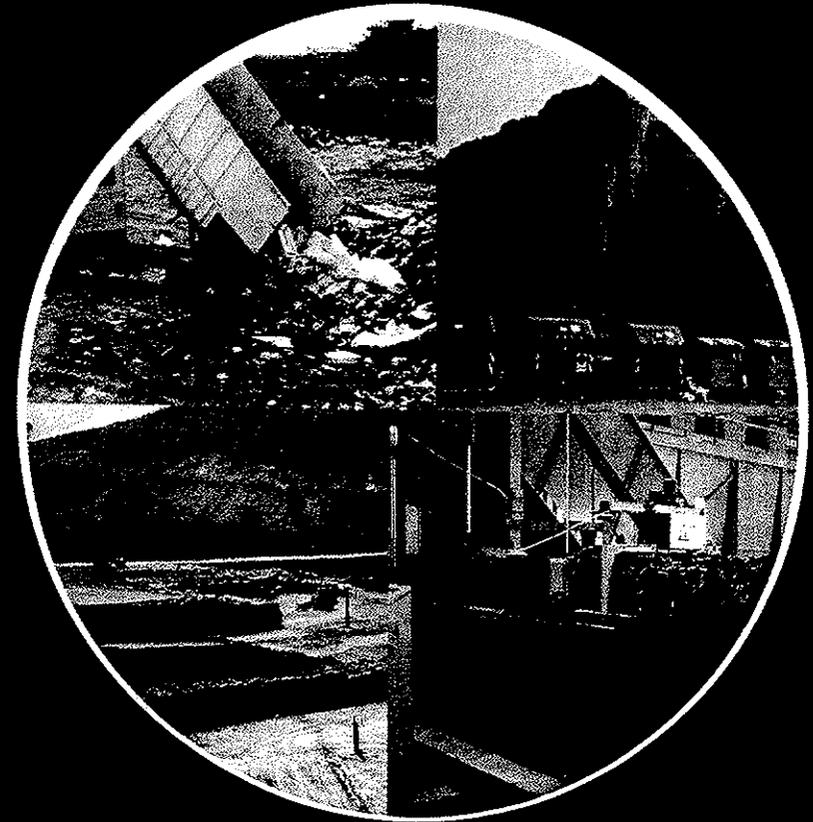


# INGENIERÍA DE RESIDUOS

HACIA UNA GESTIÓN SOSTENIBLE

A. Gallardo, M.D. Bovea, F.J. Colomer  
G. Monrós, M. Carlos (eds.)



ISBN 978-84-8021-665-4



Col·lecció  
«e-Treballs d'Informàtica i Tecnologia»  
Núm. 7

# INGENIERÍA DE RESIDUOS

## HACIA UNA GESTIÓN SOSTENIBLE

I SIMPOSIO IBEROAMERICANO  
SOBRE INGENIERÍA DE RESIDUOS

A. Gallardo, M.D. Bovea,  
F. J. Colomer, G. Monrás, M. Carlos (eds.)



UNIVERSITAT  
JAUME I

(1r. 2008. Castelló de la Plana)

Ingeniería de residuos : hacia una gestión sostenible : 1r Simposio Iberoamericano sobre ingeniería de residuos / A. Gallardo ... [et al.] (editores) —Castelló de la Plana : Publicacions de la Universitat Jaume I, D.L. 2008

p.cm.+1 disc òptic (CD-ROM) —(e-Treballs d'informàtica i tecnologia ; 7)

ISBN 978-84-8021-665-4

I. Deixalles – Eliminació – Congressos. I. Gallardo, A., ed. II. Universitat Jaume I (Castelló). Publicacions de la Universitat Jaume I. III. Títol. IV. Sèrie.

621.039.73(063)

007.52(063)



Cap part d'aquesta publicació, incloent-hi el disseny de la coberta, no pot ser reproduïda, emmagatzemada, ni transmesa de cap manera, ni per cap mitjà (elèctric, químic, mecànic, òptic, de gravació o bé de fotocòpia) sense autorització prèvia de la marca editorial.

© Del text: els autors, 2008

© De la present edició: Publicacions de la Universitat Jaume I, 2008

Edita: Publicacions de la Universitat Jaume I. Servei de Comunicació i Publicacions  
Campus del Riu Sec. Edifici Rectorat i Serveis Centrals. 12071 Castelló de la Plana  
Fax 964 72 88 32

<http://www.tenda.uji.es> e-mail: [publicacions@uji.es](mailto:publicacions@uji.es)

ISBN: 978-84-8021-665-4

Dipòsit legal: V-3133-2008

Imprimeix: Digital Gràfic. Tel. 961 710 317

<http://www.digitalgrafic.net> c/e: [info@digitalgrafic.net](mailto:info@digitalgrafic.net)

VIII

II

# I Simposio Iberoamericano sobre Ingeniería de Residuos

## COMITÉ ORGANIZADOR

Dr. A. Gallardo Izquierdo, Universitat Jaume I (Castellón, España)  
Dra. M.D. Bovea Edo, Universitat Jaume I (Castellón, España)  
Dr. F.J. Colomer Mendoza, Universitat Jaume I (Castellón, España)  
Dr. G. Monrós Tomás, Universitat Jaume I (Castellón, España)  
Dra. G. López Fernández, Universidad Politécnica de Madrid (Madrid, España)  
Dra. M. Carlos Alberola, Universitat Jaume I (Castellón, España)  
Lda. M. Prades Martí, Universitat Jaume I (Castellón, España)

## COMITÉ CIENTÍFICO

Dr. A. Gallardo Izquierdo, Universitat Jaume I (Castellón, España)  
Dr. M. Szantó Narea, Pontificia Universidad Católica de Valparaiso (Chile)  
Dr. I. Tejero Monzón, Universidad de Cantabria (España)  
Dr. N. Molinares Amaya, Universidad del Norte (Barranquilla, Colombia)  
Ing. J. Runfola Medrano, Universidad de los Andes (Mérida, Venezuela)  
Ing. L.M. Magistocchi, Universidad Nacional de Cuyo (Mendoza, Argentina)  
Dra. C. C. Nóbrega, Universidade Federal da Paraíba (João Pessoa, Brasil)  
Dra. S. Ojeda Benítez, Univ. Autónoma de Baja California (Mexicali, México)  
Dr. G. Monrós Tomás, Universitat Jaume I (Castellón, España)  
Dra. G. López Fernández, Universidad Politécnica de Madrid (España)  
Dra. M.D. Bovea Edo, Universitat Jaume I (Castellón, España)  
Dr. F.J. Colomer Mendoza, Universitat Jaume I (Castellón, España)  
Dra. M. Carlos Alberola, Universitat Jaume I (Castellón, España)  
Ing. F. Albarrán Vargas-Zuñiga, RECIPLASA (Castellón, España)  
Ing. J. Bartolomé García, FOBESA (Castellón, España)  
Ing. Ferrán Relea Ginés, CESPÁ (Castellón, España)  
Ing. V. Aparici Moya, Excma. Diputación de Castellón (España)

