



EcoCell – projetos e consultoria ambiental

Tecnologias Limpas, Direito Ambiental
Tratamento de Efluentes e de Resíduos

INFORME FINAL HUMEDAL CENTINELA PARA CCS

CCS – CONSEJO CIENTÍFICO SOCIAL
Arauco - Planta Valdivia
Valdivia - Chile

Agosto de 2014.

www.ecocell.com.br
ecocell@ecocell.com.br

Índice

1.	Identificación de la Empresa	4
2.	Identificación del Responsable Técnico	4
2.1.	Empresa.....	4
2.2.	Equipe técnica	4
3.	Introducción	4
4.	Antecedentes sobre Humedales Construidos	5
4.1.	Introducción	5
4.2.	Ventajas del Sistema con Plantas Acuáticas Emergentes	5
4.3.	Aplicaciones del sistema	6
4.4.	Tipos de sistemas	6
4.4.1.	Sistema de Flujo Horizontal (SFH)	6
4.4.2.	Sistemas de Flujo Vertical (SFV)	7
4.4.3.	Sistema Combinado (Híbrido)	8
4.5.	Factores de Influencia	8
4.5.1.	Composición del soporte	9
4.5.2.	Régimen Hidrológico.....	9
4.5.3.	Vegetación	9
4.6.	Mecanismos de Remoción	9
5.	Descripción del Humedal Centinela - HC	10
5.1.	Descripción	10
5.2.	Características del HC	11
5.3.	Diagrama de proceso	12
6.	Proyecto del Humedal Centinela - HC	15
6.1.	Datos para el dimensionamiento	15
6.1.1.	Efluente terciario	15
6.1.2.	Agua de río – punto E2	16
6.2.	Dimensionamiento Humedal Centinela	18
6.2.1.	Efluente terciario	18
6.2.2.	Agua del río – punto E2.....	18
6.3.	Balance hídrico del Humedal Centinela	19
7.	Programa de monitoreo	21
7.1.	Introducción	21
7.2.	Criterios para definición del monitoreo	21
7.3.	Detalles de muestras, parámetros, puntos de monitoreo período y frecuencia	21
7.3.1.	Tipos de Muestras	21
7.3.2.	Tipos de parámetros.....	21
7.3.3.	Periodo y frecuencia:.....	22
7.3.4.	Puntos de monitoreo y análisis	22
7.3.5.	Parámetros de referencia	23
7.3.6.	Parámetros asociados:	23
7.4.	Plan de monitoreo	24
7.4.1.	Monitoreo diario	24

7.4.2.	Monitoreo semanal.....	24
7.4.3.	Monitoreo mensual.....	25
7.4.4.	Monitoreo trimestral.....	25
7.4.5.	Monitoreo anual.....	26
7.4.6.	Monitoreo eventual.....	27
7.4.7.	Complementos necesarios para asociar monitoreo con protocolos.....	27
8.	Protocolos	28
8.1.	Introducción	28
8.2.	Definición de criterios para construcción de los protocolos:.....	28
8.3.	Tipos de Alertas	28
8.4.	Interpretación preliminar de las alertas	29
8.4.1.	Alertas Previas.....	29
8.4.2.	Alertas Inmediatas	33
8.4.3.	Alertas Tempranas	35
8.4.4.	Alertas de Eficiencia.....	36
8.4.5.	Alertas de mediano plazo - Plantas, soporte y organismos	39
8.4.6.	Alertas de largo plazo	43
8.5.	Ejemplos de aplicación	47
8.5.1.	Ejemplo 1	47
8.5.2.	Ejemplo 2	47
8.5.3.	Solución operacional para los ejemplos 1 y 2	48
8.5.4.	Investigación para los ejemplos 1 y 2	48
8.5.5.	Ejemplo 3	48
9.	Planes operacionales.....	49
9.1.	Sistemas de alimentación y flujos	49
10.	Cronograma de implantación.....	51
10.1.	Introducción	51
10.2.	Actividades y metodología	51
10.3.	Definiciones necesarias	52
10.3.1.	Decisiones de metodología de trabajo	52
10.4.	Cronograma.....	53
11.	Responsables técnicos	55
12.	Bibliografía	56
13.	Lista de Anexos.....	59

1. Identificación de la Empresa

CELULOSA ARAUCO Y CONSTITUCIÓN S.A

Ruta 5 Sur, km 788
Casilla 122-B,
San José de la Mariquina
Valdivia, Chile

2. Identificación del Responsable Técnico

2.1. Empresa

ECOCELL TECNOLOGIA CONSULTORIA E SERVIÇOS LTDA.

CNPJ – 93.300.705.0001/05

Rua XV de Novembro, 310 - Bairro Centro – CEP 96.015-000 - Pelotas/RS.

E-mail – ecocell@ecocell.com.br

Homepage – www.ecocell.com.br

Fone/Fax– (53) 3228-7929

Registro no CREA-RS 11.5411

Registro no CRQ 5ª Região 3.724

2.2. Equipe técnica

Wagner Gerber – Químico – CRQ - 5ª Região 05100705, Doutor em Ciências Ambientais

Michel Gerber – Engenheiro Agrônomo, CREA-RS 81.871, Mestre em Tecnologia Agroindustrial

Elias Dummer – Engenheiro Civil, CREA - RS 146.890

Fabiane Caldasso – Química Ambiental CRQ - 5ª Região 05101605

Rodrigo Thiel Lopes – Tecnólogo em Geoprocessamento CTF 3.379.411

Daniel Rodrigues – Tecnólogo em Saneamento Ambiental.

Fabiano de Almeida – Biólogo e Tecnólogo em Gestão Ambiental.

3. Introdução

La demanda de desarrollar un humedal construido que pueda operar en régimen de Centinela de un efluente industrial tratado en nivel terciario es única en el mundo, por lo cual no se encuentran antecedentes que se puedan reproducir. Pero la tecnología de humedales construidos para diversos usos permite una adecuación para ser usado como centinela, aprovechando los conocimientos existentes y agregando conceptos de otras áreas de la ingeniería, de la química y de la botánica.

En este caso la creación de un Humedal Centinela, HC como pasaremos a llamarlo, no es una copia del Humedal Río Cruces porque sería imposible construir en espacio reducido, toda la complejidad de fenómenos que ocurren en el humedal natural. En el concepto de centinela, es necesario concentrar la atención solamente en el efluente que se alimenta al humedal, minimizando los efectos climáticos en el funcionamiento del HC. Un clon del Humedal no sería un Humedal Centinela, aunque fuera posible copiarlo. Como el agua de río también contiene en su composición el efluente, pasamos a hablar solamente de los “efluentes” que alimentan el HC.

Sería complejo reproducir un humedal idéntico y preparar una alimentación con efluente de la planta Valdivia, más el agua de río y de todas las contribuciones después del difusor del efluente de la planta hasta la llegada en el humedal Río Cruces. Todavía es necesario alimentarlo con efluente terciario puro en una línea y mantener otra con agua del río bombeada desde el punto de monitoreo E2 que se ubica 1.300 m aguas abajo del difusor de efluente. Como son 2 tipos de alimentación, agua de río con efluente y efluente terciario puro, pasaremos a usar solamente la palabra efluente de alimentación del HC.

El concepto de humedal centinela es de un INDICADOR y de una ALERTA de la calidad del efluente, en relación con algún problema que pueda afectar al humedal natural. Una cuestión

importante es la dimensión del Humedal Centinela, y cuál es la relación entre el caudal del efluente de planta Valdivia y el caudal de alimentación del Humedal. Se adoptaron los conceptos estadísticos más exigentes para definición de la escala del Humedal Centinela.

El Humedal Centinela es un humedal y aunque centinela tendrá alguna remoción de algunos parámetros de monitoreo del efluente, por lo menos los sólidos y DQO. Esto es parte integrante del funcionamiento de los humedales y no un objetivo de HC. El consumo de algunos nutrientes y material orgánico también debe ser evaluado como el proceso natural que ocurre en todos humedales, como indicador de desempeño y también como centinela. También hay que considerar que algunos parámetros pueden incrementarse, como fósforo, nitrógeno y metales por ejemplo, debido al soporte utilizado, las reacciones en el humedal y factores climáticos.

4. Antecedentes sobre Humedales Construidos

4.1. Introducción

La utilización de plantas acuáticas en estaciones depuradoras de aguas residuales se ha estudiado y aplicado desde hace varios años, con el objetivo de obtener una tecnología de tratamiento limpia, eficiente y con un consumo mínimo de energía. Se conocen humedales como destino final de efluentes desde hace más de 200 años. Para tratamiento de efluentes se tiene registro de Humedales en tratamiento de efluentes sin criterios de diseño desde el año 1912 en USA y con criterios de proyecto en Alemania 1974 y USA en 1973. En América Latina existen experiencias desde la década de 80. Básicamente, se encuentran dos tipos de sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizando macrófitas acuáticas, las Lagunas con macrófitas acuáticas sumergidas, flotantes y los *Wetlands* o Humedales Construidos.

La tecnología utilizada en los Humedales Construidos es totalmente diferente a los sistemas que usan plantas flotantes en lagunas de tratamiento. Macrófitas acuáticas son plantas que proyectan sus raíces en el soporte y mantienen sus principales superficies fotosintéticas proyectadas por encima del nivel del agua, de forma permanente o casi todo el tiempo.

El sistema con plantas acuáticas emergentes presenta características similares a un humedal natural. Todavía, no se permite el uso intencional de los humedales naturales para el tratamiento de aguas residuales por los efectos nocivos que tienen sobre la flora y la fauna, sin el debido monitoreo y el tamaño correcto. Por lo tanto, los estudios y las investigaciones se llevan a cabo en todo el mundo, en busca de datos en relación con los sistemas de construcción y monitoreo que mantienen las mismas características de los humedales naturales, pero pueden recibir una mayor carga del efluente en un área más pequeña.

En sistemas de lagunas con plantas emergentes, el nivel de agua y las tasas de flujo pueden ser controlados y monitoreados sin problemas. El tipo de soporte y la vegetación se seleccionan con base en la capacidad para adaptarse al sistema y la remoción de los parámetros del efluente. El sistema de tratamiento se adapta a las condiciones específicas, lo que permite su construcción en casi cualquier tipo de terreno y clima, llegando a tener altas tasas de remoción, incluso a temperaturas muy bajas, en la zona de las raíces de las plantas.

4.2. Ventajas del Sistema con Plantas Acuáticas Emergentes

Los humedales o sistemas de tratamiento con plantas emergentes presentan algunas ventajas en comparación con los sistemas convencionales de tratamiento:

- Bajo costo de implementación y facilidad de construcción;
- Bajo costo operacional y bajo consumo de energía;
- Menor área necesaria en comparación a sistemas naturales de tratamiento, pero mayor a sistemas compactos;
- Alta eficiencia en la remoción de parámetros específicos de los efluentes;
- Posibilidad de adecuación a la función;

- Aplicable desde la Patagonia hasta Alaska con los mismos géneros de plantas;
- Muy baja generación de lodo en exceso y baja generación de biomasa en exceso, en sistemas sub superficiales;
- Casi no hay generación de olor;
- Buena tolerancia de las plantas a salinidad y variaciones de pH;
- Flexibilidad en cuanto al tipo de efluente a ser tratado.

4.3. Aplicaciones del sistema

- Efluentes de minerías;
- Efluentes sanitarios;
- Drenaje de vertederos y lixiviados;
- Efluentes industriales;
- Efluentes de ultra y nano filtración
- Aguas pluviales;
- Drenaje de aguas superficiales;
- Aguas superficiales;
- Aguas subterráneas;
- Calificación biológica de aguas y efluentes.

4.4. Tipos de sistemas

Los sistemas de tratamiento con plantas emergentes son estudiados en todo el mundo, donde reciben denominaciones específicas. En el Reino Unido, se utilizan *Wetlands* o *Root Zone*. En Alemania, se utiliza el acrónimo PKA (PflanzenKläranlage) y Brasil, hay varios nombres, algunos como Terras Úmidas, Banhados Construídos, Zona de Raíces y plantas acuáticas emergentes.

Existen dos grandes grupos de sistemas tratamiento que utilizan plantas acuáticas emergentes, los sistemas con Superficie de Agua Libre (SAL) y los sistemas de Flujo Sub superficial (FSS).

En sistemas acuáticos de superficie (SAL), el efluente fluye sólo en la superficie, como en humedales naturales. Las pérdidas por evapotranspiración son significativas, dependiendo del régimen hidráulico y las condiciones climáticas. En estos sistemas, la profundidad del agua varía desde 0,4 m a 2,0 m, con una media de 1,0 m. Los sistemas SAL pueden ser naturales, utilizando suelo natural o construido, donde puede ser utilizado un revestimiento plástico o de materiales de arcilla para el sellado se utiliza la tierra.

En los sistemas de Flujo Sub-superficiales (SFS), el efluente fluye por una matriz porosa de gravilla, donde crecen las raíces de las macrófitas emergentes. Las pérdidas de agua por evapotranspiración son también significativas. Los sistemas de Flujo Sub-Superficial (FSS) pueden ser divididos en dos tipos, los sistemas de Flujo Horizontal (SFH) y los sistemas de Flujo Vertical (SFV). Existe también el Sistema Combinado o Híbrido, que consiste en el uso conjunto del flujo horizontal y sistemas de flujo vertical, construido en diferentes células del mismo sistema de tratamiento.

4.4.1. Sistema de Flujo Horizontal (SFH)

Este sistema se llama flujo horizontal porque el efluente pasa lentamente por el soporte y se mueve horizontalmente desde la entrada hasta la salida del sistema, pasando por zonas aeróbicas, anaeróbicas y anóxicas. En el rizoma alrededor de las raíces y los rizomas de las plantas, se forma una zona en parte aeróbica. En esta zona, hay una intensa vida microbiana, favorecida por la capacidad de transporte del oxígeno atmosférico por las plantas emergentes, por sus hojas y tallos hasta la zona de la raíz. Es en esta zona que ocurre la oxidación de la materia

orgánica por bacterias heterótrofas, la oxidación del amoníaco a nitrito y nitrato por bacterias autotróficas y la volatilización de amoniaco.

En la zona anóxica, la conversión de este nitrito a nitrato y después a gas nitrógeno por las bacterias heterotróficas y la oxidación de la materia orgánica ocurre usando nitrato como aceptor de electrones. La zona anaeróbica, las tasas de remoción de la DBO se logra debido a la alta capacidad de descomposición de bacterias anaeróbicas.

Sistemas de flujo horizontales tienen una limitación en el suministro de oxígeno, y las macrófitas no pueden suministrar todo el oxígeno requerido por la carga del efluente, entonces ni siempre son capaces de nitrificar en estas condiciones. Estas tasas de nitrificación son mejores en sistema de flujo vertical (SFV), que tienen una mayor tasa de transferencia de oxígeno. Principales características de los Sistema de Flujo Horizontal (SFH):

- En el área alrededor del rizoma, hay una gran proliferación de poblaciones de bacterias aerobias y anaerobias. El proceso aerobio ocurre cerca de las raíces y rizomas, mientras que la anaerobia y los procesos anóxicos se producen en zonas poco distantes de los rizomas;
- En la superficie del soporte de los sistemas aparecen materiales como pajas, hojas y ramas secas, que se degradan en condiciones aeróbicas, lo que puede aumentar la concentración de sólidos en suspensión en el efluente final.

La Figura 1 presenta un SFH típico.

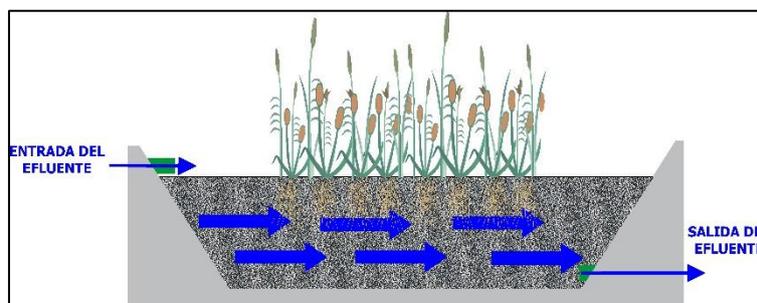


Figura 1 – Sistema de Flujo Horizontal (SFH) Típico

4.4.2. Sistemas de Flujo Vertical (SFV)

El efluente se distribuye de manera intermitente sobre la superficie de la camada soporte, de manera uniforme en toda la superficie. Después, el efluente se drena gradualmente a través de todas los estratos del soporte, verticalmente. La velocidad de flujo debe ser controlada para asegurar que el efluente fluye hacia abajo antes de una nueva distribución, permitiendo que los espacios vacíos se llenen de nuevo por el aire. Este procedimiento de inundaciones intermitente conduce a una buena tasa de transferencia de oxígeno. Las bacterias responsables de la eliminación de DBO y la nitrificación están presentes en todos los estratos del soporte. Principales características del Sistema de Flujo Vertical (SFV):

- Los principios de SFV son similares al de un filtro biológico rústico;
- El soporte para las plantas consiste en sucesivas capas de arena, grava y piedras grandes. Macrófitas se plantan en la capa de arena gruesa, que forma la superficie de la camada soporte;
- El control del caudal es fundamental para lograr tasas de transferencia de oxígeno deseadas. La camada soporte no debe estar saturada de efluentes;
- Las piedras más grandes se distribuyen generalmente en la parte inferior de la cama en todo el sistema de drenaje.
- La **Figura 2** presenta un SFV típico:

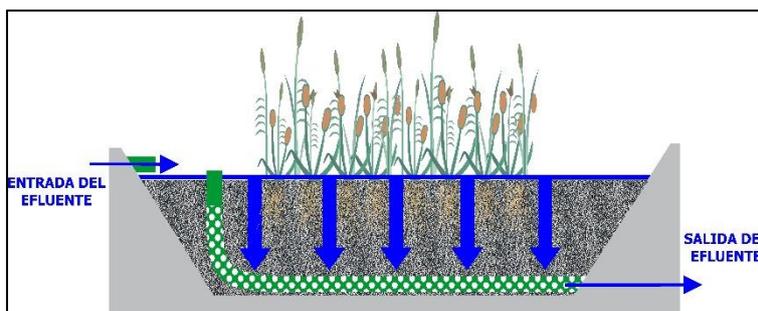


Figura 2: Sistema de Flujo Vertical (SFV) Típico

4.4.3. Sistema Combinado (Híbrido)

La capacidad de oxidar el amoníaco en nitrato de SFH no es muy buena, a excepción de los tanques o lagunas con gran tiempo de retención. Este hecho puede explicarse por la capacidad de transferir oxígeno es limitada. Niveles de oxígeno disuelto en el efluente son bajos, pero suficiente para la oxidación de la materia orgánica, pero en estas circunstancias no habrá oxígeno restante para oxidar el nitrógeno de amoníaco a nitrato. El SFV, a su vez, tiene una gran capacidad para suministrar el oxígeno, por lo que se recomienda para promover la nitrificación. Sin embargo, este sistema no tiene una gran capacidad para la oxidación de la materia orgánica.

