

Universidad Nacional de Ingeniería

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL



**Evaluación de un Filtro Percolador no
convencional a Escala Piloto**

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE

INGENIERO SANITARIO

**León Lapa, Roberto
Moscoso Soto, Anastacio Pedro**

**Lima - Perú
1995**

AGRADECIMIENTO

***A nuestros padres, a quienes dedicamos
nuestro esfuerzo y compensaciones.***

Expresamos nuestro más profundo agradecimiento, a todas las personas que, de una u otra manera, nos brindaron su apoyo durante el desarrollo del presente estudio de tesis.

Un especial agradecimiento a nuestro asesor Ing. Fausto Roncal Vergara por su valioso apoyo, consejo y amistad. Así mismo, al personal de la Planta de Tratamiento de Desagües de Carapongo-SEDAPAL.

A nuestros profesores de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la UNI

CONTENIDO

AGRADECIMIENTO

INDICE DE CUADROS

INDICE DE FIGURAS

LISTA DE SIMBOLOS

INTRODUCCION

	Pag.
1. ANTECEDENTES	1
1.1 Experiencia en otros países	2
1.1.1 Inglaterra	2
1.1.2 EE.UU.	2
1.1.3 Chile	3
1.1.4 México	3
1.1.5 Perú	3
2. OBJETIVOS DE LA EVALUACION	5
3. AGUAS RESIDUALES	6
3.1 Clasificación y Características de las. aguas residuales	6
3.2 Características de las aguas residuales en Lima	8
3.3 Reuso de las aguas residuales	12
3.4 Normas legales	14
3.5 Reuso de las aguas residuales en el Perú	22
4. SISTEMA DE TRATAMIENTO MEDIANTE UN REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (R.A.F.A.)	26
4.1 Descripción del sistema	29
4.2 Parámetros de diseño del reactor	30
4.3 Carga orgánica volumétrica aplicada	32

4.4	Velocidad superficial del líquido en el sedimentador	32
4.5	Velocidad ascensional	33
4.6	Sistema de alimentación	34
4.7	Altura de reactor	34
4.8	Forma o sección y materiales	34
4.9	Sistema de distribución	35
4.10	Sedimentación de lodos	35
4.11	Colectores de gas	35
4.12	Sistema de separación gas sólido (s.g.s.)	36
4.13	Tiempo de retención	36
4.14	Volumen del reactor	37
4.15	Descripción de las bacterias presentes en el reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA)	37
4.15.1	Bacterias metanogénicas	37
4.15.2	Bacterias acetogénicas	37
4.15.3	Bacterias fermentativas	38
4.16	Factores ambientales	40
4.16.1	pH	40
4.16.2	Temperatura	40
4.16.3	Nutrientes	41
4.16.4	Presencia de compuestos tóxicos.	41
4.17	Arranque del reactor	42
4.17.1	Semilla	43
5.	TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES MEDIANTE FILTROS PERCOLADORES	46
5.1	Desarrollo del proceso de un filtro percolador	49
5.2	Clasificación de los filtros percoladores tasa de filtración	52
5.2.1	Filtro de baja carga	52
5.2.2	Filtro de alta carga	53
5.3	Consideraciones en el diseño de filtro percolador	54

5.3.1	Ecuaciones del National Research Council (NRC)	57
5.3.2	Ecuación de Velz	58
5.3.3	Ecuación de Galler y Gotas	59
5.3.4	Ecuación de Eckenfelder	60
5.4	Componentes de un filtro percolador	61
5.4.1	Características del sistema de distribución.	61
5.4.2	Tipo de medio filtrante.	63
5.4.3	Configuración del drenaje interno.	67
5.4.4	Ventilación del filtro percolador.	70
5.5	Período de retención	71
5.6	Eficiencia del Filtro Percolador	72
5.7	Coliformes	74
5.8	Aspectos biológicos	78
5.8.1	Película biológica	81
5.8.2	Microorganismos	82
5.8.2.1	Fisiología de las bacterias	86
5.8.2.2	Ciclos aerobio y anaerobio	89
5.8.2.3	Crecimiento bacteriano	89
5.8.2.4	Factores que afectan las reacciones biológicas	91
5.8.2.5	Protozoarios	92
5.8.2.6	Rotíferos	93
5.8.2.7	Algas	93
5.8.2.8	Hongos	93
5.8.2.9	Bacterias	94
6.	METODOLOGIA DE LA EVALUACION	96
6.1	Ubicación de la planta	96
6.2	Descripción de la planta	96
6.2.1	Reactor anáerobio de flujos ascendente (RAFA) a escala piloto	96
6.2.2	Medidor de caudal	97
6.2.3	Línea de conducción	97
6.2.4	Sistema de bombeo	97

6.2.5	Tanque de compensación	97
6.2.6	Filtro percolador piloto	98
6.2.6.1	Estructura del filtro percolador	98
6.2.6.2	Sistema de distribución	98
6.2.6.3	Medio filtrante	99
6.2.6.4	Sistema de drenaje	99
6.2.6.5	Sistema de ventilación	99
6.3	Etapas de la evaluación	100
6.3.1	Procedimiento experimental	100
6.3.1.1	Aspectos previos	100
6.3.1.2	Características del agua afluente al filtro percolador	100
6.4	Metodología de la evaluación	104
6.4.1	Procedimientos analítico	106
6.4.2	Análisis físico-químico	107
6.4.3	Análisis bacteriológico	107
6.4.4	Análisis biológico	107
6.4.5	Selección de procesos	108
6.4.6	Operación y mantenimiento del filtro percolador evaluado.	109
6.5	Parámetros estudiados	110
6.5.1.	Parámetros físicos	114
6.5.1.1	Temperatura	114
6.5.1.2	Color	114
6.5.1.3	Olor	115
6.5.2.	Parámetros químicos	115
6.5.2.1	Sólidos totales	115
6.5.2.2	Sólidos sedimentables	116
6.5.2.3	Sólidos suspendidos	116
6.5.2.4	Sólidos volátiles y fijos	116
6.5.2.5	Oxígeno disuelto	117
6.5.2.6	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	117
6.5.2.7	Demanda química de oxígeno (DQO)	118

6.5.2.8	Determinación de ph.	118
6.5.3	Características biológicas	118
6.5.3.1	Coliformes	118
6.5.3.2	Microorganismos	119
6.6	Aspecto institucional	120
6.7	Recurso humano	120
7.	PRESENTACION E INTERPRETACION DE RESULTADOS	121
7.1	Parámetros estudiados	121
7.1.1	Temperatura, pH, oxígeno disuelto (O.D)	121
7.1.2	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	126
7.1.3	Sólidos	134
7.1.3.1	Sólidos totales	134
7.1.3.2	Sólidos suspendidos	138
7.1.3.3	Sólidos sedimentables	141
7.1.3.4	Sólidos volátiles-fijos	144
7.1.4	Análisis Microbiológico	147
7.1.4.1	Coliformes	147
7.1.4.2	Película biológica	151
7.2	Características de los organismos encontrados en el filtro percolador	160
7.2.1	Protozocarios	160
7.2.2	Rotíferos	161
7.2.3	Bacterias	161
7.2.4	Hongos	162
7.3	Determinación de cargas	162
7.3.1	Carga hidráulica	162
7.3.2	Carga orgánica	164
7.4	Período de retención	170
7.5	Eficiencia de la unidad	173
8.	CONCLUSIONES	175
9.	RECOMENDACIONES	178
10.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	180

ANEXOS

I	Gráficas
II	Ensayos de Tratabilidad del Agua Potable
III	Ciclo Aerobio
IV	Ciclo Anaerobio
V	Curva Típica de Crecimiento Bacteriano
VI	Materiales e Insumos
VII	Costos Unitarios
VIII	Fórmulas Utilizados
IX	Fórmats Diseñados
X	Ilustraciones

INDICE DE CUADROS

CUADRO	DESCRIPCION	Pag
1.0	Características de calidad del Agua Residual en poblaciones Mexicana	10
2.0	Concentración de elementos en Aguas Residuales principalmente de origen doméstico de la ciudad de Tokio.....	11
3.0	Características de Aguas Residuales en la ciudad de Lima	12
4.0	Resultados de los análisis Físico-Químicos de Aguas Servidas (Tacna)	13
5.0	Métodos de Tratamiento Recomendados para Satisfacer los criterios Sanitarios establecidos en el Aprovechamiento de Aguas Residuales (OMS).....	15
6.0	Normas Vigentes para Regular el empleo de Aguas Regeneradas en la Agricultura	17
7.0	Reúso de las Aguas Residuales	18
8.0	Lugares en el Perú que cuentan con algunas instalaciones para el tratamiento de las Aguas Residuales	23
9.0	Parámetros importantes en el diseño de un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA)	31
10.0	Velocidades Superficiales	33
11.0	Tiempo de Retención	36
12.0	Enumeración e Identificación de Población Bacteriana Anaerobica en Digestores de lodo de Desagüe	38
13.0	Nivel de Actividad Bacterial óptima en función de Ph	40
14.0	Aplicaciones de los Reactores RAFA a escala piloto .	44
15.0	Resumen de Dato sobre aplicaciones de Reactores RAFA	45
16.0	Ubicación del Filtro Percolador en el Tratamiento de Aguas Residuales	50
17.0	Comparación del Filtro Percolador con otros Sistemas de Tratamiento	51
18.0	Comparación de Cargas en los Filtros Percoladores ..	55

19.0	Sistemas de Distribución	64
20.0	Recomendación Granulométrica en Filtros Percoladores	66
21.0	Materiales usados en Lechos Filtrantes	66
22.0	Contenido de Coliformes esperado en varios efluentes	76
23.0	Procesos Biológicos Unitarios	78
24.0	Los tres reinos de la naturaleza	84
25.0	Clasificación General de los Microorganismos	85
26.0	Reacciones típicas bioquímicas exotérmicas	88
27.0	Organismos que participan en el Proceso de Estabilización en un Filtro Percolador Convencional	95
28.0	Variación de Parámetros de un Agua Cruda y un RAFA	103
29.0	Selección de Procesos	109
30.0	Control Operacional del Filtro Percolador	111
31.0	Mantenimiento del Filtro Percolador	112
32.0	Problemas Frecuentes en el Filtro Percolador	113
33.0	Evaluación del Filtro Percolador: T°, pH, OD.	122
34.0	Valores Promedio: T°, pH, OD.	133
35.0	Evaluación del Filtro Percolador: Demanda Bioquímica de Oxígeno (D.B.O.)	127
36.0	Valores Promedio: D.B.O.	133
37.0	Evaluación del Filtro Percolador: Sólidos	135
38.0	Valores Promedio: Sólidos	137
39.0	Evaluación del Filtro Percolador: Coliformes	148
40.0	Organismos Presentes en el Filtro Percolador	152
41.0	Condiciones de Trabajo del Filtro Percolador	157
42.0	Clasificación de los Filtros Percoladores	167
43.0	Valores de la Carga Hidráulica y Carga Orgánica Resultado de la Evaluación	167
44.0	Factores Principales que debe tenerse en cuenta en un Filtro Percolador.	169

INDICE DE FIGURAS

FIGURA	DESCRIPCION	PAG
1.0	Etapas de Desarrollo de los Filtros Percoladores ...	1
2.0	Ciclo de Agua, las Fuerzas de Contaminación y los Esfuerzos del Hombre para superarlos	7
3.0	Clasificación Promedio de Sólidos Presentes en Aguas Residuales Domésticas	9
4.0	Reúso Directo de Aguas Residuales	19
5.0	Esquema Simplificado de Reúso de Aguas Residuales ..	20
6.0	Reúso de Aguas Residuales en el País	24
7.0	Reúso de Aguas Residuales en Lima	25
8.0	Proceso Anaerobio de Flujo Ascendente en blanto de lodo	27
9.0	Posible Instalación RAFA a escala Real, Tratando desague Doméstico Crudo.	29
10.0	Flujo de Substrato en dos tipos de Ambientes Anaerobicos	10
11.0	Filtro Percolador Convencional	47
12.0	Planta de Tratamiento con Filtro Percolador Convencional	48
13.0	Sistema de Drenajes Aplicables a Filtros Percoladores	68
14.0	Determinación de Coliformes Totales y Fecales	77
15.0	Desarrollo de la Película Biológica	83
16.0	Representación Esquemática de Transferencia de Energía	88
17.0	Diagrama de Flujo de la Planta de Tratamiento Piloto Evaluado	101
18.0	Tratamiento Convencional Mediante un Filtro Percolador	104
19.0	Tratamiento No convencional Mediante un Filtro Percolador	105
20.0	Variación de la DBO _t respecto a la profundidad	131
21.0	Microorganismos presentes en el Filtro Percolador ..	153
22.0	Microorganismos presentes en el Filtro Percolador ..	154
23.0	Microorganismos presentes en el Filtro Percolador ..	155
24.0	Microorganismos presentes en el Filtro Percolador ..	156

LISTA DE SIMBOLOS

O.D	: Oxígeno Disuelto (mgr/et)
DBO5	: Demanda Bioquímica de Oxígeno al 5to día (mgr/lt)
DBOt	: Demanda Bioquímica de Oxígeno Total (mgr/lt)
DBOs	: Demanda Bioquímica de Soluble (mgr/lt)
DQO	: Demanda Química de Oxígeno (mgr/lt)
F.P.	: Filtro Percolador
RAFA	: Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente
C.O.	: Carga Orgánica (kg. DBO/m ³ /día)
C.H.	: Carga Hidráulica (m ³ /m ² /día)
T°	: Temperatura (°c)
PH	: Concentración de Acidez [H]
ADF	: Aderosin Difosfato
ATF	: Aderosin Trifosfato
CT	: Coliformes Totales (N°/100 ml)
CF	: Coliformes Fecales (N°/100 ml)
ST	: Sólidos Totales (mgr/lt)
SV	: Sólidos Volátiles (mgr/lt)
SF	: Sólidos Fijos (mgr/lt)
S. Sus	: Sólidos Suspendidos (mgr/lt)
S.Sed	: Sólidos Sedimentables (mgr/lt/hora)
E	: Eficiencia de la Unidad en estudio
t	: Periodo de Retención de Filtro (horas)
C,m,n	: Constantes
H	: Altura de Filtro (mt)
Q	: Carga Hidráulica (m ³ /m ² /día)

INTRODUCCION

El presente trabajo, constituye un aporte al conocimiento sobre el tratamiento biológico de las aguas residuales. Los filtros percoladores son una alternativa de tratamiento que está directamente relacionada a otros sistemas de tratamiento y en conjunto logran reducir considerablemente la carga contaminante presente en las Aguas residuales.

Anteriormente, en otras etapas de su desarrollo, los Filtros Percoladores fueron llamados Filtros Fisiológicos, Filtros Goteadores, Filtros Rociadores, etc. La palabra filtro, no expresa correctamente la función de este tratamiento; en realidad no se efectúa ninguna acción de tamizado. La analogía entre un verdadero filtro y el filtro biológico es solo formal. El filtro percolador, es una unidad que entremezcla las aguas residuales con lechos biológicos en cuya superficie existe una capa biológicamente activa, el nombre recomendado deberá ser "lecho de Oxidación Biológica", aunque es más conocido como Filtro Percoladores en cuyo sistema los desagües son esparcidos sobre la superficie de las piedras y recogidos por la parte inferior después de sufrir una estabilización biológica debido a la acción de los microorganismos en la remoción de la materia orgánica.

El interés en conocer nuevos sistemas de tratamiento de

las aguas residuales, permitió el desarrollo de una planta a escala piloto de un Filtro Percolador no convencional, precedido de un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA).

El RAFA se proyectó con la finalidad de reducir la carga orgánica (DBO mg/lt) primordialmente y el Filtro Percolador con la finalidad de reducir los coliformes fecales.

El Diseño y construcción fue desarrollado por personal técnico de SEDAPAL, en la Planta de Tratamiento de Desagües CARAPONGO/LIMA.

El presente trabajo se centro específicamente en evaluar las condiciones de operación del Filtro Percolador, la Información recopilada durante este período, la cantidad de datos de campo disponible, la variedad de gráficas y los conceptos vertidos, nos permite conocer algo más sobre la aplicabilidad de esta técnica, en el tratamiento de las Aguas Residuales de Origen Doméstico.

1. ANTECEDENTES

Los sistemas de tratamiento de las aguas residuales, están en función de la calidad del efluente requerido. La aplicabilidad de un sistema, depende además de las condiciones técnico-económicas disponible. Desde este punto de vista, se han desarrollado con el transcurso del tiempo, una variedad de sistemas de tratamiento como Lagunas de Estabilización Biológicas, Lodos Activados, Zanjas de Oxidación Biológica, etc; los Filtros Percoladores, representan una parte de un conjunto de procesos adaptados para el tratamiento de las aguas residuales. En la Fig. N° 1, se indica las etapas de desarrollo de los filtros percoladores.

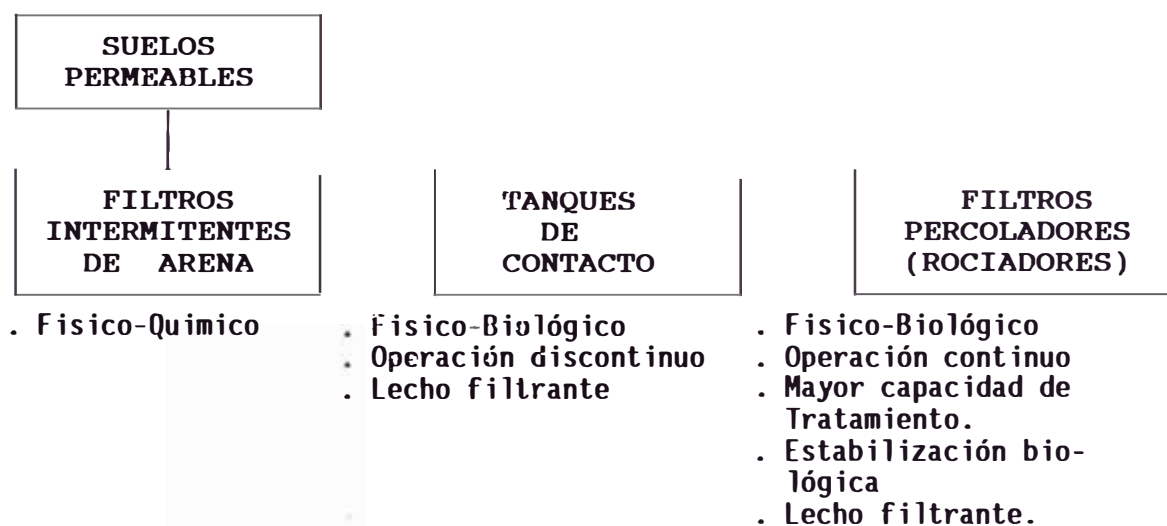


Fig. N° 1 : ETAPAS DE DESARROLLO DE LOS FILTROS PERCOLADORES

1.1 EXPERIENCIAS EN OTROS PAISES

1.1.1 INGLATERRA

Desde sus inicios, las primeras instalaciones de tratamiento de aguas servidas se denominaron "PERCOLATIN-SYSTEM", operados en las ciudades de CHESTERFIELD y BIRMINGHAM, Inglaterra - 1901, 1905 respectivamente. Se verificó que una misma área depuraba el doble, y hasta el triple del volumen de desagüe, cuando el efluente se enviaba a un filtro percolador, y disponiéndolo posteriormente en un lecho de contacto, lográndose una simple operación y costo menor. El primer Filtro Percolador se puso en funcionamiento en Inglaterra en el año 1893 y nació del uso de los filtros de contacto.

Se considera que los Filtros Percoladores, como alternativa de tratamiento biológico surgen a finales del siglo XIX (fines de 1800 y principio del actual siglo) en base a investigaciones efectuadas por DUMBAR, CORBATT, STODDARD, incluido técnicos y docentes de la Estación de tratamiento de desagües de LACURANCE (Inglaterra).

1.1.2 EE.UU.

Desde los últimos decenios del siglo pasado, se había reconocido el efecto depurador de los suelos

permeables, en los Estados Unidos, se estilizaron por primera vez los Filtros Percoladores en una INSTALACION MUNICIPAL (13) - (1908) en READING PENSILVANIA. En la década de los cincuenta, alcanzó su mayor aplicabilidad.

1.1.3 CHILE

La estabilización biológica mediante los Filtros Percoladores, ha sido uno de los sistemas más utilizados en Chile, para el tratamiento secundario en plantas convencionales, debido a su bajo costo, terrenos pequeños y altos rendimientos. En el centro experimental de aguas servidas de MELIPILLA (CEXAS) se desarrollaron los Filtros Percoladores con fines de Investigación.

1.1.4 MEXICO

Desde 1989, se produce un salto en la tecnología de agua tratada al iniciar su operación una planta de tratamiento de aguas residuales a nivel terciario, en San Luis TLAXIALTEMALCO en XOCHIMILC (México). Cuentan como proceso de tratamiento biológico e incluye Filtros Percoladores.

1.1.5 PERU

En el país se ha desarrollado y operado Filtros Percoladores.

En diversos puntos de territorio como Lima,

Arequipa, Cuzco, etc. Tuvieron su auge en la década del 60, reduciéndose paulatinamente ante el desarrollo de nuevos sistemas de tratamientos. Una variación de este sistema, se observa en el módulo de tratamiento de aguas residuales ubicado en el Distrito de Miraflores (1990-1992). En base a un biofiltro compuesto por pilas de piedras de canto rodado, cubierto por una placa de tronco de cono invertido de material plástico transparente, desarrollado por el Ing. Alejandro Vincés Araoz. (24)

2. OBJETIVOS DE LA EVALUACION

El objetivo principal se centra en determinar si el filtro percolador no convencional tiene la capacidad de remover los coliformes totales y fecales de un agua residual de baja carga orgánica, teniendo como tratamiento previo un RAFA. Considerando en los siguientes puntos:

- Desarrollo de la película biológica al reducirse la carga orgánica.
- Remoción de la carga orgánica.
- Remoción de coliformes fecales y totales.
- Determinación de la eficiencia de un Filtro Percolador no convencional, a escala piloto, en términos de la Demanda Bioquímica de Oxígeno, Coliformes Fecales.
- Establecer criterios de funcionamiento de un Filtro Percolador no convencional, cuando tiene como pretratamiento un RAFA.

3. AGUAS RESIDUALES

3.1 CLASIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

En términos generales, las Aguas residuales se clasifican en:

- Aguas de origen netamente doméstico.
- Aguas de origen industrial.
- Aguas blancas o de lluvia.

Generalmente las aguas residuales de origen doméstico están constituidos de aproximadamente 99.9% de agua pura, el 0.1% del peso total de las aguas residuales lo constituyen las impurezas producto de los desechos humanos.

La variación físico-químico y microbiológica de las aguas residuales domésticas, en grandes volúmenes, representan un efecto pulucionante que incide directamente sobre el ser humano, si no es manejado adecuadamente. En la figura N° 2 se observa el ciclo del agua y sus efectos contaminantes.

Las Aguas residuales de origen industrial, tiene componentes mucho más complejos; dependiendo del tipo de Industria que genera las Aguas residuales, generalmente la mezcla de contaminante químicos y/o tóxicos, requiere de tratamientos especiales y costosos.

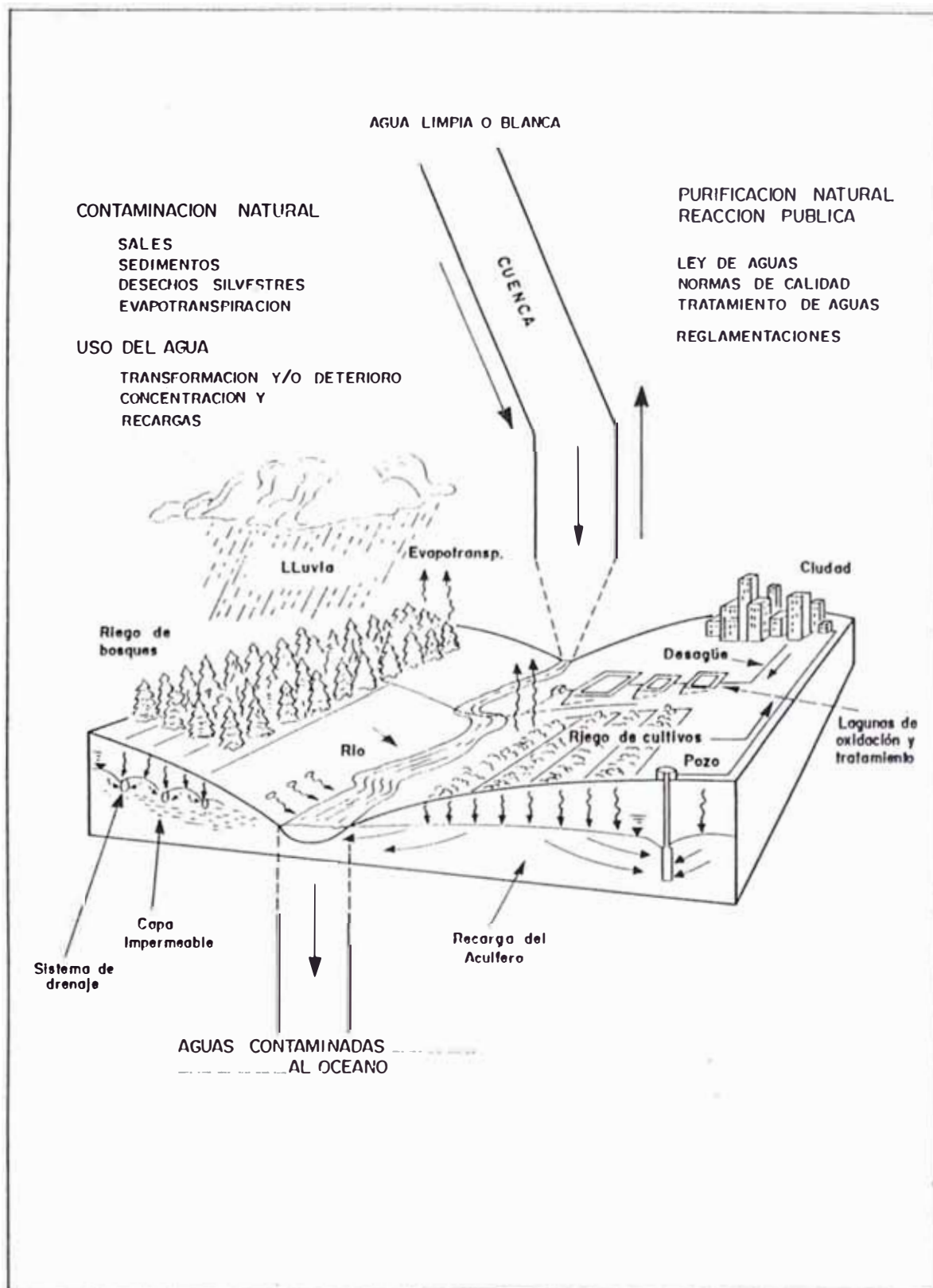


FIG. 2 CICLO DEL AGUA, LAS FUERZAS DE CONTAMINACION Y LOS ESFUERZOS DEL HOMBRE PARA SUPERARLAS (Modif. EPA-76)

La enorme cantidad de Aguas residuales producido por la actividad humana, es evacuado en el medio ambiente. El control de la polución de las aguas a dado origen al desarrollo de diferentes métodos de tratamiento para mantener la calidad del agua de acuerdo a diversos criterios y usos domésticos, industriales, agrícolas, recreo, pesca, vida acuática, etc. En la figura N° 3 se muestran algunas concentraciones de sólidos característicos de las aguas residuales en grandes metrópolis.

En los cuadros N° 1, N° 2 se presenta las características de las aguas residuales en grandes ciudades.

3.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS EN LIMA.

Son pocos los estudios de caracterización de aguas residuales realizados en el Perú. A continuación se citan las principales características analizadas en algunas aguas residuales de Lima. cuadro N° 3, en el cuadro N° 4 se detalla las características físicos químicos de las aguas servidas en la ciudad de Tacna.