Nuevos materiales poliméricos para la eliminación fotoquímica de contaminantes	
BURGUETE, M. I.; GALINDO, F.; GAVARA, R.; LUIS, S. V. ....	97
Efecto combinado del $HGCL_2$ y el $KNO_3$ sobre la extracción de mercurio y la composición elemental del jacinto de agua	
CALDELAS, C.; IGLESIA-TURIÑO, S.; ARAUS, J. L.; FEBRERO, A.; BORT, J. ....	98
Ultrafiltración mejorada con micelas para la eliminación de fósforo de aguas residuales domésticas	
CAMARILLO, R.; ASENSIO, I.; RINCÓN, J. ....	99
Tratamiento de lixiviados de vertederos de residuos urbanos (RU)	
CASTRILLÓN, L.; FERNÁNDEZ-NAVA, Y.; RODRÍGUEZ-IGLESIAS, J.; MARAÑÓN, E.; BERRUETA, J. ....	100
Análisis comparativo entre procesos de tratamiento de agua residual de pequeñas poblaciones de la provincia de Castellón	
FERRER, C.; MIGUEL, D.; ALONSO, S.; SANGÜESA, I.; CABEDO, S.; ROGER, J.; GALLARDO, J. ....	101
Tratamiento de lixiviados de vertedero de rsu por procesos de membranas	
GARCÍA, J.; FERRER, C.; ALBARRÁN, F. ....	102
Estudio de la eliminación de proteínas en salmueras residuales por acidificación y centrifugación	
GUTIÉRREZ, M. R.; MUÑOZ-GUERRERO, H.; VIDAL-BROTÓNS, D.; BARAT, J. M.; GRAS, M.; ALCAÍNA-MIRANDA, M. I. ....	103
Evaluación de sistemas de tratamiento no-convencional para efluentes procedentes de explotaciones ganaderas	
MENDIETA, C. A.; LÓPEZ, C.; PÉREZ, S. O. ....	104
Diseño óptimo de redes de evacuación de aguas residuales	
MONTALVO, I.; IZQUIERDO, J.; FERNÁNDEZ, G.; PÉREZ, R. ....	105
Presencia de tetraciclinas en purines y estudio de su eliminación en procesos de fangos activados	
MONTES, N.; HUOSA, M.; BÉCARES, E.; MÉNDEZ, R.; MARTÍN-VILLACORTA, J. ....	106
Proteínas y partículas en suspensión en salmuera residual del desalado de bacalao	
MUÑOZ-GUERRERO, H.; GUTIÉRREZ, M.; VIDAL-BROTÓNS, D.; BARAT, J. M.; GRAS, M.; TOLDRÁ, F. ....	107
Efecto del pH en la filtración frontal de salmuera residual del desalado de bacalao	
MUÑOZ-GUERRERO, H.; GUTIÉRREZ, M.; VIDAL-BROTÓNS, D.; BARAT, J. M.; GRAS, M.; ALCAÍNA-MIRANDA, M. I. ....	108
<b>ELIMINACIÓN DE RESIDUOS</b> .....	109

Análise da evolução de recalques em aterros simulados

Evolución y aprovechamiento de biogás en vertederos de residuos sólidos urbanos	
CASTRILLÓN, L.; FERNÁNDEZ-NAVA, Y.; RODRÍGUEZ-IGLESIAS, J.; MARAÑÓN, E.; VÁZQUEZ, I. ....	
Evaluación de antiguos vertederos mediante caracterización de un caso práctico	
COBO, N.; LÓPEZ, A.; TEJERO, I.; LOBO, A. ....	
Regeneración de vertederos	
COSTA-SANSALONI, J. ....	
Comparativa de revestimientos de base en vertederos de residuos sólidos urbanos	
GARCÍA-PIÑÓN, F.; SANFELIU, T.; MESEGUER, S.; JORDÁN, M. M. ....	
Restauración de canteras para su aprovechamiento como vertederos	
GARCÍA-PIÑÓN, F.; SANFELIU, T.; MESEGUER, S.; JORDÁN, M. M. ....	
Análisis de la normativa de vertederos	
GARCÍA-PIÑÓN, F.; SANFELIU, T.; MESEGUER, S.; JORDÁN, M. M. ....	
Aportación al conocimiento de los vertederos de la provincia de Castellón	
GARCÍA-PIÑÓN, F.; SANFELIU, T.; MESEGUER, S.; JORDÁN, M. M. ....	
Simulación de un vertedero dentro de la evaluación de las alternativas de gestión de RSU	
LÓPEZ, A.; COBO, N.; TEJERO, I.; LOBO, A. ....	
Monitoramento de chorume no antigo lixão de regular em João Pessoa - Paraíba - Brasil	
NÓBREGA, C. C.; FERREIRA, J. W. O.; ATHAYDE JUN., G. B.; OLIVEIRA, C. L.; COSTA, M. D. ....	
Composición física de los residuos sólidos confinados en una zona rural en México	
OLVEDA, S.; LOZANO, G.; CARREÓN, C.; REYES, J.; RAMÍREZ, J. ....	
Análisis de la emisión de gases de efecto invernadero en una instalación de tratamiento de residuos en España	
PARDO, G.; LORETA, T.; SOLE-MAURI, F. ....	

## IMPACTO Y RIESGO AMBIENTAL .....

Risk habitat megacity-waste management in Santiago	
BRAUTIGAM, K. R.; GONZALEZ, T.; SEIDL, N.; SEIFERT, H. ....	
Análisis de modos de falla y criticidad de efectos en un sistema de contención de lixiviados	
LLAMAS, S. ....	
Impactos ambientales de la disposición sin control de residuos en la construcción en Mendoza. Propuesta de gestión para	
MEDICANTE, I.; MACCIOCCHI, L. M. ....	
Impacto de um lixão desativado na qualidade das águas	
NÓBREGA, C. C.; FERREIRA, J. W. O.; ATHAYDE JUN., G. B.; OLIVEIRA, C. L.; COSTA, M. D. ....	

## EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO NO-CONVENCIONAL PARA EFLUENTES PROCEDENTES DE EXPLOTACIONES GANADERAS

Mendieta, C.A.<sup>1\*</sup>; López, C.<sup>2</sup>; Pérez, S.O.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Civil.

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería de Procesos. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Islas Canarias, España.

### RESUMEN

Los efluentes de las explotaciones ganaderas representan un fuerte impacto ambiental y sanitario. Para ello, se han venido implantando sistemas de depuración con eficiencia variable y que incurren en modos de operación y costos que en ocasiones, el ganadero no puede afrontar.

