

# Remoción de coliformes fecales en lagunas de estabilización

Ing. Silvia L. Ramírez N.\* e Ing. Jairo A. Romero Rojas\*\*

\* Ingeniera Civil, Magíster en Ingeniería Ambiental.

\*\* I.C., MEEE., profesor asociado Universidad Nacional de Colombia, profesor Escuela Colombiana de Ingeniería.

## INTRODUCCIÓN

El tratamiento de aguas residuales mediante lagunas de estabilización, ha sido un método muy usado debido a sus costos bajos de operación y mantenimiento, así como a su eficiencia en la remoción de materia orgánica y de microorganismos patógenos. La remoción de patógenos, medida en términos de coliformes fecales, CF, es uno de los objetivos del diseño y del control de la operación de plantas de tratamiento de aguas residuales. En este artículo se resumen los resultados principales de la evaluación experimental de la remoción de coliformes fecales, en un sistema de tratamiento por lagunas de estabilización<sup>(1)</sup>.

## EL SISTEMA DE TRATAMIENTO

En 1989 fue construida la planta de tratamiento Chía I, que inició su funcionamiento en julio de 1990.

El sistema de tratamiento está localizado hacia el sur del cruce de la vía Bogotá - Chía - Cajicá, con vertimiento sobre la margen derecha del río Bogotá, al noroccidente de la casa de reposo San Juan de Dios. Los componentes principales del sistema de tratamiento son: una estructura de en-

trada, compuesta por un tanque con aliviadero, al cual le llega una tubería de diámetro 24", con una pendiente de 0.98%, que transporta el agua residual del sector comprendido entre las calles 9 y 21 y las carreras 2 y 11 del municipio de Chía; por el costado norte se conecta, además, una tubería de diámetro 28" con una pendiente de 0.1%, la cual transporta las aguas residuales de la zona suburbana de la vereda Bojacá, hasta Tres Esquinas, y del colector del Centro Chía; mediante un sistema de desviación, o *by pass*, en tubería de diámetro 24", se pueden dirigir las aguas a un caño que descarga al río Bogotá (Figura 1).

La laguna primaria, diseñada como laguna anaeróbica, tiene las siguientes características de cálculo<sup>(2)</sup>.

Tiempo de retención	: 2 d.
Caudal	: 100 L/s
Profundidad efectiva	: 4,0 m
Carga orgánica	: 1.110 kg DBO/d
Concentración orgánica	: 128 mg DBO/L
Volumen	: 17.231 m <sup>3</sup>
Área total	: 5.412 m <sup>2</sup>
Longitud	: 135,3 m
Ancho	: 40 m
Carga volumétrica	: 64 g DBO/m.d
Carga superficial	: 2.051 kg DBO/ha.d
Eficiencia de remoción de DBO	: 50 %
Número de pantallas	: 2

