

---

# Uso de la Tecnología de Humedales Construidos

## Introducción

Dr. Wagner Gerber  
Valdivia 2014



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

---

## INDICE

- Nombres de los sistemas;
- Antecedentes y usos;
- Características;
- Ejemplos y fotos;
- Tipos de sistemas;
- Factores de influencia;
- Detalles de construcción;
- Aplicaciones prácticas;
- Mantenimiento e monitoreo;
- Tendencias.



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

---

## NOMBRES DE LOS SISTEMAS

- Constructed Wetlands;
- Root Zone;
- Humedales construídos;
- PKA (Pflanzen Kläranlage);
- Banhados construídos / artificiais;
- Zona de raíces;
- Plantas acuáticas emergentes;
- Terras úmidas.



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

---

## ANTECEDENTES

- Humedales como destino final de efluentes – más de 200 años;
- Humedales en tratamiento de efluentes – 1912 USA;
- Humedal construido con criterios de proyecto – Alemania 1974 o USA en 1973;
- América Latina – década de 80;
- Actualmente el uso se amplió para mejoría de la calidad biológica del efluente, sin compromiso en cumplir totalmente los parámetros físico-químicos .

**Observación :** En mucho países el uso de humedales naturales para tratamiento de efluentes **no es** permitido.



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

## APLICACIONES

- 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, introduciendo más vida en el efluente.



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

## CARACTERISTICAS DEL SISTEMA

- Bajo costo de implementación;
- Facilidad de construcción;
- Bajo costo operacional;
- Bajo consumo de energía;
- Pequeña área necesaria en comparación a sistemas naturales de tratamiento, pero mayor a sistemas compactos;
- Menor posibilidad de control de las variables operacionales, en comparación con los sistemas compactos;
- Alta eficiencia en la remoción de propiedades específicas de los efluentes;
- Posibilidad de adecuación a la función;
- Aplicable desde la Patagonia hasta Alaska con las mismas especies de plantas.



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

## CARACTERISTICAS DEL SISTEMA

- Muy baja generación de lodo en exceso;
- Casi no hay generación de olor;
- Baja generación de biomasa en exceso, en sistemas subsuperficiales;
- Buena tolerancia de las plantas a salinidad y variaciones de pH;
- Flexibilidad en cuanto al tipo de efluente a ser tratado.



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



## HUMEDAL



[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)

## HUMEDAL



[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)

## HUMEDAL



[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)

## HUMEDAL



[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)

## HUMEDAL



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

## HUMEDAL



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

## TIPOS DE SISTEMAS

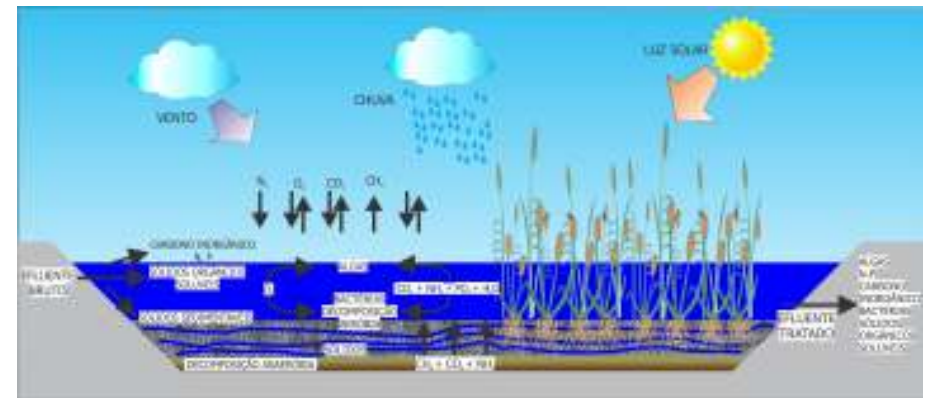
Existen dos sistemas tratamento que utilizan plantas acuáticas emergentes:

- Sistemas de Superficie de Agua Libre (SAL);
- Sistema de Flujo Sub superficial (FSS).



