




# Descubrir la tecnología de humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales



**Proyecto CARIBSAN– WP3**  
 Jueves 20 de enero 2022  
 8:30 – 10.00 AM (Cuba)

















# Resumen

- **Introducción general (15 min)**
  - Introducción del proyecto CARIBSAN
  - Presentación y aplicaciones de las tecnologías de los humedales construidos
- **Mecanismos implicados en los humedales construidos de tratamiento de aguas residuales (15 min)**
- **Adaptación de los humedales construidos al clima tropical (20 min)**
- **Ventajas e inconvenientes de los humedales construidos (10 min)**
- **Preguntas/respuestas (30/45 min)**



**INRH**  
Instituto Nacional  
de Recursos Hidráulicos  
REPÚBLICA DE CUBA

**CARIBSAN  
2021-2022**

**OiEau**  
Office International  
de l'Eau

**INRAE**

**AFD**  
AGENCE FRANÇAISE  
DE DÉVELOPPEMENT

**Office de l'Eau  
GUADELOUPE**

**ODE**  
OFFICE DE L'EAU  
MARTINIQUE

**WASCO**  
Dominica Water and Sewerage Company Limited

**WASCO**  
WATER & SEWERAGE COMPANY, INC.

**WASCO**

**Objetivo:**  
**Promover los humedales artificiales para depurar las aguas residuales en el Caribe**

**Actividades:**  
1/ Estudios de sitios de implementación y desarrollo de una metodología multi-criterios,  
2/ Fomentar la capacitación de trabajadores,  
3/ Promover los resultados y motivar a los interesados.

**Interreg**  
Caribes  
EUROPEAN UNION  
CARIBSAN

**CARIBSAN**

# Introducción general

## Tecnologías de humedales construidos, presentación y aplicaciones

**AFD** **ODE** **Office de l'Eau** **INRAE** **OiEau** **INRH** **WASCO** **WASCO**




**Tecnologías de humedales construidos, presentación y aplicaciones**

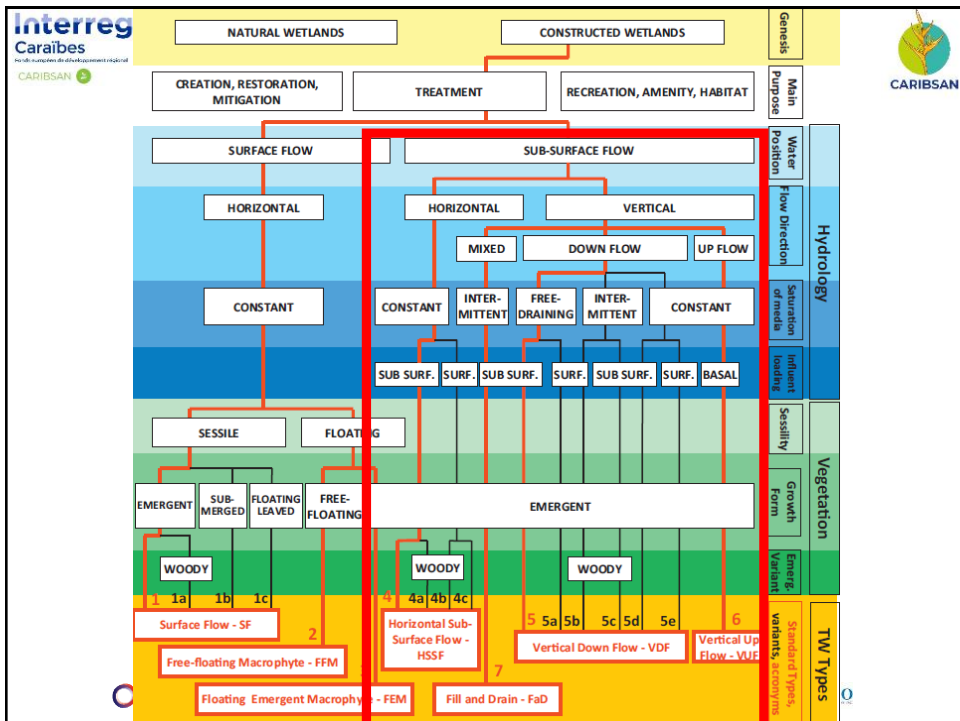


- ¿Qué es un humedal para tratamiento?
  - Un sistema de humedales diseñado para aprovechar los procesos naturales con el fin de mejorar la calidad del agua
  - Técnicamente y operativamente simple, pero que implica complejas interacciones entre :
    - Agua
    - Suelo
    - Plantas
    - Microorganismos, y
    - La atmósfera

<https://www.iwapublishing.com/books/9781789062519/humedales-para-tratamiento>  
 ISBN: 9781789062526 (eBook)



Introducción
Mecanismos
Adaptación al clima tropical



**Interreg** **Caribes** **Tecnologías de humedales construidos, presentación y aplicaciones** **CARIBSAN**

flujo horizontal      Flujo Vertical

Introducción      Mecanismos      Adaptación al clima tropical      Ventajas e inconvenientes


**Interreg** **Caribes** **Tecnologías de humedales construidos, presentación y aplicaciones** **CARIBSAN**

adaptación del diseño

- Capa de filtración (gravilla fina 2-4 mm)
- Capa de transición (gravilla gruesa 5-20 mm)
- Capa de drenaje saturada (gravilla 20-60 mm)

Intensificaciones - aireación forzada


Introducción      Mecanismos      Adaptación al clima tropical      Ventajas e inconvenientes



**Interreg  
Caraibes**  
Interregión de desarrollo regional

CARIBSAN

## Tecnologías de humedales construidos, presentación y aplicaciones



	Humedales construidos de flujo vertical no saturados	Humedales construidos saturados
Superficie	Cargas superficiales	modelos simplificados $C_{out} = C^* + \frac{(C_{in} - C^*)}{(1 + k_v \cdot \frac{L}{N})^N}$
	Gestión de colmatación	límite de carga orgánica para evitar colmatación
Clima	Cargas y número de filtros	$k_T = k_{20} \theta^{(T-20)}$
Medio	granulometría y profundidad	granulometría


  