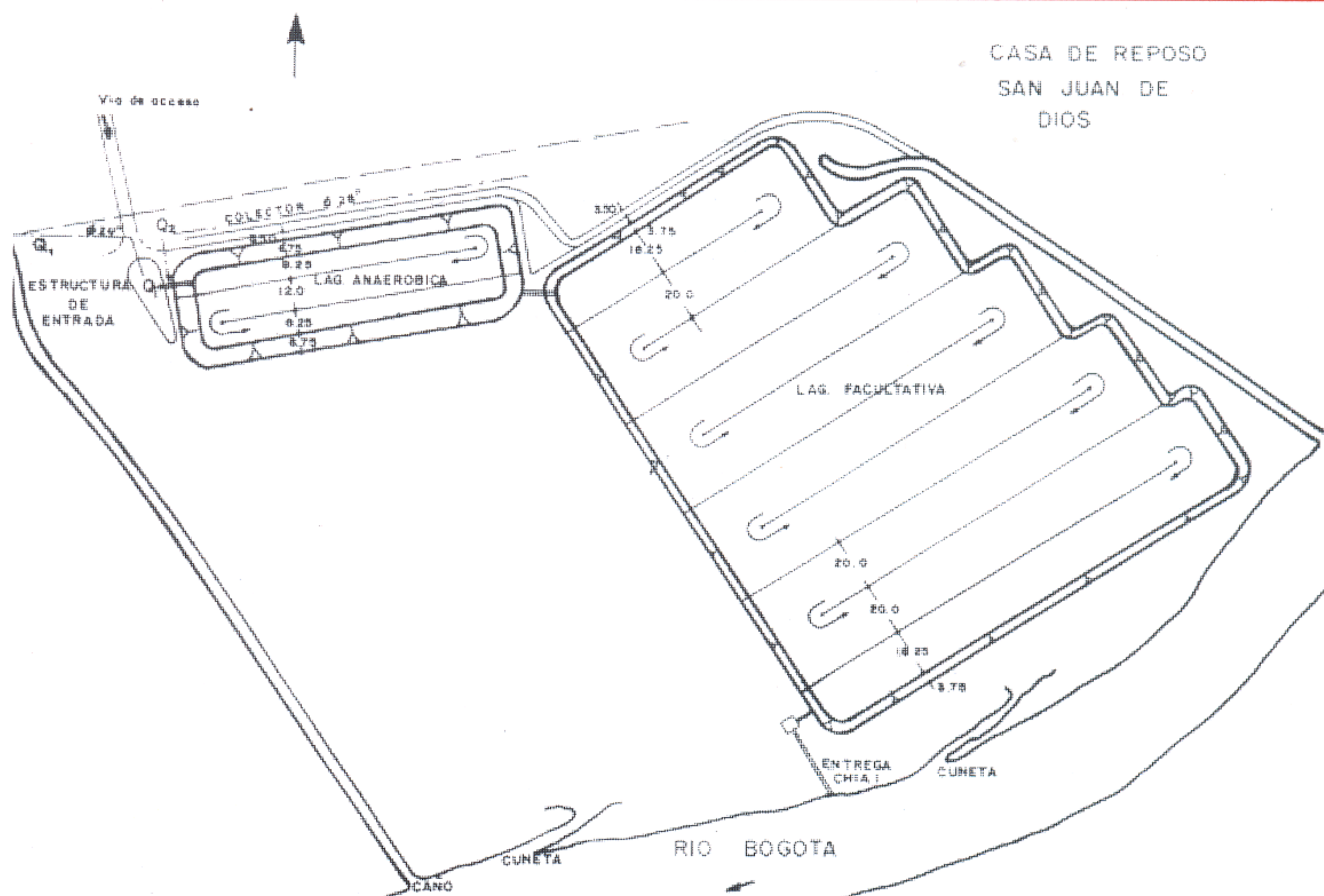


Figura 1. Planta de tratamiento Chía I.



La laguna secundaria, diseñada como laguna facultativa, tiene las siguientes características de cálculo<sup>(2)</sup>.

Tiempo de retención	:	9 d.
Profundidad efectiva	:	2,0 m
Carga orgánica	:	555 kg DBO/d
Concentración orgánica	:	64 mg DBO/L
Volumen	:	77.084 m <sup>3</sup>
Área total	:	38.542 m <sup>2</sup>
Longitud	:	223 m
Ancho	:	196 m
Carga volumétrica	:	7,2 g DBO/m <sup>3</sup> .d
Carga superficial	:	144 kg DBO/ha.d
Carga remanente	:	111 kg DBO/d
Eficiencia de remoción	:	80%
Número de pantallas	:	9

Las dimensiones determinadas en el terreno son:

	Laguna primaria	Laguna secundaria
Volumen	16.945 m <sup>3</sup>	61.871 m <sup>3</sup>
Área total superficial	5.210 m <sup>2</sup>	32.732 m <sup>2</sup>
Longitud superficial	127,7 m	217,97 m
Ancho superficial	40,8m	182,25 m

### REMOCIÓN DE COLIFORMES

La remoción de coliformes, como organismos indicadores de la remoción de patógenos, en lagunas de estabilización, ha sido estudiada por varios investigadores, con base en la cinética de primer orden conocida como la Ley de Chick<sup>(3,4,5)</sup>:

$$\frac{dN}{dt} = -K_b N \quad (1)$$

donde:

- N = Concentración de coliformes
- t = Tiempo, d
- K<sub>b</sub> = Constante de decaimiento o tasa de remoción d<sup>-1</sup>

La relación de K<sub>b</sub> en función de la temperatura está dada por la ecuación clásica de Arrhenius:

$$K_{bT} = K_{b20} * \theta^{(T-20)} \quad (2)$$

donde:

- K<sub>bT</sub> = Constante de remoción a T°C, d<sup>-1</sup>
- K<sub>b20</sub> = Constante de remoción a 20°C, d<sup>-1</sup>
- θ = Factor adimensional

La integración de la ecuación 1, bajo diferentes condiciones de flujo y en estado estable, conduce a las siguientes expresiones:

- Un sistema operando a flujo pistón<sup>(5,6,7)</sup>:

$$\frac{N}{N_0} = e^{-K_b t} \quad (3)$$

donde:

- N = Concentración de coliformes en el efluente
- N<sub>0</sub> = Concentración de coliformes en el afluente
- K<sub>b</sub> = Constante de remoción de primer orden, d<sup>-1</sup>
- t = Tiempo de retención, d

- Un sistema operando en condiciones de mezcla completa<sup>(4,7,8,9,10)</sup>:

$$\frac{N}{N_0} = \frac{1}{1 + K_b t} \quad (4)$$

- Un sistema operando en condiciones de flujo disperso, situación que se presenta en la mayoría de las lagunas<sup>(7,9,11)</sup>:

$$\frac{N}{N_0} = \frac{4 a e^{1/2d}}{(1 + a)^2 e^{a/2d} - (1 - a)^2 e^{-a/2d}} \quad (5)$$

donde:

- a =  $\sqrt{1 + 4K_b t d}$
- d = Número de dispersión, adimensional

El número de dispersión d generalmente es igual a 0,1 - 2,0.

En la *Tabla 1* se resumen las ecuaciones para K<sub>b</sub> y los valores de K<sub>b20</sub> según diferentes autores. Se observa que la variación de K<sub>b20</sub> es del orden del 1.100 %, cifra que indica una gran dispersión de resultados y un grado de incertidumbre alto.

### MUESTREO Y MÉTODOS ANALÍTICOS

Se tomaron muestras del afluente, del efluente primario y del efluente secundario, durante el período comprendido entre septiembre 30 de 1992 y febrero 23 de 1993. Además del ensayo de coliformes fecales se realizaron ensayos de temperatura, pH, oxígeno disuelto, H<sub>2</sub>S, y se determinaron caudales. Estos resultados se incluyen en la referencia 1.

Todos los análisis de coliformes fecales fueron ejecutados sobre muestras simples tomadas a las 7:00 y a las 13:00, de acuerdo con el Método Directo del Medio A-1, descrito como método estándar 9221-E<sup>(16)</sup>.



