

LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN PARA DESCARGA DE LIQUIDOS DE CAMIONES ATMOSFÉRICOS

Ana María Ingallinella*
Rubén Fernández*
Graciela Sanguinetti*
Lucas Hergert*
Hernán Quevedo*

Martin Strauss**
Agnes Montangero**

**Centro de Ingeniería Sanitaria
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
Riobamba 245 Bis - 2000 Rosario - Argentina
Tel/Fax:54-341-4808546. e-mail: cis@fceia.unr.edu.ar*

***The Swiss Federal Institute for the Environment and Technology(EAWAG)
Ueberlandstrasse 133 - CH Duebendorf - Switzerland
e-mail: strauss@eawag.ch*

Palabras claves

Camiones atmosféricos, calidad físico-química, calidad microbiológica, lagunas de estabilización, lodos, huevos de helmintos

Introducción

En el año 1991, se inició en el Centro de Ingeniería Sanitaria (CIS) un proyecto de investigación para determinar la eficiencia de las lagunas de estabilización en el tratamiento de los líquidos cloacales transportados por camiones atmosféricos. Para ello, se llevó a cabo durante dos años el monitoreo de un sistema de lagunas diseñado para tratar exclusivamente ese tipo de líquidos.

Los resultados obtenidos fueron informados en trabajos anteriores por Ingallinella et al (1) (2). Dichos resultados fueron tomados en cuenta para proponer parámetros de diseño y para recomendar un esquema con dos lagunas de funcionamiento alternado de modo tal que los lodos pudieran secarse en las mismas antes de su disposición final.

Por otra parte, la evaluación de numerosos sistemas de lagunas en la Pcia. de Santa Fe, realizada por el CIS, demostró que una de las causas de su mal funcionamiento es la descarga de los camiones atmosféricos en las lagunas primarias diseñadas sólo para tratar líquidos cloacales, lo que en muy poco tiempo provoca su colmatación. Este hecho motivó la recomendación acerca de la necesidad de tratar previamente las descargas de los camiones, recomendación que fue tenida en cuenta en varios proyectos desarrollados en la provincia. Ante la necesidad de evaluar mediante estudios de campo la validez de las recomendaciones formuladas, se propuso la modificación de un sistema existente en la localidad de Alcorta de la Pcia. de Santa Fe.

Por otra parte, el Instituto Federal Suizo para las Ciencias Ambientales y la Tecnología (EAWAG) está involucrado desde hace varios años en un proyecto de investigación sobre líquidos provenientes de fosas sépticas y letrinas que se ha desarrollado en diversos países y que ha dado lugar a varias publicaciones (3)(4) .

A fines de 1998, se firmó un convenio de colaboración entre CIS y EAWAG para evaluar el sistema de tratamiento de la localidad de Alcorta. La primer fase de estudio tuvo 13 meses de duración (enero de 1999 a febrero de 2000) y sus resultados se presentan en el presente trabajo.

Objetivos

Objetivos generales. Estudiar la factibilidad del uso de lagunas como tratamiento previo en un sistema en el que se tratan en forma conjunta líquidos cloacales y descargas de camiones atmosféricos. Determinar la posibilidad de usar las lagunas del tratamiento previo como lagunas de evaporación de lodos.

Objetivos específicos. Determinar la calidad de los lodos generados en las lagunas para descarga de camiones. Encontrar tiempos y profundidades óptimas de secado. Determinar la eficiencia en remoción de bacterias colifecales y huevos de helmintos.

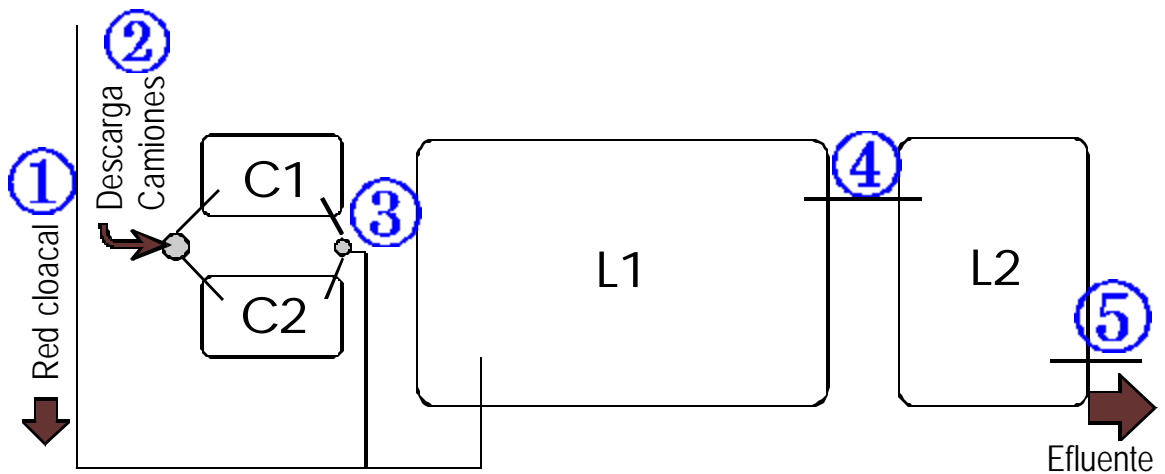
Descripción del sistema

La localidad de Alcorta se halla situada a 100 km de la ciudad de Rosario y cuenta con 4.500 habitantes. En el año 1988 se inauguró una planta de tratamiento de líquidos cloacales, consistente en dos lagunas de estabilización: primaria y secundaria que recibían los líquidos cloacales de aproximadamente 2000 habitantes y un promedio de cinco camiones atmosféricos diarios. Luego de cinco años de funcionamiento, la laguna primaria quedó prácticamente colmatada con lodos y se decidió implementar una serie de modificaciones propuestas por el CIS.

- a) Vaciado de la primer laguna
- b) Colocación de pantallas en la segunda laguna
- c) Construcción de una cámara de cloración
- d) Construcción de dos lagunas previas para tratamiento de descargas de camiones para funcionar en forma alternada.

En la figura 1 se presenta un esquema del sistema ya modificado:

Fig 1. - Características del sistema.



Dimensiones de las lagunas

<u>C1 y C2</u>	
Largo (m):	.....25.00
Ancho (m):	.....11.00
Tirante(m):	..... 1.50
Pantallas:	.....no
P.R.....	.....9 a 14 días

<u>L1</u>	
Largo (m):	..... 83.00
Ancho (m):	..... 57.00
Tirante (m):	..... 1.20
Pantallas:	..... no
P.R. ....	..... 25 días

<u>L2</u>	
Largo (m):	..... 38.00
Ancho (m):	..... 53.00
Tirante (m):	..... 1.30
Pantallas:	..... sí
P.R. ....	..... 10 días

Las lagunas para descarga de los camiones fueron dimensionadas teniendo en cuenta un aporte de sólidos de 0,02 m3 /m3 de líquido descargado (valor determinado en los estudios previos mencionados) y considerando que en un lapso de 6 meses de funcionamiento se acumularía una capa de lodos de 0,50m de espesor.

El sistema modificado (excepto la cámara de cloración que no fue construida) comenzó a operar en enero de 1999 con el siguiente esquema: los camiones descargaban en C1, de allí el líquido pasaba a L1 y L2 y de ésta al cuerpo receptor, un canal pluvial. En julio de 1999, se sacó de operación la laguna C1, se bombeó el líquido sobrenadante a C2, los camiones comenzaron a descargar en esta segunda laguna y comenzó el período de secado de los lodos.

Metodología

Los puntos de muestreo y la metodología usada para la extracción de muestras se describen a continuación:

Líquido descargado por camiones.

Se tomaron muestras compuestas en cada una de las campañas. Las muestras se obtuvieron tomando de cada uno de los camiones que ingresaban en el día , 500 ml al comenzar la descarga, 500 ml al promediar la misma y 500 ml hacia el final. La muestra así obtenida (una por cada camión) se guardaba en un recipiente refrigerado para tener al final del día una sola muestra compuesta de dos litros para su posterior análisis en el laboratorio.

Efluente de lagunas para camiones.

La laguna C1 no tuvo efluente durante los primeros cuatro meses de muestreo por problemas de infiltración. En esos meses las muestras se tomaron en líquido sobrenadante, en la zona cercana a la salida. Desde el mes de mayo la muestras se tomaron en el conducto de salida. El caudal aportado por los camiones no es significativo

si se compara con el líquido cloacal que ingresa por la colectora máxima y además no es continuo, presenta un pico durante la descarga que se reduce prácticamente a cero luego de unos minutos. Por tal motivo, no se tomaron muestras del afluyente combinado (líquido cloacal + descarga de camiones) .