Introducción

Mecanismos

Adaptación al clima tropical


Ventajas e inconvenientes



**Interreg  
Caraibes**  
Interregión de desarrollo regional

CARIBSAN

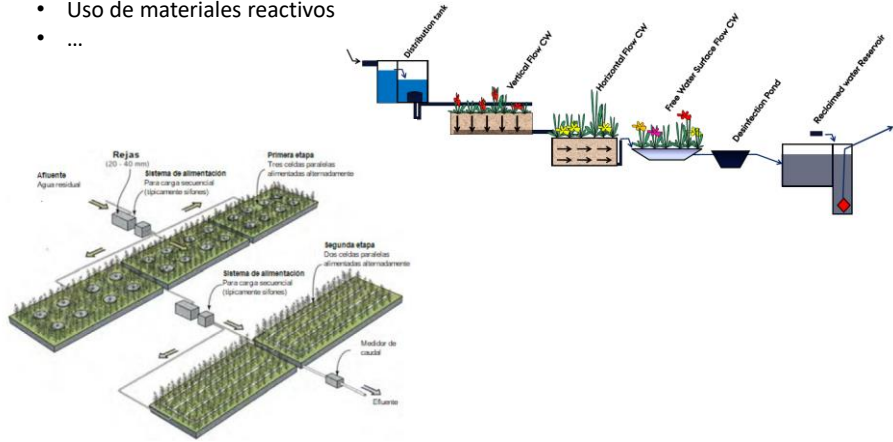
## Tecnologías de humedales construidos, presentación y aplicaciones



Según el contexto local (material disponible, uso del suelo, necesidad de salida...):

- Combinación de diferentes etapas de tratamiento
- Uso de la recirculación
- Uso de materiales reactivos
- ...



  

  

Introducción


Mecanismos

Adaptación al clima tropical

Ventajas e inconvenientes


**Tecnologías de humedales construidos, presentación y aplicaciones**


Aguas residuales domésticas – casa individual

SST : 98 %  
 DBO<sub>5</sub> : 99 %  
 DQO : 94 %  
 KN : 97 %  
 TN : 50 – 70 %

Introducción    Mecanismos    Adaptación al clima tropical    Ventajas e inconvenientes


**Tecnologías de humedales construidos, presentación y aplicaciones**


Aguas residuales domésticas – grandes comunidades

El aspecto estético es posible

**KOHPHI PHI Thailand**



Introducción    Mecanismos    Adaptación al clima tropical    Ventajas e inconvenientes

**Interreg Caraïbes** **Tecnologías de humedales construidos, presentación y aplicaciones** 

**Tratamiento de lodos** A partir de lodos activados o residuos sépticos



Danimarca – lodos activados



Francia – residuos sépticos

Introducción Mecanismos Adaptación al clima tropical Ventajas e inconvenientes

**Interreg Caraïbes** **Tecnologías de humedales construidos, presentación y aplicaciones** 

**Tratamiento de lodos** A partir de lodos activados o residuos sépticos

Isla de Mayotte - lodos activados  
5.000 EH



Introducción Mecanismos Adaptación al clima tropical Ventajas e inconvenientes

**Interreg**  **Tecnologías de humedales construidos, presentación y aplicaciones**   
**Caraïbes**  
Projet de coopération de développement régional  
**CARIBSAN** 

Aguas pluviales - Desbordamiento del alcantarillado combinado (DAC) Francia - DAC- 1,500 m<sup>3</sup>/d



**Introducción** Mecanismos Adaptación al clima tropical Ventajas e inconvenientes

**Interreg**  **Tecnologías de humedales construidos, presentación y aplicaciones**   
**Caraïbes**  
Projet de coopération de développement régional  
**CARIBSAN** 