**Tabla 1**  
CONSTANTE DE REMOCIÓN DE COLIFORMES FECALES SEGÚN DIVERSOS AUTORES

ECUACIÓN	$k_{b20} \text{ d}^{-1}$	OPERACIÓN	AUTOR	AÑO	REFERENCIA
$K_{b,T} = 1,10 * (1,075)^{(T-20)}$	1,10	F.P.	Klock	1971	12, 13
$K_{b,T} = 1,10 * (1,070)^{(T-20)}$	1,10	C	Gameson	1973	8, 12
$K_{b,T} = 2,60 * (1,19)^{(T-20)}$	2,60	M.C.	Marais	1974	5, 12, 13
$K_{b,T} = 0,50 * (1,072)^{(T-20)}$	0,50	F.P.	Bowles <i>et al.</i>	1979	3
$K_{b,T} = 0,84 * (1,070)^{(T-20)}$	0,84	C	Yáñez	1983	8, 12
$K_{b,T} = 0,623 * (1,037)^{(T-20)}$	0,62	F.D.	Sáenz	1987	14
$K_{b,T} = 0,0279 + 0,00898 (T)$ Para agua fresca	0,21	F. Per.	Qin <i>et al.</i>	1991	15
$K_{b,T} = 0,80 + (1,070)^{(T-20)}$ Para agua de mar	0,80	C	Mancini	1978	8, 112
$K_{b,T} = 1,40 * (1,070)^{(T-20)}$	1,40	C	Mancini	1978	8, 12
Intervalo	0,21 - 2,6				

F.P. = Flujo pistón; C. = Cochadas; F.D. = Flujo disperso; M.C. = Mezcla completa; F.Per. = Filtro percolador

## RESULTADOS

Los valores de coliformes fecales determinados se presentan en las *tablas 2 y 3*. La concentración promedio geométrico de coliformes fecales a las 7:00 horas, en el afluente, es de  $9,4 * 10^5$  NMP/100 mL; en el efluente primario,  $3,4 * 10^5$  NMP/100 mL, y en el efluente secundario,  $3,1 * 10^4$  NMP/100 mL. A las 13:00 horas la concentración promedio geométrico de coliformes fecales es de  $1,0 * 10^6$  NMP/100 mL en el afluente; de  $3,1 * 10^5$  NMP/mL, en el efluente primario, y de  $3,1 * 10^4$  NMP/100 mL, en el efluente secundario. En la *Tabla 4* se presenta la probabilidad de ocurrencia de coliformes fecales. Los gráficos elaborados<sup>(1)</sup>, sobre papel de probabilidad, permiten deducir que

para el 95% del tiempo la concentración de coliformes fecales en el afluente es menor de  $7,6 * 10^6$  NMP/100 mL; en el efluente primario es menor de  $1,9 * 10^6$  NMP/100 mL y en el efluente secundario es menor de  $3,2 * 10^5$  NMP/100 mL.

Los resultados de remoción de coliformes fecales se encuentran en las *tablas 5 y 6*. De dichas tablas se deduce que en la laguna primaria la remoción promedio de coliformes fecales a las 7:00 es de 63,8 % ó 0,4417 unidades log; a las 13:00 es de 70,1 % ó 0,5241 unidades log. En la laguna secundaria, la remoción promedio a las 7:00 es de 90,9 % ó 1,0306 unidades log, y a las 13:00, de 89,8 % ó 0,9931 unidades log. En el sistema de tratamiento se obtiene una remoción promedio de 96,7 % ó

1,4813 unidades log a las 7:00, y de 97,0 % ó 1,5172 unidades log a las 13:00 horas. La *Tabla 7* presenta el análisis de la probabilidad de ocurrencia de remoción de coliformes fecales. De dicho análisis se deduce que en un 95 % del tiempo la remoción de coliformes fecales en la laguna primaria es menor de 1,1 unidades log o sea 92 %; en la laguna secundaria es menor de 2,0 unidades log o 99 %, y en el sistema es menor de 2,8 unidades log o 99,8 %.

El análisis de los caudales observados, durante el período de estudio, dio como resultado un caudal promedio de 45,2 L/s. Los tiempos de retención promedio fueron de 3,8 días en la laguna primaria, 13,9 días en la laguna secundaria y 17,7 días en el sistema de tratamiento. La temperatura

## SERVICIOS Y ASESORIAS EN EL AREA DE ALIMENTACION

**Top Catering** LTDA.

◆ Administramos la cafetería de estudiantes de la Escuela Colombiana de Ingeniería ◆

Calle 126 No. 6-28 ○ Tels.: 215 36 72 - 215 64 31 - 620 95 07 ○ Fax 215 86 11 ○ Santafé de Bogotá, D.C.