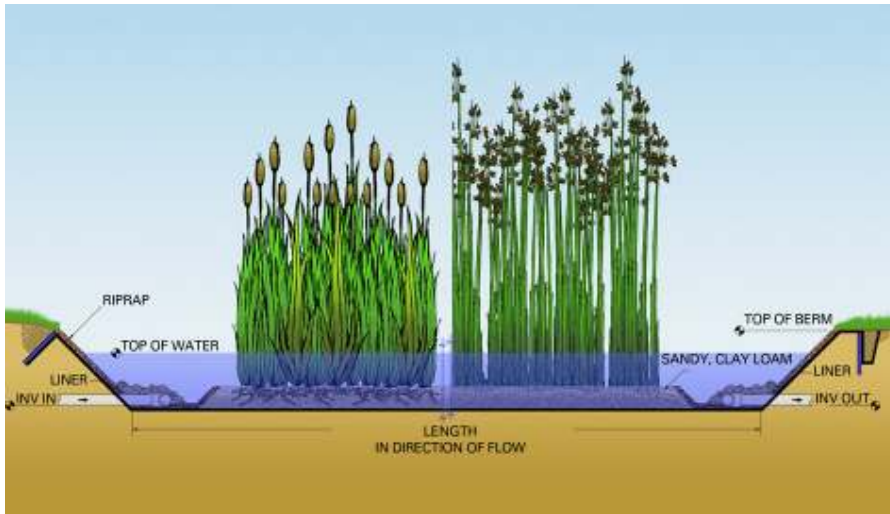
www.ecocell.com.br  
ecocell@ecocell.com.br

## SISTEMA SAL - SUPERFICIE DE ÁGUA LIBRE



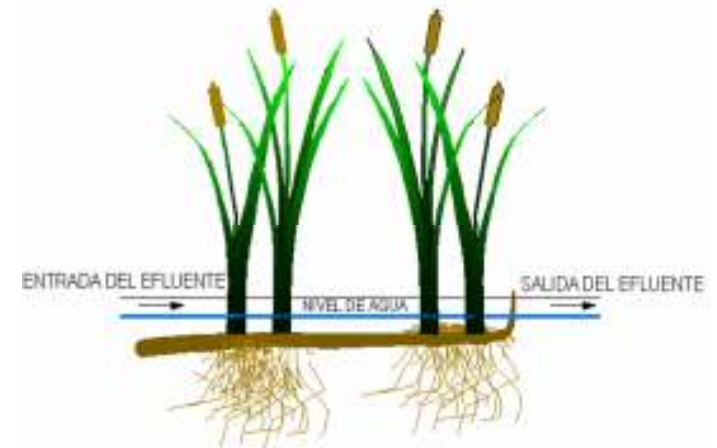
www.ecocell.com.br  
ecocell@ecocell.com.br

## SISTEMA CON NIVEL DE ÁGUA



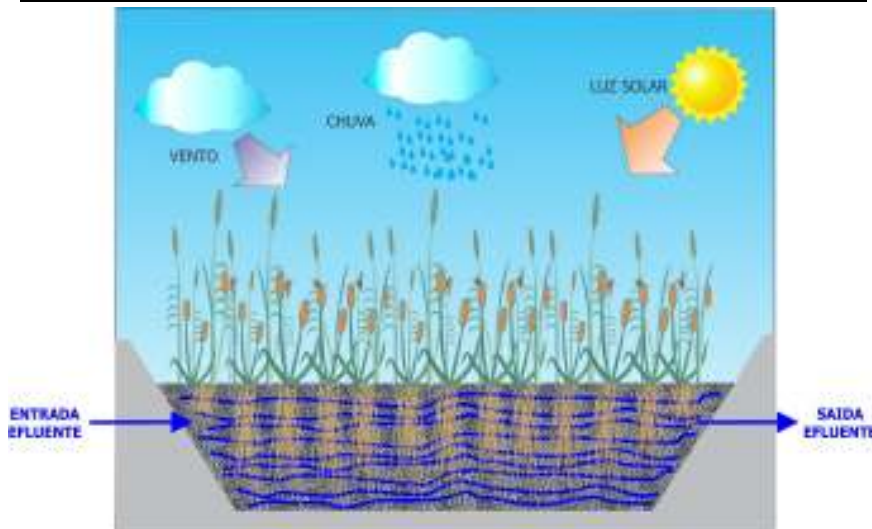
[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)

