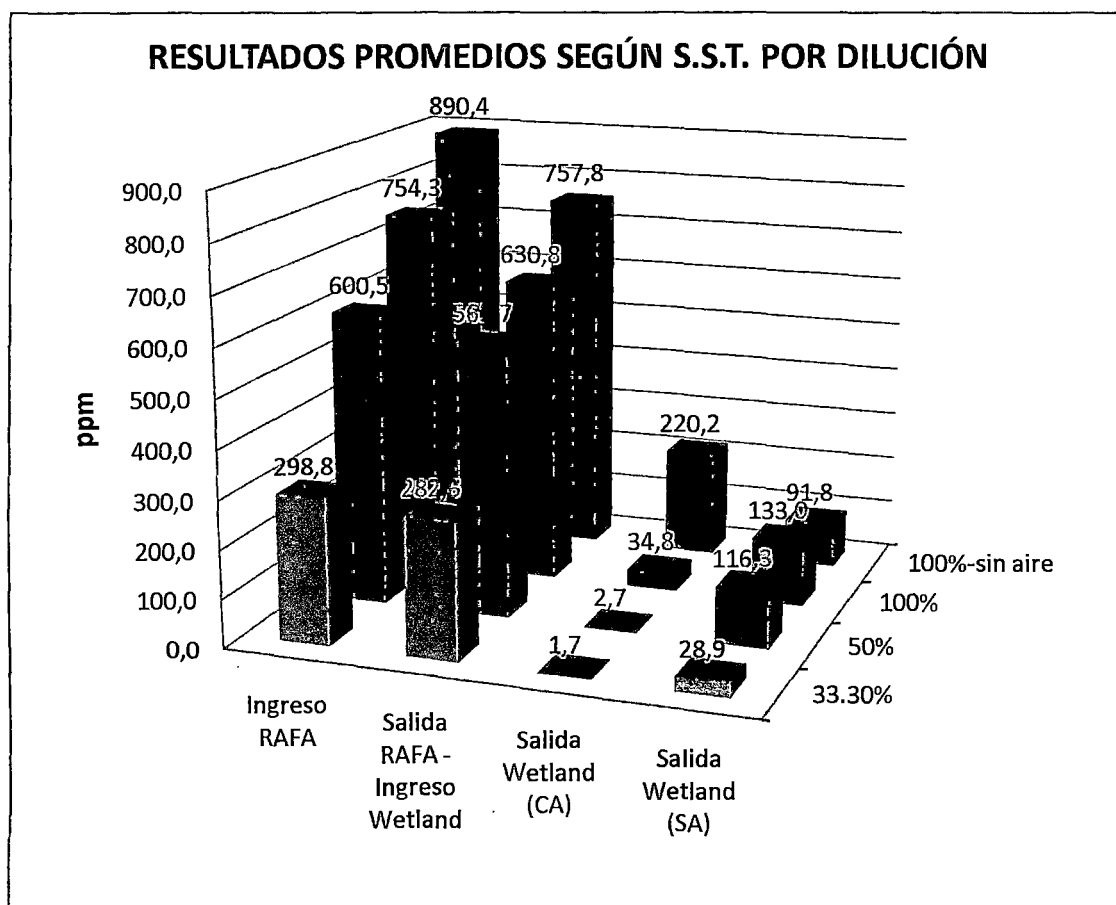
**Gráfica N° 76:** Resultado promedio, mínimo y máximo de S.S.T. al 100% de concentración de influente en la semana cierre.



**Tabla 94:** Resultado promedio de S.S.T. por concentración.

% de concentración de muestra	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
33.30%	298.8	282.6	1.7	28.9
50%	600.5	563.7	2.7	116.3
100%	754.3	630.8	34.8	133.0
100%-sin aire	890.4	757.8	220.2	91.8

**Gráfica N° 77:** Resultado promedio de S.S.T. por concentración.



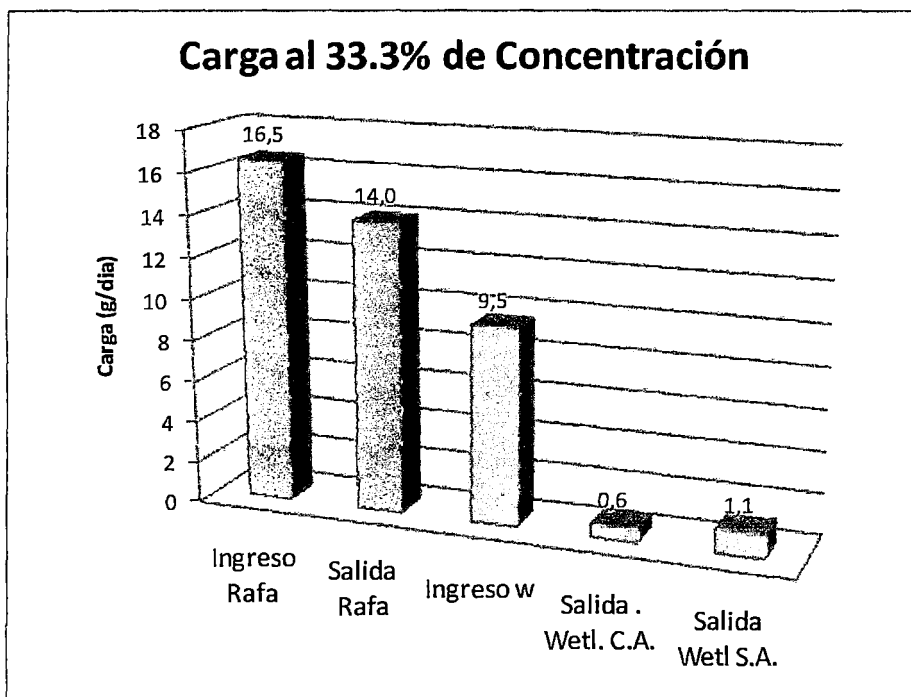
**5.23. Resultados promedio de Carga orgánica.**

**Tabla 95:** Resultado Promedio de Carga orgánica - periodo1 (al 33,3% de concentración de influente).

Puntos de Referencia	Caudal (L/día)	DBO (mg/L)	Carga (g/día)	Tasa Sup. (g/día/m <sup>2</sup> )	Remoción de Carga	
					(%)	(g/día/m <sup>2</sup> )
Ingreso Rafa	48,6	340,5	16,5	*Área: 2,55x0,44m <sup>2</sup>		
Salida Rafa	48,6	288,3	14,0			
Ingreso Wetland	33,1	288,3	9,5			
Salida Wetland C.A.	33,1	19,5	0,6	8,92	93%	8,3
Salida Wetland S.A.	33,1	34,6	1,1	8,92	88%	7,8

Nota: \*Área: 2,55x0,44m<sup>2</sup> : Es el área de la sección superficial de un Wetland

**Gráfica N° 78:** Resultado promedio de Carga orgánica –periodo 1. (Al 33.3% de concentración de influente)





Gráfica N° 79: Resultado promedio de Carga orgánica en el Wetland CA y SA - periodo 1 (al 33.3% de concentración de influente).

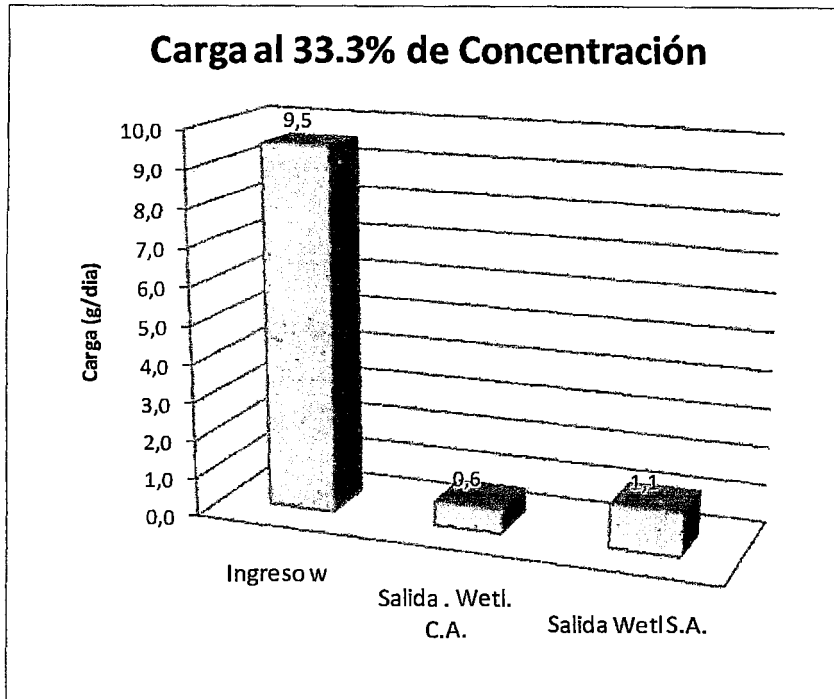
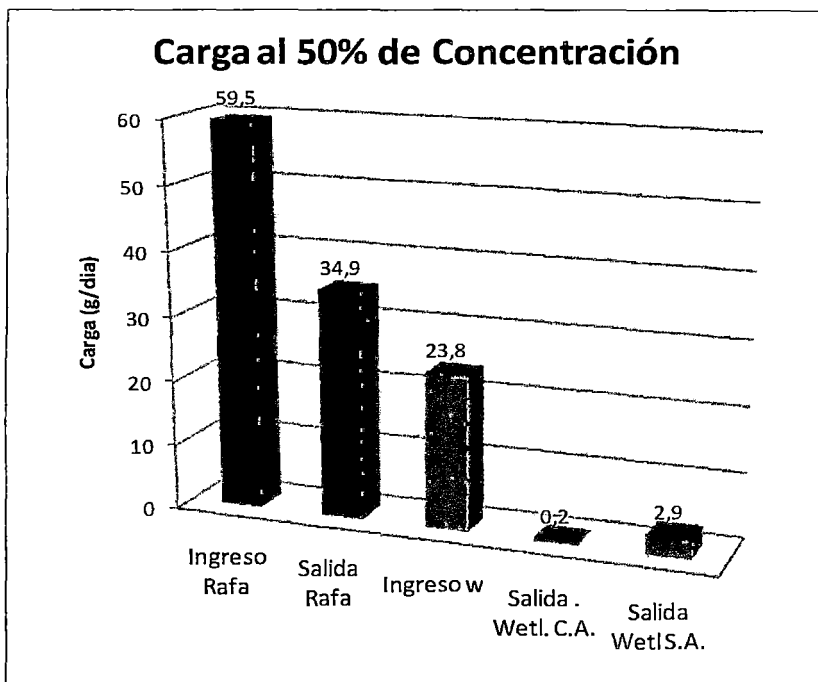


Tabla 96: Resultado Promedio de Carga orgánica – periodo 2 (al 50% de concentración de influente).

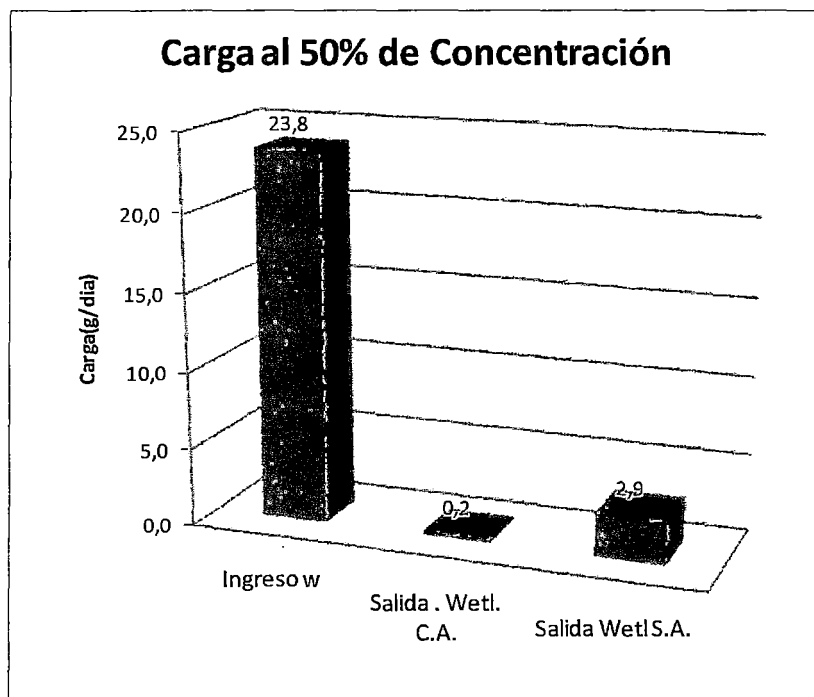
Puntos de Referencia	Caudal (L/día)	DBO (mg/L)	Carga (g/día)	Tasa Sup. (g/día/m <sup>2</sup> )	Remoción de Carga	
Ingreso Ráfa	48,6	850,4	59,5	*Área: 2,55x0,44m <sup>2</sup>	(%)	(g/día/m <sup>2</sup> )
Salida Ráfa	48,6	499,2	34,9			
Ingreso Wetland	33,1	499,2	23,8			
Salida. Wetland C.A.	33,1	4,8	0,2	22,23	99%	22,0
Salida Wetland S.A.	33,1	60,5	2,9	22,23	88%	19,5

Nota: \*Área: 2,55x0,44m<sup>2</sup> : Es el área de la sección superficial de un Wetland

Gráfica N° 80: Resultado Promedio de Carga orgánica – periodo 2 (al 50% de concentración de influente).



Gráfica N° 81: Resultado Promedio de Carga orgánica en el Wetland CA y SA – periodo 2 (al 50% de concentración de influente).

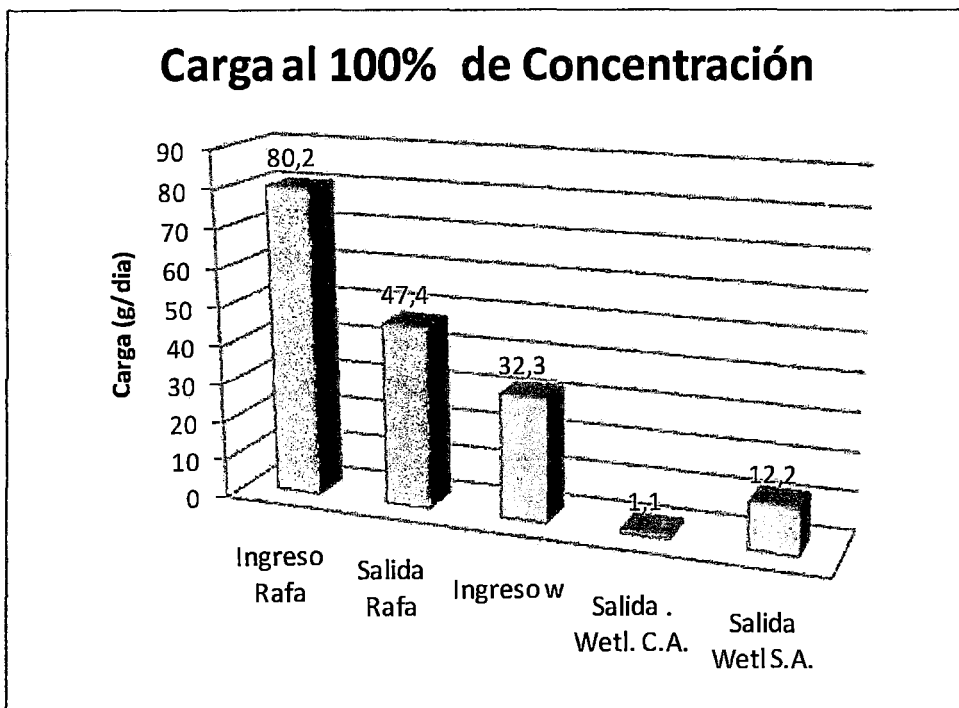


**Tabla 97:** Resultado Promedio de Carga orgánica - periodo 3 (al 100% de concentración de influente).

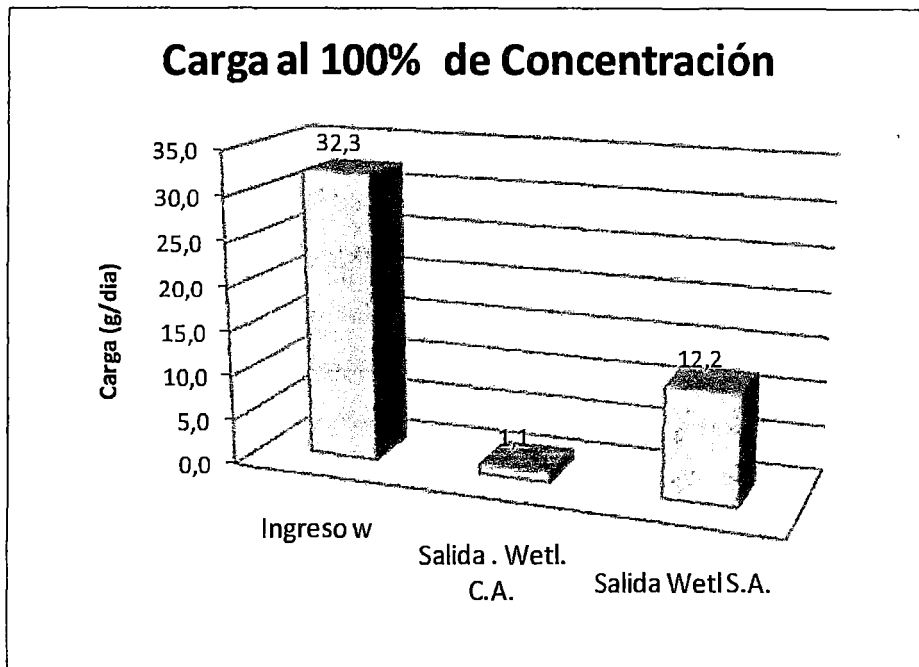
Puntos de Referencia	Caudal (L/día)	DBO (mg/L)	Carga (g/día)	Tasa Sup. (g/día/m <sup>2</sup> )	Remoción de Carga	
Ingreso Rafa	48,6	1649,9	80,2	*Área 2,55x0,44m <sup>2</sup>	(%)	(g/día/m <sup>2</sup> )
Salida Rafa	48,6	975,6	47,4			
Ingreso Wetland	33,1	975,6	32,3			
Salida Wetland C.A.	33,1	34,1	1,1	30,17	97%	29,1
Salida Wetland S.A.	33,1	368,2	12,2	30,17	62%	18,8

Nota: \*Área: 2,55x0,44m<sup>2</sup> : Es el área de la sección superficial de un Wetland

**Gráfica N° 82:** Resultado Promedio de Carga orgánica - periodo 3 (al 100% de concentración de influente).



**Gráfica N° 83:** Resultado Promedio de Carga orgánica en el Wetland CA y SA - periodo 3 (al 100% de concentración de influente).