Los sistemas híbridos o combinados fueron diseñados para corregir las deficiencias señaladas anteriormente. Así, un sistema híbrido se compone de varias células, que por lo general son las primeras células de Flujo Horizontal (SFH) para recibir la más alta carga orgánica, células intermedias son de Flujo Vertical (SFV) para promover la nitrificación, y la última células de flujo son Horizontal (SFH) de nuevo para realizar la desnitrificación.

4.5. Factores de Influencia

Los principales factores que influyen en el rendimiento de los sistemas de plantas acuáticas emergentes son el soporte, el régimen hidrológico y la vegetación. La interacción de los tres factores es realmente lo que determina la eficacia de la eliminación de los contaminantes de los efluentes. La eliminación de nutrientes, materia orgánica y patógenos de los efluentes está relacionada a los factores:

- Crecimiento de las plantas;
- Densidad de las plantas por unidad de área;
- Capacidad de transferencia de oxígeno para la zona de raíces;
- Capacidad de remoción de nutrientes por las plantas;
- Composición del efluente;
- Régimen hídrico adoptado y formato de los tanques o lagunas;
- Materiales de la camada soporte;
- Clima.

4.5.1. Composição del soporte

La composición del soporte es fundamental para la construcción del Sistema con Plantas Emergente. El tipo y la textura de los estratos del soporte afectan física, química y biológicamente a los mecanismos de remoción de los constituyentes del efluente.

En los sistemas de Flujo Sub-superficial (FSS), se utiliza arena gruesa de río, grava – diversas granulometrías, gravilla rodada o chancada, piedra calcárea – diversas granulometrías, Escoria de fundición o piedra volcánica como camada soporte.

Las características deseadas de los materiales de la camada soporte son:

- **Permeabilidad:** permitir el libre flujo de los efluentes entre los materiales que componen la camada soporte;
- **Soporte de plantas adultas:** debe proporcionar el apoyo necesario para el desarrollo de las plantas a la edad adulta;
- **Promover el desarrollo** de las raíces soportar las plantas y auxiliar el tratamiento del efluente;
- **Neutralidad:** cada material seleccionado no debe influir negativamente en las características del efluente utilizado;
- **Capacidad de filtración:** la distribución de las capas del soporte está directamente relacionada con la capacidad de remoción, sistema principalmente de nutrientes;
- **Facilidad de adquisición Instalación y manejo:** La facilidad de adquisición de los materiales empleados es crucial para su aplicabilidad al proyecto. Los materiales utilizados deben ser manejables, sin características perjudiciales para los trabajadores de la construcción y la operación del sistema.

4.5.2. Régimen Hidrológico

Un estudio hidrológico incluye la evaluación del flujo interno de agua de la superficie, la precipitación, el flujo interno de agua del suelo, la evapotranspiración, la salida de las aguas superficiales y las filtraciones. En cuanto a las respuestas de la vegetación en el régimen de agua, que generalmente se dice que las macrófitas tienen plasticidad extrema, que puede ser fisiológica, morfológica y fenológica. El período hídrico, todavía, influye en las propiedades de las macrófitas y también se considera como un factor de selección de especies, afectando directamente su distribución espacial y temporal

4.5.3. Vegetación

La vegetación llamada de macrófitas emergentes tiene un papel decisivo en la remoción de los constituyentes del efluente. Su característica principal es capturar el oxígeno de la atmósfera a través de sus hojas y tallos, y el transporte a la zona de las raíces. Macrófitas emergentes tienen un tejido de soporte más resistente que las macrófitas flotantes, por lo que tienen una mayor capacidad de retención de nutrientes y la eliminación.

Durante el invierno las plantas pierden las hojas, pero las raíces y rizomas producen energía para el nuevo crecimiento en la primavera. Las macrófitas emergentes más utilizadas en los sistemas de tratamiento en Europa y en Estados Unidos incluyen la *Typha* sp, *Phragmites* sp. y *Scirpus* sp .

4.6. Mecanismos de Remoción

La remoción de los principales contaminantes del efluente se obtiene a través de procesos físicos, químicos y bioquímicos, que se pueden resumir como se indica en el Cuadro 1.

Cuadro 1: Principales mecanismos de remoción

Parámetros	Mecanismo de remoción
Sólidos Suspendidos Totales	Sedimentación/Filtración
DBO ₅	Degradación microbiológica (anaeróbica y aeróbica) Sedimentación (acumulación de material orgánico)
Nitrógeno	Nitrificación/Desnitrificación Volatilización del amonio Absorción por las raíces
Fósforo	Inmovilización (reacciones de adsorción – precipitación con aluminio, hierro, calcio y otros minerales del suelo. Absorción por las raíces
Patogénicos	Sedimentación/Filtración Radiación UV Excreción de antibióticos por la planta y bacterias.

La retirada de la biomasa de plantas emergentes, al menos una vez por año o en períodos predeterminados, aumenta la eficiencia de remoción de nutrientes. En los meses de invierno, las partes aéreas de las plantas se secan, quedando partes activas en el soporte, lo que hace que las plantas se mantengan vivas

5. Descripción del Humedal Centinela - HC

5.1. Descripción

El diseño del Humedal Centinela permite alertar cambios significativos asociados a los parámetros de monitoreo del efluente, principalmente. Se prepararán 6 niveles de alertas que se presentarán más adelante en detalle. Todas las alertas necesitan de investigación complementaria de las causas y también investigar si el fenómeno ocurrido en el HC puede reproducirse en el humedal natural. Algunas alertas necesitan de investigación complementar en el Río o en el Humedal Natural, junto con los programas de monitoreo existentes.

Debe considerarse que el HC es un sistema natural, necesita de tiempo para adaptarse y reproducir todos los fenómenos necesarios. Se requiere un tiempo estimado de 4 meses para la puesta en marcha del HC y un año para completarse primer ciclo biológico de las plantas. El HC está diseñado para concentrar la atención solamente en el efluente, donde los cambios de características de éste puedan ser relacionados con los cambios del comportamiento del Humedal Centinela y también reducir los efectos que provocan los cambios climáticos, cambios de calidad del agua del Río y fenómenos asociados a la cuenca hidrográfica. Para concentrarse en el efluente el HC se debe evitar superficies de agua libre por tiempos prolongados y los procesos ambientales asociados.

El concepto de Humedal Centinela agrega los principales avances de la tecnología constructiva y del conocimiento reciente de los procesos internos de los humedales construidos y utiliza los criterios de diseño del “estado de la arte” en el mundo. Este diseño de Humedal Centinela que se propone puede simular todos los flujos posibles en los humedales construidos: flujo subsuperficial, con flujo horizontal, flujo vertical descendiente y flujo vertical ascendente. También puede operar inundado con 20-30 cm de agua por períodos determinados de tiempo, si fuera necesario. Utiliza la tecnología de los sistemas de ventilación, que pueden controlar los gases en el sistema, controlar el pH, controlar el potencial redox y el oxígeno disuelto. Con todas estas particularidades, permite simular las principales condiciones del humedal natural y alertar cambios significativos en el funcionamiento del Humedal Centinela.

Como deberá operar con dos líneas de HC, aunque no comparables entre sí, permite obtener respuestas del comportamiento real con efluente terciario puro y agua de río del punto E2, que contiene efluente terciario.

5.2. Características del HC

El humedal centinela deberá utilizar especies de plantas representativas del Humedal Río Cruces y ya están identificadas las especies: *Scirpus californicus*, *Scirpus americanus*, *Cyperus eragrostis*, *Typha angustifolia*, *Typha domingensis*; *Juncus bulbosus*, *Juncus procerus*, *Alisma plantago*, *Juncus acutus*, *Cyperus eragrostis* y otras.

Para los soportes se eligió gravilla rodada y piedra volcánica clasificadas en granulometrías, con definición de la composición del soporte para no incrementar parámetros en el efluente y para garantizar una larga vida al Humedal Centinela, reduciendo el *Clogging*. Se considera hacer un lavado del soporte antes de ponerlo en el humedal para reducir el aporte de componentes disponibles para las reacciones y materiales muy finos. En relación a la granulometría se usará preferentemente como protección gravilla rodada de 1 hasta 3" y como soporte gravilla rodada de 1/2, 3/8 y 3/4". Para los sistemas de entradas y salidas puede usarse otras granulometrías.

El Humedal Centinela diseñado tiene las siguientes principales características:

- Permite el control del caudal y variaciones de carga hidráulica;
- Permite simulación de flujo vertical ascendente, flujo vertical descendente y flujo horizontal;
- Permite simular las condiciones del humedal natural;
- Permite por periodos determinados de tiempo la operación con 20-30 cm de superficie de agua libre;
- Permite el control de potencial redox y aeración. Con simulación de ambientes oxidantes, condiciones anóxicas y anaerobias, cuando sea necesaria;
- Incorpora los conceptos más modernos de anti *Clogging*, granulometría controlada y de conductividad hidráulica del soporte;
- Incorpora los modernos sistemas de ventilación que también permiten controlar la aeración e intercambiar los gases.

Ventajas:

- Permite el control del caudal y variaciones de carga hidráulica;
- Permite simular un caudal de alimentación de 1% del caudal total, en cada laguna de forma separada, si necesario;
- Permite simular tiempos de detención de 1 hasta 5 días, simular flujos vertical y horizontal;
- Permite inundaciones por periodos controlados de tiempo;
- Ocupa un área junto al sistema de tratamiento de efluentes existente.

Desventajas:

- Necesita de inversión en sistemas de automatización y monitoreo;
- No tiene beneficios económicos para la operación.
- Los principales géneros de plantas utilizadas en los humedales construidos se encuentran en el Santuario de la Naturaleza, donde se retiraran desde sectores previamente seleccionados;
- Las plantas elegibles deben ser plantas que viven en el Santuario de la Naturaleza, pero que pueden cumplir todo el ciclo de vida en el Humedal Centinela, recibiendo el efluente terciario puro y no estar asociadas a la resistencia da planta al efluente, sino a cumplir el ciclo biológico.

5.3. Diagrama de proceso

El sistema de Humedal Centinela tiene 2 líneas idénticas en diseño y composición, aunque no comparables, son necesarias a la interpretación de los fenómenos.

La Figura 3 presenta la línea del Humedal Centinela que recibirá el efluente terciario puro y la Figura 4 presenta la línea del Humedal Centinela que recibirá agua de río del punto E2.

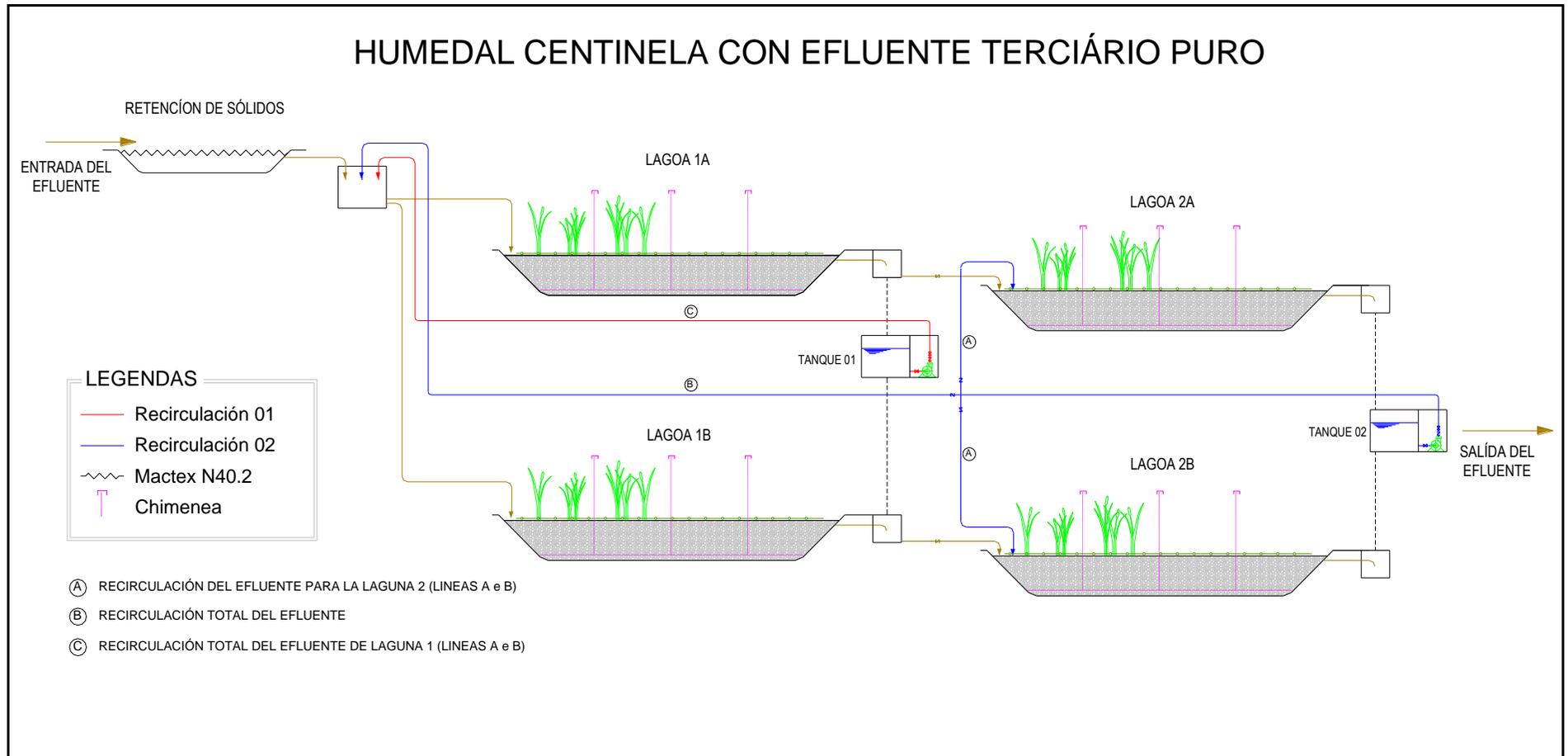


Figura 3: Humedal Centinela con efluente terciario puro

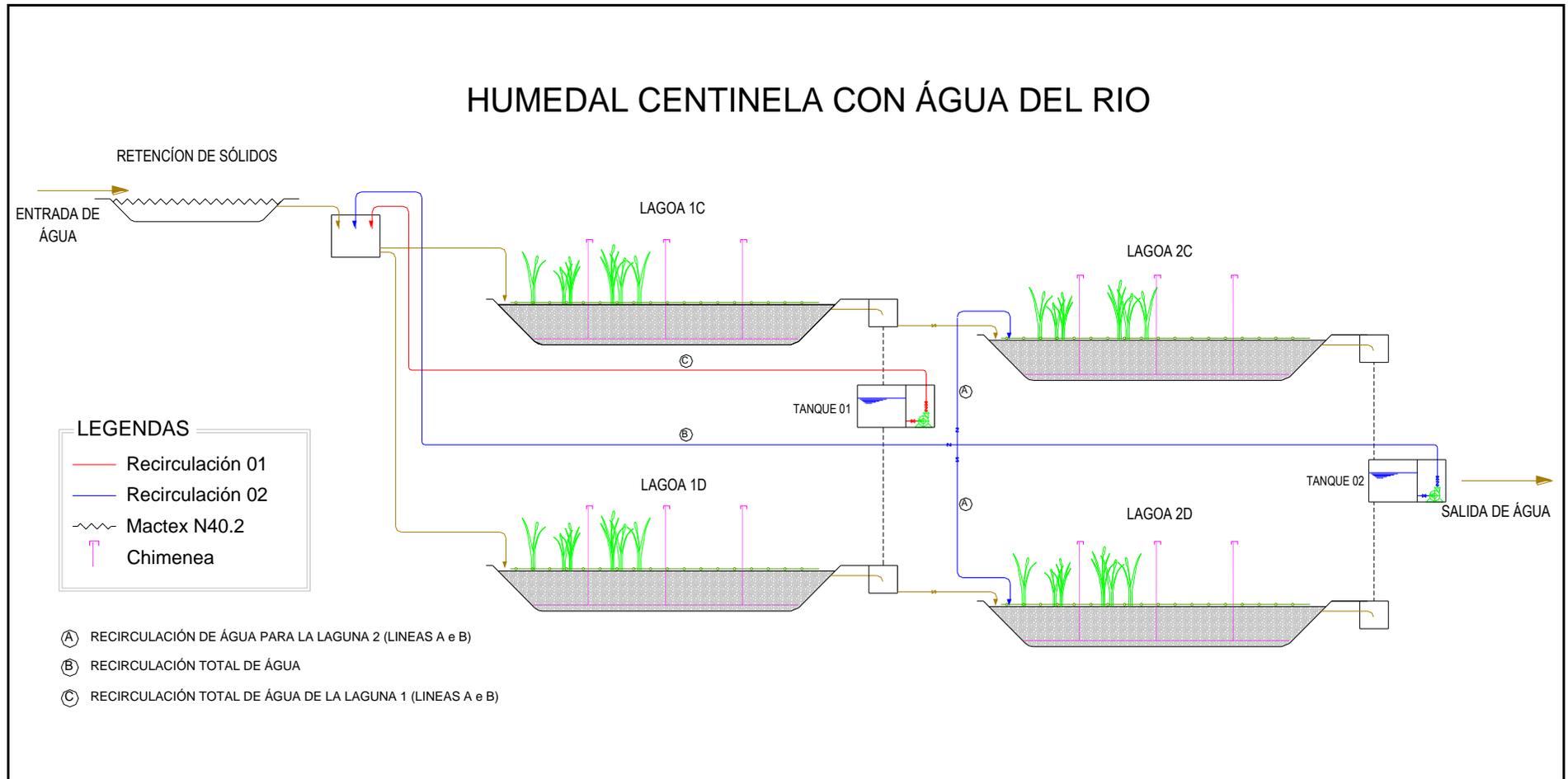


Figura 4: Humedal Centinela con agua del río

6. Projeto del Humedal Centinela - HC

6.1. Dados para el dimensionamiento

6.1.1. Efluente terciario

Para el diseño del Humedal Centinela se utilizaron los datos de monitoreo del efluente terciario de los últimos 5 años, y siempre usando los criterios de cálculo más conservadores, basados en los valores máximo del período. El Cuadro 2 presenta dos datos promedios e máximos del efluente terciario con base en los datos del monitoreo de ARAUCO de 2009 – 2013, y el límite de la RCA.