Líquido cloacal.

Las muestras fueron tomadas en una canaleta Parshall existente antes del ingreso a L1 y previo a la conexión con el efluente de C1. Se tomó una muestra compensada entre la hora 6:00 y las 18:00 en cada una de las campañas.

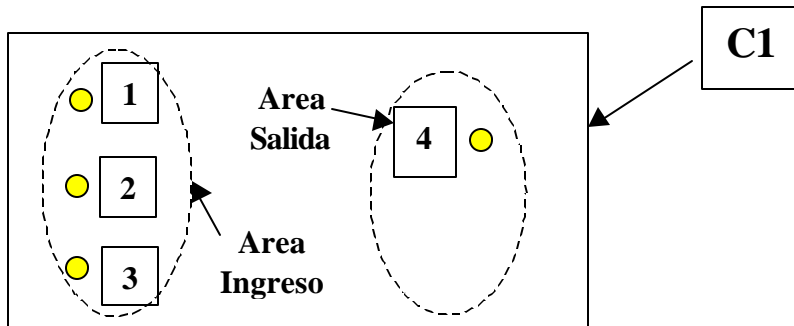
Efluentes de L1 y L2.

Las muestras se tomaron en los respectivos verterderos de salida a la hora 10.00 en verano y a la hora 11.00 en invierno. En estudios de evaluación de lagunas, realizados con anterioridad, había determinado que en dichos horarios se obtienen muestras representativas de la calidad promedio del efluente, que como es sabido es variable durante el día.

Lodos

En la figura 2 se muestra los puntos en que se tomaron las muestras de lodos.

Figura 2.



Las muestras de lodos fueron tomadas a 10cm por debajo de la superficie. En la zona de entrada se tomaron las muestras en tres puntos distintos para luego formar una muestra compuesta. Las determinaciones analíticas se realizaron en dos muestras, una correspondiente a la salida y otra a la entrada.

Parámetros analizados y técnicas utilizadas

En líquidos: pH, oxígeno disuelto, DBO total y soluble, DQO total y soluble, Temperatura, Sólidos sedimentables, Sólidos Suspendidos fijos y volátiles, Amoníaco, Fósforo total, Nitrógeno total, Nitratos, Nitritos, Sulfuros, Bacterias coliformes totales y fecales.

En lodos: Sólidos Totales fijos y volátiles, Nitrógeno total, Fósforo total, Huevos de Helminetos.
Algunos de los parámetros se determinaron quincenalmente y otros mensualmente

Para todos los parámetros se utilizaron las técnicas de Standard Methods, 19ª Edición, salvo para las determinaciones de Nitrógeno total, Amoníaco y Fósforo total para las que se emplearon kits marca HACH.

Para la determinación de huevos de helmintos se utilizó el método desarrollado por Janine Schwartzbrod de la Universidad de Nancy, Francia.

Mediciones de caudal

Líquido Cloacal: las mediciones se realizaron en la Canaleta Parshall existente en la planta tomando las alturas en forma horaria en las primeras nueve campañas. El caudal promedio resultante fue de 200 m³/día

Descarga de camiones atmosféricos: Para determinar el caudal aportado por los camiones se midió en varias oportunidades el tiempo de descarga para los tres tipos de camiones que ingresaban y en base a sus dimensiones se adoptó un volumen promedio. Con el número de camiones que ingresaron por día, se calculó un caudal promedio de 24,25 m³/día para la primer etapa y de 22,70m³/día para la segunda.

Datos climáticos

En la Tablas 1 y 2 se muestran los promedios mensuales para los parámetros de interés en base a datos provistos por la Estación Meteorológica del INTA de Pergamino, que es la estación más cercana a la ciudad de Alcorta.

Tabla 1 – Datos climáticos en la primer etapa (enero a julio de 1999)

Parámetro	Meses						
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
Precipitación (mm/día)	56.4	120.7	198.5	40.2	12.1	10.9	12.5
Temperatura (°C)	21.7	22.1	21.6	15.2	13.1	10.3	9.1
Vientos (km/h)	8.7	6.5	8.2	8.7	7.5	2.3	2.6
Evap. (mm/día)	5.1	4.2	2.6	2.0	1.5	1.2	1.1
Heliofanía (hs/día)	8.1	9.1	7.2	5.3	6.3	4.2	5.4

Tabla 2 – Datos climáticos para la segunda etapa (agosto de 1999 a febrero de 2000)

Parámetro	Meses						
	Agosto	Setiem.	Octubre	Nov.	Diciem.	Enero	Febrero
Precipitación (mm/día)	42.4	35.9	62.6	22.5	76.0	70.5	217.7
Temperatura (°C)	12.4	13.9	16.7	19.9	22.4	24.2	22.3
Vientos (km/h)	13.6	11.1	11.2	10.9	10.2	8.3	7.6
Evap. (mm/día)	2.5	3.1	2.1	5.4	5.8	5.9	0.4
Heliofanía (hs/día)	7.6	6.1	6.6	9,3	8.3	8.8	8.0

Los gráficos incluidos en figuras 1 a) a 1 d) muestran la variación de los diferentes parámetros a lo largo del período de estudio.

Resultados

Como se indicó anteriormente, el estudio se dividió en dos etapas, la primera desde enero a julio de 1999, incluyó el monitoreo de afluente y efluente de C1, L1 y L2 y la segunda, desde agosto de 1999 a febrero de 2000 incluyó el muestreo de afluente y efluente de C2, L1 y L2 y muestreo de los lodos acumulados en C1.

Calidad de líquidos crudos y efluentes de lagunas

En las Tablas 3 y 4 se muestran los promedios obtenidos para los parámetros analizados en cada una de las etapas mencionadas.

Tabla 3 – Resumen de los resultados obtenidos en la primer etapa del estudio (promedios aritméticos para todos los parámetros y promedio geométrico para bacterias colifecales)

Parámetro	Camiones	Efluente C1	Líquido Cloacal	Efluente L1	Efluente L2	Unidades
Caudal	24		200			m ³ /día
DBO total	754	150	198	46	33	mg/l
DBO filtrada	213	96	113	21	11	mg/l
DQO total	4243	654	531	286	230	mg/l
DQO filtrada	490	325	291	129	88	mg/l
SST	5934	235	153	122	114	mg/l
SSV	3035	207	128	115	101	mg/l
S Sedim 10'	34,0	0,2	2,5			mg/l
S Sedim 2h	46,1	0,5	3,9			mg/l
pH	8	8	8	8	8	mg/l
N _{tot}	191	117	76	45	31	mg/l
P _{tot}	28	18	13	11	8	mg/l
N-NH ₃	146	104	69	33	25	mg/l
N-NO ₃	1,3	1,2			1,4	mg/l

N-NO ₂	<0,05	<0,05			0,3	mg/l
Sulfuros (S ²⁻)	40	47	31	16	7	mg/l
Sulfatos (SO ₄)	183	57	390	221	260	mg/l
Coliform.tot.	6,1E+07	1,2E+07	1,2E+08	3,1E+06	4,8E+05	NMP/100ml
Col.fecales	1,7E+07	3,2E+06	7,9E+07	9,6E+05	1,1E+05	NMP/100ml
OD	0,00	0,29	0,00	0,20	3,23	mg/l

Tabla 4 – Resumen de los resultados obtenidos durante la segunda etapa del estudio (promedios aritméticos para todos los parámetros y promedio geométrico para bacterias colifecales)

Parámetro	Camiones	Efluente C1	Líquido Cloacal	Efluente L1	Efluente L2	Unidades
Caudal	23		220			m3/dia
DBO total	1189	287	208	82	63	mg/l
DBO filtrada	303	191	128	30	24	mg/l
DQO total	5918	905	603	423	337	mg/l
DQO filtrada	668	506	314	166	153	mg/l
SST	10644	325	180	179	159	mg/l
SSV	5105	235	134	170	131	mg/l
S Sedim 10'	67	0,1	2	-	-	mg/l
S Sedim 2h	66	0,9	3	-	-	mg/l
pH	8	8	8	8	8	mg/l
Ntot	215	136	83	58	44	mg/l
Ptot	39	25	13	12	12	mg/l
N-NH ₃	152	143	69	44	35	mg/l
N-NO ₃	-	-	-	-	-	mg/l
N-NO ₂	-	-	-	-	-	mg/l
Sulfuros (S ²⁻)	95	33	20	6	2	mg/l
Sulfatos (SO ₄)	132	41	-	415	424	mg/l
Coliform.tot.	6,4E+07	1,5E+07	4,0E+08	5,0E+06	3,0E+05	NMP/100ml
Col.fecales	6,0E+06	2,5E+06	7,0E+08	1,2E+06	1,2E+05	NMP/100ml
OD				1,26	3,38	mg/l

Observaciones microscópicas

Se realizaron observaciones microscópicas cualitativas en muestras de los líquidos de las lagunas para determinar el tipo de microorganismos predominantes. Los resultados se muestran en Tablas 5 y 6 para ambas etapas.