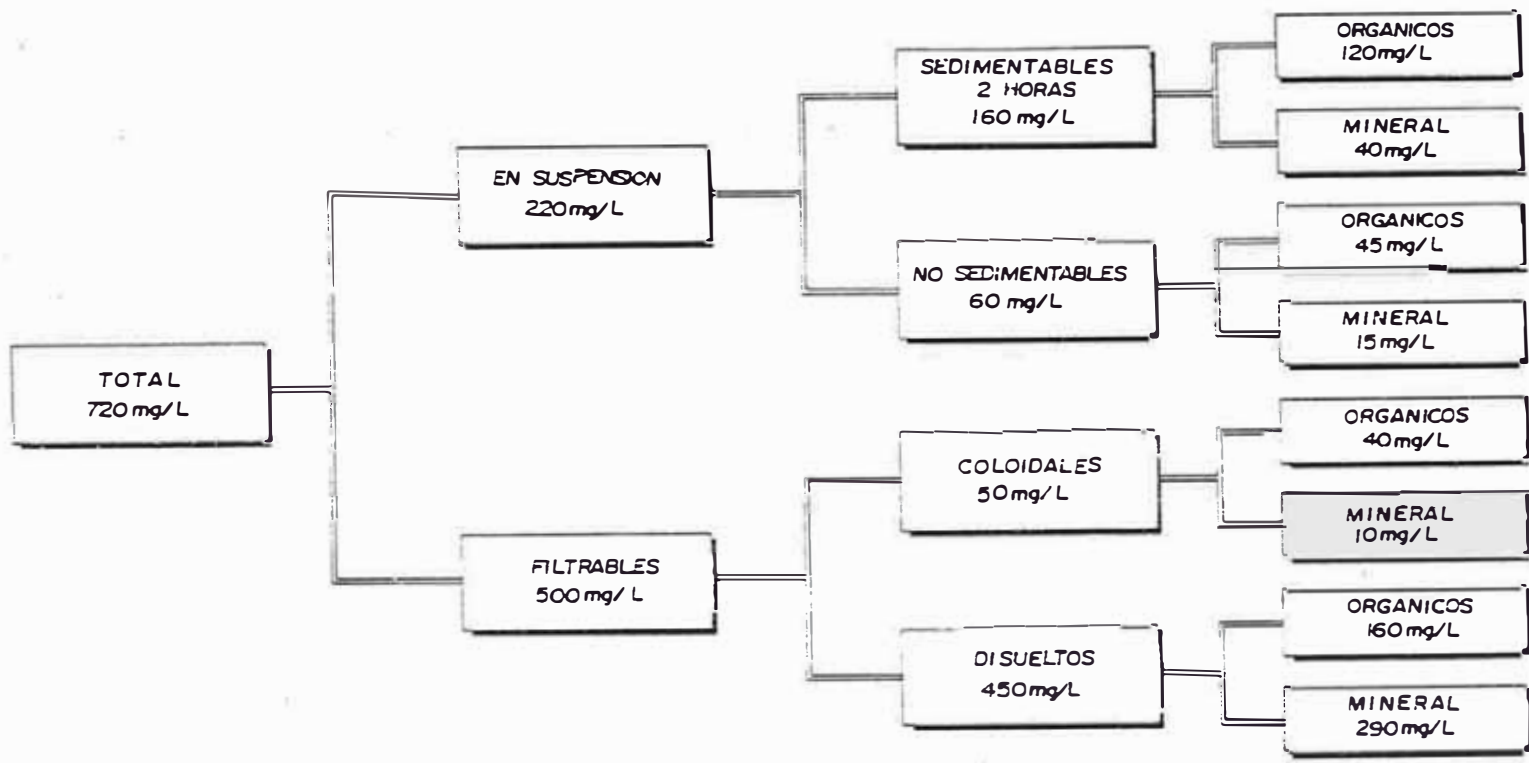


FIG. 3 CLASIFICACION PROMEDIO DE SOLIDOS PRESENTES EN AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS

PARAMETRO	INTERVALO DE CONFIANZA		
	MEDIA	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
	(Concentración en mg/l. excepto donde se indique)		
ph (potencial hidrogeno)	7.5	6.8	8.2
T°C (temperatura)	21.6	17.7	25.6
DBO (demanda bioquímica de oxígeno)	243.7	191.1	296.4
DQO (demanda química de oxígeno)	508.0	425.4	590.6
SSc (sólidos sedimentables)	5.0	2.7	7.3
GyA (grasas y aceites)	81.5	55.4	107.6
ST (sólidos totales)	1191.0	914.5	1467.5
SST (sólidos suspendidos totales)	210.8	163.7	258.0
SDT (sólidos disueltos totales)	981.4	755.4	1207.3
SSV (sólidos suspendidos volátiles)	139.9	107.5	172.2
SSF (sólidos suspendidos fijos)	96.8	39.4	154.1
SDV (sólidos disueltos volátiles)	340.2	193.3	487.1
SDF (sólidos disueltos fijos)	654.5	291.8	1017.2
COLOR (unidades Pt-Co)	214.7	110.2	539.7
COLIFORMES (NMP/100 ml)	3.6x10 ⁸	-	11.6x10 ⁸
COLIFORMES FECALES(NMP/100 ml)	1.6x10 ⁸	-	6.6x10 ⁸
N-NO ₃ (nitratos)	0.5	-	0.9
FENOLES	0.1	-	-
N-NH ₃ (amoníaco)	19.3	14.5	24.2
N _{total} (nitrógeno total)	39.3	29.4	49.2
N _{orgánico} (nitrógeno orgánico)	17.2	12.0	22.4
N-NO ₂ (nitritos)	0.5	-	-
Cloro (Cl)	140.8	58.5	223.1
PO ₄ (fosfatos totales)	23.0	8.8	37.2
P _{totales} (fósforo total)	17.00	1.5	32.5
P _{orgánico} (fósforo orgánico)	3.00	-	-
P _{inorgánico} (fósforo inorgánico)	8.8	-	-
Alcalinidad (como Ca CO ₃)	323.2	145.3	501.2
C.E. (conductividad eléctrica mhos/cm).	1558.1	1162.3	1954.0
S.A.A.M. (detergentes).	13.5	4.4	22.6
SO ₄ (sulfatos)	241.8	-	501.0
RAS (radio de absorción de sodio , s/u)	5.1	0.6	9.5
BORO	3.1	-	8.5

Cuadro N° 1 : CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL EN POBLACIONES MEXICANAS. — Diego Idrovo 1990

CARACTERISTICA	AGUAS RESIDUALES CRUDAS	EFLUENTE SECUNDARIO
Temp (°C)	18.1	--
Transparencia	9	92
pH	7.1 ~ 7.2	6.9 ~ 7.2
Sólido total	451	368
Cenizas res.	295	273
Pérdida calor	156	95
Sólidos disueltos	361	364
Sólidos suspendidos	90	4
DBO	69	6
DQO Met alk	46	6
DQO Met ac	51	8
N total	16.2	5.5
N-NH ₄	7.6	3.4
N-Orgánico	8.6	2.1
Cl ⁻	86	88
Grasas	10.8	1.7
CN ⁻	0.0	0.0
Cr total	0.1	0.0
Cr ⁺⁶	0.00	0.00
Cd	0.00	0.00
As	0.00	0.00
Pb	0.0	0.0
P orgánico	0.0	0.0
Hg total	0.0002	0.0000
Hg alkyl	No detectable	No detectable
Cu	0.1	0.0
Zn	0.3	0.1
Fe soluble	0.1	0.0
Mn soluble	0.1	0.0
Fenol	0.0	0.0
Fluor	0.5	0.4

* Aguas residuales principalmente de origen doméstico. Promedio de 12 muestreos/año; proveniente de uno/mes; compuestos de un muestreo de 24 h en un solo día. Planta Morigasaki, Tokyo (1975-1976) trabajando a sólo 0.95 millones m³/día, mitad de su capacidad.

Cuadro N° 2 : CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS EN AGUAS RESIDUALES PRINCIPALMENTE DE ORIGEN DOMÉSTICO DE LA CIUDAD DE TOKIO (ppm). Zapater 1980.

LUGAR	AÑO	DBO ₅ (mg/l)	COLIFORMES FECALES (NMP/100ml)
San Juan, Lima	1979	174	6.4 x 10 ⁷
San Juan, Lima	1983-1984	155	4.0 x 10 ⁷
San Juan, Lima	1986-1987	---	7.2 x 10 ⁷
San Juan, Lima	1988-1990	278	8.6 x 10 ⁸
Surco, Lima	1985	205	7.6 x 10 ⁶
Villa El Salvador, Lima	1985	190	6.7 x 10 ⁶
Callao, Lima	1987-1988	550	8.5 x 10 ⁷
San Martín, Lima	1987-1988	---	5.5 x 10 ⁷
Las Viñas, Lima	1992	165	1.0 x 10 ⁸

Cuadro N° 3 CARACTERISTICAS DE AGUAS RESIDUALES DE LIMA — Zapater 1980

3.3 REUSO DE LAS AGUAS RESIDUALES

Debido a la escasez de recursos hídricos y a los efectos contaminantes producido por las Aguas residuales, el reuso representa una alternativa en el aprovechamiento

CARACTERÍSTICAS	DESAGUE CRUDO	DESAGUE TRATADO
Aspecto	Turbio-gris	Turbio-verdoso
Color (unidad color)	450	210
Olor	ligeramente fétido	inodoro
Sabor	_____	_____
Turbiedad (U.F.)	220	110
pH	6.9	7.4
Residuo total (p.p.m.)	1.576	1.016
Acidez	0	0
Alcalinidad total	170	154
Bióxido de carbono	37	17
Dureza total	4.37	447
Hierro	0.383	0.240
Manganeso	0	0
Calcio	150	158
Magnesio	15	13
Cloruros	95	100
Carbonatos	0	0
Nítritos	0	0
Nitratos	0	0.09
Sulfatos	355	352
Hidróxidos	0	0
Bicarbonatos	207	188
Sólidos sedimentables (mg/l)	7.5	0.2
Demanda bioquímica de oxígeno	190	34

* Realizados en Lima

Cuadro N° 4 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICOS-QUÍMICOS DE AGUAS SERVIDAS (TACNA) → Zapater 1980

de los recursos escasos. La reutilización de un efluente tratado por medios directos o indirectos, es un método de evacuación que complementa a otros existentes. Un agua residual no tiene una reutilización indefinida, la reutilización depende de factores tales como: los costos de tratamiento, volumen requerido, transporte, calidad del agua de acuerdo a normas, potencial de reutilización del Agua Residual, costo de operación, mantenimiento, etc.

Se entiende por reuso indirecto, la reutilización en forma diluida del agua que ha sido usada más de una vez con fines domésticas o industriales y luego descargada en aguas limpias superficiales o subterráneas. El reuso directo, se refiere al reuso específico del recurso para fines de riego, recreación, industria, recarga de capas freáticas, etc.

De acuerdo a su uso específico, la Reutilización de las aguas residuales se clasifican en:

- Reúso de aguas residuales con fines de usos municipal
- Reúso de aguas residuales con fines industriales.
- Reúso de aguas residuales con fines Agrícolas.
- Reúso de aguas residuales con fines de recreo.
- Reúso de aguas residuales para recarga Acuífera.

En el cuadro N° 05 se detalla algunos Métodos de Tratamiento recomendados para el reúso de las Aguas residuales.

3.4 NORMAS LEGALES

El establecimiento de medidas de protección y conservación del Medio Ambiente, permite el adecuado tratamiento y disposición final de las aguas residuales.

PROCESOS	RIEGO			RECREO		APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL	APROVECHAMIENTO MUNICIPAL	
	Cultivos no destinados al consumo humano directo	Cultivos que se consumen cocinados piscicultura	Cultivos que se concumen crudos	Sin contacto humano	Con contacto humano		Agua no potable	Agua potable
Criterios sanitarios (vease más abajo la explicación de los símbolos)	A + F	B + F ó D+ F	D + F	B	D - G	C ó D	C	E
Tratamiento primario	***	***	***	***	***	***	***	***
Tratamiento secundario		***	***	***	***	***	***	***
Filtración por arena o métodos equivalente de depuración		*	*		***	*	***	**
Nitrificación						*		***
Desnitrificación								**
Clarificación química						*		**
Absorción con carbón								**
Intercambio iónico u otros medios de eliminación de iones						*		**
Desinfección		*	***	*	***	*	***	***

Criterios sanitarios

- A** Ausencia de partículas sólidos gruesas; eliminación apreciable de huevos de parásitos.
- B** Igual que A, mas eliminación apreciable de bacterias
- C** Igual que A, con eliminación más eficaz de las bacterias y cierta eliminación de virus.
- D** No más de 100 organismos coliformes por 100 ml en el 80% de las muestras.
- E** Ningún microorganismo fecal en 100 ml, ninguna partícula en 1000 ml, ningún efecto tóxico en el hombre y observación de los demás criterios aplicables al agua potable.
- F** Ninguna sustancia química que provoque la aparición de residuos nocivos en plantas o peces
- G** Ninguna sustancia química que cause irritación de las mucosas o de la piel.

Para satisfacer los criterios sanitarios establecidos son indispensables los procesos marcados con *** Además, es también indispensable la aplicación de uno o más de los procesos marcados con **, y pueden necesitarse a veces los métodos señalados con * Cloro libre al cabo de una hora.

Cuadro N°5 METODOS DE TRATAMIENTO RECOMENDADOS PARA SATISFACER LOS CRITERIOS SANITARIOS ESTABLECIDOS POR EL APROVECHAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (OMS). — Zapater 1980

La Organización Mundial de la Salud (O.M.S.) ha publicado informes técnicos referente al tratamiento y evacuación de desechos (1987) conocido con el N° 367 y en 1991, publicó la tercera edición de las Guías Internacionales para el Agua Potable realizado en Ginebra.

Si bien es posible establecer normas nacionales para el agua potable, la calidad de los ríos, de las efluentes industriales y de las aguas residuales aprovechadas depende del Servicio local de Inspección.

La existencia de Normas que regulan la calidad del Agua de ríos y lagos es cada vez más frecuente. Algunos países han promulgado, y otros están preparando, normas aplicables directamente a los efluentes.

En el Perú, el reúso de las aguas servidas, está normado por la Ley General de Aguas (Decreto Ley N° 17752), Reglamento de los Títulos I, II y III, en la parte que concierne a las funciones del Ministerio de Salud por Medio de la Legislación Ambiental Tomo N° I, se establece estas normas, en los aspectos de Preservación de Aguas y Uso de aguas servidas con fines de irrigación (Decreto Supremo N° 261-69-AP, y 41-70-A Lima). En el Cuadro N° 6 se indica las Normas vigentes para regular el empleo de las Aguas residuales en algunos países.

- En el Cuadro N° 07 y las Fig. N° 04, Fig. N° 05 y se indican las secuencias de reúso de las aguas residuales.

La Ley General de Aguas establece en el capítulo VIII, artículo 197, lo siguiente:

ART. 197° El uso de las aguas servidas en todos los casos estará sujeto a un tratamiento previo, adecuado según el tipo y utilización de los cultivos, de

APLICACION	ESTADO DE CALIFORNIA EE.UU	ISRAEL	SUDAFRICA	REPUBLICA FEDERAL DE ALEMANIA	PERU	
Huertas y viñas	Efluente primario: prohibido el riego por aspersión; prohibida la utilización de frutas caídas.	Efluente secundario.	Efluente terciario muy clorado si es posible. Prohibido el riego por aspersión.	Prohibido el riego por aspersión en las inmediaciones.		
Forrajes, cultivos para producción de fibras y cultivos para producción de simientes.	Efluente primario: riego de superficie o por aspersión.	Efluente secundario, pero prohibido el riego de cultivos para producción de simientes con los que se obtienen vegetales comestibles	Efluente terciario.	Tratamiento previo en tanques de separación sedimentación. Para el riego por aspersión, tratamiento biológico y cloración.	Aguas negras sin tratar con riego sub-superficial o con riego sólo hasta 20 días antes de la cosecha.	Tratamiento secundario para forraje de ganado, con la condición que el forraje sea almacenado por lo menos 20 días antes del consumo.
Cultivos para el consumo humano que serán tratados para eliminar los microorganismos patógenos.	Para el riego de superficie, efluente primario. Para el riego por aspersión, efluente secundario desinfectado (no más de 23 organismos coliformes por 100 ml)	Los vegetales para el consumo humano no deben regarse con aguas residuales regenerables a menos que hayan sido debidamente desinfectadas. (1000 organismos coliformes por 100 ml en el 80% de las muestras).	Efluente terciario	Riego sólo hasta 4 semanas antes de la cosecha	Efluente primario o secundario según el caso cuando sean previamente cocidos. Efluente primario con riego sólo hasta 20 días antes de la cosecha.	
Cultivos para el consumo humano en crudo.	Para el riego de superficie, efluente secundario desinfectado (no más de 22 organismos coliformes por 100 ml). Para el riego por aspersión, se permite el empleo de agua residuales desinfectadas y filtradas (no más de 22 organismos coliformes por 100 ml).	Prohibido el riego con aguas residuales regeneradas a menos que se trate de frutas que se comen peladas.		Patatas y cereales: riego solamente la fase de floración	Prohibido el riego con o sin tratamiento.	
Riego de parques, canchas de golf, etc. y también pastoreo para ganado lechero	Efluente secundario desinfectado (no más de 23 coliformes por 100 ml).					

Cuadro nº 6 NORMAS VIGENTES PARA REGULAR EL EMPLEO DE AGUAS REGENERADOS EN LA AGRICULTURA.
— Zapater 1980

USO	DIRECTO	INDIRECTO
Municipal	Riego de campos de golf o parques. Riego de césped con sistema de distribución distinta. Recurso Potencial de Abastecimiento de Aguas para el Municipio.	Recarga de Aguas Subterráneas para reducir el agotamiento de los acuíferos
Industrial	Agua para torres de refrigeración. Agua de Alimentación de calderas. Agua para proceso.	Recarga de Acuíferos o para abastecimiento de agua para uso industrial.
Agrícola	Irrigación de ciertos campos agrícolas, cultivos, huertos, pastos y bosque.	Recarga de acuíferos para abastecimiento de agua.
Recreativos	Construcción de lagos artificiales para usos náuticos, piscina. etc.	Desarrollo de zonas para la pesca.
Otros	Recarga de acuíferos, para controlar la intrusión de Agua Salada. Control de equilibrio salino en el agua subterránea..	Recarga de acuíferos para controlar los problemas de asentamiento del terreno. Represurización de los pozos de Petróleo.

Cuadro N° 7 : REUSO DE AGUAS RESIDUALES – Metcalf-eddy

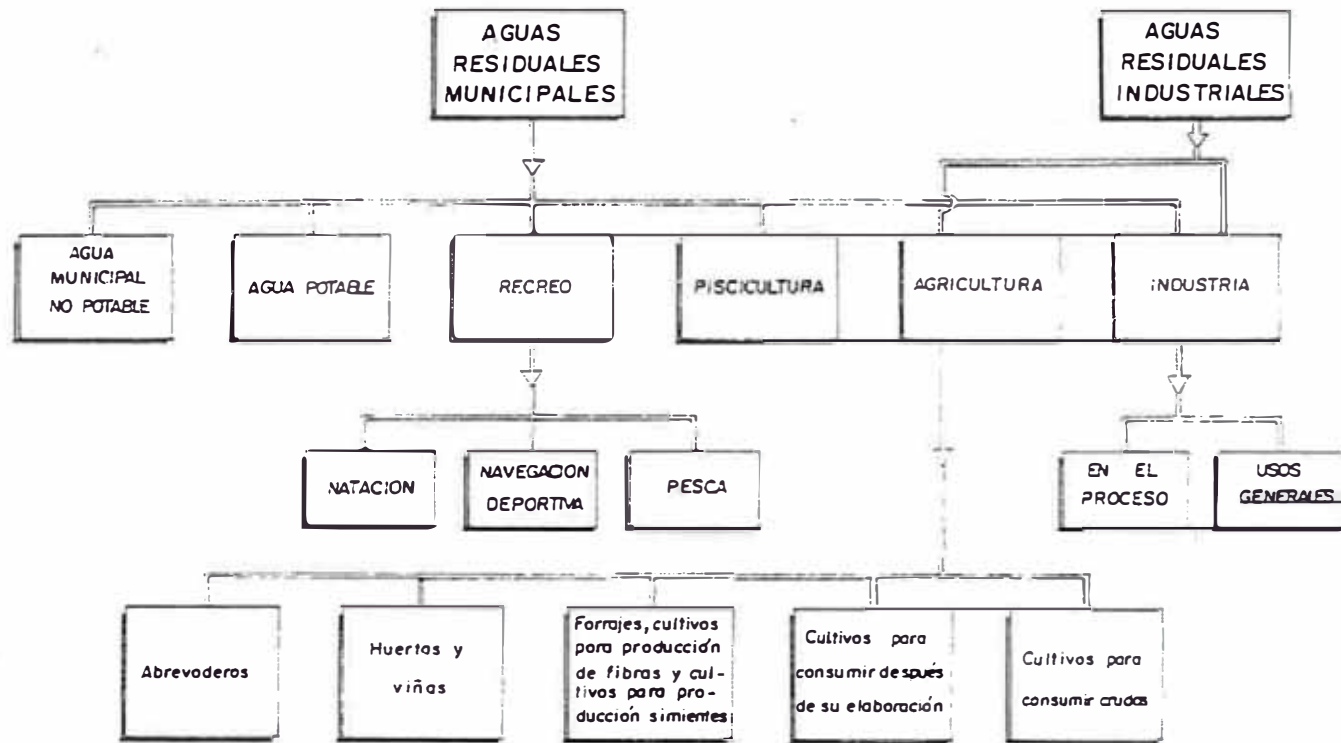


FIG. 4 : REUSO DIRECTO DE AGUAS RESIDUALES (OMS)

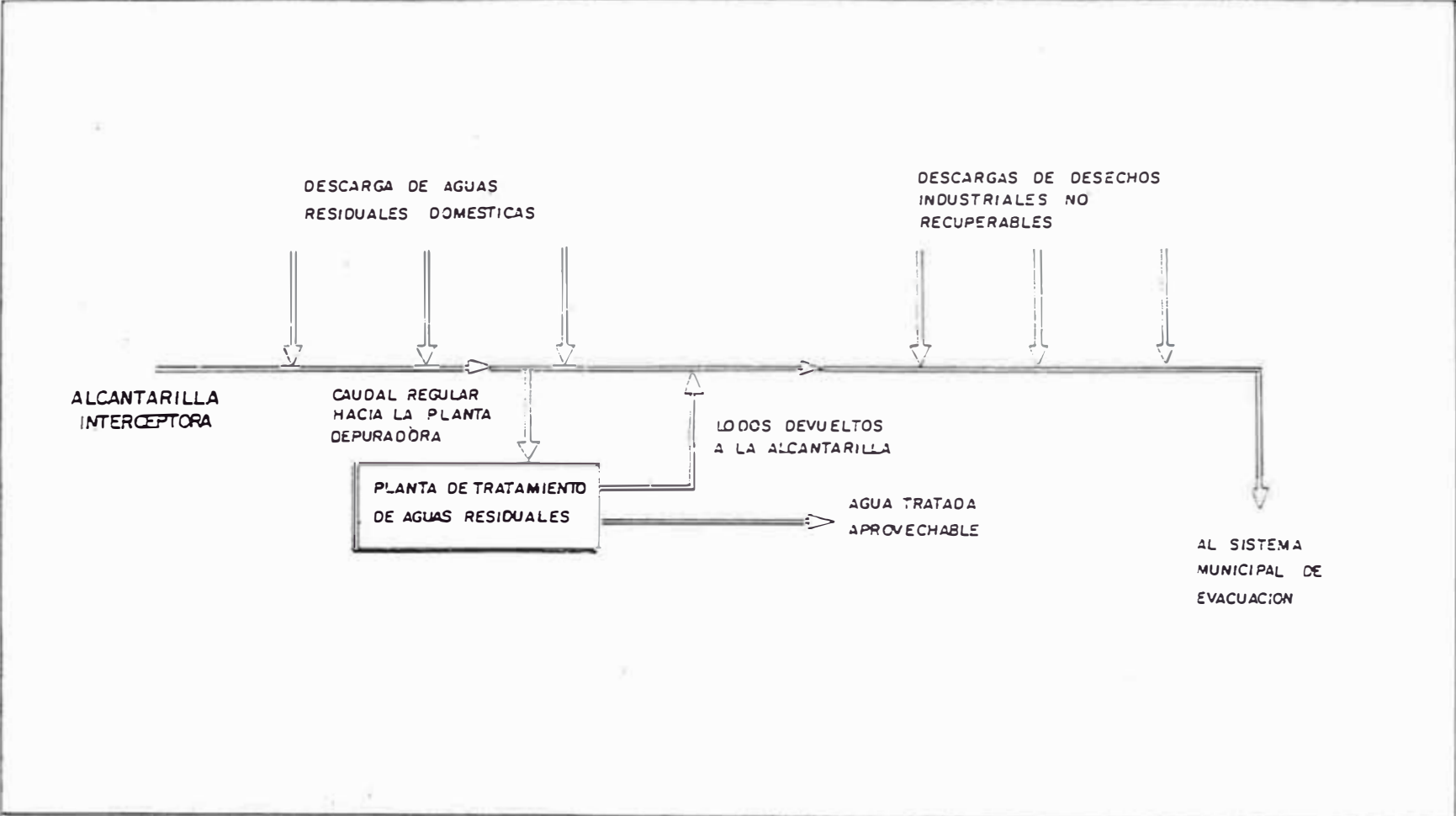


FIG. 5 : ESQUEMA SIMPLIFICADO DE REUSO DE AGUAS RESIDUALES

acuerdo a la siguiente clasificación:

- a) Cultivos Industriales, utilizados en la alimentación humana que sean sometidos a procesos de industrialización que incluya la utilización de tratamiento primario como mínimo, con excepción de cultivos de caña de azúcar con fines industriales (Industria del azúcar) para el cual se requerirá un tratamiento mínimo en base a cámaras de rejillas.
- b) Cultivos Industriales, tales como algodón, maíz, especies forestales, se permitirá el uso de Aguas servidas en tratamiento primario como mínimo.
- c) Frutales de cultivo no rastreros y tubérculos, se podrá permitir el uso de aguas servidas, sometidas a tratamiento secundario.
- d) Cultivos como alfalfa, granalote, chala, etc. que se utilizan para forraje de ganado, se permitirá el uso de aguas servidas sometidas a tratamiento secundario y con absoluta prohibición de que el ganado lechero tenga acceso a los campos.

El Ministerio de Salud, a través de la legislación sanitaria, establece:

ART. 182° Será lícito la utilización de Aguas servidas para irrigación solo cuando se cuente específicamente con la autorización sanitaria respectiva, y en los casos y limitaciones que especifica el presente reglamento.

ART. 188° Se considera Planta de Tratamiento Secundario, las que cuentan con procesos que se realicen en

Filtros Biológicos, filtros de Arena, sistema de lodos activados, sistema de oxidación total y lagunas de estabilización considerándose en este último caso solo las aeróbicas.

ART. 196° Los vegetales de tallo corto, rastreros que se consuman crudas en la alimentación, no podrán ser regadas con aguas servidas con o sin tratamiento.

3.5 REUSO DE AGUAS RESIDUALES EN EL PERU

En el país a partir de la década del 60 se inicia un avance significativo en el desarrollo de sistemas de tratamiento de las aguas residuales con fines de reuso agrícola. Las plantas de tratamiento en Tacna y San Juan de Miraflores (Lima) representan un avance para el riego de cultivos diversos.

Las mejores condiciones técnico-económica, favoreció la implementación de las lagunas de estabilización, se aplicaron igualmente otros sistemas de tratamiento en menor escala, la situación económica del país ha limitado el desarrollo de estas alternativas de tratamiento. Se estima que el 64% de las aguas residuales generadas en el país son dispuestas directamente en los ambientes de aguas superficiales. Otros 18% son utilizados sin ningún tratamiento para el riego de "áreas agrícolas".

Sólo el 18% de éstas aguas es previamente acondicionado para usarse en actividad agrícola o descargarse en ríos y mares.

En el cuadro N° 8, se ubican algunos lugares en el Perú que tienen instalaciones para el tratamiento de las Aguas residuales.

LOCALIDAD	AGUAS RESIDUALES		TRATAMIENTO	OBSERVACIONES
	TIPO	CARGA (l/s)		
Arequipa	Doméstico	159	Percolado en piedras	Irrigación
Ayacucho	Doméstico	60	Primario y lagunas	Vertimiento a cursos de agua
B. Aires, Cañete	Doméstico	---	Lagunas	Vertimiento de acequias
Cañete	Doméstico	---	Crudo	Uso agrícola
Chiquián	Doméstico	---	Tanque Imhoff	Vertimiento a acequia
Chocope	Doméstico	6	Lagunas acreadas	Vertimiento a acequia
Huaral	Doméstico	50	Lagunas acreadas	Vertimiento a acequia
Ica	Doméstico	--	Lagunas acreadas	Vertimiento a cursos de agua
Lurín	Doméstico	--	Tanque Imhoff	Vertimiento a acequia
Monsefú	Doméstico	15	Lagunas	Riego de suelos salinos
Moquegua	Doméstico	30	Lagunas	Vertimiento a acequias
Nazca	Doméstico	20	Lagunas	Irrigación
Olmos	Doméstico	---	Tanque Imhoff	Irrigación
Piura	Doméstico	110	Lagunas	Riego de campos de algodón
Puente Piedra	Dom. (+) Ind.	37	Lagunas acreadas	Vertimiento a acequias
San Juan, Lima	Dom. (+) Ind.	160	Lagunas	Uso agrícola
San Juan, Lima	Doméstico	40	Crudo	Riego de árboles
San Juan, Lima	Doméstico	5	Crudo	Cultivos para zoológico-Lima
San Pedro de Lajas	Doméstico	---	Tanque Imhoff	Vertimiento a acequias
Tacna	Dom. (+) Ind.	130*	Lag. acreadas + Lag. facultativas	Proyecto experimental de riego
Ventanilla, Lima	Dom. (+) Ind.	---	Lagunas	Uso agrícola
Villa El Salvador	Doméstico	**	Crudo	Uso agrícola
Viru	Doméstico	5	Lagunas	Vertimiento a acequias
Miraflores, Lima	Doméstico		Percolado con Piedras, cono transp. invertido.	Riego
UNI, Lima	Doméstico		RAFA-Laguna sedim.	Riego

* Involucra una extensión de 224 ha, incluyendo el asentamiento de 40 familias de agricultura y una parcela experimental de 6.37 ha. Los diseños propuestos son para 240 l/s.

** En este lugar se espera un reúso de cerca de 1000 l/s, incluyendo el asentamiento de 500 familias (comunicación personal Dr. Yáñez, CEPIS).

Cuadro N° 8 LUGARES EN EL PERU QUE CUENTAN CON ALGUNAS INSTALACIONES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON FINES DE REUSO.
— Zapater 1980

En la Fig. N° 6 se muestra como esta repartida en el país los 22 m³/seg. de aguas servidas que se generan.