## SISTEMA SAL – SUPERFICIE DE AGUA LIBRE



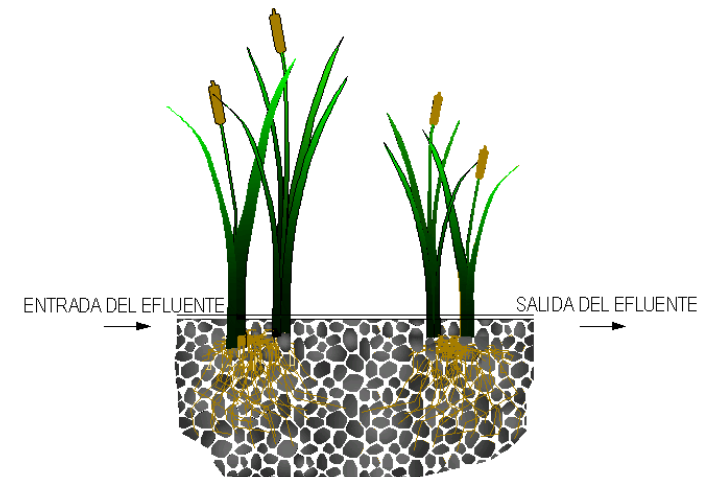
[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)

## SISTEMA FSS - FLUJO SUB-SUPERFICIAL



[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)

## SISTEMA FSS – FLUJO SUB-SUPERFICIAL



[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)

## TENDENCIA ACTUAL

Utilización del Sistema de Flujo subsuperficial FSS en sustitución de los sistemas abiertos de humedales con superficie agua y lagunas:

- Debido a baja producción de biomasa en exceso, mejor control operacional, menor numero de variables y parámetros de control;
- Menor influencia de los factores atmosféricos y bajo intercambio / fijación de elementos de la atmosfera;
- Menos susceptible a variaciones climáticas, la atención se concentra específicamente en el efluente;
- Posibilidad de creación de vida en el sistema, compatible con el rio que recibirá el vertido del efluente.



[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)

## EJEMPLO DE SISTEMA ABIERTO



[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)

## EJEMPLO DE SISTEMA ABIERTO



[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)

## DIFICULTAD DE CONTROL DE FLOTANTES



[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)

## TIPOS DE FLUJO PARA LOS FSS

Los sistemas de Flujo Sub-Superficial (FSS) pueden ser de dos tipos:

- Sistema de Flujo Horizontal (SFH);
- Sistema de Flujo Vertical (SFV): ascendente o descendente.

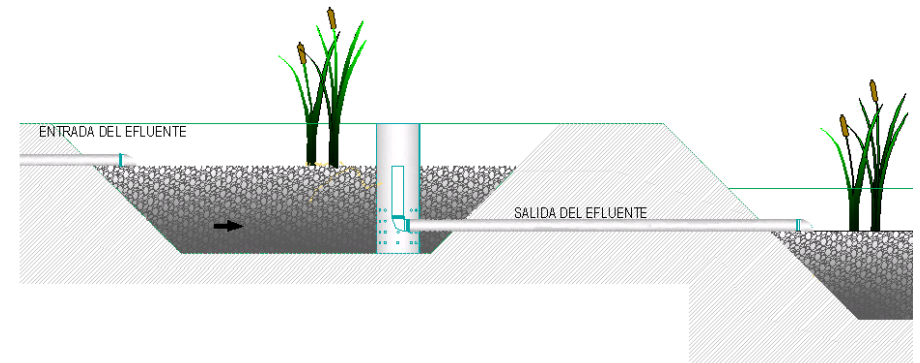
También se pueden asociar los 2 tipos:

- Sistema Combinado o Híbrido: Sistemas de Flujo Horizontal y Flujo Vertical en tanques diferentes.