Tabla 5 – Observaciones microscópicas durante la primer etapa.

Fecha	C1		L1		L2	
	Color	Organismos	Color	Organismos	Color	Organismos
05/01/99	-	-	Marrón a las 10:00 Luego verde	Chlorella – A Euglena - A Rotíferos - A Thiopedia – R	-	-
28/01/99	Rosa/ gris	Chlamydomonas R Thiopedia – R	Marrón/ Verde	Ankistrodesmus -A Thiopedia - R Euglenas - S Rotíferos – S	-	-
10/03/99	Gris/ Rosa	Chlamydomonas R Thiopedia – R	Marrón/ Verde	Euglena - A Thiopedia - A	Verde	Euglena – A Phacus – A

				Phacus - R Chlorogonium - R Chlorella - R		Rotíferos – A Flagelados – A Thiopedia – S
24/03/99	Gris	Chlamydomonas E Thiopedia – E	Marrón/ Verde	Thiopedia - A Euglena - A Phacus - R Navícula R	Verde	Phacus – A Euglena – A Cyclops – A Rotíferos – A
07/04/99	Gris	Chlamydomonas E Thiopedia – E	Marrón/ Verde		Rosa	Thiopedia – A Chlorella – E Micractinium – E Navículas – S Scenedesmus –S E
19/05/99	Gris/ Rosa	Chlamydomonas A Thiopedia - A Vorticella – R	Rosa	Euglena - E Thiopedia - R	Rosa	Thiopedia – R Phacus – R Flagelados – R
02/06/99		Chlamydomonas R Vorticella - R Thiopedia – E	Rosa	Thiopedia - A Chlorella - S Flagelados - S	Rosa	Thiopedia – A Chlorella – S Flagelados – S
22/07/99	Gris		Rosa	Thiocapsa - R Flagelados - R Chlamydomonas - S	Rosa	Thiocapsa – R Flagelados – R Chlamydomonas– S

Tabla 6 - Observaciones microscópicas durante la segunda etapa

Fecha	C1		L1		L2	
	Color	Organismos	Color	Organismos	Color	Organismos
19/08/99	Gris	Chlamydomonas R Thiopedia -	Rosa	Chlamydomonas-A Thiopedia - R	Rosa	Chlamydomonas-A Thiopedia – R -
29/09/99	Gris	Chlamydomonas R Thiopedia – R	Rosa	Chlamydomonas - R Thiopedia – R	Rosa	Chlamydomonas-A Euglenas-S Rotíferos S
13/10/99	Gris	Chlamydomonas R Thiopedia – R	Rosa	Chlamydomonas - R Thiopedia – R Thiocapsa-R Microcystis-E	Rosa	Euglena – R Paramecios-R Chlamydomonas-A
10/11/99	Gris	Chlamydomonas E Thiopedia – S	Rosa	Chlamydomonas -R Thiopedia – R Thiocapsa-R Microcystis-E	Rosa	Chlamydomonas R Thiopedia – R Thiocapsa-R
22/12/99	Gris	Chlamydomonas E Thiopedia – S	Rosa/ Verde	Chlamydomonas -R Thiopedia – R Thiocapsa-R	Rosa/ Verde	Chlamydomonas R Thiopedia – R Thiocapsa-R
05/01/99	Gris	Chlamydomonas A Thiopedia - S	Verde	Chlamydomonas Euglena - E Thiopedia – R	Verde	Thiocapsa– A Ankistrodesmus–S Micractinium –R
10/02/00	Gris		Verde	Chlorella-A Euglenas-R Paramecios-R	Verde	Phacus-R Euglenas -S Rotíferos-S

Referencias

- A) Abundante cantidad
- R) Regular cantidad
- S) Escasa cantidad

Como puede observarse se encontraron bacterias de los géneros Thiopedia y Thiocapsa. Son dos especies de bacterias púrpuras fotosintéticas que metabolizan los sulfuros y dan origen al color rosa del líquido de las lagunas. En general las bacterias convivieron con las algas durante todo el período de estudio. En las campañas de los meses de enero, febrero, marzo y abril de 1999 el líquido de las lagunas L1 y L2 se veía de color rosa hasta la hora

10.00 y luego comenzaban a aparecer vetas de color verde hasta quedar completamente de ese color en horas cercanas al mediodía. Una observación similar fue hecha por Veensha (5) et al en un estudio realizado en lagunas de estabilización del Yemen. El fenómeno volvió a observarse en el mes de diciembre de 1999.

El género de algas predominante en las lagunas para descarga de camiones fue Chlamydomonas, un tipo de alga que es capaz de vivir en líquidos con altos niveles de materia orgánica y bajos contenidos de oxígeno disuelto.

Durante los meses de bajas temperaturas tanto el número de algas como de bacterias púrpuras disminuyó notablemente en C1 y C2.

En L1 y L2 la diversidad de géneros de algas fue mayor pero también disminuyó notablemente el número de microorganismos planctónicos durante los meses de invierno y también su diversidad.

Huevos de helmintos. En los líquidos de camiones se encontraron concentraciones de huevos de helmintos de entre 40 y 80 huevos por litro y tanto en los líquidos cloacales como en los efluentes de C1 y C2 no fueron detectados.

Cabe señalar que estas observaciones se realizaron en un número reducido de muestras.

Acumulación de sólidos. Cuando la laguna C1 fue puesta fuera de servicio se midió el volumen de lodos acumulado. Para un tiempo de funcionamiento de 203 días y un caudal promedio de líquidos de camiones de 24,25 m³ el volumen acumulado fue de aproximadamente 104 m³.

La altura promedio de los lodos fue de 48 cm, pero se pudo observar una desigual distribución de los lodos, con una mayor acumulación en la zona de entrada en la que la altura inicial fue de aproximadamente 1,00 m con un descenso gradual hacia la zona de salida donde la altura aproximada fue de 0,20 cm.

Calidad de los lodos. En las Tablas 7 y 8 se muestran los resultados obtenidos durante el muestreo de los lodos de C1

Tabla 7. Resultados del monitoreo de lodos.

Fecha	Humed. (%)		ST (%)		STV (%)		Nt (%)		Pt (%)		Bact.Colifecales NMP/g seco	
	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S
05-08-99	76	88	55	51	45	49	-	-	-	-	-	-
19-08-99	75	83	52	52	48	48	1,0	1,1	0,16	0,17	-	-
02-09-99	74	85	47	56	53	44	1,2	0,8	0,18	0,18	3,4E+05	3,4E+04
15-09-99	72	80	55	48	45	52	0,9	1,6	0,15	0,22	7,1E+04	1,9E+04
29-09-99	72	79	53	56	47	44	1,0	1,4	0,12	0,22	1,2E+03	1,4E+04
13-10-99	70	83	51	55	49	45	1,4	1,7	0,12	0,16	1,2E+03	1,4E+03
27-10-99	72	78	46	56	54	44	1,2	1,4	0,18	0,25	6,4E+02	3,0E+03
10-11-99	71	80	54	58	46	42	1,1	1,6	0,15	0,12	8,0E+01	1,2E+02
24-11-99	69	79	49	57	51	43	1,4	0,8	0,15	0,14	1,0E+02	1,5E+02
10-12-99	63	78	50	58	50	42	-	-	-	-	6,6E+03	1,9E+03
22-12-99	65	76	62	61	38	39	-	-	-	-	1,0E+05	8,0E+03
04-01-99	58	74	61	56	39	44	1,4	1,5	0,30	0,26	8,3E+02	4,8E+03
10-02-99	45	74	71	60	29	40	1,2	1,9	0,25	0,25	1,5E+02	3,6E+02

E: área entrada / S: área salida

Tabla 8 – Huevos de helmintos

Fecha	Huevos de helmintos Nº/100g peso seco
05-08-99	5500
19-08-99	4000
02-09-99	
15-09-99	4400
29-09-99	
13-10-99	
27-10-99	
10-11-99	6400
24-11-99	4200
10-12-99	
22-12-99	
04-01-00	6000

Discusión de los resultados

Calidad de las descargas de camiones

En las figuras 2 a) a 2 g) se puede observar que la calidad de los líquidos de los camiones a lo largo del período de estudio fue muy variable como ya había sido comprobado en estudios previos realizados por los autores.