Los sistemas de tratamiento "natural" o "no-convencional", se han revelado adecuados para pequeñas comunidades, debido a su bajo coste energético y de operación. Sin embargo, la no estandarización de estos sistemas provoca que la efectividad de los mismos sea siempre a posteriori a su diseño y puesta en funcionamiento.

En nuestro trabajo de investigación desarrollaremos los modelos matemáticos que nos permitan predecir el comportamiento de estos sistemas, de tal modo que a priori, con su validación, podamos optar por la solución más adecuada para cada caracterización del efluente a tratar.

El presente documento tiene por objeto el diseño de plantas piloto, que permitirá validar los modelos matemáticos propuestos.

### Palabras clave

Residuos ganaderos, purín, modelización biológica, lagunaje, humedales artificiales, no-convencional, depuración.

---

\* cmendieta@dic.ulpgc.es

## **EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO NO-CONVENCIONAL PARA EFLUENTES PROCEDENTES DE EXPLOTACIONES GANADERAS**

Mendieta Pino, C.A.\*<sup>1</sup>; López Puig, C.\*<sup>2</sup>; Pérez Báez, S.O.\*<sup>3</sup>

(\*<sup>1</sup>) Departamento de Ingeniería Civil. (\*<sup>2</sup> y \*<sup>3</sup>) Departamento de Ingeniería de Procesos. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Edificio de Ingenierías. Campus de Tafira s/n. E-35017. Islas Canarias. España.

### **Resumen**

Los efluentes de las explotaciones ganaderas representan un fuerte impacto ambiental y sanitario. Para ello, se han venido implantando sistemas de depuración con eficiencia variable y que incurren en modos de operación y costos que en ocasiones, el ganadero no puede afrontar.

Los sistemas de tratamiento "natural" o "no-convencional", se han revelado adecuados para pequeñas comunidades, debido a su bajo coste energético y de operación. Sin embargo, la no estandarización de estos sistemas provoca que la efectividad de los mismos sea siempre a posteriori a su diseño y puesta en funcionamiento.

En nuestro trabajo de investigación desarrollaremos los modelos matemáticos que nos permitan predecir el comportamiento de estos sistemas, de tal modo que a priori, con su validación, podamos optar por la solución más adecuada para cada caracterización del efluente a tratar.

El presente documento tiene por objeto el diseño de plantas piloto, que nos permitirá validar los modelos matemáticos propuestos.

*Palabras clave: residuos ganaderos, purín, modelización biológica, lagunaje, humedales artificiales, no-convencional, depuración.*

### **1. Introducción y objetivos.**

#### **1.1 Bases del tratamiento natural.**

##### ***Digestor anaerobio.***

La digestión anaerobia es un proceso biológico por el que se degrada la materia orgánica a través de una compleja serie de reacciones bioquímicas. La digestión anaerobia transcurre en ausencia de oxígeno y los materiales orgánicos complejos se transforman en una serie de compuestos gaseosos que se denominan conjuntamente biogás (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>) y una suspensión acuosa de materiales sólidos (lodos), en los que se encuentran los componentes más difíciles de degradar, la mayor parte del nitrógeno y el fósforo y la totalidad de los elementos minerales (K, Ca, Mg, etc.). En este proceso podemos encontrar varias especies bacterianas que se pueden agrupar en función de su actividad: Etapa hidrolítica, etapa acidogénica ó fermentativa, etapa acetogénica y etapa metanogénica. [1], [3] y [8].

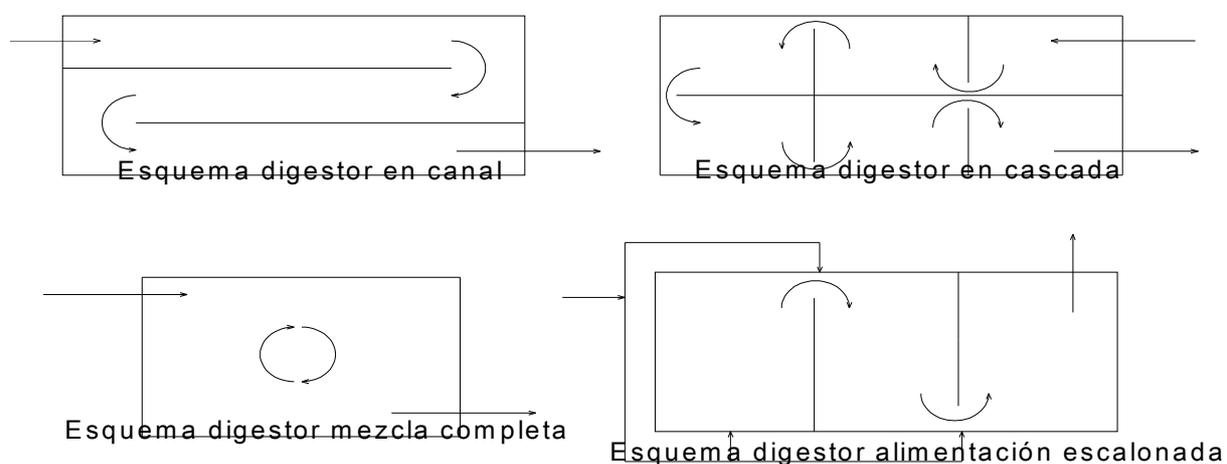
\*<sup>1</sup> Correspondencia: [cmendieta@dic.ulpgc.es](mailto:cmendieta@dic.ulpgc.es)

\*<sup>2</sup> Correspondencia: [cristel.lopez101@estudiantes.ulpgc.es](mailto:cristel.lopez101@estudiantes.ulpgc.es)

\*<sup>3</sup> Correspondencia: [sperez@dip.ulpgc.es](mailto:sperez@dip.ulpgc.es)

A la hora de considerar los distintos modelos de reactores utilizados para facilitar el proceso de degradación anaerobia, podemos considerar los siguientes [5].

1. **Digestor de mezcla completa.** Por definición soporta y amortigua rápidamente las variaciones bruscas de la concentración de la DQO de entrada, además diluye los posibles tóxicos al contenido global del digestor. (figura 1).
2. **Digestor de flujo pistón.** Mejor rendimiento respecto al mezcla completa, mejor comportamiento a alta carga, posee una buena adaptación a grandes instalaciones y los procesos de nitrificación tienen un buen rendimiento. Los digestores en canal son una adecuada aproximación al comportamiento flujo pistón.
3. **Digestor en cascada.** Su rendimiento se asemeja al flujo pistón, posee una buena adaptabilidad a la eliminación de compuestos de nitrógeno y fósforo. Tienen una buena facilidad de construcción. (figura 1).
4. **Digestor de alimentación escalonada.** Comparado con el de canal, presenta un consumo de oxígeno mayor y tiene buena estabilidad a las perturbaciones fuertes. (figura 1).