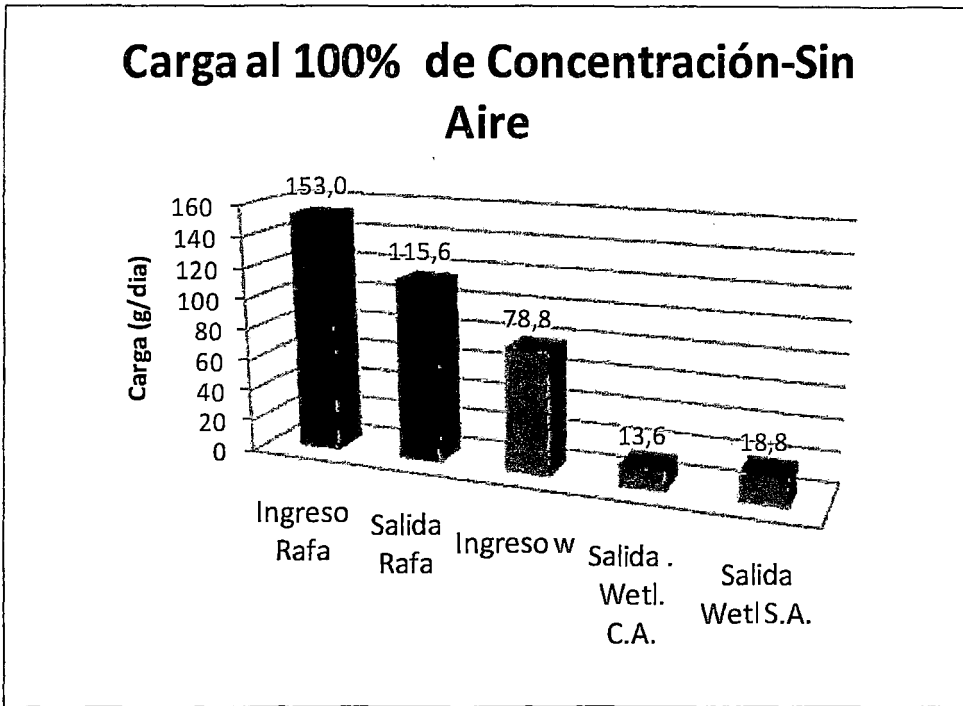


**Tabla 98:** Resultado Promedio de Remoción de Carga orgánica (DBO) al 100% de concentración de influente-Sin aireación.

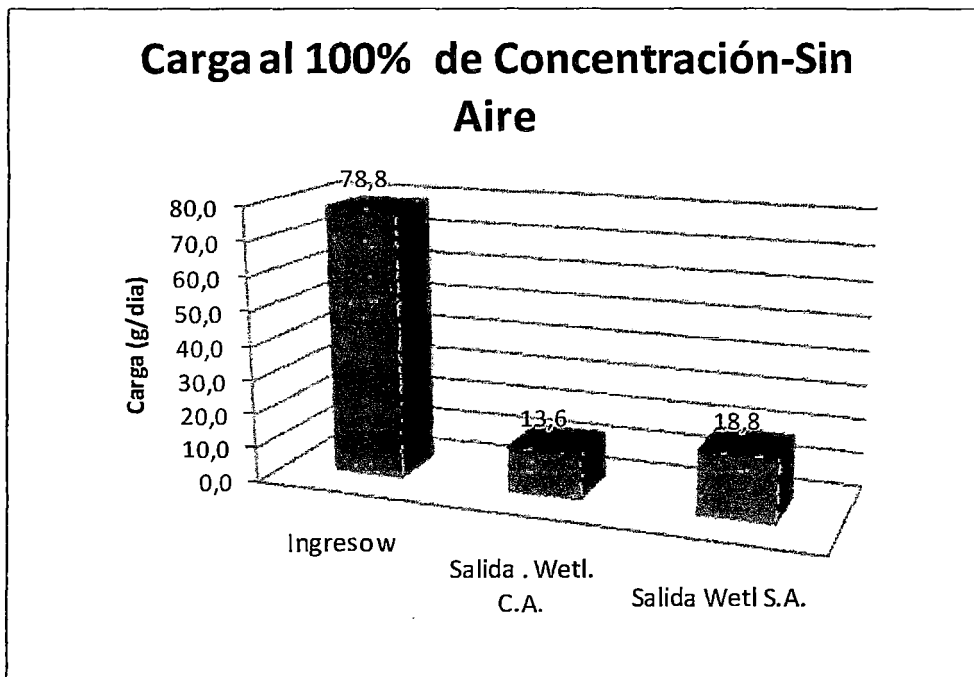
Puntos de Referencia	Caudal (L/día)	DBO (mg/L)	Carga (g/día)	Tasa Sup. (g/día/m <sup>2</sup> )	Remoción de Carga	
Ingreso Rara	48,6	2.186,6	153,0	*Área 2,55x0,44m <sup>2</sup>	(%)	(g/día/m <sup>2</sup> )
Salida Rara	48,6	1.651,6	115,6			
Ingreso Wetland	33,1	1.651,6	78,8			
Salida Wetland C.A.	33,1	284,7	13,6	73,55	83%	60,9
Salida Wetland S.A.	33,1	394,8	18,8	73,55	76%	56,0

Nota: \*Área: 2,55x0,44m<sup>2</sup> : Es el área de la sección superficial de un Wetland

Gráfica N° 84: Resultado Promedio de Carga orgánica - periodo 4 (al 100% de concentración de influente sin aireación).



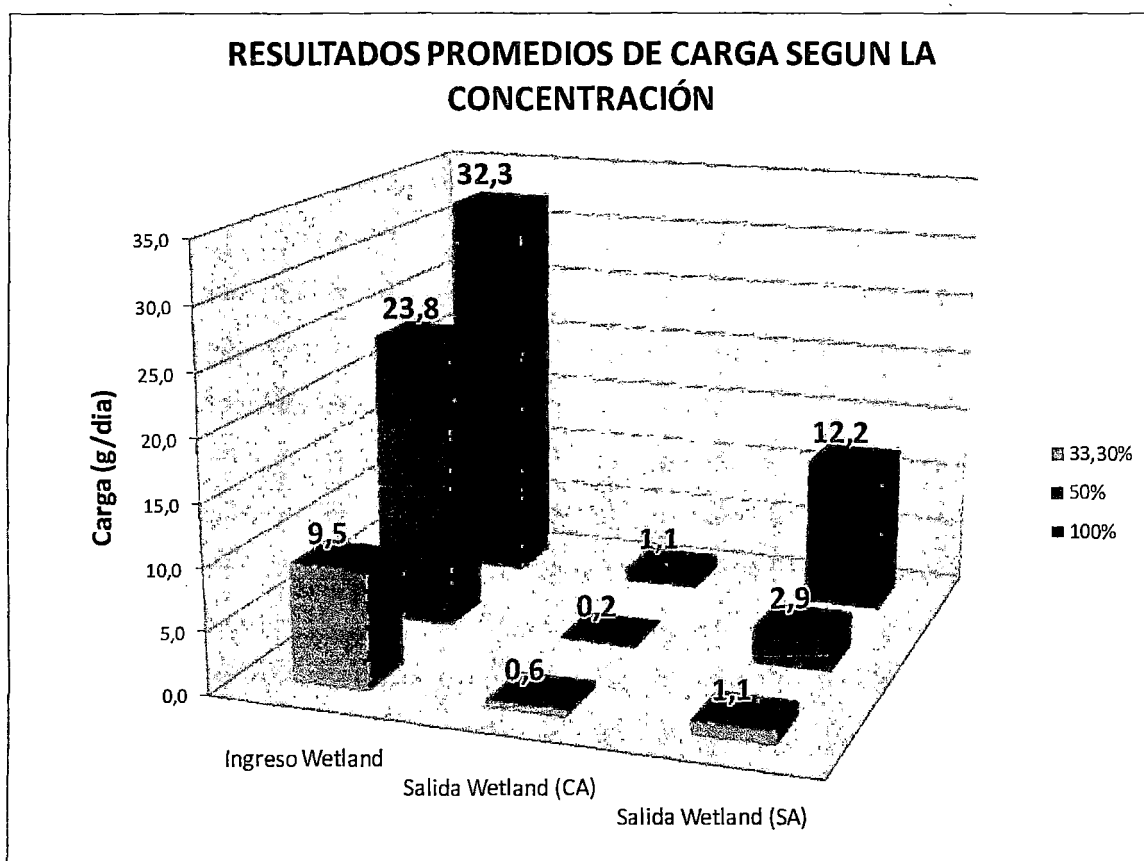
Gráfica N° 85: Resultado Promedio de Carga orgánica en el Wetland CA y SA - periodo 4 (al 100% de concentración de influente sin aireación).



**Tabla 99:** Resultados promedio de carga orgánica según concentración de muestra influente (periodos).

% de concentración de influente de muestra influente	CARGA (g/día)		
	Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
33,30%	9,5	0,6	1,1
50%	23,8	0,2	2,9
100%	32,3	1,1	12,2
100%-sin aire	78,8	13,6	18,8

**Gráfica N° 86:** Resultados promedio de carga orgánica según concentración de muestra influente (periodos).



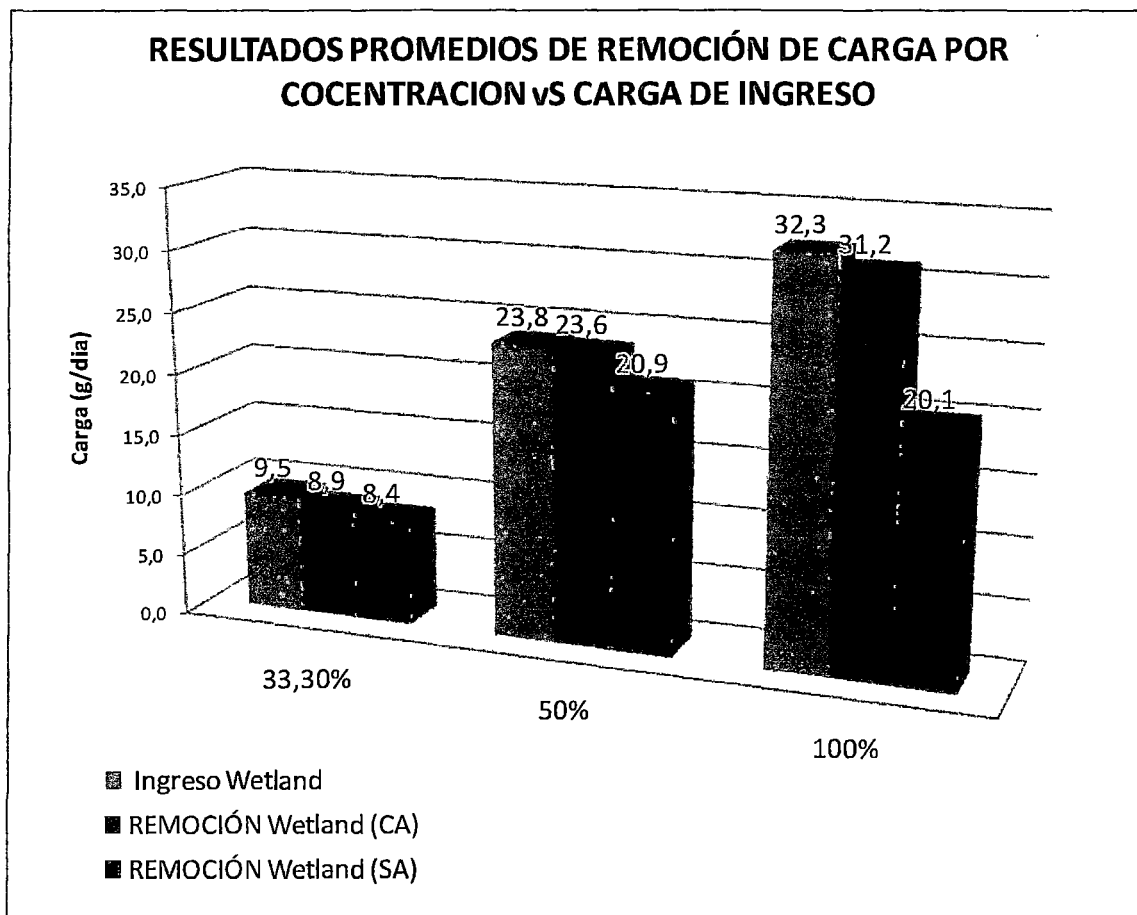
En la tabla y el gráfico se observa la carga promedio según la concentración, curiosamente se distingue que el Wetland sin aireación al 33.3% tiene 1,1 g/día que tiene el mismo resultado final al Wetland con aireación pero al 100% de

concentración de influente. También se observa un mejor resultado al 50% que al 33,3 % de concentración de influente en el Wetland con aireación.

**Tabla 100:** Resultados promedio de remoción de carga según concentración de muestra influente (periodos).

% de concentración de muestra influente	CARGA (g/día)				
	Ingreso Wetland	REMOCIÓN W. (CA)	REMOCIÓN W. (SA)	REMOCIÓN Wetland (CA)xm <sup>2</sup>	REMOCIÓN Wetland (SA)xm <sup>2</sup>
33,30%	9,5	8,90	8,4	8,3	7,8
50%	23,8	23,58	20,9	22,0	19,5
100%	32,3	31,18	20,1	29,1	18,8
100%-sin aire	78,8	65,19	59,9	60,9	56,0

**Gráfica N° 87:** Resultados promedio de remoción de carga orgánica según su concentración (periodos).

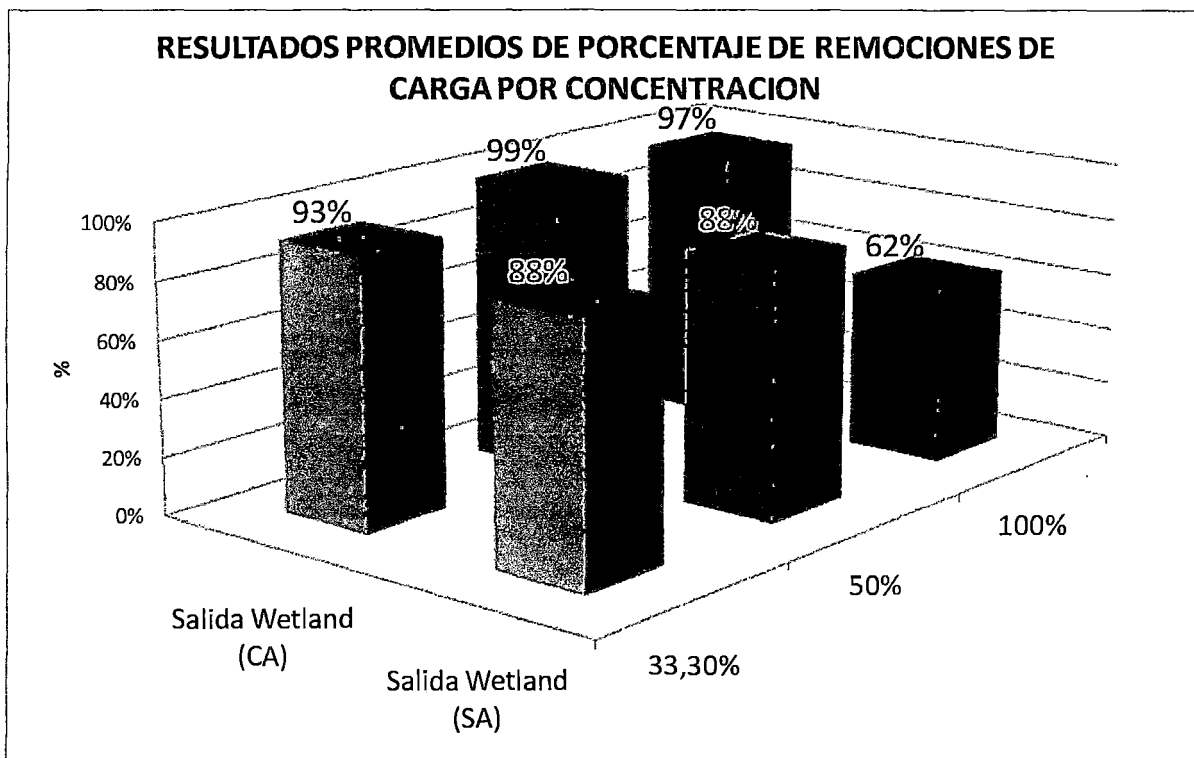


Se puede observar en la remoción del Wetland C.A. que al 50% de concentración es casi total. Con respecto a la carga de Ingreso a los Wetlands.