Si se observan los valores promedios de DBO total, DQO total y Sólidos totales de las tablas 3 y 4 se deduce que los líquidos de la segunda etapa fueron más concentrados. Sin embargo si se observan las relaciones presentadas en la Tabla 9, las mismas son bastante similares. En la misma tabla se han incluido las relaciones para los líquidos cloacales porque permiten comprender las diferencias entre ambos.

Tabla 9 - Relaciones COD/DBO y SSV/SST

Relaciones	Descarga Camiones		Líquido cloacal	
	1a etapa	2a etapa	1a etapa	2a etapa
DBOt/DQOt	5,63	4,98	2,68	2,90
DQOf/DBOf	2,30	2,20	2,58	2,45
DBOt/DBOf	3,53	3,92	1,75	1,62
DQOt/DQOf	8,65	8,85	1,82	1,92
SSV/SST	0,51	0,48	0,84	0,74

Teniendo en cuenta los valores de la tabla, se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- El alto valor de la relación DQOt/DBOt para los líquidos de los camiones indica que una importante fracción de la materia orgánica es refractaria.
- El alto valor de la relación DQOt/DQOf del líquido de camiones indica que la materia orgánica refractaria está contenida mayoritariamente en los sólidos suspendidos.
- De la relación SSV/SST se deduce que un 50% aproximadamente de los sólidos totales son sólidos inorgánicos, en el líquido proveniente de camiones.

Los valores de las Tablas 3 y 4 y de Tabla 9 indican que las principales diferencias entre los líquidos de los camiones y los líquidos cloacales residen en la concentración de sólidos totales y volátiles y en la relación entre materia orgánica biodegradable y refractaria.

Lagunas para descargas de camiones

Sulfuros. Las cargas volumétricas (60 g DBO/m³.día para C1 y 87 g DBO/m³.día para C2), la concentración de sulfatos en el líquido crudo y la presencia de bacterias fotosintéticas indican que las lagunas funcionan como lagunas anóxicas, tal como las describen Almasi y Pescod (5) en un estudio realizado en modelos de laboratorio. Dichos autores señalan que son lagunas que actúan en la franja "gris" de cargas volumétricas que generan condiciones intermedias entre las anaeróbicas y las estrictamente facultativas. Señalan también que las algas juegan un significativo rol en la creación de condiciones anóxicas. Encontraron que la población de algas estaba

compuesta por Euglenas y Chlamydomonas y que éstas últimas fueron predominantes cuando las cargas volumétricas aumentaron de 30 a 65 g DBO/m³.día.

Las transformaciones del azufre en dichas lagunas ejercen influencia sobre los mecanismos de tratamiento. Cuando existen concentraciones elevadas de sulfatos en los líquidos crudos, las bacterias reductoras de sulfatos los transforman en sulfuros tomando la energía necesaria de la oxidación de pequeñas moléculas de materia orgánica y del hidrógeno.

Efectuar un balance del azufre en este tipo de lagunas es sumamente complejo, pero si se analizan los valores de sulfatos y sulfuros en el afluente y efluente de C1 y C2 se puede puntualizar que:

- Existe una reducción de sulfatos a sulfuros en los pozos absorbentes ya que la concentración de sulfatos en el agua potable que consume la población es de alrededor de 400 mg/l mientras que las descargas de los camiones tuvieron en promedio 183 y 132 mg/l en la primera y segunda etapa respectivamente.
- Existe una reducción de sulfatos en las mismas lagunas (ver Tablas 4 y 5) que se agrega a los sulfuros generados por la degradación de la materia orgánica
- La presencia de bacterias púrpuras fotosintéticas contribuye a la eliminación de sulfuros en una importante proporción.

Calidad del efluente. En las Tablas 10 y 11 se informa sobre la calidad del efluente de las lagunas C1 y C2 y las correspondientes eficiencias en las dos etapas del estudio. En la tabla 13 se presentan las relaciones de interés. En ésta última se han incluido también los líquidos cloacales con el fin de facilitar la comparación entre ambos líquidos.

Table 10 – Eficiencias de remoción en C1

Parámetro	Afuente	Efluente	Eficiencia (%)
SST	5934	235	96
SSV	3035	207	93
DBO total	754	150	80
DQO total	4243	654	85
DBO Filtrado	213	96	55
DQO filtrado	490	325	34
Total P	28	18	36
Total N	191	117	39
NH3	145	104	29
Coliforme Fecales	1,7E+07	3,2E+06	82

Tabla 11 – Eficiencias de remoción en C2

Parámetro	Afuente	Efluente	Eficiencia (%)
SST	10644	325	97
SSV	5105	235	95
DBO total	1189	287	81
DQO total	5918	905	85
DBO Filtrado	303	191	37
DQO filtrado	668	506	24
Total P	39	25	36
Total N	215	137	37
NH3	146	137	6
Coliforme Fecales	6,0E+06	2,5E+06	58

Nota: Todos los parámetros expresados en mg/l, excepto colifecales en NMP/100 ml.

Tabla 12 - Relaciones entre DQO/DBO y SSV/SSt para los efluentes de C1 y C2 y para los líquidos cloacales

Relaciones	Efluente de C1 y C2		Líquido cloacal	
	1a etapa	2a etapa	1a etapa	2a etapa
DQOt/DBOt	4,36	3,15	2,68	2,90
DQOf/DBOf	3.39	2,64	2,58	2,45
DBOt/DBOf	1,56	1,50	1,75	1,62
DQOt/DBOf	2,01	1,79	1,82	1,92
SSV/SST	0,88	0,72	0,84	0,74

Los valores de las tablas indican que la calidad del efluente de las lagunas C1 y C2 es muy similar a la del líquido cloacal que ingresa a la laguna L1 y que las mismas tienen una gran eficiencia en la eliminación de sólidos suspendidos.

En la figura 3 a) a 3 g) se puede observar la variación en la calidad del efluente de C1 y C2 a lo largo del tiempo y en la figura 3 h) la temperatura del aire. Se puede ver que las concentraciones N total y NH₃ en el efluente son prácticamente iguales y que ambas aumentan con el descenso de la temperatura. Probablemente esto originado por la disminución en el número de algas de las lagunas.

Los porcentajes de remoción de materia orgánica soluble demuestran que efectivamente se desarrollaron procesos de degradación. Sin embargo es interesante distinguir dos períodos tanto para el funcionamiento de C1 como para el de C2. Si consideramos la calidad del efluente de C1 es posible distinguir un primer período entre enero y mayo (campañas 1 a 10) en el que la eficiencia en remoción de DBO soluble fue 70% y la de DQO soluble 46% y un segundo período, en los meses de junio y julio (campañas 11 a 14) en los que las respectivas eficiencias fueron 14% y 6%.

Si se realiza un análisis similar para C2 también pueden considerarse dos períodos, el primero desde agosto a noviembre (campañas 15 a 23) y el segundo desde diciembre a febrero (campañas 24 a 27). En el primero la eficiencia en remoción de DBO soluble fue de 26% y la de DQO soluble de 13%, mientras que en el segundo aumentaron a 71% y 48% respectivamente.

Evidentemente, la temperatura ejerce una notable influencia. Almasi y Pescod en el estudio ya mencionado determinaron que en las lagunas anóxicas la temperatura es el parámetro que más influye en la remoción de materia orgánica.

A pesar de que las eficiencias en remoción de DBOt y DQOt logradas en la primer etapa se mantuvieron en la segunda etapa, disminuyó la eficiencia en remoción de DBO y DQO soluble y la calidad del efluente fue menor. Por tal motivo se considera que no sería conveniente que se produzcan en las lagunas cargas volumétricas por encima de 80g DBO/m³.día.