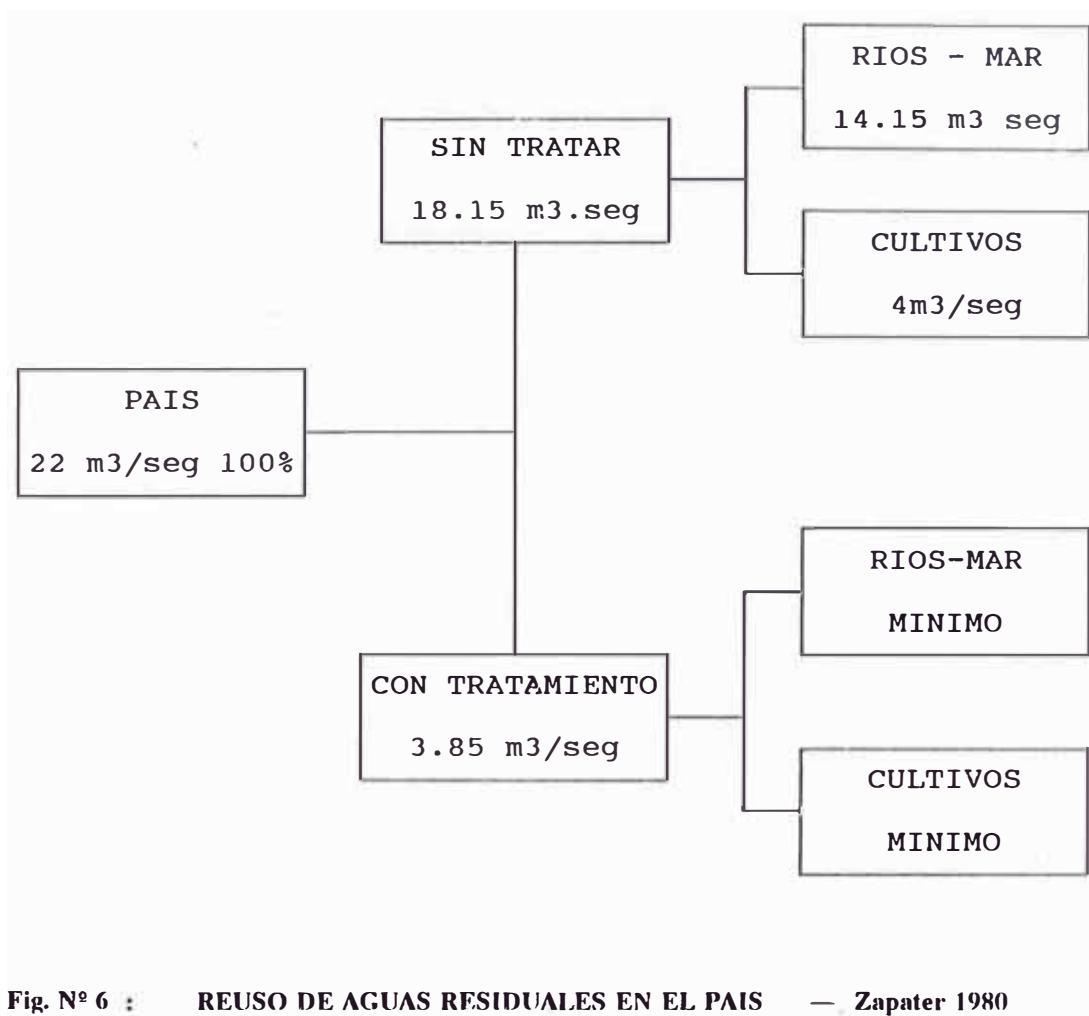


Fig. N° 6 : REUSO DE AGUAS RESIDUALES EN EL PAIS — Zapater 1980

En el caso de Lima el 96% de las Aguas residuales se vierten al río Rímac y al Océano Pacífico, sin ningún tratamiento. Las aguas tratadas son utilizadas en el riego de las aguas forestales (72%) y agrícolas (12%). Sólo el 0.6% de las aguas residuales son tratadas antes de disponerse adecuadamente.

En la Fig. N° 7 se muestra las reparticiones en la ciudad de Lima de las aguas residuales producidas.

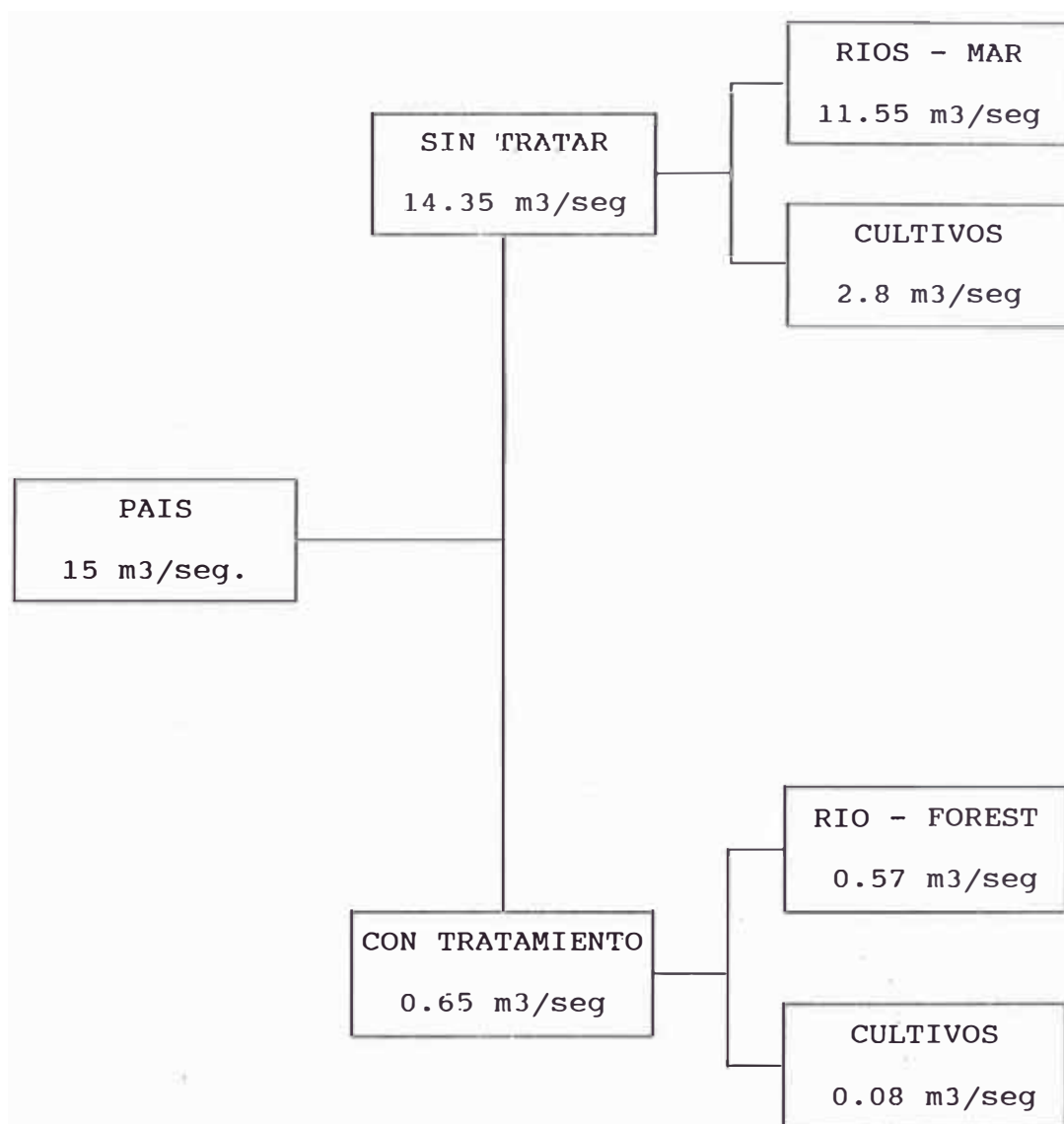


Fig. N° 07 : REUSO DE AGUAS RESIDUALES EN LIMA Zapater 1980

4. SISTEMA DE TRATAMIENTO MEDIANTE UN REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (R.A.F.A.)

El reactor anaerobio del Flujo Ascendente a través de un manto de lodos (RAFA), es un reactor que fue desarrollado a fines de los años setenta en la Universidad Agraria de WAGENINGEN (HOLANDA), siendo su creador el Dr. GATZE LETTINGA. El RAFA, también denominado en inglés como Up-flow Anaerobic Sludge Blanket Process (UASB), es aplicable en países en vías de desarrollo, tanto desde el punto de vista técnico en cuanto a eficiencia en la remoción de la carga orgánica (DBO, DQO) como también en lo económico por su disponibilidad de terreno, operación y mantenimiento.

El Reactor Anaerobio del Flujo Ascendente, ha reemplazado a los tanques IMHOFF DE FLUJO HORIZONTAL, consiguiéndose una mayor eficiencia remocional; al adaptar en su diseño una forma de tanques IMHOFF invertido, presentando las cámaras de decantación y digestión anaeróbica superpuestos, como lo muestra la figura N° 8 y Fig. 9.

El RAFA, fue desarrollado para depurar Aguas residuales, con alto contenido de Materia Orgánica Disuelta. Posteriormente el proceso se utilizó también con buenos resultados para el tratamiento de desechos con baja Carga Orgánica.

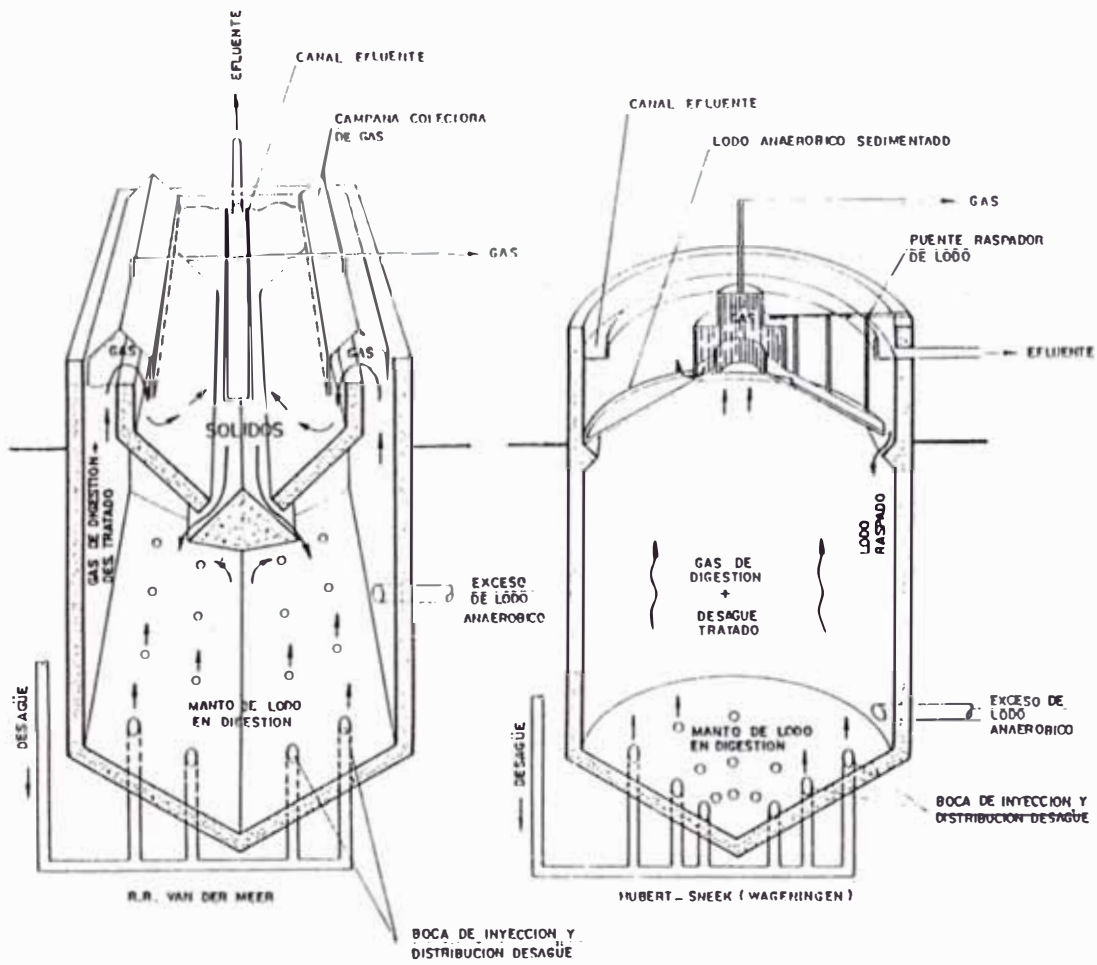
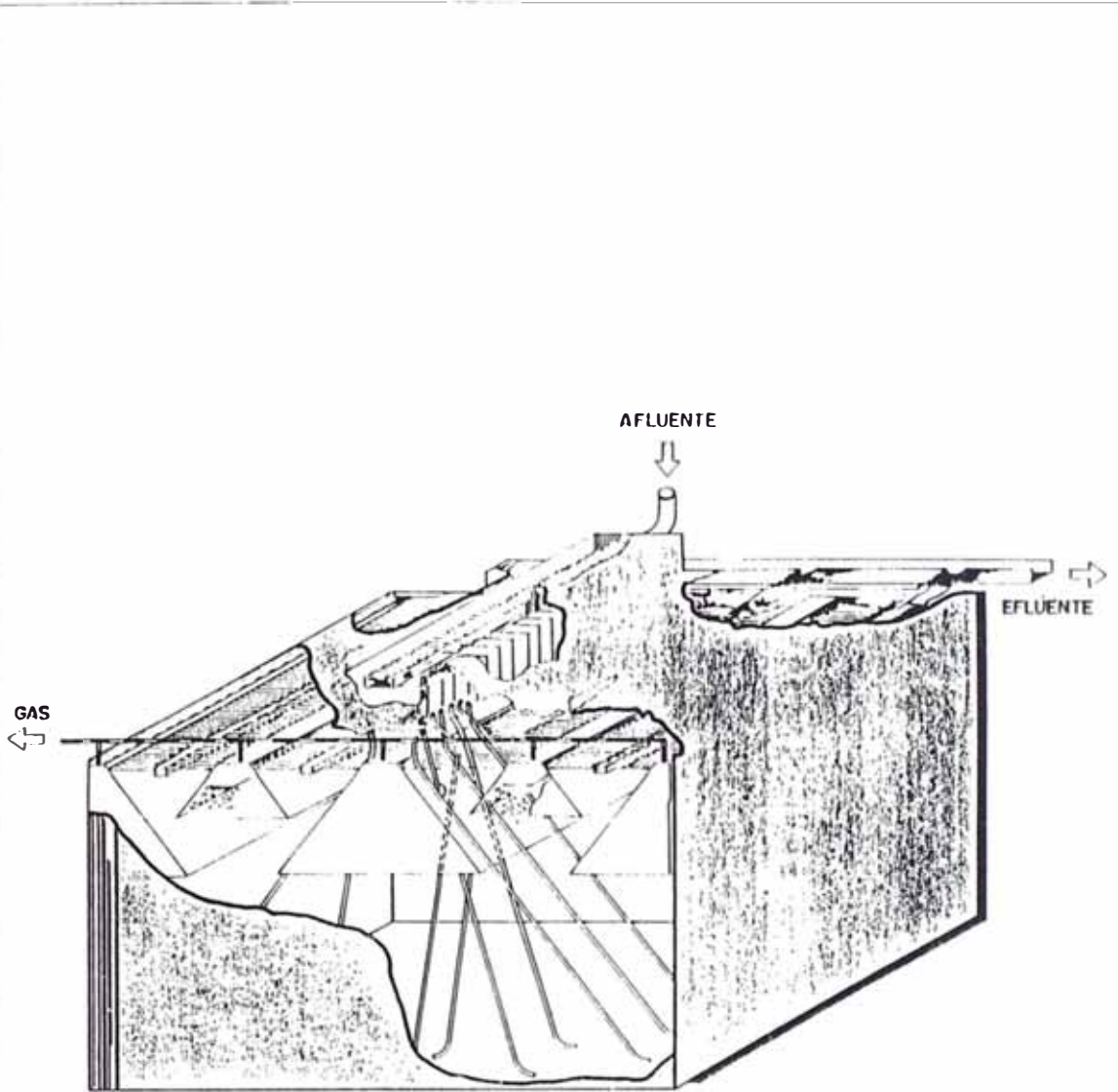


FIG. 8 : PROCESO ANAEROBICO DE FLUJO ASCENDENTE EN MANTO DE LODO



Obs.: Deflectores pueden instalarse frente al vertedero del efluente

FIG. 9 POSIBLE INSTALACION RAFA EN ESCALA REAL, TRATANDO DESAGÜE DOMESTICO CRUDO

El funcionamiento del sistema se garantiza si:

Sólidos Suspendidos	menor a 1 gr/lt y
Sólidos Suspendidos	menor a 0.5
D.B.O	

Valores mayores, indican la necesidad de usar sistemas de Pretratamiento previo como cribado, tamizado, sedimentación, etc.

4.1 DESCRIPCION DEL SISTEMA

El reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA), consiste, en un reactor-cámara con flujo ascendente en movimiento constante, en cuyo interior se encuentra un manto de lodos de forma granular y/o floculenta, que tiene la capacidad de remover entre un 70% a 80% de Materia Orgánica de origen doméstico, dependiendo del sustrato y carga hidráulica disponible.

Como en todo proceso anaerobio, se produce gases metano (CH_4) bióxido de carbono (CO_2), Acido Sulfídrico (H_2S), entre otros; estos gases, se acumulan en las cámaras de gas en los extremos del reactor, el agua tratada asciende a otra cámara de sedimentación siendo conducido a través de una canaleta hacia la salida del reactor. El manto de lodos, es una materia altamente reactiva en donde se desarrolla todo el espectro celular.

De acuerdo a investigaciones realizadas el efluente del reactor alcanza una eficiencia remocional de hasta un 80% de materia orgánica; en desagüe doméstico en esta

unidad la reducción de coliformes fecales no es significativa.

Según PATZA: "El Reactor de lecho de lodo es un digestor tubular, de flujo ascendente, con separación física y recirculación de lodos dentro la propia unidad. Existe además un perfil de sólidos, con gran concentración en la parte inferior (lecho de lodos), y mezcla completa entre lodo, líquido y gas, en las zonas superficiales del lecho. En la parte superior del digestor, existe un separador de fases (sedimentador), retornando el lodo a la cámara de digestión provocando en contra corriente flujo ascendente y una mezcla uniforme".

Según KOUIJAMS Y LETTINGA:

El buen funcionamiento del RAFA, depende de las condiciones de trabajo:

- 1° Conseguir una separación efectiva entre el biogás del manto de lodos y de los líquidos.
- 2° Cultivar y mantener un lodo anaerobio de buenas propiedades de sedimentabilidad.
- 3° Realizar una distribución uniforme, del desecho en el fondo del reactor.

4.2 PARAMETRO DE DISEÑO DEL REACTOR

Se presenta a continuación algunos parámetros importantes en el diseño de un reactor RAFA:

- Determinar la carga orgánica aplicada.
- Determinar el volumen del reactor.

4.3 CARGA ORGANICA VOLUMETRICA APLICADA

Depende de la concentración de la materia orgánica, se mide en términos de la DBO, DQO, sólidos volátiles. La carga orgánica es un criterio de diseño "Limitante" para aguas residuales de alta carga. Los reactores anaerobios RAFA están diseñadas para admitir cargas orgánicas en el rango (15-20 Kg. DQO/m³/día)

La Carga Orgánica (CO) se define como:

$$CO = \frac{[\text{Carga orgánica/Caudal}]}{\text{Volumen Reactor}}$$

En las aguas residuales se presentan cargas orgánicas de baja fuerza, a este caso, la velocidad superficial del agua en el sedimentador es el factor limitante, puede producirse arrastre de lodos.

4.4 VELOCIDAD SUPERFICIAL DEL LIQUIDO EN EL SEDIMENTADOR

El sedimentador ubicado en la parte superior del reactor RAFA, debe ser diseñado de tal forma que permita obtener una óptima sedimentación del lodo que es arrastrado con el efluente, es importante el retorno de este lodo al fondo del reactor como base

fundamental del proceso.

En el cuadro N° 10 se verifica las velocidades superficiales. (10)

VELOCIDADES SUPERFICIALES	LODO GRANULAR		LODO FLOCULENTO
	AGUAS RESIDUALES CON SOLIDOS SEDIMENTADOS	AGUAS RESIDUALES CON SOLIDOS SUSPENDIDOS	
Velocidad superficial (m/h)	3	1 - 1.25	0.5
Velocidad Máxima (m/h)	6	2	2
Período de Tolerancia	Pocas	Pocas	2 - 4

Cuadro N° 10 : VELOCIDADES SUPERFICIALES

4.5 VELOCIDAD ASCENCIONAL

La velocidad ascensional en la parte superior del reactor conjuntamente con la producción de biogas genera la energía del sistema. Este proceso favorece a la granulación del lodo. El flujo ascensional permite mantener la biomasa en suspensión. En aguas residuales de elevada carga orgánica, la aplicación de caudales de alimentación pequeños, produce un gas suficiente para mantener mezclado el sistema.

En aguas residuales de baja carga, el caudal afluente es importante para producir la mezcla, sin embargo es conveniente que la velocidad ascensional sea menor o igual a $1.0 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$

4.6 SISTEMA DE ALIMENTACION

Se recomienda un proceso de alimentación homogéneo, adecuado contacto entre el alimento y los microorganismos.

4.7 ALTURA DE REACTOR

La elevada concentración de carga orgánica aplicada, reduce la eficiencia del reactor, es importante que el reactor tenga la mayor altura por unidad de volumen, de esta manera, se logra reducir el área del reactor. Se recomienda una altura próxima a 6 m. La altura total del reactor debe estar entre 5.00 - 7.00 mts. Mayores alturas puede causar problemas como una lenta superación del sólido y gas.

4.8 FORMA O SECCION Y MATERIALES

La sección constante o no del reactor, es función también del tipo de agua a tratar, en el caso de aguas concentradas, en donde el área de sedimentación es pequeña, el reactor puede tener una sección constante, pudiendo ser circular o rectangular. Para aguas residuales diluidas, para las cuales se necesita la mayor área posible de sedimentación se recomienda adoptar una sección uniforme en la parte baja del sedimentador.

La selección de la forma depende del tipo de material que se utilice acero inoxidable o fibra de vidrio, la forma es la circular, si se dispone de concreto, es mejor construir el reactor con forma rectangular. Los reactores deben ser recubiertos para evitar la corrosión.

En la actualidad, se construyen los reactores en concreto armado, recubierto de polipropileno. El decantador generalmente se construye de plástico, cubierto de madera impregnada; para los vertederos se utiliza fibra de vidrio, acero inoxidable o madera contraplacada.

4.9 SISTEMA DE DISTRIBUCION

El sistema de distribución es importante en el sistema RAFA, el flujo uniforme, sobre todo el compartimiento del reactor genera una mezcla y una interacción entre los microorganismos y el substrato en la parte baja del reactor. Para el contacto entre estos elementos, se requiere solo una mezcla producido por el movimiento del gas o por el flujo del líquido.

4.10 SEDIMENTACION DE LODOS

El diseño del sedimentador debe permitir un adecuado retorno del lodo hacia la parte baja del reactor, de acuerdo a lo indicado, la pendiente de las paredes del sedimentador se recomienda por encima de los 50°.

4.11 COLECTORES DE GAS

La producción de gas en el reactor dependen de la disposición de los sedimentadores, colectores del gas y área necesaria.

El desprendimiento de gases, se cuantifica como la cantidad de gas emanado por área superficial por hora.
(m³/m²/hora)

4.12 SISTEMA DE SEPARACION GAS-SOLIDO (SGS)

El reactor RAFA tiene deflectores que no permiten la salida del gas hacia la zona de sedimentación de lodos. La forma de estos deflectores debe ser tal que se facilite el flujo hacia abajo de los lodos sedimentados y para evitar la fuga de gas. Deben tener un traslape de aproximadamente 20 cm. con las paredes del sedimentador.

Se recomienda que las campanas colectoras de gas tengan una altura en un rango de <1.5 - 2.0 m.>, si la altura del reactor esta en el rango de <5.0 - 7.0m.>.

Las altas concentraciones de proteínas y/o grasas genera la formación de espumas y la flotación de sólidos, afectando la biomasa activa del reactor.

4.13 TIEMPO DE RETENCION

La tasa de conversión en el RAFA, depende de la concentración del substrato y de la actividad de la biomasa. En este proceso, altas cargas y bajo tiempo de residencia pueden ser aplicados si se mantiene una alta concentración de lodo granular en el Reactor. El tiempo de retención está en función de la temperatura y este del proceso biológico. Ver cuadro N° 11.

TEMP (°C)	TIEMPO RETENCION HIDRAULICA (HORAS)		
	Mínimo	Promedio	Pico
20	No hay criterio	Disponible	1989
20-23	7-9	12	3-5
23-26	5-7	6	3
26	8	6	2.5

Cuadro N° 11 : TIEMPO DE RETENCION

4.14 VOLUMEN DEL REACTOR

Teóricamente no existe un límite en cuanto al máximo volumen de un reactor, sin embargo por razón de construcción, mantenimiento, sistema de entrada, puesta en marcha, se recomienda volúmenes no mayores a 1500 m³

4.15 DESCRIPCION DE LAS BACTERIAS PRESENTES EN EL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (RAFA)

4.15.1 Bacterias Metanogénicas.-

Representan un grupo especial de bacterias de diferentes especies y formas celulares que obtienen energía para el crecimiento y formación del metano, de una manera aun desconocida. Los requerimientos nutricionales son bastante simples, el crecimiento bacterial ocurre en un medio presente de aminoácidos y sulfuros como fuentes de nitrógeno y azufre, respectivamente.

4.15.2 Bacterias Acetogénicas.-

La presencia de este grupo de bacterias, es de vital importancia para la degradación anaerobica de la materia inorgánica, procesan los ácidos orgánicos de cadena orgánica larga como el acetato, alcoholes, y ciertos compuestos aromáticos, las bacterias acetogénicas, regulan los niveles de H₂ en el medio.

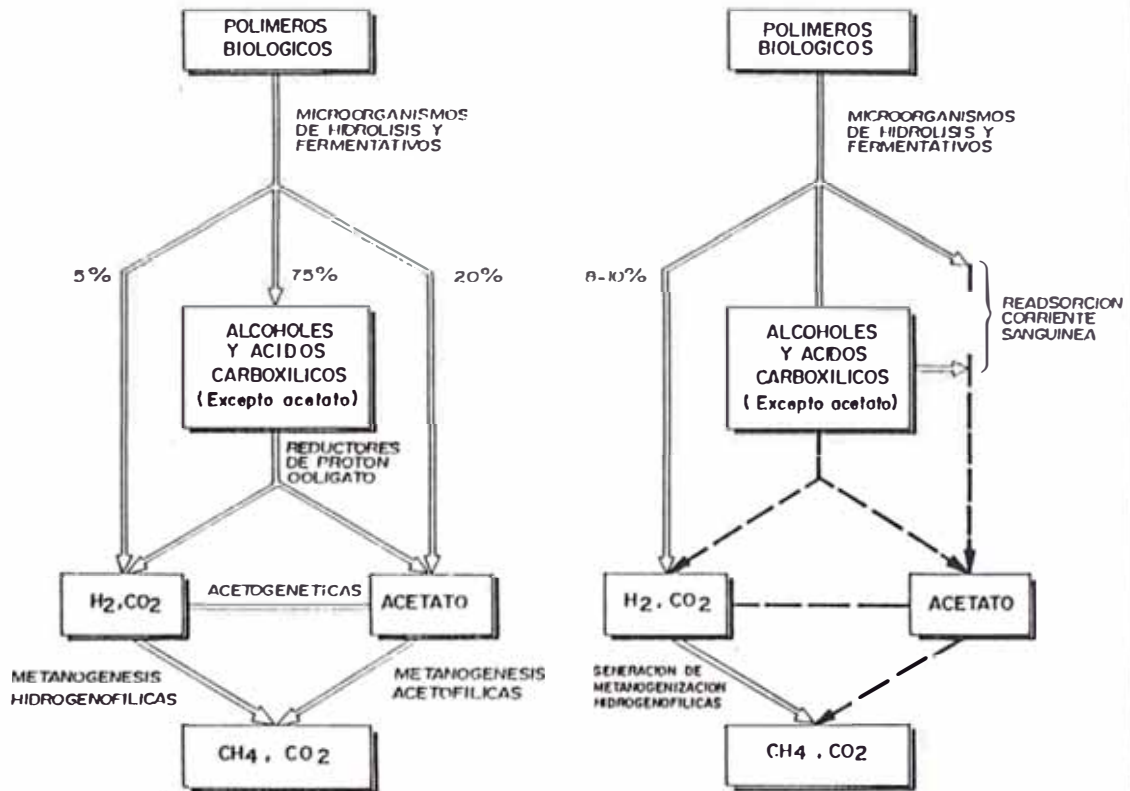
4.15.3 Bacterias Fermentativas.-

Este grupo de bacterias es el responsable de una fase de la digestión anaeróbica, la hidrólisis y la acidogénesis. Estas bacterias necesitan CO₂ y Acidos Orgánicos (como fuente de carbón, amonio como fuente de nitrógeno) y sulfuros (como fuente de azufre), vitamina B y algunas sales minerales, especialmente sales de sodio. En el cuadro N° 12 se presenta la población bacteriana anaeróbica en digestores de lodo de desagüe.

GRUPO	NUMEROS (por m/l)	IDENTIDAD GENERICA
Bacteria hidrolítica		Mayoría no identificada
Total	10 ⁸ -10 ⁹	Bacilos gram-negativos
Protoolítica	10 ⁷	Eubacterium
Celulotítico	10 ⁵	Clostridium
Productores de hidrógeno		No identificado
Bacteria acetogénica	10 ⁶	Bacilos gram-negativos
Bacteria homoacetogénica	10 ⁵ -10 ⁶	Clostridium
Metanógenos	10 ⁶ -10 ⁸	Metanobacterium
		Metanospilillum
		Metanococcus
		Metanosarcisa
		Metanothrix
Reductores de sulfato	10 ⁴	Desulfovibrio
		Desulfotomaculum

Cuadro N°12: ENUMERACION E IDENTIFICACION DE POBLACION BACTERIANA ANAEROBICA EN DIGESTORES DE LODO DE DESAGÜE. — Diego Idrovo 1990

En la Fig. N° 10 se detalla la acción de los microorganismos en la degradación de la materia orgánica.



DEGRADACION COMPLETA METANOGENETICA EN SEDIMENTOS PROFUNDOS, MARINOS, LACUSTRES DIGESTION DE LODOS.

DEGRADACION PARCIAL DE LA MATERIA ORGANICA EN SISTEMAS GASTROINTESTINALES (ESTOMAGO DE RUMIANTES)

FIG. 10 FLUJO DEL SUSTRATO EN DOS TIPOS DE AMBIENTES ANAEROBICOS

4.16 FACTORES AMBIENTALES.-

Para que el reactor alcance un rendimiento óptimo, se debe mantener adecuadas condiciones ambientales. El control de los parámetros físicos-químicos y nutricionales cumplen un papel importante en esta función.

4.16.1 pH

La actividad microbiana se muestra sensible a la variación del pH, varía de acuerdo al grupo de bacterias presentes; en el rango ácido por debajo de un pH=4.5, se detiene toda actividad de los microorganismos. Las bacterias actúan de acuerdo al rango de pH mostrado en el cuadro N° 13

TIPO DE BACTERIAS	pH
Hidrolíticos	6.2 - 7.4
Acetogénicas	7.0 - 7.2
Acidogénicas	6.0
Metanogénicas	6.5 - 7.5

Cuadro N° 13 NIVEL DE ACTIVIDAD BACTERIAL OPTIMA EN FUNCION DE PH.