**Tabla 101:** Porcentaje de remoción de carga orgánica promedio según la concentración de muestra influente (periodos).

	<b>% de concentración de muestra influente</b>	<b>Salida Wetland (CA)</b>	<b>Salida Wetland (SA)</b>
	33,30%	93%	88%
	50%	99%	88%
	100%	97%	62%
	100%-sin aire	83%	76%

**Gráfica N° 88:** Porcentaje de remoción de carga orgánica promedio según la concentración (periodos).





## 6. OBSERVACIONES

- Se uso piedra chancada de media pulgada en vez de arena, ya que la arena al final aumenta la saturación del lecho o disminuye el tiempo de vida de lecho saturándolo, dejando de ser un flujo sub superficial.
- No se evaluó de manera independiente el comportamiento del RAFA, los muestreos realizados evaluaban en conjunto de RAFA + trampa de lodos.
- El RAFA no trabajaba las 24 horas del día, por motivos logísticos y de operación al interior del laboratorio N°20.
- Los Wetland no funcionaban el día domingo por carencia de acceso a las instalaciones de la Universidad.

## 7. CONCLUSIONES

- Durante el estudio se obtuvieron los siguientes valores promedio:

**Tabla 102: RESUMEN RESULTADOS PROMEDIO AL 33.3% DE CONCENTRACIÓN DE INFLUENTE**

PARAMETROS	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
TEMPERATURA (°c):	16,9	23,6	24,8	25,3
PH:	7,8	7,9	8,0	7,8
CONDUCTIVIDAD (mS/cm):	2,8	3,0	2,8	3,1
TURBIDEZ (NTU):	159,2	115,8	0,6	12,1
OD (mg/L):	0,7	0,6	5,9	4,3
DQO (mg/L):	1519,8	832,6	128,7	171,1
DBO (mg/L):	340,5	288,3	19,5	34,6
SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L):	298,8	282,6	1,7	28,9

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 103: RESUMEN RESULTADOS PROMEDIO AL 50% DE CONCENTRACIÓN DE INFLUENTE**

PARAMETROS	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
TEMPERATURA (°c):	12,5	19,9	20,6	20,3
PH:	8,0	8,0	7,7	7,8
CONDUCTIVIDAD (mS/cm):	3,6	3,9	3,6	3,9
TURBIDEZ (NTU):	299,4	159,3	0,6	97,2
OD (mg/L):	0,7	1,2	5,5	0,8
DQO (mg/L):	2222,5	1300,0	71,0	301,7
DBO (mg/L):	850,4	499,2	4,8	60,5
SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L):	600,5	563,7	2,7	116,3

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 104: RESUMEN RESULTADOS PROMEDIO AL 100% DE CONCENTRACIÓN DE INFLUENTE**

PARAMETROS	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
TEMPERATURA (°c):	11,8	17,6	18,4	18,6
PH:	8,0	8,0	8,2	8,0
CONDUCTIVIDAD (mS/cm):	5,4	6,0	6,0	6,7
TURBIDEZ (NTU):	379,2	287,9	11,8	58,9
OD (mg/L):	0,4	0,4	4,7	0,2
DQO (mg/L):	3763,3	2332,0	301,6	861,0
DBO (mg/L):	1649,9	975,6	34,1	368,2
SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L):	754,3	630,8	34,8	133,0

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 105: RESUMEN RESULTADOS PROMEDIO AL 100% DE CONCENTRACIÓN DE INFLUENTE-SIN AIREACIÓN**

PARAMETROS	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
TEMPERATURA (°c):	11,8	16,5	17,8	17,9
PH:	7,8	8,0	8,3	8,1
CONDUCTIVIDAD (mS/cm):	5,7	6,1	6,3	6,7
TURBIDEZ (NTU):	409,9	392,1	136,8	38,5
OD (mg/L):	0,3	0,1	0,2	0,2
DQO (mg/L):	3966,7	3300,0	1151,0	1039,0
DBO (mg/L):	2186,6	1651,6	284,7	394,8
SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L):	890,4	757,8	220,2	91,8

Fuente: Elaboración propia.

- La eficiencia de remoción en DBO del Wetland CA es superior a la del Wetland SA en todo el horizonte del proyecto.
- Los resultados a lo largo del estudio demuestran un mejor comportamiento del Wetland CA ante los cambios bruscos de la calidad del afluente. Esto se puede comprobar con los resultados obtenidos y visualmente con ayuda de las fotografías tomadas.

- Para el presente estudio ocurrió que el efluente del RAFA en lugar de presentar calidad superior al afluente, resultaba de mala calidad, muy probablemente debido a que nuestra muestra de agua de camal contenía alguna sustancia toxica que daño la eficiencia del reactor y por consiguiente los procesos que allí se desarrollaban no estuvieron presentes a cabalidad. Ocurrido esto, se notó que la disminución de la eficiencia del RAFA no repercutió visiblemente en el Wetland CA, pero si en el Wetland SA.
- Durante los meses de evaluación se pudo comprobar que el Wetland es un sistema de tratamiento que va muy acorde con la naturaleza y los ecosistemas existentes en la zona donde se instalan, por lo que en nuestro caso se notó la intervención de aves e insectos, que ayudaban a mantener el equilibrio ecológico. Por ejm: las aves no permitían que las plantas se llenen de insectos o de algún gusano o larvas que aparecían, algunas veces sobre las hojas o en el tallo.
- De las concentraciones a las que se sometieron las unidades en cada periodo, se puede decir que el Wetland CA tiene resultados todavía aceptables (dentro de los límites de la normativa vigente) aun durante el periodo en que el afluente no se diluía.
- En ningún momento (excepto cuando se dejo de airear) en el efluente de la unidad Wetland C.A. se presentó malos olores durante el desarrollo del estudio.
- En la Semana de cierre, se apago el aireador en el Wetland C.A. Así se noto que la eficiencia en los resultados de éste disminuyeron a tal punto que estaban por debajo de los de Wetland S.A.
- Con la semana de cierre se puede comprobar que al dejar de airear la unidad Wetland CA, cambia totalmente su eficiencia, desmejorándose a tal grado que se obtuvieron resultados notablemente inferiores a los obtenidos en el Wetland SA.
- Se comprueba la capacidad de la totora para resistir y asimilar el paso del agua residual a través de ella, notándose su adaptación aún a las concentraciones de ingreso registradas para los Wetland, en el presente estudio.

- Se notó que al hacer la purga del Wetland SA, mejoró su eficiencia.
- En general la temperatura del agua en las unidades (Wetland CA y SA) fue disminuyendo conforme a la temperatura ambiental.
- De los valores de conductividad obtenidos durante el tiempo de estudio, se nota que ésta, va aumentando conforme se incrementa la concentración del afluente, llegando en promedio hasta 6,7 mS/cm en el Wetland SA y 6,0 mS/cm para el periodo 3 (concentración al 100%)
- Los datos de oxígeno disuelto reflejan el comportamiento al interior de la unidad y nos indican un estado cambiante, de por sí es un parámetro muy sensible afectado por la temperatura.
- En cuanto a la turbidez, los valores y tendencia se observan estables para el Wetland CA, pero en el caso del Wetland SA, se notan oscilaciones más amplias.
- Al final del estudio se notó que las paredes del Wetland CA se tiñeron de un color oscuro, mucho más que el registrado en el Wetland SA, la razón aun no se conoce.
- Durante el desarrollo del estudio no se observó colmatación en ninguna de las unidades evaluadas, cabe resaltar que ambas unidades fueron purgadas una vez durante el periodo de estudio.
- Se comprobó que utilizando grava de 1/2" de diámetro para conformar el lecho no se generó inconvenientes ni se produjo colmatación durante el desarrollo del proyecto para ninguno de los Wetlands

**Características observadas en:**

***Wetland CA***

- Mayor presencia de insectos, gusanos y larvas en la zona de entrada de la unidad.
- Las raíces de las plantas no tuvieron problemas en su desarrollo como se puede ver en las fotos en los anexos en el cierre y exploración del Wetland.
- Desarrollo de biopelícula sobre todo entre la parte intermedia y alrededor de las raíces de las plantas hasta la zona de entrada de la unidad.

- Las plantas no mostraron dificultad en su desarrollo, esto se comprueba con la cantidad de tallos, su longitud y grosor, pero se percibió en el primer periodo al 33,3% de concentración de muestra, que en el Wetland CA la pigmentación fue entre amarillo y verde, y luego en los demás periodos fue adquiriendo un verde más intenso.
- Mejores resultados que con el Wetland S.A. en turbidez, SST, O.D., entre otros parámetros evaluados en esta investigación.
- Mayor resistencia a los cambios bruscos de la calidad del afluente.
- Mayores eficiencias en la remoción de la mayoría de los parámetros estudiados en comparación con el Wetland S.A. Así se aumente la concentración del afluente.
- Se observa que el Wetland C.A. soporta mucho mejor los efluentes de las industrias con altas cargas de materia orgánica. A comparación del Wetland sin airear que estaría mejor aplicado en el tratamiento de Aguas Residuales Domésticas.
- Es una alternativa de tratamiento para Desagües Industriales de alta carga como los camales, otra ventaja es que por sus características físicas puede simular un área verde, agregando estética o mejorando el paisajismo.
- La desventaja es que se tiene mayores costos generados por la aireación (operación y mantenimiento de equipo aireador). Tomando en consideración la energía que se consume. (ver página 207).

### **Wetland SA**

- Es un sistema muy económico y de fácil operación que solo requiere de un regular y periódico mantenimiento en la entrada y salida de la unidad, para evitar posibles atoros por desarrollo de algas o biopelícula además del retiro de las hojas secas generadas por las plantas.
- Se puede observar que en la primera etapa de evaluación (concentración de 33,3% del influente) se obtuvieron resultados satisfactorios como 4,3mg/L de O.D. en promedio (ver, tabla 80) este resultado nos indica que el humedal puede trabajar con cargas un poco más altas a las de un

desagüe doméstico, obteniendo buenos resultados, pero usando un RAFA previamente como tratamiento secundario.

- Tiene un efluente anaerobio cuando las cargas son altas, como se dio cuando usamos diluciones de muestra al 50% y 100%, donde resultaba O.D. cercano a cero, y se notó que se debía al exceso de carga.
- Cuando se uso concentración al 50% se tenía un efluente de mala calidad, pero se purgó accidentalmente, registrándose una ligera mejora después de este evento.
- Fue más notorio la deficiencia a altas cargas cuando se tuvo un problemas en el RAFA donde se levanto el Lodo y el efluente era mucho más turbio y cargado a lo normal acostumbrado, esto hizo que el Wetland S.A. tenga una considerable remoción en turbidez, S.S.T. y un bajo O.D.; aumentando su saturación en un menor tiempo en comparación al Wetland C.A.
- Se tuvo un menor desarrollo y crecimiento de la Planta Achira (familia: Cannáceas) que se coloco cerca a la salida de cada unidad como se puede verificar en la Foto N°14.

**Analizando los resultados obtenidos en las tablas 95, 96 y 97 se obtiene:**

Para hacer una comparación de ambos métodos de tratamiento secundario, se necesita tener un punto de referencia fijo, por tanto definiremos para una carga de salida de los wetlands igual a 1,1g/día, así buscando en los resultados de nuestro estudio se obtiene:

**Tabla 106:** Tasa superficial del Wetland SA y Wetland CA para la obtención de similar valor de la DBO de su efluente.

Unidad de Tratamiento	DBO (mg/L)	Carga de Ingreso (g/día)	Tasa Superficial (g/día/m <sup>2</sup> )
Wetland SA	288,32	9,55	8,92
Wetland CA	975,63	32,31	30,17

Fuente: Extraído de la tabla 95 y 97

Entonces, si asumimos un valor de carga orgánica entrante (agua afluente) de 1000g/día que puede resultar de:

**Caudal:** 3571,43 L/día <> 0.04 L/s  
**DBO:** 0,28 g/L  
**Carga orgánica:** 1000 g/día

Así considerando las tasas superficiales de la tabla 106, se puede obtener el área requerida correspondiente para cada opción de tratamiento:

Unidad de Tratamiento	Tasa Superficial (g/día/m <sup>2</sup> )	Carga Aplicada (g/día)	Área Requerida (m <sup>2</sup> )
Wetland SA	8,92	1000,00	112,15
Wetland CA	30,17	1000,00	33,14

Se nota que el área requerida por el Wetland CA es 70,4% menor que lo requerido por el Wetland SA para la misma calidad de agua afluente y obtención de similares características de calidad en el agua efluente.

Calidad del efluente considerada para la aplicación:

PARAMETROS	Salida Wetland * (CA)	Salida Wetland * (SA)
DBO (mg/L):	34,1	34,6

NOTA: \* Datos experimentales

“Mediante este cálculo se muestra que el Wetland CA requiere de menos área de terreno que el Wetland SA para efectuar el tratamiento del agua residual”.

Cabe recordar que estos resultados se obtuvieron habiéndose efectuado el tratamiento previo mediante un RAFA.



o **COSTO ADICIONAL DEL WETLAND AIREADO**

Se considera el costo adicional en el Wetland Aireado en comparación al Wetland sin airear o tradicional, el costo de equipamiento y el costo de energía, teniendo esta investigación una duración y tiempo de operación de cuatro meses.

Para ello se considera:

**EN COSTO ENERGIA:**

Potencia de Motor : 18 W

Precio de Energía : 0,34 soles/(Kwh)

Tiempo de Operación: 4 meses

Nota: 1kW=1000W

$$COSTO.ENERGIA = Precio.Energia. \times Potencia \times Tiempo$$

Hallamos el Precio Energía en: Soles/(Wxmes)

$$Precio.E. \frac{Soles}{w \times mes} = \frac{0.34 \times soles}{Kw \times hora} \times \frac{1kw}{1000w} \times \frac{24horas}{1dia} \times \frac{30dias}{1mes} = 0,2448 \frac{Soles}{w \times mes}$$
$$Precio.Energia = 0,2448 \frac{Soles}{w \times mes}$$

Hallando el Costo de Energía. En soles

$$COSTO.ENERGIA = 0.2448 \times \frac{Soles}{w \times mes} \times 18w \times 4meses$$
$$COSTO.ENERGIA = 17,63 Soles$$

## COSTO DE EQUIPAMIENTO

Precio de la Compresora	:	150	Soles
Precio Piedras Difusoras	:	40	soles
Tuberías y Accesorios	:	<u>15</u>	Soles
<b>Total de Equipamiento</b>	:	<b>205</b>	<b>Soles</b>

### Hallando el Costo Total:

Costo Total = Costo de Energía + Costo de Equipamiento

Costo Total = 17,63 Soles+205 Soles

**Costo Total = 222,63 Soles**

### CALCULANDO EL COSTO POR METRO CÚBICO:

Se tiene un Caudal=23 ml/min

Transformando el caudal a m<sup>3</sup>/mes

$$Caudal = 23 \frac{ml}{min} \times \frac{60min}{1 hora} \times \frac{24 hora}{1 dia} \times \frac{30 dias}{1mes} \times \frac{1l}{1000ml} \times \frac{1m^3}{1000l}$$

$$Caudal = 0,9936 \frac{m^3}{mes}$$

**Calculando el Volumen total de Agua Residual de Camal tratada con el sistema aireado.**

Volumen=CaudalxTiempo

$$Volumen = 0,9936 \frac{m^3}{mes} \times 4meses$$

**Volumen=3,97m<sup>3</sup>**

Se tiene un volumen de 3,97 m<sup>3</sup> durante los cuatro meses de prueba.

### HALLANDO EL COSTO POR METRO CÚBICO DE AGUA TRATADA.

$$\text{Costo por m}^3 = \frac{\text{Costo Total}}{\text{Volumen}}$$

$$\text{Costo por m}^3 = \frac{222,63 \text{ Soles}}{3,97 \text{ m}^3}$$

$$\text{Costo por m}^3 = 56,08 \frac{\text{Soles}}{\text{m}^3}$$

Se obtiene que cada metro cubico de este tipo de agua residual durante el periodo de 4 meses nos costó 56 Soles mensuales adicionales al sistema sin aireación. Obteniéndose esta diferencia en los resultados para cada unidad:

### RESULTADOS PROMEDIO AL 100% DE CONCENTRACIÓN

PARAMETROS	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
TEMPERATURA (°c):	18,4	18,6
PH:	8,2	8,0
CONDUCTIVIDAD (mS/cm):	6,0	6,7
TURBIDEZ (NTU):	11,8	58,9
OD (mg/L):	4,7	0,2
DQO (mg/L):	301,6	861,0
DBO (mg/L):	34,1	368,2
SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L):	34,8	133,0

Si se trabajara con el agua residual al 50% de concentración se obtendría esta calidad de agua al mismo costo adicional:

**RESULTADOS PROMEDIO AL 50% DE CONCENTRACIÓN**

PARAMETROS	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
TEMPERATURA (°C):	20,6	20,3
PH:	7,7	7,8
CONDUCTIVIDAD (mS/cm):	3,6	3,9
TURBIDEZ (NTU):	0,6	97,2
OD (mg/L):	5,5	0,8
DQO (mg/L):	71,0	301,7
DBO (mg/L):	4,8	60,5
SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L):	2,7	116,3

Trabajando al 50% de concentración, se observa un mayor beneficio en los resultados (calidad del agua efluente) para el Wetland CA comparado con el Wetland SA, a un costo adicional de S/. 56,08 por metro cubico tratado.