[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)

## SISTEMA DE FLUJO HORIZONTAL (SFH)



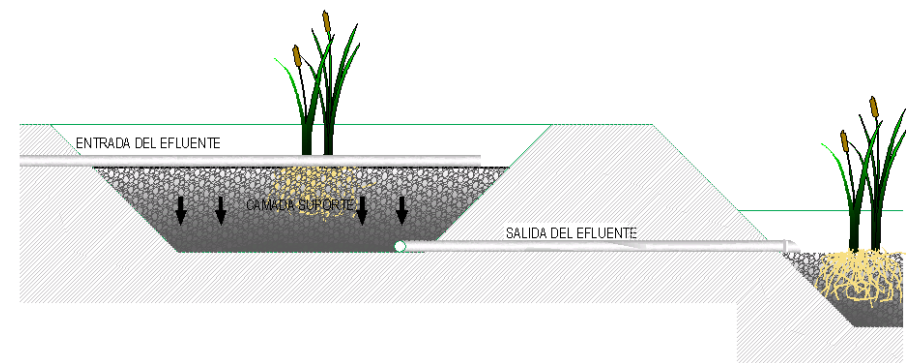
[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)

## SISTEMA DE FLUJO HORIZONTAL (SFH)



[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)

## FLUJO VERTICAL DESCENDENTE (SFV)



[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)

## SISTEMA DE FLUJO VERTICAL (SFV)



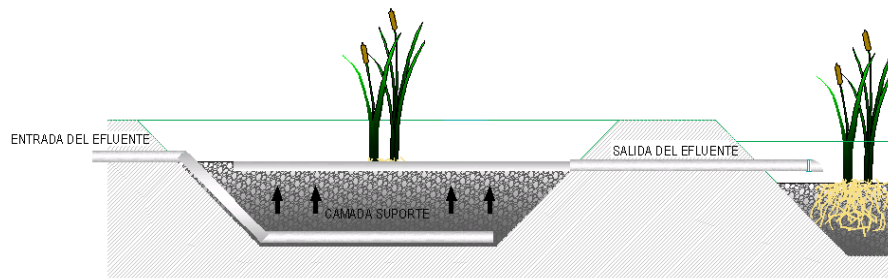
www.ecocell.com.br  
ecocell@ecocell.com.br

## SISTEMA DE FLUJO VERTICAL (SFV)



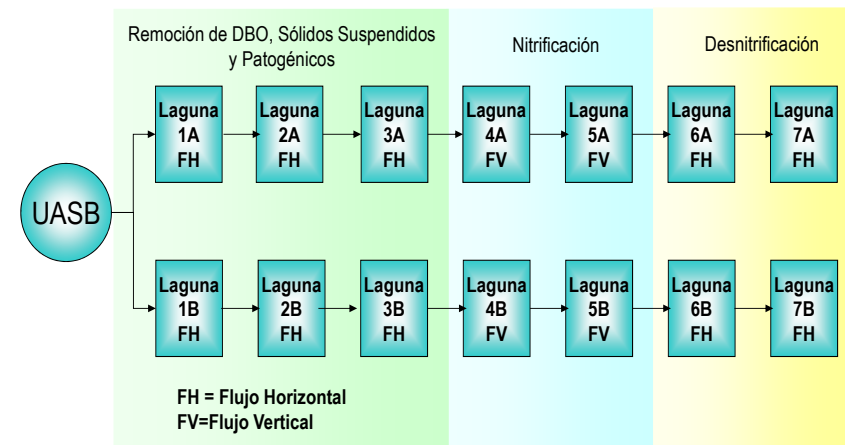
www.ecocell.com.br  
ecocell@ecocell.com.br

## SISTEMA DE FLUJO VERTICAL ASCENDENTE



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

## SISTEMA COMBINADO O HÍBRIDO



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



## FACTORES DE INFLUENCIA

---

- Régimen Hidrológico;
- Camada soporte;
- Vegetación;
- Microbiología en la camada soporte;
- Relación entre las dimensiones del humedal.