Lodos acumulados en las lagunas

Volumen de lodos: Teniendo en cuenta la información suministrada en el ítem *acumulación de sólidos* se puede calcular cual fue el aporte de sólidos en función del líquido aportado por los camiones:

Acumulación mensual de lodos (7 meses de operación):19 m³/día
 Lodos acumulados por m³ de líquido descargado..... 0.021 m³ sólidos/m³

Este valor es prácticamente igual al adoptado inicialmente para dimensionar las lagunas.

Secado de los lodos Como puede verse en la Tabla 7 hubo marcadas diferencias en la velocidad de secado entre las zonas de salida y entrada de las lagunas. En la primera la humedad disminuyó de un 76% a un 45% y en la segunda sólo de 88% a 74%. Esto se debió a que las diferencias de alturas en los lodos provocaron el escurrimiento del agua hacia la zona de salida.

La eficiencia en reducción en sólidos volátiles fue de 35% en la zona de entrada y de 18% en la de salida, en correspondencia con el grado de secado obtenido.

En la figura 1 se puede ver la variación de la precipitación, evaporación y temperatura durante el período de secado y en las figuras 4 a) a 4 f) la variación de los parámetros significativos durante la etapa de secado.

La concentración de nitrógeno y fósforo en los lodos fue de 1,3 % y 0,20 % respectivamente.

Es interesante observar que la velocidad de secado en la zona de entrada se aceleró notablemente durante los meses de diciembre, enero y febrero. Esto puede deberse, además de las altas temperaturas, al hecho de que en dicha zona se desarrollaron plantas diversas que requieren nutrientes y contribuyen a la evapotranspiración.

La reducción de bacterias fecales en los lodos fue importante pero pueden observarse algunos valores erráticos. Esto puede deberse a la no homogénea distribución de las bacterias y a que las muestras no fueron extraídas siempre del mismo punto.

Como se indicó anteriormente para la determinación de los huevos de helmintos se utilizó el método desarrollado por Janine Schwartzbrod. El conteo fue hecho en una cámara tipo Sedgwick-Rafter de 2 ml y el máximo aumento que se puede utilizar es de 100 X. Con ese aumento es bastante difícil distinguir los huevos de parásitos humanos de los de origen animal o de los nematodos de vida libre que siempre existen en lodos expuestos a condiciones ambientales.

En las primeras campañas 70 a 80% de los huevos contados fueron de origen humano (*Necator americanus*, *Ancylostoma duodenale* y *Trichuris trichiura*) pero en las últimas campañas aumentaron considerablemente los huevos con otras características, por lo que no se pueden extraer conclusiones definitivas sobre la calidad de los lodos en cuanto a su concentración de helmintos.

A pesar de lo expresado anteriormente, es muy probable que el número de huevos de helmintos de importancia sanitaria supere el límite recomendado por Strauss et al (4) que sugieren un valor de 3 – 8 g huevos/g seco de lodo para que éste pueda destinarse al uso agrícola.

Los autores mencionados señalan, citando a Feachem, que sería necesario lograr un contenido de sólidos totales mayor a 95% para asegurar la total inactivación de los huevos de helmintos, valor muy superior al obtenido durante el período de secado.

Calidad de los efluentes de L1 y L2

Las eficiencias en remoción de materia orgánica, nutrientes y bacterias colifecales se muestran en Tablas 13 y 14 para ambas etapas.

Table 13 – Eficiencia en remoción materia orgánica, nutrientes y bacterias en la primer etapa del estudio

Parametro	Unid.	L1			L2		Eficiencia Sistema (%)
		Entrada	Salida	Eficiencia (%)	Salida	Eficiencia (%)	
DQO tot	(mg/l)	531	286	46	230	20	57
DQO filt	(mg/l)	291	129	56	88	32	70
DBO tot	(mg/l)	198	46	77	33	28	83
DBO filt	(mg/l)	113	21	81	11	48	90
N tot	(mg/l)	76	45	41	31	31	59
P tot	(mg/l)	13	11	15	8	27	38
NH3-NH4	(mg/l)	69	33	52	25	24	64
Col. Fecales	MPN/100ml	7,9E+07	9,6E+05	98.8	1,1E+05	88.9	99.9

Table 14 – Eficiencia en remoción materia orgánica, nutrientes y bacterias en la segunda etapa del estudio

Parametro	Unid.	L1			L2		Eficiencia Sistema (%)
		Entrada	Salida	Eficiencia (%)	Salida	Eficiencia (%)	
DQO tot	(mg/l)	603	423	30	337	20	44
DQO filt	(mg/l)	314	166	47	153	8	51
DBO tot	(mg/l)	208	82	61	63	23	70
DBO filt	(mg/l)	128	30	77	24	20	81
N tot	(mg/l)	83	58	30	44	24	47
P tot	(mg/l)	13	12	8	12	0	8
NH3-NH4	(mg/l)	69	44	36	35	20	49
Col. Fecales	MPN/100ml	7,0E+08	1,2E+06	99.8	1,0E+05	99.2	99.98

La remoción de bacterias colifecales es similar a la encontrada en otros sistemas evaluados en la Provincia de Santa Fe, dos unidades logarítmicas en la laguna primaria y una unidad logarítmica en la secundaria.

La eficiencia de remoción de materia orgánica y nutrientes de ambas lagunas y del sistema fue menor durante la segunda etapa. Esto puede atribuirse a las bajas temperaturas registradas y a la menor insolación durante el período invernal. En las figuras 5 a) a 5 g) y 6 a) a 6 g) y se puede ver la variación de parámetros significativos durante el período de estudio para L1 y L2. El aumento en los valores de DBO, DQO, NH₃-NH₄ comenzó en el mes de mayo en L1 y en diciembre se produjo la recuperación de la misma. Un fenómeno similar ocurrió en L2 con aproximadamente un mes de diferencia.

Costos de operación

Basado en un análisis de costos estimativo de construcción y operación los costos por m³ para este sistema en particular son los siguientes:

Tratamiento de líquidos cloacales en L1 y L2	\$/m ³	0.115
Tratamiento de descarga de camiones en C1 y C2	\$/m ³	0.338

Respecto a los costos de construcción la relación entre los costos (\$107.085 / \$11.580) es similar a la relación entre los caudales tratados (200 m³/ día vs 24 m³/día)

Conclusiones y recomendaciones

- La calidad del efluente de las lagunas para descarga de camiones es adecuado para ser volcado en un sistema de lagunas diseñadas para tratar líquidos cloacales o en una planta de tratamiento con algún otro proceso biológico.
- Las lagunas deben ser proyectadas como lagunas de sedimentación. El valor de 0,02 m³ de sólidos por m³ de líquido descargado puede tomarse como base para el diseño. Es aconsejable que las cargas volumétricas sean menores a 80 gDBO/m³.día.
- Se ha demostrado que el secado de los lodos en la misma laguna es posible ya que se obtiene un grado de humedad que permite su manejo y transporte.
- Deben continuarse las investigaciones acerca de la presencia de huevos parásitos humanos para decidir acerca del posterior uso agrícola de los mismos.
- Cuando se proyecta una planta de tratamiento de líquidos cloacales deben proyectarse instalaciones para el tratamiento previo de la descarga de camiones atmosféricos que podrán ser gradualmente desactivadas a medida que aumenta el número de habitantes servidos por la red de colectoras.