## 8. RECOMENDACIONES

- En las futuras investigaciones se recomienda verificar el desarrollo del tejido de la planta denominado Aerénquima. Del cual muchos estudios (Seliskar, 1988; Burdick y Mendelssohn, 1990; Kludze et al, 1994; Kludze y Delaune 1994, 1996) señalan que su desarrollo incrementa cuando la planta es sometida a inundación y fuerte anaerobiosis como se presume que se dio en el caso del Wetland S.A. de la presente investigación.
- En lo posible evitar que el agua residual tome contacto con sustancias tóxicas como desinfectantes, sustancias básicas o ácidas.
- Tomar las previsiones del caso para evitar la interferencia de animales o personas extrañas al proyecto.
- En la puesta en marcha, utilizar materiales que posean resistencia a las características del agua a tratar así como al intemperismo. Específicamente con el material que servirá de adhesivo o de sello en las uniones.
- Considerar sistema de purga de lodos al sistema de tratamiento, para prevenir posibles colmataciones.
- Investigar sobre los procesos que se desarrollan a través de esta variante de humedal, realizar la identificación de los microorganismos que intervienen.
- Utilizar los equipos de protección personal en todo momento.
- Evaluar la nitrificación y desnitrificación al interior del humedal aireado.
- Para la adquisición de los materiales e insumos a utilizar durante el estudio se recomienda prever el tiempo de entrega de la mercancía para su adquisición.
- Brindar el mantenimiento adecuado a los equipos para su buen funcionamiento durante el desarrollo del proyecto. Ej.: aceitar los rodajes de cabezales de las bombas peristálticas, limpieza de recipientes y mangueras que conduce el agua residual.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

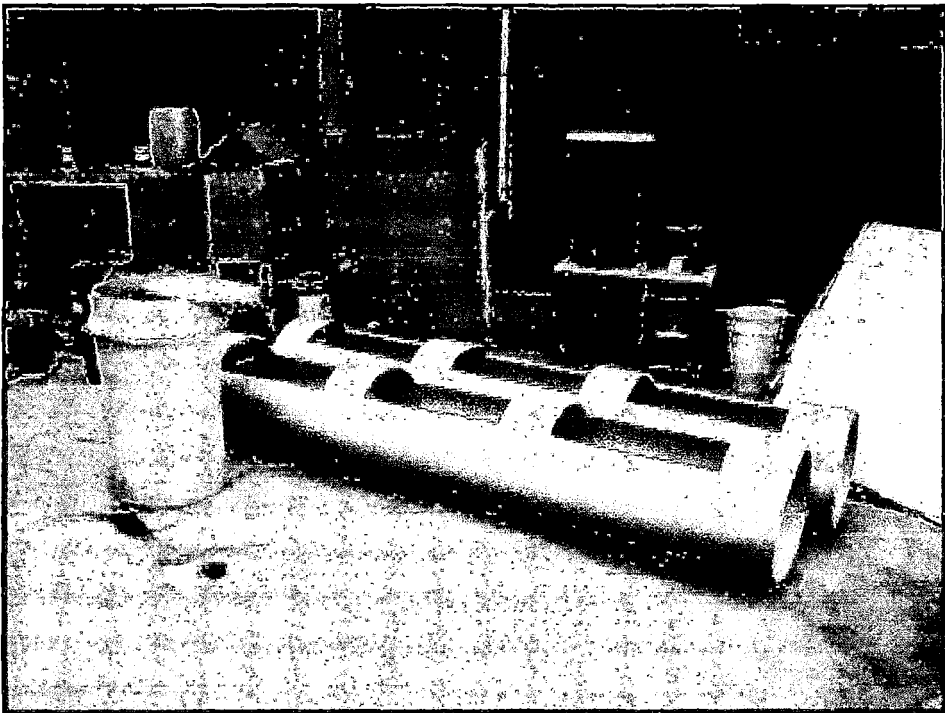
- ✓ Ing. Víctor Maldonado, Tesis: **“USO DE WETLAND PARA EL TRATAMIENTO DE REUSO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS”**, Facultad de Ingeniería Ambiental - Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú -2005.
- ✓ Gabriela Palomino y María Ballón, Tesis: **“TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR PROCESOS DE BIOPELICULA”**, Facultad de Ingeniería Ambiental - Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú-2007.
- ✓ Víctor Galindo y María Ruiz, Tesis: **“EVALUACIÓN, DIAGNOSTICO Y MEJORAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS MEDIANTE HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL EN EL AAHH OASIS – VILLA EL SALVADOR”**, Facultad de Ingeniería Ambiental - Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú-2007.
- ✓ Ronald W. Crites, Joe Middlebrooks, Sherwood C. Reed, **NATURAL WASTEWATER TREATMENT SYSTEMS**, Taylor & Francis, Editorial CRC – 2006.
- ✓ Jan Vymazal, Lenka Kröpfelová, **WASTEWATER TREATMENT IN CONSTRUCTED WETLANDS WITH HORIZONTAL SUB-SURFACE FLOW (ENVIRONMENTAL POLLUTION)**, SPRINGER SCIENCE – 2008.
- ✓ Julie K. Cronk, M. Siobhan Fennessy, **WETLAND PLANTS BIOLOGY AND ECOLOGY**, CRC PRESS LLC – 2001.
- ✓ Martina Mackova, David Dowling, Thomas Macek, **PHYTOREMEDIATION RHIZOREMEDIATION**; Springer - 2006.
- ✓ Udo Weismann, In Su Choi, Eva-Maria Dombrozski, **FUNDAMENTALS OF BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT**; Editorial WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA Weinheim – 2007.
- ✓ Gabriel Bitton, **WASTEWATER MICROBIOLOGY THIRD EDITION**; WILEY LISS- 2005.
- ✓ Duncan Mara, Nigel Horan, **HANDBOOK OF WATER AND WASTEWATER MICROBIOLOGY**; Academic PRESS, Elsevier - 2003.
- ✓ Francisco Pugnaire, Fernando Valladares, **FUNCTIONAL PLANT ECOLOGY - SECOND EDITION**; Taylor & Francis, Editorial CRC Press – 2007.
- ✓ Shun Dar Lin, **HANDBOOK OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING CALCULATIONS- SECOND EDITION**; MC GRAW HILL – 2007.
- ✓ Patrice Dion, **MICROBIOLOGY OF EXTREME SOILS**, Chandra Shekhar Nautiyal; Springer – 2008.

## 10. ANEXOS

### 10.1. ARMADO DE UNIDADES WETLAND

De un tubo de PVC para alcantarillado de diámetro 420mm y 6m de largo se obtuvieron dos piezas de 2.5m de largo a las cuales se le hizo los cortes necesarios.

**Foto N° 18:** Tubo cortado y adecuado según diseño de unidades.



**Foto N° 19: Instalación de unidades en techo de laboratorio.**



Se colocó en el techo de las oficinas de profesores ubicado en el área de laboratorio N°27 y laboratorio N°20 de la facultad.

Se graduó con tacos de madera, la pendiente (2%) necesaria para que el agua fluya a través de las unidades.



**Foto N° 20:** Inclinación de futura unidad de tratamiento con ayuda de tacos de madera.

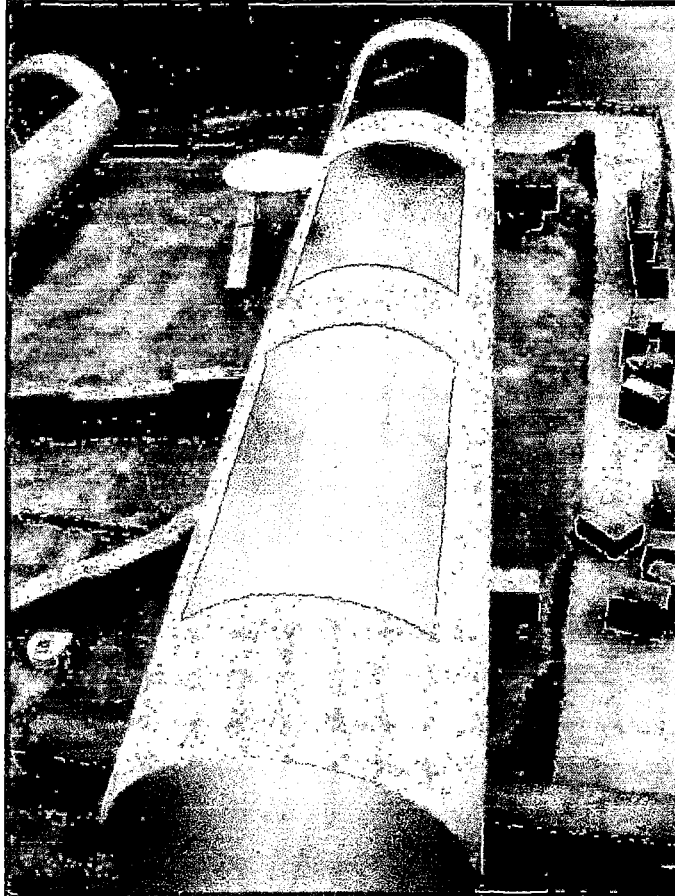
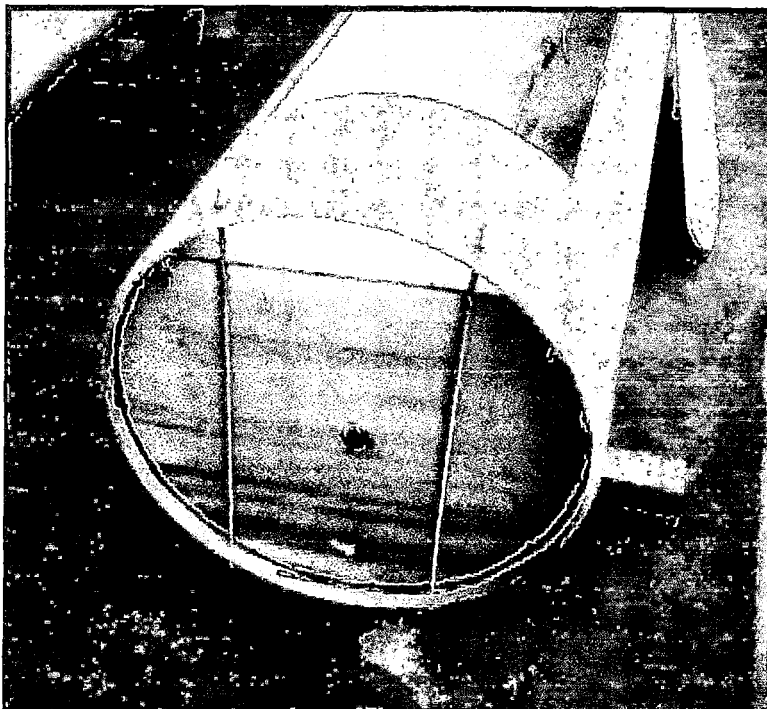


Foto N° 21: Colocación y refuerzo de las tapas laterales.



Se procedió a tapar con planchas en forma de tapas de PVC los extremos de los tubos, utilizando silicona especial y reforzando su fijación con varillas de acero, en la tapa que va en el lado aguas abajo se hizo un agujero de 3/4 pulgada, por donde se conectara la tubería de salida del Wetland.

Las tapas fueron pegadas y revestidas con silicona, teniendo especial cuidado porque es un punto vulnerable para el escape del agua de la unidad.

En la foto 22 se observa el orificio de purga, que estará controlado por una válvula compuerta instalada exteriormente (foto 23).

**Foto N° 22:** Orificio para la purga de aguas de la unidad.



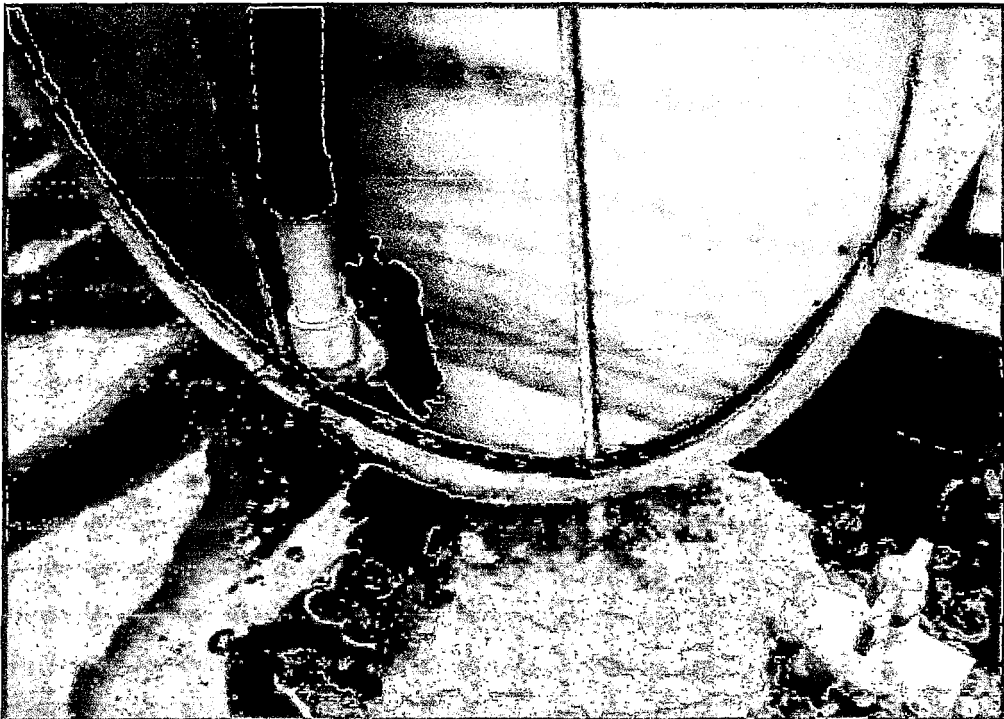
**Foto N° 23:** Válvula de control de purga de la unidad.



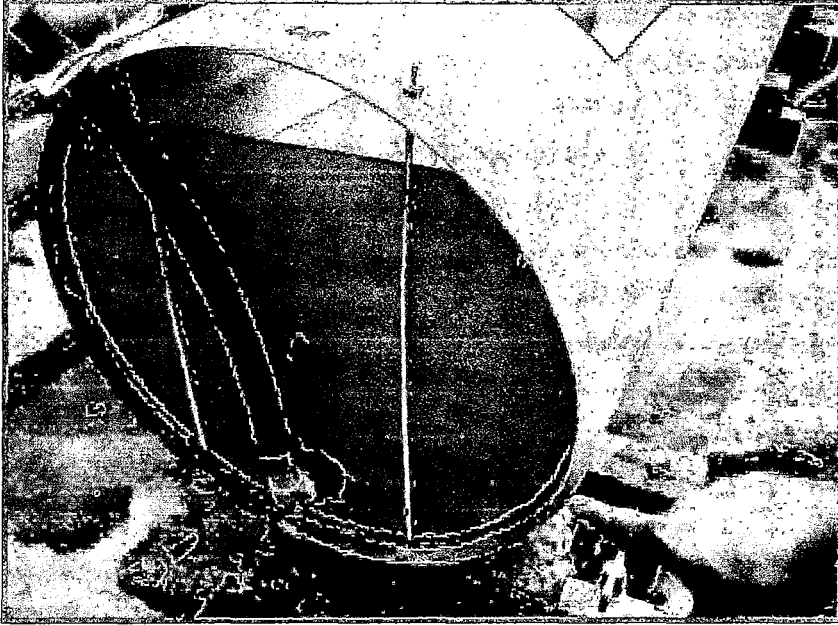
Se puede observar la tubería de purga, se instalaron dos en cada Wetland (tubo). Estas purgas fueron fijadas con un bloque de concreto sobre un ladrillo. El diámetro de las valvulas es de  $\frac{3}{4}$  pulgada.

En la foto 24 se puede observar como es la salida del efluente del Wetland, que es con un codo que se conecta al agujero de la tapa y es fijado con silicona, el codo tiene un niple de 10 centímetros y una manguera de color azul que da la flexibilidad para graduar el nivel del agua de la unidad. De esta forma es como se tomo muestra del efluente.