La interacción de estos factores es que determina la eficiencia de remoción de parámetros específicos o la mejora de la calidad biológica del efluente.



## FACTORES X EFICIENCIA

---

- 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;
- Materiales soporte;
- Clima.



## FACTORES DEL REGIMEN HIDROLÓGICO

---

- Porosidad;
- Volumen;
- Superficie libre;
- Formato de los tanques;
- Duración de las inundaciones;
- Evapotranspiración.



## TIPOS DE MATERIALES SOPORTE

---

- Arena gruesa de río;
- Grava – diversas granulometrías;
- **Gravilla rodada o chancada;**
- Piedra calcárea – diversas granulometrías;
- Escoria de fundición;
- Piedra volcánica.



## TIPOS DE VEGETACIÓN

- Macrófitas Sumergidas Libres o Fijas;
- Macrófitas Fluctuantes Libres o Fijas;
- Macrófitas Anfibias e Epifitas;
- **Macrófitas Emergentes.**

## TIPOS DE PLANTAS



(*Scirpus Californicus*)



(*Typha sp*)



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



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

## TIPOS DE PLANTAS



ESPADANA  
(*ZIZANIOPSIS BONARIENSIS*)

## TIPOS DE PLANTAS



Lirio  
(*Hedychium Coronarium*)



Cala  
(*Zantedeschia Aethiopica*)



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



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





---

# CONSTRUCCIÓN DEL HUMEDAL



[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)

---

## CONSTRUCCIÓN DE LAS LAGUNAS



[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)

---

## CONSTRUCCIÓN DE LAS LAGUNAS



[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)

## INSTALACIÓN DE LA GEOMEMBRANA



[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)

## INSTALACIÓN DE LA GEOMEMBRANA



[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)

## IMPLANTACIÓN DEL SOPORTE



[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)

## IMPLANTACIÓN DEL SOPORTE



[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)

## IMPLANTACIÓN DEL SOPORTE



[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)

## IMPLANTACIÓN DEL SOPORTE



[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)

## IMPLANTACIÓN DEL SOPORTE



[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)

## PREPARACIÓN Y SIEMBRA DE LAS PLANTULAS



Preparación



Siembra



[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)

## SIEMBRA DE LAS PLANTULAS



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

## SIEMBRA DE LAS PLANTULAS



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

## SIEMBRA DE LAS PLANTULAS



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

## CONSTRUCCIÓN DEL HUMEDAL



Construcción de las lagunas



Implantación del soporte



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

## CONSTRUCCIÓN DEL HUMEDAL



Siembra de las plántulas



1 mes después de la siembra



[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)

## CONSTRUCCIÓN DEL HUMEDAL



1 año después de la siembra de las plántulas



[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)

## Humedales en Escala Piloto

### SISTEMAS EN ESCALA PILOTO

- Arroz "parboiled";
- Mataderos y frigoríficos;
- Subproductos animales;
- Curtiembre;
- Metal – mecánico;
- Componentes electrónicos;
- Celulosa;
- Industria de Pescado
- Industria química;
- Efluente sanitario.