**Figura 1.** Configuraciones de digestores.

### **Lagunaje.**

Se denomina sistema de lagunaje a la tecnología de tratamiento de aguas residuales que emplea como soporte una laguna o conjunto de lagunas, en ellas y durante un tiempo variable en función de la carga aplicada y las condiciones climáticas, la materia orgánica se estabilizará a través de una serie de procesos físicos, químicos y biológicos en los que intervienen numerosos microorganismos. En los sistemas de lagunaje podemos distinguir tres tipos según su tipo de reacción biológica preferente, [1], [2], [4] y [6]:

- a. **Lagunas aerobias.** Son lagunas poco profundas, por lo que el oxígeno se distribuye uniformemente por toda la masa de agua. Las reacciones que en ellas tienen lugar son reacciones aerobias (oxidación) y fotosíntesis. Se utilizan en tratamientos adicionales de efluentes que proceden de otros tipos de tratamiento y que contienen pocos sólidos en suspensión, debido a su profundidad (0,40-1,0 metros), la presencia de luz en todas las capas favorece la acción fotosintética de las algas las cuales, aportan oxígeno a las bacterias.
- b. **Lagunas anaerobias.** Son aquellas lagunas en las cuales la carga orgánica es tan grande que toda la masa de agua se encuentra en condiciones anaerobias (sin oxígeno disuelto). La materia orgánica se degrada por vía anaerobia y las principales reacciones biológicas que se producen son la formación de ácidos y la fermentación

metánica. Por lo general, se utilizan en el tratamiento de aguas con elevada carga orgánica. La profundidad se sitúa (2,40-4,80 metros).

- c. **Lagunas facultativas.** En ellas podemos distinguir dos zonas: una superficial, aerobia y otra más profunda y anaerobia, donde tiene lugar la degradación anaerobia así como, de los lodos que se acumulan en el fondo. La profundidad 1,50-2,50 metros.

### ***Humedales artificiales.***

Los sistemas que denominamos humedales artificiales [2], podemos definirlos como zonas del terreno que se encuentran saturadas por aguas superficiales o subterráneas con una frecuencia y duración tales, que sean suficientes para mantener condiciones saturadas. En la zona superficial de ese suelo saturado, la vegetación proporciona superficies para la formación de películas bacterianas, facilita la filtración y la adsorción de los constituyentes del agua residual, permite la transferencia de oxígeno a la columna de agua y controla el crecimiento de algas al limitar la penetración de luz solar. Los sistemas de humedales artificiales pueden ser de dos tipos:

1. ***Humedales Artificiales de Flujo Libre (FWS).*** Este tipo de humedales, el nivel del agua se encuentra sobre la superficie del terreno, la vegetación se fija y emerge sobre la superficie del agua, el flujo del agua es superficial.
2. ***Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial (SFS).*** El nivel del agua se encuentra por debajo de la superficie del terreno, el agua fluye a través de un medio poroso (arena, grava), confinado en un canal impermeable. Las raíces penetran hasta el fondo.

Los sistemas de flujo libre FWS se diseñan con el objetivo de crear nuevos hábitats para la fauna y flora o para mejorar las condiciones de humedales naturales próximos. Esta clase de sistemas suele incluir combinaciones de espacios abiertos y zonas vegetadas e islotes con la vegetación adecuada para proporcionar hábitats de cría para aves acuáticas.

El concepto de SFS tiene varias ventajas. El lecho de grava tendrá mayores tasas de reacción y por lo tanto puede tener un área menor. Como el nivel del agua está por debajo de la superficie del medio granular no está expuesto, con lo que se evitan posibles problemas de mosquitos que pueden llegar a presentarse en sistemas de flujo libre en algunos lugares. Tampoco se presentan inconvenientes con el acceso de público, así como se evitan problemas en climas fríos, ya que esta capa presta una mayor protección térmica.

### **1.2 Objetivos.**

El objetivo es el diseño y construcción de plantas piloto con diferentes tipos de sistemas de tratamiento en distintas explotaciones ganaderas, de tal forma que, sea posible la recolección de una serie de datos de funcionamiento con los cuales validar los futuros modelos matemáticos de comportamiento. Al proyectar se han tenido en cuenta las siguientes premisas: Minimizar inversiones en equipos facilitando el flujo natural por gravedad, maximizar el tiempo total de residencia, utilizar el espacio de forma eficaz, minimizar la diversidad de equipos, manipulación y la flexibilidad de la implantación y de su operación, de tal forma que no ocasione una carga de trabajo excesiva al ganadero.

## 2. Descripción de las plantas piloto.

### 2.1 Bases de diseño y consideraciones generales.

En el diseño de la instalación se ha tenido en cuenta los siguientes factores: Volumen y caracterización de los residuos a tratar, superficie, geología y topografía del terreno, facilidad de construcción y disponibilidad de medios y uso, explotación y mantenimiento de la instalación. Como base de cálculo para la realización de los proyectos hemos definido los siguientes ciclos de producción dentro de una explotación ganadera de porcino en Canarias.

**Tabla 1.** Ciclos de la cerda

Ciclo de la cerda (se repite durante el año)	Tiempo (mes)
Madre Preñada.	4
Madre con lechones hasta 6 kg.	1
Madre con lechones hasta 20 kg.	1
Madre en espera.	1
Total ciclos por año	1,7

**Tabla 2.** Ciclos de la cerdo de cebo.

Ciclo de cebado(se repite durante el año)	Tiempo (mes)
Cerdo hasta 50kg.	2
Cerdo hasta 100kg.	3
Total ciclos por año	1,7

**Tabla 3.** Producción de purín (líquido y semilíquido)\*

*Según RD 324/2000 y el RD 3483/2000	m <sup>3</sup> /año
Madre preñada y madre con lechones hasta 6 kg.	5,10
Madre con lechones hasta 20 kg y verraco.	6,12
Madre en espera y cerdo de cebo (hasta 100 kg).	2,50
Cerdo de cebo (hasta 50 kg).	1,80

### 2.2 Localización.

Las plantas piloto se encuentran en tres explotaciones de la isla de Gran Canaria;

**Planta nº 1.** Situada en el Municipio de Teror a una cota sobre el nivel del mar de 700 metros, junto a una explotación de ganado porcino de 1.432 cabezas.

**Planta nº 2.** Situada en el Municipio de Las Palmas de Gran Canaria a una cota sobre el nivel del mar de 450 metros, junto a una explotación de ganado porcino de 2.290 cabezas.

**Planta nº 3.** Situada en el Municipio de Firgas a una cota sobre el nivel del mar de 540 metros, junto a una explotación de ganado porcino de 1.268 cabezas.

### 2.3 Estimación de caudales y caracterización de los efluentes.

Al no poseer aforamientos previos y precisos del caudal producido en las explotaciones ganaderas, partiendo de las premisas del apartado 3.1., hemos estimado los caudales de los efluentes que después serán validados en la operación normal de la planta.