Cuadro 2: Caracterización del efluente terciario.

Parámetros	Unidad	Promedio	Máximo	Limites RCA
Caudal	L.s ⁻¹	673	883,31	1.150,0
pH		6,64	8,26	6 – 8,5
Temperatura	° C	27,4	29,68	30,0
Conductividad	µS.cm ⁻²	2.187	3.060,95	4.000
Coliformes Fecales	NMP.100mL ⁻¹	9,5	1.600,00	1.000
DBO	mg.L ⁻¹	2,34	39,20	50
DQO	mg.L ⁻¹	51,26	175,00	313
Solidos sostenidos totales	mg.L ⁻¹	6,45	21,20	50
Fósforo Total	mg.L ⁻¹	0,02	0,22	0,33
Nitrógeno total	mg.L ⁻¹	1,01	4,10	4,2
Color Verdadero	UC	1,58	5,48	20
AOX	mg.L ⁻¹	0,843	1,80	7,60
Cloratos	mg.L ⁻¹	0,194	9,15	17,00
Sulfato	mg.L ⁻¹	0,569	0,88	0,60
Cloruro	mg.L ⁻¹	0,234	0,37	0,30
Aluminio	mg.L ⁻¹	0,001	0,00	0,001
Ac. Resínicos	mg.L ⁻¹	0,008	0,04	0,330
Ac. Grasos	mg.L ⁻¹	0,013	0,11	0,270
Clorofenoles	mg.L ⁻¹	0,051	0,05	0,067
Arsenio	mg.L ⁻¹	0,001	0,00	0,001
Cadmio	mg.L ⁻¹	0,001	0,01	0,010
Cobre total	mg.L ⁻¹	0,006	0,06	0,070
Cromo	mg.L ⁻¹	0,005	0,03	0,050
Hierro Disuelto	mg.L ⁻¹	0,006	0,03	1,300
Mercurio	mg.L ⁻¹	0,001	0,00	0,005
Molibdeno	mg.L ⁻¹	0,006	0,01	0,050
Níquel	mg.L ⁻¹	0,003	0,01	0,060
Plomo	mg.L ⁻¹	0,001	0,01	0,030
Zinc	mg.L ⁻¹	0,046	0,20	1,00
Fenol	mg.L ⁻¹	0,006	0,06	

Manganeso	mg.L ⁻¹	0,173	0,93	
Sodio	mg.L ⁻¹	461,54	655,50	
Cloro Libre Residual	mg.L ⁻¹	0,064	0,54	
Sólidos sedimentables	mg.L ⁻¹	0,100	0,10	
Turbiedad	NTU	4,158	8,00	
Dioxina	mg.L ⁻¹	0,000	0,00	
Fósforo Soluble	mg.L ⁻¹	0,016	0,03	
Nitratos	mg.L ⁻¹	0,125	0,22	
Nitritos	mg.L ⁻¹	0,008	0,03	
N-Amoniacal	mg.L ⁻¹	0,303	2,04	
Pentaclorofenol	mg.L ⁻¹	0,000	0,00	
SS Orgánico	mg.L ⁻¹	3,763	7,00	
SS Inorgánico	mg.L ⁻¹	3,079	5,60	
SD Orgánico	mg.L ⁻¹	78,89	188,00	
SD Inorgánico	mg.L ⁻¹	1.322,39	1.589,50	
Ntotal-Kjeldhal	mg.L ⁻¹	0,851	2,30	
N-Orgánico	mg.L ⁻¹	0,624	1,14	
Bario	mg.L ⁻¹	0,018	0,03	
Berilio	mg.L ⁻¹	0,007	0,01	
Flúor	mg.L ⁻¹	0,047	0,32	
Litio	mg.L ⁻¹	0,015	0,07	
Selenio	mg.L ⁻¹	0,00	0,00	
Vanadio	mg.L ⁻¹	0,10	0,10	
Cianuro	mg.L ⁻¹	0,00	0,00	
Boro	mg.L ⁻¹	0,20	0,20	
Cobalto	mg.L ⁻¹	0,01	0,01	
Organofosforados	mg.L ⁻¹	0,27	0,54	
Organoclorados	mg.L ⁻¹	0,10	0,20	

6.1.2. Agua de río – punto E2

Para el caso de agua de río se consideraron los valores máximos de los últimos 4 años y manteniendo la misma superficie, plantas, soporte y régimen de flujo del Humedal Centinela que recibe efluente terciario. No se calcula eficiencia de depuración, solamente consumo de nutrientes para mantener la vida en el HC.

El Cuadro 3 presenta dos datos medios e máximos de la cualidad de agua de río Cruces en el punto E2 con base en los datos de monitoreo de Arauco 2009 – marzo 2014.

Cuadro 3: Caracterización de la agua del rio en punto E2.

Parámetros	Unidad	Promedio	Máximo
Temperatura	° C	14,61	25,00
Penetración de luz	m	0,56	1,30
Color Verdadero	UC	7,29	15,00
Productividad		4,49	17,19
Turbiedad	NTU	6,19	22,00
pH		7,16	7,75
Conductividad	$\mu\text{S.cm}^{-2}$	97,72	236,00
Sodio	mg.L^{-1}	16,68	42,26
Oxígeno disuelto	mg.L^{-1}	10,43	12,10
DQO	mg.L^{-1}	102,76	134,00
DBO	mg.L^{-1}	6,58	22,00
Cloruro	mg.L^{-1}	1,39	4,40
Sulfato	mg.L^{-1}	12,57	20,50
Fósforo soluble	mg.L^{-1}	16,20	45,00
Fósforo Total	mg.L^{-1}	11,90	40,00
N-Amoniacal	mg.L^{-1}	0,03	0,07
Nitratos	mg.L^{-1}	0,54	1,16
Nitritos	mg.L^{-1}	0,01	0,01
N-Orgánico	mg.L^{-1}	0,03	0,09
Nitrógeno total	mg.L^{-1}	0,13	0,26
Solidos disueltos totales	mg.L^{-1}	0,30	0,60
SD Orgánico	mg.L^{-1}	4,45	21,80
SD Inorgánico	mg.L^{-1}	79,90	295,00
Hierro soluble	mg.L^{-1}	29,10	133,00
Flúor	mg.L^{-1}	50,80	212,00
Manganeso	mg.L^{-1}	0,05	0,11
Zinc	mg.L^{-1}	0,02	0,06
AOX	mg.L^{-1}	0,01	0,03
Ac. Grasos	mg.L^{-1}	0,00	0,02
Coliformes Fecales	NMP.100mL^{-1}	27	92

6.2. Dimensionamiento Humedal Centinela

6.2.1. Efluente terciario

El resumen del dimensionamiento del HC del efluente terciario es presentado en Cuadro 4

Cuadro 4: Resumen del dimensionamiento del HC - terciario

Descripción	Valor	Unidad
Área útil adoptada	5.000	m ²
Profundidad útil	0,8	m
Volumen total	4.000	m ³
Volumen útil	2.000	m ³
Caudal diario	600	m ³ .d ⁻¹
Tiempo de detención	3,3	d
Número de lagunas	4	un.
Superficie de cada laguna	1.250 (1.271)	m ²
Volumen total del soporte en cada laguna	1.000	m ³
Ancho total de cada laguna	28,5	m
Largo total de cada laguna	44,6	m

6.2.2. Agua del río – punto E2

El resumen del dimensionamiento del HC para el agua del río – punto E2 es presentado en Cuadro 5

Cuadro 5: Resumen del dimensionamiento del HC – agua de río E2

Descripción	Valor	Unidad
Área útil adoptada	5.000	m ²
Profundidad útil	0,8	m
Volumen total	4.000	m ³
Espacio vacíos	50	%
Volumen útil	2.000	m ³
Caudal diario	600	m ³ .d ⁻¹
Tempo de detención	3,3	d
Número de lagunas	4	
Superficie de cada laguna	1.250 (1.271)	m ²
Volumen total del soporte en cada laguna	1.000	m ³
Ancho total de cada laguna	28,5	m
Largo total de cada laguna	44,6	m

6.3. Balance hídrico del Humedal Centinela

Con base en los datos de Arauco - Planta Valdivia (1971 – 2013), fue simulado el balance hídrico del HC para el efluente terciario y para el agua de río, donde cada conjunto de 4 lagunas ocupa una superficie de 5.000 m². En el Cuadro 6 se presenta la estimación del caudal promedio y máximo para cada HC – efluente terciario y la estimación para el agua del río, sin considerar la ETP – evapotranspiración potencial.

Cuadro 6: Resumen del balance hídrico del HC.

Meses	Días	Promedio			Máximas		
		P (mm)	I (mm.h ⁻¹)	Q (m ³ .h ⁻¹)	P (mm)	I (mm.h ⁻¹)	Q (m ³ .h ⁻¹)
Enero	30	53,4	0,0741	0,371	185,9	0,2582	1,291
Febrero	28	51,1	0,0761	0,381	147,7	0,2198	1,099
Marzo	31	78,9	0,1060	0,530	247,7	0,3329	1,665
Abril	30	140,8	0,1956	0,978	430,0	0,5972	2,986
Mayo	31	294,1	0,3953	1,977	650,1	0,8738	4,369
Junio	30	332,5	0,4618	2,309	626,4	0,8700	4,350
Julio	31	301,9	0,4058	2,029	587,0	0,7890	3,945
Agosto	31	249,2	0,3349	1,675	517,2	0,6952	3,476
Septiembre	30	156,2	0,2169	1,084	288,6	0,4008	2,004
Octubre	31	126,3	0,1697	0,849	321,4	0,4320	2,160
Noviembre	30	89,0	0,1236	0,618	233,4	0,3242	1,621
Diciembre	31	76,4	0,1027	0,513	316,3	0,4251	2,126
Anuales							

La Figura 5 presenta la variación de caudal promedio y máximo en los meses del año, considerando las precipitaciones medias y máximas.

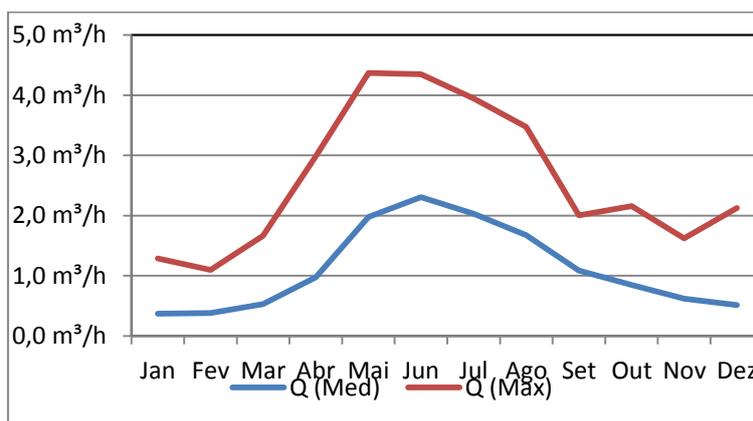


Figura 5: Variación del caudal en los HC.

La contribución de aguas lluvia en los HC, para las condiciones analizadas, es pequeña cuando son comparadas con el caudal de alimentación de 600 m³.d⁻¹. Incluso en situaciones de lluvias críticas, de 37 mm.h⁻¹ (ocurrida en 14/12/2006), el caudal máximo puede ser de 185 m³.h⁻¹. La Figura 6 presenta el gradiente de temperatura y evapotranspiración en el humedal.

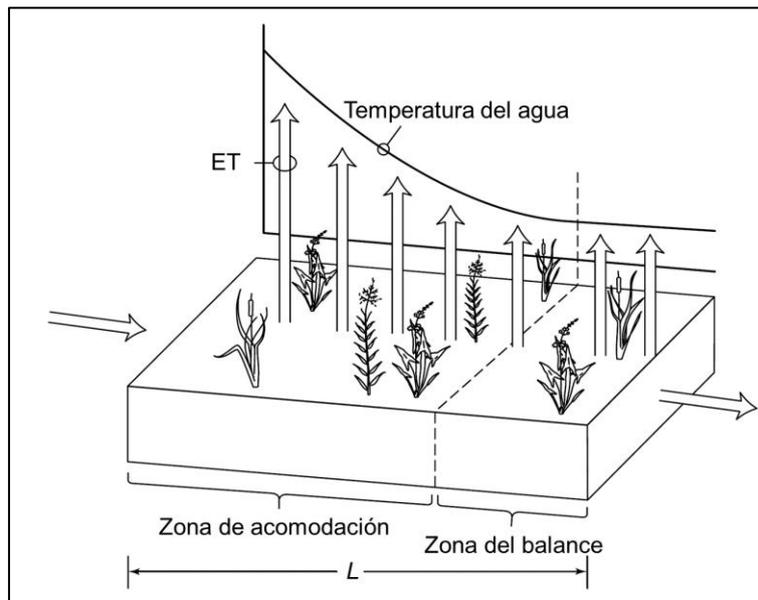


Figura 6: Gradiente de temperatura y evapotranspiración en el humedal.

La Figura 7 presenta los componentes del balance de energía en el humedal.

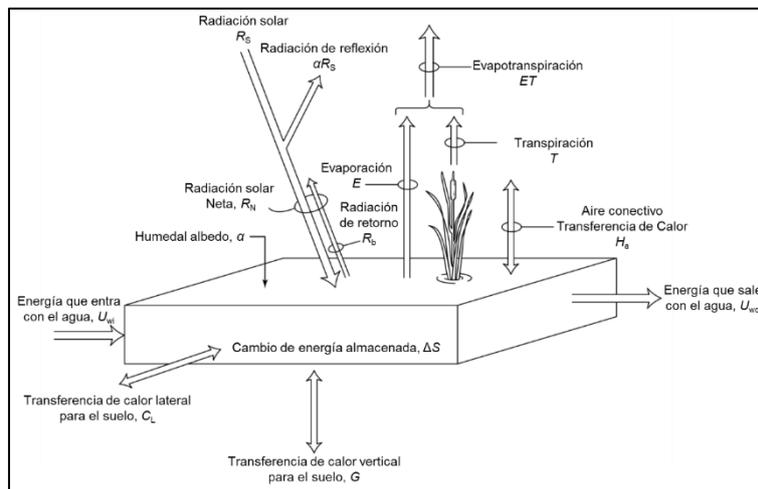


Figura 7: Componentes del balance de energía en el humedal.

7. Programa de monitoreo

7.1. Introducción

El programa de monitoreo está planificado en el primer momento para la puesta en marcha del sistema del Humedal Centinela, con previsión de revisión de los parámetros que se continuarán midiendo al final de la puesta en marcha y en el final del primer año de operación. La revisión del programa de monitoreo está asociada a la mejora del conocimiento de la información proveniente del HC y de la manera como se comporta el HC frente a los cambios en el efluente. El programa de monitoreo puede ser efectuado internamente por el laboratorio de la Planta Valdivia y complementado (en caso de ser necesario) por laboratorio externo. El programa de monitoreo del Humedal Centinela está relacionado con los protocolos de operación y de interpretación de los fenómenos que ocurren en el sistema. Los protocolos están asociados también a las alertas especificadas para el HC.

7.2. Criterios para definición del monitoreo

Para definición de programa de monitoreo de la puesta en marcha del Humedal centinela se utilizaron los siguientes criterios:

- Definición de parámetros de monitoreo y creación de indicadores específicos;
- Adopción de los parámetros de monitoreo tradicionales (físicoquímicos y biológicos) de la industria existente y del ambiente de entorno;
- Elección de organismos indicadores e investigar la distribución en el HC;
- Definición del plan de monitoreo, periodo, frecuencia, parámetros y puntos de muestreo;
- Definición de la realización de muestreos en el efluente, en el soporte, raíces y parte aérea de las plantas, para identificar parámetros específicos, acumulación y migración en el humedal;
- Definición de criterios de evaluación de las plantas emergentes en el humedal, como propagación y formación de semillas;
- Definición del destino final de las plantas y materiales generados en el humedal. Enviar a un vertedero es una alternativa;
- Evaluación de los organismos que migrarán al humedal;
- Evaluación de la calidad biológica del efluente en la salida del humedal y verificar la compatibilidad con la vida existente en el río;
- Complementación y continua actualización de los protocolos operacionales y de interpretación del HC.