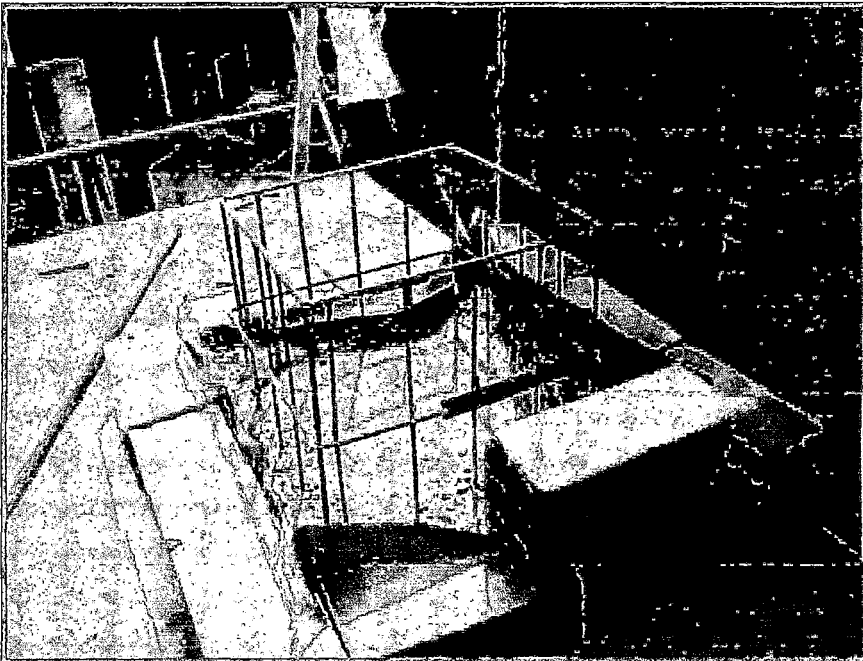
**Foto N° 24:** Zona de salida de efluente de tratamiento.



**Foto N° 25:** Zona de salida y control de nivel de agua al interior de la unidad.



**Foto N° 26:** Jaula para seguridad de equipos.



En la foto 24, se observa la instalación de una pequeña base y jaula, que servirán para colocar la bomba peristáltica y soplador (aireador), protegiéndose de la manipulación de extraños y/o extravío.

En la foto 27, se puede observar el tipo de material que se utilizó como lecho: piedra chancada  $\frac{1}{2}$  pulgada.

**Foto N° 27: Bolsas con piedra chancada de 1/2".**



Con la finalidad de evitar posibles fugas de agua por las tapas, se llevaron a cabo pruebas hidráulicas antes de la instalación completa de los Wetland.

Foto N° 28: Prueba hidráulica.

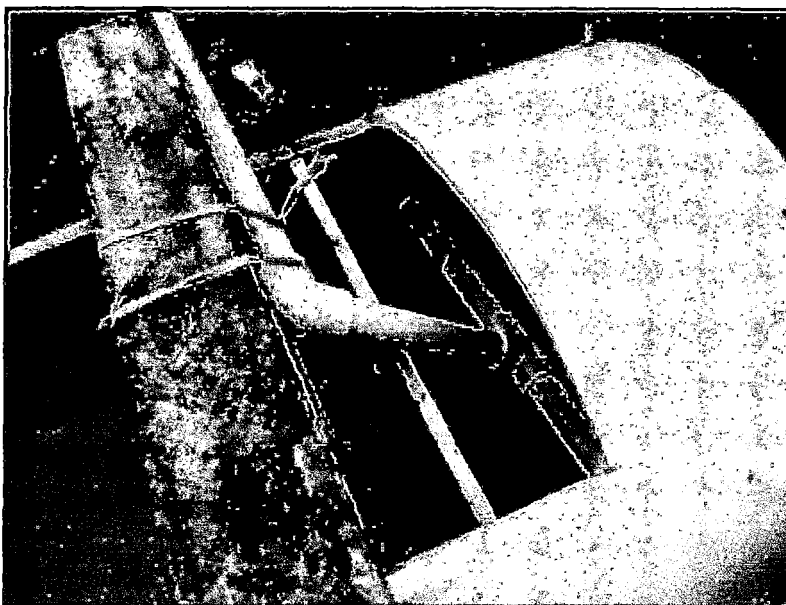


En la foto 28, la prueba hidráulica consistió en llenar de agua la futura unidad Wetland con agua limpia hasta 5cm por encima del nivel de agua establecido para el funcionamiento de la unidad.

En la foto 29, se puede observar la tubería de ingreso a las unidades. También se observa una placa instalada transversalmente al tubo, esta tapa sirve como baffle para separar y uniformizar el flujo del agua. El baffle posee muchos orificios de  $\frac{1}{2}$  pulgada uniformemente separados.

En la zona de ingreso (entre el baffle y la tapa exterior de la tubería) se colocó piedra de 1 a 1.5 pulgada.

Foto N° 29: Tuberías de ingreso y distribución del agua a tratar.



Luego se procedió el lavado en forma manual de todo el lecho de piedra, de tal manera se retiraba la arena y resto de limo que pueda tener las piedras, otra opción hubiera sido cernir la piedra chancada pero como no se contaba con los implementos necesarios y para evitar molestias en las oficinas del laboratorio (producción de polvo) se procedió a utilizar el lavado.

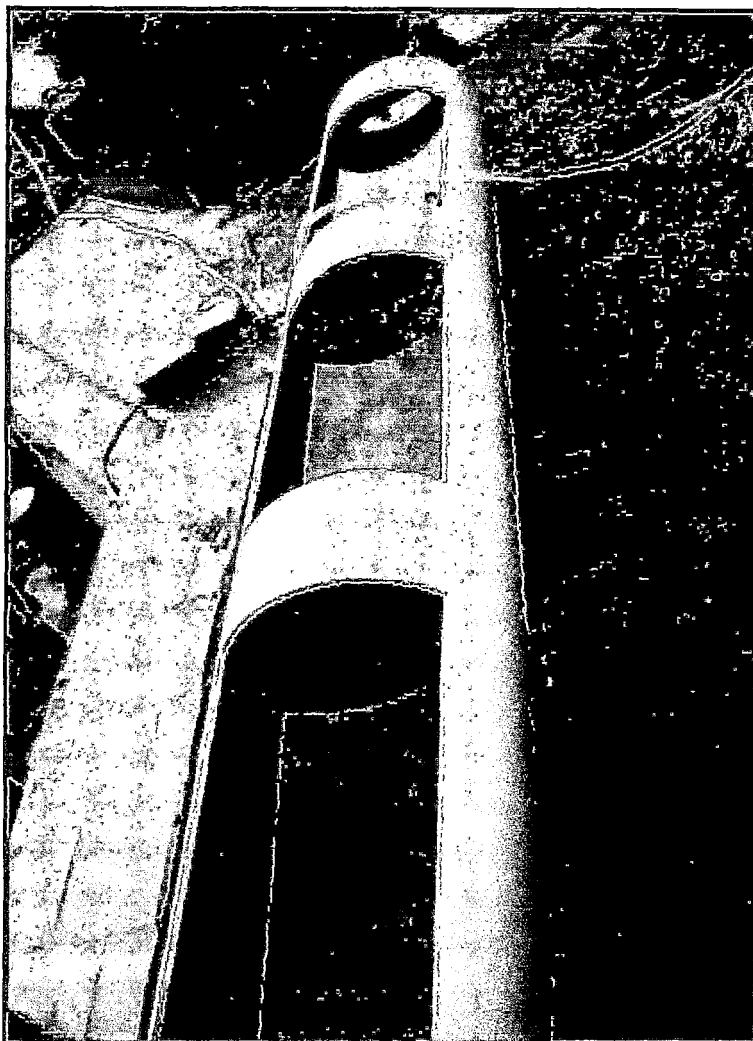
Después se procedió a utilizar las purgas para quitar toda el agua que se utilizo en el lavado. A continuación se volvió a llenar los tubos con agua, dejándolo lleno con las piedras (lecho) puestas en las unidades para verificar la existencia de fugas de agua. Finalmente se abrieron las válvulas de purga y se deajo secar el lecho por un día más.



Foto N° 30: Lavado de la piedra chancada.

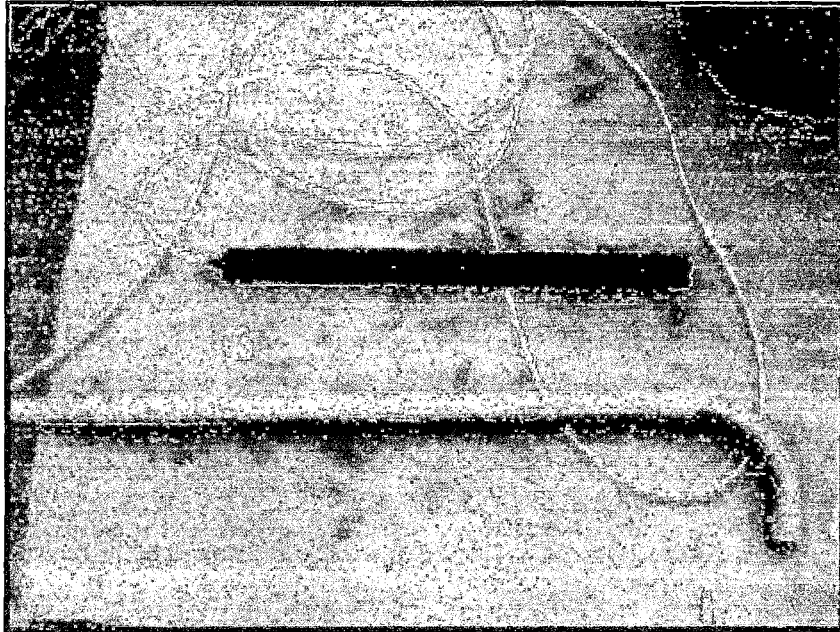


**Foto N° 31:** Futura unidad Wetland durante la prueba hidráulica.

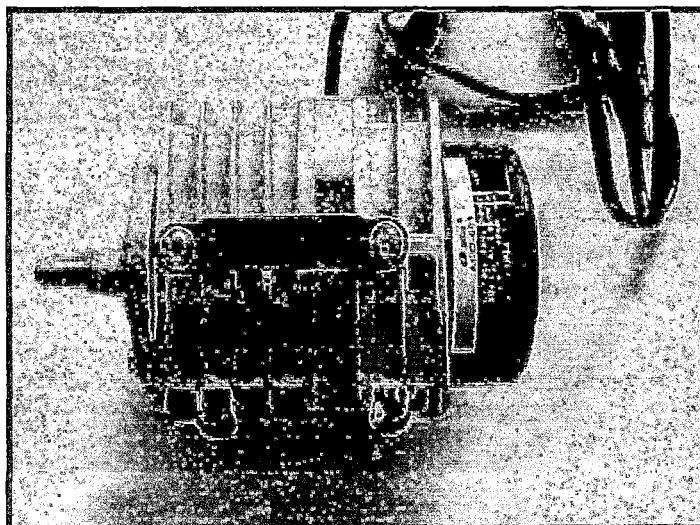


Se observa los accesorios, las mangueras y las piedras difusoras por donde fueron será el ingreso del aire y cómo y por donde será su instalación e ingreso del aire en una unidad, estas piedras difusoras son porosas y están colocadas en la parte interior o al fondo del tubo de la manera como se observa.

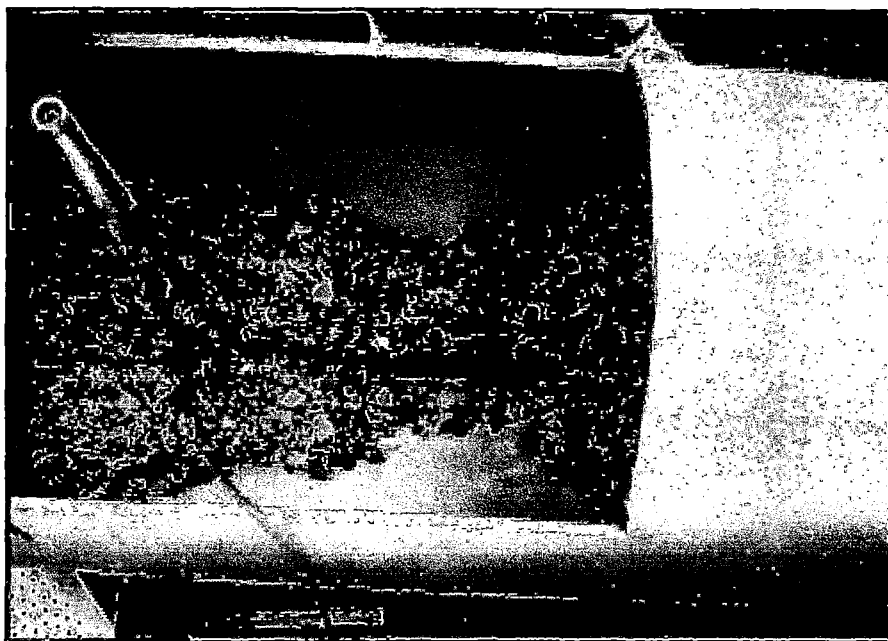
**Foto N° 32:** Tubería de protección y manguera que conecta difusor de piedra porosa con soplador.



**Foto N° 33:** Soplador electromecánico (aireador)



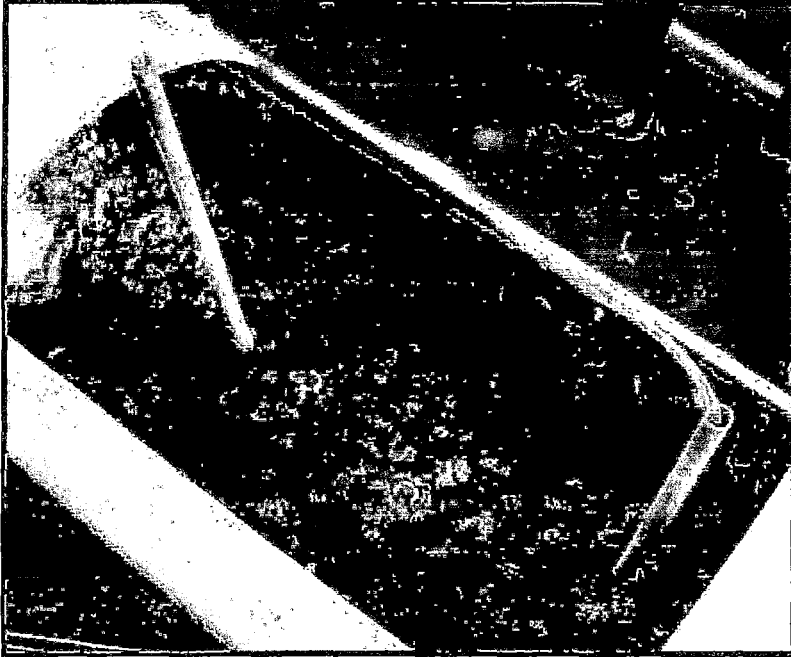
**Foto N° 34:** Instalación de difusor al interior del lecho de piedra.



Se instalaron las piedras porosas al fondo de la unidad, además de la tubería de protección de la manguera (instalada verticalmente).

En la foto 35, se observa la prueba de aireación con agua en las unidades, no se encontró problema alguno en el funcionamiento del soplador. También se puede observar el soplador (aireador) que se utilizó (foto 33).

**Foto N° 35:** Prueba hidráulica después de la instalación de difusores.



Se observa los recolectores, hechos con botellas descartables y tubos de 3/4", con los que se recolectara o drenara el efluente. Para una mejor estabilidad fueron llenados con concreto.

**Foto N° 36:** Instalaciones para la salida y recolección del efluente de las unidades Wetland. (antes de recubrirlas con concreto)



**Foto N° 37:** Estructura de salida terminada para la recolección del efluente de Wetland.



**Foto N° 38:** Estructura de salida ya integrada a las unidades Wetland.



Se puede observar la salida de la zona de recolección de efluente de las unidades como los accesorios para el sistema de drenaje, y se observa en la imagen como se está purgando y también se puede ver que esta misma manguera de color verde se desconecta y se puede conectar a los drenajes por el nipple que tiene el accesorio de drenaje de la derecha.