[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)



[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)



## INDUSTRIA ELECTRÓNICA



Eficiencia de remoción

Parámetros	Er (%)
DQO	63,9
DBO	68,2
Fósforo	57,3
N Total	66,9
CT	69,4

Tratamiento secundario



[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)

## INDUSTRIA METAL MECÁNICA



Eficiencia de remoción

Parámetros	Er (%)
DQO	63,9
DBO	68,2
Fósforo	57,3
N Total	66,9
CT	69,4

Tratamiento terciario



[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)

## INDUSTRIA DE CELULOSA



Eficiencia de remoción

Parámetros	Er %
Color	32,8
DBO	54,2
DQO	45,7
SST	36,5

Tratamiento terciario



[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)

## CURTIEMBRE – OCTUBRE 2007



[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)



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

## Humedales en Escala Industrial



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

### SISTEMAS EN ESCALA INDUSTRIAL

- Arroz "parboiled";
- Mataderos y frigoríficos;
- Subproductos de procesamiento de animales;
- Creación de animales;
- Fábrica de tractores;
- Fábrica de equipos de aire acondicionado;
- Fabrica de componentes electrónicos;
- Industria química y agroquímica;
- Hospital;
- Viveros de mudas de eucalipto;
- Industrias de conservas;
- Aguas pluviales;
- Efluentes sanitarios;



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

### PARBOILIZACIÓN DE ARROZ



Tratamiento secundario

Eficiencia de remoción

Parámetros	Er %
DQO	68
DBO	82
Fósforo	73
N Total	52
N NH <sub>3</sub>	81



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

## PARBOILIZACIÓN DE ARROZ



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

## PARBOILIZACIÓN DE ARROZ



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

## SECTOR METAL-MECÁNICO



Tratamiento terciario de una  
fábrica de tractores – AGCO  
Maxion

Eficiencia de remoción

Parámetros	Er (%)
DQO	55,8
DBO	55,0
Fósforo	58,7
N Total	42%
CT	92,6



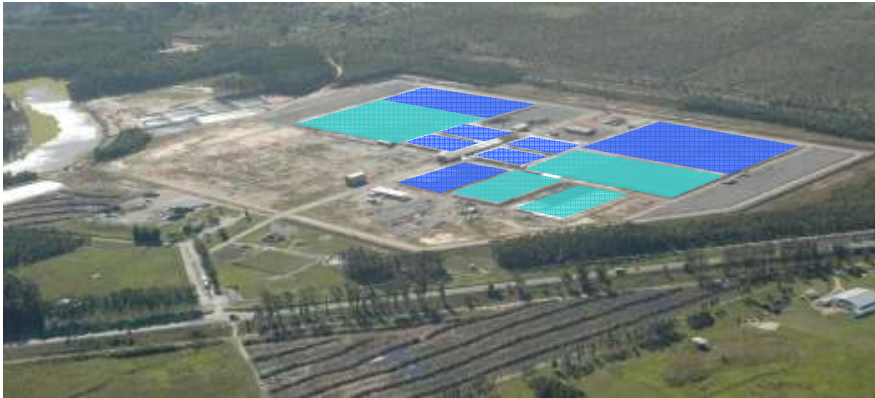
www.ecocell.com.br  
ecocell@ecocell.com.br

## INDUSTRIA ELECTRÓNICA



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

## AGUAS PLUVIALES Y EFLUENTE MÍNIMO



100 m<sup>3</sup>/h sin otras fuentes de agua, solamente lluvia y efluente tratado.



[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)

## VIVERO DE EUCALIPTO

Recuperación de aguas pluviales



Laguna de equalización



[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)

## VIVERO DE EUCALIPTO



[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)

## VIVERO DE EUCALIPTO

Preparación y siembra



Laguna de tratamiento del efluente del vivero



[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)

## VIVERO DE EUCALIPTO



[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)

## VIVERO DE EUCALIPTO



[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)

## INDÚSTRIA QUÍMICA



6 meses de planta-piloto

3 meses de obras



[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)

## INDÚSTRIA QUÍMICA

Siembra marzo de 2010



Primer corte  
agosto de 2011



[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)