Industriales - industrias agroalimentarias



<https://www.terrerhum.org/>



Industria química - Estados Unidos - Metanol - Benceno

Isla de Martinica - Efluentes de la destilería de ron - 250 m<sup>3</sup>/d

**Introducción** Mecanismos Adaptación al clima tropical Ventajas e inconvenientes



**Interreg**  **Caraïbes**  
Fond européen de développement régional  
CARIBSAN 

# Tecnologías de humedales construidos, presentación y aplicaciones



 **CARIBSAN**


Introducido en la zona urbana para reutilización del agua









Reutilización de aguas residuales tratadas para las cisternas de los inodoros

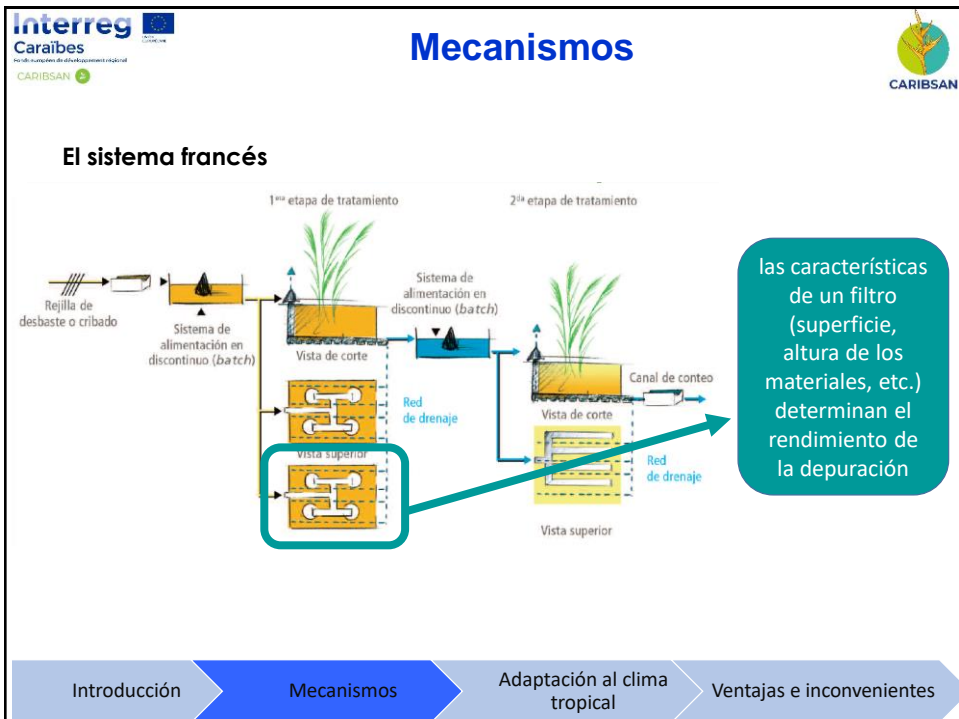
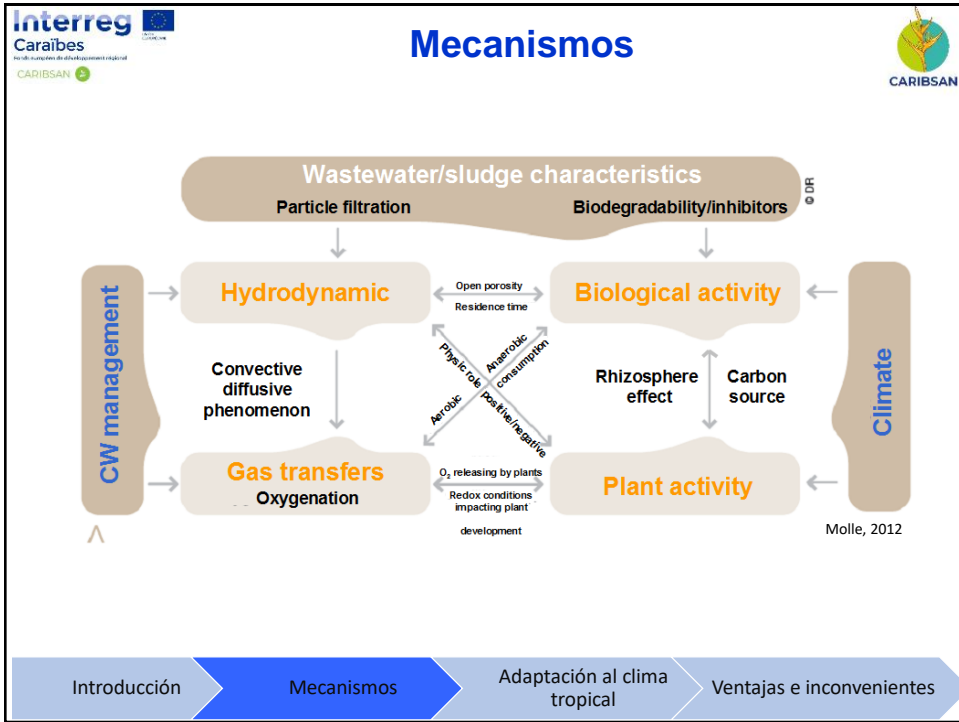
Introducción Mecanismos Adaptación al clima tropical Ventajas e inconvenientes



**Interreg**  **Caraïbes**  
Fond européen de développement régional  
CARIBSAN 

 **CARIBSAN**


## Mecanismos implicados en los humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales

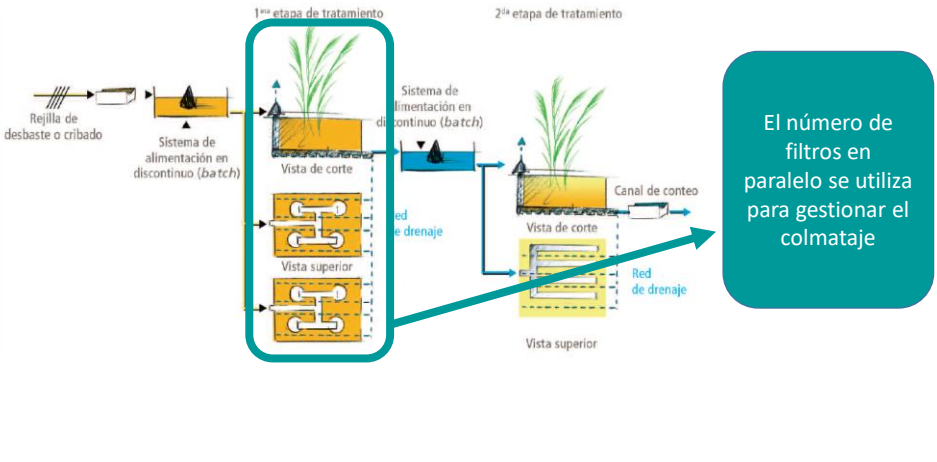


**Interreg**   
**Caribes**  
Proyecto de cooperación de desarrollo regional  
CARIBSAN 

## Mecanismos

  
CARIBSAN

### El sistema francés



1<sup>er</sup> etapa de tratamiento      2<sup>er</sup> etapa de tratamiento



Rejilla de desbaste o cribado      Sistema de alimentación en discontinuo (*batch*)      Sistema de alimentación en discontinuo (*batch*)      Sistema de alimentación en continuo (*batch*)

Vista de corte      Red de drenaje      Red de drenaje      Canal de conteo


Vista superior      Vista superior

El número de filtros en paralelo se utiliza para gestionar el colmataje

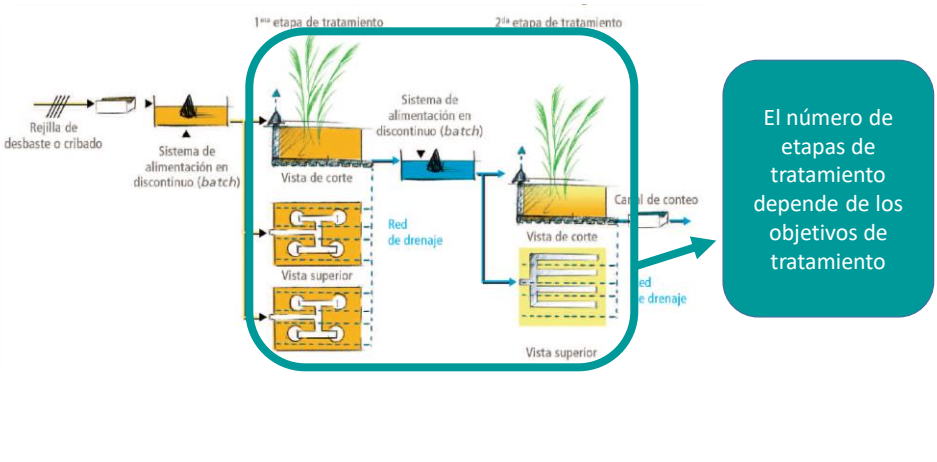
Introducción      Mecanismos      Adaptación al clima tropical      Ventajas e inconvenientes