**Tabla 4.** Número de cabezas, caracterización y producción de efluentes.

Planta nº 1. (28°2.83' N, 15°32.87' O)	Madres	Verracos	Cebo	Total
Animales (cabezas)	175	7	1.250	1.432
Volumen de residuos (m <sup>3</sup> /año)	1.043,38	42,84	1.965,69	8,26 m <sup>3</sup> /día
Limpieza				0,34 m <sup>3</sup> /día
Caudal Efluente (estimado)				<b>8,60 m<sup>3</sup>/día</b>
DQO Efluente (p.p.m.)				<b>15780</b>

**Tabla 4.** Número de cabezas, caracterización y producción de efluentes.- continuación-

<b>Planta nº 2.</b> (28°4.36' N, 15°30.51' O)	Madres	Verracos	Cebo	Total
<i>Animales (cabezas)</i>	280	10	2.000	2.290
<i>Volumen de residuos (m<sup>3</sup>/año)</i>	1.610,13	61,12	3.145,04	13,38 m <sup>3</sup> /día
<i>Limpieza</i>				1,50 m <sup>3</sup> /día
<i>Caudal Efluente (estimado)</i>				<b>14,88 m<sup>3</sup>/día</b>
<i>DQO Efluente (p.p.m.)</i>				<b>28600</b>
<b>Planta nº 3.</b> (28°4.68' N, 15°34.52' O)	Madres	Verracos	Cebo	Total
<i>Animales (cabezas)</i>	115	3	1.150	1.268
<i>Volumen de residuos (m<sup>3</sup>/año)</i>	660,34	18,36	1.808,50	6,91 m <sup>3</sup> /día
<i>Limpieza</i>				0,25 m <sup>3</sup> /día
<i>Caudal Efluente (estimado)</i>				<b>7,16 m<sup>3</sup>/día</b>
<i>DQO Efluente (p.p.m.)</i>				<b>10590</b>

Si definimos F es el factor de gasto diario de agua para limpieza por cabeza, observaremos lo siguiente:

**Tabla 5.** Factor de gasto diario de agua para limpieza.

	<i>Planta nº 1</i>	<i>Planta nº 2</i>	<i>Planta nº 3</i>
<i>F (litros/cabeza *día)</i>	0,23	0,65	0,19

El nivel de automatización de la explotación ganadera (planta nº 2), la mayor disponibilidad de agua para la limpieza y la práctica diaria del ganadero, influye decisivamente tanto en el caudal como en la dilución del efluente a tratar.

## 2.4 Descripción de la planta piloto nº1.

La instalación presenta el siguiente diagrama de proceso.

**Afluente bruto** (Granja) → Deposito de homogeneización / decantación → Bombeo purín → Tamiz Rotatorio → Digestor Anaerobio (tipo mezcla completa) → Humedal artificial 1 → Laguna Facultativa → Humedal artificial 2 → Bombeo agua tratada → **Efluente (reutilización)**

### **Depósito de homogeneización.**

El purín es recogido en la propia explotación por una arqueta de recepción con capacidad para 1 día (10 m<sup>3</sup>), posteriormente es conducido al depósito de homogeneización. En el depósito de homogeneización de capacidad 35 m<sup>3</sup> y tiempo de retención 3-4 días almacena el purín hasta su bombeo.

### **Bombeo purín.**

Se realizará a 1 metro por debajo de la superficie libre del depósito de homogeneización por medio de una bomba centrífuga con un caudal de diseño de 9,5 m<sup>3</sup>/d.

### **Tamiz rotativo.**

En la parte superior del digestor cerrado semienterrado se situara un tamiz rotatorio de paso de malla 100 micras. Una vez tamizado, el sólido se lleva a la era de secado, a su vez la parte líquida se bombea al digestor.

### **Digestor anaerobio –tipo mezcla completa-**

El digestor cerrado semienterrado con forma rectangular (figura 2), tendrá unas dimensiones de 8,50 metros x 4,50 metros x 4,00 metros (largo x ancho x alto) y que se encuentra semienterrado con una altura sobre el nivel de referencia de 3,50 metros. Estará constituido por cuatro cámaras rectangulares iguales e intercomunicadas de capacidad efectiva de 103,00 m<sup>3</sup> en total y un tiempo de residencia de 10-12 días. Este geometría favorece los procesos de mezclado y podemos asociarlo al comportamiento de un digestor de mezcla

completa. El digester es de construcción en hormigón armado y tanto sus muros exteriores e interiores son como mínimo de 0,30 metros de espesor. La cimentación se realizara por losa armada de cimentación apoyada en el terreno de 0,50 metros de espesor. Al digester, cámara nº1, llega el purín bombeado del depósito de homogeneización y de ella será enviada al tamiz rotatorio. Una vez tamizado, el purín es introducido en la segunda cámara.

El digester dispone de tapas de registro y limpieza, aberturas de ventilación de gases y tanto la entrada como la salida del líquido se realizara por medio de sifón de gravedad. Además, posee llaves de purga para su limpieza para cada una cámaras. El digester tiene un acabado formado por mortero de cemento y tierra de la zona para minimizar su impacto.



**Figura 2.** Digester anaerobio –tipo mezcla completa-.

### ***Humedal artificial SFS 1.***

A la salida del digester se encuentra el primero de los humedales artificiales de tipo SFS (figura 3) constituido por un cubículo excavado en la tierra de forma rectangular de dimensiones de 9 metros x 4,25 metros x 1,50 metros (largo x ancho x alto) y que se encuentra enterrado con una altura sobre el nivel de referencia de 1,5 metros, con capacidad efectiva de 87,375 m<sup>3</sup> y un tiempo de residencia del purín de 5 días. El humedal artificial consistirá en una zanja cuyas tres paredes se conformarán con taludes de 45° y la restante con listones de madera hasta una altura de 1,75 metros. Este recinto se rellena de grava de granulometría variable y creciente conforme la profundidad.

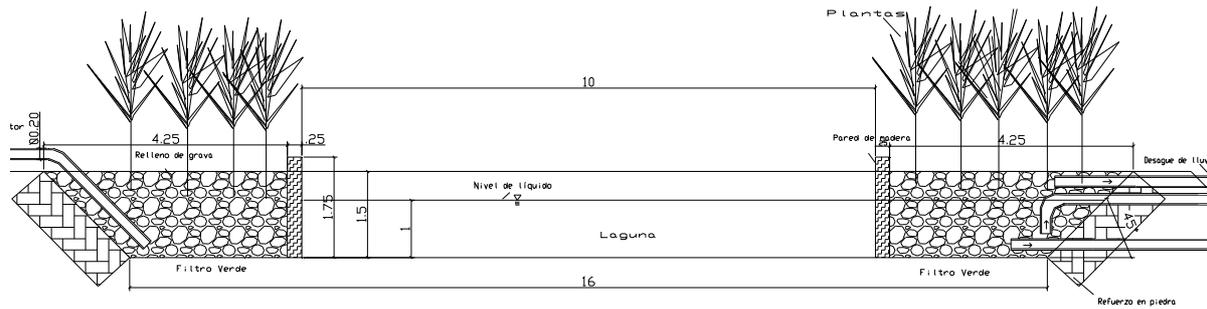


**Figura 3.** Fases de la construcción del humedal artificial SFS 1 y 2.

En el humedal artificial se desarrollan los juncales u otros tipos de plantas emergentes que degradan la materia orgánica. Posee dos tubos de ventilación vertical. El paso del agua a tratar se realiza por debajo de la superficie en toda el área de contacto lateral con la laguna.