**Foto N° 39:** Bomba peristáltica que impulsa el afluente hasta la distribución para cada unidad Wetland.

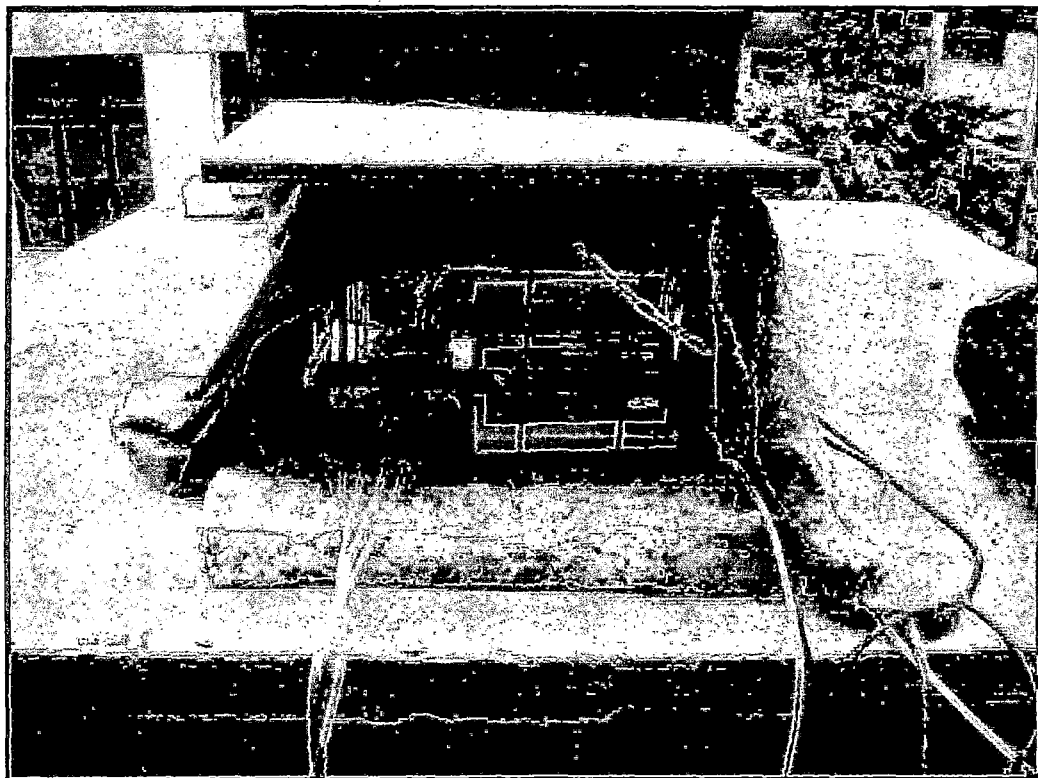
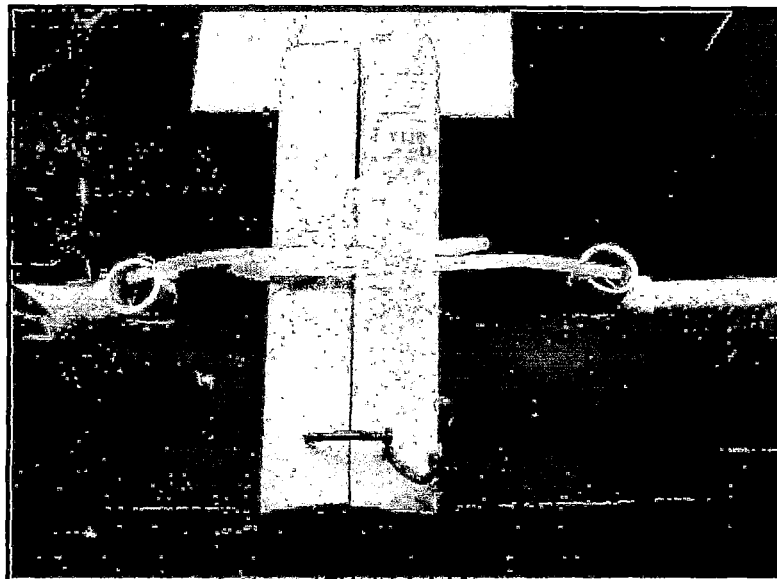


Foto N° 40: Zona de distribución hacia ambas unidades Wetland.

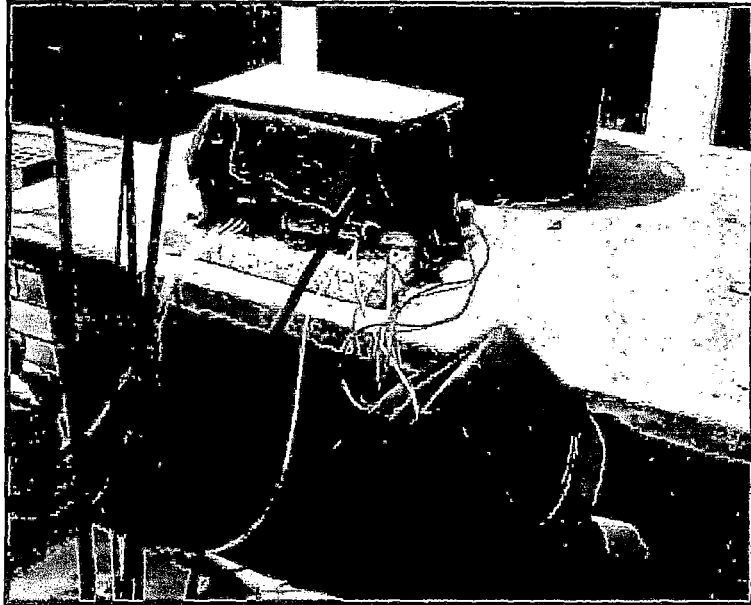


A la derecha se puede observar la bomba peristáltica con el soplador o motor aireador y a la izquierda se observa el ingreso a cada a las unidades En el ingreso, donde la bomba al succionar del tanque donde se almacena el efluente del tratamiento primario, esta distribuye a cada unidad a través de las mangueras con un accesorio "Y" y luego cada derivación está colocada al mismo nivel e ingreso de la tubería justo tal como se muestra en la foto de la derecha.

Se puede observar el tanque de color verde que está al lado derecho inferior de la bomba, este tanque tiene una capacidad de 60 litros. Es en este tanque donde se llena y se almacena el efluente del tratamiento primario.



**Foto N° 41:** Ubicación de bomba peristáltica y tanque de almacenamiento de agua afluente.



Se procedió a instalar los plantones de totora traídos desde UNITRAR, luego fueron sembrados en las unidades llenas con las piedras a la mitad de agua de su nivel máximo. Para que de esta manera los plantones no se mueran y se adapten más rápido.

Se observa la imagen de la izquierda dos plantones que están ubicados justo la parte final de la unidad y a la derecha un plantón de carrizo puesto justo sobre un difusor de aire.

Foto N° 42: Ubicación de la plantas al interior de las unidades Wetland.

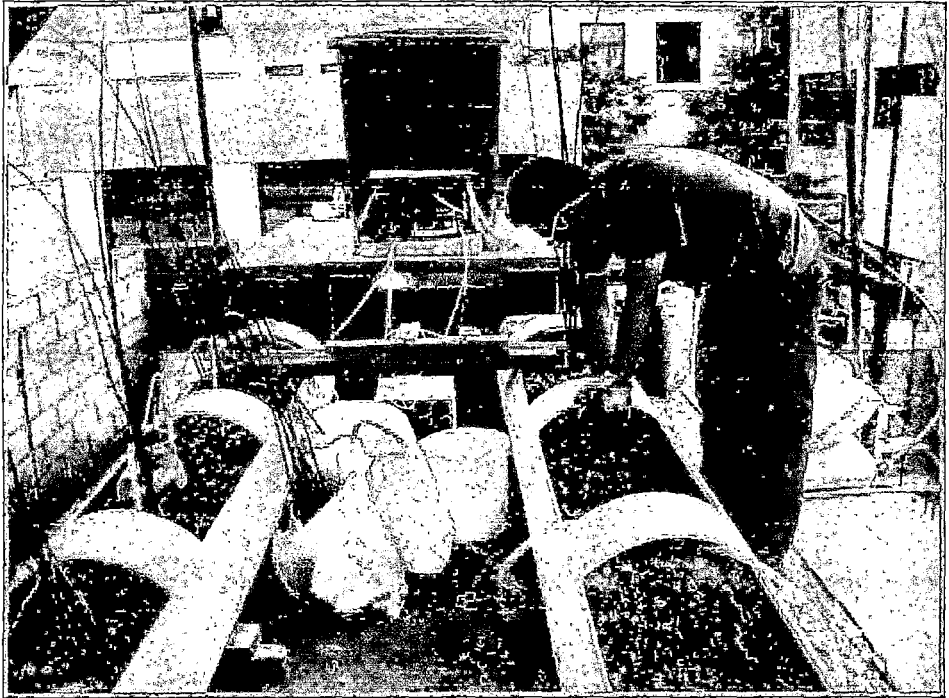


Foto N° 43: Instalación de planta al interior del lecho de piedra del Wetland.

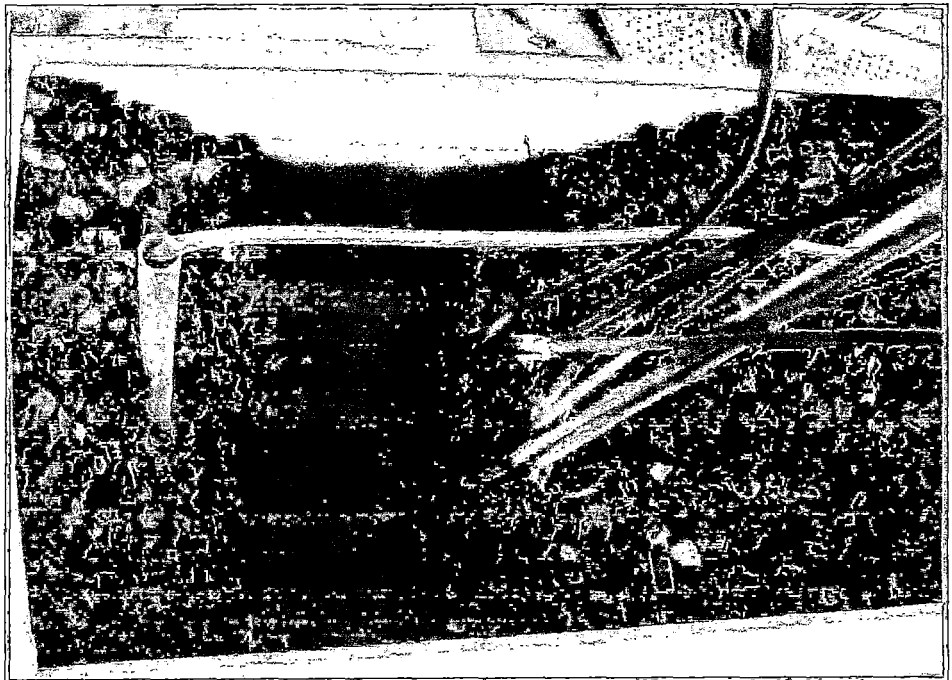


Foto N° 44: Plantas ya instaladas en la unidad Wetland.



Foto N° 45: Planta (totora) y difusor instalados en el lecho de piedra del Wetland.

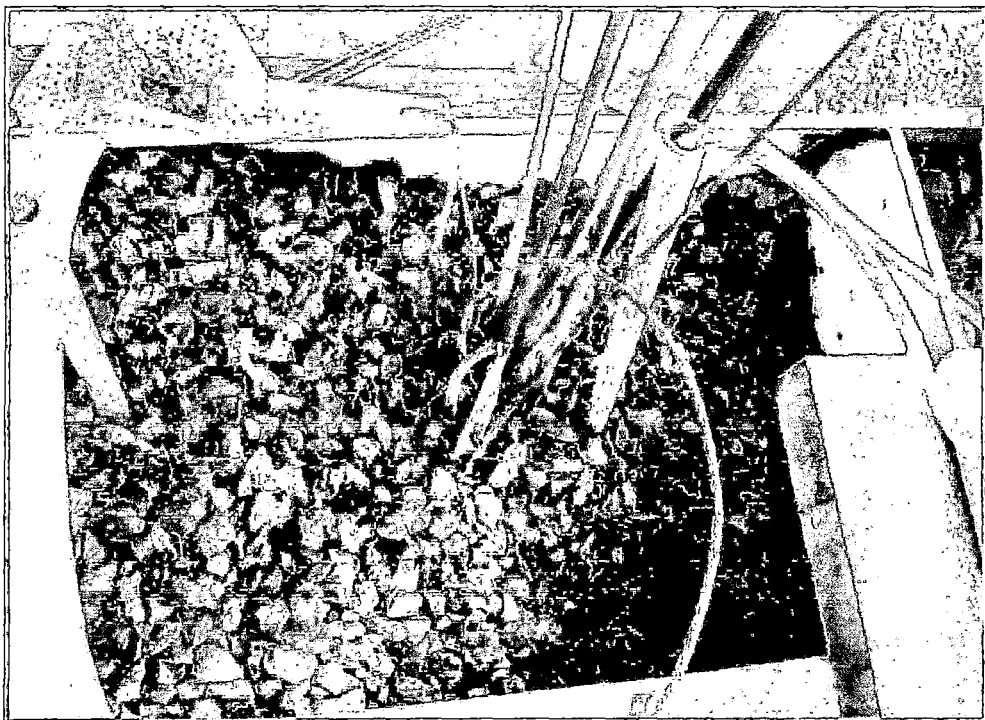


Foto N° 46: Vista de los Wetland a comparar en estudio.

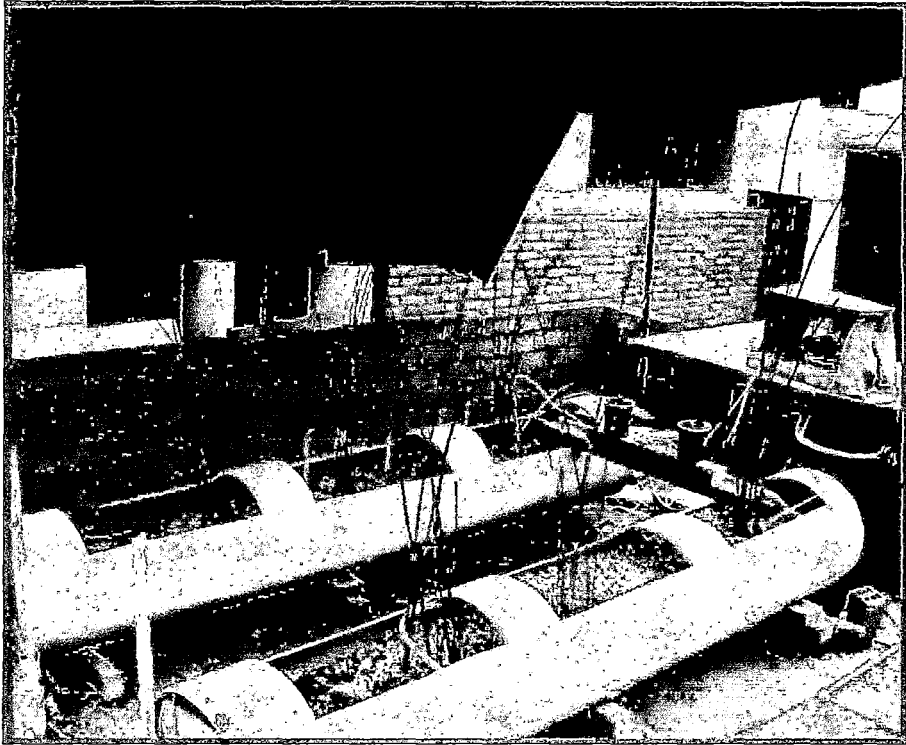


Foto N° 47: Corte de totora que establece condiciones iniciales.

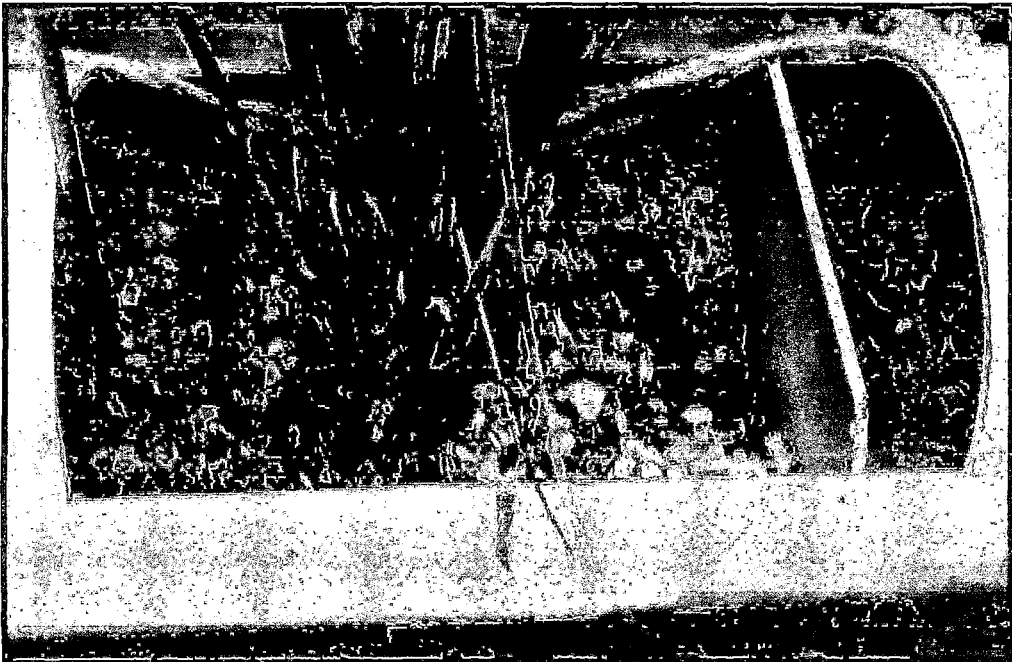


Se puede observar ya todas las plantas instaladas en las unidades y a la derecha se pudo los tallos de la totora a una altura de 90 cm al nivel del piso de piedras de las unidades.

## 10.2. CIERRE Y EXPLORACIÓN DE UNIDADES WETLAND

**Excavación del Lecho Al final del Monitoreo:** Luego de que el humedal tuvo aproximadamente cuatro meses de operación, se procedió a trabajar una última semana apagando el sistema de aireación, y final de esta semana, se procedió a excavar y observar el interior del lecho, el estado de las raíces en diferentes puntos de la unidad que fue aireada. Esos puntos se ubicaban horizontalmente cerca al ingreso, al centro y final del Wetland.

**Foto N° 48:** Humedal antes de proceder a la evacuación del agua.



En el ingreso observamos gran presencia de lodo muy oscuro, también se encontró insectos y otros organismos de mayor tamaño.