Diego Idrovo 1990

4.16.2 Temperatura.-

La temperatura ejerce una fuerte influencia sobre la eficiencia del proceso los microorganismos metanogénicos en particular son extremadamente

sensibles a la temperatura, presentando un intervalo de operación muy limitado.

Un rango de temperatura comprendido entre 15-40°C condiciona la proliferación de microorganismos, en temperaturas por encima de los 15°C en una fase mesofílica, favorece la velocidad de reacción de degradación de la materia orgánica.

La temperatura por debajo de este valor retarda el proceso. Solo es reversible si se tiene agua residual de alta carga con la capacidad de producir un alto volumen de metano, el cual puede ser utilizado para calentar el reactor. La temperatura condiciona el funcionamiento al RAFA en climas tropicales donde la temperatura del agua es mayor que 20°C, la temperatura está directamente relacionada con el tiempo de retención.

4.16.3 Nutrientes.-

En todo proceso de la digestión anaerobia, se presenta una baja necesidad de nutrientes, debido a la baja velocidad de crecimiento. Los principales nutrientes necesarios para su crecimiento son el Nitrógeno y el Fósforo.

4.16.4 Presencia de compuestos tóxicos

El exceso en la concentración de sustancias tóxicas, puede causar problemas en el proceso, la

presencia de metales pesados, metales alcalinos y alcalinoterreos, cianuros, fenoles, nitratos, oxígeno, sulfatos y sulfuros. Estos elementos, retardan el proceso de asimilación que realizan los microorganismos anaerobios.

4.17 ARRANQUE DEL REACTOR

El arranque o puesta en marcha (start-up) de un reactor RAFA se define como el período de tiempo comprendido desde el comienzo del proceso hasta que el reactor trabaje en las condiciones de diseño. La etapa inicial del arranque, consiste en incentivar el crecimiento de las bacterias metanogénicas, que generalmente están en pequeñas proporciones en la semilla. Se presentan tres fases durante la puesta en marcha en un reactor:

- 1ra. Fase.- Consiste en la adaptación del lodo a la composición del nuevo sustrato.
- 2da. Fase.- Envuelve al incremento en la actividad específica del lodo que resulta de un crecimiento bacteriano y retención del lodo.
- 3ra. Fase.- Se realiza la aglomeración del lodo.

La puesta en marcha del reactor RAFA, es delicado, aparte del tiempo consumido en el proceso que puede llegar a ser de varios meses.

4.17.1 Semilla

Representa la porción de materia requerido para la puesta en marcha de un Reactor, existen varios orígenes de la semilla como:

- Excretas de Animales.
- Lodos depositados en el sistema de alcantarillado.
- Lodos de Lagunas Anaeróbicas.

La semilla, de acuerdo al grado de actividad metanogénica, puede acelerar o retardar el período de Arranque del Reactor. En una investigación realizada en Cali Colombia (10) en una planta piloto de 64m³, se llegó a la conclusión que Un Reactor puede ser arrancado sin semilla con tiempo de retención cortos (6 horas) porque los sólidos que vienen en el agua residual tienen actividad metanogénica e inducen la propia incubación.

En el Informe de Arranque del RAFA en el CEPIS (10) indica tres posibilidades para obtención y/o preparación de la semilla.

- 1.- Transportar inóculo de otro RAFA.
- 2.- Esperar que la semilla se forme naturalmente, y
- 3.- Elaborar y/o fabricar la semilla.

A continuación en el Cuadro N° 14, N° 15 se presenta un resumen de aplicaciones de reactores RAFA.

TIPO DE AGUA RESIDUAL	PAIS	NUMERO DE PLANTAS	CAPACIDAD DE DISEÑO Kg DQO/m ³ /día	VOLUMEN DEL REACTOR m ³
Remolacha	Holanda	7	12,5 - 17	200 - 1300
Azúcar líquida	Alemania	2	9,0 - 12	2300 - 150
	Austria	1	8	3000
Azúcar líquida	Holanda	1	17	30
Procesamiento de patatas	Holanda	8	5 - 11	240 - 15
	USA	1	6	2200
Almidón de patatas	Holanda	2	8,5 - 15	1700 - 550
	USA	1	11	1800
Almidón de maíz	Holanda	1	10 - 14	900
Almidón de trigo	Holanda	1	7	500
	Irlanda	1	9	2200
	Australia	1	11	4200
Alcohol	Holanda	1	16	700
	Alemania	1	9	2300
Levadura	USA	1	12	4400
Cervecería	USA	1	14	
	Holanda	1	(15 - 10°C)	1400
Mariscos	Holanda	1	10	250
Matadero	Holanda	1	3 - 5	600
Lechería	Canadá	1	6 - 8	450
Papel	Holanda	2	8 - 10 (4 - 20°C)	1000
Vegetales preservantes	Holanda	1	10	375
Licorerías	Tailandia	12	15	3000

Cuadro N° 14 APLICACION DE LOS REACTORES RAFA A ESCALA PILOTO
— Diego Idrovo 1990

UBICACION	COLOMBIA			HOLANDA					
	Tipo de Agua Residual	Doméstico	Procesamiento Carne	Papel	Descarga Basura	Mariscos	Almidón Maíz	Remo-lacha	Cara-melo
Aflnente									
COD (mg/l)	260	2000	3000	100-1500	7000-10000	1500-11000	3000	4500	
BOD ₅ (mg/l)	95	600	1500						
TKN (mg/l)	17	150				50	77	90	
P (mg/l)	1.3	16				5	15		
pH (mg/l)		6.8-7.1						5-7	
SO ₂ (mg/l)						75			
Remoción									
OD	80	70	75	81	70-80	90	88	80-85	
BOD ₅		85	95	90					
Reactor									
Volumen m ³	64	30	1000		2 x 50	750	800	90	
Temperatura (°C)	25	20	30	27	35	33-39	35	20-25	
Retención									
Tiempo/horas	4-8	8	8			18	6-10	14	
Carga Kg/COD									
m ³ /día	1.5	3.5	7-10	7.2	10	14	16.2	7.6	

Cuadro N° 15 : RESUMEN DE DATOS SOBRE APLICACIONES DE REACTORES (RAFA)

— Diego Idrovo 1990

5. TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES MEDIANTE FILTROS PERCOLADORES

Se denomina filtro Percolador a aquella unidad de tratamiento que realiza la estabilización biológica de la materia orgánica contenida en las aguas residuales sedimentadas, siendo esparcido esto mediante un sistema de distribución homogéneo y gelatinoso sobre un lecho de piedras contenidos en un recipiente de forma circular o cuadrada - Este último poco frecuente. El principio fundamental de ésta unidad de tratamiento se basa en la acción de los microorganismos presentes en la capa biológica (Zooglea) adheridas a las piedras que conforman el proceso mediofiltrante. Generalmente se clasifica al Filtro Percolador como un proceso biológico aerobio, el Filtro opera normalmente como un sistema facultativo, pero al iniciar su operación, trabaja en un estado aerobio, el interior de la capa biológica crea en la superficie de la roca una capa anaerobia y en la parte exterior se encuentra en un estado aerobio por la disponibilidad de oxígeno.

En los Filtros Percoladores, los desagües son esparcidos sobre la superficie de las piedras y recogidos por la parte inferior después de sufrir una estabilización biológica. En la Fig. N° 11 y 12 se detallan las partes de un filtro percolador no convencional. El Filtro Percolador es un sistema de Tratamiento adaptado para convertir la Materia Orgánica contenida en los desagües a productos

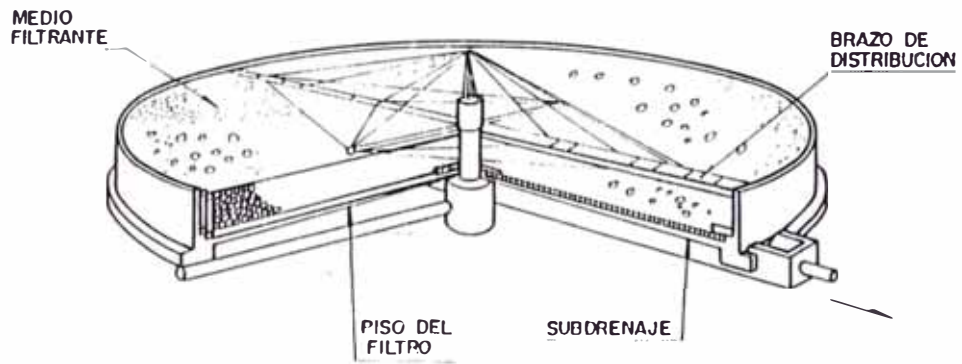


FIG. 11 **FILTRO PERCOLADOR CONVENCIONAL**

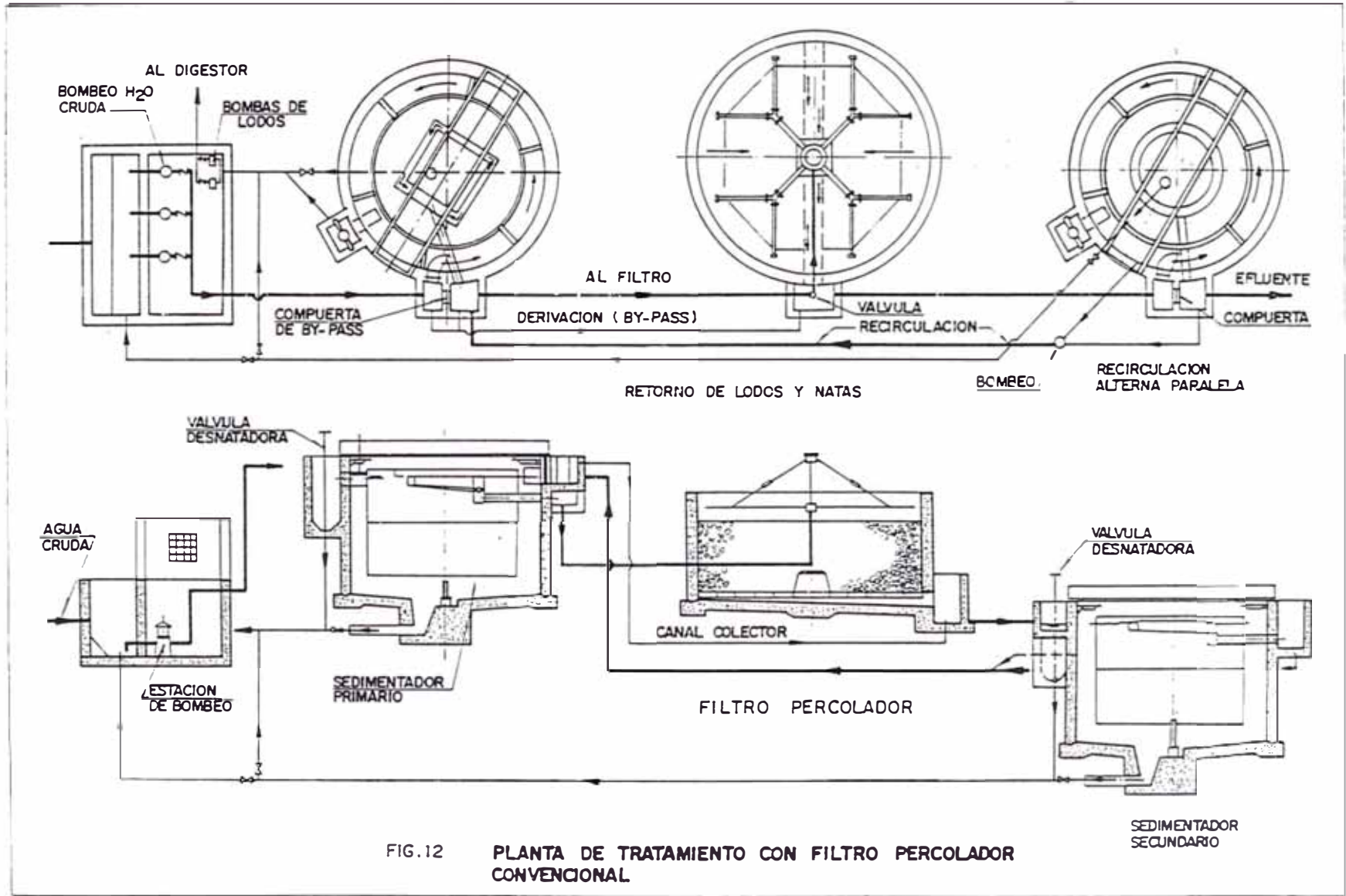


FIG.12 PLANTA DE TRATAMIENTO CON FILTRO PERCOLADOR CONVENCIONAL

solubles, gases y tejido celular en presencia del oxígeno.

En el cuadro N° 16 se ubica el Filtro Percolador de acuerdo al grado de tratamiento de las aguas residuales y en el cuadro N° 17 se hace una comparación del filtro percolador con otros sistemas de tratamiento.

5.1 DESARROLLO DEL PROCESO DE UN FILTRO PERCOLADOR

Desde el punto de vista microbiológico el biofiltro trabaja, como un ser vivo, realizando todas las funciones inherentes, recibiendo un desagüe que ha tenido un proceso físico de sedimentación natural.

La cadena trófica se inicia en las reacciones que realizan las bacterias, para utilizar el amoníaco en el proceso aeróbico de nitrificación, produciendo nitratos, que en conjunto con fosfatos y otras sales inorgánicas son usados por las algas fotosintéticas, quienes toman el CO² del aire y por acción de los fotones de la luz (energía) sintetizan el material orgánico, sirviendo de base para la nutrición de protozoarios, nematodos, rotíferos, turbellarios, larvas de insectos y en conjunto mantienen el equilibrio de las bacterias saprofíticas.

La variación de temperatura afecta el desarrollo normal de los microorganismos, su actividad metabólica y la eficiencia de remoción de la materia orgánica aumenta y/o disminuye ante cambios de temperatura del líquido, este parámetro está en función de la cantidad de Materia Orgánica que es metabolizada por los microorganismos presentes en el Filtro Percolador al generar calor en

REMOCION DE SOLIDOS GRUESOS	TRATAMIENTO PRIMARIO	TRATAMIENTO SECUNDARIO	DESINFECCION
1. Cribado	1º Sedimentación	1. Filtros Percoladores	1. Cloración
2. Molido y desmenuzado	2º Floración y remoción de gases	2. Lodos activados, Zanjas de oxidación aereación extendida	2. Ozonización
3. Desarenador	3º Floculación y precipitación química	3. Lagunas de estabilización: aerobicas, facultativas, anaerobias	3. Irradiación
	4º Tanque Imhoff	4. Contacto anaerobio	
		5. Discos rotatorios	

Cuadro N° 16 : UBICACION DEL FILTRO PERCOLADOR EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

CONDICION	FILTRO PERCOLADOR	LODO ACTIVADO	ZANJA DE OXIDACION
VENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> - Construcción, operación y mantenimiento sencillo - No requiere mano de obra calificada - Son poco sensible ante variación brusca de caudal. - EL efluente es estable - Se mejora el efluente realizando la recirculación - Ausencia de equipos mecanicos - Se amolda a otros sistemas de tratamiento 	<ul style="list-style-type: none"> - Construcción, operación y mantenimiento sencillo. - Menor producción de moscas que en los filtros corrientes. - Capacidad depuradora de este sistema es de 6.8 m³/día - El grado de depuración a alcanzar se regula facilmente con el de bandejas e intercalar. 	<ul style="list-style-type: none"> - Construcción, operación y mantenimiento sencillo. - Inversión mínima en su construcción. - No genera malos olores debido a su poca profundidad, desarrollo aerobio. - Acepta caudales oscilantes y variables - Mayor remoción de microorganismos petogenos (coliformes fecales) por tener mayor tiempo de retención. - No requiere equipos de bombeo, ni sistemas de bombeo automáticos.
DESVENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> - Costo de construcción elevado, por encima de lodo activado para una misma capacidad. - Los distribuidores rotativos de los filtros generalmente cuesta más que los equipos de aereación de los estanques. - Produce gran pérdida de carga. - Requiere de sistema de bombeo. - Requiere area mayor que los lodos activados. - Se produce proliferación de moscas (Psychoda) que no aparece en los lodos activados. - Ocurren problemas de olor. - Usado en aguas residuales con cargas organicas elevadas. - Requiere de tanque de sedimentación a continuación de filtro percolador, su función es producir un efluente clarificado. - Desde el punto de vista biológico, los procesos desarrollados en el interior del filtro son análogos a los que se dan en los tanques de aereación de los lodos derivados, es decir tienen relación con la superficie disponible de las películas gelatinosas biológicas y en el tiempo de contacto de los desagues con esas películas 	<ul style="list-style-type: none"> - Es sensible a las variaciones de caudad y concentración de las cargas esto genera que se produzca burbujas de gas. - La aereación se hace directamente o por ventilación forzada - Requeieren la adición de turba en cada espacio de 5 a 15 cm. de tela metalica. - Sustitución de turba cada 4 ó 5 semanas y esperar igual tiempo para la formación de la película biológica. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor tiempo de retención. - La oxidación de las aguas residuales es natural al medio ambiente por lo que se requiere mayor tiempo. - Requiere de tanque de sedimentación previo al regreso de las zanjas. - Requiere gran extensión de área debido al bajo tirante de agua.

Cuadro N° 17 : COMPARACION DEL FILTRO PERCOLADOR CON OTROS SISTEMAS DE TRATAMIENTO

esta actividad, y de la variación de la temperatura del medio ambiente.

5.2 CLASIFICACION DE LOS FILTROS PERCOLADORES -TASA DE FILTRACION

Las cargas hidráulicas y cargas orgánicas, son responsables en gran parte del funcionamiento y eficiencia del sistema de tratamiento. De acuerdo a estos parámetros, se logra clasificar los filtros en los denominados filtros de baja, mediana y alta tasa. Los Filtros Percoladores se clasifican según su carga hidráulica u orgánica en filtros de alta y/o baja carga; capacidad o tasa.

5.2.1 FILTRO DE BAJA CARGA

En su desarrollo, la operación del Filtro Percolador de esta característica, indicaba una alta eficiencia. En una operación normal se espera un promedio del 85% en eficiencia de remoción de la D.B.O.

Este sistema produce una calidad estable del efluente y presenta un funcionamiento seguro y sencillo, tiene un promedio de población de bacterias nitrificantes, el efluente es rico en nitritos y nitratos, siendo pobre su concentración de amoníaco. Filtros de esta características presenta una mayor concentración de oxígeno en la superficie y poco en los intersticios, los filtros de baja tasa, se diseñan normalmente con una profundidad de 6 pies (1.80 m

aprox). Sin embargo, solo entre 2 ó 3 pies por debajo de la superficie filtrante contienen un crecimiento biológico apreciable, las bacterias activas están en la parte superior del filtro. La mayor parte de los Filtros Percoladores que operan con una baja tasa presentan alta concentración de nitratos en el efluente, lo que indica la calidad de un efluente bien estabilizado

5.2.2 FILTRO DE ALTA CARGA

Para evitar la obstrucción de un Filtro, se debe prevenir y determinar una adecuada tasa de aplicación por unidad de superficie del filtro.

En los filtros de alta tasa las aguas servidas sedimentadas se aplican a un régimen muy superior al del filtro de baja capacidad, su diseño se basa en la necesidad de obtener una mayor remoción de la DBO por unidad de volumen y por día al aumentar la carga hidráulica.

Los filtros de alta capacidad o carga se caracterizan por la recirculación de las aguas tratadas, la que se realiza normalmente de modo continuo. Mezclando el efluente del filtro con el gasto normal que llega a la unidad, se consigue incrementar la carga hidráulica, esto hace que disminuya la concentración de D.B.O de las aguas que se aplican al filtro y da por resultado una mayor carga de D.B.O al día.

La recirculación del efluente, permite una mayor aplicación de mayores cargas orgánicas, de esta forma el filtro logra una similar eficiencia que los de baja carga. En estos tipos de filtros, se requiere poca demanda de oxígeno, "se observa que los filtros con elevada carga (tasa) hidráulica, tienen películas gelatinosas muy tenues sobre las piedras, por ejemplo, para valores con $4.8\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hora}$, esas películas son casi imperceptibles". (11)

La denominación de alta y/o baja tasa, depende del parámetro de diseño considerado en el desarrollo del Filtro Percolador. En el cuadro N° 18 se observa la variación de cargas en los Filtros Percoladores

5.3 CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DE FILTROS PERCOLADORES

Expresar en términos matemáticos el diseño de un Filtro Percolador, se ve limitado por la cantidad de factores que involucra el desarrollo de este sistema, en la práctica, el diseño se basa más en la experiencia de campo que en el desarrollo teórico. Los criterios básicos en todo diseño se fundamentan en la carga orgánica y la carga hidráulica.

El requerimiento para el diseño de los filtros percoladores debe considerar algunas unidades interrelacionadas como:

- Tipo y Características de Alimentación del Sistema de Distribución

CARACTERISTICAS	FILTRO BAJA CARGA	FILTRO ALTA CARGA(o elevada tasa de aplicación)
Carga hidráulica (m ³ /m ² /día)	1 - 7	7 - 28
Carga Orgánica (Kg.DBO/m ³ /día)	0.15-0.40	0.40 - 1.75
Carga hidráulica (l/s/m ²)	216x10 ⁻¹ - 432 x 10 ⁻¹	-----
Carga Organica (Kg/m ³ - día)	0.16 - 0.32	-----
Carga Organica (gr.DBO ₅ /m ³ /día)	500 ≤	≥ 800
Carga hidraulica (m ³ /m ² /hora)	≥ 0.8m ³ /m ² hora ≈ (20m ³ /m ² día)	≈ 4.8 m/h (115m ³ /m ² día)

Tasa (m³/m² día): Cantidad de líquido aplicado por unidad de superficie.

Cuadro N° 18 : COMPARACION DE CARGAS HIDRAULICA/ORGANICA EN FILTROS PERCOLADORES

- El medio filtrante
- Sistema de Drenaje
- Ventilación del sistema

En la práctica es difícil diseñar un filtro percolador para un desecho determinado y a la vez predecir con precisión la calidad del efluente.

La teoría fundamental de funcionamiento del filtro y su bioquímica le permiten al Ingeniero tener un criterio sobre las principales herramientas de diseño. En el diseño del Filtro Percolador se debe considerar los siguientes factores:

1. La Masa microbiana es esencialmente función de la superficie del lecho filtrante. Además, debe mantenerse lo más delgada posible.
2. La remoción de la Materia Orgánica conlleva que una fracción se oxide y que la restante se convierta en nueva masa.
3. El crecimiento biológico tiene una tasa fija la cual depende de la concentración de la materia orgánica hasta el punto en que la transferencia de oxígeno se vuelva limitante.

Los Filtros Percoladores se han diseñado generalmente a partir de varias ecuaciones de diseño desarrollados a lo largo del tiempo, mediante estudios de laboratorio y correlaciones de los datos de ecuación. Algunas de estas ecuaciones solo son aplicables en circunstancias similares a las existentes para las condiciones específicas a partir de las cuales fueron desarrolladas. Siempre y cuando sea

posible es recomendable la realización de estudios a nivel piloto para investigar la tratabilidad del desecho y verificar la aplicabilidad del modelo matemático al caso específico en consideración. (14)

A continuación se presenta las ecuaciones aplicables en el diseño de Filtros Percoladores.

5.3.1 ECUACIONES DEL NATIONAL RESEARCH (NRC)

Las ecuaciones del NRC son el resultado de un análisis obtenido de los datos operativos de un gran número de plantas de Filtros Percoladores ubicada en instalaciones militares norteamericanas. Basado en dichos estudios el NRC recomienda el uso de las siguientes ecuaciones para el cálculo de la eficiencia de Filtros Percoladores (13).

$$E = \frac{100}{1 + 0.0085 (W/FV)^{0.5}}$$

donde:

E: % la eficiencia en la remoción de la DBO en la 1ra. etapa incluyendo el clarificador.

W: Carga Orgánica aplicada a la 1ra, Etapa, lb de DBO/día, (sin incluir recirculación)

F: Factor de recirculación para cualquiera de las etapas.

$$F = \frac{1 + R}{(1 + 0.1R)^2}$$

R: Caudal recirculando/caudal del efluente.

V: Volumen del Filtro en cada etapa (acre-pies)

Las ecuaciones de NRC tienen bastantes limitaciones pues fueron desarrolladas para plantas que tratan aguas residuales con características diferentes a las domésticas. Dichas ecuaciones además desprecian el efecto de la carga hidráulica comparada con la carga orgánica, no tienen en cuenta la temperatura y presuponen una configuración del sistema con clarificador intermedio entre los dos filtros. Las ecuaciones predicen valores que pueden estar cercanos a los correctos (volumen y eficiencia) cuando hay recirculación, no hay cambios en la temperatura y las cargas orgánicas aplicadas al filtro son relativamente altas.

(13)

5.3.2 ECUACIONES DE VELZ

Quizás el primer intento en formular matemáticamente el proceso biológico que ocurre en un Filtro Percolador fue el realizado por Velz (23). Su ecuación parte de consideraciones teóricas sobre la

remoción de la materia orgánica por los microorganismos. La cantidad de microorganismos la hace proporcional a la profundidad del lecho. Por consiguiente, la ecuación de Velz relaciona la DBO remanente con la profundidad del filtro (23).

$$\frac{S^0}{S} = 10^{-KD}$$

Donde:

- S : Concentración Total del DBO removible, (mg/lt)
- S_0 : Concentración removida a la profundidad D, (mg/lt)
- D : Profundidad (m). {0.17 para filtros de Baja Carga; 0.15 para filtros de alta carga}
- K : Constante de reacción.

La concentración de DBO removible significa para Velz la fracción máxima de la DBO aplicada que es posible remover para una carga hidráulica dada. La ecuación de Velz tiene utilidad cuando no se considera recirculación (13).

5.3.3 ECUACION DE GALLER Y GOTAAS

Esta ecuación se derivó de un estudio sobre la información de operación de un gran número de plantas. Se incorporo entre dicha información la carga hidráulica, la temperatura, la profundidad del filtro

y el efecto de la recirculación. Por análisis de regresión se obtuvo la siguiente ecuación (8)

$$Se = \frac{K (iLi + rLe)^{1.19}}{(i + r)^{0.78} (1+D)^{0.67} a^{0.25}}$$

$$K = \frac{0.464(43560/\pi)}{i^{0.28} t^{0.15}}$$

Donde:

Se : DBO del efluente sin clarificador (mg/lt)

Si : DBO del afluente al filtro (mg/lt)

D : Profundidad del filtro (pies)

i : Caudal del afluente (mgd)

r : Caudal recirculando (mgd)

a : Radio del filtro (pies)

t : Temperatura del agua residual (°C)

La ecuación de Galler y Gotaas predice adecuadamente la eficiencia y el volumen de los Filtros Percoladores cuando se usa recirculación.

5.3.4 ECUACION DE ECKENFELDER

La Ecuación de Eckenfelder es el resultado de numerosos estudios de laboratorio y de análisis de información de plantas en operación. Tiene como punto de partida los estudios de Howland (9) de Schulze (21) y los propios estudios de Eckenfelder, Mc Cabe y O'Connor. Dicha ecuación tiene la gran ventaja que

permite obtener en el laboratorio los valores de los parámetros k y n , con los cuales es factible modelar fielmente las condiciones particulares del medio filtrante y de aguas residuales que se deben tratar en la unidad prototipo. En la literatura aparecen ecuaciones de K y n . En ocasiones incorporan un exponente m para la profundidad D . Este valor de m fluctúa entre 0.67 y 1.0 y depende de que la película de limo biológico esté uniformemente distribuida en toda la profundidad del filtro. Cuando la distribución es uniforme m tiene el valor de 1.0 y de lo contrario su valor es menos de 1.0 (8)

En general el procedimiento correcto para el diseño de una planta de filtros biológicos es realizar un estudio de tratabilidad de las aguas residuales con unidades pilotos y obtener en el estudio los valores de los parámetros que se deben usar para el dimensionamiento de la planta prototipo.

5.4 COMPONENTES DEL FILTRO PERCOLADOR

5.4.1 Características del Sistema de Distribución

El sistema de alimentación en un filtro percolador, depende de la forma geométrica del filtro. En sistemas circulares, se recomienda un eje de distribución constituido por dos o más brazos giratorios que giran en un plano circular, generando líneas concéntricas con un riego uniforme y facilidad de mantenimiento, conforme chorrea el líquido sobre el

filtro percolador a través de los orificios del brazo giratorio, esto sujeto a un eje central. Las boquillas (orificios) del brazo giratorio se encuentran espaciadas irregularmente, consiguiéndose de esta manera más flujo por unidad de longitud cerca a la zona periferia que en el centro.

El uso de este sistema de distribución, requiere además de :

- Consistencia y resistencia de sus materiales, según el diámetro del lecho
- Capacidad de soportar elevadas variaciones de caudal
- Durabilidad a través del tiempo
- Suficiente carga hidráulica
- Fuente de energía (motor eléctrico).

Generalmente, el diseño de este sistema de distribución, se basa de acuerdo a parámetros estándares (mecanismo standard).

Se utiliza también el filtro percolador de superficie rectangular, esta forma requiere de un sistema de distribución de boquillas fijo, expandido sobre el lecho filtrante adoptando una geometría simétrica, buscando una aspersion homogénea del liquido sobre el lecho filtrante.

El sistema de riego, se diseña de tal manera que los desechos se apliquen a una tasa uniforme por unidad de Area Superficial del Filtro.

Los sistemas de distribución se pueden dividir en dos grandes grupos, distribuidores móviles, y fijos. En el cuadro N° 19 se detalla algunas recomendaciones.

Los distribuidores se fabrican para lechos con diámetros de hasta 60m.

5.4.2 Tipo de Medio Filtrante

El filtro percolador consta de un medio granular fijo, cuya función principal es servir de soporte a la capa biológica "Zooglea", conteniendo una variedad de organismos activos que permanecen adheridas al medio filtrante, de esta manera asimilan los nutrientes al discurrir el agua sobre la superficie de las rocas. En este medio se produce todas las reacciones física, química y biológica, generalmente cerca a la superficie del medio filtrante, disminuyendo su capacidad de reacción conforme se profundiza en el lecho percolador.