**Interreg**   
**Caribes**  
Proyecto de cooperación de desarrollo regional  
CARIBSAN 

## Mecanismos

  
CARIBSAN

### El sistema francés



1<sup>er</sup> etapa de tratamiento      2<sup>er</sup> etapa de tratamiento


Rejilla de desbaste o cribado      Sistema de alimentación en discontinuo (*batch*)      Sistema de alimentación en discontinuo (*batch*)      Sistema de alimentación en continuo (*batch*)

Vista de corte      Red de drenaje      Red de drenaje      Canal de conteo

Vista superior      Vista superior

El número de etapas de tratamiento depende de los objetivos de tratamiento


Introducción      Mecanismos      Adaptación al clima tropical      Ventajas e inconvenientes

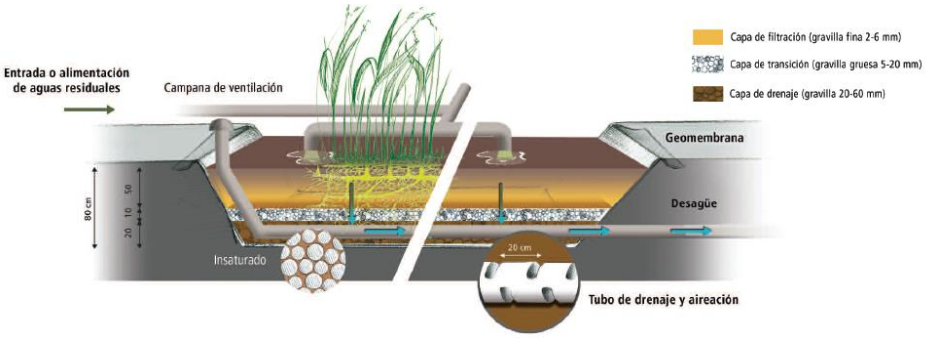


Interreg  
Caribes  
Fondo Europeo de Desarrollo Regional  
CARIBSAN

## Mecanismos

### Sistema de flujo vertical





El objetivo es, en general, operar en condiciones aeróbicas

Introducción

Mecanismos

Adaptación al clima tropical

Ventajas e inconvenientes



Interreg  
Caribes  
Fondo Europeo de Desarrollo Regional  
CARIBSAN

## Mecanismos

### ¿Cómo transferir el oxígeno en el sistema?



Aireación pasiva

Sistemas saturados

- Difusión de oxígeno a través de la superficie
- Liberación de oxígeno por las plantas

Muy poca oxigenación en estos sistemas

Sistemas no saturados

- Difusión en fase aérea
- Convección del aire con el movimiento del agua



Aireación mecánica

- Suministro de aire con soploadores
- Suministro de aire forzando los movimientos del agua (convección)




Introducción

Mecanismos


Adaptación al clima tropical

Ventajas e inconvenientes





## Mecanismos

# Dos elementos claves para la ventilación pasiva



**Alimentación por cargas secuencial**

Alternancias son fundamentales para el correcto funcionamiento del humedal de FV tipo francés.

Un ciclo de dosificación  
10,5 días


Fase 1 3,5 días	Carga	Descansa	Descansa
Fase 2 3,5 días	Descansa	Carga	Descansa
Fase 3 3,5 días	Descansa	Descansa	Carga

Introducción

Mecanismos


Adaptación al clima tropical

Ventajas e inconvenientes




## Mecanismos

# el papel de las plantas



un papel físico



Los tallos disminuyen la conductividad hidráulica de la capa de depósito: esta función mecánica es de gran importancia en las sistemas que aplican una capa de depósito en la parte superior

Efecto de la evapotranspiración

Seca el filtro y ayuda a la mineralización de la biomasa

Efecto biológico

Permite una mayor diversidad bacteriana

Las plantas oxigenan y tratan el agua ?

**Completamente insignificante. La biomasa sí trata el agua**

Introducción

Mecanismos

Adaptación al clima tropical

Ventajas e inconvenientes

Interreg  
Caribes  
EUROPEAN UNION  
CARIBSAN

## Mecanismos

CARIBSAN

Parámetro	Mecanismo de eliminación principal
Sólidos suspendidos	Sedimentación, filtración
Materia orgánica	Sedimentación y filtración para la eliminación de materia orgánica particulada, degradación biológica (aerobia y/o anaerobia) para la eliminación de materia orgánica disuelta
Nitrógeno	Amonificación y posterior nitrificación y desnitrificación, asimilación por la vegetación y exportación mediante la recolección de biomasa
Fósforo	Reacciones de adsorción-precipitación impulsadas por propiedades del medio filtrante, asimilación por vegetación y exportación mediante la recolección de biomasa
Patógenos	Sedimentación, filtración, muerte natural, depredación (realizada por protozoos y metazoos)

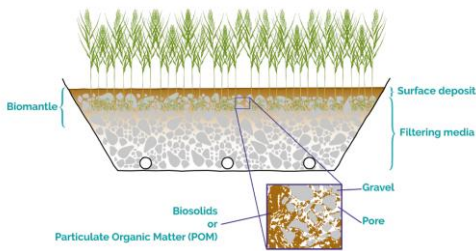
Introducción Mecanismos Adaptación al clima tropical Ventajas e inconvenientes

Interreg  
Caribes  
EUROPEAN UNION  
CARIBSAN

## Mecanismos

CARIBSAN

Garantizar el funcionamiento de los sistemas durante más de 30 años



La acumulación de biosólidos dentro del medio poroso puede:



- Limitar los flujos
- Limitar la transferencia de oxígeno
- Llevar a la colmatación

↓






Evitar que el sistema se atasque requiere una adaptación:


- la carga aplicada
- Controlar la biomasa con alternancia
- del tipo de medio a las características v cargas del agua



Introducción Mecanismos Adaptación al clima tropical Ventajas e inconvenientes

# Adaptación de los humedales construidos al clima tropical para el tratamiento de aguas residuales domésticas







## La adaptación al clima tropical

- Algunos problemas por la adaptación


<b>Clima</b>	➔	¿Cómo reducir la superficie del sistema gracias a una mejor actividad biológica?
<b>material</b>	➔	¿es posible trabajar sin arena y con materiales volcánicos locales?
<b>plantas</b>	➔	¿Qué plantas pueden sustituir al <i>Phragmites australis</i> y desempeñar una función mecánica?