Foto N° 49: Totora al interior del Wetland antes de su extracción.



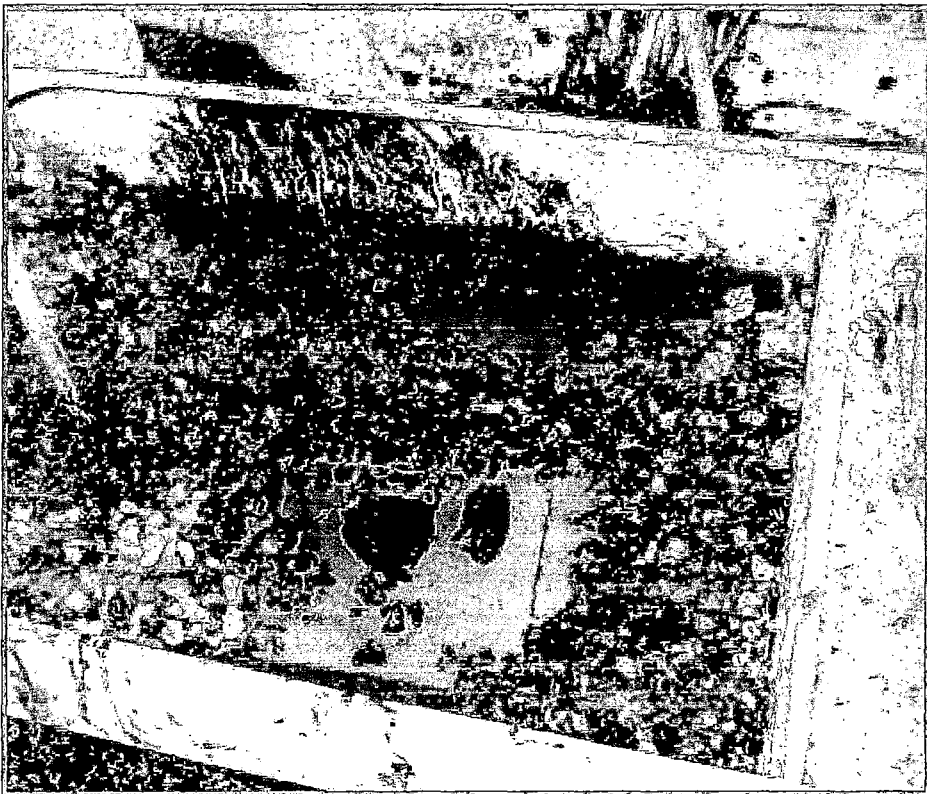
Foto N° 50: Descarga por tubería de purga del Wetland.



La foto de la derecha muestra cuando se esta purgando justo el mismo liquido que se puede observar en la foto de la izquierda.

En la foto se observa la magnitud de la excavación que se hizo para retirar la raiz y el difusor, tambien se nota la marca del nivel de agua en el interior del tubo (parte oscura y uniforme), que concide con el nivel de agua al interior de la unidad. Esta mancha en el interior de la pared no se quitaba, por mas que se frotaban las paredes del tubo.

**Foto N° 51:** Ingreso del Wetland luego de haberse extraído la totora por completo.



En esta foto se observa las raices de la planta ubicada al ingreso de la unidad, aquí se nota que las raices se desarrollaron normalmente; tambien se observa que la raiz no tuvo ningun problema por la presencia del difusor de aire, incluso acabo atrapando y envolviendo el difusor de tal manera que no se le podia separar de ella. Tal como se muestra en la siguiente foto.



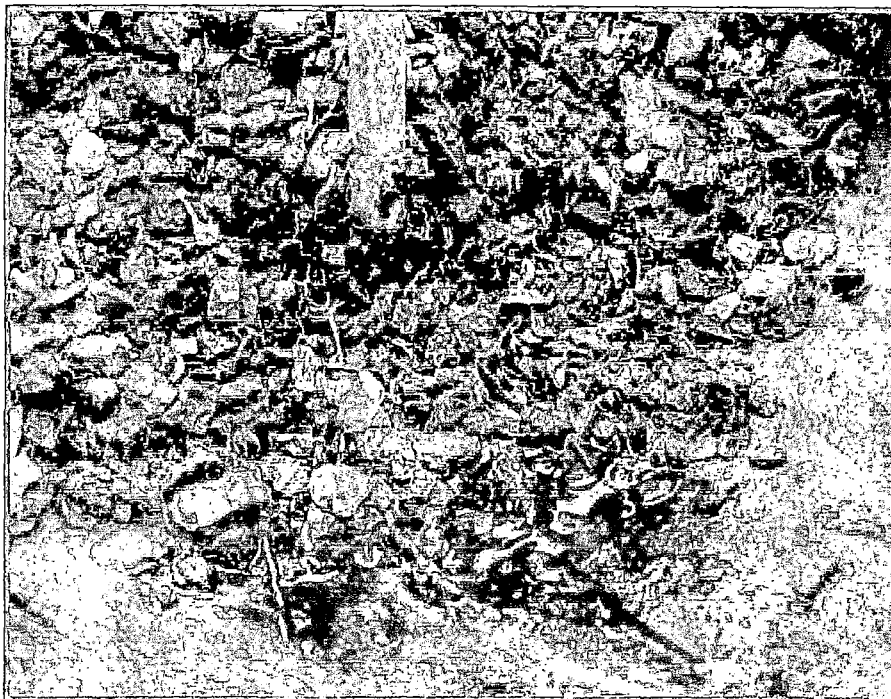
Foto N° 52: Difusor de aire atrapado entre las raíces de la totora.



Foto N° 53: Raíces de la totora luego de ser extraídas del ingreso al Wetland.



**Foto N° 54:** Fondo del Wetland luego de extraer la totora y parte del medio de soporte.



Se observa el lodo en el fondo del tubo, la biopelícula que se desarrolló entre las piedras, sobre todo en el eje donde se encuentran los difusores de aireación que es donde se notó una mayor concentración de biopelícula.

**Foto N° 55:** Biopelícula adherida en el medio de soporte del humedal.



Foto N° 56: Biopelícula adherida al medio de soporte del humedal, raíces ramificadas por todo el medio de soporte sumergido.



Esta foto pertenece a la parte central del humedal, donde se observa como la raíz se desarrolla sin ningún problema entre las piedras y alrededor del difusor, la raíz llega hasta el fondo y esta se adapta tomando su forma.

Foto N° 57: Tubería de distribución del aire que llega hasta la base de la totora, por debajo del lecho de soporte.



Foto N° 58: Raíces entrelazadas con el medio de soporte, al interior del Wetland.



Tambien se pudo notar la presencia de insectos, y organismos pequeños habitando entre las raices.

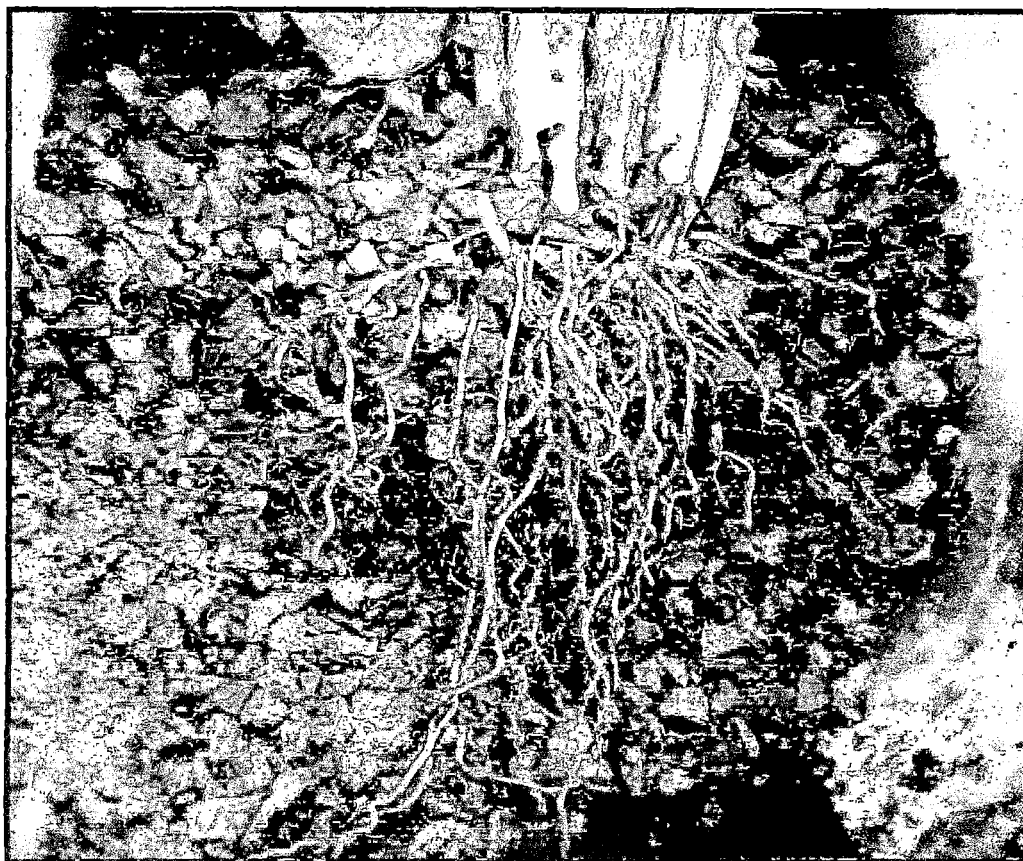
**Foto N° 59:** Raíces de la totora adoptaron la forma del fondo del Wetland.



Foto N° 60: Vista en corte transversal de plantas y raíces al interior del Wetland.



**Foto N° 61:** Vista en corte transversal de plantas y raíces. Luego de vaciar y extraer parte del medio de soporte del Wetland.



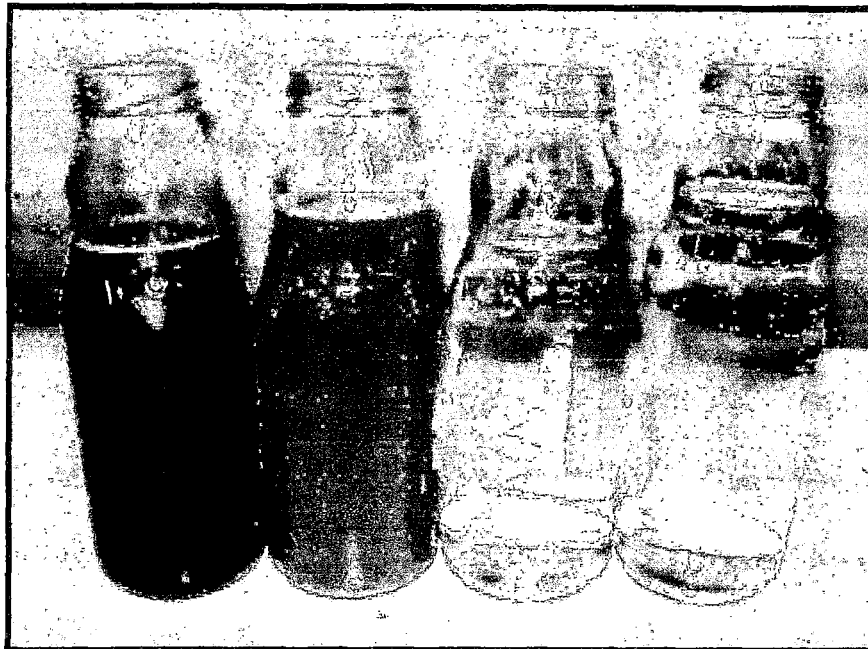
Se observa las achiras que estaban en la parte final de la unidad y alcanzaron desarrollarse completamente. Sus raíces al igual que las de totora no tuvieron problemas para crecer entre las piedras, como se puede ver en las fotos.

Foto N° 62: Plantas extraídas del Wetland, se nota que las raíces alcanzaron desarrollarse incluso a través de la grava (medio de soporte).

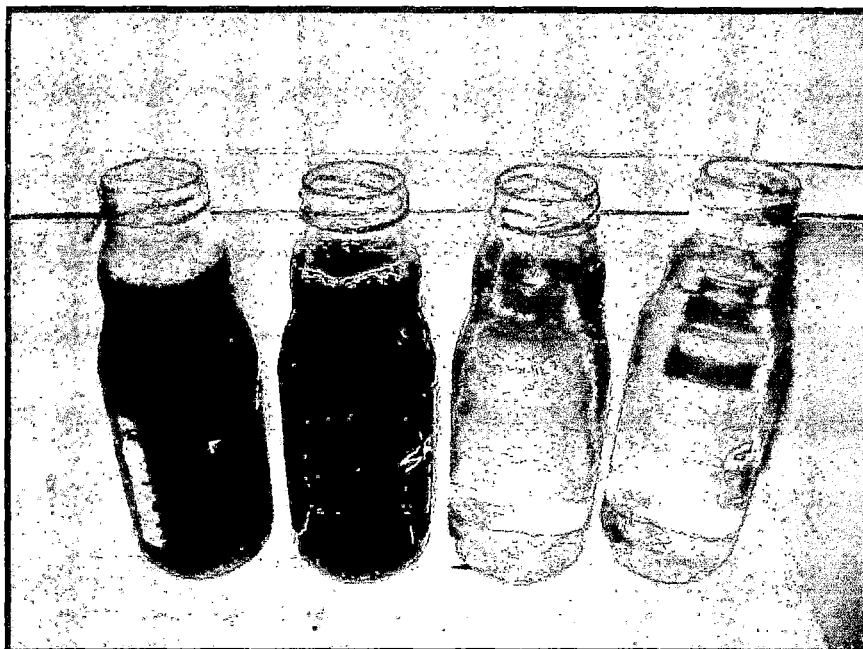




10.3. FICHAS DE MONITOREO REPRESENTATIVAS



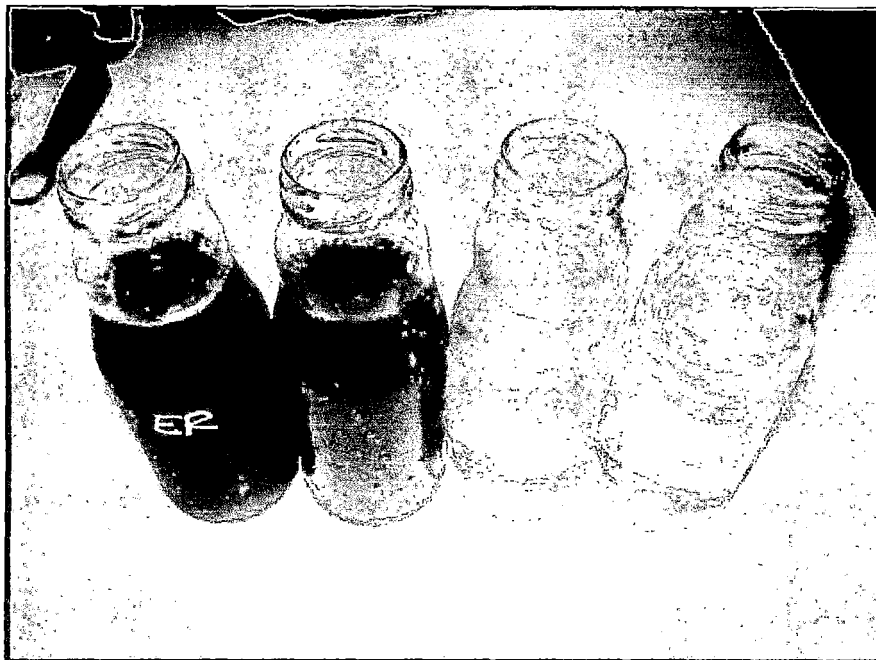
MUESTREO N°	9			PERIODO:	PRIMERO
Semana:	5			DILUCIÓN	33.30%
HORA:	10:20:00 a.m.			FECHA INICIO:	21/04/2010
PARAMETROS	Ingreso RAFA	Salida RAFA -	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland	
TEMPERATURA (°c):	16.2	23.8	24.6	24.4	
PH:	8.09	7.79	8.18	7.65	
CONDUCTIVIDAD (mS/cm):	2.44	2.86	2.68	2.73	
TURBIDEZ (NTU):	127	94.9	0.5	5.4	
OD (mg/L):	0.09	0.32	6.74	4.99	
DQO (mg/L):	--	--	--	--	
DBO (mg/L):	--	--	--	--	
NITRITO (mg/L):	--	--	--	--	
NITRATO (mg/L):	--	--	--	--	
SOLIDOS:	--	--	--	--	
SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L):	223	150	2	17	



MUESTREO N°	22			PERIODO:	PRIMERO
Semana:	7			DILUCIÓN	33.30%
HORA:	11:30			FECHA INICIO:	04/05/2010
PARAMETROS	Ingreso RAFA	Salida RAFA -	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland	
TEMPERATURA (°c):	14.8	23.8	24.3	25.2	
PH:	7.96	7.87	7.89	7.75	
CONDUCTIVIDAD (mS/cm):	2.49	2.81	2.9	3.24	
TURBIDEZ (NTU):	116	81	0.52	5.73	
OD (mg/L):	1.26	0.24	6.26	5.14	
DQO (mg/L):	--	--	--	--	
DBO (mg/L):	--	--	--	--	
NITRITO (mg/L):	--	--	--	--	
NITRATO (mg/L):	--	--	--	--	
SOLIDOS:	--	--	--	--	
SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L):	263	1067	2	19	