**Tabla 2**  
COLIFORMES FECALES OBSERVADOS A LAS 7:00 EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO (NMP/100 mL)

# Muestra	Fecha A-M-D	Afluente	Efluente primario	Efluente secundario
1	920930	2,3 x 10 <sup>6</sup>	1,3 x 10 <sup>5</sup>	3,3 x 10 <sup>4</sup>
2	921006	2,4 x 10 <sup>6</sup>	1,3 x 10 <sup>6</sup>	7,0 x 10 <sup>3</sup>
3	921008	1,3 x 10 <sup>6</sup>	3,3 x 10 <sup>5</sup>	4,0 x 10 <sup>3</sup>
4	921015	1,3 x 10 <sup>6</sup>	1,3 x 10 <sup>5</sup>	4,0 x 10 <sup>3</sup>
5	921110	1,3 x 10 <sup>6</sup>	3,3 x 10 <sup>5</sup>	9,2 x 10 <sup>4</sup>
6	921112	5,4 x 10 <sup>6</sup>	2,4 x 10 <sup>6</sup>	2,4 x 10 <sup>4</sup>
7	921118	1,3 x 10 <sup>6</sup>	3,3 x 10 <sup>5</sup>	1,3 x 10 <sup>4</sup>
8	921119	1,7 x 10 <sup>6</sup>	4,9 x 10 <sup>5</sup>	2,4 x 10 <sup>4</sup>
9	921202	1,3 x 10 <sup>6</sup>	3,3 x 10 <sup>5</sup>	3,5 x 10 <sup>4</sup>
10	921203	4,9 x 10 <sup>5</sup>	2,2 x 10 <sup>5</sup>	7,9 x 10 <sup>3</sup>
11	921209	4,6 x 10 <sup>5</sup>	1,4 x 10 <sup>5</sup>	1,3 x 10 <sup>4</sup>
12	921210	7,0 x 10 <sup>5</sup>	1,3 x 10 <sup>5</sup>	5,4 x 10 <sup>4</sup>
13	930119	2,1 x 10 <sup>5</sup>	1,4 x 10 <sup>5</sup>	3,5 x 10 <sup>4</sup>
14	930120	1,1 x 10 <sup>5</sup>	5,0 x 10 <sup>4</sup>	2,8 x 10 <sup>4</sup>
15	930121	1,4 x 10 <sup>5</sup>	1,3 x 10 <sup>5</sup>	5,4 x 10 <sup>4</sup>
16	930126	1,1 x 10 <sup>5</sup>	5,0 x 10 <sup>4</sup>	7,0 x 10 <sup>3</sup>
17	930127	3,5 x 10 <sup>6</sup>	3,3 x 10 <sup>5</sup>	2,4 x 10 <sup>4</sup>
18	930128	7,9 x 10 <sup>5</sup>	2,0 x 10 <sup>5</sup>	3,5 x 10 <sup>4</sup>
19	930202	2,3 x 10 <sup>5</sup>	2,3 x 10 <sup>5</sup>	1,6 x 10 <sup>5</sup>
20	930203	2,3 x 10 <sup>5</sup>	2,3 x 10 <sup>5</sup>	2,4 x 10 <sup>4</sup>
21	930204	3,3 x 10 <sup>5</sup>	1,7 x 10 <sup>5</sup>	5,4 x 10 <sup>4</sup>
22	930208	1,1 x 10 <sup>6</sup>	7,9 x 10 <sup>5</sup>	9,2 x 10 <sup>4</sup>
23	930209	1,1 x 10 <sup>6</sup>	4,9 x 10 <sup>5</sup>	9,2 x 10 <sup>4</sup>
24	930210	7,0 x 10 <sup>5</sup>	4,9 x 10 <sup>5</sup>	3,5 x 10 <sup>4</sup>
25	930211	1,6 x 10 <sup>7</sup>	2,8 x 10 <sup>6</sup>	2,2 x 10 <sup>4</sup>
26	930215	9,2 x 10 <sup>6</sup>	1,8 x 10 <sup>6</sup>	1,6 x 10 <sup>5</sup>
27	930216	5,4 x 10 <sup>6</sup>	1,3 x 10 <sup>6</sup>	4,0 x 10 <sup>4</sup>
28	930217	2,4 x 10 <sup>6</sup>	1,4 x 10 <sup>6</sup>	7,9 x 10 <sup>4</sup>
29	930218	3,3 x 10 <sup>5</sup>	2,3 x 10 <sup>5</sup>	3,3 x 10 <sup>4</sup>
30	930222	4,9 x 10 <sup>5</sup>	4,9 x 10 <sup>5</sup>	1,4 x 10 <sup>5</sup>
Testigo	Varias	0,00	0,00	0,00
Valor máximo		1,6 x 10 <sup>7</sup>	2,8 x 10 <sup>6</sup>	1,6 x 10 <sup>5</sup>
Valor mínimo		1,1 x 10 <sup>5</sup>	5,0 x 10 <sup>4</sup>	4,0 x 10 <sup>3</sup>
Promedio geométrico		9,4 x 10 <sup>5</sup>	3,4 x 10 <sup>5</sup>	3,1 x 10 <sup>4</sup>
Desv. estándar geométrica		3,6	2,8	2,8
Intervalo de confianza 95%		2,6 x 10 <sup>5</sup> - 3,1 x 10 <sup>6</sup>	9,4 x 10 <sup>4</sup> - 1,1 x 10 <sup>6</sup>	8,6 x 10 <sup>3</sup> - 1,0 x 10 <sup>5</sup>

promedio en la laguna primaria fue de 18,0 °C, y de 16,5 °C en la laguna secundaria. El cálculo de las constantes de remoción de coliformes fecales mediante las ecuaciones 3 y 4, suponiendo regímenes de flujo en pistón y de mezcla completa, y su análisis correspondiente de regresión, permitieron obtener las ecuaciones siguientes para el cálculo de  $K_b$ .