### ***Laguna facultativa.***

El purín procedente del Humedal artificial 1 (figura 4), se deposita en una laguna facultativa de relación longitud / anchura, 2/1 de 90 m<sup>3</sup> de capacidad efectiva. La profundidad será de 1,5 metros. El tiempo de residencia es de 12 días y su limpieza prevista cada 1 años. En la laguna, y debido a la profundidad y tiempo de residencia se llevarán a cabo procesos de gradación de la materia orgánica de tipo aerobio con fotosíntesis y aireación en la superficie, y de tipo anaerobio en el fondo de la misma.



**Figura 4.** Sección esquemática laguna facultativa y humedales artificiales SFS 1 y 2.

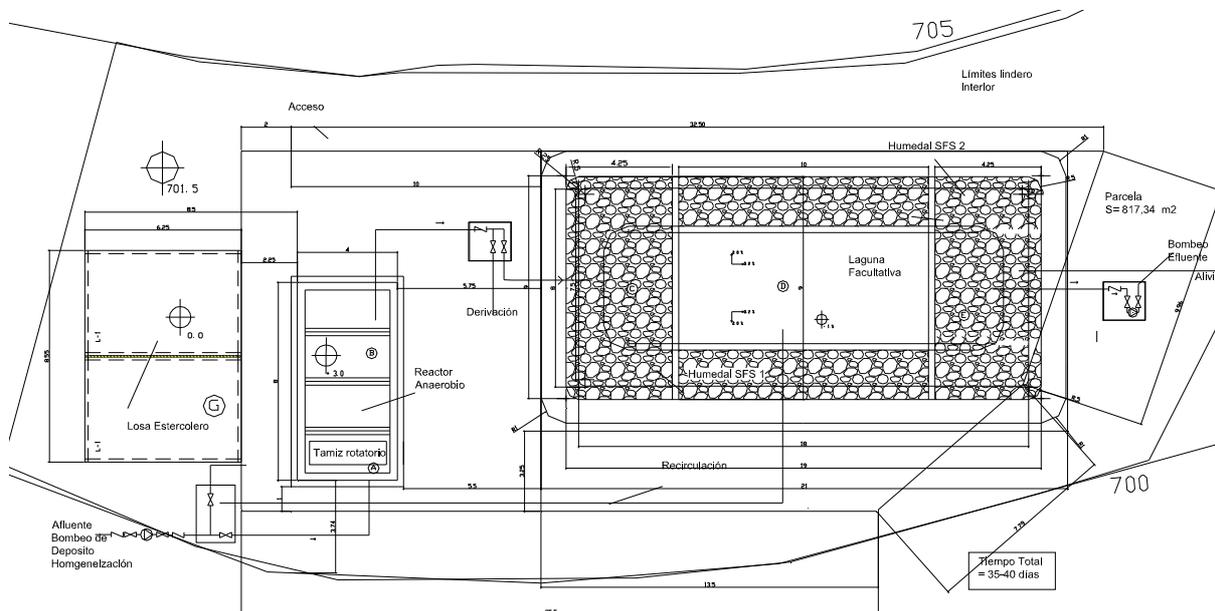
La laguna se encuentra rodeada por los humedales artificiales de manera tal que toda el líquido de la laguna se encuentra en contacto también con raíces desarrolladas por las plantas en los humedales, esto nos ha permitido experimentar con una laguna de inferior capacidad y por otro lado y debido a que son los propios humedales los elementos contenedores de la laguna evita los problemas de desplome de los taludes de la misma. La laguna se realizará con compactación del terreno a una profundidad de 1,50 metros. Los taludes se compondrán por cantos planos y con un ángulo de 40 – 45° sobre la horizontal.

### **Humedal artificial SFS 2.**

El humedal artificial 2 en la salida del efluente es de concepción idéntica al anterior.

### **Recirculación y arqueta de control.**

La instalación posee un circuito de recirculación que permite recircular total o parcialmente el líquido existe en la laguna a una arqueta de control que se encuentra comunicada con el depósito de homogeneización. Esta arqueta de control permite realizar las siguientes tareas: Limpieza independiente de cada una de las cámaras del digestor, control de la recirculación de la laguna y control del rebose de la laguna por causa de lluvia intensa.



**Figura 5.** Distribución en parcela planta nº 1.

### **Bombeo a vertido.**

Se realizará a 1 metro por debajo de la superficie libre del humedal artificial nº2, y en el extremo opuesto por medio de una bomba centrífuga con un caudal de diseño de 9,5 m<sup>3</sup>/d.

## 2.5 Descripción de la planta piloto nº 2.

La instalación presenta el siguiente diagrama de proceso.

**Afluente bruto** (Granja) → Depósito de retención → Bombeo purín → Digestor anaerobio (tipo flujo canal) → Tamiz Rotatorio → Laguna Anaerobia → Bombeo agua tratada → **Efluente**

### **Depósito de retención.**

El purín de la explotación ganadera es llevado, al depósito de retención. En él, con capacidad de 30 m<sup>3</sup>, y tiempo de retención 1 día se almacena hasta su tamizado. (figura 6).

### **Tamiz rotativo.**

En la parte superior del digestor cerrado semienterrado se situara un tamiz rotatorio de paso de malla 100 micras (figura 6). Una vez tamizado, el sólido se lleva a la era de secado, a su vez la parte líquida se bombea al digestor.



**Figura 6.** Tamiz rotatorio, digestor anaerobio y depósito de retención.

### **Digestor anaerobio –tipo en canal-.**

El digestor cerrado semienterrado con forma rectangular (figura 6), tendrá unas dimensiones de 13,50 metros x 4,50 metros x 4,00 metros (largo x ancho x alto) y que se encuentra semienterrado con una altura sobre el nivel de referencia de 3,00 metros. Estará constituido por cuatro cámaras rectangulares iguales e intercomunicadas de capacidad efectiva de 220 m<sup>3</sup> en total y un tiempo de residencia del purín de 10-15 días. Este geometría favorece los procesos de reacción en canal y podemos asociarlo al comportamiento de un digestor de flujo pistón. El digestor será de construcción en hormigón armado y tanto sus muros exteriores e interiores tendrán un mínimo de 0,40 metros de espesor. La cimentación se realizara por losa armada de cimentación apoyada en el terreno de 0,50 metros de espesor. Al digestor llegará el purín por gravedad del depósito de retención.