7.3. Detalles de muestras, parámetros, puntos de monitoreo período y frecuencia

7.3.1. Tipos de Muestras

Las muestras seleccionadas para la puesta en marcha son Muestras puntuales y de muestreos simples y según el régimen de flujo del Humedal Centinela se definen las muestras. Están planificadas muestras para efluentes, aguas, soportes, plantas y organismos.

7.3.2. Tipos de parámetros

- Parámetros tradicionales de monitoreo del efluente;
- Parámetros tradicionales de monitoreo del agua del río;
- Parámetros para soporte y plantas;
- Organismos indicadores.

7.3.3. Período y frecuencia:

- Ver detalles en los Cuadro 7 hasta Cuadro 12.

7.3.4. Puntos de monitoreo y análisis

- Efluente terciario y agua de río al humedal, entrada de cada laguna del humedal, salida de cada laguna del humedal y puntos de muestreo internos de cada laguna del humedal.
- Cada punto se define según el sistema de alimentación de las lagunas, en serie, paralelo o horizontal y vertical;
- El los procedimientos operacionales se definen como retirar las muestras y regular los flujos.

La Figura 8 representa los puntos de muestreo, donde se presentan las tuberías verticales internas de cada laguna del HC, la entrada y salida del efluente, y también las partes internas de recolección de muestras de plantas y soportes. Para cada laguna del Humedal Centinela se lleva una planilla de control operacional de manera idéntica, donde los números de cada laguna se presentan en la parte superior de la misma.

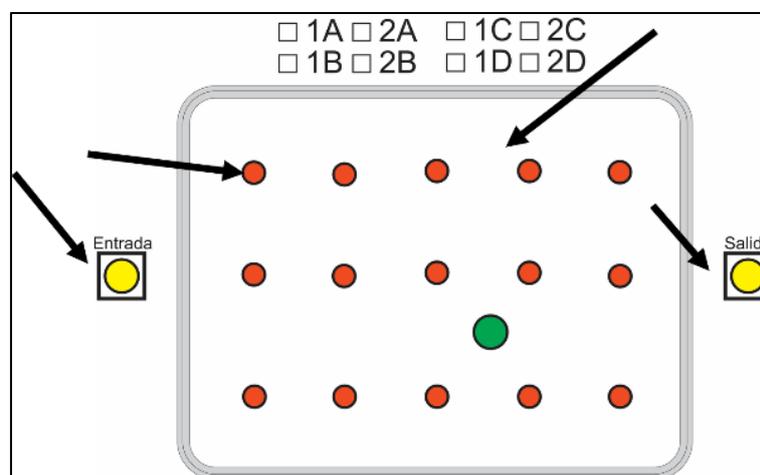


Figura 8: puntos de muestreo en cada laguna del Humedal Centinela

Con este sistema de tuberías se puede construir un perfil vertical y horizontal de cada laguna del humedal Centinela, que sirve para definir el comportamiento de éste asociado al efluente. Permite también monitorear el HC con parámetros de medición instrumental, obteniéndose resultados inmediatos, proporcionando interpretación rápida y segura de los fenómenos que ocurren allí.

La Figura 9 presenta detalles del perfil vertical del Humedal Centinela, con acceso por los tubos verticales de ventilación. Se pueden medir todos los parámetros instrumentales en el perfil vertical.

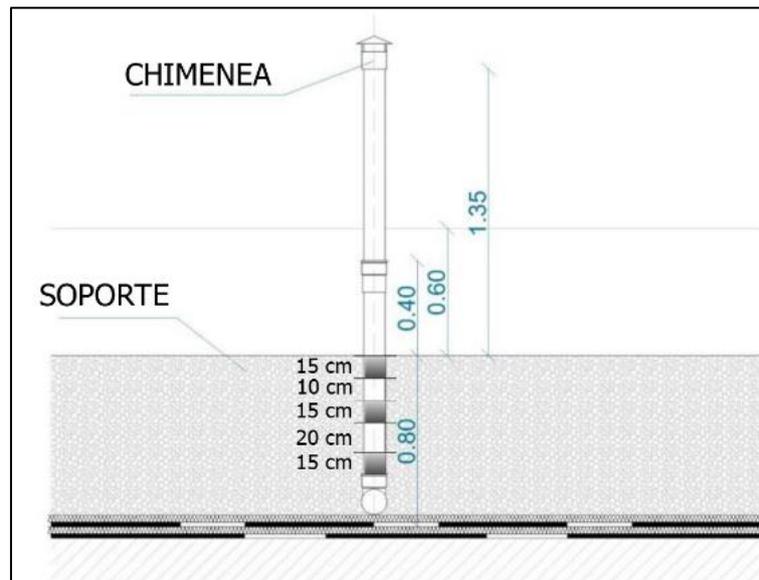


Figura 9: Detalle del perfil vertical del Humedal Centinela

7.3.5. Parámetros de referencia

En la categoría de los parámetros de referencia están los parámetros de medición instrumental que se pueden obtener en el perfil vertical y horizontal del Humedal Centinela. Con solamente 8 parámetros se puede prever gran parte de la variación de los otros parámetros. Con los parámetros potencial redox, oxígeno disuelto, pH, conductividad, salinidad, sólidos disueltos y temperatura se pueden relacionar con el comportamiento de un gran grupo de parámetros resultantes de análisis de laboratorio. Con el instrumento adecuado aún se puede agregar 3 parámetros más: N-amoniaco, Nitratos y Cloruros. Después de operar el Humedal Centinela por un periodo de tiempo, que empieza en la puesta en marcha y se complementa en el primer año de vida, se puede relacionar los parámetros instrumentales con los otros principales parámetros del monitoreo del efluente. El instrumento de medición en el local, medidor multi parámetros también permite la medición en línea de pH, Conductividad, temperatura ubicada de forma fija en las entradas y salidas de las lagunas del Humedal Centinela.

7.3.6. Parámetros asociados:

Los parámetros asociados son los que resultan de análisis de laboratorio, que tienen un plazo para obtener los resultados, normalmente 10 días, pero que se puede asociar con los parámetros de medición instrumental, después de conocer el comportamiento en el HC. Los principales ejemplos son DQO, DBO, SST (orgánico e inorgánico), Coliformes fecales, Color, NT, PT, Cloratos, Sulfatos, Cloruros, Sulfuros, Principales Metales (Al, Fe y Mn), AOX y Clorofenoles.

En la etapa de ingeniería de detalle se definirá la mejor tecnología disponible para medición instrumental on line y la medición instrumental con sondas específicas para los parámetros seleccionados.

7.4. Plan de monitoreo

El plan de monitoreo se implementará en la Fase de puesta en marcha (4 meses) del sistema y después se modificará para la operacional normal del Humedal Centinela, según los resultados. Los puntos de muestreo y tipos de muestras ya están definidos para hasta llegar a completar el primer ciclo biológico.

El monitoreo se divide de la siguiente manera:

- Diario;
- Semanal;
- Mensual;
- Trimestral – estaciones del año;
- Anual;
- Eventos específicos.

7.4.1. Monitoreo diario

Para la puesta en marcha se planificó el monitoreo diario como el más importante, principalmente para la definición del perfil vertical y horizontal de cada laguna del Humedal Centinela y para evaluar las diferencias operacionales del mismo HC entre el día y de la noche producto de la fotosíntesis. Como observaciones y análisis diarios se propone el siguiente:

1. Vegetación:
 - Hojas, material depositado, erosión, vandalismos;
 - Malezas;
 - Daños por animales, insectos o enfermedades;
 - Examen en las plantas, robustez, color, flores, semillas.
2. Acumulación de residuos y detritos:
3. Niveles de agua:
 - Verificación de los dispositivos de entrada y salida, control de nivel;
 - Verificación de los tubos de ventilación.
4. Condiciones climáticas
5. Medición de parámetros con instrumentos:
 - Caudal, pH, conductividad, redox, turbiedad, sólidos disueltos, salinidad, temperatura y oxígeno disuelto.
6. Puntos de muestreo:
 - Entradas y salidas de las lagunas del HC y tubos verticales internos seleccionados.

7.4.2. Monitoreo semanal

1. Vegetación:
 - Nivel de agua en las raíces.
2. Flujo de efluente:
 - Cálculo de evapotranspiración.
3. Puntos de muestreo:
 - Entrada y salida de las lagunas del Humedal Centinela.

4. Medición de parámetros en aguas y efluentes:

- Ver parámetros en el Cuadro 7.

El Cuadro 7 presenta los parámetros semanales de monitoreo para aguas y efluentes.

Cuadro 7: parámetros semanales de monitoreo

Parámetros en aguas y efluentes			
Coliformes fecales	DBO	PT	Color
DQO	SST	NT	

7.4.3. Monitoreo mensual

1. Vegetación:

- Retirar plantas secas y almacenar para análisis y/o destinación final;
- La previsión es destinar los materiales en exceso para el vertedero.

2. Medición de parámetros en aguas y efluentes:

- Seguir el plan semanal y agregar los parámetros mensuales.

El Cuadro 8 presenta los parámetros mensuales de monitoreo para aguas y efluentes.

Cuadro 8: Parámetros mensuales de monitoreo para aguas y efluentes

Parámetros en aguas y efluentes			
AOX	Al	Cloruros	Ca
Cloratos	Fe	Mn	Mg
Sulfatos	Sulfuros	Sodio	Organismos
SD y SS (totales, orgánicos e inorgánicos)			

3. Puntos de muestreo:

- Entrada y salida de las lagunas del Humedal Centinela.

7.4.4. Monitoreo trimestral

Explicar las estaciones del año.

1. Vegetación y soporte:

- Calcular la supervivencia mínima;
- Retirada de muestras de la estación específica del año;
- Medición de diámetro y altura;
- Número de plántulas por m²;
- Cálculo de la cobertura vegetal de cada Humedal y de materia seca en exceso.

2. Parámetros de análisis en plantas y soportes:

Análisis para identificación de organismos. Durante la puesta en marcha se identifican los principales organismos, principalmente bacterias que habitan el humedal y después se eligen los principales para incluir en el monitoreo regular.

El Cuadro 9 presenta parámetros trimestrales de monitoreo para aguas y efluentes.

Cuadro 9: Parámetros trimestrales de monitoreo en plantas y soportes

Parámetros en plantas y soporte		
Al	Fe	Mn
Organismos	ST	NT
PT	Ca	Mg
AOX		

3. Flujo de aguas y efluentes:

- Realizar pruebas de caudal y simular los 4 tipos de flujo.

4. Medición de parámetros en aguas y efluentes:

- Seguir el plan mensual y agregar los parámetros cuatrimestrales;
- Evaluar la evolución de la población de los organismos;
- Parámetros a discutir.

El Cuadro 10 presenta parámetros trimestrales de monitoreo para aguas y efluentes.

Cuadro 10: Parámetros trimestrales de monitoreo para aguas y efluentes

Parámetros en aguas y efluentes		
Organismos	N-Amoniacal	Nitritos
N-Orgánico	NTK	Nitratos
Fósforo Soluble	Cr Total	Cu Total
COT		

7.4.5. Monitoreo anual

El monitoreo anual será revisado en el periodo final de la puesta en marcha.

1. Vegetación:

- Identificación específica de malezas;
- Medición de diámetro y altura;
- Número de brotes por m²;
- Cálculo de la cobertura vegetal de cada Humedal;
- Retirada de muestras de cada tipo de planta con calculo por m² en cada Humedal. Muestras de raíces, tallos, hojas y semillas;
- Secar las muestras por 48h a la temperatura de 38C.

2. Soportes y sedimentos:

- Seguir el plan cuatrimestral e agregar el anual;
- Retirar muestras de los soportes en áreas definidas de los humedales;
- Preparar muestras para análisis, con los parámetros a discutir:

El Cuadro 11 presenta parámetros anuales de monitoreo en plantas y soportes.

Cuadro 11: parámetros anuales de monitoreo en plantas y soportes

Parámetros en plantas y soporte	
EOX	Metales*

*Principales metales: Al, Fe y Mn. Eventuales: As, Cd, Cu, Cr, Hg, Mo, Ni, Pb, Zn

3. Medición de parámetros en aguas y efluentes:

- Seguir el plan cuatrimestral y agregar los parámetros anuales;
- Evaluar la evolución de la población de los organismos.

El Cuadro 12 presenta parámetros anuales de monitoreo para aguas y efluentes

Cuadro 12: parámetros anuales de monitoreo para aguas y efluentes

Parámetros en aguas y efluentes			
Ac. Resínicos	Hg	As	Pb
Ac. Grasos	Ni	Cd	Zn
Toxicidad aguda	Clorofenoles	Cr Total	Cu Total
Mo			

7.4.6. Monitoreo eventual

Eventos específicos sin frecuencia determinada:

- Evaluar los eventos específicos que puedan ocurrir como periodos de sequía prolongada, lluvias en exceso, parada de la planta Valdivia, u otro fenómeno de ocurrencia eventual para una recolección específica de muestras o realización de análisis;
- Identificación complementaria de alguna alarma asociada al monitoreo del rio o del humedal natural;
- Identificación de la vida silvestre que pueda migrar para los Humedales, principalmente pájaros;
- Evaluar y controlar los mosquitos.

7.4.7. Complementos necesarios para asociar monitoreo con protocolos

- Preparar el manual de protocolos específicos;
- Implementar las fichas de control diario, semanal, mensual, cuatrimestral, anual y eventual;
- Realizar la capacitación de los operadores;
- Preparar la operación para los análisis diarios y evaluación del sistema;
- Preparar el manual de operación del Humedal Centinela;
- Preparar la lista de las falsas alertas;
- Preparar el manual de problemas y soluciones.

8. Protocolos

8.1. Introdução

Los protocolos son muy importantes para acompañamiento del Humedal Centinela y sirven para interpretación de los procesos que ocurren internamente y la asociación probable de las causas con la previsión de impactos en el humedal natural. Los protocolos dependen del monitoreo, siempre relacionados con los parámetros, puntos de muestreo, periodo, frecuencia y tipo de muestra. Los protocolos son operacionales y permiten interpretación de los fenómenos, con posibilidad real de asociar las causas.

Para permitir una interpretación más real y la creación de grupos de protocolos, se definirán 6 tipos de alertas, según la fuente y el efecto previsto. Las alertas están definidas en el ítem 8.2.

De forma idéntica al programa de monitoreo, los protocolos están planificados para la puesta en marcha del sistema, con revisión obligatoria durante el primer año de vida del Humedal Centinela.

8.2. Definición de criterios para construcción de los protocolos:

- Identificación de los criterios de evaluación para alertas;
- Después de definir valores de referencia, asignar importancia y determinar códigos;
- Los 6 niveles serán definidos por los parámetros seleccionados y la planilla de control llenada con los valores detectados en el monitoreo;
- Todos los datos alimentan el mismo sistema, donde se crean códigos de interpretación, se puede usar colores, evaluados por software específico;
- Las alertas están asociadas al plan de monitoreo del Humedal Centinela y a los planes operacionales.
- Los protocolos tienen que identificar los otros factores que no están asociados al efluente y detectar alertas;
- Las alertas deben ser complementadas con investigaciones específicas para su confirmación y origen;
- El HC está diseñado para ser controlado diariamente con parámetros de medición instrumental. Con solamente 8 parámetros se pueden prever gran parte de la variación de los otros parámetros;
- En caso de confirmación de alerta positiva, comprobada por investigación complementar, se pueda prever el efecto en el humedal natural;
- También debe evaluarse las alertas falsas;
- Los protocolos están asociados al Diagnóstico del humedal natural y a los otros programas de monitoreo.

8.3. Tipos de Alertas

Como el concepto del Humedal Centinela está ligado a alertar los cambios significativos en el funcionamiento del mismo asociado a cambios en el efluente, entonces se definirán 6 niveles, que permitan interpretaciones aislada o conjuntamente de los fenómenos. Las **Alertas** están divididas en 6 grupos, todas evaluadas según protocolos específicos:

- **Previas:** asociadas a cambios en el efluente del sistema de monitoreo convencional existentes en el efluente terciario – alerta de la Planta Valdivia – antes del HC;
- **Inmediatas:** Cambios en los parámetros potencial redox, oxígeno disuelto, pH, conductividad, salinidad, sólidos disueltos y temperatura. Todos de medición instrumental (8 parámetros);

- **Tempranas:** Cambios en los parámetros normales de monitoreo fisicoquímicos y biológicos;
- **Eficiencia:** Cambios en los parámetros específicos de eficiencia de depuración, como desempeño, tal como un humedal construido para esta finalidad;
- **Mediano plazo:** asociados a cambios en plantas y organismos como crecimiento, disminución, agregación e intercambio;
- **Largo plazo:** Resultados de acumulación, ciclo biogeoquímicos y metales (Al, Fe y Mn).

La Figura 10 a seguir presenta la identificación de las alarmas en el Humedal Centinela, asociado a los puntos de monitoreo.