**Laguna primaria**

Modelo de mezcla completa:  
 $K_b = 1,41(1,4)^{T-20}$

Modelo de flujo pistón:  
 $K_b = 0,41(1,15)^{T-20}$

**Laguna secundaria**

Modelo de mezcla completa:  
 $K_b = 3,27(1,59)^{T-20}$

Modelo de flujo pistón:  
 $K_b = 0,36(1,25)^{T-20}$

**CONCLUSIONES**

La concentración promedio de coliformes fecales no es afectada notablemente por la hora de muestreo. El valor de la concentración promedio de coliformes fecales en el afluente es de  $1,0 * 10^6$  NMP/100 mL. La concentración promedio de coliformes fecales del efluente final es mayor que la exigida para un agua de riego sin restricciones,  $3,4 * 10^4 > 1000$  NMP/100 mL.

La remoción promedio de coliformes fecales, en la laguna primaria, es mayor del 64 % ó 0,44 unidades log; mayor del 90 % ó 1,0 unidades log en la laguna secundaria, y, en el sistema de tratamiento es del 97 % ó 1,48 unidades log. La remoción promedio en el sistema es aceptable durante el período de muestreo, teniendo en cuenta que está compuesto por dos lagunas en serie, en condiciones anaeróbicas.

**REFERENCIAS**

(1) RAMÍREZ N., Silvia, "Evaluación preliminar de remoción de coliformes fecales en las lagunas de estabilización de Chía", tesis presentada a la Universidad Nacional, Facultad de Ingeniería, para optar al grado de Magister en Ingeniería Ambiental: área Sanitaria, 1993.  
 (2) SEGURA B. Eduardo, "Rediseños del tratamiento de aguas negras, Municipio de Chía", CAR, Bogotá D. E. 1986, 7 pp.  
 (3) BOWLES D., MIDDLEBROOK, E.J. y REYNOLDS J., "Coliform Decay Rates in Waste Stabilization Ponds", Journal Water Pollution Control Federation, Vol. 51, No. 1, enero, 1979, pp. 87-99.  
 (4) GLOYNA, E., Estanques de estabilización de aguas residuales, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, 1973, pp. 111-115.  
 (5) MARAIS, G., "Faecal Bacterial Kinetics in Stabilization Ponds", Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE, Vol. 100, EE1, febrero, 1974, pp. 119-139.  
 (6) LUMBERS, J.P., "Waste Stabilization Ponds: Desing Considerations and Methods", Public Health Engineering, Vol. 7, 1979, pp. 70-78.  
 (7) THIRUMURTHI, D., "Desing principles of Waste Stabilization Ponds", Journal of Sanitary Engineering Division, ASCE, Vol. 95, SA2, abril, 1969, pp. 311-330.  
 (8) MANCINI J., "Numerical Estimates of Coliform Mortality Rates under Various Conditions", Journal Water Pollution Control Federation, Vol. 50, No. 11, noviembre, 1978, pp. 2477-2484.  
 (9) POLPRASERT, CH. *et al.*, "Bacterial die-off Kinetics in Waste Stabilization Ponds", Journal Water Pollution Control Federation, Vol. 55, marzo, 1983, pp. 285-296.  
 (10) YÁÑEZ, F. "Avances en el tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización, Serie Documentos Técnicos No. 7, Lima, Perú, OPS/CEPIS, 1981, 57 pp.  
 (11) POLPRASERT, CH. y BHATTARAI, K., "Dispersion Model for Waste Stabilization Ponds", Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE, Vol. 111, EE1, febrero, 1985, pp. 45-49.  
 (12) YÁÑEZ, F., "Indicator and Pathogen Organisms Die Away in Ponds Under Tropical Coditions", ponencia presentada en la 56th Annual Conference of the Water Pollution Control Federation, Session 21, Water Pollution Control, Atlanta, Georgia, octubre, 1983.  
 (13) YÁÑEZ, F., Manual de métodos experimentales. "Evaluación de lagunas de estabilización", Serie Documentos Técnicos No. 24, Lima, Perú, OPS/CEPIS, 1983.  
 (14) SÁENZ F. R., "Predicción de la calidad del efluente en lagunas de estabilización", Hojas de Divulgación Técnica, Perú, OPS/CEPIS, No. 38, abril, 1987.  
 (15) QIN D. *et al.*, "Bacterial (Total Coliform) Die-Off in Maturation Ponds", Water Science Technology, Vol. 23, 1991, pp. 1525-1534.  
 (16) APHA, AWWA, WPCF, Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water, 18ª ed., Washington D.C., 1989



**Tabla 3**  
COLIFORMES FECALES OBSERVADOS A LAS 13:00  
EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO (NMP/100 mL)