Introducción
Mecanismos
Adaptación al clima tropical
Ventajas e inconvenientes

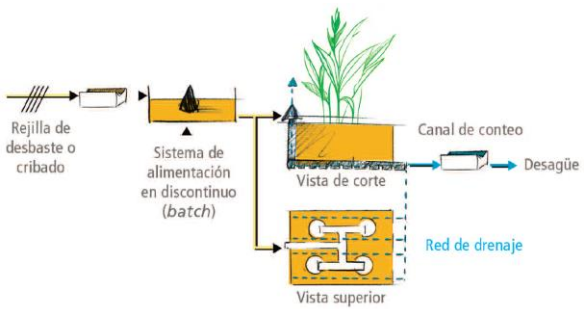


Interreg  
Caraïbes  
Le seul programme de développement régional  
CARIBSAN

## La adaptación al clima tropical




- Se apostó por reducir el número de filtros




- mantener la capacidad de aceptación de variaciones de cargas hidráulicas y orgánicas
- confiar en el efecto de las temperaturas de clima tropical para gestionar el colmataje con un periodo de reposo más corto

Introducción
Mecanismos
Adaptación al clima tropical
Ventajas e inconvenientes

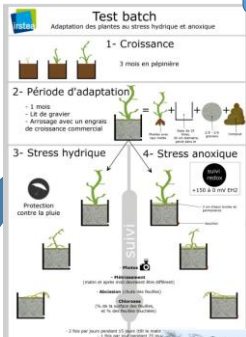


Interreg  
Caraïbes  
Le seul programme de développement régional  
CARIBSAN


## La adaptación al clima tropical




- ¿Qué plantas locales utilizar?



21 especies




120 especies




8 especies

Species	Adaptation	Stress hydrique	Stress anoxique	Survival	Recovery	Production	Quality	Cost
<i>Phragmites australis</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Phragmites mauribius</i>	?	?	?	?	?	?	?	?
<i>Canna indica</i>	?	?	?	?	?	?	?	?
<i>Heliconia Caribaea</i>	?	?	?	?	?	?	?	?
<i>Heliconia psittacorum</i>	✓	✓	?	?	?	?	?	?
<i>Heliconia rostrata</i>	?	?	?	?	?	?	?	?
<i>Alpinia purpurata</i>	?	?	?	?	?	?	?	?
<i>Cyperus pappirus L.</i>	?	?	?	?	?	?	?	?
<i>Cyperus oligosperusoides</i>	?	?	?	?	?	?	?	?
<i>Cyperus alternifolius</i>	?	?	?	?	?	?	?	?
<i>Cyperus haslettii</i>	?	?	?	?	?	?	?	?
<i>Schoenoplectus littoralis</i>	✓	?	?	?	?	?	?	?
<i>Thyaspis moensis</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Tripsacum laevis</i>	?	?	?	?	?	?	?	?
<i>Pennisetum purpuraceum</i>	?	?	?	?	?	?	?	?








## La adaptación al clima tropical



• ¿Qué plantas locales utilizar?

<i>Heliconia psittacorum</i>	<i>Canna indica, canna glauca</i>	<i>Cyperus alternifolius/involucratu</i>
Familia de las Heliconiaceas, orden de las Zingiberales	Familia de las Cannáceas, orden de las Zingiberales	Familia de las Ciperáceas, orden de las Poales
		
Desarrollo muy homogéneo, colonización progresiva del conjunto del filtro	Leve tendencia a desarrollo en manojos Colonización lenta del conjunto del filtro	Crecimiento rápido pero muy lenta colonización del conjunto del filtro Desarrollo en manojos
Densidad promedio: hasta 250 tallos/m <sup>2</sup>	Densidad promedio: hasta 250 tallos/m <sup>2</sup>	Muy alta densidad: hasta 600 tallos/m <sup>2</sup>
Muy alta competitividad con adventicias	Muy alta competitividad con adventicias	Fuerte competitividad con adventicias
Requiere acompañamiento en la instalación: desmalezado durante 3 meses 1 a 2 veces al mes Siega anual antes de la temporada de ciclones	Requiere acompañamiento en la instalación: desmalezado durante 3 meses, 1 a 2 veces al mes Siega anual, antes de la temporada de ciclones	No requiere acompañamiento en la plantación Siega cada 6 meses para eliminar tallos muertos y favorecer la colonización del conjunto del filtro
Observaciones existen 1 200 cultivares con una alta heterogeneidad (incluso al interior de los filtros). Privilegiar los cultivares más pequeños. Proximidad genética con el banano acarrea riesgos fitosanitarios si el HA se encuentra a menos de 1 km de una plantación de bananos	Observación En <i>Canna indica</i> en Guadalupe y Martinica se observan ataques de orugas de diciembre a marzo. No destruyen por completo las plantas, pero las debilitan	<p><b>Which plants are needed for a French vertical-flow constructed wetland under a tropical climate?</b></p> <p>R. Lombard Latune, O. Laporte-Daubo, N. Fina, S. Peyrat, L. Pelus and P. Molle</p>

Introducción
Mecanismos
Adaptación al clima tropical
Ventajas e inconvenientes



## La adaptación al clima tropical



• Diseño y performances

Nombre	Departamento	Capacidad	Sistema	Puesta en servicio	Número de balances	Tasa de carga media (% carga nominal)	
						Orgánica	Hidráulica
Hachenoua	Mayotte	110 EH	1 nivel: 2 HA NS capa filtrante de 80 cm	Abril 2006	16	53 %	65 %
Bois d'Opale 1	Guyane	300 EH	1 nivel: 2 HA NS 0 y 100% de recirculación	Mayo 2010	9	33 %	139 %
Bois d'Opale 2	Guyane	480 EH	1 nivel: 2 HA NS 100% de recirculación	Marzo 2012	13	29 %	169 %
Mansarde Rancée	Martinique	1 000 EH	1er nivel: 2 x 3 HA NS/S 2º nivel: 2 x 2 HA NS	Enero 2014	3	10 %	16 %
Taupinière	Martinique	900 EH	1er nivel: 2x2 HA NS/S 2º nivel: LB carga baja	Noviembre 2014	31	84 %	98 %
Les Mangles	Guadeloupe	120 EH	1 nivel: 2 HA NS/S	Octubre 2015	17	4 %	15 %
Champ d'Ylang 2	Mayotte	190 EH	1 nivel: 2 HA NS Capa filtrante de 30 cm	Noviembre 2015	7	81 %	105 %