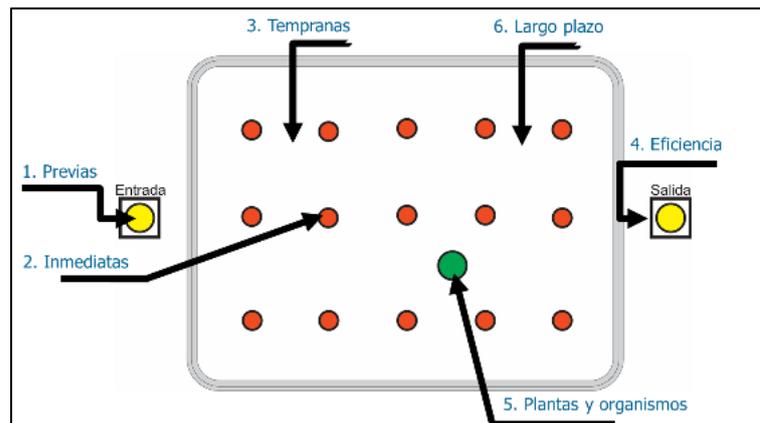


Figura 10: identificación de las alarmas en los puntos de monitoreo

8.4. Interpretación preliminar de las alertas

8.4.1. Alertas Previas

El monitoreo convencional del efluente provee el primer sistema de alertas. Seguir el plan de monitoreo existente, en caso de sobrepasar algún límite máximo fijado en el proyecto inmediatamente acciona la alerta, independientemente del valor de ésta. Para ajustes operacionales en el HC, evaluar las alteraciones en los parámetros, adoptándose la desviación estándar de los valores históricos de monitoreo de los últimos cinco años, por ejemplo. Como el Humedal Centinela está diseñado para operar con los valores máximos de los parámetros, se puede adoptar como alerta solamente cuando sobrepasan el límite fijado por la RCA. Después de detectada la alerta hay que investigar las causas que pueden estar asociadas al tratamiento del efluente o al proceso de producción.

El Cuadro 13 presenta una relación entre los parámetros, efecto probable en el Humedal Centinela y el plan de acción preliminar para adecuación, asociado a las alertas previas. Siempre observando que todas los cuadros presentan la versión preliminar de las alertas asociadas a los protocolos.

Cuadro 13: Parámetros, efectos y plan de acción para las alertas previas

Parámetro	Probables Efectos en el Humedal Centinela	Plan de acción
Parámetros de referencia: Temperatura, pH, Conductividad, Oxígeno disuelto, Potencial redox, Sólidos disueltos, Salinidad, Turbiedad	Aumento de temperatura corresponde a un aumento de la velocidad de las reacciones bioquímicas y posible reducción de la concentración de oxígeno disuelto	Mantener los límites de la RCA
	pH de 6 - 8,2 se estabiliza en el Humedal, pero menor que 6 se puede bajar más debido al consumo de alcalinidad por el humedal	Revisar el tratamiento en la planta y monitorear internamente el Humedal Centinela
	Potencial redox es muy importante para el desempeño del Humedal Centinela, la reducción del potencial redox puede formar sulfuros y reducir la zona oxidada del HC.	Monitorear este parámetro al ingreso del HC
	Conductividad y salinidad normales del efluente no afectan el HC	No se aplica
	Turbiedad será reducida en el humedal – adoptar los mismos principios para los sólidos en suspensión	No está prevista aumento de turbiedad, en caso aumento, revisar la alimentación del sistema
Parámetros Asociados: DQO, DBO, SST y SD (orgánico e inorgánico) Coliformes fecales, Color, NT, PT	Variaciones de +- 30 % no generan efectos significativos en el Humedal Centinela, pero evaluar la RCA	Actuar en la planta de tratamiento solamente cuando exceder los valores de la RCA
	Posiblemente el Humedal Centinela pueda reducir estos parámetros. Un aumento de la concentración de los sólidos puede generar el <i>Clogging</i> y reducir la vida útil del HC.	Evaluar el tratamiento terciario. Empezar evaluación complementar en el Humedal natural
	Color y SST, las variaciones no afecta al HC. Aumentos superiores a 50 % puede generar una película de sólidos en entrada del HC	Evaluar el tratamiento terciario. Empezar evaluación complementar en el Humedal natural
	Para los parámetros NT y PT pueden incrementarse	Los mecanismos proyectados para el HC llevan a la reducción de los parámetros
	Fósforo es importante para potenciar la bioacumulación de metales	Reducir la acidificación del soporte. El proyecto del soporte mineral es adecuado para esta situación. En caso de acidificación, mejorar la aeración del sistema
Coliformes fecales, la variación normal no afecta el HC	No se aplica	
Cloratos, Sulfatos, Cloruros, Sulfuros	Se aceptan variaciones de + - 20%, siempre garantizando el límite de la RCA	Actuar en la planta de tratamiento solamente cuando exceda los valores de la RCA
	Aumentos superiores a 30% de sulfuros	Mejorar la aeración natural en el HC, cambiar los flujos e investigar
	El humedal tiene capacidad de recibir cargas superiores de los parámetros	Complementar investigaciones del monitoreo y diagnóstico del Humedal natural
	Aumentos superiores de 30 % de sulfatos	Verificar los flujos y el comportamiento de oxígeno disuelto y potencial redox en los tubos verticales

Principales Metales: Al, Fe y Mn Eventuales: As, Cd, Cu, Cr, Hg, Mo, Ni, Pb, Zn	Las alteraciones arriba de la desviación estándar en las concentraciones de los metales se manifiestan como alertas para el humedal. Asociar con los cambios de pH, potencial Redox y conductividad	Prever cambios operacionales en el humedal, con variación del potencial redox por medio de la aeración natural y cambios de flujo
	Todas las alteraciones en las concentraciones de los metales sonarán alertas para el humedal	Asociar con los otros niveles de alertas y con el monitoreo del humedal natural
	Atención especial con Al, Fe y Mn cuando tengan alteraciones superiores a la variación de concentración en el río y en el humedal natural	Revisar los procedimientos internos de tratamiento de efluentes y del proceso de producción
	Al, Fe y Mn con atención especial a las reacciones con los sulfuros	Prever mejoría en los sistemas de aeración natural del HC
Ac. Grasos, Ac. Resínicos, AOX, Clorofenoles	Aumento en las concentraciones de hasta 30 % no se podrá reconocer cambios en el HC	No se aplica
	Atención especial con ácidos grasos, clorofenoles y ácidos resínicos con aumentos superiores a 50 %	Investigación complementaria de las familias de los compuestos
	Variación de la concentración de AOX no tienen efectos perceptibles en el HC	Evaluar las fuentes cuando el aumento sea superior a 30%

El Cuadro 14 presenta la desviación estándar de los parámetros de monitoreo del efluente terciario en los últimos 5 años, cuando posible de calcularlos, que permiten identificar una estabilidad en los mismos, con tendencias de mejoría en el tiempo, que permitirán buena correlación en el futuro con los datos monitoreados en el Humedal Centinela. Se irá actualizando a medida que se continúe ejecutando los análisis rutinarios al efluente, especialmente después del cambio del sulfato de aluminio por PAC en el tratamiento terciario de los efluentes.

Cuadro 14: Desviación estándar de los parámetros en el efluente terciario en los últimos 5 años

Parámetro	Unidad	Media	Desviación estándar
Conductividad	µs/cm	2.187	298
Coliformes fecales	NMP/100ml	9,5	101,5
DBO	mg/L	2,34	1,95
DQO	mg/L	51,26	15,49
SST	mg/L	6,45	2,05
PT	mg/L	0,02	0,02
NT	mg/L	1,01	0,63
Color	UC	1,58	0,55

Parámetro	Unidad	Media	Desviación estándar
SSD	mL/1h	0,100	*
Turbiedad	NTU	4,158	1,608
Toxicidad		0,00	0,00
Dioxina	mg/L	0,000	*
Fósforo Soluble	mg/L	0,016	0,003
Cloro Libre Residual	mg/L	0,064	0,126
Nitratos	mg/L	0,125	0,074
Nitritos	mg/L	0,008	0,006

AOX	mg/L	0,843	0,269
Cloratos	mg/L	0,194	0,626
Sulfatos	mg/L	0,569	0,130
Cloruros	mg/L	0,234	0,052
Ácidos Resínicos	mg/L	0,008	0,004
Ácidos Grasos	mg/L	0,013	0,013
Clorofenoles	mg/L	0,051	*
As	mg/L	0,001	*
Cd	mg/L	0,001	0,0004
Cu Total	mg/L	0,006	0,004
Cr Total	mg/L	0,005	0,002
Fe Disuelto	mg/L	0,006	0,005
Hg	mg/L	0,001	*
Mo	mg/L	0,006	*
Ni	mg/L	0,003	0,001
Pb	mg/L	0,001	*
Zn	mg/L	0,046	0,035
Índice de Fenol	mg/L	0,006	0,005
Manganeso	mg/L	0,173	0,156
Sodio	mg/L	461,54	67,87

N-Amoniacal	mg/L	0,303	0,472
Pentaclorofenol	mg/L	0,000	*
SS Orgánico	mg/L	3,763	1,893
SS Inorgánico	mg/L	3,079	1,735
SD Orgánico	mg/L	78,89	45,00
SD Inorgánico	mg/L	1.322,39	141,01
NTK	mg/L	0,851	0,495
N-Orgánico	mg/L	0,624	0,280
Bario	mg/L	0,018	0,008
Berilio	mg/L	0,007	0,005
Pb	mg/L	0,001	*
Flúor	mg/L	0,047	0,097
Lítio	mg/L	0,015	0,018
Selenio	mg/L	0,00	*
Vanadio	mg/L	0,10	*
Cianuro	mg/L	0,00	0,00
Boro	mg/L	0,20	*
Cobalto	mg/L	0,01	0,002
Pesticida Organofosforados	mg/L	0,27	0,284
Pesticidas Organoclorados	mg/L	0,10	0,105

* Considerar cuando tenga valor arriba del límite de detección.

8.4.2. Alertas Inmediatas

Las alertas inmediatas están asociadas a los parámetros que se pueden medir con instrumentos en campo, como pH, oxígeno disuelto, potencial redox, temperatura, salinidad, sólidos disueltos y conductividad. Con 8 parámetros se puede monitorear los principales procesos que ocurren en el HC y estimar el comportamiento de los otros parámetros. Se puede evaluar la posibilidad de analizar con instrumentos los parámetros N-amoniaco, Nitratos y Cloruros, y son parámetros que no necesitan de laboratorio externo asociado. Ver más detalles en los ítems 7.3.5 y 7.3.6 que presenta la definición de parámetros de referencia y parámetros asociados. Después de la puesta en marcha se define el intervalo aceptable de los valores, para el día y para la noche en el HC, juntamente con el perfil vertical y horizontal se implementa el sistema de evaluación.

Por ejemplo, para el parámetro potencial redox, se define los valores de variación de la profundidad de 0 hasta 0,8 m, según el valor de referencia, y se puede prever el comportamiento de los metales. También se aplica a N, P, DQO y otros. Las alertas inmediatas se complementan con las alertas de eficiencia, que es la interpretación de los consumos internos del HC para mantener la vida. Las alertas deben considerarse solamente como alertas, no correlacionar los efectos en el HC con daños en el humedal natural. Un alerta en el HC abre un protocolo de investigación para el río y para el Humedal Natural. Los parámetros detectados que generen alertas en Humedal Centinela deberán ser contrastados con los resultados en el monitoreo del humedal natural. Se presentan ejemplos de aplicación en el ítem 8.4.

El Cuadro 15 presenta una relación entre los parámetros, efecto probable en el Humedal Centinela y el plan de acción preliminar para adecuación para las alertas inmediatas.

Cuadro 15: Parámetros, efectos y plan de acción para las alertas inmediatas

Parámetro	Probables Efectos en el Humedal Centinela	Plan de acción
Parámetros de referencia: Temperatura, pH, Conductividad, Oxígeno disuelto, potencial redox, salinidad, sólidos disueltos totales y turbiedad	Aumento de temperatura corresponde a un aumento de la velocidad de las reacciones bioquímicas y posible reducción de la concentración de oxígeno disuelto	Ver las observaciones para las alertas previas
	Asociar la variación de temperatura normal, por efecto del clima con los otros parámetros.	Monitoreo de la temperatura
	Cambios de variación de los parámetros de manera diferente de la previsión inicial de entrada para la salida, como incremento de O ₂ . Una reducción del O ₂ indica un problema en el HC. Asociar con potencial redox que también aumente en el mismo sentido y pH. La conductividad hidráulica tiene el principio, inverso.	Investigar las causas de la reducción de O ₂ , que pueden estar asociadas a la carga aplicada, tiempo de detención demasiado corto, humedal inundado por mucho tiempo o cambio de la comunidad de bacterias. Realizar análisis complementarios y asociar con el monitoreo del Humedal natural
	En la evaluación de la profundidad, en sentido vertical descendente decrece el potencial redox, el O ₂ y aumenta la conductividad hidráulica. Efectos inversos pueden representar problemas operacionales o asociados al efluente terciario	Investigar las causas, con cálculo del perfil vertical, asociado a carga o régimen hídrico
	pH de 6 - 8,2 se estabiliza en el Humedal, pero menor que 6 se puede bajar más, en la dirección entrada para salida, debido al consumo de alcalinidad por el humedal	Cambiar los sistemas de flujo del HC y aumentar la frecuencia de los análisis
	Potencial redox es muy importante para el desempeño del Humedal Centinela, la reducción del potencial redox puede formar sulfuros y reducir la zona oxidada del HC y cambiar las reacciones con los metales.	Cambiar los sistemas de flujo del HC y aumentar la frecuencia de los análisis
	Turbiedad será reducida en el humedal – adoptar los mismos principios para los sólidos en suspensión	No se aplica

8.4.3. Alertas Tempranas

Son los parámetros normales de monitoreo del efluente terciario, evaluados dentro y después del humedal centinela, pero que necesitan de muestreo y de laboratorio para la realización, que componen el grupo de parámetros asociados. Después de definir el intervalo aceptable de los valores, para el día y para la noche, se crea el sistema de evaluación. Por ejemplo, para el parámetro Alcalinidad, se definen los valores de consumo esperados en el HC, como unos 20% y también asociar con la posibilidad de reducción del pH, de 7,4 para 7,2. Un consumo excesivo de alcalinidad o la producción de alcalinidad en el HC acciona la alerta. Las alertas tempranas se complementan con las alertas inmediatas y de eficiencia. Ver más detalles en los ítems 7.3.5 y 7.3.6 que presenta la definición de parámetros de referencia y parámetros asociados. El Cuadro 16 presenta una relación entre los parámetros, efecto probable en el Humedal Centinela y el plan de acción preliminar para adecuación para las alertas tempranas.

Cuadro 16: Parámetros, efectos y plan de acción para las alertas tempranas

Parámetro	Probables Efectos en el Humedal Centinela	Plan de acción
Parámetros asociados: DQO, DBO, SST(orgánico e inorgánico) Color, NT, PT Nitrito y nitrato	Alteraciones en las concentraciones del grupo de parámetros asociados a las propiedades orgánicas, con las variaciones normales en la alimentación no tienen alteración significativa en el HC	Ver las observaciones para las alertas previas
	Pero las alteraciones individuales de los parámetros que se puedan evaluar como reacciones incompletas, son alertas de funcionamiento del HC. Por ejemplo con el nitrógeno se espera una conversión de N-amoniacal en nitrito y nitrato. Si la reacción no ocurre, seguramente hay un problema con el HC.	Asociar con la evaluación de las alertas inmediatas, con los parámetros de campo y revisar preferentemente oxígeno disuelto, pH y potencial redox, También asociar con las evaluaciones en las plantas
	Para los otros parámetros sigue la misma evaluación, como para DQO, DBO, SST y Color	Mismo plan de la anterior
Cloratos, Sulfatos, Cloruros, Sulfuros	Se prevé un consumo de cloratos en el HC, pero como las concentraciones son bajas no hay efectos secundarios. De alguna manera en la zona anóxica del HC habrá alguna interacción con los cloratos.	No se aplica
	Sulfatos y sulfuros pueden tener gran variación de concentración en el HC, pero está diseñado para esto.	Revisar los procesos de aeración natural y asociar con potencial redox y oxígeno disuelto
	Para Cloruros se prevé un mínimo consumo en el HC	No se aplica
Metales (Al, Fe y Mn) Toxicidad	Principales metales en la forma soluble o insoluble están asociados a los procesos de oxi-reducción del HC, a absorción por las plantas y reducción de la permeabilidad en el soporte	Verificar el pH, oxígeno disuelto y potencial redox, montando un perfil vertical y horizontal.
	Aumento de la toxicidad dentro del HC	Evaluar reacciones internas del HC, relación con consumo de los nutrientes y con reacciones con el soporte. Retirar muestra de las raíces.

8.4.4. Alertas de Eficiencia

Aunque el objetivo del HC no contemple la remoción de parámetros, puede utilizarse para evaluar el funcionamiento como humedal, asociado a los consumos internos de muchos parámetros del grupo Asociados. Son parámetros normales de monitoreo, asociando entrada y salida del humedal donde se puede esperar una eficiencia de depuración y un consumo, como DQO, SS y Coliformes, considerándose como desempeño del HC. Por ejemplo, para el parámetro Sólidos en Suspensión se espera una reducción de 30 - 60 % relacionándose entrada y salida del humedal. Se monitorea la evolución de la remoción y consumo, con la interpretación de que valores por debajo de la referencia accionan la alerta de eficiencia, como desempeño inadecuado como humedal. Puede estar asociado a cambios en la concentración de oxígeno disuelto, carga orgánica, exceso de solidos o *clogging*. Para el diseño del HC se usaron los valores máximos del efluente terciario de los últimos 5 años, considerando los valores máximos y después los valores promedios de las máximas y los resultados presentados en las alertas previas es la desviación estándar. Se adoptaron valores estimados de remoción y durante la operación, caso ocurra una desviación de los valores de referencia, pueden ser considerados como alertas de comportamiento del HC. El Cuadro 17 presenta una relación entre los parámetros, efecto probable en el Humedal Centinela y el plan de acción preliminar para adecuación asociada a las alertas de eficiencia.