# Muestra	Fecha A-M-D	Afluente	Efluente	
			primario	secundario
1	920930	$2,6 \times 10^6$	$9,4 \times 10^5$	$5,0 \times 10^3$
2	921006	$2,2 \times 10^6$	$1,7 \times 10^5$	$2,0 \times 10^3$
3	921006	$2,2 \times 10^6$	$1,7 \times 10^5$	$2,0 \times 10^3$
4	921015	$1,3 \times 10^6$	$7,9 \times 10^5$	$2,0 \times 10^3$
5	921110	$1,7 \times 10^6$	$2,6 \times 10^5$	$3,4 \times 10^3$
6	921112	$1,1 \times 10^6$	$3,3 \times 10^5$	$1,6 \times 10^5$
7	921118	$2,4 \times 10^6$	$4,9 \times 10^5$	$1,7 \times 10^4$
8	921119	$3,5 \times 10^6$	$3,3 \times 10^5$	$2,4 \times 10^4$
9	921202	$1,1 \times 10^6$	$2,2 \times 10^5$	$1,7 \times 10^4$
10	921203	$7,0 \times 10^5$	$3,3 \times 10^5$	$1,3 \times 10^4$
11	921209	$4,7 \times 10^5$	$2,7 \times 10^5$	$9,2 \times 10^4$
12	921210	$1,7 \times 10^6$	$8,0 \times 10^4$	$2,4 \times 10^4$
13	930119	$2,6 \times 10^5$	$1,3 \times 10^5$	$5,4 \times 10^4$
14	930120	$3,4 \times 10^5$	$1,7 \times 10^5$	$5,4 \times 10^4$
15	930121	$2,7 \times 10^5$	$1,3 \times 10^5$	$3,5 \times 10^4$
16	930126	$3,4 \times 10^5$	$1,1 \times 10^5$	$1,1 \times 10^4$
17	930127	$1,4 \times 10^6$	$1,3 \times 10^5$	$1,8 \times 10^4$
18	930128	$1,3 \times 10^6$	$3,3 \times 10^5$	$3,5 \times 10^4$
19	930202	$3,3 \times 10^5$	$3,3 \times 10^5$	$5,4 \times 10^4$
20	930203	$3,1 \times 10^5$	$1,3 \times 10^5$	$9,2 \times 10^4$
21	930204	$2,7 \times 10^5$	$2,2 \times 10^5$	$1,6 \times 10^5$
22	930208	$1,4 \times 10^6$	$2,2 \times 10^5$	$5,4 \times 10^4$
23	930209	$2,8 \times 10^6$	$2,8 \times 10^6$	$1,6 \times 10^5$
24	930210	$1,4 \times 10^6$	$7,0 \times 10^5$	$3,5 \times 10^4$
25	930211	$2,2 \times 10^6$	$1,4 \times 10^6$	$1,1 \times 10^5$
26	930215	$1,1 \times 10^6$	$4,9 \times 10^5$	$1,3 \times 10^5$
27	930216	$1,3 \times 10^6$	$1,3 \times 10^6$	$7,9 \times 10^4$
28	930217	$5,4 \times 10^6$	$4,9 \times 10^5$	$2,2 \times 10^5$
29	930218	$4,9 \times 10^5$	$2,3 \times 10^5$	$7,9 \times 10^4$
30	930222	$7,9 \times 10^5$	$1,7 \times 10^5$	$4,9 \times 10^4$
Testigo	Varias	0,00	0,00	0,00
Valor máximo		$5,4 \times 10^6$	$2,8 \times 10^6$	$2,2 \times 10^5$
Valor mínimo		$2,6 \times 10^5$	$8,0 \times 10^4$	$2,0 \times 10^3$
Promedio geométrico		$1,0 \times 10^6$	$3,1 \times 10^5$	$3,1 \times 10^4$
Desv. estándar geométrica		2,37	2,32	3,96
Intervalo de confianza 95%		$2,8 \times 10^5 - 3,3 \times 10^6$	$8,6 \times 10^4 - 1,0 \times 10^6$	$8,6 \times 10^3 - 1,0 \times 10^5$