Introducción
Mecanismos
Adaptación al clima tropical
Ventajas e inconvenientes



Interreg  
Caraïbes  
Fond européen de développement régional  
CARIBSAN

## La adaptación al clima tropical



CARIBSAN

• Diseño y performances


Nombre	Departamento	Capacidad				
Hachenoua	Mayotte	110 EH				
Bois d'Opale 1	Guyane	300 EH				
Bois d'Opale 2	Guyane	480 EH				
Mansarde Rancée	Martinique	1 000 EH				
Taupinière	Martinique	900 EH				
Les Mangles	Guadeloupe	120 EH				
Champ d'Ylang 2	Mayotte	190 EH				

NS 100% de recirculación				
1er nivel: 2 x 3 HA NS/S 2º nivel: 2 x 2 HA NS	Enero 2014	3	10 %	16 %

Flujo vertical de una etapa con 2 filtros en paralelo


Diferente profundidad de la capa de filtración con o sin recirculación

Introducción
Mecanismos
Adaptación al clima tropical
Ventajas e inconvenientes



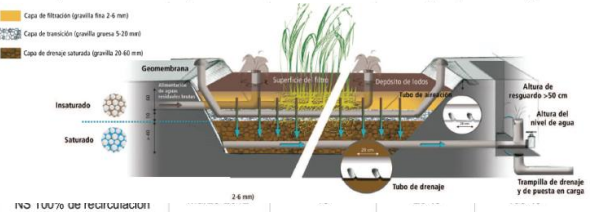
Interreg  
Caraïbes  
Fond européen de développement régional  
CARIBSAN

## La adaptación al clima tropical



CARIBSAN

• Diseño y performances


Nombre	Departamento	Capacidad				
Hachenoua	Mayotte	110 EH				
Bois d'Opale 1	Guyane	300 EH				
Bois d'Opale 2	Guyane	480 EH				
Mansarde Rancée	Martinique	1 000 EH				
Taupinière	Martinique	900 EH				
Les Mangles	Guadeloupe	120 EH				
Champ d'Ylang 2	Mayotte	190 EH				

NS 100% de recirculación				
1er nivel: 2 x 3 HA NS/S 2º nivel: 2 x 2 HA NS	Enero 2014	3	10 %	16 %


1ª etapa de flujo vertical no saturada/saturada con dos filtros en paralelo

Diferente profundidad de la capa de filtración con o sin recirculación

Introducción
Mecanismos
Adaptación al clima tropical
Ventajas e inconvenientes

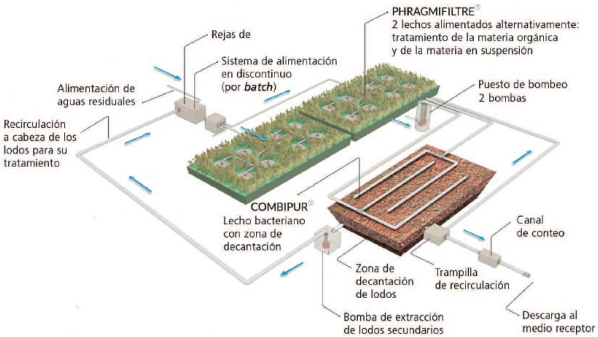


## La adaptación al clima tropical



• Diseño y performances

Nombre	Departamento	Capacidad
Hachenoua	Mayotte	110 EH
Bois d'Opale 1	Guyane	300 EH
Bois d'Opale 2	Guyane	480 EH
Mansarde Rancée	Martinique	1 000 EH
Taupinière	Martinique	900 EH
Les Mangles	Guadeloupe	120 EH
Champ d'Ylang 2	Mayotte	190 EH



1 nivel: 2 HANS	Noviembre 2015	7	81 %	105 %
Capa filtrante de 20 cm				


Filtro percolador simplificado con zona de decantación

Introducción


Mecanismos

Adaptación al clima tropical

Ventajas e inconvenientes



## La adaptación al clima tropical



• Diseño y performances

Rendimientos similares del flujo vertical que en clima templado para DQO, DBO, SST

Mejor nitrificación - Nitrificación casi completa utilizando 80 cm de grava y recirculación

1516 © IWA Publishing 2015 Water Science & Technology | 71:16 | 2015

French vertical-flow constructed wetland design: adaptations for tropical climates  
P. Mollé, R. Lombard Latune, C. Riegel, G. Lacombe, D. Esser and L. Margeot


Qualidad (mg/L)	80 cm			Rendimientos (%)		
	0 %	< 125 %	> 125 %	0 %	< 125 %	> 125 %
DQO	71	61	44	91	93	91
DBO <sub>5</sub>	33	23	8,6	91	94	
SST	26	37	16	91	93	95
NK	10	5	4	90	93	95

Introducción


Mecanismos

Adaptación al clima tropical

Ventajas e inconvenientes



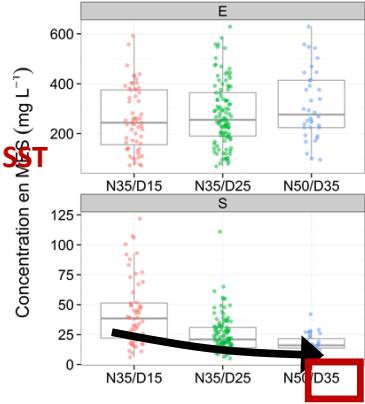
**La adaptación al clima tropical**



• Diseño y performances


El funcionamiento de los filtros verticales saturado/no saturado

Rendimientos estables y altos para la DQO (DBO) y SST




Los rendimientos de solidos dependen de la altura de la parte saturada

Introducción
Mecanismos
Adaptación al clima tropical
Ventajas e inconvenientes



**La adaptación al clima tropical**



• Diseño y performances


El funcionamiento de los filtros verticales saturado/no saturado

Rendimientos estables y altos para la DQO (DBO) y SST


La desnitrificación depende del ratio carbono/nitratos y del tiempo de residencia hidráulica en la parte saturada