El digestor dispondrá de tapas de registro y limpieza, aberturas de ventilación de gases y posee llaves de purga para su limpieza para cada una cámaras.

### **Laguna anaerobia.**

El purín procedente del tamiz rotativo, se deposita en la laguna anaerobia (figura 7) de relación longitud / anchura, 3/1 y 1.100 m<sup>3</sup> de capacidad efectiva. La profundidad es de 2,5 metros. El tiempo de residencia en la laguna es de 65 días. En la laguna, y debido a la profundidad y tiempo de residencia se llevarán a cabo procesos de tipo anaerobio.



**Figura 7.** Laguna anaerobia.

### ***Bombeo a vertido.***

Se realizará a 1 metro por debajo de la superficie libre de la laguna por medio de una bomba centrífuga con un caudal de diseño de 15 m<sup>3</sup>/d.

## **2.6 Descripción de la planta piloto nº 3.**

La instalación presenta el siguiente diagrama de proceso.

<b>Afluente bruto</b> (Granja) → Deposito de retención → Bombeo purín → Tamiz Rotatorio → Digestor Anaerobio (Tipo en cascada) → Bombeo agua tratada → <b>Efluente</b>
--

### ***Depósito de retención.***

El purín producido en la explotación ganadera es conducido al depósito de retención. En el depósito de retención (figura 8) de capacidad 40 m<sup>3</sup>, y tiempo de retención 4-6 días almacenará el purín hasta su tamizado. Su forma es irregular pues se ha aprovechado al máximo el suelo disponible.

### ***Tamiz rotativo.***

En la parte superior del digestor cerrado semienterrado (figura 8) se sitúa un tamiz rotatorio de paso de malla 100 micras. Una vez tamizado, el sólido se lleva a la era de secado, a su vez la parte líquida se bombea al digestor.



**Figura 8.** Depósito de retención, tamiz rotativo y digestor anaerobio.

### ***Digestor anaerobio –tipo en cascada-***

El digestor cerrado semienterrado (figura 8) con forma rectangular tendrá unas dimensiones de 17,50 metros x 6,50 metros x 2,00 metros (largo x ancho x alto), altura efectiva 1,70 metros y que se encuentra semienterrado con una altura sobre el nivel de referencia de 1,00 metros. Estará constituido por seis cámaras rectangulares de dimensiones 4,00 metros x 3,00 metros, iguales e intercomunicadas por sifón de capacidad efectiva unitaria de 22,90 m<sup>3</sup> y de 132,60 m<sup>3</sup> en total y un tiempo de residencia del purín de 20-25 días. Por el tipo de flujo podemos asimilarlo al funcionamiento de un digestor en cascada.

El digestor será de construcción en hormigón armado y tanto sus muros exteriores e interiores tendrán un mínimo de 0,30 metros de espesor. La cimentación se realizara por losa armada de cimentación apoyada en el terreno de 0,50 metros de espesor. Al digestor llegará el purín por gravedad del tamiz rotatorio.

El digestor dispone de tapas de registro y limpieza, aberturas de ventilación de gases e igualmente, tanto la entrada como la salida del líquido se realizara por medio de sifón de gravedad situado a 1,0 metro debajo de la superficie libre del liquido. En la cubierta del digestor se ha instalado un cultivo de ñameas alimentadas por purín diluido y que minimizan el impacto de los tubos de ventilación del digestor.

### **Bombeo a vertido.**

Se realizará a 1 metro por debajo de la superficie libre de la laguna por medio de una bomba centrífuga con un caudal de diseño de  $7,2 \text{ m}^3/\text{d}$ .

### **2.7 Construcción de las plantas piloto.**

Los digestores y lagunas se han diseñado en hormigón armado siguiendo los siguientes criterios: Geomorfología del terreno, facilidad de transporte y acopio de los materiales en la explotación, facilidad y rapidez de construcción, resistencia adecuado a los agentes atmosféricos y a las solicitaciones y escasa mano de obra para su construcción.

#### **Digestores.**

Para la planta nº 1 (figura 9) y nº 2, se ha elegido una construcción de hormigón armado con encofrado recuperable conformado por muros de 35 centímetros de espesor, losa de 50 centímetros de espesor y forjado unidireccional de 30 centímetros de espesor. Además posee rejillas de ventilación y limpieza de  $2,00 \times 0,80$  metros.



**Figura 9.** Losa de sedimentación, muros de las cámaras y forjado de cubierta.

Para la planta nº 3 (figura 10), se ha elegido una construcción de hormigón armado con encofrado no-recuperable de muro de fabrica de bloque de 12 centímetros y núcleo armado de 35 centímetros de espesor, losa de 50 centímetros de espesor y forjado unidireccional de 30 centímetros de espesor. Además posee rejillas de limpieza y respiraderos de ventilación.



**Figura 10.** Depósito de retención y muros de las cámaras.

#### **Lagunas**

Para la planta nº 1, debido a la escasa facilidad de uso de maquinaria pesada para el movimiento de tierras y baja permeabilidad del terreno se optó por realizar un sistema combinado de laguna facultativa y humedal artificial SFS combinado (figura 4), con el objeto de maximizar la poca superficie disponible se ha optado por realizar la laguna como un recinto rodeado por una serie de soportes de madera que permiten la colocación de la grava de granulometría variable en todo el perímetro teniendo dos funciones principales; ser soporte para el humedal y evitar el colapso de los taludes de la laguna.

Para la planta nº 2 (figura nº 7), debido a la facilidad de uso de maquinaria pesada para el movimiento de tierras y alta permeabilidad del terreno se optó por realizar una superficie con membrana geotextil con una compactación y resistencia a la compresión homogénea la finalidad de evitar asentamientos diferenciales que puedan transmitir tensiones

extraordinarias a la lámina. Para ello, las gravas de nivelación son dos tamaños y con cantos redondos.

La laguna posee dos canales a lo largo de la dimensión más larga de la laguna para colocar las tuberías de drenaje que conducen a los pozos de registro, estas tuberías descansan sobre un hormigón de limpieza y debajo de la capa de grava dispone además, de zonas de aireación y ventilación de las láminas para los posibles gases filtrados y exudación de la lámina, situados en la superficie superior de los taludes, y realizado con el mismo material que la membrana y estarán protegidas de la lluvia por una caperuza hecha del mismo material de la membrana, estas ventilaciones se realizan cada 6 metros.