## INDÚSTRIA QUÍMICA



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

## OTROS EJEMPLOS DE APLICACIÓN



Procesamiento de residuos de origen animal

Industria de conservas vegetales



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

## OTROS EJEMPLOS DE APLICACIÓN



Matadero de bovinos y ovinos

Matadero de cerdos



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

## OPERACIÓN Y MONITOREO

- Definición de parámetros de monitoreo y creación de indicadores específicos;
- Adoptar los parámetros de monitoreo tradicionales (físicoquímicos y biológicos) de la industria existente y del ambiente de entorno;
- Elegir organismos indicadores;
- Definir el plan de monitoreo, periodo, frecuencia, parámetros y puntos de muestreo;
- Realización de muestreos en el efluente, en la camada soporte, raíces y parte aérea de las plantas, para identificar parámetros específicos y su acumulación y migración en el humedal.



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

## OPERACIÓN Y MONITOREO

- Asociar con la evaluación de toxicidad aguda y crónica de efluente, realizando también ensayos de respirometría;
- Definir criterios de evaluación de las plantas emergentes en el humedal, como propagación, formación de semillas, y otros;
- Evaluar los organismos que migrarán para el humedal;
- Evaluar la calidad biológica del efluente en la salida del humedal, la "vida" en el efluente antes de verter al río y verificar la compatibilidad con la vida existente en el río.



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

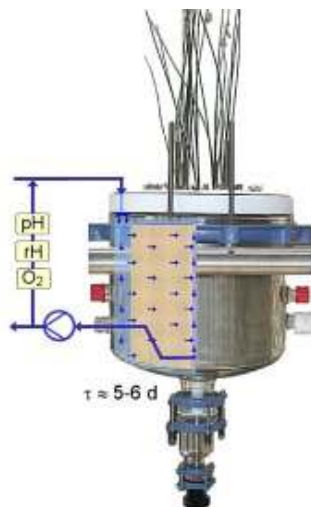
## TENDENCIAS



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

## INFORMACIONES IMPORTANTES

### MONITOREAR INFINITOS PARÁMETROS?



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

## INFORMACIONES IMPORTANTES

- ✓ Una cuestión fundamental es que el Humedal, aunque sea centinela **tendrá alguna remoción** de algunos parámetros de monitoreo en el efluente, por lo menos los sólidos y DQO;
- ✓ También hay que considerar que algunos parámetros pueden **incrementarse**, como fósforo por ejemplo;
- ✓ Hay compatibilizar los parámetros fisicoquímicos con los biológicos para la evaluación del humedal;
- ✓ Sistemas abiertos son mas difíciles de controlar y incrementan muchos otros parámetros de influencia al monitoreo;
- ✓ En sistemas de flujo subsuperficial la atención se concentra en variaciones en el efluente;



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

## INFORMACIONES IMPORTANTES

---

- ✓ La construcción de lagunas abiertas es totalmente diferente de los humedales subsuperficiales;
- ✓ La operación de lagunas abiertas con nivel de agua es más compleja, porque hay un intercambio total con la atmósfera;
- ✓ Una laguna abierta tiene formación de algas, fijación de nutrientes y intercambio con la atmósfera, que no se puede controlar operacionalmente;
- ✓ Este intercambio puede producir exceso de fósforo y nitrógeno en el efluente final;
- ✓ Es importante evaluar la calidad biológica (vida) en el efluente y la compatibilidad con la vida del Río;



[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)

## GRACIAS POR LA ATENCION

---

**Wagner Gerber**

Químico, Dr. Ciências Ambientales

**Ecocell Consultoria Ambiental**

Rua XV de Novembro, 310

CEP 96.015-000 Pelotas – RS – Brasil

Phone: +55 53 3228 7929

[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)

[wgerber@ecocell.com.br](mailto:wgerber@ecocell.com.br)



[www.ecocell.com.br](http://www.ecocell.com.br)  
[ecocell@ecocell.com.br](mailto:ecocell@ecocell.com.br)