Altos rendimientos son posibles

Introducción
Mecanismos
Adaptación al clima tropical
Ventajas e inconvenientes



## La adaptación al clima tropical

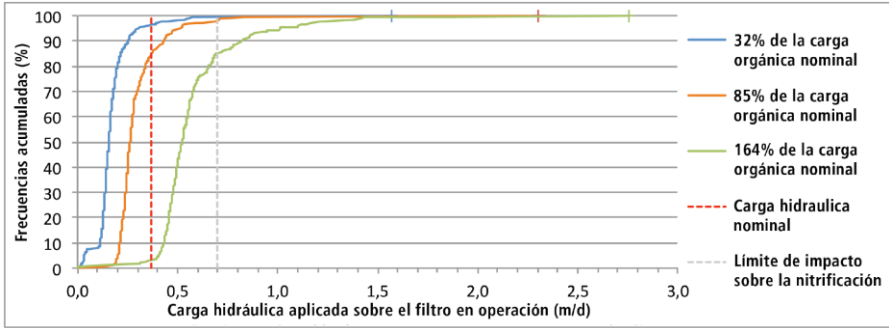


• **Diseño y performances**

Puede aceptar altas sobrecargas hidráulicas (evento de tormenta) y tifones

Contents lists available at ScienceDirect  
**Science of the Total Environment**  
journal homepage: www.elsevier.com/locate/scitotenv

Resilience and reliability of compact vertical-flow treatment wetlands designed for tropical climates  
 R. Lombard-Latune <sup>a,\*</sup>, L. Pelus <sup>b</sup>, N. Fina <sup>c</sup>, F. L'Etang <sup>d</sup>, B. Le Guennec <sup>e</sup>, P. Molle <sup>d</sup>




**Figura 1:** Frecuencias acumuladas (%) vs. Carga hidráulica aplicada sobre el filtro en operación (m/d).  
 - Línea azul: 32% de la carga orgánica nominal  
 - Línea naranja: 85% de la carga orgánica nominal  
 - Línea verde: 164% de la carga orgánica nominal  
 - Línea roja punteada: Carga hidráulica nominal  
 - Línea gris punteada: Limite de impacto sobre la nitrificación

Introducción


Mecanismos

Adaptación al clima tropical

Ventajas e inconvenientes



## La adaptación al clima tropical



• **Sistema y objetivos de tratamiento**

Variantes de HA	Autonomía eléctrica (salvo limitaciones topográficas)	Red unitaria	Actividad intermitente	Área requerida	Rendimientos de tratamiento garantizados: factor de reducción % (concentraciones límites mg/L)				Tratamiento de gérmenes patógenos (módulo UV)
					DQO	SST	NTK	NT	
2 HANS capa filtrante 30 cm	✓	✓	✗	0,8 m <sup>2</sup> /HE	75 % (125 mg/L)	80 % (50 mg/L)	60 % (40 mg/L)	20 % (60 mg/L)	✗
2 HANS capa filtrante 30 cm + recirculación	✗	✓ (lámina de agua diaria < 70 cm)	✓ (atención al consumo eléctrico)	0,8 m <sup>2</sup> /HE	75 % (125 mg/L)	85 % (30mg/L)	60 % (40 mg/L)	20 % (60 mg/L)	✗
2 HANS capa filtrante 80 cm	✓	✓	✓ posible si hay recirculación	0,8 m <sup>2</sup> /HE	90 % (100 mg/L)	90 % (25 mg/L)	80 % (15 mg/L)	20 % (60 mg/L)	✓


Filtros verticales con drenaje libre

Introducción

Mecanismos

Adaptación al clima tropical


Ventajas e inconvenientes



Interreg  
Caraïbes  
Projet de coopération de développement régional

CARIBSAN

## La adaptación al clima tropical




CARIBSAN

• Sistema y objetivos de tratamiento

Variantes de HA	Autonomía eléctrica (salvo limitaciones topográficas)	Red unitaria	Actividad intermitente	Área requerida	Rendimientos de tratamiento garantizados: factor de reducción % (concentraciones límites mg/L)				Tratamiento de gérmenes patógenos (módulo UV)
					DQO	SST	NTK	NT	
2 HA NS/S <small>capa filtrante 30 cm</small>	✓	✓	✓	0,8 m <sup>2</sup> /HE	85 % <small>(125 mg/L)</small>	90 % <small>(25 mg/L)</small>	60 % <small>(40 mg/L)</small>	50 % <small>(50 mg/L)</small>	✓
2 HA NS/S + 2 HAv	✓	✓	✓ <small>posible si hay recirculación (estés hídrico en la segunda etapa)</small>	1,6 m <sup>2</sup> /HE	90 % <small>(75 mg/L)</small>	95 % <small>(15 mg/L)</small>	90 % <small>(6 mg/L)</small>	70 % <small>(35 mg/L)</small>	✓
2 HA NS/S + LB	✗	✓	✓	0,9 m <sup>2</sup> /HE	90 % <small>(75 mg/L)</small>	95 % <small>(15 mg/L)</small>	90 % <small>(6 mg/L)</small>	70 % <small>(35 mg/L)</small>	✓
2 HA NS + HAh	✓	✓	✓	1,8 m <sup>2</sup> /HE	85 % <small>(125 mg/L)</small>	90 % <small>(25 mg/L)</small>	70 % <small>(20 mg/L)</small>	70 % <small>(35 mg/L)</small>	✓