Referencias bibliográficas

- (1) Ingallinella, A.M., Sanguinetti G., Vazquez, H.P., Fernández R.G. (1996) Treatment of Wastewater Transported by Vacuum Trucks, Wat.Sci.Tech. Vol 33, N0.3, 239-246
- (2) Sanguinetti G., Ingallinella, A.M. Fernández, R.G. (1999) Evaluation of Stabilization Ponds Systems in the Temperate Climate Region of Argentina, 4th IAWQ Specialist Conference on WSP, Marrakech, Marroco, 20th-24th April 1999.
- (3) Strauss, M. Larmie, S.A, Heinss, U., Montangero, A. (1999) Treating Faecal Sludges in Ponds. 4th IAWQ International Conference on Waste Stabilisation Ponds, Marrakech, Morocco
- (4) Heins U., Larmie S., Strauss, M. (1997) Solids Separation and Pond Systems for the Treatment of Faecal Sludges in the Tropics. EAWAG, Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology
- (5) Veensha S., Al Nozaily F.A., Alaerts G.J. (1994) Purple non Sulfur Bacteria and their Influence on Waste Stabilization Pond Performance in the Yemen Republic, Wat.Sci. Tech.Vol 31, N°12.
- (6) Almasi A., Pescod, M.B (1996) Wastewater Treatment Mechanisms in Anoxic Stabilization Ponds. Wat.Sci.Tech.Vol.33, No.7, 125-132

Abreviaturas

DQOt:	Demanda Química de oxígeno total
DQOf:	Demanda Química de Oxígeno sobre muestras filtradas por papel de 0,45µm
DBOt:	Demanda Bioquímica de Oxígeno total
DBOf:	Demanda Bioquímica de Oxígeno sobre muestras filtradas por papel de 0,45µm
SST:	Sólidos Suspendidos Totales
SSV:	Sólidos Suspendidos Volátiles
Pt:	Fósforo total
Nt:	Nitrógeno total
N-NH3:	Nitrógeno Amoniacal
Effic:	Eficiencia
ST:	Sólidos totales
STV:	Sólidos totales volátiles
Col. fecales:	bacterias coliformes fecales
C1 y C2:	lagunas para descarga de camiones
L1 y L2:	lagunas para líquidos cloacales

Figuras 1

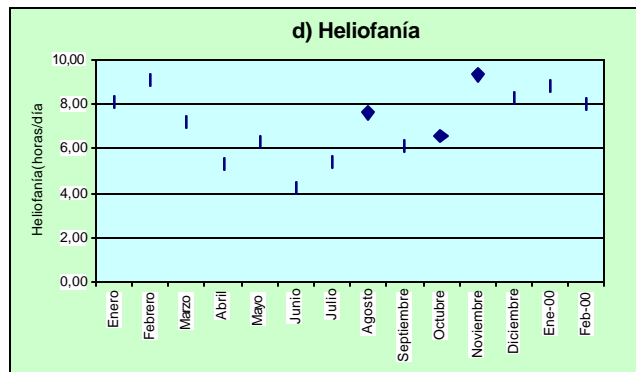
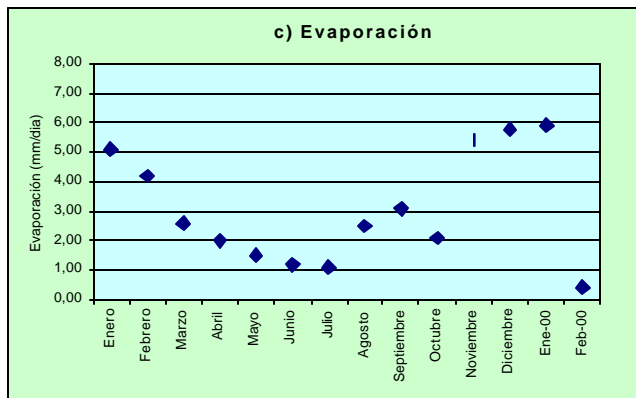
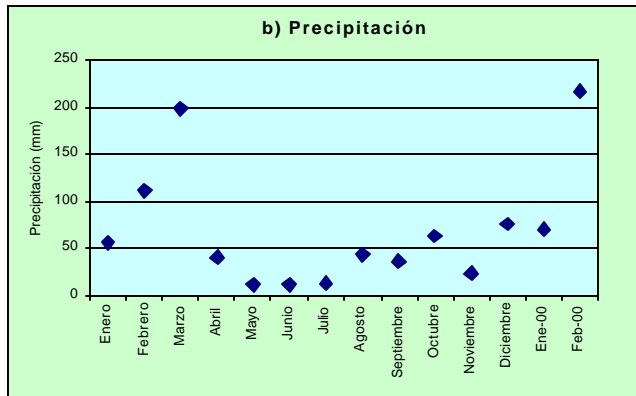
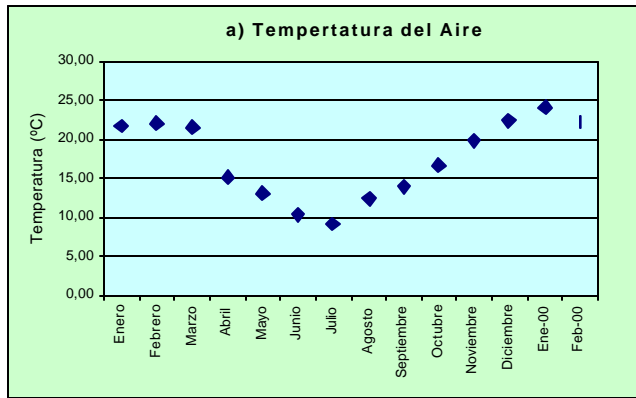
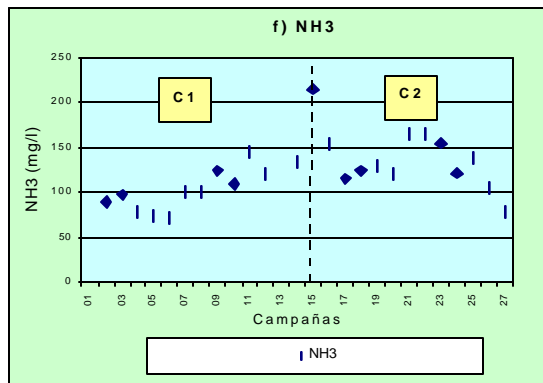
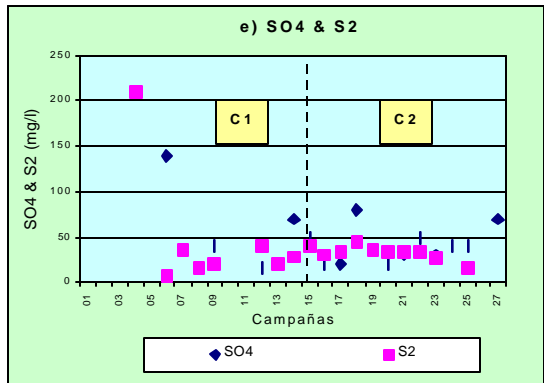
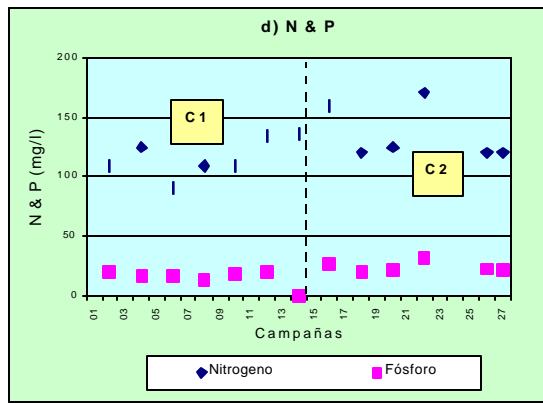
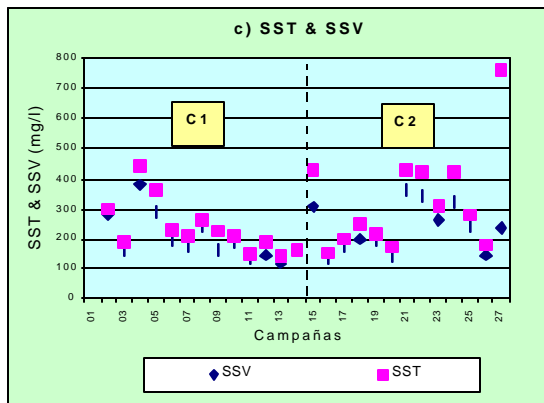
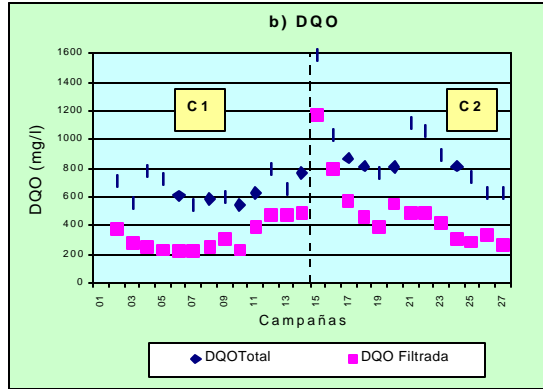
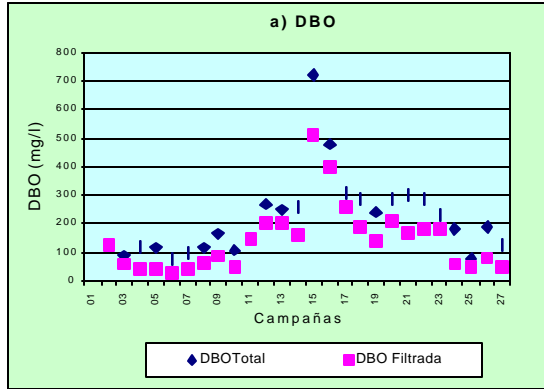