**Tabla 4**  
PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE COLIFORMES FECALES  
(NMP/100 mL)

Afluente	Efluente primario	Efluente secundario	No. Orden	Frecuencia %			
					7:00	13:00	7:00
$1,1 \times 10^5$	$2,6 \times 10^5$	$5,0 \times 10^4$	$8,0 \times 10^4$	$4,0 \times 10^3$	$2,0 \times 10^3$	1	3
$1,1 \times 10^5$	$2,7 \times 10^5$	$5,0 \times 10^4$	$1,1 \times 10^5$	$4,0 \times 10^3$	$2,0 \times 10^3$	2	6
$1,4 \times 10^5$	$2,7 \times 10^5$	$1,3 \times 10^5$	$1,3 \times 10^5$	$7,0 \times 10^3$	$2,0 \times 10^3$	3	10
$2,1 \times 10^5$	$3,1 \times 10^5$	$1,3 \times 10^5$	$1,3 \times 10^5$	$7,0 \times 10^3$	$3,4 \times 10^3$	4	13
$2,3 \times 10^5$	$3,3 \times 10^5$	$1,3 \times 10^5$	$1,3 \times 10^5$	$7,9 \times 10^3$	$5,0 \times 10^3$	5	16
$2,3 \times 10^5$	$3,4 \times 10^5$	$1,3 \times 10^5$	$1,3 \times 10^5$	$1,3 \times 10^4$	$1,1 \times 10^4$	6	19
$3,3 \times 10^5$	$3,4 \times 10^5$	$1,4 \times 10^5$	$1,7 \times 10^5$	$1,3 \times 10^4$	$1,3 \times 10^4$	7	23
$3,3 \times 10^5$	$4,7 \times 10^5$	$1,4 \times 10^5$	$1,7 \times 10^5$	$2,2 \times 10^4$	$1,7 \times 10^4$	8	26
$4,6 \times 10^5$	$4,9 \times 10^5$	$1,7 \times 10^5$	$1,7 \times 10^5$	$2,4 \times 10^4$	$1,7 \times 10^4$	9	29
$4,9 \times 10^5$	$7,0 \times 10^5$	$2,2 \times 10^5$	$1,7 \times 10^5$	$2,4 \times 10^4$	$1,8 \times 10^4$	10	32
$4,9 \times 10^5$	$7,9 \times 10^5$	$2,3 \times 10^5$	$2,2 \times 10^5$	$2,4 \times 10^4$	$2,4 \times 10^4$	11	35
$7,0 \times 10^5$	$1,1 \times 10^6$	$2,3 \times 10^5$	$2,2 \times 10^5$	$2,4 \times 10^4$	$2,4 \times 10^4$	12	39
$7,0 \times 10^5$	$1,1 \times 10^6$	$2,3 \times 10^5$	$2,2 \times 10^5$	$2,8 \times 10^4$	$3,5 \times 10^4$	13	42
$7,9 \times 10^5$	$1,1 \times 10^6$	$2,3 \times 10^5$	$2,3 \times 10^5$	$3,3 \times 10^4$	$3,5 \times 10^4$	14	45
$1,1 \times 10^6$	$1,3 \times 10^6$	$3,3 \times 10^5$	$2,6 \times 10^5$	$3,3 \times 10^4$	$3,5 \times 10^4$	15	48
$1,1 \times 10^6$	$1,3 \times 10^6$	$3,3 \times 10^5$	$2,7 \times 10^5$	$3,5 \times 10^4$	$4,9 \times 10^4$	16	52
$1,3 \times 10^6$	$1,3 \times 10^6$	$3,3 \times 10^5$	$3,3 \times 10^5$	$3,5 \times 10^4$	$5,4 \times 10^4$	17	55
$1,3 \times 10^6$	$1,4 \times 10^6$	$3,3 \times 10^5$	$3,3 \times 10^5$	$3,5 \times 10^4$	$5,4 \times 10^4$	18	58
$1,3 \times 10^6$	$1,4 \times 10^6$	$3,3 \times 10^5$	$3,3 \times 10^5$	$3,5 \times 10^4$	$5,4 \times 10^4$	19	61
$1,3 \times 10^6$	$1,4 \times 10^6$	$4,9 \times 10^5$	$3,3 \times 10^5$	$4,0 \times 10^4$	$5,4 \times 10^4$	20	65
$1,3 \times 10^6$	$1,7 \times 10^6$	$4,9 \times 10^5$	$3,3 \times 10^5$	$5,4 \times 10^4$	$7,9 \times 10^4$	21	68
$1,7 \times 10^6$	$1,7 \times 10^6$	$4,9 \times 10^5$	$4,9 \times 10^5$	$5,4 \times 10^4$	$7,9 \times 10^4$	22	71
$2,3 \times 10^6$	$2,2 \times 10^6$	$4,9 \times 10^5$	$4,9 \times 10^5$	$5,4 \times 10^4$	$9,2 \times 10^4$	23	74
$2,4 \times 10^6$	$2,2 \times 10^6$	$7,9 \times 10^5$	$4,9 \times 10^5$	$7,9 \times 10^4$	$9,2 \times 10^4$	24	77
$2,4 \times 10^6$	$2,2 \times 10^6$	$1,3 \times 10^6$	$7,0 \times 10^5$	$9,2 \times 10^4$	$1,1 \times 10^5$	25	81
$3,5 \times 10^6$	$2,4 \times 10^6$	$1,3 \times 10^6$	$7,9 \times 10^5$	$9,2 \times 10^4$	$1,3 \times 10^5$	26	84
$5,4 \times 10^6$	$2,6 \times 10^6$	$1,4 \times 10^6$	$9,4 \times 10^5$	$9,2 \times 10^4$	$1,6 \times 10^5$	27	87
$5,4 \times 10^6$	$2,8 \times 10^6$	$1,8 \times 10^6$	$1,3 \times 10^6$	$1,4 \times 10^5$	$1,6 \times 10^5$	28	90
$9,2 \times 10^6$	$3,5 \times 10^6$	$2,4 \times 10^6$	$1,4 \times 10^6$	$1,6 \times 10^5$	$1,6 \times 10^5$	29	94
$1,6 \times 10^7$	$5,4 \times 10^6$	$2,8 \times 10^6$	$2,8 \times 10^6$	$1,6 \times 10^5$	$2,2 \times 10^5$	30	97

**Tabla 5**  
UNIDADES LOG. DE REMOCIÓN DE COLIFORMES FECALES A LAS 7:00

# Muestra	Fecha A-M-D	Laguna primaria	Laguna secundaria	Total sistema
1	920930	1,2478	0,5954	1,8432
2	921006	0,2663	2,2688	2,5351
3	921008	0,5954	1,9165	2,5119
4	921015	1,0000	1,5119	2,5119
5	921110	0,5954	0,5547	1,1502
6	921112	0,3522	2,0000	2,3522
7	921118	0,5954	1,4046	2,0000
8	921119	0,5403	1,3100	1,8502
9	921202	0,5954	0,9744	1,5699
10	921203	0,3478	1,4448	1,7926
11	921209	0,5166	1,0322	1,5488
12	921210	0,7312	0,3815	1,1127
13	930119	0,1761	0,6021	0,7782
14	930120	0,3424	0,2518	0,5942
15	930121	0,0322	0,3815	0,4137
16	930126	0,3424	0,8539	1,1963
17	930127	1,0256	1,1383	2,1639
18	930128	0,5359	0,8177	1,3536
19	930202	0,0000	0,1576	0,1576
20	930203	0,0000	0,9815	0,9815
21	930204	0,2881	0,4981	0,7861
22	930208	0,1438	0,9338	1,0776
23	930209	0,3512	0,7264	1,0776
24	930210	0,1549	1,1461	1,3010
25	930211	0,7570	2,1047	2,8617
26	930215	0,7085	1,0512	1,7597
27	930216	0,6185	1,5119	2,1303
28	930217	0,2341	1,2485	1,4826
29	930218	0,1568	0,8432	1,0000
30	930222	0,0000	0,5441	0,5441
Valor máximo		1,2478	2,2688	2,8617
Valor mínimo		0,0000	0,1576	0,1576
Promedio		0,4417	1,0396	1,4813
Desviación estándar		0,3176	0,5535	0,7004