Cuadro 17: Parámetros, efectos y plan de acción para las alertas de eficiencia

Parámetro	Probables Efectos en el Humedal Centinela	Plan de acción
Parámetros de referencia: Temperatura, pH, Conductividad, salinidad, oxígeno disuelto, potencial redox, Turbiedad, solidos disueltos	Para todos los parámetros de las alertas de eficiencia se aplican los mismos principios de las alertas inmediatas y tempranas, pero en este caso la referencia es la pérdida de eficiencia según el valor de referencia presentada Para todos los parámetros asociar la reducción de eficiencia con algún problema de desempeño del HC, siempre asociando con la temperatura Variación de las concentraciones de gases disueltos como CO ₂	Retirar muestras en los tubos de ventilación. Evaluar el sentido horizontal y vertical del comportamiento.
Parámetros asociados: DQO, DBO, SST y SD (orgánico e inorgánico) NT, PT, Coliformes fecales, color	Idéntico a los efectos de las alertas tempranas Para los otros parámetros sigue la misma evaluación, como para DQO, DBO, SST y Color	Asociar con la evaluación de las alertas inmediatas, con los parámetros de campo y revisar oxígeno disuelto, pH y potencial redox, También asociar con las evaluaciones en las plantas
Cloratos, Sulfatos, Cloruros, sulfuros, Clorofenoles,	Sulfatos y sulfuros pueden tener gran variación de concentración en el HC, pero el mismo está diseñado para esto Ver la alarma temprana	Investigar relación Sulfatos, sulfuros, oxígeno disuelto y potencial redox
Metales, toxicidad	Perdida de eficiencia o cambios de la solubilidad de metales en el HC. Evaluar variaciones de pH, Redox, temperatura, gases disueltos, Asociar con P	Evaluar hidrólisis y oxidación. Evaluar enlaces con Fe e Mn. Evaluar formación de carbonatos Evaluar formación de Sulfuros metálicos

Utilizándose siempre los criterios más conservadores, fueron considerados para definir los consumos y la eficiencia teórica del Humedal Centinela la media de los valores máximos anuales del periodo 2009-2013 de efluente terciario de la Planta Valdivia. El Cuadro 18 presenta los valores máximos del periodo 2009-2013 y la media de las máximas anuales, adoptado para los cálculos.

Cuadro 18: valores máximos anuales y media de las máximas de los parámetros de monitoreo del efluente terciario

Parámetros	Límites RCA	2009	2010	2011	2012	2013	Máx
		Máx	Máx	Máx	Máx	Máx	
Caudal 99,360 m ³ /día	1150 L/s	841,1	825,6	883,3	826,1	876,3	883,3
Índice de Fenol	mg/L	0,017	0,015	0,037	0,056	0,022	0,056
Manganeso	mg/L	0,47	0,45	0,93	0,61	0,67	0,926
Sodio	mg/L	530,0	572,0	577,0	655,5	591,0	655,5
Cloro Libre Residual	mg/L	0,04	0,54	0,02	0,03	0,04	0,54
Sólidos Sedimentables	mL/1h	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Turbidez	NTU	5,0	5,0	5,0	4,0	8,0	8
Toxicidad		N.D	N.D	ND	ND	ND	0
Dioxina	mg/L	N.D	2,1E-09	3,3E-11	9,5E-11	5,1E-11	2,13E-09
Fósforo Soluble	mg/L	0,015	0,015	0,015	0,026	0,015	0,026
Nitratos	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,22
Nitritos	mg/L	0,005	0,010	0,012	0,030	0,014	0,03
N-Amoniacal	mg/L	0,2	0,6	2,0	0,7	0,4	2,04
Pentaclorofenol	mg/L	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002
SS Orgánico	mg/L	7,0	7,0	4,2	2,9	3,4	7
SS Inorgánico	mg/L	1,6	3,7	5,6	4,6	5,4	5,6

Parámetros	Límites RCA	2009	2010	2011	2012	2013	Máx
		Máx	Máx	Máx	Máx	Máx	
SD Orgánico	mg/L	129,0	78,0	76,0	164,0	188,0	188
SD Inorgánico	mg/L	1466	1393	1466	1589	1412	1589,5
NTK	mg/L	1,3	1,4	2,3	1,2	1,4	2,3
N-Orgánico	mg/L	1,1	0,9	0,9	0,6	1,1	1,14
Bario	mg/L	0,019	0,026	0,025	0,022	0,021	0,026
Berilio	mg/L	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,01
Flúor	mg/L	0,040	0,003	0,017	0,010	0,317	0,317
Litio	mg/L	0,012	0,010	0,010	0,066	0,012	0,066
Selenio	mg/L	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
Vanadio	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Cianuro	mg/L	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009
Boro	mg/L	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,2
Cobalto	mg/L	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,01
Pesticida Organofosforados	mg/L	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,00054
Pesticidas Organoclorados	mg/L	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
Pesticidas Organoclorados	mg/L	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002

Debido a falta de referencias relativas a la eficiencia de depuración, de consumo de todos los parámetros monitoreados en el efluente terciario, se eligieron parámetros de los que se tiene algún conocimiento consistente, con antecedentes en plantas de Celulosa. Entretanto los ejemplos son de fábricas de celulosa con tecnología inferior a de la Planta Valdivia, que permite afirmar también que los valores presentados so conservadores. El Cuadro 19 presenta el intervalo de valores de eficiencia de depuración aplicados a humedales construidos en fábricas de celulosa, pero no son aplicables específicamente a la Planta Valdivia.

Cuadro 19: Eficiencias de depuración esperadas en humedales construidos

Parámetro	Valor (%)
Alcalinidad	20
Coliformes fecales	20 – 60
DBO	20 – 50
DQO	10 – 40
SST	30 – 60
PT	20
NT	20
Color	20 – 50

El tipo de efluente es determinante para definición de la eficiencia de depuración, también es importante para definir el tiempo de vida del humedal y también la función, si es secundario o terciario. La Figura 11 presenta la diferencia de formación de raíces en humedales construidos aplicados a efluentes secundarios y terciarios. La selección del tipo del soporte, de la granulometría, sistemas de alimentación de flujo y la carga aplicada, también definen el tiempo de vida del humedal. En los años 90 el plan original de mantenimiento y vida útil del Humedal era de aproximadamente 18 - 20 años. Actualmente este tiempo fue reducido en UK para 8 años, debido a reducción de la conductividad hidráulica y sobrecarga en los sistemas. Este caso específico del Humedal Centinela, está planificado para una vida útil de 10 años.

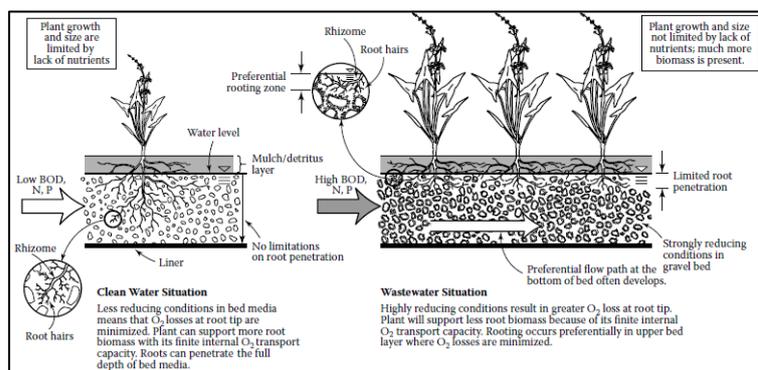


Figura 11: Diferencias entre las raíces de las plantas en tratamiento secundario y terciario de efluentes.

8.4.5. Alertas de mediano plazo - Plantas, soporte y organismos

Son alertas asociadas a parámetros como crecimiento de la planta, formación de semillas, migración de metales, creación de la biopelícula, asociados a la distribución de las bacterias y otros organismos en el humedal. Después del periodo de la puesta en marcha de 3 meses, se puede definir la distribución de las bacterias en el humedal. Después de completar el ciclo de 1 año de las plantas se puede empezar a muestrear metales e identificar la migración. Para el soporte es la misma evaluación y frecuencia de las plantas. Los protocolos siguen los principales criterios actuales de evaluación de los humedales, como distribución de organismos, *clogging*, *cartridge theory* y diseño del Humedal Centinela. Se puede evaluar el crecimiento y estabilización de la comunidad de bacterias y definir los números de la estabilidad, monitoreando los cambios de la población. La comunidad de bacterias lleva de 400 a 700 días para estabilizarse. Los niveles de OD y H₂S controlan la distribución. Cuando esté estabilizado, las bacterias reductoras de sulfato se tornan la mayoría (46%), y la acumulación de sólidos lleva la zona de bacterias activas en dirección a la salida del humedal. Existen diferencias en las comunidades de bacterias en humedales naturales y construidos. Verrucomicrobia y Chloroflexi son encontrados nos humedales naturales y también el los construidos. Proteobacteria aparecen principalmente en humedales construidos.

La Figura 12 presenta el esquema de la distribución de las bacterias en las zonas del humedal

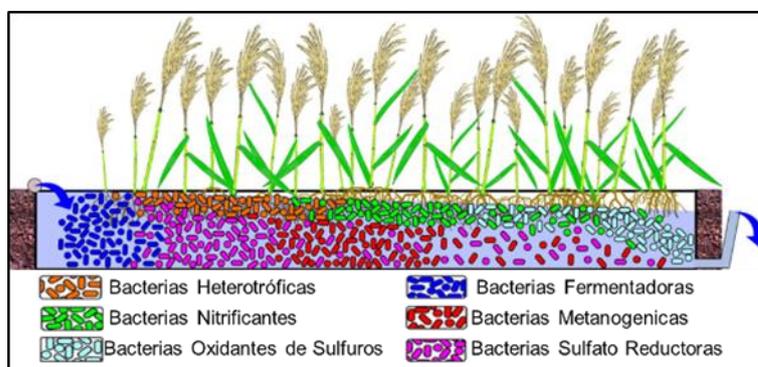


Figura 12: bacterias distribuidas en las zonas del humedal

La Figura 12Figura 13 presenta el detalle de la biopelícula, las colonias de bacterias que generan una película biológica alrededor del soporte, definiéndose el tipo de organismo por las condiciones de oxidación y reducción

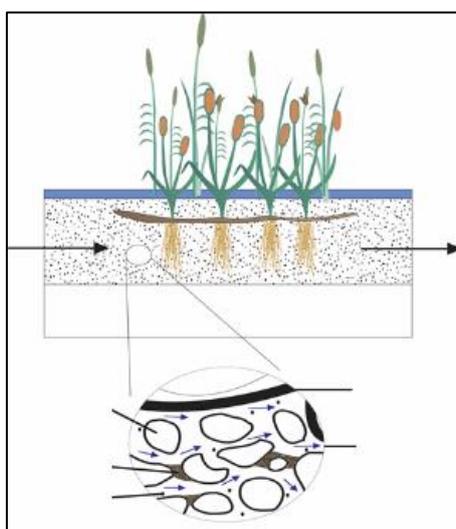


Figura 13: organismos al redor del soporte

La Figura 14 presenta las zonas aerobias y anaerobias junto a las raíces en el humedal, que definen las condiciones para desarrollar la vida.

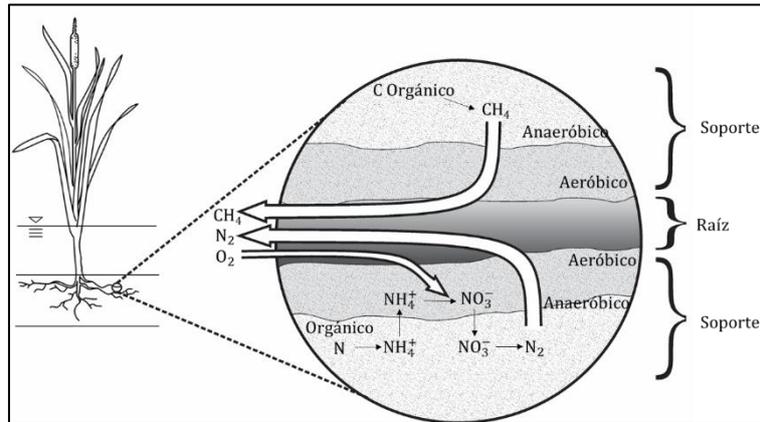


Figura 14: zonas de oxidación e reducción junto a la zona de raíces del humedal

El Cuadro 20 presenta una relación entre los parámetros, efecto probable en el Humedal Centinela y el plan de acción preliminar para adecuación para las alertas de mediano plazo asociadas a plantas, soportes y organismos.

Cuadro 20: Parámetros, efectos y plan de acción para las alertas de mediano plazo

Parámetro	Probables Efectos en el Humedal Centinela	Plan de acción
Bacterias heterotróficas, bacterias nitrificantes, bacterias metanogénicas, bacterias fermentativas, bacterias sulfato reductoras y bacterias oxidantes de sulfuro	Evaluar las distribución de las bacterias en las zonas de las lagunas del humedal	Cambiar e intercalar los sistemas de flujo y alimentación de efluente en los humedales
	Evaluar el <i>Clogging</i> asociado a pérdida de conductividad hidráulica y cambio en la zonas de bacterias	Controlar las zonas aerobias, anaerobias y anóxicas
	Cambios en las zonas previstas para las bacterias pueden ser un problemas de exceso de carga, procesos internos de HC no controlados o cambios en la concentración de oxígeno disuelto, potencial redox y pH	Realizar ensayos para determinación de los tipos de bacterias
Número de brotes Crecimiento de la planta Salud de la hojas (color, turgencia) Floración Formación de semillas	En condiciones normales, las plantas emergentes en completan su desenvolvimiento en 1 año. El número de brotes es importante para la implantación y estabilización del HC; Formación de hojas amarillas o con necrosis en las hojas pueden indicar toxicidad o falta de nutrientes, así como a floración y formación de semillas no conformes con los estándares	Revisar los parámetros de monitoreo Retirar muestras de las plantas y mantener secas y guardadas como testimonio; Analizar parámetros de toxicidad, como metales, en muestras de plantas (enteras o en partes – raíces, tallos, hojas y semillas) Medición de diámetro, altura, etc...número de plantas por m ²
Crecimiento de raíces y rizomas	La previsión es de crecimiento de raíces profundas debido a alimentación de efluente terciario con bajo contenido de nutrientes. Raíces poco profundas pueden ser evaluadas como un problema del HC	Medir la profundidad de las raíces, amostrar las raíces y verificar las distribución en el soporte
Migración de animales al HC	Evaluar la influencia de ellos en el HC	Aún no se conoce, hay que evaluar
Plagas y malezas	Reducción del vigor de las plantas, pérdida de eficiencia y competencia por espacio	Revisar los parámetros de monitoreo. Atención con la temperatura
	Pérdida de la eficiencia de producción de oxígeno	Promover la retirada de malezas
	Crecimiento no controlado de malezas pueden reducir la eficiencia del HC y reducir la sensibilidad de las alertas	Evaluar la maleza y promover la remoción
	Indicación de toxicidad de metales u otros contaminantes	Avaluar las condiciones climáticas, migración de metales y nutrientes
	Aparición de pulgones u chanchito blanco pueden indicar falta de nutrientes o toxicidad. También pueden estar asociado a condiciones climáticas, como falta de lluvia o alta humedad del aire	Adopción de formas de control como pulverización de productos naturales

Principales metales: Al, Fe y Mn Eventuales: As, Cd, Cu, Cr, Hg, Mo, Ni, Pb, Zn	Acumulación en la zona del soporte, rizomas y raíces	Analizar la forma de acumulación. Cambiar la alimentación del HC o invertir flujos
	Metales solubles e insolubles pueden migrar en el HC y depositarse en el soporte, acumularse en las plantas y distribuirse por las raíces, tallos, hojas y semillas.	Evaluar los mecanismos de transporte interno. Revisar pH, temperatura, potencial redox, sulfuros y sulfatos
	Formación de complejos metálicos y adsorción en el soporte	Mismo anterior
Ac. Grasos, Ac. Resínicos, EOX	Conversión de los ácidos en estructuras más simples, acumulación en el soporte y en las plantas.	Mantener las condiciones operacionales
	Aumento de la toxicidad por consumo de nutrientes en el HC	Evaluar la migración de nutrientes para las plantas y la conversión de los ácidos

8.4.6. Alertas de largo plazo

Son alertas asociados a parámetros como crecimiento de la biopelícula, *clogging*, acumulación de parámetros del efluente en plantas y soporte, como también los anteriores, pero por un periodo más largo de tiempo, que se miden en años, no por estaciones del año. Después del primer año de operación del humedal se puede empezar a medir, por ejemplo, los metales en el soporte (biopelícula), según el orden conocido de acumulación de las raíces > rizomas > hojas > tallo > flores. Algunos metales son absorbidos durante todo el ciclo de crecimiento de la planta y otros solamente en la fase de floración. Múltiples cosechas mejoran la remoción de metales. Pero para Fe y Mn las concentraciones son mayores en la primera cosecha del año, para Al no se altera.

También, Fe y Mn en la salida del humedal pueden ser derivados del sustrato utilizado en la construcción del humedal. La Figura 15 presenta un tallo de una planta de humedal, donde se observa el formato de un tubo conductor que retiene una fracción muy pequeña de metales.