El Medio filtrante recomendado aplicable a este sistema, es aquel que posee una elevada Area Superficial por unidad de volumen, duradero, resistente, económico, el material que más se acerca a estas características es la grava o piedra de acuerdo a una granulometría uniforme en un rango 2.5 a 7.5 cm.

SISTEMA DE DISTRIBUCION MOVIL	SISTEMA DE DISTRIBUCION FIJO
<ul style="list-style-type: none"> - Es aplicable a filtros percoladores de superficie circular - Se adapta a diferentes medidas de diámetro de superficie del filtro percolador de acuerdo a la longitud de los brazos de distribución. - Su construcción requiere de materiales consistentes y resistentes de acuerdo al diámetro del lecho filtrante. - Puede soportar elevadas variaciones de caudal. - Debe presentar resistencia a través del tiempo - Los distribuidores se fabrican para lechos con diámetros de hasta 60 m. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se aplica a filtros percoladores de superficie rectangular generalmente - Se construye sobre la superficie del filtro percolador, adoptando una geometría simétrica buscando una asperación homogea sobre el lecho. - Generalmente requiere de un mantenimiento continuo debido a taponamientos que se producen en los orificios del sistema de distribución. - En ambos casos se requiere de un tanque de alimentación, de operación y sistema de bombeo para tener un caudal mínimo suficiente para hacer girar el distribuidor (en caso de ser circular) y para evitar taponamiento en caso de ser rectangular, de otro lado permite tener mayor carga hidráulica.

Cuadro N° 19 : SISTEMAS DE DISTRIBUCION

Generalmente se presenta obstrucciones en medios menores a 2.5 cm, debido al poco espacio existente entre las piedras, ocurriendo problemas en caso de tener exceso de sólidos suspendidos. A una mayor concentración de Carga Orgánica, se requiere un medio filtrante grande, esto permite tener un mayor volumen de vacíos entre los intersticios de las piedras con poca obstrucción debido a las grandes masas de crecimiento biológico esperado.

Las piedras de gran diámetro no permiten la obstrucción de los poros, pero tienen un área superficial relativamente pequeña por unidad de volumen, debido a ello no pueden soportar una población biológica tan grande.

La profundidad del medio filtrante, es variable de acuerdo al diseño y tipo de filtro, en el cuadro N° 20 se detalla algunas recomendaciones. La selección del medio filtrante, dependerá en gran medida de las características del desecho, si tiene altas o baja carga orgánica. El medio filtrante reviste una gran importancia, ya que es el soporte y medio ambiente de la flora y fauna biológica que realiza el trabajo de depuración de las aguas servidas.

En algunos filtros se emplean piedras más grandes en la parte interior para que sirvan de soporte a los demás, formando una transición entre el medio y los ladrillos especiales del fondo. La roca se seleccionan

GRANULOMETRIA	PROFUNDIDAD DE LECHO FILTRANTE (m)	AUTORES
2.5 - 7.5	-----	Metcalf - Eddy
6.0 - 10.0 cm.(Ø. medio)	1.0 - 5.0	Ing. Max Lothar Hess
2.5 - 10.0 cm (1 a 4 pulg.)	1.5 - 3.50 (Promedio 2.0)	Horaciò Muñoz - Colombia Universidad de Antioquia

Cuadro N° 20 : RECOMENDACIONES GRANULOMETRICO PARA UN LECHO FILTRANTE

RELACION DE MATERIALES USADOS EN LECHO DE LOS FILTROS PERCOLADORES
<ul style="list-style-type: none"> - Escoria de alto horno - Piedra pomez - Grava - conglomerados (río) - Trozos de ladrillo - Material sintético - Roca volcanica - Antracita

Cuadro N°21 MATERIALES USADOS EN LECHO FILTRANTE

cuidadosamente para obtener preferentemente forma esférica, debido a que las rocas planas tienden a producir una compactación del lecho y a reducir el volumen de vacíos. Actualmente se utilizan en algunos casos particulares los medios filtrantes de plásticos aplicable a medios industriales. El cuadro N° 21, muestra una relación de los materiales empleados normalmente como lecho del Filtro Percolador.

Las piedras con diámetros menores a 2.5 cm, no proporcionan suficientes espacios intersticiales que permitan la adecuada circulación del agua residual y de los sólidos, esto produce obstrucción del medio filtrante y el estancamiento del mismo.

La selección del medio filtrante, depende principalmente de las características del desecho.

5.4.3 Configuración del drenaje interno (sistema de drenaje)

El sistema de drenaje consiste en una serie de canales, los cuales descargan en un gran canal colector, el cual normalmente se diseña a lo largo del diámetro del filtro Ver Fig. N° 13. Una función importante del canal es permitir el paso de grandes volúmenes de aire al lecho filtrante, para mantenerla en condiciones aerobias.

El sistema de drenaje está compuesto de bloques de gres vetrificado por su resistencia estructural, a los efectos abrasivos y corrosivos de ciertas

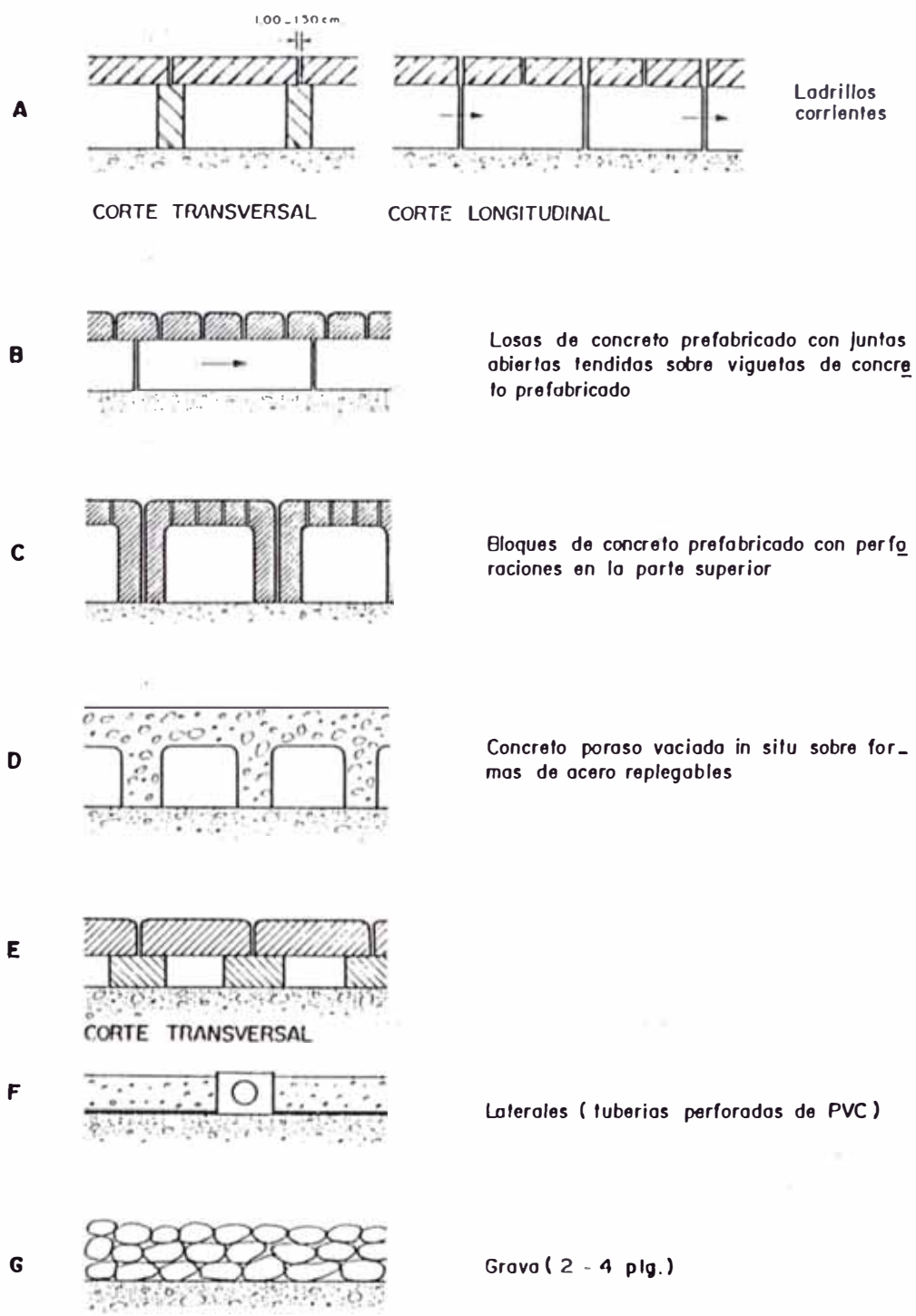


FIG. 13

SISTEMA DE DRENAJES APLICABLE A FILTROS PERCOLADORES

descargas.

El drenaje debe diseñarse para que permita el paso del máximo volumen de aire y efluente que garantice un funcionamiento del filtro a su máxima eficiencia. En la fig. N° 13 se presenta diferentes tipos de sistemas de drenaje usados en los filtros percoladores.

El sistema de drenaje puede ser de ladrillos, tiene formas diversas como ladrillos destinadas a permitir el paso del agua y aire, así como evitar la acumulación de los fangos formados en el interior del filtro y donde podría tener origen el desarrollo de condiciones anaerobias. Se deben preveer aberturas en las paredes externas para que el aire pueda ingresar o salir libremente.

El sistema de drenaje (recogida) recibe el agua residual filtrada y los sólidos descargados del medio filtrante, y los lleva a un conducto que se prolonga hasta el tanque de sedimentación final. El sistema se compone de la solera del filtro del canal de recogida y de los drenes inferiores; los drenes se colocan directamente sobre la solera del filtro que tiene una pendiente del 1 al 2% hacia el canal colector.

El fondo del filtro percolador debe estar bien revestido, para que no sufra corrosión por acción del desagüe que contiene gas sulfídrico y otros compuestos, al entrar en contacto con el oxígeno.

5.4.4 Ventilación en el filtro percolador

La diferencia de temperatura entre el agua residual y el aire del medio ambiente, produce un intercambio de calor en el interior del medio filtrante. El cambio de temperatura del aire en el interior del filtro causa un cambio de densidad produciéndose una corriente de convección perjudicial al proceso.

La ventilación producida por acción natural es recomendable en los filtros percoladores. Se debe considerar:

- 1) Los drenes inferiores y canales de recogida han de diseñarse para que fluyan llenos solamente hasta la mitad de su altura proporcionando un adecuado paso para el aire.
- 2) En ambos extremos del canal central de recogida se instalarán cámaras de registro para la ventilación.

Los filtros se diseñaran de modo tal que todo el medio filtrante pueda inundarse con agua residual y a continuación desaguar sin provocar rebosamiento, la inundación es un eficaz método para lavar un filtro, corregir el estancamiento y controlar las larvas de moscas que se acumulan en el filtro.

5.5 Período de retención

El período de retención en los filtros percoladores es de difícil determinación, debido a que esta relacionado a factores importantes como:

- Carga Hidráulica
- Espesor de la cama de soporte (profundidad)
- Espesor de la capa biológica
- Homogenización del filtro.
- Grado de obstrucción del filtro.
- Temperatura, viscosidad.
- Forma, tamaño y naturaleza de las piedras.
- Area específica (m² de superficie de las piedras por un m³ de volumen de filtro); etc.

No existe una expresión de matemática completa que exprese estos parámetros, para fines generales, se representa mediante:

$$t = \frac{CHA^m}{Q^n}$$

Siendo:

- t : Tiempo de retención (horas)
- H : Altura del filtro (m)
- A : Area específica (m² de superficie de las piezas por m³ de volumen del Filtro).
- Q : Carga hidráulica (m³/m²/día)

C, m y n: Constantes, dependen del Area Específica, de la forma de las piezas, del espesor de la película biológica. Estos valores se determinan experimentalmente.

Algunos estudiosos teóricos indican que n es aproximadamente igual a 0.333 para flujo laminar, y a 0.667 para flujo turbulento (25).

Para esferas, canto rodados, y material plástico (Polygrid) sin recubrimiento de limo, el valor de C es 0.70 y el valor de m es 0.75 (8). Estos valores varían para otro tipo de medios filtrantes. El exponente n disminuye cuando la superficie específica (A) del medio disminuye.

La Preferencia de la película biológica puede aumentar considerablemente el tiempo de contacto, por lo cual es conveniente determinar dicho tiempo cuando el medio ya tiene recubrimiento.

Otra manera de determinar el período de retención, es mediante el uso de trazadores, reactivos químicos y/o Isótopos radiactivos.

5.6 EFICIENCIA DEL FILTRO PERCOLADOR

La eficiencia de un filtro Percolador o del filtro en el caso de más filtros en serie se determina por la siguiente expresión.

$$E_i (\%) = \frac{100}{1 + 0.443 \sqrt{\frac{w}{vf}}}$$

Donde:

w = Kg. de DBO/día de desagüe predecantado.

v = Volumen útil del filtro percolador (m³)

f = Factor de Recirculación

$$f = \frac{(1 + r)}{(1 + 0.10r)^2}$$

RAZÓN DE RECIRCULACIÓN	Nº VECES QUE UNA PARTIDA DE AGUA PASA	FACTOR DE RECIRCULACIÓN
r = 0	1.0	f = 1.00
0.5	1.5	1.36
1.0	2.0	1.65
1.5	2.5	1.88
2.0	3.0	2.09
2.5	3.5	2.31
3.0	4.0	2.51

La eficiencia del Filtro Percolador en función de la concentración de DBO_t está determinado por:

$$E_{DBO} (\%) = \frac{DBO_t (\text{afluente}) - DBO_t (\text{Efluente})}{DBO_t (\text{afluente})}$$

La eficiencia de dos filtros percoladores en serie está determinado por:

$$E_i (\%) = \frac{100}{[1 + 0.443 \sqrt{\frac{W}{Vf}}] / [1 - E1]}$$

Donde:

Wi = Kg DBO efluente del primer filtro

E1 = Eficiencia del primer filtro (%)

E2 = Eficiencia del segundo filtro (%)

5.7 COLIFORMES

La presencia de los coliformes en un cuerpo de agua, es un indicador de calidad del líquido, los microorganismos patógenos presentes en dichas fuentes, de agua proceden generalmente de actividades biológicas propias del organismo humano. En el intestino grueso del hombre, habitan una serie de especies de bacterias, entre ellos los *Escherichia coli* microorganismos similares como son los coliformes, estreptococos fecales y *Clostridium perfringens* que son evacuados junto con las materias fecales. Se consideran coliformes a toda aquella bacteria capaz de fermentar y producir gas en 48 horas y a 37°C, cuando es sembrado en un caldo lechoso en condiciones aerobias. (5)

De toda la variedad de especies de coliformes conocidos, no todos son patógenos. Sin embargo en los sistemas de tratamiento, se procura la eliminación de coliformes en

su conjunto, sin priorizar la eliminación de las bacterias patogénicas, los protozoarios, los gérmenes y principalmente los virus.

Un estudio realizado en 1528 especies bacterianas, se muestra que de 36 especies de coliformes, 26 no son encontrados en las heces, 8 pueden ser encontrados en las heces, y 2 son exclusivamente fecales: la escherichia coli y escherichia aurescens. De estas dos que son exclusivamente fecales, apenas una variedad es escherichia coli patogénica causante de la llamada diarreas aguda infantil.
(5)

Estudios desarrollados en Río de Janeiro (Brasil), demuestran que de mil muestras de escherichia coli aislados de desagüe crudo, apenas 243 (24.3%) fueron patogénicas. Igualmente, experimentalmente se evidencia que la escherichia coli representa un 30% del total de coliformes fecales en desagües sanitarios y el 20% de coliformes totales. De la evaluación realizada de estos porcentajes, se concluye que los coliformes patógenos son apenas 3.8% de la totalidad de microorganismos denominados coliformes. (5)

Algunos estudios en otros países recomiendan una relación entre los coliformes totales y fecales de 5:1 (promedios), aunque no se debe tomar como una proporción absoluta, ya que frecuentemente no se dio en los estudios realizados en el Brasil, por lo que no se recomienda la fijación de una proporción. En el cuadro N° 22 se presente el contenido de coliformes esperados en algunos efluentes.

DESCRIPCION	REDUCCION MAX (%)	N.M.P. (N° /100ml)
Doméstico crudo		$4 \cdot 10^9$
Primario	75	$1 \cdot 10^8$
Filtros Percoladores (después del primario)	95	$5 \cdot 10^6$
Lodos activados (después del primario)	98	$2 \cdot 10^6$
Laguna de estabilización	99,9	$4 \cdot 10^4$

Cuadro N° 22 : CONTENIDO DE COLIFORMES ESPERADO EN VARIOS EFLUENTES

Los análisis de laboratorio para la determinación de microorganismos patógenos en el agua se ve limitado debido a que:

- Los microorganismos patógenos están presentes en el agua en forma esporádica y no sobreviven mucho tiempo, por lo que su presencia en una muestra analizada en el laboratorio pueden no estar presentes.
- En los exámenes de laboratorio, pueden pasar desapercibidas en muestras presentes en pequeñas cantidades. En la Fig. N° 14 se muestra la determinación de coliformes en laboratorio. La utilización de los coliformes como indicador de contaminación, no necesariamente debe ser considerado como definitivo para determinar la calidad del agua debido a que generalmente el número de coliformes encontrados en una muestra de agua no guarda correlación con los parámetros indicadores de polución como la DBO, sólidos suspendidos, sedimentables, etc.

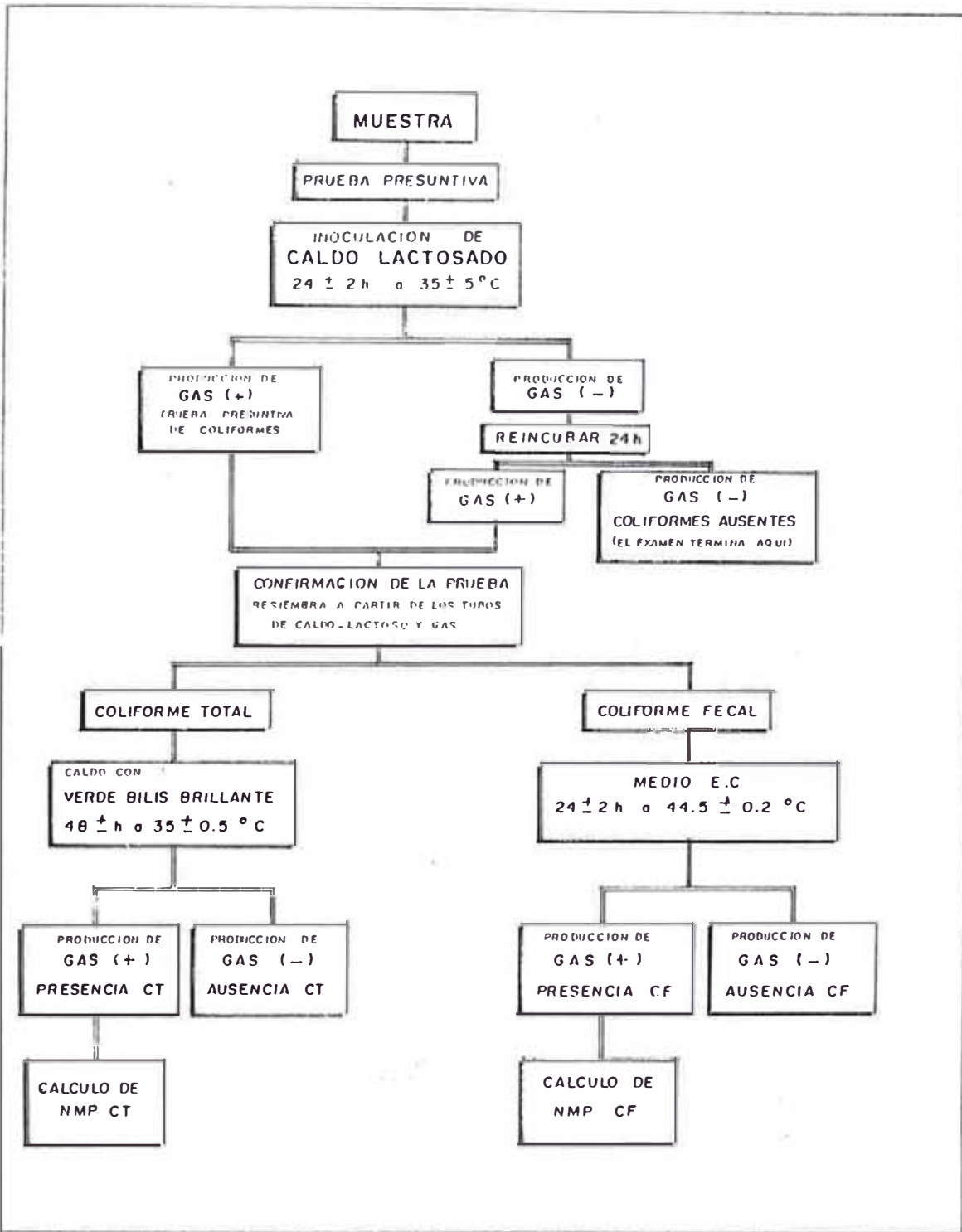


FIG. 14 : DETERMINACION DE COLIFORMES TOTALES Y FECALES (TUBOS MÚLTIPLES)

5.8 ASPECTOS BIOLOGICOS

Un organismo para el mantenimiento de sus funciones vitales, debe tener una fuente de energía y de carbono, para su desarrollo metabólico la elaboración del nuevo material celular. En ese fin, la presencia de micronutrientes orgánicos e inorgánicos son vitales para la síntesis celular. Los métodos de tratamiento en los que predomina la aplicación de principios físicos se conoce como operaciones unitarias. Los métodos en que la reducción de los contaminantes se efectúa a través de procesos biológicos o químicos se les denomina procesos unitarios en el Cuadro N° 23 se indica los procesos biológicos de acuerdo a cada sistema de tratamiento.

PROCESO	SISTEMAS	CARACTERISTICA
AEROBIOS	<ul style="list-style-type: none">- Lodos activados- Lagunas- Filtros percoladores- Zanjas de oxidación	Eliminación de materia orgánica soluble o coloidal
ANAEROBIOS	<ul style="list-style-type: none">- Proceso de contacto- Digestión- Tanque Imhoff- Lagunas	Estabilización de materia orgánica y lodos biológicos.

Cuadro N° 23 : PROCESOS BIOLOGICOS UNITARIOS

Hawkes, especialista inglés, quien ha desarrollado

estudios respecto a la ecología y dinámica de las poblaciones microbianas del lecho de filtros percoladores, considera que las bacterias HETEROTROFICAS formadores de zooglea son los consumidores de materia orgánica predominante, pudiendo para ello ser considerado como los principales agentes primarios de purificación cuyos agentes finales serían las bacterias autotróficas nitrificantes que no pueden competir con las primeras en regiones ricas en materia orgánica, por ello se localizan en las zonas inferiores del filtro. Según Hawkes, los hongos rivalizan con las bacterias heterotróficas, como principales consumidores de materia orgánica. (14)

El ambiente ecológico que se desarrolla en un filtro percolador, está en función de factores importantes como la materia orgánica, oxígeno, luz, temperatura, ph, etc. Cuando el filtro biológico es puesto en servicio y el desagüe afluente trae las matrices de la población que se instalará en forma de huevos, quistes o individuos reproductores, las especies libres en forma de natas contenidas en el medio líquido son con ellas arrastradas a través del lecho, adheriéndose y fijando en las piedras.

La presencia de luz solar en la superficie del filtro, permite la vida de algas u otros animales superiores.

COOKE e HIRSCH, citan la siguiente composición de la capa biológicamente activa que reviste las piedras del filtro percolador.

Predominancia de hongos acarreado también bacterias

y protozoarios en la capa superficial.

- Algas, en presencia de luz solar, filamentosas predominantes, filamento de hongos, protozoarios y germen nematodos en la espesa camada intermedia.
- Micélios de hongos adherentes a la piedra, envolviendo células de bacterias, algas y protozoarios.

Esta composición es común a todos los filtros percoladores variando apenas las especies con las tasas de filtración y las condiciones de trabajo del filtro (14)

Según HAWKES: "Los hongos son tan importantes como las bacterias en la degradación de la materia orgánica". (14)

Se indica además que la biomasa que forma la capa biológica no es solamente una zooglea más, sino es una variedad de microorganismos que forma la actividad celular en el filtro percolador, en sus diferentes estratos. En la cama superficial se presenta: hongos bacterias, protozoarios y algas filamentosas.

En la cama intermedia hay: hongos filamentosas, protozoarios, germen nematodos.

En la cama inferior hay: protozoarios y circulando libremente en toda la masa microorganismos móviles.

La película biológica tiene tendencia para crecer, debido a la multiplicación celular, con eso disminuye el tamaño de los intersticios entre las piedras y consecuentemente la velocidad de paso del agua, originándose así un efecto de erosión sobre la capa biológica de esta manera se mantiene el espesor de la capa aproximadamente

constante. El exceso de material celular es arrastrado para el efluente y retenido en sedimentadores finales. Los sólidos arrastrados en el efluente, acarrea parte de película biológica, la proporción de sólidos volátiles, nos da una idea mas completa de la cantidad de película desechada.

5.8.1 Película Biológica

La película biológica, esta compuesta de una masa biológica que contiene una variedad de microorganismos que proliferan dentro de un filtro. Se adhiere en la superficie del lecho como efecto de la fuerza de Van Der Waals. No existe una "goma" especial que mantiene adheridos a los microorganismos a la superficie de las rocas, únicamente existen fuerzas físico-químicas.

"La película biológica tiene tendencia para crecer debido a la multiplicación celular. Con eso disminuye el tamaño de los intersticios entre las piedras y consecuentemente aumenta la velocidad de paso del agua, originándose así un efecto de erosión sobre la capa gelatinosa".(6)

El exceso de materia celular es arrastrado por el efluente y retenido en sedimentadores finales. La película biológica que se desprende y sale del filtro con el efluente, es un fenómeno conocido como "descarga periódica" de los filtros de muy baja tasa de aplicación de la carga orgánica. Las bacterias

activas están en la parte superior del filtro y no es sorprendente ver apenas una delgada película de masa biológica en las piedras del fondo.

"La eficiencia de un filtro percolador, llega a un mínimo inmediatamente después del desprendimiento de la masa microbiana y es máxima cuando el lecho está recubierto por una película delgada conteniendo la masa microbiana", cuando el Filtro Percolador envejece se desprende una delgada capa biológica. En la Fig. N° 15 se detalla el desarrollo de la película biológica.

Los métodos de tratamiento en los que predomina la aplicación de los principios físicos, se conoce como generaciones unitarias. Los métodos en que la reducción de los contaminantes se efectúa a través de procesos biológicos o químicos se les denomina procesos unitarios.

5.8.2 Microorganismos

Los microorganismos se agrupan en tres reinos: animal, vegetal y protistas. Estos últimos son microorganismos unicelulares o multicelulares sin diferenciación de tejidos.

Cada célula contiene ácidos nucleicos, producto hereditario vital para la reproducción. La región citoplasmática contiene ácido ribonucleico (ARN) cuya función consiste en la síntesis de proteínas.

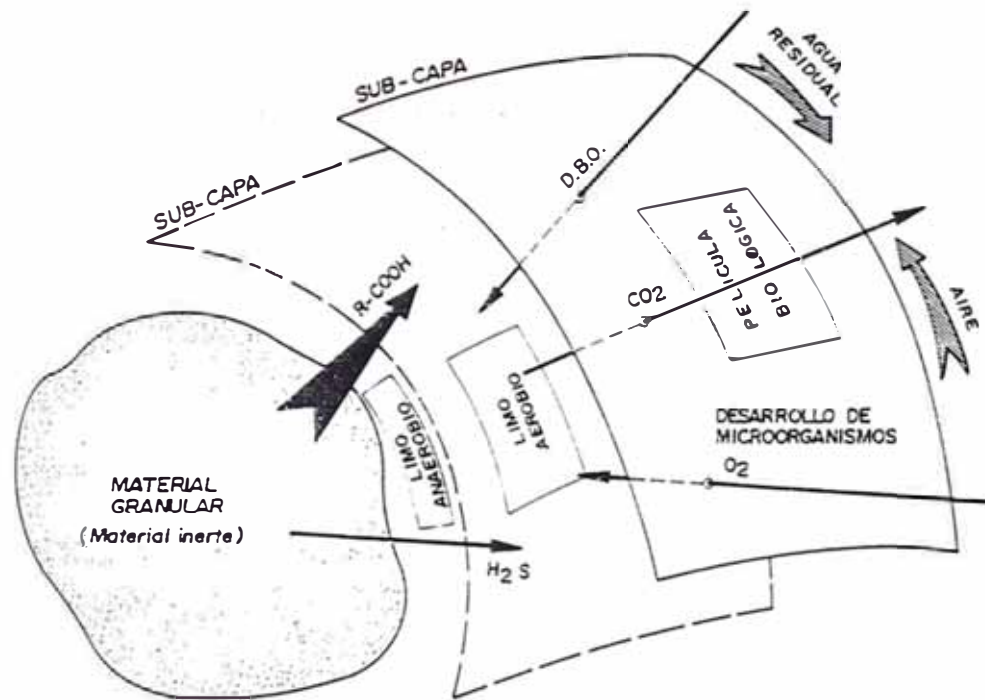


FIG. 15 : DESARROLLO DE LA PELICULA BIOLÓGICA

Esto se presenta en el cuadro N° 24

Reino	Miembros representativos	Caracterización
Animal	Rotíferos	Multicelulares Con diferencia de tejidos.
	Crustaceos	
Vegetal	Musgos	
	Hlechos	
	Plantas de Semillas	
Protistas		
Superiores*	Algas superiores	Multicelulares con diferencia de tejidos
	Protozoos	
	Hongos	
	Mucilagos	
Inferiores**	Algas verde-azules	
	Bacterias (protista unicelulares)	

* Poseen núcleo verdadero (células eucarióticas)

** No poseen membrana nuclear (células procarióticas).

Cuadro N° 24 LOS TRES REINOS DE LOS MICROORGANISMOS

Al interior de la pared celular se encuentra la región del núcleo rica en ácido desoxirribunucleico (ADN) el cual contiene toda la información necesaria para la reproducción.

A fin de continuar con sus funciones vitales, un organismo debe tener una fuente de ENERGIA y de CARBONO para la síntesis de nuevo material celular. La presencia de micronutrientes

orgánicos e inorgánicos son vitales para la síntesis celular.