MUESTREO Nº	27		PERIODO:	PRIMERO
Semana:	7		DILUCIÓN	33.30%
HORA:	15:30		FECHA INICIO:	06/05/2010
PARAMETROS	Ingreso RAFA	Salida RAFA - Ingreso Wetland	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)
TEMPERATURA (°c):	20.7	22.2	23	23
PH:	8.01	8.1	7.72	7.43
CONDUCTIVIDAD (mS/cm):	2.45	2.71	2.75	3.15
TURBIDEZ (NTU):	75	149	0.57	12.2
OD (mg/L):	0.26	0.51	5.87	4.22
DQO (mg/L):	--	--	--	--
DBO (mg/L):	--	--	--	--
NITRITO (mg/L):	--	--	--	--
NITRATO (mg/L):	--	--	--	--
SOLIDOS:	--	--	--	--
SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L):	175	223	2	19



MUESTREO N°	34			PERIODO:	PRIMERO
Semana:	8			DILUCIÓN	33.30%
HORA:	03:00:00 p.m.			FECHA INICIO:	12/05/2010
PARAMETROS	Ingreso RAFA	Salida RAFA -	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)	
TEMPERATURA (°c):	15.1	22.2	25.5	27	
PH:	7.95	7.95	7.8	7.72	
CONDUCTIVIDAD (mS/cm):	3.23	3.46	2.76	3.08	
TURBIDEZ (NTU):	222	141	0.44	4.75	
OD (mg/L):	0.15	0.74	6.2	4.73	
DQO (mg/L):	2200	1310	41	94	
DBO (mg/L):	492.943	363.6297	3.1593	22.1381	
NITRITOS (mg/L):					
NITRATOS (mg/L):					
SOLIDOS:					
SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L):	403	261	2	17	



MUESTREO N°	36			PERIODO:	PRIMERO
Semana:	8			DILUCIÓN	33.30%
HORA:	04:15:00 p.m.			FECHA INICIO:	13/05/2010
PARAMETROS	Ingreso RAFA	Salida RAFA -	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)	
TEMPERATURA (°c):	20.8	23.9	26	26	
PH:	7.37	7.72	7.85	7.73	
CONDUCTIVIDAD (mS/cm):	3.12	3.65	2.79	3.2	
TURBIDEZ (NTU):	203	89.4	0.72	4.19	
OD (mg/L):	0.12	0.3	6.3	5.03	
DQO (mg/L):					
DBO (mg/L):					
NITRITOS (mg/L):					
NITRATOS (mg/L):					
SOLIDOS:					
SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L):	414	223	2	14	



MUESTREO N°	37			PERIODO:	PRIMERO
Semana:	8			DILUCIÓN	33.30%
HORA:	10:55:00 a.m.			FECHA INICIO:	14/05/2010
PARAMETROS	Ingreso RAFA	Salida RAFA -	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)	
TEMPERATURA (°c):	18.3	23.9	23.7	23.8	
PH:	7.73	7.78	7.78	7.62	
CONDUCTIVIDAD (mS/cm):	3.12	3.75	2.88	3.11	
TURBIDEZ (NTU):	126	105	0.31	5.59	
OD (mg/L):	0.19	0.4	4.74	3.32	
DQO (mg/L):					
DBO (mg/L):					
NITRITOS (mg/L):					
NITRATOS (mg/L):					
SOLIDOS:					
SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L):	310	587	1	16	



MUESTREO N°	48			PERIODO:	PRIMERO
Semana:	10			DILUCIÓN	33.30%
HORA:	11:40:00 a.m.			FECHA INICIO:	24/05/2010
PARAMETROS	Ingreso RAFA	Salida RAFA -	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)	
TEMPERATURA (°c):	11.4	19.6	19.4	19.6	
PH:	7.64	8.1	7.57	7.47	
CONDUCTIVIDAD (mS/cm):	3.4	4.08	3.38	4.03	
TURBIDEZ (NTU):	784	242	0.5	31.5	
OD (mg/L):	1.66	1.99	5.23	3.08	
DQO (mg/L):					
DBO (mg/L):					
NITRITOS (mg/L):					
NITRATOS (mg/L):					
SOLIDOS:					
SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L):	884	397	1	41	



MUESTREO N°	52			PERIODO:	SEGUNDO
Semana:	10			DILUCIÓN	50.00%
HORA:	12:10:00 p.m.			FECHA INICIO:	26/05/2010
PARAMETROS	Ingreso RAFA	Salida RAFA -	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)	
TEMPERATURA (°c):	13.8	19.7	18.4	18.5	
PH:	8.52	7.72	7.88	7.76	
CONDUCTIVIDAD (mS/cm):	3.17	3.79	3.31	3.8	
TURBIDEZ (NTU):	158	126	0.6	126	
OD (mg/L):	0.2	0.31	6.92	0.47	
DQO (mg/L):					
DBO (mg/L):					
NITRITOS (mg/L):					
NITRATOS (mg/L):					
SOLIDOS:					
SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L):	369	327	2	132	





MUESTREO Nº	57			PERIODO:	SEGUNDO
Semana:	10			DILUCIÓN	50%
HORA:	04:30:00 p.m.			FECHA INICIO:	28/05/2010
PARAMETROS	Ingreso RAFA	Salida RAFA -	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)	
TEMPERATURA (°c):	9.2	18.9	21.8	22.2	
PH:	8.06	8.09	7.54	7.77	
CONDUCTIVIDAD (mS/cm):	3.27	3.72	3.57	4.22	
TURBIDEZ (NTU):	281	221	0.69	136	
OD (mg/L):	0.75	2.56	3.85	0.21	
DQO (mg/L):			85	339	
DBO (mg/L):			0.992	90.3067	
NITRITOS (mg/L):					
NITRATOS (mg/L):					
SOLIDOS:					
SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L):	499	341	5	152	



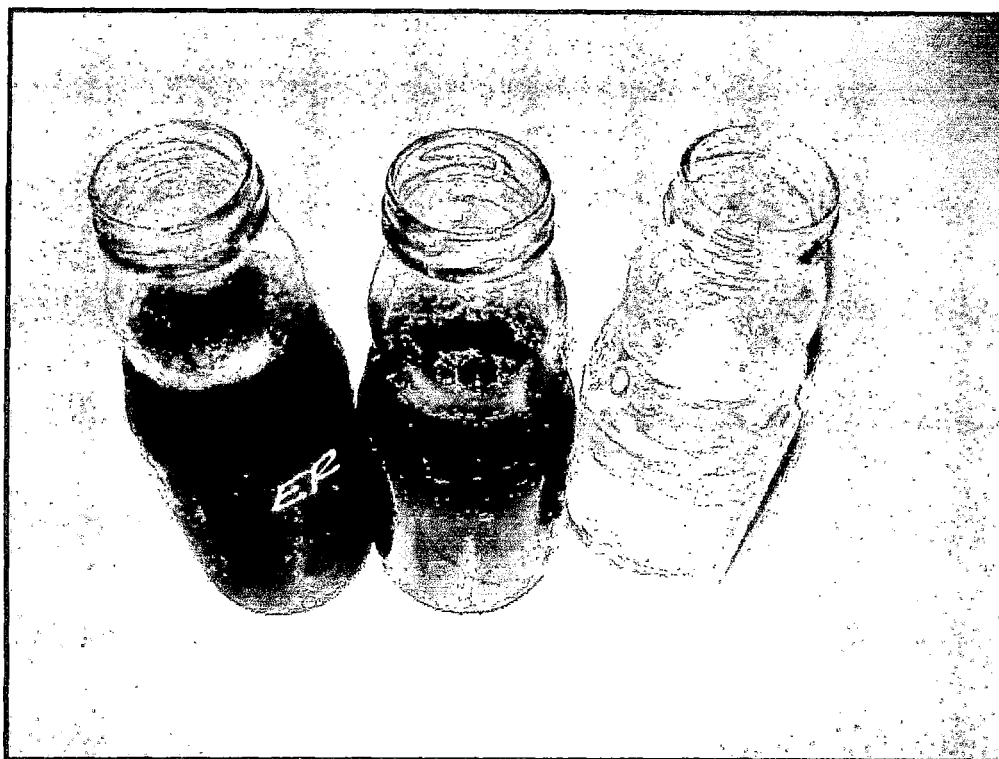
MUESTREO Nº	61			PERIODO:	SEGUNDO
Semana:	11			DILUCIÓN	50%
HORA:	04:25:00 p.m.			FECHA INICIO:	01/06/2010
PARAMETROS	Ingreso RAFA	Salida RAFA -	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)	
TEMPERATURA (°c):	12	19,9	20,3	20	
PH:	8,18	8,02	7,58	7,66	
CONDUCTIVIDAD (mS/cm):	3,35	3,66	3,68	4,33	
TURBIDEZ (NTU):	450	149	0,53	91,3	
OD (mg/L):	0,22	0,21	4,75	0,31	
DQO (mg/L):					
DBO (mg/L):					
NITRITOS (mg/L):					
NITRATOS (mg/L):					
SOLIDOS:					
SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L):	514	300	3	79	



MUESTREO N°	65			PERIODO:	SEGUNDO
Semana:	11			DILUCIÓN	50%
HORA:	04:50:00 p.m.			FECHA INICIO:	03/06/2010
PARAMETROS	Ingreso RAFA	Salida RAFA -	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)	
TEMPERATURA (°c):	20.6	21.3	20.3	21.1	
PH:	7.39	8.3	7.48	7.87	
CONDUCTIVIDAD (mS/cm):	3.38	3.61	3.72	4.27	
TURBIDEZ (NTU):	193	185	0.47	55	
OD (mg/L):	0.91	2.16	3.99	0.23	
DQO (mg/L):					
DBO (mg/L):					
NITRITOS (mg/L):					
NITROGENO AMONIACAL (mg/L)	60	110			
SULFATOS (mg/L):					
SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L):	359	569	4	99	



MUESTREO N°	70			PERIODO:	SEGUNDO
Semana:	12			DILUCIÓN	50%
HORA:	03:38:00 p.m.			FECHA INICIO:	08/06/2010
PARAMETROS	Ingreso RAFA	Salida RAFA -	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)	
TEMPERATURA (°c):	20.8	18.8	21.3	22.8	
PH:	7.87	7.89	7.5	6.59	
CONDUCTIVIDAD (mS/cm):	5.46	4.02	3.66	4.56	
TURBIDEZ (NTU):	389	167	0.96	48.6	
OD (mg/L):	0.27	2.88	5.67	3.88	
DQO (mg/L):					
DBO (mg/L):					
NITRITOS (mg/L):					
NITROGENO AMONIACAL (mg/L)					
SULFATOS (mg/L)					
SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L):	769	629	3	65	



MUESTREO N°	74			PERIODO:	SEGUNDO
Semana:	12			DILUCIÓN	50%
HORA:	02:30:00 p.m.			FECHA INICIO:	11/06/2010
PARAMETROS	Ingreso RAFA	Salida RAFA -	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)	
TEMPERATURA (°c):	12.3	18.9	20.5		
PH:	8.37	8.25	7.66		
CONDUCTIVIDAD (mS/cm):	5.2	5.76	4.17		
TURBIDEZ (NTU):	201	308	0.39		
OD (mg/L):	0.34	0.14	5.85		
DQO (mg/L):		1730	85		
DBO (mg/L):		738.6581	7.34		
NITRITOS (mg/L):					
NITROGENO AMONIAICAL (mg/L)		180	0		
SULFATOS (mg/L)					
SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L):	475	694	3		



MUESTREO N°	75			PERIODO:	TERCERO
Semana:	13			DILUCIÓN	100%
HORA:	12:00:00 p.m.			FECHA INICIO:	14/06/2010
PARAMETROS	Ingreso RAFA	Salida RAFA -	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)	
TEMPERATURA (°c):	8.8	18.5	19	18.6	
PH:	7.95	7.92	7.89	7.72	
CONDUCTIVIDAD (mS/cm):	5.19	6.22	4.83	6.17	
TURBIDEZ (NTU):	669	156	0.5	114	
OD (mg/L):	0.82	0.25	6.59	0.23	
DQO (mg/L):					
DBO (mg/L):					
NITRITOS (mg/L):					
NITROGENO AMONIACAL (mg/L)					
SULFATOS (mg/L)					
SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L):	1056	349	3	317	

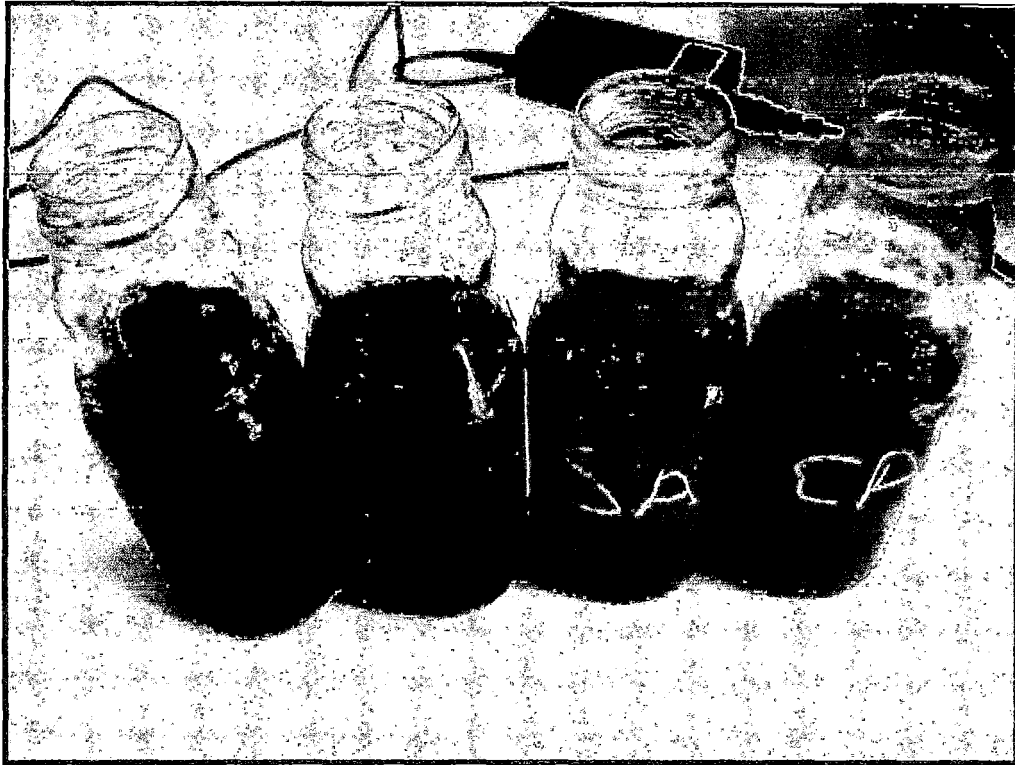


MUESTREO N°	86			PERIODO:	TERCERO
Semana:	14			DILUCIÓN	100%
HORA:	11:00:00 a.m.			FECHA INICIO:	24/06/2010
PARAMETROS	Ingreso RAFA	Salida RAFA -	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)	
TEMPERATURA (°c):	7.2	18	17.9	18.4	
PH:	8.1	7.9	8.48	8.11	
CONDUCTIVIDAD (mS/cm):	5.62	6.14	7.64	7.54	
TURBIDEZ (NTU):	207	257	16	32.8	
OD (mg/L):	0.54	0.14	3.8	0.29	
DQO (mg/L):					
DBO (mg/L):					
NITRITOS (mg/L):					
NITROGENO AMONIACAL (mg/L)					
SULFATOS (mg/L)					
SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L):	487	556	52	149	



MUESTREO N°	98			PERIODO:	CIERRE
Semana:	16			DILUCIÓN	100%
HORA:	03:45:00 p.m.			FECHA INICIO:	07/07/2010
PARAMETROS	Ingreso RAFA	Salida RAFA -	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)	
TEMPERATURA (°c):	13.2	16.1	16.3	16.4	
PH:	7.84	8.01	8.28	8.1	
CONDUCTIVIDAD (mS/cm):	5.66	6.04	6.07	6.86	
TURBIDEZ (NTU):	396	401	148	30.4	
OD (mg/L):	0.1	0.09	0.26	0.13	
DQO (mg/L):	4142	3017			
DBO (mg/L):	2215	1563			
NITROGENO AMONIACAL (mg/L)	108	208			
SULFATOS (mg/L)					
SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L):	766	783	221	67	





MUESTREO N°	102			PERIODO:	CIERRE
Semana:	16			DILUCIÓN	100%
HORA:	02:50:00 p.m.			FECHA INICIO:	09/07/2010
PARAMETROS	Ingreso RAFA	Salida RAFA -	Salida Wetland (CA)	Salida Wetland (SA)	
TEMPERATURA (°c):	6.2	15.9	20.4	21.2	
PH:	7.85	8.01	8.2	8.18	
CONDUCTIVIDAD (mS/cm):	5.72	6.19	6.62	6.78	
TURBIDEZ (NTU):	450	406	131	45.9	
OD (mg/L):	0.63	0.12	0.09	0.1	
DQO (mg/L):			1230	1081	
DBO (mg/L):			627	444	
NITROGENO AMONIACAL (mg/L)			217	317	
SULFATOS (mg/L)					