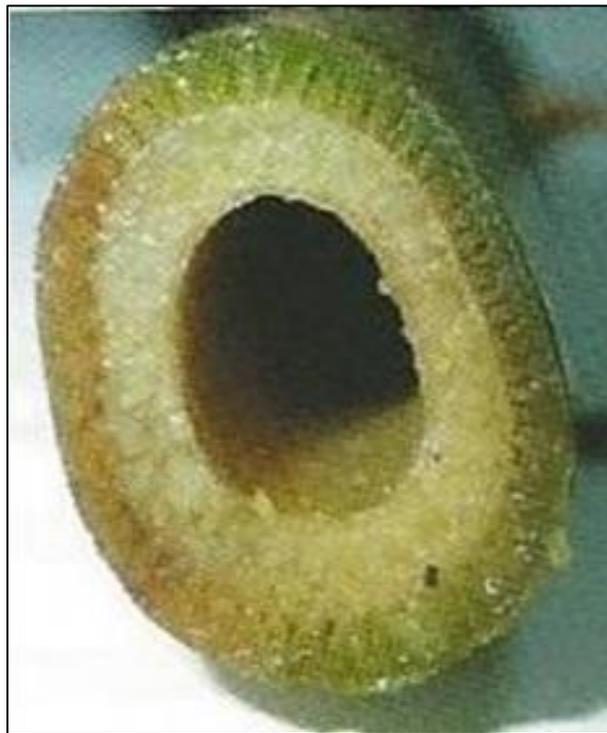


Figura 15: Tallo de una planta de humedal

La reducción de la conductividad hidráulica es un problema importante a estudiar y prevenir en diseño del HC, también se considera como un indicador de funcionamiento como humedal. El concepto híbrido del HC, que puede operar en 4 simulaciones de flujo, asociado a composición y granulometría del soporte reduce el *clogging*, pero siempre es un fenómeno a estudiar. Muestras de plantas, soporte, rizomas y medición de conductividad hidráulica están asociados a las alertas de largo plazo.

En la evaluación de los metales en los humedales son removidos según el orden: Hg>Mn>Fe=Cd>Pb=Cr>Zn=Cu>Al>Ni>As por procesos de adsorción, precipitación y absorción. Los mecanismos están asociados al potencial redox, importante parámetro de monitoreo, considerado como referencia. De acuerdo con el valor del potencial redox, se identifican compuestos metálicos diferentes, donde con +100 mV > forman óxidos metálicos, con +100 mV - 100 mV forman metales solubles y con -100 mV < forman enlaces con sulfuros.

La Figura 16 presenta la evolución del proceso de reducción de la conductividad hidráulica del humedal, parte importante del monitoreo del funcionamiento como humedal construido, asociado a la definición del perfil vertical del humedal con acceso por los tubos verticales. La Figura 17 presenta la complementación del proceso de reducción de la conductividad hidráulica del humedal. Esta evolución se llama de teoría de los cartuchos (*cartridge theory*), que indica el proceso de obstrucción continua del humedal con el tiempo.

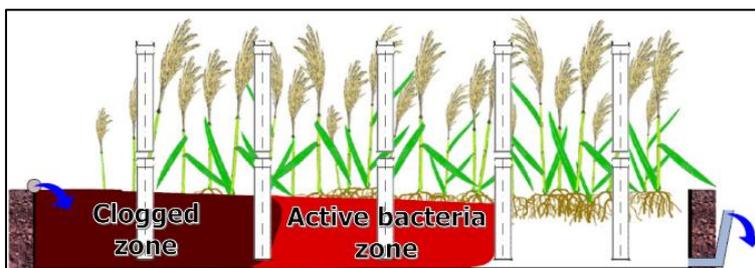


Figura 16: Evolução de la reducción de la conductividad hidráulica del Humedal - *cartridge theory*

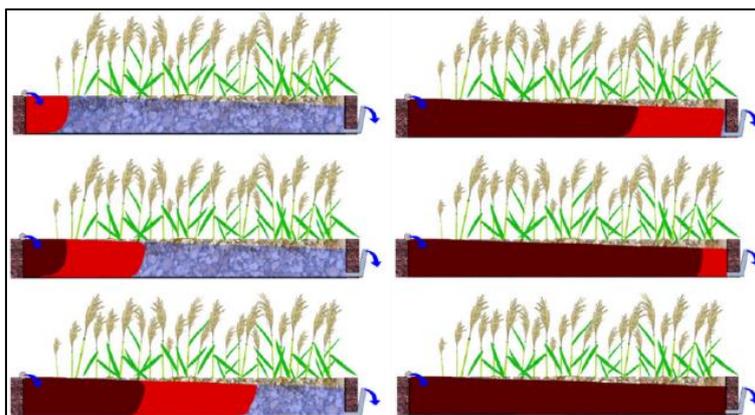


Figura 17: Evolução de la reducción de la conductividad hidráulica del Humedal - *cartridge theory*

La Figura 18 presenta el perfil vertical del potencial redox importante parámetro de monitoreo y las zonas aerobias, anaerobias y anóxicas en el humedal.

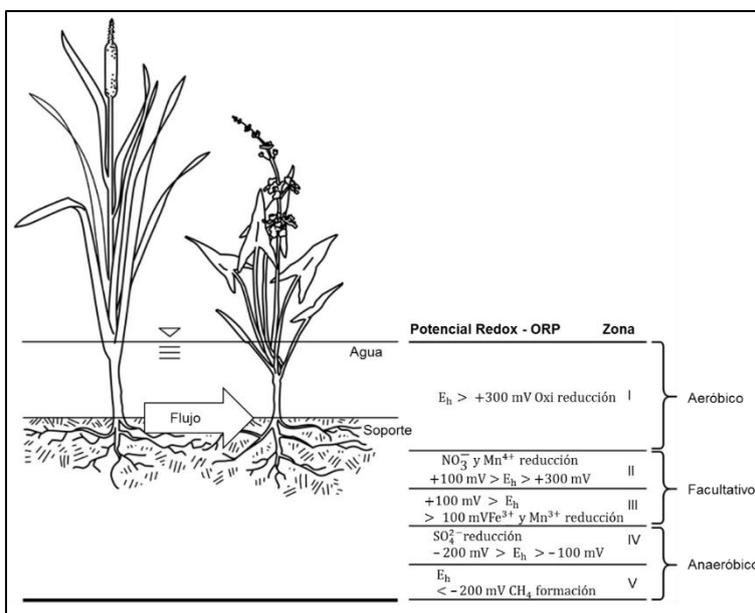


Figura 18: perfil vertical del potencial redox

La Figura 19 presenta el sistema de migración de los metales en la planta.

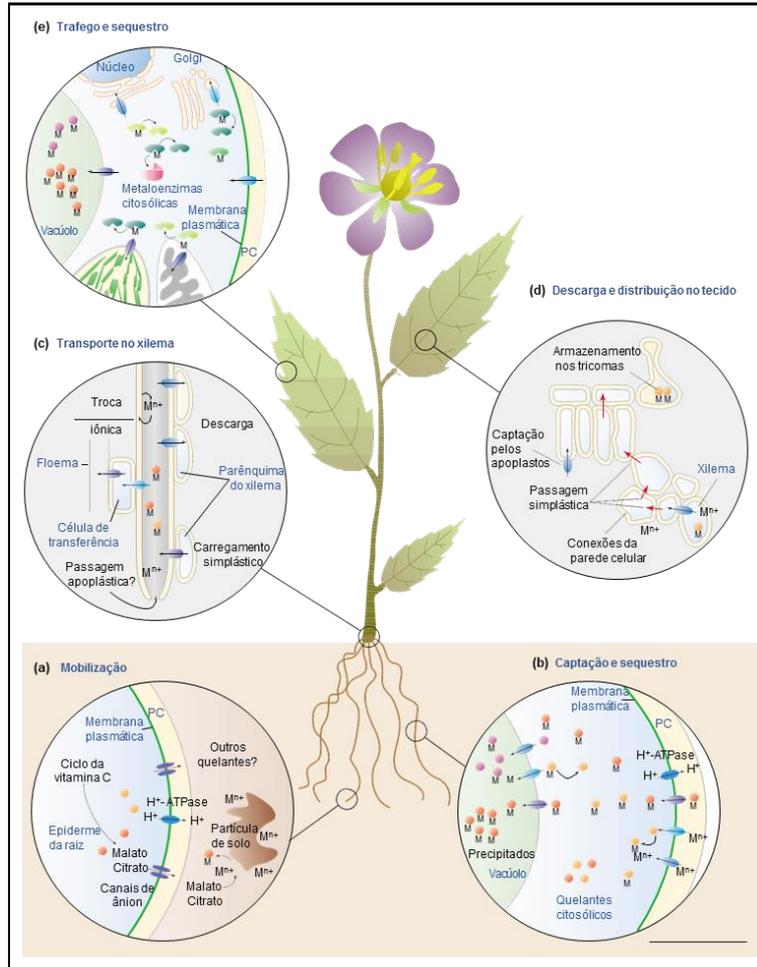


Figura 19: migración de los metales en la planta

El Cuadro 21 presenta una relación entre los parámetros, efecto probable en el Humedal Centinela y el plan de acción preliminar para adecuación asociadas a las alertas de largo plazo.

Cuadro 21: Parámetros, efectos y plan de acción para las alertas de largo plazo

Parámetro	Probables Efectos en el Humedal Centinela	Plan de acción
Evaluación del <i>clogging</i> y migración de los organismos según la teoría de los cartuchos. Ver Figura 16 e Figura 17	Reducción de la permeabilidad y conducción de la zona biológicamente activa para la salida del humedal	Retirada de muestras del soporte y enviar para caracterización. Realizar ensayos de permeabilidad
	Cambios en las zonas de bacterias no esperadas en la definición de los protocolos	Muestreo de los rizomas para caracterización biológica
	Reducción del potencial redox en la evaluación horizontal del HC.	Control del potencial redox con los mecanismos de inversión de flujo en el humedal para simular las posibilidades de mantener metales oxidados o reducidos
Potencial redox y oxígeno disuelto	Reducción del oxígeno disuelto en la evaluación horizontal y vertical del HC.	Para variaciones superiores, elaborar mapa completo del perfil vertical y horizontal, con las variaciones del día y noche en todos los tubos verticales
	Variación en el valor de +- 30 % no se podrá reconocer cambios en el HC	
Ac. Grasos, Ácidos Resínicos, Clorofenoles,	Exceso de ácidos grasos pueden ocasionar obstrucción de la camada soporte y formación de nivel de agua	Las concentraciones son muy bajas para esto, pero se puede utilizar los mecanismos operacionales del HC para variación de los flujos
	Debido a la inmovilización en la camada soporte, puede ocurrir saturación del medio y la re-solubilización de los metales. Siempre evaluar conjuntamente con potencial redox. Debido al diseño de HC no es probable que ocurra	Las concentraciones son muy bajas para ocurrir el proceso, pero se puede alternar los flujos en el HC
Principales Metales: Al, Fe y Mn Eventuales: As, Cd, Cu, Cr, Hg, Mo, Ni, Pb, Zn	Acumulación en exceso de metales por las plantas	Retirar muestras del soporte y enviar para caracterización. Evaluar los metales según la secuencia: raíces>rizomas> hojas>tallos>flores
	Aumento de la concentración de EOX, comparadas al año anterior, pero no se puede prever, necesita de investigación complementaria	verificar con los programas de monitoreo y con las alertas de eficiencia con AOX
EOX	Reducción de la permeabilidad y conducción de la zona biológicamente activa para la salida del humedal	Retirada de muestras del soporte y enviar para caracterización. Realizar ensayos de permeabilidad

8.5. Ejemplos de aplicación

8.5.1. Ejemplo 1

El caso presentado es de una profunda clorosis en la hojas de *Phragmites australis*, desarrollada debido a alto potencial redox en el humedal, que proporcionó una baja concentración de hierro biodisponible.

La Figura 20 presenta situación normal de operación del humedal



Figura 20: situación normal de operación del humedal

La Figura 21 presenta la situación de clorosis profunda debido a falta de hierro biodisponible.



Figura 21: Clorosis debido a indisponibilidad de hierro

8.5.2. Ejemplo 2

Situación de Clorosis debido a baja concentración de amonio disponible en medio con alto potencial redox.

La Figura 22 presenta a izquierda un humedal operando como sistema de tratamiento secundario con amonio disponible, y a la derecha el sistema terciario con ambiente extremadamente oxidante, de liberando para la planta el amonio.



Figura 22: comparación del mismo efluente con amonio disponible e indisponible

8.5.3. Solución operacional para los ejemplos 1 y 2

- Para confirmación de la alerta, primero se cambia el régimen de flujo, con reducción del oxígeno disuelto y potencial redox;
- Verificar los 8 parámetros asociados de medición instrumental. Caso posible, los 3 adicionales;
- Esperar los cambios en la planta.

8.5.4. Investigación para los ejemplos 1 y 2

- Si la planta se recupera – falsa alerta;
- Si la planta no se recupera – investigación de la causas, retirada de muestras de las planta, de los rizomas, organismos;
- Verificar los niveles de alertas asociadas;
- Asociar la investigación con los programas de monitoreo del río y del humedal natural.

8.5.5. Ejemplo 3

Los metales son micronutrientes en la concentración adecuada. El ejemplo es de la planta *Arabidopsis thaliana* creciendo en un cultivo cultura hidropónico con Cu deficiente a la izquierda (sin adición), con Cu toxico en centro 1,5 μM Cu y Cu en condiciones suficientes a derecha 0,5 μM Cu. La Figura 23 presenta el crecimiento de la planta en condiciones adecuadas de metal, con deficiencia y con exceso.



Figura 23: Crecimiento de la planta en condiciones adecuadas de metal, deficiencia y exceso.

Después de definir las concentraciones de metales para actuar como micronutrientes se puede evaluar el comportamiento y las variaciones al largo del año.

9. Planes operacionales

El Humedal Centinela permite el control del caudal y variaciones de carga hidráulica, permite simulación de flujo vertical ascendente, flujo vertical descendente y flujo horizontal y Permite simular las condiciones del humedal natural. También permite por periodos determinados de tiempo la operación con 20-30 cm de superficie de agua libre, para que se pueda controlar el potencial redox y aeración, con simulación de ambientes oxidantes, condiciones anóxicas y anaerobias, cuando necesario. Con los modernos sistemas de ventilación se permite controlar la aeración e intercambiar los gases y proporcionar el acceso a definición del perfil vertical y horizontal de cada laguna del Humedal Centinela.

Como plan operacional también es posible el control del caudal y variaciones de carga hidráulica, con simulaciones de caudal de alimentación de 1% del caudal total, en cada laguna de forma separada, si necesario. También permite simular tiempos de detención de 1 hasta 3 días.

9.1. Sistemas de alimentación y flujos

El sistema de flujo horizontal sin superficie de agua es el modelo de operación normal del Humedal Centinela.

La Figura 24 presenta el HC en operación con el flujo horizontal.

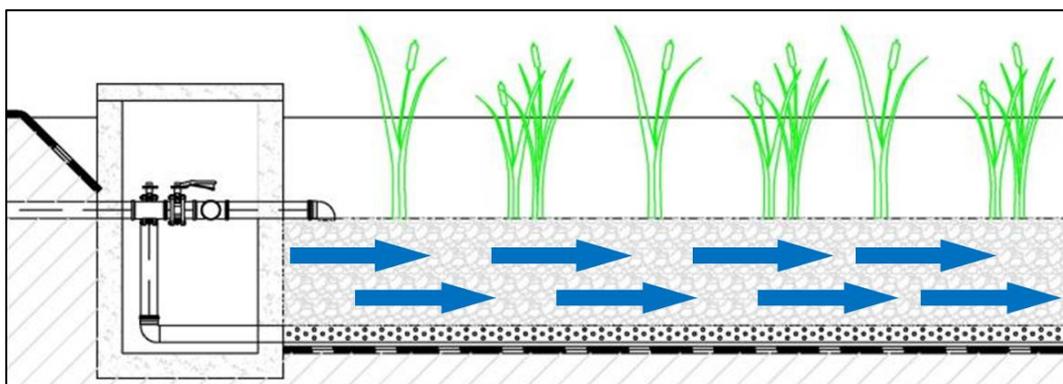


Figura 24: Flujo horizontal.

El sistema de flujo vertical ascendente será utilizado para promover la alimentación en la fase anóxicas o anaerobia del Humedal Centinela y evaluar los parámetros asociados, cuando sea necesario comprobar alguna alerta.

La Figura 25 presenta el HC con flujo vertical ascendente.

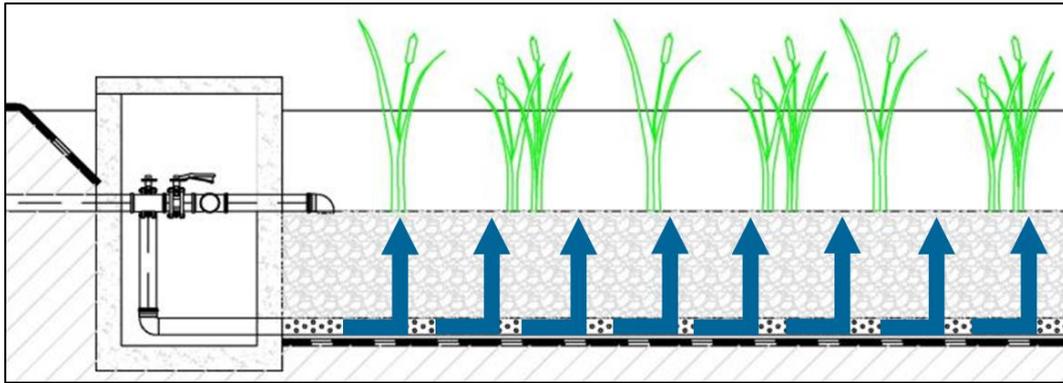


Figura 25: Flujo vertical ascendente.

El sistema de con nivel de agua será utilizado para reducir la oxidación del sistema e evitar transferencia de gases en el soporte del Humedal Centinela y evaluar los parámetros asociados, cuando sea necesario comprobar alguna alerta.

La Figura 26 presenta el HC con nivel de agua.