Figura 2



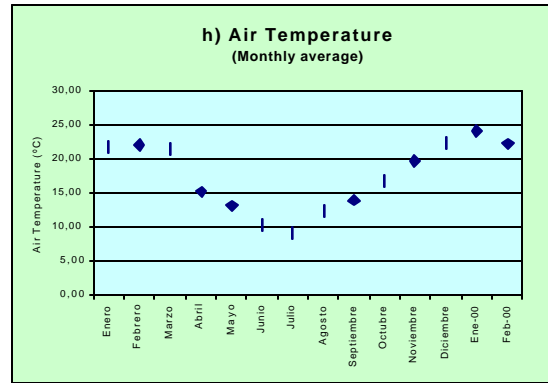
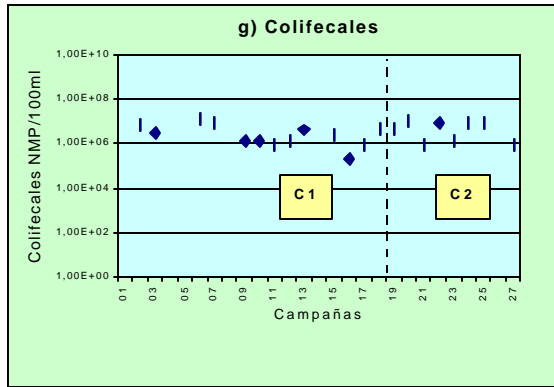
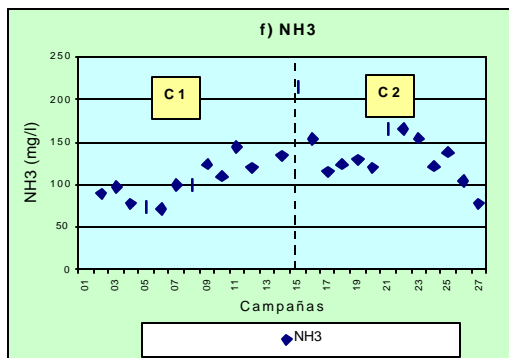
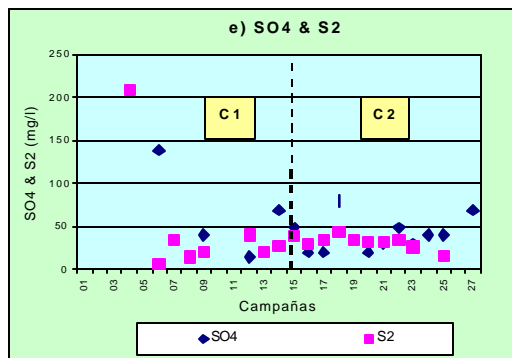
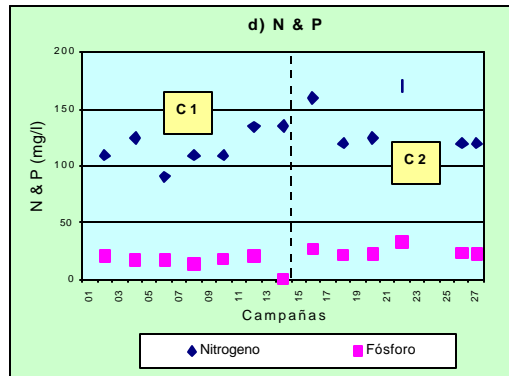
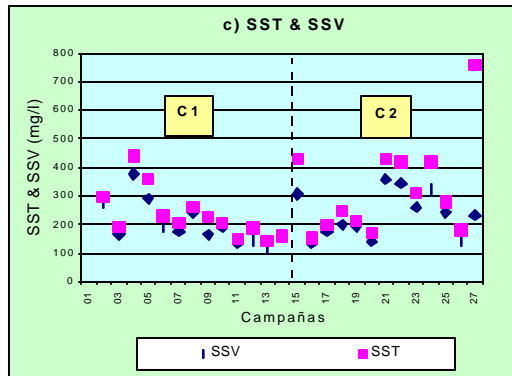
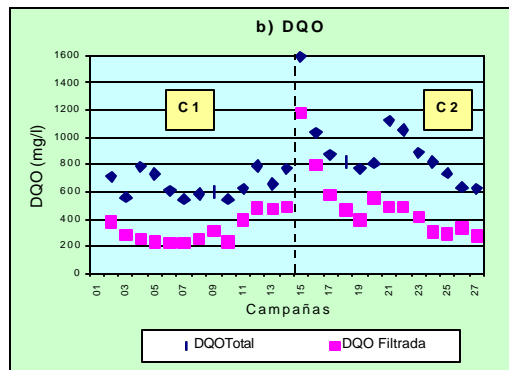
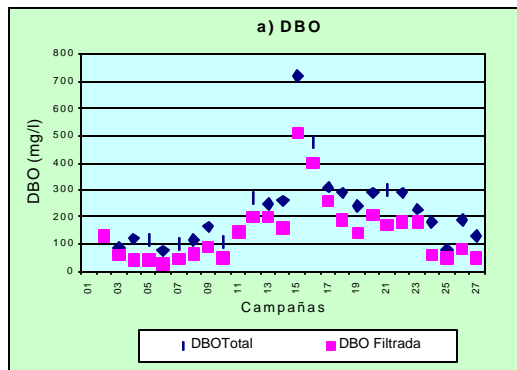


Figura 3



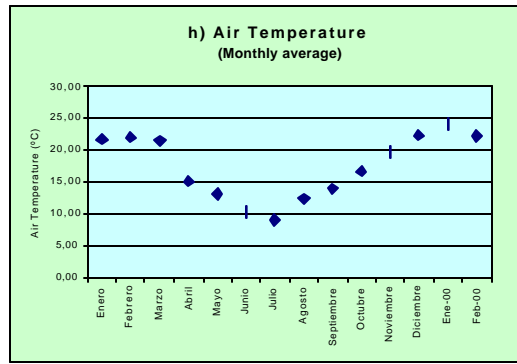
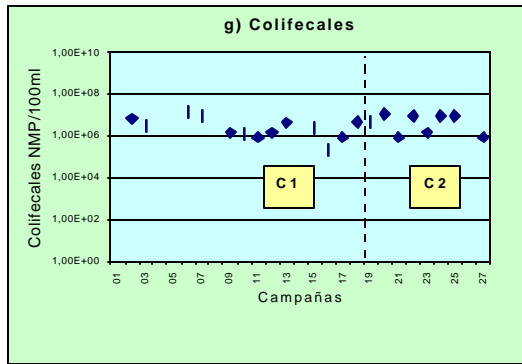