Las fuentes más comunes de carbono para los microorganismos son el anhídrido carbónico y la materia orgánica. Los organismos que obtienen su materia orgánica del anhídrido carbónico se llama AUTOTROFO y si emplea la materia orgánica se les conoce como HETEROTROFOS.

La energía es también necesaria para la síntesis de nueva materia celular. En los organismos autotrofos, la energía puede ser proporcionada por la LUZ SOLAR, como en la fotosíntesis; o a través de una reacción de OXIDO-REDUCCION.

Si la energía fuese solar, el organismo se denomina AUTOTROFO FOTOSINTETICO. Si la energía fuese obtenida a través de reacciones inorgánicas de oxido-reducción se le conocerá como AUTOTROFO QUIMIOSINTETICO.

En organismos heterotrofos, la energía procede de la oxidación o fermentación de la materia orgánica. En el cuadro N° 25 se clasifican a los microorganismos.

CLASIFICACION	FUENTE DE ENERGIA	FUENTE DE CARBONO
Autótrofos Fotosintéticos Quimiosintéticos	luz Reacción inorgánica de óxido-reducción	Co ₂ Co ₂
Heterótrofos	Reacción orgánica de óxido-reducción	Carbono orgánico

Cuadro N° 25 : CLASIFICACION GENERAL DE MICROORGANISMOS SEGUN FUENTES DE ENERGIA

Los organismos también pueden clasificarse según su capacidad para utilizar el oxígeno en aerobios, anaerobios y facultativos. Del mismo modo, de acuerdo a la temperatura óptima de desarrollo se clasifican en criófilas o psicrófilas (12-18°C), mesófilas (25-40°C) y termófilas (55-65°C). Así mismo, el pH de la solución es un factor clave en el crecimiento de los organismos. La mayoría de estos no pueden tolerar niveles de pH por encima de 9.5 o por debajo de 4.0.

5.8.2.1 Fisiología de las bacterias

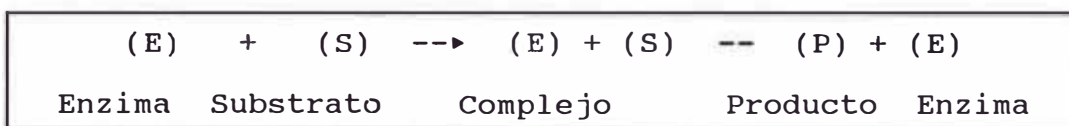
En razón de que las bacterias son los microorganismos más frecuentes en el tratamiento biológico, la discusión se centrará en ellas. El proceso por el cual los microorganismos crecen y consiguen energía es complejo y difícil. Las enzimas catalizadores orgánicos producido por la célula viviente son partes vitales en las reacciones implicadas en su desarrollo.

Las enzimas son proteínas o proteínas combinadas con una molécula inorgánica de bajo peso molecular y que tienden a aumentar la velocidad de las reacciones químicas sin alterarse. La actividad enzimática se ve substancialmente afectada por pH y la temperatura.

Existen dos tipos de enzimas: extracelulares y intracelulares. Cuando el substrato o nutriente

requerido por la célula no es capaz de penetrar la pared celular. La enzima extracelular convierte a ella en una forma tal que pueda ser transportada al interior de la célula.

Una reacción enzimática puede representarse por la siguiente ecuación general:



De hecho puede formarse una secuencia de complejos y productos antes de obtener el producto final.

Conjuntamente con el proceso enzimático, se requiere energía para que se lleve a cabo las reacciones bioquímicas de la célula. En la célula se libera energía mediante oxidación de la materia orgánica, inorgánica o por reacción fotosintética.

La energía liberada es capturada y almacenada en la célula por ciertos compuestos orgánicos, siendo el más común el adenosin trifosfato (ATF). La energía capturada por este compuesto se utiliza en la síntesis movilidad y mantenimiento de la célula.

Cuando la molécula de ATF ha consumido su energía se transforma en adenosin difosfato (ADF). Entonces la molécula de ADF está en condiciones de

capturar energía liberada de la ruptura de la materia orgánica e inorgánica. Ver (fig. N° 16)

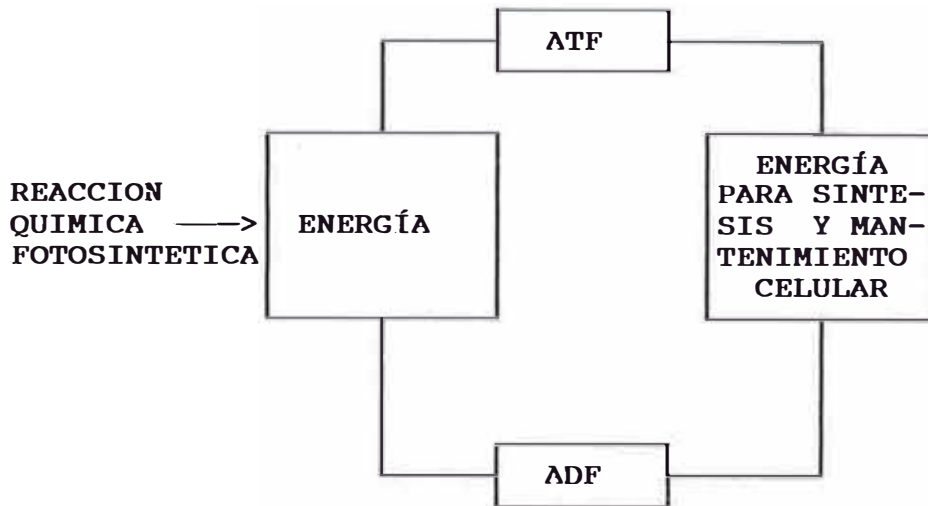


Fig. N° 16 : REPRESENTACION ESQUEMATICA DE TRANSFERENCIA DE ENERGÍA

Las reacciones bioquímicas liberan energía para las bacterias heterótrofas y autótrofas y se muestran en el cuadro N° 26

REACCION BIOQUIMICA	NUTRICION DE BACTERIAS
$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$	Heterótrofa aerobia
$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 3CH_4 + 3CO_2$	Heterótrofa anaerobia
$2NH_4 + 3O_2 \rightarrow 2NO_3 + 2H_2O + 4H^+$	Autótrofa quimiosintética
$5S + 2H_2O + 6NO_3 \rightarrow 5SO_4 + 3N_2 + 4H^+$	Autótrofa quimiosintética anaerobia

Cuadro N° 26: REACCIONES TIPICAS BIOQUIMICAS EXOTERMICAS

En resumen se puede indicar que el metabolismo total de las células bacterianas consiste en dos reacciones químicas: energía y síntesis. La primera libera energía de manera que pueda proseguir la segunda reacción de síntesis.

El proceso general de disminución de la masa celular se denomina respiración endógena.

5.8.2.2 Ciclos aerobio y anaerobio

Existen dos ciclos importantes de la naturaleza que suponen el crecimiento y descomposición de la materia orgánica. El ciclo aerobio emplea oxígeno en la descomposición de la materia orgánica y el anaerobio lo realiza en ausencia de Oxígeno. Ver anexo N° III y IV

En los sistemas aerobios, los productos finales de degradación de la materia orgánica se oxidan más y por lo tanto el nivel de energía en los productos degradados aerobiamente es menor que el logrado en la degradación anaerobia. Consecuencia de ello es que la degradación anaerobia es un proceso mucho más lento.

5.8.2.3 Crecimiento bacteriano

La forma general de producirse el crecimiento bacteriano se muestra en el anexo N° V El modelo de crecimiento tiene más o menos cuatro fases diferenciadas.

1. **Fase de retardo.-** Representa el tiempo necesario para la aclimatación a sus nuevas condiciones climáticas.
2. **Fase de crecimiento logarítmico.-** Durante esta fase la célula se divide a una velocidad determinada por su tiempo de reproducción y capacidad de procesar alimentos. (hay exceso de alimentos alrededor de los microorganismos)
3. **Fase estacionaria.-** La población permanece estacionaria como consecuencia: a) agotamiento del substrato o nutrientes, y b) el crecimiento de las nuevas células se equipara con la muerte de la células viejas.
4. **Fase de muerte logarítmica.-** La tasa de muerte de bacterias excede a la capacidad de producción de nuevas células. Esta etapa se puede dividir en dos: a) crecimiento decreciente y b) fase endógena en donde el microorganismo metaboliza su propio protoplasma sin posibilidad de reposición del mismo. En esta etapa suele presentarse el fenómeno de LISIS, en que los nutrientes que quedan en las células muertas se difunden con objeto de proporcionar alimento a las células vivas.
En las unidades de tratamiento biológico,

la población microbiana es compleja e interrelacionada entre ellas y en la que cada microorganismo tiene su propia curva de crecimiento. Un ejemplo de variación se muestra en el Anexo N° V

5.8.2.4 Factores que afectan las reacciones biológicas

- a) **Temperatura.-** Aparte del grado de mezcla, período de retención, carga orgánica, concentración de oxígeno, recirculación, diversidad y tipo de microorganismos, la temperatura influye substancialmente en la velocidad de reacción de los microorganismos.
- b) **Luz.-** En donde los microorganismos autótrofos fotosintéticos están presentes, la luz tiene un rol principal en el funcionamiento de los reactores en vista de que la fuente de oxígeno se logra mediante acción de la fotosíntesis. Ha sido demostrado que existe un mínimo de luz para lo cual la producción de oxígeno supera a la consumida por la respiración. Del mismo modo existe un máximo de intensidad lumínica la cual inactiva la actividad fotosintética por acción de la decoloración de la clorofila.

- c) **Toxicidad.-** Muchos compuestos químicos son tóxicos a los microorganismos. A altas concentraciones, estas sustancias los matan y a condiciones subletales puede resultar beneficiosa para su desarrollo.
- d) **pH.-** Es un factor clave en el crecimiento de los organismos, la mayoría no puede tolerar niveles de pH por encima de (9.5) ni debajo de (4.0). Por lo general, el pH óptimo para su crecimiento se encuentra entre 6.5 - 7.5.

5.8.2.5 Protozoarios

Se localizan generalmente en la parte superficial del Filtro Percolador. Representa la mayor población animal en el Filtro Percolador predominan en todas las capas, las especies varían de acuerdo a las características de trabajo del Filtro depende de la variación de carga orgánica y de las condiciones ambientales. Siendo las más comunes:

Los Protozoos, que normalmente se encuentran en el filtro son de tipo ciliata. Su función no es estabilizar el agua residual sino el de controlar la población bacteriana.

Los protozoos, se presentan generalmente en una mayor cantidad que las bacterias, a la vez consumen bacterias como fuente de

energía, de esta manera los protozoos actúan como purificadores de los efluentes de los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales al consumir bacterias y partículas orgánicas.

5.8.2.6 Rotíferos.- El movimiento peculiar de sus pestañas giratorias sobre su cabeza permite alimentarse de bacterias dispersas y pequeñas partículas de materia orgánica.

5.8.2.7 Algas.- Se desarrollan en las paredes del filtro percolador y en las superficies de las piedras. No contribuyen en la estabilización de los desechos por su requerimiento del exceso de iones inorgánicos de los mismos. Se desarrolla sobre la superficie del Medio filtrante, por su necesidad de luz, su crecimiento exagerado genera problemas de taponamiento en el Filtro Percolador.

5.8.2.8 Hongos.- Son microorganismos estrictamente aeróbios, están presentes solo en aquellos lugares donde hay presencia de oxígeno disuelto, en el medio filtrante alternan con las bacterias para la asimilación de sus alimentos en condiciones de ambientes normales, se ve limitado su desarrollo, un pH bajo se

requiere para su desarrollo

5.8.2.9 Bacterias.- Son protistas unicelulares, consumen alimentos solubles, por lo general se encuentra donde haya alimento y humedad.

El Filtro Percolador está compuesto principalmente de Protistas (unicelulares) bacterias facultativas, aerobias y anaerobias, su misión es descomponer la materia orgánica del Agua Residual.

En el cuadro N° 27 se presentan los microorganismos que participan en la estabilización biológica en un filtro percolador convencional.

VEGETALES	ANIMALES
<p align="center">Bacterias</p> <ul style="list-style-type: none"> - Beggiatoz (anaerobia) - Shaeotilus nataus (filamentosa) - Balularia pullulaus - Corniothyrium fuckelle (coramorelada) - Alcaligenes faecalis (coramorelada) - Nitrosomonas - Nitrobacter (nitrificado) $\text{NH}_3 \rightarrow \text{NO}_2 \rightarrow \text{NO}_3$ - Chromatium (anaerobia) - Spirillum (anaerobia) - Nocadia Streptomyces (actinomicetos) 	<p align="center">Protozoarios</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fitomastigofora (predomina en las capas superiores donde hay una mayor concentración organica en este lugar compite con las bacterias) - Operaculeria - Paramecium - Euplotes - Peranema - Ciliados (predomina a lo largo de la profundidad de Filtro Percolador en las partes aerobias) los aliados libres predominan en las regiones superiores)
<p align="center">Hongos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fusarium agua eductum - Leptomitus lacteus. - Geotrichum candidum - Pulularia pullulaus - Ascoidea rubescens. 	<p align="center">Metazoarios</p> <ul style="list-style-type: none"> - Psychoda - Polypedilum - Rotifera
<p align="center">Algas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Algas filamentosas - Algas verde-azules - Nitzchia chuniana - Stigeodonium - Euglena (fito flagelado) - Chiorella Vulgaris - Oscillatoria tenuis - Phormidium - Ulothrix Cylindricum - Zooglea Ramigera 	<p align="center">Animales superiores</p> <ul style="list-style-type: none"> - Lombrices - Caracoles - Larvas de Insectos (se desarrolla en zonas erobias, se alimentan de las capas biológicas fuente de los microorganismos del Filtro Percolador)

Cuadro N° 27 : ORGANISMOS QUE PARTICIPAN EN EL PROCESO DE ESTABILIZACION EN UN FILTRO PERCOLADOR CONVENCIONAL

6. METODOLOGIA DE LA EVALUACION

6.1 UBICACION DE LA PLANTA

El Filtro Percolador Piloto, está ubicado en el interior de la Planta de Tratamiento de Aguas residuales de SEDAPAL denominado Carapongo a 17.5 Km. del centro de Lima por la carretera central ruta al distrito de Chosica.

Localidad : Ñaña
Distrito : Chosica
Provincia : Lima
Departamento: Lima

6.2 DESCRIPCION DE LA PLANTA PILOTO

A continuación se detalla las características generales del sistema de tratamiento el cual consta de:

6.2.1 Reactor anaerobio de flujo ascendente (R.A.F.A)

El agua residual cruda ingresa al reactor anaerobio de flujo ascendente (R.A.F.A) a través de una línea de tubería de P.V.C. \varnothing 4". Consta de una estructura de concreto reforzado de (50m³) de capacidad de forma cúbica de 3.50 m de lado y 4.50m de profundidad. La estructura interna del RAFA, está constituido por un solo compartimiento distribuido mediante un sedimentador invertido para la salida de los gases.

6.2.2 Medidor de caudal

Adyacente a la estructura RAFA, se encuentra un medidor de caudal constituido por un pequeño vertedero triangular, mide el flujo efluente del RAFA (Afluente al Filtro Percolador)

6.2.3 Línea de conducción

Permite el flujo del efluente del RAFA al Filtro Percolador, consta de una línea de tubería P.V.Cø4", empalmado desde el vertedero medidor del caudal de salida del RAFA hasta un tanque de aproximadamente 0.80 por 0.80 de lado por 1.10 m. de profundidad, desde donde se realiza el bombeo al tanque de compensación.

6.2.4 Sistema de bombeo

Constituído por un tanque de concreto armado enterrado, desde el cual mediante una bomba sumergible tipo (Marca EBARA SELF-PRIMING, de 60Hz y 0.75kw) se impulsa el líquido al tanque de compensación a través de una tubería PVCø1".

6.2.5 Tanque de compensación

La importancia en mantener una carga hidráulica disponible, un flujo constante, requiere de un tanque cilíndrico de A.C. ø 0.60m. El nivel de fondo del tanque se encuentra a 0.60 m. por encima de la superficie del Filtro Percolador sobre una

plataforma cónica de sección plana.

El ingreso de flujo al tanque se realiza a través de una tubería de PVCØ1" empalmado a la bomba sumergible, la tubería de rebose es de PVCØ2" empalmado al tanque de la bomba sumergible.

Próximo a la base del tanque sale dos líneas de tuberías Ø3/4" c/u. que se empalma a la línea de distribución sobre el filtro percolador.

El tanque de compensación permite tener una carga hidráulica con suficiente presión, obteniéndose un riego uniforme sobre la superficie filtrante.

6.2.6 Filtro percolador piloto

6.2.6.1 Estructura del Filtro Percolador

El filtro percolador es una estructura de concreto armado de sección cuadrangular de aproximadamente 3.00 m de lado y una profundidad de 1.10m, formado por concreto de 0.05 m de espesor (ver plano).

6.2.6.2 Sistema de Distribución

El sistema de distribución es fijo, a través de tuberías de pvc Ø 3/4", tendido sobre la superficie del filtro percolador. El líquido sale por los orificios de Ø 1/8" espaciados simétricamente sobre el filtro percolador en un número de 12 orificios, permitiendo un riego uniforme sobre el

lecho filtrante.

6.2.6.3 Medio Filtrante

El filtro percolador evaluado, está constituido por un material inerte sólido resistente que sirve como soporte a los organismos activos llamado lecho filtrante. Este medio de soporte está constituido de piedras cantos rodados de diámetro variable en el rango (2" - 4") distribuido heterogéneamente en todo el volumen del filtro Percolador hasta 1.20 m. de profundidad. La granulometría del medio filtrante presenta una mayor área de contacto en comparación con otros materiales.

6.2.6.4 Sistema de drenaje

Está constituido por una losa de concreto de fondo liso cuyo efluente se realiza por una canaleta de sección cuadrada acoplado a una tubería de PVC \emptyset 2" regulado por una válvula de salida.

6.2.6.5 Sistema de ventilación

Esta constituido por 8 tuberías (2 cada lado) de PVC \emptyset 2" que penetra al filtro desde la superficie hasta una profundidad de 0.50 m. Su función es permitir condiciones aerobias sobre la película biológica del medio filtrante. Esta forma de ventilación se realiza en forma puntual en el

filtro. En la Fig. N° 17 se esquematiza las secuencias de las unidades de tratamiento a nivel piloto.

6.3 ETAPAS DE LA EVALUACION

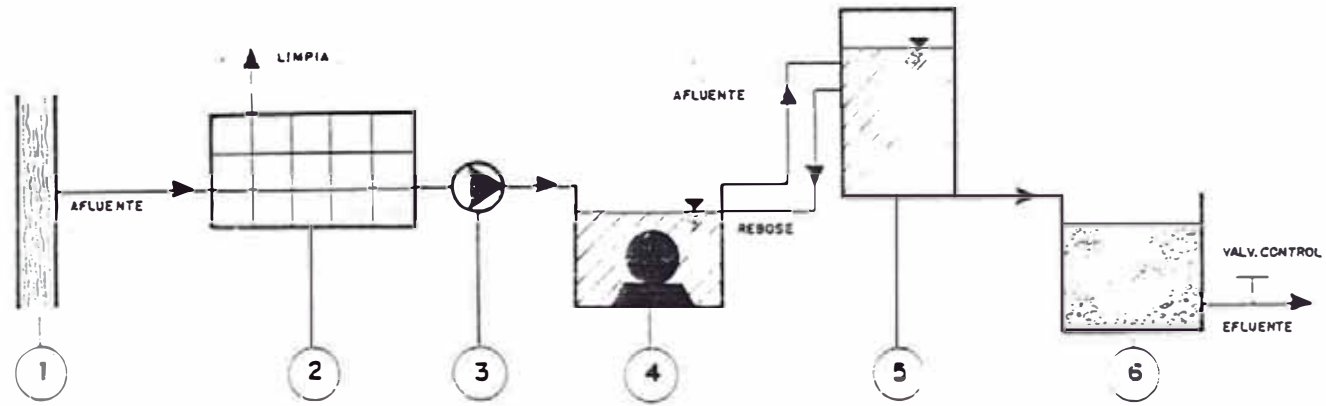
6.3.1 Procedimiento experimental

6.3.1.1 Aspectos previos

El diseño y construcción del Filtro Percolador (F.P.), fue realizado por técnicos de SEDAPAL de la planta de tratamiento de desagües de CARAPONGO/ÑAÑA. Esta unidad fue desarrollada a nivel experimental (escala piloto) para el tratamiento de los efluentes del Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (RAFA) de la misma planta de tratamiento. El filtro percolador empezó a funcionar en el mes de febrero de 1993, trabajando en forma discontinua hasta fines de abril; en los meses de mayo, junio y julio; adquirió mayor continuidad tanto en su funcionamiento como en su evaluación.

6.3.1.2 Característica del agua afluente al filtro percolador

Las aguas residuales que ingresa a la planta de tratamiento de desagües de Carapongo, forman parte de la contribución que generan los distritos de Chosica, Chaclacayo, etc., cuyos



- ① AGUA CRUDA
- ② REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (RAFA)
- ③ MEDIDOR DE CAUDAL (VERTEDERO TRIANGULAR)
- ④ SISTEMA DE BOMBEO (BOMBA SUMERGIBLE)
- ⑤ TANQUE DE COMPENSACION
- ⑥ FILTRO PERCOLADOR

FIG.17 : DIAGRAMA FLUJO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PILOTO

desagües canalizados, llegan a la planta de tratamiento, manteniéndose las condiciones ambientales sin mayor variación a lo largo del año. Debido a esto, no afectan el proceso del tratamiento.

Los resultados esperados en todo tratamiento, dependen en gran medida de las características físicas, químicas, microbiológica del agua a tratar. El agua que ingresa al filtro percolador viene de un pre-tratamiento inicial en el Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (RAFA); esta primera unidad de tratamiento cambia totalmente las características iniciales del agua cruda y repercute en el tratamiento que realiza el filtro percolador, en relación a un filtro convencional de tratamiento.

Generalmente las condiciones de un agua residual de origen doméstico se mantiene en un rango característico. tal como se observa en el Cuadro N° 28.

En el mismo cuadro, se muestran los cambios producidos en algunos parámetros de polución cuando el agua residual de origen doméstico, es tratada mediante un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA).

El agua que ingresa al filtro percolador proviene del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente, cuyas características se muestran en el cuadro N° 28. A partir de este punto se centra el desarrollo del presente trabajo. De acuerdo a ello, el estudio del

DESCRIPCION	T (°C)	PH	OD (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	DQO (mg/l)	SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/l)	SOLIDOS SEDIMENTADOS (mg/l/hr)	COLIFORMES(NMP/100ml)	
								TOTAL	FECAL
Agua cruda	20	7.0	0	280	560	270	270	-	1.7 [^] 10 [^] 9
Post-Tratamiento RAFA	20	6.6	0	32.7	-	20	0.16	7.5E+10 [^] 6	4.0e+10 [^] 6

Cuadro N° 28 : VARIACION DE PARAMETROS DE UN AGUA CRUDA Y UN RAFA

Filtro Percolador será considerado como un tratamiento no convencional.

Los siguientes diagramas de flujo, (Fig. 18 y Fig. 19) presentan los sistemas de tratamiento, con un filtro percolador convencional y no convencional respectivamente.

6.4 METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN

El programa experimental se desarrolló en 2 fases realizadas simultáneamente el mismo día de la evaluación.

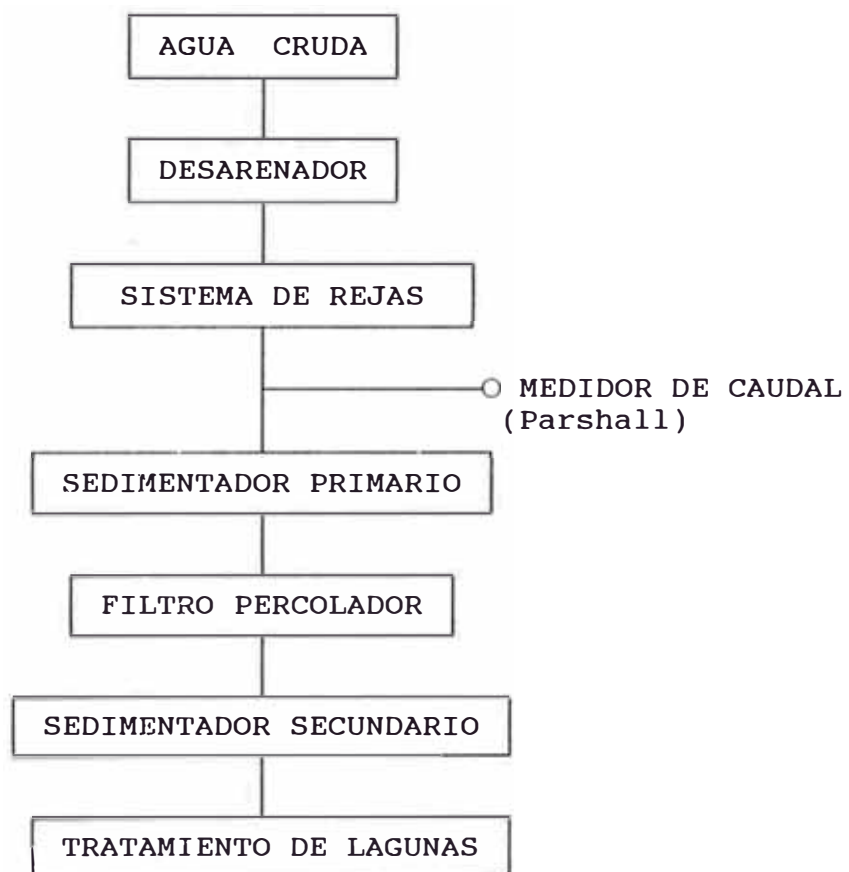


Fig. N° 18 : TRATAMIENTO CONVENCIONAL MEDIANTE UN FILTRO PERCOLADOR

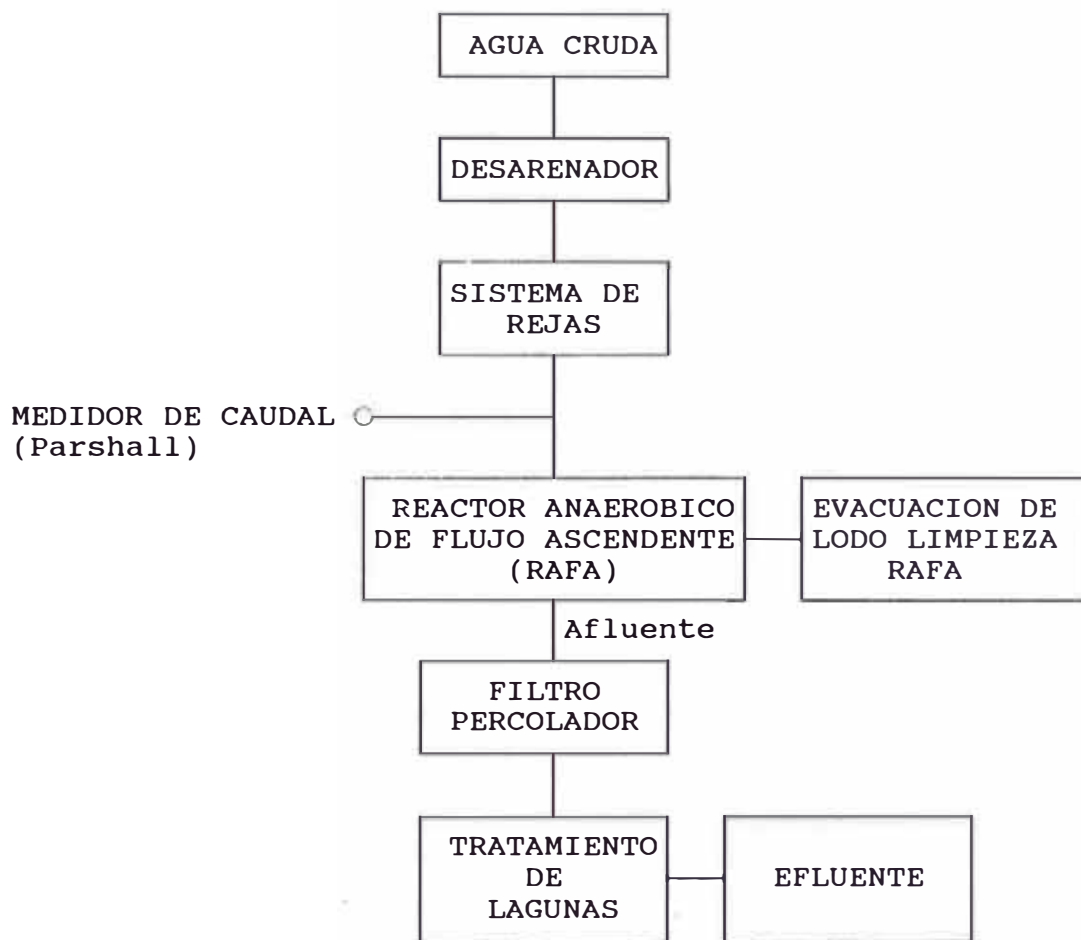


Fig. N° 19 : TRATAMIENTO NO CONVENCIONAL MEDIANTE UN FILTRO PERCOLADOR P.T. DESAGÜES / CARAPONGO

1º Fase:

Dirigido a determinar las características físicas, químicas, bacteriológicas y biológicas del agua afluente al filtro percolador.

2º Fase:

Consiste en determinar las características físicas, químicas, bacteriológicos (microbiológicos y biológicos) del efluente del filtro percolador.

La cuantificación, comparación y evaluación de los parámetros polucionantes y/o contaminantes antes y después del tratamiento en el filtro percolador, permitirá conocer la eficiencia del mismo.

Durante la evaluación se verificaron las condiciones necesarias para el desarrollo eficiente del filtro. Los parámetros tales como la temperatura, pH, desarrollo de la masa biológica, DBO, condiciones del filtro, son evaluados constantemente.

6.4.1 Procedimiento Analítico

Las muestras se tomaron semanalmente, en horas de la mañana en que se presenta la mayor concentración de carga contaminante.