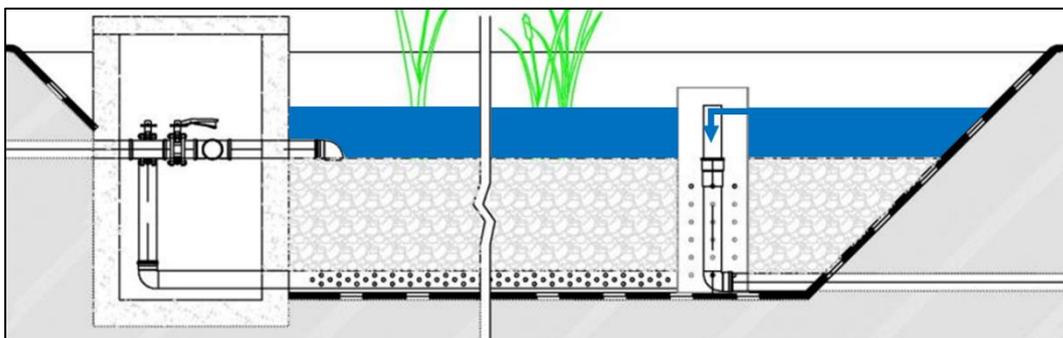


Figura 26: Con nivel de agua

El sistema de flujo vertical descendente será utilizado para promover la intensa aeración del sistema del Humedal Centinela y evaluar los parámetros asociados, cuando sea necesario comprobar alguna alerta.

La Figura 27 presenta el HC con flujo vertical descendente.

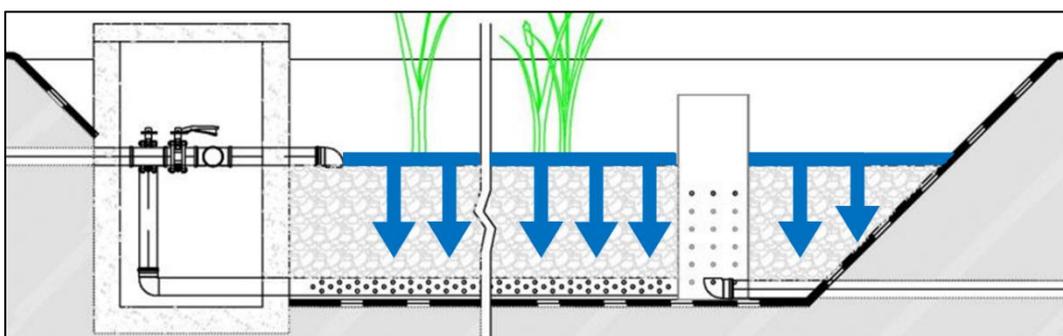


Figura 27: Flujo vertical descendente.

10. Cronograma de implantação

10.1. Introdução

Atendendo a solicitação de Arauco de prever as atividades necessárias a implementação do Humedal Centinela, segundo os acordos com o Conselho Científico Social, se apresenta um plano de ação.

10.2. Atividades e metodologia

As principais atividades necessárias para a implementação do Humedal Centinela podem ser divididas em grandes grupos, segundo a ordem:

- **Grupo 1** - Complementar a informação necessária a definição do Humedal Centinela a entregar para o CCS. Atividades associadas.
 - ✓ Concluir as demandas de CCS;
 - ✓ Organizar a informação disponível para consultas de Arauco;
 - ✓ Elaborar os protocolos preliminares de associação do Humedal Centinela com efluente e com água de rio;
 - ✓ Elaborar o relatório final do Humedal Centinela ao CCS.
- **Grupo 2** - Elaboração do projeto do Humedal Centinela. Atividades associadas.
 - ✓ Elaboração do projeto conceitual;
 - ✓ Intercâmbio de informações com Engenharia de Arauco para detalhes do projeto;
 - ✓ Definição dos materiais, principalmente gravilha rodada, pedra vulcânica e plantas aquáticas emergentes;
 - ✓ Realizar testes com as plantas aquáticas emergentes;
 - ✓ Elaboração do projeto básico – engenharia de detalhe;
 - ✓ Projeto final.
- **Grupo 3** - Elaboração de planos, manuais e protocolos. Atividades associadas.
 - ✓ Elaboração e revisão dos protocolos do Humedal Centinela – versão projeto;
 - ✓ Elaborar os protocolos operacionais;
 - ✓ Elaboração de manual de operação do Humedal Centinela;
 - ✓ Treinamento para a operação de HC e interpretação dos análises e alertas.
- **Grupo 4** - Construção e colocação em marcha do HC. Atividades associadas.
 - ✓ Implementação do projeto;
 - ✓ Acompanhar as obras;
 - ✓ Acompanhar a coleta de plantas;
 - ✓ Acompanhar o carregamento de materiais para o suporte;
 - ✓ Plantação das mudas;
 - ✓ Realizar a colocação em marcha do humedal centinela;
 - ✓ Revisão dos protocolos do humedal centinela – versão implementação;
 - ✓ Capacitação dos profissionais dos serviços públicos na interpretação dos resultados e alertas do HC.

- **Grupo 5** - Acompanhamento, monitorio y adecuación operacional del HC Actividades asociadas.
 - ✓ Simulación de los caudales y condiciones operacionales de los HC;
 - ✓ Acompañar el periodo de estabilización del Ecosistema del HC;
 - ✓ Revisión y adecuación de alertas y protocolos versión final;
 - ✓ Realizar visitas bimensuales durante el primer año de operación después de la puesta en marcha;
 - ✓ Entregar el informe final del primer año operacional del Humedal Centinela con lineamientos generales de relaciones de los resultados del HC con el río y el Humedal Natural.

Observaciones: Este informe final será entregado al Centro de Investigación del Humedal de Río Cruces. Esta información podrá ser usada para buscar establecer el nivel de relación que existe entre las alertas del Humedal Centinela, las variables (agua, sedimento y biota) y los posibles efectos en el ecosistema natural. De esta manera buscar identificar qué parámetros del ecosistema natural (agua, sedimento y biota) se pueden relacionar con el Humedal Centinela y con el RIL, intentando establecer las relaciones que permitan ampliar el alcance de la capacidad de alerta del Humedal Centinela.

10.3. Definiciones necesarias

10.3.1. Decisiones de metodología de trabajo

- Para el desarrollo del Grupo 2 - Elaboración del proyecto del Humedal Centinela, la propuesta es entregar a Arauco primeramente un proyecto conceptual y discutir las interfaces entre Ecocell y Arauco. Esta versión del proyecto deberá ocurrir en una reunión específica para definición de responsabilidades. Después de definir el proyecto conceptual, Ecocell prepara un proyecto básico – ingeniería básica, presenta formalmente a Arauco, que puede proponer adecuaciones y mejorías. En realidad Ecocell contestará todas las preguntas de la Ingeniería de Arauco. La ingeniería de detalles y el control de la obras estará a cargo de Arauco, con la consultoría de Ecocell para los temas necesarios;
- Del punto de vista ambiental será mejor dividir las lagunas destinadas a los Humedales Centinela para agua de río y para efluente terciario puro, permitiendo usar un número mayor de especies de plantas acuáticas del Río Cruces y un menor número de individuos de cada especie. Se presenta un diseño preliminar de las nuevas dimensiones de las lagunas del Humedal Centinela que no tendrá alteraciones en la superficie total, manteniéndose con 1 ha;
- Arauco deberá acordar con Jaime Cuevas, conjuntamente con Ecocell los procedimientos necesarios a elección y retirada de las plantas acuáticas emergentes del Humedal Natural, en áreas definidas por la disponibilidad y por menor impacto ambiental;
- Definición con CCS del formato del documento y el contenido mínimo del informe final acerca del Humedal Centinela que Ecocell deberá elaborar.

10.4. Cronograma

El Cuadro 22 presenta el cronograma de implementación del Humedal Centinela

Cuadro 22: Cronograma de implementación del Proyecto

Actividades		Bimestres															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Grupo 1	1. Concluir las demandas de CCS	X															
	2. Organizar la información disponible para consultas de Arauco	X	X														
	3. Elaborar los protocolos preliminares de asociación del Humedal Centinela con efluente y con agua de río	X	X														
	4. Elaborar el informe final del Humedal Centinela al CCS	X	X														
Grupo 2	5. Elaboración del proyecto conceptual	X	X	X													
	6. Intercambio de informaciones con Ingeniería de Arauco para detalles del proyecto		X	X	X												
	7. Definición de los materiales, principalmente gravilla rodada, piedra volcánica y plantas acuáticas emergentes			X	X												
	8. Realizar pruebas con las plantas acuáticas emergentes			X	X	X											
	9. Elaboración del proyecto básico		X	X	X	X											
	10. Elaboración del proyecto final – Ingeniería de detalle				X	X	X										
Grupo 3	11. Elaboración y revisión de los protocolos del Humedal Centinela – versión proyecto					X	X										
	12. Elaborar los protocolos operacionales					X	X										
	13. Elaboración de manual de operación del Humedal Centinela						X	X									
	14. Entrenamiento para la operación de HC e interpretación de los análisis y las alertas							X	X								
Grupo 4	15. Implementación del proyecto						X	X	X	X							
	16. Acompañar las obras						X	X	X	X							
	17. Acompañar la recolección de plantas							X	X								
	18. Acompañar el cargamento de materiales para el soporte							X	X								
	19. Siembra de los plántulas								X	X							

	20. Realizar la puesta en marcha del humedal centinela									X	X	X	X				
	21. Revisión de los protocolos del humedal centinela – versión implementación											X	X				
	22. Capacitación de los profesionales de los servicios públicos en la interpretación de los resultados y alertas del HC											X	X				
Grupo 5	23. Simulación de los caudales y condiciones operacionales de los HC												X	X			
	24. Acompañar el periodo de estabilización del Ecosistema del HC												X	X	X	X	
	25. Revisión y adecuación de alertas y protocolos – versión final												X	X	X	X	
	26. Realizar visitas bimensuales durante el primer año de operación después de la puesta en marcha												X	X	X	X	
	27. Entregar el informe final del primer año de operación																

Observaciones: Los plazos pueden incrementarse en la medida que se identifique la necesidad de solicitar permisos específicos ante la Dirección General de Aguas (DGA), particularmente para el proyecto de captación de agua de río (Punto. E2) o que, incluso, se identifique la necesidad de elaborar una Declaración de Impacto Ambiental.

11. Responsables técnicos



Wagner Gerber – Químico – CRQ - 5ª Região 05100705, Doutor em Ciências Ambientais



Michel Gerber – Engenheiro Agrônomo, CREA-RS 81.871, Mestre em Tecnologia Agroindustrial



Elias Dummer – Engenheiro Civil, CREA - RS 146.890

12. Bibliografía

COOPER, D.; BIDDLESTONE, J. Ingenia. **Reed Bed Systems**. Issue 39, p.18-23, June 2009.

COOPER, P. F. GREEN, M. B. & SCHUTES R.B.E.; **Reed Beds & Constructed Wetlands**. WRc Swindon, USA, Jun 1996.

COOPER, P. F. The Use of Reed Bed Systems to Treat Domestic Sewage: The European Design and Operations Guidelines for Reed Bed Treatment Systems. In: MOSHIRI, G. A. **Constructed Wetlands for Water Quality Improvement**. Florida, USA: Lewis Publishers, 1993. p.203-217.

COOPER, P. The Constructed Wetland Association UK Database Of Constructed Wetland Systems. In: **International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control**, 10, Lisbon, 2006.

CRONK, J.K. & FENNESSY, M.S. **Wetland Plants Biology and Ecology**. USA: CRC Press, 2001, 483p.

DANN, A.L.; COOPER, R.S. & BOWMAN, J.P. Investigation and optimization of a passively operated compost-based system for remediation of acidic, highly iron- and sulfate-rich industrial waste water. **Water Research**, United Kingdom: Elsevier, n. 43, p. 2302-2316, 2009.

DOTRO, G., JONES, M., BUTTERWORTH, E. and JEFFERSON, B. Balancing wetland clogging management and whole-life cost at a UK water utility. In: **Specialist Group on Use of Macrophytes in Water Pollution Control**. Ashland: BookMasters, n. 40, p. 8-11, 2011

EPA - Environmental Protection Agency. **Guiding Principles for Constructed Treatment Wetlands: Providing for Water Quality and Wildlife Habitat**. Washington: EPA, 2008.

ESKILSTUNA ENERGI, MILJÖ. **Information about Ekeby wetland, Eskilstuna, Sweden**. Disponible en < <http://www.vattenavlopp.info/vatmark/wetland.htm>>. Acceso en 09/03/2014

FRANK, P. *et al.* The Fusina treatment wetlands: from concept through construction. In: **Specialist Group on Use of Macrophytes in Water Pollution Control**. Ashland: BookMasters, n. 39, p. 14-29, 2011

GARCÍA, J.; VIVAR, J.; AROMIR, M. & MUJERIEGO, R. Role of hydraulic retention time and granular medium in microbial removal in tertiary treatment reed beds. **Water Research**, UK: Elsevier, n. 37, p. 2645-2653, 2003.

GARCÍA, J. & CASELLES-OSORIO, A. Performance of experimental horizontal subsurface flow constructed wetlands fed with dissolved or particulate organic matter. **Water Research**, UK: Elsevier, n. 40, p. 3603-3611, 2006.

GARCÍA, J; MATAMOROS, V. & BAYONA, J.M. Organic micropollutant removal in a full-scale surface flow constructed wetland fed with secondary effluent. **Water Research**, UK: Elsevier, n. 42, p. 653-660, 2008.

GERBER, M. **Tratabilidade de efluentes da parboilização de arroz em sistema com plantas aquáticas emergentes**. Pelotas, 2002. Dissertação (Mestrado). Ciência e Tecnologia Agroindustrial. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel Universidade Federal de Pelotas.

- GERBER, W. **Tratamento anaeróbio-aeróbio de efluentes industriais em circuito fechado de águas**. Leon, 2004. Tese de Doutorado. Facultad de Ciencias Ambientales, Departamento de Biología Vegetal. España.
- HEADLEY, T., BREUER, R. Report from the middle east region: large-scale treatment of oilfield produced water using wetlands in Oman. In: **Specialist Group on Use of Macrophytes in Water Pollution Control**. Ashland: BookMasters, n. 39, p. 9-13, 2011.
- HOFFMANN, H. *et al.* Technology review of constructed wetlands: Subsurface flow constructed wetlands for greywater and domestic wastewater treatment. **GIZ - Ecosan**, Eschborn, Germany, 2011.
- IWA – International Water Association. – **Biological and Chemical Systems for Nutrient Removal**. Alexandria, USA: Public Water Environment Federation, 1994.
- IWA – International Water Association. - **Natural Systems Digest**. Alexandria, USA: Public Water Environment Federation, 1993.
- IWA – International Water Association. **Constructed Wetlands for Pollution Control: Scientific and Technical Report No. 8**. London: IWA Publishing, 156p., 2000.
- KADLEC, R.H. & WALLACE, S.D. **Treatment Wetlands: Second Edition**. USA: Taylor & Francis Group, 2009, 1048p.
- KENNISH, M.J., SPAHN, A. and SAKOWICZ, G.P. Sentinel Site Development of a Major Salt Marsh System in the Mid-Atlantic Region (USA). **Open Journal of Ecology**, v4, 77-86. <http://dx.doi.org/10.4236/oje.2014.43010>
- MELBOURN WATER. **Constructed Wetland System: Design Guidelines for Developers**. Ed. 3. Melbourne, 2005.
- METCALF & EDDY, INC. **Wastewater Engineering: Treatment Disposal Reuse**. Revisado por George Tchobanoglous. New York: MCGRAW - HILL BOOK COMPANY, 2003.
- MORATÓ, J. *et al.* Key design factors affecting microbial community composition and pathogenic organism removal in horizontal subsurface flow constructed wetlands. **Science of the Total Environment**, Netherlands: Elsevier, n. 481, p. 81-89, 2014.
- PLATZER, C. Enhanced Nitrogen Elimination in Subsurface Flow Artificial Wetlands – a Multi Stage Concept. In: **Proc. 5th. International conf. Wetlands Systems for Water Pollution Control**. Universität für Bodenkultur Wien, Vienna, Austria.
- RAMALHO, R. S. **Introduction to Wastewater Treatment Processes**. New York, Academic Press, 1983.
- SAMSÓ, R. & GARCÍA, J. Bacteria distribution and dynamics in constructed wetlands based on modelling results. **Science of the Total Environment**, Netherlands: Elsevier, n. 461-162, p. 430-440, 2013.
- TANNER, C.C. *et al.* Effect of water level fluctuation on nitrogen removal from constructed wetland mesocosms. **Ecological Engineering**, Netherlands: Elsevier, n. 12, p. 67-92, 1999.
- VALENTIM, M. *Et. al.* Uso de leitos cultivados (*Wetlands*) no pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio. In: **Anais da VI Oficina e Seminário Latino-americano de Digestão Anaeróbia**, 5-9 nov. 2000, Recife. Anais... Recife/PE: Editora Universitária da UFPE.

VYMAZAL, J. & KRÖPFELOVÁ, L. Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow. **Series: Environmental Pollution**, Volume 14. Germany: Springer Science + Business Media, 2008, 566p.

VYMAZAL, J. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. **Water**, Switzerland: MDPI AG, n. 2, p. 530-549, 2010.

VYMAZAL, J. Constructed wetlands with horizontal subsurface flow in the Czech Republic: Two long-term case studies. **Desalination and Water Treatment**, United States: Taylor & Francis, v. 4, n. 1-3, p. 40-44, 2009.

WEBER, K. P. & LEGGE, R.L. Dynamics in the bacterial community-level physiological profiles and hydrological characteristics of constructed wetland mesocosms during start-up. **Ecological Engineering**, Netherlands: Elsevier, n. 37, p. 666-677, 2011.

WEF-WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Natural Systems for Wastewater Treatment**. Alexandria, USA: Public Water Environment Federation, 1990.

YADAV, A.K. *et al.* The removal of heavy metals in wetland microcosms: Effects of bed depth, plant species, and metal mobility. **Chemical Engineering Journal**, Netherlands: Elsevier, n. 211-212, p. 501-507, 2012.

13. Lista de Anexos

- Anexo I - Material de consulta - Papers;
- Anexo II – Plantas del Humedal Centinela.

ANEXOS

Anexo I

Material de consulta - Papers.

Anexo II

Plantas del Humedal Centinela.