Figura 4

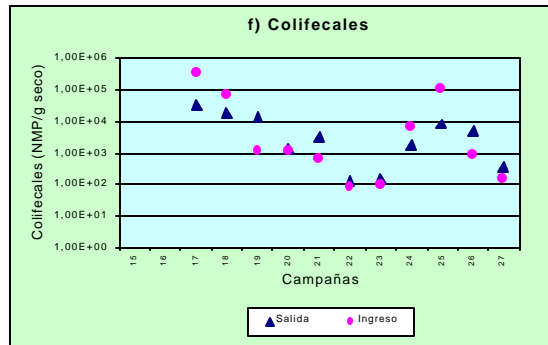
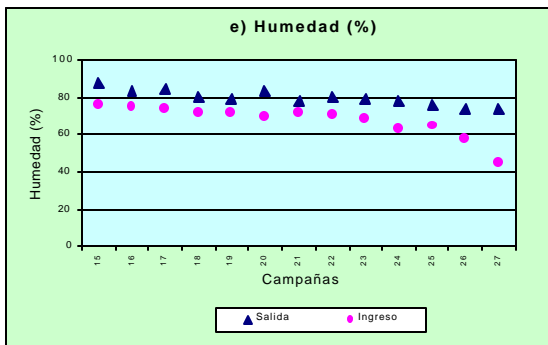
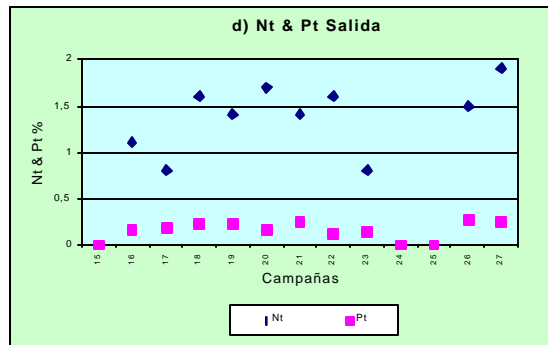
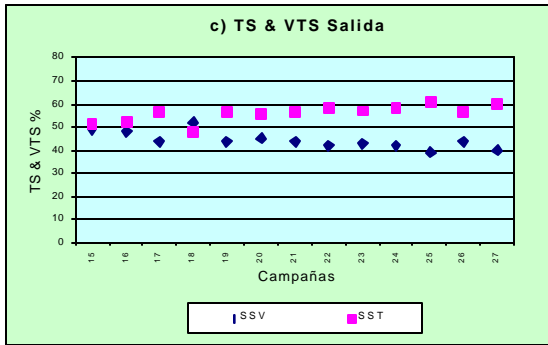
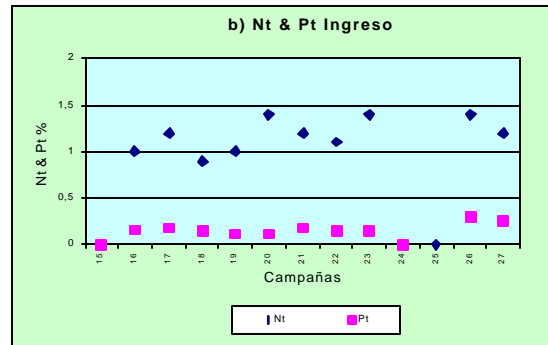
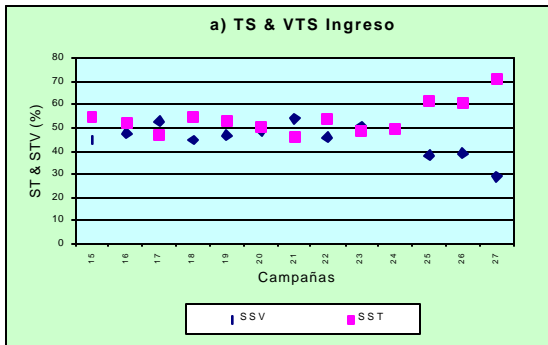
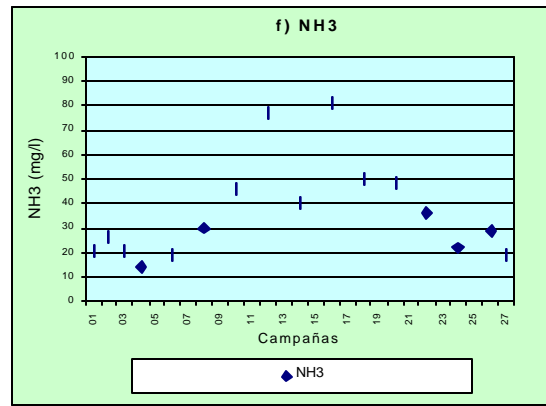
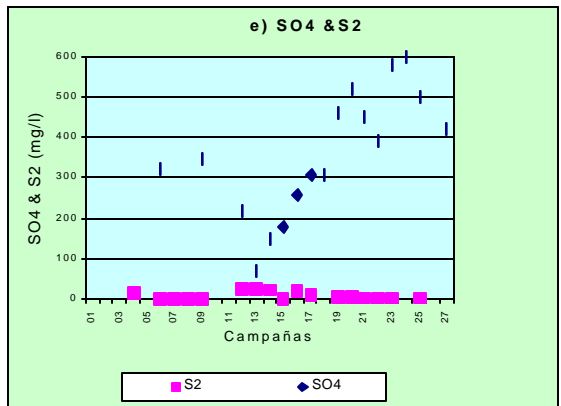
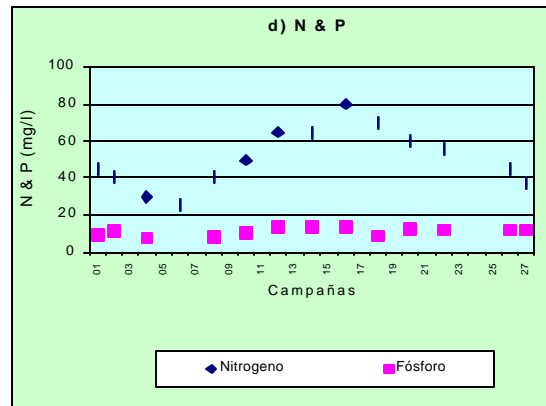
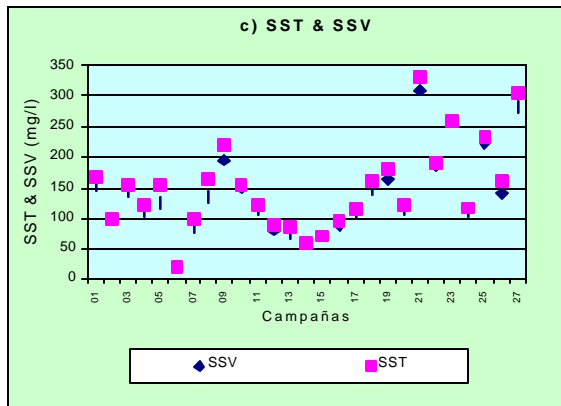
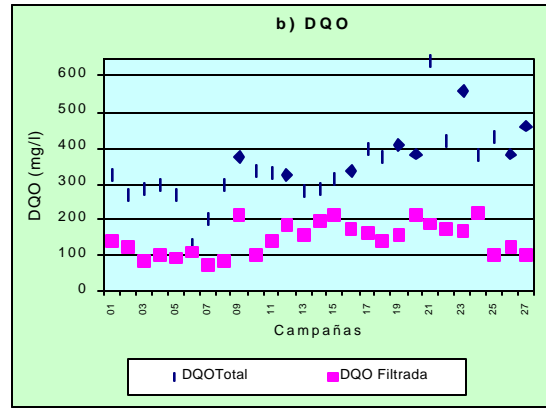
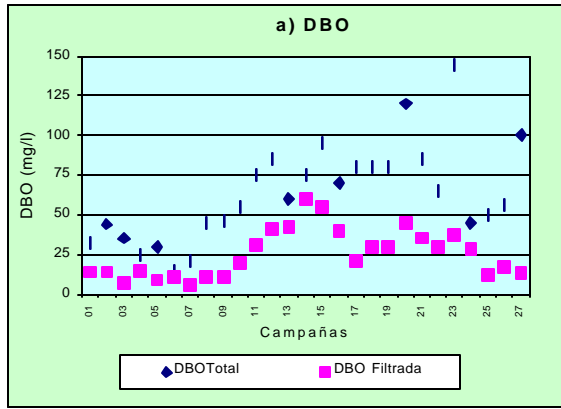


Figura 5



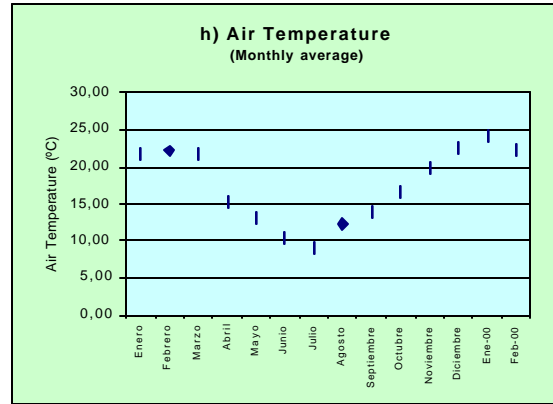
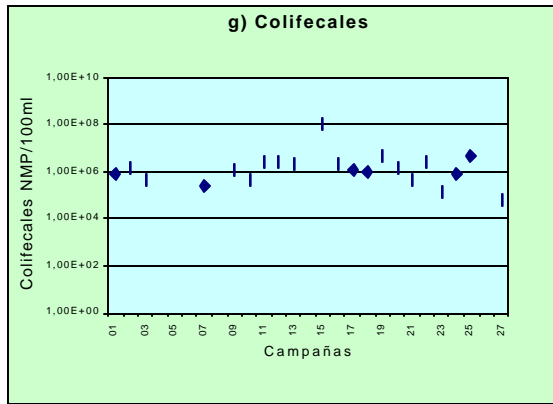


Figura 6