## 2.8 Puesta en funcionamiento.

Tanto la planta nº 2 y nº 3 se encuentran en funcionamiento desde enero y marzo de 2008 respectivamente, mientras que la planta nº 1, a falta de la entrega del tamiz rotatorio, las pruebas han comenzado con el llenado gradual de las cámaras y se espera que en aproximadamente 15 días comience a verter a la laguna facultativa. Tanto en la planta nº1 como en la nº2, que poseen lagunas los arranques de las mismas se realizan con un llenado previo de agua limpia a fin de que la carga del efluente de los digestores sea gradual.

## 3. Conclusiones.

A la vista de los resultados previos (tabla nº 6), podemos sacar una serie de conclusiones;

A nivel general encontramos buenos rendimientos de eliminación para las tres plantas (por encima del 50%), sin contar con que la planta nº 1 no se encuentra aún en pleno funcionamiento. Con respecto al caudal y salvo la excepción de la planta nº 2, con niveles más elevados de caudal debido posiblemente a un mayor censo de animales, las plantas nº 1 y nº 3 poseen caudales correctos a los estimados.

**Tabla 6.** Resultados previos.

<b>Planta nº 1.</b>		Total	Tiempo desde arranque:
<i>Caudal Efluente (estimado)</i>	<b>8,60</b>	<i>m<sup>3</sup>/día</i>	12 días.
<i>Caudal Efluente (real)</i>	<b>9,50</b>	<i>m<sup>3</sup>/día</i>	Toma de muestras: 12/06/2008
<i>Tiempo de residencia (real-teórico)</i>	<b>35-40 días</b>		
			(%) <i>Rendimiento eliminación</i>
<i>DQO Efluente Granja</i>	15700		-
<i>DQO Homogeneización</i>	16500		-
<i>DQO Digestor Cámara 1</i>	15200		7,81
<i>DQO Digestor Cámara 2</i>	11600		23,68
<i>DQO Digestor Cámara 3</i>	7200		37,93
<i>DQO Digestor Cámara 4 *(sin carga)</i>	-		-
<b>Total digestor (mezcla completa) / total planta*</b>			<b>54,14</b>
<i>DQO Efluente Laguna * (sin carga)</i>	-		-
<b>Planta nº 2.</b>		Total	Tiempo desde arranque:
<i>Caudal Efluente (estimado)</i>	<b>14,88</b>	<i>m<sup>3</sup>/día</i>	95 días
<i>Caudal Efluente (real)</i>	<b>26,60</b>	<i>m<sup>3</sup>/día</i>	Toma de muestras: 10/06/2008
<i>Tiempo de residencia (real-teórico)</i>	<b>52-76 días</b>		
			<i>Rendimiento eliminación</i>
<i>DQO Efluente Granja</i>	28600		-
<i>DQO Efluente Depósito de retención</i>	23900		16,43
<i>DQO Efluente Digestor anaerobio (en canal)</i>	18100		24,26
<i>DQO Efluente Laguna Anaerobia</i>	7500		58,56
<b>Total Planta</b>	-		<b>73,77</b>

**Tabla 6.** Resultados previos –continuación–.

<b>Planta nº 3.</b>	<b>Total</b>	<b>Tiempo desde arranque:</b>
<i>Caudal Efluente (estimado)</i>	<b>7,16 m<sup>3</sup>/día</b>	120 días
<i>Caudal Efluente (real)</i>	<b>6,50 m<sup>3</sup>/día</b>	Toma de muestras: 10/06/2008
<i>Tiempo de residencia (real-teórico)</i>	<b>25-20 días</b>	
		<i>Rendimiento eliminación</i>
<i>DQO Efluente Granja</i>	10500	-
<i>DQO Efluente Depósito de retención</i>	9100	13,33
<i>DQO Efluente Digestor anaerobio Cámara 2</i>	8200	10,02
<i>DQO Efluente Digestor anaerobio Cámara 6</i>	3800	56,65
<b>Total digestor (en cascada)/ total Planta</b>	-	<b>58,24 / 63,80</b>

Con respecto a los digestores y salvando la inexistencia provisional del tamiz para la planta nº 1, podemos observar que el digestor de la planta nº 3 (tipo en cascada) ofrece valores significativamente mejores a parte de una construcción más sencilla.

Aunque se ha limitado la introducción de equipos a lo mínimo indispensable, resulta evidente la necesidad de un sistema de separación de sólidos previo a los tratamientos pues permite ralentizar la colmatación sobre todos en las primeras cámaras de los digestores. El digestor nº 2, con un rendimiento del 24,26% se ve influenciado por el mayor caudal de entrada que reduce el tiempo de residencia a niveles muy bajos, de 15 días estimado a escasamente 6 días. También, podemos observar el buen rendimiento de la laguna anaerobia con un porcentaje de eliminación del 58,26%. Todos estos análisis serán completados con otros parámetros que nos permitan certificar más si cabe, el adecuado comportamiento de las instalaciones.

Finalmente, es evidente que todas las plantas necesitan tratamientos de afino con el objeto de mejorar más aún el efluente y en especial en la planta nº 2 por su mayor carga y caudal. En la actualidad ya se trabaja en las diferentes posibilidades desde humedales artificiales y lagunas facultativas y aerobias a la salida como la ampliación de la capacidad del digestor.

#### 4. Referencias.

- [1] Metcalf & Eddy. (1995) *Ingeniería de aguas residuales*. McGraw Hill Inc.
- [2] Sierra Antiloño, J., Peñalver Cámara, L. (1989) *La reutilización de las aguas residuales. Acondicionamiento y uso*. CEDEX. MOPU.
- [3] Kiely, G. (2001) *Ingeniería ambiental*. McGraw Hill Inc.
- [4] Alamancos Cerdán, J.M., Lloréns Pascual de Riquelme, M., Sáez Mercader, J. (1999). *Diseño de sistemas de depuración de aguas residuales por lagunaje*. Universidad de Murcia. Diego Martín librero editor.
- [5] Levenspiel, O. (2004) *Ingeniería de las reacciones químicas*. Limunsa Wiley
- [6] Sáenz, R. (1985) *Lagunas de estabilización y otros sistemas simplificados para el tratamiento de aguas residuales*. Serie DTIAPA BID/OPS/OMS.
- [7] SAENZ, R. (1986) *Consideraciones en relación con el uso de lagunas de estabilización para el tratamiento de aguas residuales*. Hojas de Divulgación Técnica CEPIS/HPE/OPS/OMS, N°33.
- [8] Gil Rodríguez, M (2004) *Procesos de descontaminación de aguas*. Thomson.

#### 5. Agradecimientos.

Queremos agradecer la colaboración estrecha del Cabildo de Gran Canaria, por medio del Servicio de Extensión Agraria de la Consejería de Agricultura, Ganadería y Pesca que sin su ayuda, con el impulso de los proyectos piloto en explotaciones ganaderas colaboradoras, no podría haberse llevado a cabo.