Los análisis y pruebas se realizaron en los siguientes laboratorios:

- SADAPAL / Planta de Tratamiento de Desagüe Carapongo: Se determinaron los principales parámetros de polución (DBO, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables y sólidos totales.)
- SEDAPAL/ATARJEA: Se determinaron los coliformes totales y fecales.

- UNI/FIA LABORATORIO DE DETERMINACIONES FISICA-QUIMICA N° 20: Sólidos volátiles, sólidos fijos.

Las determinaciones de los parámetros en laboratorio se hicieron en base a las metodologías recomendadas por la bibliografía

6.4.2 Análisis Físico Químico

Los datos de los parámetros de polución, Tº, pH, etc., se realizaron según lo indicado en los métodos normalizados para el análisis de aguas residuales. (1)

6.4.3 Análisis Bacteriológico

Los análisis bacteriológicos se realizaron en el laboratorio de la planta de tratamiento de la Atarjea, para lo cual se llevaron las muestras de agua residual en frascos de 100 ml. limpio y esterilizado, con tapón de vidrio roscado. La metodología que se siguió para este análisis fue la "técnica de los tubos múltiples"

6.4.4 Análisis Biológicos

Los análisis biológicos están basados en determinar la mayor y menor cantidad y variedad de microorganismos presentes en el proceso, el cual consiste en la capacidad de estos en poder extraer de los residuos contenidos de las aguas servidas su

alimento, y para elaborar una película gelatinosa que, junto con los microorganismos constituye el elemento fundamental de todo sistema de tratamiento biológico aeróbico de esta naturaleza. Esta película biológica recibe el nombre de "Zooglea". Se caracteriza por su gran viscosidad y apariencia gelatinosa conteniendo una gran población microbiana.

6.4.5 Selección de Procesos

En el tratamiento de las Aguas residuales, es de primordial importancia la remoción de la Carga Orgánica y los Coliformes fecales. El desarrollo del R.A.F.A., permitió reducir enormemente la Carga Orgánica, como consecuencia de la implementación del nuevo sistema, se proyectó la construcción del Filtro Percolador como alternativa del tratamiento biológico para la remoción de los coliformes fecales.

Otra de las alternativas planteadas, consistió en el desarrollo de zanjas de oxidación, mediante el uso de plantas acuáticas.

Debido a condiciones técnicas, económicas, se optó inicialmente en la implementación de los Filtros Percoladores.

Las características físicas, químicas, bacteriológicas del agua Residual doméstico a tratar, determinaron los procesos que integran la

planta evaluada.

En el Cuadro N° 29 se detallan las unidades de tratamiento seleccionados de acuerdo a la remoción de parámetros esperado.

ETAPA	PROCESO	REMOCION	UNIDAD DE TRATAMIENTO
Preliminar	Cribado Desarenacion	Sólido de Gran tamaño Arena y Sólidos Suspendidos	Sistema de Rejas Desarenador
Primario	Sedimentación	Sólidos Suspendidos grasas, aceites, detergentes	Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (R.A.-F.A)
Secundario	Anaerobio	Materia Orgánica de Origen Carbonoso y Nitrogenado	
Terciario	Aerobio-facultativo	Bacterias Coliformes fecales sólidos suspendidos y coloidales	Filtro Percolador

Cuadro N° 29 SELECCION DE PROCESO

El proceso de tratamiento se proyecta para la remoción de la carga orgánica mediante el Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (R.A.F.A.) y la remoción de las Bacterias Patógenas mediante el Filtro Percolador.

6.4.6 Operación y Mantenimiento del Filtro Percolador

La Operación y Mantenimiento en una unidad

de Filtro Percolador es una rutina sencilla, siempre que este ha sido bien diseñado y construido. A excepción de los análisis físicos, químicos y bacteriológicos necesarios en todo sistema de tratamiento la operación y mantenimiento del Filtro Percolador, depende de la capacidad humana y material para realizar algunos cambios en el proceso.

A continuación en los cuadros N° 30 y N° 31 se detalla las actividades más importantes que se tuvieron en cuenta en la operación y mantenimiento del Filtro Percolador no convencional evaluado. En el cuadro N° 32 se detallan los problemas que con mayor frecuencia se presentaron durante la operación del filtro percolador evaluado.

6.5 PARAMETROS ESTUDIADOS

El conocimiento de la composición de las Aguas residuales, mediante los análisis de laboratorio y la interpretación de los resultados, permite la selección de los métodos de tratamiento más apropiado de acuerdo a la calidad de efluente requerido.

Las Aguas residuales de origen doméstico, está compuesto principalmente de Materia Orgánica presentes en forma de sólidos solubles, suspendidos y coloidales, evacuados por el ser humano, conjuntamente con los organismos patógenos provenientes del tracto intestinal generando un riesgo potencial para la salud.

ACTIVIDADES	DESCRIPCION	FILTRO PERCOLADOR EVALUADO
Control de Caudal de ingreso	Consiste en mantener un flujo constante del afluente al filtro percolador	El control de flujo afluente al filtro percolador se realiza mediante una pequeña bomba sumergible impulsando un caudal constante al tanque de compensación. A partir del tanque se vierte el líquido sobre el filtro percolador.
Inicio de funcionamiento del filtro	Consiste poner en operación el filtro percolador y prueba del sistema	Como primer paso en el funcionamiento inicial del Filtro Percolador, es poner en contacto el afluente con el lecho filtrante, vertiendo el líquido lentamente, para expulsar las bolsas de aire presentes en los intersticios de la piedra. Se inunda totalmente el filtro, luego se abre la válvula del efluente o descarga, luego se cuida el funcionamiento constante durante unas semanas hasta que se forme la capa biológica (zooglea) en un "proceso de maduración"
Control del equipo de bombeo	Consiste en verificar el funcionamiento del equipo, se requiere un chequeo diario del sistema	El funcionamiento del equipo de bombeo debe ser las 24 hrs. del día, esto garantiza un constante contacto del líquido con la granulometría del filtro, ello permite la permanencia de la película biológica. Esto en la práctica no siempre se cumple, se requiere de por lo menos dos bombas trabajando alternadamente.

Cuadro N° 30 : CONTROL OPERACIONAL DEL FILTRO PERCOLADOR

ACTIVIDADES	DESCRIPCION	FILTRO PERCOLADOR EVALUADO
TAPONAMIENTO DE BOQUILLAS ASPERSORAS	Cada orificio determina una tasa de efluente sobre el filtro percolador. La obstrucción de algunos de estos orificios afecta la homogenización en el riego más aún si es un sistema fijo.	La presencia de sólidos, constantemente obstruyen los orificios de las boquillas aspersoras. Mediante una varilla unido a un alambre, se logra limpiar estas partículas. esto se requiere realizar el trabajo constantemente durante el día.
LIMPIEZA DE TANQUE DE COMPENSACION	El agua residual bombeada al tanque de compensación, se sedimenta en el fondo del tanque	La limpieza del tanque de compensación se debe realizar sólo de ser necesario si se presenta lodo en el fondo.
CONTROL DE COLOR Y OLORES	Al presentarse condiciones anaerobias en el filtro percolador se produce cambios de procesos biológicos	Debido al pequeño volumen del Filtro Percolador no se presenta condiciones de color ni olor. La ausencia de algas evita la formación de color.
ELIMINACION DE VECTORES	Presencia de larvas, moscas, etc.	Se realiza inundándose periódicamente el filtro percolador, siempre que el operador lo crea conveniente.

Cuadro N° 31 MANTENIMIENTO DEL FILTRO PERCOLADOR

DESCRIPCION	FACTORES	OBSERVACIONES
Obstrucción y taponamiento de las boquillas de la red del tubo de distribución del líquido sobre el filtro percolador	<ul style="list-style-type: none"> - Por presencia de sólidos suspendidos en el afluente principalmente como desechos orgánicos, partículas de malezas, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se requiere limpiar en forma constante los orificios obstruidos. - Mantener constante la carga hidráulica y de esta manera la presión de salida del líquido por las boquillas. - Diseñar el sistema de distribución con boquillas distribuidas simétricamente. - Colocar una malla a la salida del R.A.F.A., a fin de retener los sólidos que obstruyen la tubería de distribución.
Obstrucción en el medio filtrante	<ul style="list-style-type: none"> - Si el filtro percolador presenta una granulometría con exceso de partículas pequeñas. - Por una mala operación exceso de Algas u otros. 	<ul style="list-style-type: none"> - En nuestro caso no se presentó este efecto, los sólidos suspendidos que ingresa al Filtro Percolador es mínimo. - La granulometría tiene un diámetro (2 a 4 pulg) de acuerdo a lo recomendado
Condiciones Anaerobias en la operación del Filtro Percolador	<ul style="list-style-type: none"> - Por otra concentración de la carga orgánica. - Por un mal manejo operacional. - Problemas en el sistema de ventilación del filtro. - falta de riego uniforme 	<ul style="list-style-type: none"> - El agua residual que ingresa a la P.T. Carapongo es esencialmente de origen doméstico, debido a la enorme reducción de la carga orgánica en el R.A.F.A. , el ingreso al filtro percolador tiene una gran mínima carga, a su vez se reduce las condiciones sépticas. - Por su pequeño tamaño y su baja capacidad, los efectos anaerobios no se manifiesta en el filtro percolador.
Presencia de Insectos en la superficie del Filtro	<ul style="list-style-type: none"> - Debido a una ineficiente carga hidráulica. - Mala distribución del líquido sobre el filtro. 	<ul style="list-style-type: none"> - Las mínimas condiciones sépticas, no permiten la presencia masiva de insectos: moscas, larvas, etc. - Se observa aisladamente algunas larvas muertas en el efluente del filtro. - No genera problema de operación.
Presencia de Sólidos en el efluente	<ul style="list-style-type: none"> - Por exceso de lodo en el filtro. - Alta concentración de sólido en el afluente. - Mala operación del sedimentador. (R.A.F.A.) 	<p>Es mínima la presencia de sólidos en el efluente, producido en mayor parte por el desprendimiento de las paredes del filtro y de la película biológica.</p>

Cuadro N° 32 : PROBLEMAS FRECUENTES PRESENTADOS EN EL FILTRO PERCOLADOR

Las características típicas de un Agua Residual se dividen en físicas, químicas y biológicas.

A continuación, se detalla los parámetros estudiados durante la evolución del Filtro Percolador.

6.5.1 Parámetros físicos

6.5.1.1 Temperatura

Es un parámetro indicador de la procedencia de las Aguas residuales, la temperatura habitual del Agua Residual es ligeramente mayor a la temperatura del Agua Potable, generalmente temperaturas elevadas corresponden a aguas residuales de origen industrial.

Durante todo el período de la evaluación, se realizó el control diario de la temperatura de Agua Afluyente y Efluente del Filtro Percolador.

6.5.1.2 Color

Un color gris-pardo, se presenta en aguas residuales que aún no tienen descomposición de sus componentes, un color negro, se presenta en agua residual totalmente descompuesta. Las aguas residuales de origen industrial generalmente presenta colores característico según el tipo de industria.

El color predominante del Agua Residual que ingresa al filtro percolador es gris claro, esto debido al pretratamiento realizado en el RAFA.

6.5.1.3 Olor

Indica el grado de descomposición de los componentes del Agua Residual, las condiciones sépticas es una medida rápida del estado del agua residual.

6.5.2 Parámetros químicos

6.5.2.1 Sólidos totales

Es una medida de la concentración de materia presente en las Aguas residuales, se tiene en este rubro los sólidos totales que se subdivide en sólidos orgánicos e inorgánicos, los cuales a su vez pueden estar suspendidos y disueltos.

Este residuo corresponde al residuo remanente después de secar una muestra de agua servida. Corresponde a la suma del residuo filtrable y no filtrable. El total de las aguas con alto contenido de materia orgánica se determina a (103-105°C.)

El Residuo Total de acuerdo a la naturaleza de los compuestos que lo constituyen pueden dividirse en residuo fijo y volátil. esta clasificación se obtiene secando el residuo total por segunda vez a 550°C.

6.5.2.2 Sólidos sedimentables

Representa el porcentaje de sólido suspendido decanta en aproximadamente una hora en un cono IMHOFF este tiempo es el equivalente al tiempo de retención en tanques de sedimentación primaria en plantas de tratamiento.

6.5.2.3 Sólidos Suspendidos

Son todos los sólidos presentes en un agua residual excepto los solubles y los sólidos en filtro estado coloidal. En general, puede decirse que los sólidos en suspensión son los que tienen partículas superiores a 1 micra. En la práctica los sólidos en suspensión son aquellos posibles de ser retenidos por una filtración en análisis de laboratorio.

6.5.2.4 Sólidos Volátiles y Fijos

Los sólidos volátiles representan la cantidad de sólidos presentes en un agua residual y que se volatilizan por calcinación a 550°C. El material restante que no se volatiza se considera los sólidos fijos. La mayoría de los sólidos volátiles son materiales orgánicos y la mayoría de los sólidos fijos son materiales inorgánicos. La expresión que relaciona los sólidos totales (ST), los sólidos volátiles (SV) y los sólidos fijos (SF), esta definido por:

$$ST = SV + SF$$

6.5.2.5 Oxígeno Disuelto

Determina las condiciones aerobias y/o anaerobias de un Agua Residual. La descomposición de la Materia Orgánica en las Aguas residuales, reduce el contenido de Oxígeno generalmente en condiciones normales la concentración de Oxígeno disuelto de las aguas residuales de origen doméstico es cero. Es una prueba significativa en la determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno. D.B.O.

Las fuentes de oxígeno en el agua son la aereación y la fotosíntesis de las algas. Su remoción se debe a la respiración de los vegetales, DBO de materiales orgánicos y sedimentos, de aereación, sobre saturación y reducción de inorgánicos. La concentración de saturación de oxígeno disuelto en el agua depende de varios factores especialmente la temperatura, presión y salinidad.

6.5.2.6 Demanda Bioquímica de Oxígeno (D.B.O)

Su determinación es de vital importancia en todo tipo de aguas residuales, representa la cantidad de Oxígeno requerido para estabilizar la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias, es una medida indirecta de la concentración de materia orgánica. La DBO, se determina a una temperatura de 20°C y 5 días de incubación.

La DBO representa una medida indirecta de la concentración de materia orgánica e inorgánica

degradable o transformable biológicamente.

6.5.2.7 Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O)

Representa una medida de la cantidad de materia carbonosa contenida en una muestra, esta determinación es importante cuando se trata de residuos industriales. Una de las principales limitaciones del análisis de DQO es la incapacidad de diferencia entre materia orgánica biológicamente oxidable y materia orgánica biológicamente inerte.

Además, no permite medir la velocidad con la que se estabiliza la materia biológicamente oxidable en condiciones normales. Sin embargo la mayor ventaja de la DQO es el corto tiempo que requiere la determinación, unas 3 horas en comparación con los 5 días que demora la DBO.

6.5.2.8 Determinación del pH

Es un indicador del grado de acidez o alcalinidad del agua Residual, su determinación, es importante en el comportamiento de sistemas de tratamiento biológico.

6.5.3 Características biológicas

6.5.3.1 Coliformes

Los microorganismos coliformes son considerados indicadores de posible contaminación de

un cuerpo de agua. Este grupo de bacterias comprende todos los bacilos aerobios y anaerobios facultativos, gram negativos, no esporulados que producen ácido y gas al fermentar la lactosa. Las especies clásicas de este grupo son escherichia coli y enterobacter aerogenes.

El E.Coli, es un habitante normal del intestino humano y de los animales, los E. Aerógenes se presentan frecuentemente en granos y plantas pero también en las materias fecales. La determinación de estas especies requieren de pruebas bioquímicas.(31)

6.5.3.2 Microorganismos

La presencia de los microorganismos presentes en las aguas residuales varía de acuerdo a la composición del agua residual, los hongos, protozoos, algas, bacterias y virus que habitan generalmente en aguas servidas.

Los microorganismos son organismos microscópicos vivos contenido en las aguas negras, podemos clasificarlas en forma general como bacterias y otros organismos vivos complejos.

Las bacterias pueden ser aerobias, anaerobias y facultativas, dependiendo de su requerimiento de oxígeno.

6.6 ASPECTO INSTITUCIONAL:

Durante la evaluación se ha recibido el total apoyo del personal de SEDAPAL en nivel de Planta de Tratamiento de Carapongo no se presento problema alguno del tipo institucional que afectara la evaluación a nivel de Planta Piloto.

El total de los análisis de laboratorio se realizó en la misma Planta de Carapongo, El análisis de coliformes se realizó en la P.T. Atarjea.

6.7 ASPECTO HUMANO:

Para el desarrollo de la evaluación en general se contó con la participación de 01 microbiólogo, 01 técnico calificado y 01 operario garantizando de esta manera el normal funcionamiento de la planta y análisis de las muestras reportados.

7. PRESENTACION E INTERPRETACION DE RESULTADOS

La información recopilada del filtro percolador evaluado, permite cuantificar la conveniencia o no del uso del Filtro Percolador como un sistema de post-tratamiento del RAFA.

La interrelación de los parámetros determinados con la eficiencia del filtro requiere una interpretación global de los resultados; sin embargo las deducciones de todo parámetro son importantes para un mejor análisis.

Analizaremos en orden, la variación de los parámetros para luego hacer una interpretación global de los resultados.

7.1 PARAMETROS ESTUDIADOS

7.1.1 Temperatura, pH, Oxígeno Disuelto (OD)

La Temperatura fue determinada en campo, mientras que el pH y Oxígeno Disuelto en el laboratorio; los resultados se presentan en el cuadro N° 33.

En las Gráficas N° 1 y 2, se muestran las curvas que representan la variación de la Temperatura, pH, Oxígeno Disuelto, durante el tiempo de Evaluación.

La temperatura promedio del afluente al Filtro Percolador fue de 20.0°C; por la ubicación de la Planta de Tratamiento de desagües de Carapongo

MUESTREO		ANALISIS		PARAMETROS					
				TEMPERATURA (°C)		pH		OD (mg/l)	
FECHA	HORA	FECHA	HORA	AFLUENTE	EFLUENTE	AFLUENTE	EFLUENTE	AFLUENTE	EFLUENTE
12/05/93	10:30	12/05/93	11:00	20,5	20,0	6,8	7,0	0,0	3,6
17/05/93	09:30	17/05/93	10:00	20,0	19,0	6,9	7,5	0,0	4,5
19/05/93	10:00	19/05/93	10:30	20,3	20,0	6,9	6,9	0,0	4,0
24/05/93	09:45	24/05/93	10:30	20,2	18,9	7,1	7,4	0,0	3,9
26/05/93	09:30	26/05/93	10:30	20,8	20,3	6,9	7,4	0,0	4,1
31/05/93	10:00	31/07/93	10:30	19,6	20,1	6,6	7,4	0,0	4,2
02/06/93	09:00	02/07/93	09:30	19,8	19,0	6,7	7,1	0,0	4,4
07/06/93	09:30	07/06/93	10:00	20,2	21,6	7,0	7,6	0,0	4,6
14/06/93	10:40	14/06/93	11:20	20,0	21,0	7,0	7,5	0,0	4,8
16/06/93	10:00	16/06/93	11:30	19,5	19,0	6,9	7,2	0,0	3,6
21/06/93	11:00	21/06/93	11:30	20,0	18,9	6,8	7,3	0,0	0,5
23/06/93	09:30	23/06/93	10:00	20,0	19,2	6,9	7,3	0,0	2,5
28/06/93	10:00	28/06/93	10:30	19,8	19,0	6,8	7,6	0,0	2,0
01/07/93	09:00	01/07/93	09:30	19,5	19,0	6,8	7,0	0,0	3,6
06/07/93	10:00	06/07/93	10:30	19,7	19,4	6,7	7,2	0,0	3,5
07/07/93	09:45	07/07/93	10:15	20,3	20,0	6,9	7,4	0,0	3,7
PROMEDIO				20,0	19,7	6,8	7,3	0,0	3,6

Cuadro N°33 : EVALUACION DEL FILTRO PERCOLADOR: Temperatura, pH, OD.

presenta un clima adecuado a pesar de que la prueba se realizó en los meses de invierno. El pH considerado como un parámetro importante en el desarrollo de los microorganismos se mantuvo en un promedio de 6.8 cercano al neutro, este valor se considera óptimo para el desarrollo de los microorganismos.

La temperatura, así como, el pH, son condiciones esenciales para el desarrollo de los microorganismos. Durante el tiempo que duró la evaluación la temperatura del afluente y efluente del Filtro Percolador se mantuvieron en un rango constante, creando condiciones propicias para el desarrollo de los microorganismos y la capa biológica; tal como se muestra en la Cuadro N° 34

	PARAMETROS					
	TEMPERATURA (°C)		pH		OD (mg/l)	
	AFLU.	EFLU.	AFLU.	EFLU.	AFLU.	EFLU.
MIN	19.5	18.9	6.6	6.9	0	0.5
MED	20	19.7	6.8	7.3	0.0	3.6
MAX	20.8	21.6	7.10	7.60	0.0	4.8

Cuadro N° 34 : VALORES PROMEDIO DE PARAMETROS EVALUADOS

Los microorganismos son sensibles a cambios de Temperatura, su actividad metabólica se acelera con la Temperatura y viceversa, esto debido a que la eficiencia de remoción de la materia orgánica depende del metabolismo microbiano. La actividad

microbiana del filtro es función de la Temperatura del líquido y no de la Temperatura del aire (medio ambiente), la Temperatura del aire no tiene un efecto pronunciado sobre el líquido. En climas muy fríos la Temperatura del aire tiende a enfriar el líquido, pero el metabolismo microbiano produce calor, que tiende a calentar el líquido, la Temperatura del líquido no solo se relaciona entonces, con la Temperatura del aire, sino también con la cantidad de materia orgánica que está siendo metabolizada.

Un filtro con alta carga orgánica tenderá a permanecer a una Temperatura más alta que otro con carga normal durante las estaciones frías del año.

El pH neutro o casi neutro en el ingreso al Filtro Percolador (6.8 promedio), nos indica que no existe descarga de aguas residuales industriales, de haberlo es mínimo en el sistema. Este análisis de pH puede reemplazar a los análisis de acidez y alcalinidad, sobre todo cuando no se prevé la aplicación de tratamientos químicos en el proceso de acondicionamiento de las aguas residuales.

Se recomienda un pH óptimo entre (6.5-7.5), la temperatura considerada es del agua que se va a tratar, ya que la temperatura del medio ambiente no tiene efectos sobre el agua bajo las condiciones de PH y Temperatura encontrados.

Las condiciones estrictamente anaerobias que se

desarrollan en el RAFA genera una ausencia total de oxígeno en el efluente del RAFA que a su vez es afluente del filtro percolador (Gráfica N° 1); debido al bombeo que se efectúa hacia el filtro percolador (afluente) y el riego por asperción que se produce en el mismo, el estado anaerobio del agua a la salida disminuye en cantidad poco significativa, más aún si se tiene en cuenta que el sistema es ayudado por los tubos de ventilación que penetran en la parte interna del filtro. El relativo aumento de oxígeno, se deja notar a la salida del efluente (Gráfica N° 2) y ayuda a las condiciones aerobias del Filtro Percolador. Esto permite visualizar que el Filtro Percolador tiene una actividad facultativa con tendencia a anaerobio.

El poco aumento de Oxígeno Disuelto se genera a la vez por el discurrir del agua sobre la superficie del medio filtrante, esto genera un proceso aerobio en la superficie del lecho filtrante, a medida que el agua ingresa a capas profundas, el Oxígeno Disuelto se va consumiendo, los espacios entre piedra y piedra (espacio intersticial) son pequeños, esto provoca una aereación menor, a la vez los microorganismos presentes (flora microbiana) requieren de Oxígeno Disuelto para su supervivencia y proceso metabólico, el cual se extrae del agua residual en estabilización.

Esto genera que en el Filtro Percolador se

produzca un proceso aerobio, anaerobio y facultativo, con predominio del estado facultativo.

7.1.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno (D.B.O)

En el Cuadro N° 35 se presentan los valores determinados de D.B.O. total y D.B.O. soluble del afluente y efluente al filtro percolador, se adjunta un cuadro de eficiencia.

En las Gráficas N° 3, 4, 5, y 6, se detallan las variaciones que sufre la D.B.O. respecto al tiempo.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno, es una medida indirecta de la presencia de carga orgánica, la mayor parte del total de la demanda de oxígeno se debe a los materiales orgánicos carbonosos que se aprovechan como una fuente de nutrientes por los organismos aerobios, que se determina por la prueba de la DBO.

La evaluación realizada de DBO entre los meses de mayo, junio, julio, arrojó algunos datos que nos permiten visualizar lo siguiente:

MUESTREO		ANALISIS		PARAMETROS					
FECHA	HORA	FECHA	HORA	D.B.O. TOTAL (mg/l)			D.B.O SOLUBLE (mg/l)		
				AFLUENTE	EFLUENTE	% EFIC.REM.	AFLUENTE	EFLUENTE	% EFIC. REM.
12/05/93	10:30	12/05/93	11:00	20,85	19,86	4,75	11,12	5,96	46,30
19/05/93	10:00	19/05/93	11:00	19,86	11,92	40,00	11,92	15,89	-33,30
26/05/93	09:30	26/05/93	10:00	26,81	18,00	32,86	20,26	13,50	33,37
02/06/93	09:00	02/06/93	09:30	33,76	15,89	53,00	10,72	12,71	-18,56
09/06/93	10:00	09/06/93	10:30	34,26	16,88	50,73	11,32	11,92	-5,30
16/06/93	10:00	16/06/93	10:30	34,75	17,87	48,58	11,92	11,12	6,71
23/06/93	11:00	23/06/93	11:30	38,72	23,83	38,46	25,42	18,27	28,13
01/07/93	09:00	01/07/93	09:30	37,73	31,70	16,00	34,16	38,13	-11,62
07/07/93	09:00	07/07/93	09:30	47,66	38,72	18,76	16,26	15,96	1,80
PROMEDIO				32,71	21,63	33,70	17,10	16,94	5,29

Cuadro N° 35 : EVALUACION DEL FILTRO PERCOLADOR : D.B.O.

La DBO total del afluente, se mantiene durante todo el período de evaluación, relativamente mayor al efluente, esto se debe a que el Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA), remueve un alto porcentaje (70%) de DBO del agua cruda inicial, esto limita una mayor remoción del filtro percolador; en estas condiciones el Filtro Percolador permite una remoción promedio de un 33.70 % de eficiencia, lográndose obtener una DBO total promedio del efluente de 21.63 ppm.

Un bajo valor de ingreso de DBO total al filtro percolador afecta el proceso de estabilización de la materia orgánica por el poco desarrollo de la película biológica, "Zooglea" generado por la baja carga orgánica que ingresa al filtro percolador.

La máxima DBO total que ingresa al Filtro Percolador, está en el orden del 47.66 ppm., siendo la mínima de 19.86 ppm., este último valor indica la enorme reducción ocurrida en el RAFA si se considera que en promedio el agua cruda tuvo una DBO de 280 ppm. para los meses de evaluación.

La máxima DBO total del efluente está en el orden del 38.72 ppm., siendo la mínima 11.92 ppm. Esto se observa mejor en la Gráfica N° 3.

La DBO total del efluente se mantuvo estable entre 15-20 ppm., desde el 2 al 16 de junio, para luego elevarse súbitamente; la eficiencia se

mantuvo hasta el 23 de junio en un 38%, luego bajó.

En cuanto a la eficiencia remocional, se presentó un crecimiento desde la 2da. quincena de mayo, manteniéndose oscilante hasta próximo al 23 de junio (38.46 %) posteriormente descendió hasta alcanzar el punto de eficiencia de 16% en el día 1 de Julio, creciendo nuevamente hasta 19% el 7 de Julio. Este fenómeno posiblemente se debió a algunos cambios en las características del afluente y a la falta de continuidad en el sistema de riego, entre otros factores como el poco desarrollo de la película biológica, etc.

La poca carga orgánica que llega al filtro percolador no permite el desarrollo de la película biológica, esto se observa en el filtro, la película se ve en la superficie de las rocas tenuemente, esto puede deberse a muchos factores como la discontinuidad en el riego, la baja materia orgánica contenida en el agua residual, etc. algunos autores consideran que la formación de la biomasa puede durar de 3 a 5 meses, dependiendo de las condiciones de trabajo del filtro y de la concentración de materia orgánica.

Una explicación del porque se ha presentado una pequeña reducción de DBO total a la salida del Filtro Percolador consiste en:

"La tasa de actividad biológica se desarrolla directamente proporcional a la concentración de la materia orgánica por lo tanto, la tasa de

remoción de DBO disminuye con el tiempo, o lo mismo disminuye con la profundidad del filtro".

Esto se explica en la medida que siendo el RAFA un tratamiento específicamente de reducción de DBO, su efluente, tiene una concentración baja de materia orgánica, llegando a la superficie del filtro disminuido en nutrientes, por ello que el desarrollo de la película biológica donde se desarrolla la actividad biológica es relativamente pobre.

Esto se pudo comprobar en la superficie del lecho filtrante, de igual forma, al escarbar la cama de piedras por debajo de la superficie, la película biológica no se ha desarrollado suficientemente.

La profundidad máxima hasta donde se ha notado formación de la película biológica se presenta a unos 0.30 mt. por debajo de la superficie del lecho filtrante.

Lo indicado se observa mejor en la Fig. N° 20, muestra que la mayor concentración de Materia Orgánica se presenta cerca a la superficie del filtro percolador.

La relación directa entre la concentración de materia orgánica y el desarrollo de la biomasa, lugar donde se forma la actividad biológica explica porque no se ha desarrollado la película biológica a pesar de los meses de funcionamiento.