**Tabla 6**  
UNIDADES LOG. DE REMOCIÓN DE COLIFORMES FECALES A LAS 13:00

# Muestra	Fecha A-M-D	Laguna primaria	Laguna secundaria	Total sistema	# Muestra	Fecha A-M-D	Laguna primaria	Laguna secundaria	Total sistema
1	920930	0,4418	2,2742	2,7160	18	930128	0,5954	0,9744	1,5699
2	921006	1,1120	1,9294	3,0414	19	930202	0,0000	0,7861	0,7861
3	921008	1,1120	1,9294	3,0414	20	930203	0,3774	0,1502	0,5276
4	921015	0,2163	2,5966	2,8129	21	930204	0,0889	0,1383	0,2272
5	921110	0,8155	1,8835	2,6990	22	930208	0,8037	0,6100	1,4137
6	921112	0,5229	0,3144	0,8373	23	930209	0,0000	1,2430	1,2430
7	921118	0,6900	1,4597	2,1498	24	930210	0,3010	1,3010	1,6021
8	921119	1,0256	1,1383	2,1639	25	930211	0,1963	1,1047	1,3010
9	921202	0,6990	1,1120	1,8109	26	930215	0,3512	0,5763	0,9274
10	921203	0,3266	1,4046	1,7312	27	930216	0,0000	1,2163	1,2163
11	921209	0,2407	0,4676	0,7083	28	930217	1,0422	0,3478	1,3900
12	921210	1,3274	0,5229	1,8502	29	930218	0,3285	0,4641	0,7926
13	930119	0,3010	0,3815	0,6826	30	930222	0,6672	0,5403	1,2074
14	930120	0,3010	0,4981	0,7991		Valor máximo	1,3274	2,5966	3,0414
15	930121	0,3174	0,5699	0,8873		Valor mínimo	0,0000	0,1383	0,2272
16	930126	0,4901	1,0000	1,4901		Promedio	0,5241	0,9931	1,5172
17	930127	1,0322	0,8587	1,8909		Desviación estándar	0,3707	0,6401	0,7764

**Tabla 7**  
PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE LA REMOCIÓN DE COLIFORMES EN UNIDADES LOG.

Laguna primaria		Laguna secundaria		Sistema de tratamiento		No. Orden	Frecuencia %
7:00	13:00	7:00	13:00	7:00	13:00		
0,0000	0,0000	0,1576	0,1383	0,1576	0,2272	1	3
0,0000	0,0000	0,2518	0,1502	0,4137	0,5276	2	6
0,0000	0,0000	0,3815	0,3144	0,5441	0,6826	3	10
0,0322	0,0889	0,3815	0,3478	0,5942	0,7083	4	13
0,1438	0,1963	0,4981	0,3815	0,7782	0,7861	5	16
0,1549	0,2163	0,5441	0,4641	0,7861	0,7926	6	19
0,1568	0,2407	0,5547	0,4676	0,9815	0,7991	7	23
0,1761	0,3010	0,5954	0,4981	1,0000	0,8373	8	26
0,2341	0,3010	0,6021	0,5229	1,0776	0,8873	9	29
0,2663	0,3010	0,7264	0,5403	1,0776	0,9274	10	32
0,2881	0,3174	0,8177	0,5699	1,1127	1,2074	11	35
0,3424	0,3266	0,8432	0,5763	1,1502	1,2163	12	39
0,3424	0,3285	0,8539	0,6100	1,1963	1,2430	13	42
0,3478	0,3512	0,9338	0,7861	1,3010	1,3010	14	45
0,3512	0,3774	0,9744	0,8587	1,3536	1,3900	15	48
0,3522	0,4418	0,9815	0,9744	1,4826	1,4137	16	52
0,5166	0,4901	1,0322	1,0000	1,5488	1,4901	17	55
0,5359	0,5229	1,0512	1,1047	1,5699	1,5699	18	58
0,5403	0,5954	1,1383	1,1120	1,7597	1,6021	19	61
0,5954	0,6672	1,1461	1,1383	1,7926	1,7312	20	65
0,5954	0,6900	1,2485	1,2163	1,8432	1,8109	21	68
0,5954	0,6990	1,3100	1,2430	1,8502	1,8502	22	71
0,5954	0,8037	1,4046	1,3010	2,0000	1,8909	23	74
0,6185	0,8155	1,4448	1,4046	2,1303	2,1498	24	77
0,7085	1,0256	1,5119	1,4597	2,1639	2,1639	25	81
0,7312	1,0322	1,5119	1,8835	2,3522	2,6990	26	84
0,7570	1,0422	1,9165	1,9294	2,5119	2,7160	27	87
1,0000	1,1120	2,0000	1,9294	2,5119	2,8129	28	90
1,0256	1,1120	2,1047	2,2742	2,5351	3,0414	29	94
1,2478	1,3274	2,2688	2,5966	2,8617	3,0414	30	97