Filtros verticales NS/S


Introducción
Mecanismos
Adaptación al clima tropical
Ventajas e inconvenientes



Interreg  
Caraïbes  
Projet de coopération de développement régional

CARIBSAN

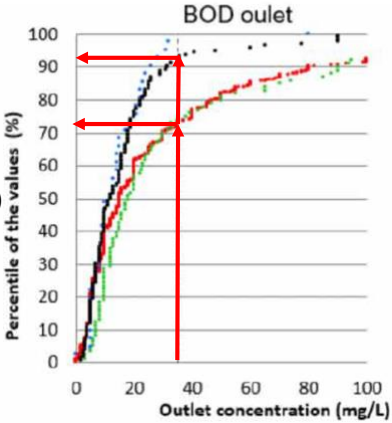
## La adaptación al clima tropical



CARIBSAN

• Comparación con los sistemas tradicionales en la vida real


- Lodos activados (AS)
- Contactor biológico rotativo (RBC)
- Lagunaje facultativo (FP)
- Humdales de flujo vertical (VFTW)




BOD outlet

The graph plots the percentile of outlet BOD values against the outlet concentration in mg/L. The x-axis ranges from 0 to 100 mg/L, and the y-axis ranges from 0 to 100 percentiles. Four data series are shown: Lodos activados (AS) in red, Contactor biológico rotativo (RBC) in green, Lagunaje facultativo (FP) in blue, and Humdales de flujo vertical (VFTW) in black. A vertical red line is drawn at approximately 35 mg/L, with horizontal arrows indicating the corresponding percentiles for each system: AS is at ~90%, RBC is at ~75%, FP is at ~70%, and VFTW is at ~70%.

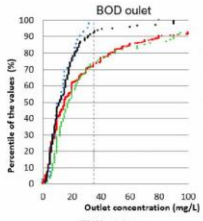
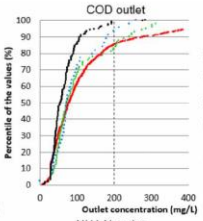
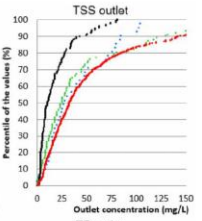
Introducción
Mecanismos
Adaptación al clima tropical
Ventajas e inconvenientes

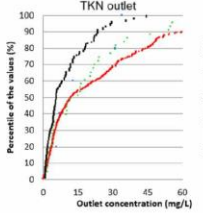
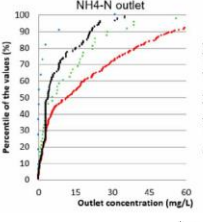
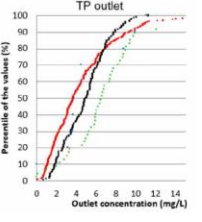


## La adaptación al clima tropical



- Mayor robustez que los sistemas convencionales


Humedales de flujo vertical son los más fiables y eficaces en la vida real de la pequeñas comunidades de las zonas tropicales Francesas

© IWA Publishing 2010 Water Science & Technology 62:4 | 2010


Performance and reliability comparison of French vertical flow treatment wetlands with other decentralized wastewater treatment technologies in tropical climates  
Rémi Lombard-Latune, Florent Lericquier, Chafatayne Oucacha, Lucas Pelus, Gérard Lacombe, Bernard Le Guennec and Pascal Molle IWA

Introducción


Mecanismos



## La adaptación al clima tropical




### Un diseño < 1m<sup>2</sup>/EH



AGENCE FRANÇAISE POUR LE BIODIVERSITÉ  
Humedales artificiels pour le traitement des eaux usées  
Guide de dimensionnement pour zones tropicales

https://www.researchgate.net/project/Sanitation-systems-in-tropical-climate




Credit: Luca Pelus

Introducción




Mecanismos

Adaptación al clima tropical

Ventajas e inconvenientes




# Ventajas e inconvenientes de los humedales construidos

## Ventajas e inconvenientes

- Superficie requerida (pero posibilidad de menos de 1 m<sup>2</sup>/EH)
- Corte anual de la vegetación y eliminación, especialmente para las superficies más altas
- Eliminación de las malas hierbas, sobre todo durante el primer año (especialmente en caso de carga hidráulica demasiado baja)
- Riesgo de fauna indeseable (serpientes...)
- Disponibilidad de gravas finas, arenas (necesidad de adaptar el diseño en la zona tropical según materiales locales)
- Se vuelve menos interesante económicamente para grandes capacidades (> 5000 e-h) en comparación con los lodos activados
- Sin tratamiento de fósforo (excepto con materiales específicos) y desinfección limitada (con sistemas convencionales)


Introducción

Mecanismos

Adaptación al clima tropical

Ventajas e inconvenientes





## Ventajas e inconvenientes

- Buena eliminación aeróbica ( $DBO_5 < 25 \text{ mg/l}$ ,  $DQO < 75 - 125 \text{ mg/l}$ ,  $SS < 15 - 30 \text{ mg/l}$ )
- Posibilidades de nitrificación ( $NTK < 6 - 40 \text{ mg/l}$ ), desnitrificación ( $NT < 35 \text{ mg/l}$ ),
- Capaz de tratar aguas residuales crudas. Sin tratamiento primario, ni lodos primarios
- Gestión mínima de los lodos. Extracción cada 15-20 años o más. Disminución de la producción de lodos. Reutilización de los lodos en la agricultura
- Fácil de manejar :
  - Rotación de los filtros 2 veces por semana
  - Eliminación de las malas hierbas
  - Corte anual de la vegetación
  - Ningún o pocos equipos electromecánicos

Introducción → Mecanismos → Adaptación al clima tropical → **Ventajas e inconvenientes**

## Ventajas e inconvenientes

- Consumo de energía nulo o bajo
- Capacidad para aceptar la variación de las cargas orgánicas e hidráulicas. Caso de las pequeñas EDAR
- Soluciones “verdes”
- Clima tropical favorable al crecimiento vegetal endémico
- Posibilidades de tratar otros tipos de aguas residuales : aguas residuales agrícolas, industriales, pluviales, ...  
Lodos
- Menor costo de inversión para las pequeñas EDAR en comparación con otros tratamientos
- Bajos costes de explotación

Introducción → Mecanismos → Adaptación al clima tropical → **Ventajas e inconvenientes**

**Interreg**   
**Caraibes**  
Interreg - coopération de développement régional  
CARIBSAN 

# Preguntas/respuestas

 **CARIBSAN**



   **INRAE**   **WASCO**  **WASCO**