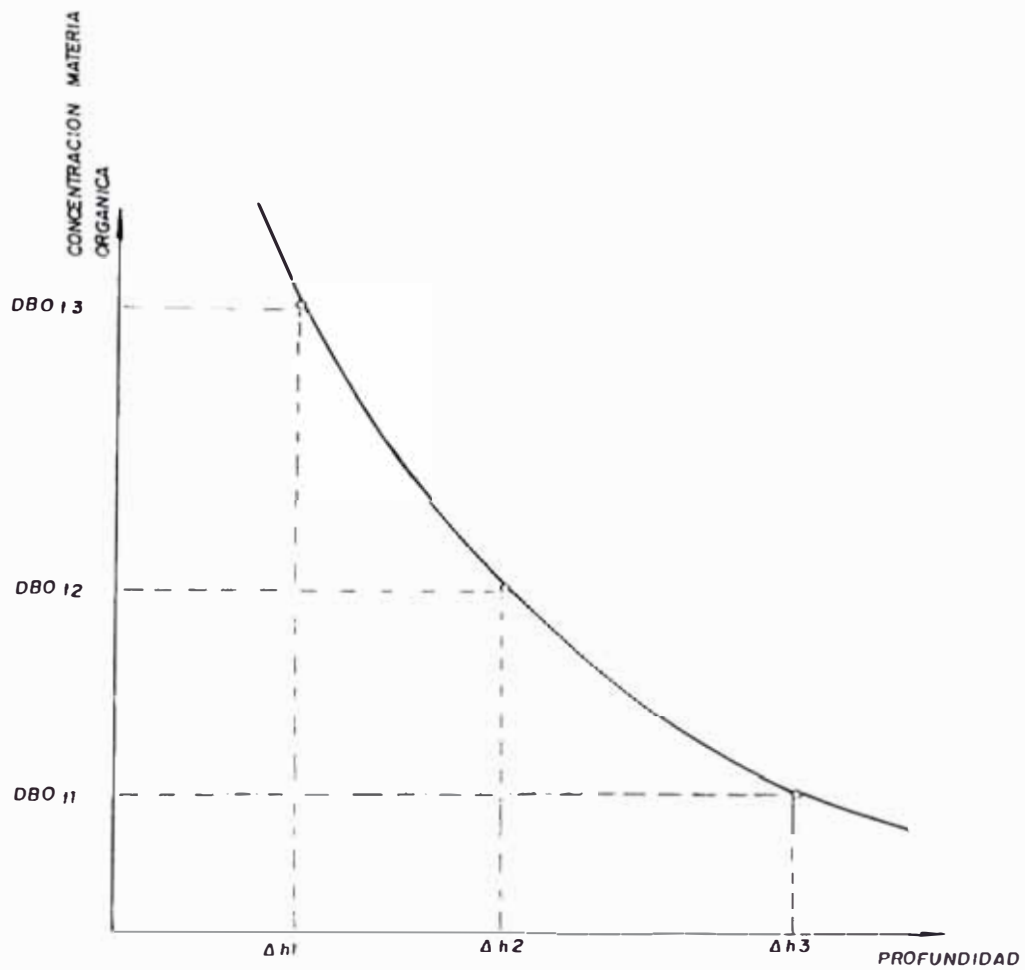


FIG. 20 : VARIACION DE LA MATERIA ORGANICA (DBO_t) EN FUNCION DE LA PROFUNDIDAD DEL FILTRO PERCOLADOR

De acuerdo a lo observado, se puede deducir que una "concentración alta de DBO es más fácil de remover que una pequeña". "La remoción de la materia orgánica por el filtro es esencialmente función de los microorganismos presentes, de la concentración de la materia orgánica que se le aplica, del tiempo de retención del líquido en el filtro y de la temperatura". "Desde ese punto de vista, es imposible reducir totalmente la DBO mediante el Filtro Percolador, los microorganismos no logran metabolizar por completo la materia orgánica que pasa a través del filtro, por tanto, el filtro tiene una fracción no removible de DBO, la remoción del 100% de DBO exigirá que el filtro tenga una profundidad infinita, lo cual es imposible".

Una consecuencia de esto, se nota en la actividad biológica del Filtro Percolador que se ha reducido debido a la disminución de la materia orgánica, esto ha dado lugar al explosivo desarrollo de los coliformes en relación a sus consumidores (protozoarios, rotíferos, hongos, etc.) que no han tenido la capacidad de desarrollarse en forma proporcional al crecimiento de estos. Esto se pudo observar al analizar la película biológica formada en las piedras del Filtro Percolador encontrándose un mínimo desarrollo de microorganismos consumidores de las bacterias contaminantes.

La DBO soluble, se ha demostrado en la práctica que no tiene significado importante en el análisis de la materia orgánica en el filtro percolador. En la Gráfica N° 4, se observa que no presenta significativa variación tanto en el afluente como en el efluente del filtro percolador; la remoción es mínima. En el Cuadro N° 36 se ven los valores promedios, máximo y mínimo concentrado.

VALORES	DBO TOTAL (mg/lit)		DBO SOLUBLE (mg/lit)	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
Medio	32,71	21,63	17,10	15,93
Máximo	47,66	38,72	34,16	38,13
Mínimo	19,86	11,92	10,72	5,96

Cuadro N° 36 :VALORES PROMEDIOS DE LA D.B.O.

Comparando la DBO total vs. DBO soluble, tanto en el afluente como el efluente se puede observar que la DBO total es mayor a la DBO soluble. Presentando mayor variación en el afluente debido que la DBO soluble es asimilado por las bacterias antes de salir del Filtro Percolador.

La eficiencia de todo Filtro Percolador se mide por su mayor porcentaje de remoción de materia orgánica (DBO), en nuestro caso la DBO total al quinto día.

"La remoción de la materia orgánica por el Filtro Percolador es esencialmente función de los micro-organismos presentes en el medio filtrante (zooglea), de la concentración de la materia orgánica que se le aplica (a mayor materia orgánica mayor eficiencia), del tiempo de retención del líquido en el filtro en función del área superficial que puede contener microorganismos, de la tasa de aplicación superficial y la Temperatura.

La eficiencia promedio es de 34%, la mínima es 5% (12/Mayo), la máxima es de 53% (2/Junio) según Cuadro N° 35 de la cual se deduce que para los días en que la remoción fue mínima la carga orgánica contenida en el efluente del RAFA, a sido mínima, del mismo modo que en el afluente del reactor, salvo los días 19, 26 de Mayo y 2, 9, 16 y 23 de Junio, en que si hubo remoción entre 40% y 38%, llegando a un máximo del 53% el día 2 de junio.

Esto último si se tiene en cuenta que el reactor RAFA tiene una eficiencia de remoción de DBO total del orden de 70% lo que nos lleva a concluir que para esos días la concentración de la DBO total en el agua residual es alta.

7.1.3 Sólidos

7.1.3.1 Sólidos Totales

En el Cuadro N° 37 se detallan los valores encontrados de los sólidos totales, suspen-

MUESTREO	ANALISIS	PARAMETROS									
		SOL.TOTALES		SOL.SUSPEND.		SOL. SEDIMENT		SOL.VOLATILES		SOL. FJOS	
FECHA	FECHA	AFLUENTE	EFLUENTE	AFLUENTE	EFLUENTE	AFLUENTE	EFLUENTE	AFLUENTE	EFLUENTE	AFLUENTE	EFLUENTE
12/05/93	12/05/93	764	756	15,0	32,5	0,15	0,50				
17/05/93	17/05/93	678	596	15,5	26,0	0,10	0,35				
19/05/93	19/05/93	630	830	16,0	20,0	0,00	0,15	330	430	300	400
24/05/93	24/05/93	626	746	38,0	45,0	0,06	0,80				
26/05/93	26/05/93	622	662	14,5	21,0	0,20	0,40	377	342	250	320
31/05/93	31/05/93	596	256	33,5	11,5	0,05	0,35				
02/06/93	02/06/93	642	642	19,0	22,0	0,00	0,10				
07/06/93	07/06/93	592	708	25,0	57,0	0,15	0,50				
09/06/93	09/06/93	521	648	20,0	67,5	0,10	0,65				
14/06/93	14/06/93	450	588	14,5	78,0	0,05	0,80	36	106	414	482
15/06/93	21/06/93	612	660	23,0	6,5	0,20	0,00				
21/06/93	21/06/93	892	892	22,5	59,0	0,80	0,01				
23/06/93	23/06/93	628	740	24,0	10,0	0,15	0,50	284	360	344	380
28/06/93	28/06/93	780	766	14,5	108,0	0,00	1,50				
01/07/93	01/07/93	728	740	7,5	10,0	0,02	1,30	368	384	360	356
06/07/93	06/07/93	780	920	20,2	38,3	0,50	0,10	430	470	350	450
07/07/93	07/07/93	659	692	20,1	38,2	0,20	0,40				
PROMEDIO		658,8	696,9	20,17	38,27	0,16	0,49	304,2	348,7	336,3	398
INCREMENTOS		(+)		(+)		(+)		(+)		(+)	

Cuadro N° 37 : EVALUACION DE FILTRO PERCOLADOR : SOLIDOS

didos, sedimentables, volátiles y fijos para el afluente y efluente del filtro percolador.

En los Gráficos N° 7, 8, 9, 10, 11, 12, y 13, se observan las variaciones de los sólidos detallados en el cuadro anterior.

Se considera que la remoción de sólidos totales es de poco valor en el análisis de aguas poluidas y desagües domésticos, por la variabilidad de los valores que se producen, hacen difícil una interpretación con algún grado de seguridad en los resultados.

En muchos casos los sólidos disueltos presentes en el agua residual representan un valor grande y variable del porcentaje total.

De acuerdo a la clasificación que se le da, los sólidos totales, se pueden subdividir a su vez en sólidos suspendidos, que incluye a los sedimentables, y los sólidos disueltos, si estos son retenidos o pasan por un filtro.

Durante el período que ha durado la evaluación del filtro percolador se ha tenido los siguientes valores, Cuadro N° 38. Se tiene un promedio de 659 mg/lt. en el afluente y de 697 mg/lt. en el efluente, observándose una relativa variación de éste parámetro, existiendo un incremento en el efluente.

VAL.	S. TOTALES (mg/l)		S. SUSPEND. (mg/l)		S. SEDIENTA (ml/l/h)		SOL. VOLAT. (mg/l)		S. FIJOS (mg/l)	
	Aflu.	Eflu.	Aflu.	Eflu.	Aflu.	Eflu.	Aflu.	Eflu.	Aflu.	Eflu.
Prom.	659	697	20	38	0,16	0,49	304	349	336	398
Máx.	892	920	38	108	0,8	1,5	430	470	414	482
Mín.	450	256	8	7	0	0	36	106	250	320

Cuadro N° 38 : VALORES PROMEDIOS DE SOLIDOS

Esto nos indica que existe arrastre de partículas en el Filtro Percolador, así mismo, nos indica que no se ha desarrollado a plenitud la flora microbiana ya que esta se alimenta de materia orgánica. También puede ser que recién se estén disolviendo las sales de las piedras o que exista un lavado de las paredes del filtro, pues esta tiene un revestimiento de mezcla (arena-cemento) pobre.

En la Gráfica N° 7 se observa la curva de variación de los sólidos totales tanto en el ingreso como salida del filtro percolador; se aprecia que no existe ninguna correlación entre ambas gráficas.

Para los días 12 y 17 de Mayo, la eficiencia remocional de sólidos es de 1.05 y 12% respectivamente.

En los días 19 y 26 no existió remoción de sólidos, hay incremento de estos. Esto se puede deber a que hay arrastre de sólidos debido a la reducción de la materia orgánica por el proceso biológico; es posible considerar que sea materia

inorgánica producto del lavado de piedras de río, desprendimiento de las paredes del filtro, o por la elevada concentración de sólidos que viene con el agua cruda.

El 02 de Junio, no se apreció remoción de sólidos, ya que de haber existido, fue compensado por un aumento de sólidos.

El 07 de Junio, hubo mayor concentración de sólidos (arrastre de sólidos) existiendo una remoción mínima.

El 28 de Junio, se obtuvo una mínima remoción (1.7%) aproximadamente.

7.1.3.2 Sólidos suspendidos

Está considerado como uno de los parámetros más importantes de polución en aguas residuales. En base a experiencias de efluentes sanitarios con una elevada cantidad de sólidos en suspensión, trae como inconveniente no sólo la turbidez excesiva, que perjudica los procesos biológicos de fotosíntesis de la flora del cuerpo receptor, además, si esto es debido a material biodegradable, habrá un intenso proceso de estabilización de materia orgánica que a su vez consumirá una gran cantidad de oxígeno del cuerpo receptor.

En nuestro caso particular; es de notar que el agua cruda luego de tratamiento preliminar de retención de sólidos de mayor tamaño

en las rejillas, ingresa directamente al reactor anaerobio (RAFA) arrastrando sólidos de diferentes tamaños, en el reactor los sólidos son biodegradados, asimilados por los microorganismos anaerobios y a su vez sedimentados, encontrándose de esta manera una concentración de sólidos suspendidos removido antes de ingresar al filtro percolador.

En el Cuadro N° 37 se presenta los valores de sólidos más representativos encontrados en el filtro percolador, de acuerdo a la Graf. N°(8) la variación de la concentración de los sólidos suspendidos tanto de ingreso como de salida, entre sí no guardan ninguna relación, presentando una mayor variación al ingreso. En promedio se ha encontrado una concentración de 20.26 mg/lt en el afluente y una concentración de 38.26 mg/lt en el efluente, comparando ambos resultados, se observa que ha habido un aumento de los sólidos suspendidos de un 90% en el efluente. Se observa así mismo que mientras en promedio los sólidos totales han disminuido, los sólidos suspendidos han aumentado; esto significa que ha habido una mayor dilución de los sólidos en el filtro percolador lo que ha propiciado un relativo aumento de este parámetro.

Se sabe además, que los sólidos suspendidos, incluyen a los sólidos sedimentables (orgánicos e inorgánicos) aumentando este último. Esto se puede deber a: El lavado de las piedras y

paredes del filtro, que produce arrastre de sólidos, y a la muerte de la zooglea por la discontinuidad de riego.

De igual forma que en el caso anterior, no se puede lograr una correlación de los valores encontrados. El uso de tratamiento secundario a efluentes de tratamiento primario, se da en casos en que este último contenga cantidades de sólidos orgánicos en suspensión o diluido mayores que los que puedan ser asimilados por el curso receptor u otros usos.

Durante todo el proceso de evaluación se ha encontrado que la concentración de sólidos suspendidos en el efluente, en la mayoría de las veces, es mayor a la concentración del afluente.

Observando la Gráfica N°8, y el cuadro N° 37, se puede ver que los únicos días de eficiencia son el 31/5, 16/6, 23/6/93, en un 65.67%, 71.74%, 58.33%, respectivamente. Para otras fechas disminuye el rendimiento, se presenta aumento de sólidos en suspensión. La presencia de elementos fuertes tales como limos, arcilla, materia coloidal inerte, etc., no son degradados por los microorganismos presentes en la zooglea.

Según se observa en la Gráfica N°8, existen días en que la concentración de sólidos

suspendidos en el efluente se mantienen mayor en el afluente, esto también sucede con los sólidos totales.

<p>Sol. Susp. afluente menor a Sol. Susp. afluente Sol. Tot. afluente menor a Sol. Tot. afluente</p>
--

Lo indicado para sólidos totales se presenta específicamente los días 19 al 26 de mayo, y del 2 al 23 de junio, luego del 1º de julio al 7 de julio. En otros casos las fechas y concentraciones son casi coincidentes, es decir los días del 12 al 26 de mayo, del 2 al 14 y 21 de junio y del 28 de junio al 7 de julio para los sólidos suspendidos es mayor la concentración del efluente que del afluente; habiendo coincidencia con los sólidos totales en la mayoría de las fechas en cuanto a mayores concentraciones en el afluente del filtro percolador.

7.1.3.3 Sólidos sedimentables

Se entiende a los sólidos sedimentables como una medida aproximada de la cantidad de fangos (lodos) que se eliminará mediante la sedimentación, es una porción de los sólidos suspendidos que decantan en el proceso biológico.

En el Cuadro N° 37 y Gráfica N° 9, se observa que en promedio la concentración de sólidos sedimentables es de 0.16 mg/lt en el afluente y 0.49

mg/lt en el efluente, observándose un notorio aumento de la concentración de sólidos sedimentables en aproximadamente 206%, esto era de esperarse, debido a que igualmente aumentó la concentración de sólidos suspendidos como se vio en el caso anterior.

El poco porcentaje que se da en el afluente (0.16 mg/lt) indica la enorme reducción que se tuvo en el RAFA donde aparte de haber una reducción de la materia orgánica, hay un proceso de sedimentación y sólo quedan sólidos suspendidos con un pequeño porcentaje de sólidos sedimentables.

El aumento en promedio de la cantidad de sólidos sedimentables en un 206%, se puede deber a muchos factores, tales como, la reducción de la película biológica que es arrastrada a la salida cuando el filtro percolador no es operado continuamente, lavado de las piedras almacenadas, a la erosión de las paredes del tanque de filtración, etc. Si no hay partículas inorgánicas sedimentables esto se deberá a la cantidad de sólidos orgánicos sedimentables, esto se puede comprobar al revisar la concentración de sólidos volátiles.

Durante todo el período la cantidad de sólidos sedimentables es mayor en el efluente que en el afluente, (Gráfico N° 9)

Es posible que los sólidos sedimentables no sean solamente por desprendimiento de la zooglea, ya que se ha notado en todo el tiempo de

análisis que la capa aún faltaba formarse ó la capa formada era muy pobre. Comparando la Gráfica N° 8 y 9 existe una directa relación en cuanto a las comparaciones de aumentos y descensos de las cantidades de sólidos suspendidos. Por la cantidad de sólidos sedimentables encontrados, no habría ningún problema en la operación del filtro percolador.

Se debe hacer notar que en algunos casos, el color del afluente era blanquecino y el efluente se tornaba amarillo pálido. Esto se debe al lavado que se realiza en el filtro percolador.

Del Gráfico N° 9 se puede ver que cada vez que en la salida aumenta la cantidad de sólidos, en la entrada disminuye de una manera exagerada.

Según el Cuadro N° 37, se ve que un 77% del total de muestras tomadas, el efluente contiene mayor concentración de sólidos sedimentables que el afluente. Esto demuestra que existe una buena proporción de sólidos arrastrados orgánicos e inorgánicos a través del Filtro Percolador.

En realidad no debería aumentar la concentración de sólidos sedimentables en el efluente, ya que esto indica de alguna manera, que la concentración de sólidos variables del afluente, repercute en la salida, por otro lado, indica el lavado que se produce en el Filtro Percolador,

arrastrando materia orgánica, limos, arcilla, debido a una mala operación.

Esto se observa en los días 24/mayo, 14, y 28/junio, en donde los incrementos son de 12 y 15 veces para los dos primeros y de 149 veces para la última.

Los valores encontrados, confirman el grado de arrastre de material en el Filtro Percolador, esto se puede deber a muchos factores tales como:

- Un mal diseño del Filtro Percolador
- El proceso de tratamiento RAFA
- Mal revestimiento de las paredes
- Falta de la estratificación del medio filtrante
- El emposamiento del agua. etc.

7.1.3.4 Sólidos volátiles-fijos

En esta parte se comprueba y cuantifica la determinación de la DBO total (5to.día) debido a la escasa o nula reducción del mismo. Esta prueba se efectuó con las mismas muestras que quedaron en los crisoles conteniendo los sólidos totales, dichas muestras fueron calcinadas a 600°C por 1 hora en la mufla.

La siguiente ecuación nos indica la relación existente entre los sólidos totales (St), sólidos fijos (Sf) y sólidos volátiles.

$$\text{Sol. Tot.} = \text{Sol. Volátiles} + \text{Sol. Fijos}$$

Algunos autores denominan sólidos totales fijos a los sólidos fijos ya que éstos se obtienen de las pruebas que resultan de los sólidos totales.

La ecuación anterior cumple tanto para el afluente como para el efluente, según la cuadro N° 37 se puede apreciar que los sólidos volátiles son el contenido orgánico de materia presente en el agua residual, la cual se volatiliza mediante la incineración. Siendo los sólidos fijos aquellos que se han mantenido en el crisol, aquellos que han tolerado y no han sido sensibles a la alta temperatura (600-800°C), estos son materiales inorgánicos (materia no biodegradable) y minerales.

Observando la Gráfica N° 12 (afluente del Filtro Percolador) se ve que hay una mayor concentración de sólidos volátiles que fijos. De los 6 muestreos y análisis realizados 4 ratifican esta afirmación (19/5, 26/5, 1/7 y 6/7) y 2 de ellos lo contrario (14/6 y 23/6); es decir hay mayor concentración o contenido de materia orgánica (volátil) que de inorgánico (fijos).

De la Graf.N° 10 hay más sólidos volátiles en la salida que en el ingreso al filtro percolador (4 de 6 pruebas y en las mismas fechas);

es decir se observa que hay más concentración de materia orgánica en el efluente que en el afluente, lo cual nos lleva a concluir que no ha existido una remoción efectiva de materia orgánica por parte de los microorganismos presentes en la zooglea, o en todo caso la zooglea no ha tenido el desarrollo suficiente para albergar a esta flora microbiana (masa biológica) debido, como se dijo anteriormente, a la alta remoción en concentración de materia orgánica (DBOt.) efectuada por el reactor (RAFA) lo cual le ha quitado nutrientes al afluente.

De los 6 muestreos y pruebas realizadas entre el 19/mayo y 6/julio se puede ver que para los días 14 y 23/junio son los únicos días en donde hay un predominio de sólidos fijos o sea de materia no orgánica (lodos, limos, arcillas, minerales, etc.) y en los 4 restantes existe predominio de lo orgánico que posteriormente se comprobó mediante los sólidos volátiles.

En cuanto a los sólidos fijos (los no biodegradables) observando la Graf. N° 11 se puede ver que estos son siempre mayores en la salida, es más la concentración que sale a la que ingresa al Filtro Percolador.

Esto se confirma al observarse el arrastre de sólidos, lavado de piedras del medio filtrante, desprendimiento de material de las paredes, etc. que se produce en este proceso de

estabilización al paso del agua residual por el filtro. Se puede decir entonces que las sales de la cama del filtro se están empezando a disolver.

7.1.4 Análisis microbiológico

7.1.4.1 Coliformes

La determinación de bacterias totales y fecales se realizó mediante la técnica del Número Más Probable (NMP), o de Tubos Múltiples, los valores determinados se muestran en el Cuadro N° 39. Además en el anexo N° I, gráficas N° 14, 15, 16, y 17 se tiene la variación de los coliformes y la comparación con el desarrollo de los coliformes totales y fecales.

Aquellas bacterias capaces de fermentar y producir gas en un período de 48 hr. y a una temperatura de 37°C si son sembrados en un caldo lactoso bajo condiciones aerobias, son considerados bacterias coliformes. La presencia de estas bacterias en un cuerpo de agua representan una posibilidad de polución de líquido.

En la Graf.N° 14, 15, se observa que tanto en el afluente y efluente, la proporción de coliformes totales es igual o mayor de los coliformes fecales. Se observa una marcada variación en los Graf.N° 16 y 17, si se analiza los coliformes totales del afluente y efluente, la variación es inversamente proporcional, es decir, que mientras

MUESTREO		ANALISIS		PARAMETROS				OBSERVACIONES
FECHA	HORA	FECHA	HORA	COLIFORMES TOTALES		COLIFORMES FECALES		
				AFLUENTE	EFLUENTE	AFLUENTE	EFLUENTE	
23/03/93	10:30	25/03/93	11:00	11E+06	5E+06	4E+06	5E+06	Reducción de coliformes totales aumento de coliformes fecales
05/04/93	10:00	05/04/93	11:00	7E+06	13E+06	3E+06	8E+06	Incremento de coliformes totales y fecales en el efluente
08/06/93	09:30	08/06/93	10:00	4E+06	17E+06	4E+06	17E+06	Incremento de coliformes totales y fecales en el efluente
22/06/93	09:00	22/06/93	09:30	8E+06	8E+06	5E+06	8E+06	Se mantienen los coliformes totales, incremento de los coliformes fecales
PROMEDIO				8E+06	11E+06	4E+06	10E+06	No existe remoción efectiva CT, CF.

Cuadro N° 39 : EVALUACION DEL FILTRO PERCOLADOR: COLIFORMES

que en el efluente aumenta, en el afluente disminuye, esto se presenta tanto en los coliformes totales como los coliformes fecales. En el filtro percolador, respecto a esto se puede indicar lo siguiente:

- 1º El aumento del desarrollo de los coliformes, se puede deber al aumento de condiciones óptimas para su desarrollo (OD nulo, Temperatura, PH, nutrientes, etc.)
- 2º El poco desarrollo de los microorganismos en la zooglea, tales como: rotíferos, protozoarios, etc.; no se han desarrollado o no han crecido en la misma proporción a fin de mantener una reducción de las bacterias coliformes en el filtro percolador.

Al comparar resultados, se observa que el número de coliformes encontrados en la muestra, no guarda relación alguna con otros parámetros indicadores de polución (DBO, sólidos suspendidos, etc.) determinados. Esto se presenta en los coliformes totales y coliformes fecales.

De la Graf.Nº (16), los coliformes totales del efluente se mantiene mayor a los coliformes totales del afluente, según el Cuadro Nº 39 y de la Graf. Nº(16) de igual manera los coliformes fecales del efluente es mayor que los coliformes fecales del afluente (en promedio). Se puede considerar que el aumento de coliformes

totales y fecales a la salida del filtro percolador se debe al poco desarrollo de los microorganismos consumidores de bacterias.

La poca remoción de coliformes fecales, se debe al desarrollo de condiciones anaerobias y facultativas en el Filtro Percolador. En un proceso aerobio, en la película biológica, va existir formación y desarrollo de las bacterias aerobias, los cuales pueden metabolizar la materia orgánica, descomponiéndola y estabilizándola en compuestos sencillos tales como H₂O, CO₂, nitratos, sulfatos, y una vez que consumen a las bacterias coliformes que ingresan al afluente, produciéndose de esta manera la remoción de los mismos.

Se puede decir que la poca o nula remoción de los coliformes totales y fecales, se debe al proceso anaerobio que se produce en el Filtro Percolador y por las condiciones óptimas de Temperatura, pH, etc., la falta de un sistema de aereadores que permita transmitir oxígeno al total del medio filtrante (Zooglea) que a la vez permitirá el desarrollo de bacterias aerobias reductoras de los coliformes.

Otro factor importante por el que la remoción de bacterias coliformes fecales es mínima o casi nula es debido al poco tiempo de retención del biofiltro, es decir al poco tiempo de contacto del agua residual con las paredes del lecho de pie-

dras. Esto es de un orden de magnitud en todo el sistema.

7.1.4.2 Película Biológica

El desarrollo biológico de los microorganismos, se puede observar en el Cuadro N° 40 y en las Fig. N° 21, 22, 23, y 24 se pueden ver algunos de los microorganismos biológicos presentes en el filtro percolador.

A medida que discurre el agua a través del lecho percolador se va formando, especialmente sobre la superficie del lecho filtrante, un material gelatinoso envolviendo las rocas del filtro. Esto se da generalmente en experiencias de unidades de tratamiento convencional que incluyen un filtro percolador como tratamiento secundario.

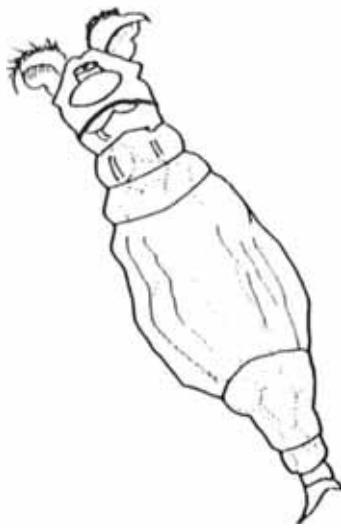
El uso de un reactor anaerobio (RAFA) como un pretratamiento al filtro percolador, cambia en gran medida las características físico-químicas y microbiológicas del agua, debido a esto durante la evaluación se observó que no se ha desarrollado la capa biológica en el medio filtrante en la forma esperada.

El material gelatinoso formado, presenta una variación de colores entre un color blanco, amarillo pálido, verde, que evidencia el poco desarrollo de las algas. Todo proceso biológico

	MICROORGANISMOS	AFLUENTE	SUPERFICIE LECHO FILTRANTE	EFLUENTE
VEGETALES	BACTERIAS	(*)	(*)	(*)
	HONGOS	----	----	----
	ALGAS	<ul style="list-style-type: none"> - Algas verde azuladas - Oxíyatoria (algas filamentosas) - Microspora - Tenols (alga filamentosa) - Navícula - Espirogira - Bodo (alga flagelada) 	<ul style="list-style-type: none"> - Espirulina (Alga filamentosa) - Algas Protococos - Algas filamentosa - Microspora - Algas Verde Azuladas 	<ul style="list-style-type: none"> - Microspora - Protococos (Algas pirogiras)
ANIMALES	PROTOZOARIOS	<ul style="list-style-type: none"> - Eystiles - Fitodina - Paramaeclun caudatum - Bodo (flagelados) 	<ul style="list-style-type: none"> - Euplotas - Eystiles - Bodo - Cillado de tallo - Rotífero (filodina) 	<ul style="list-style-type: none"> - Paramaeclum trichoma - Paramaeclum caudatum - Euplotes - Filodina - Paramaeclum ciliados - Rotífero (filodina)
	METAZOARIOS	----	<ul style="list-style-type: none"> - Rotífero filodina - Rotaria 	----
	ANIMALES SUPERIORES	<ul style="list-style-type: none"> - Huevos Larvas - Parasitos - Ascarla huevos - Maugeolia - Duodenale - Ostoma 	<ul style="list-style-type: none"> - Huevo de larvas - Parasitos (pshytoda) 	<ul style="list-style-type: none"> - Axubia de insectos - Ascaris lumbricoides - Acllostoma (Huevo parasitos)

(*) Se determinó en función de coliformes

CUADRO Nº 40 : ORGANISMOS PRESENTES EN EL FILTRO PERCOLADOR EVALUADO



1... PHILODINA (ROTIFERO)

2... EUPLOTES



3... PARAMECIUM- TRICHUM

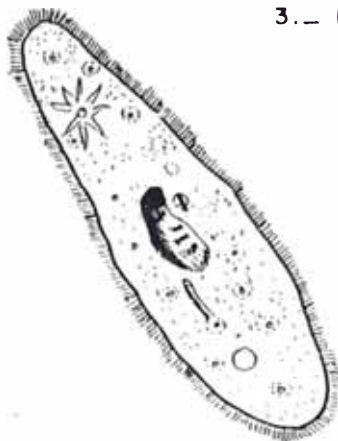
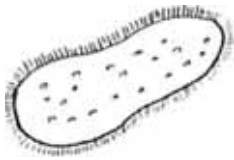


FIG. 21 : MICROORGANISMOS PRESENTES EN EL FILTRO PERCOLADOR

4. _ PARAMECIUM - CAUDATUM



5. _ EPISTYLIS



6. _ LARVA INSECTO

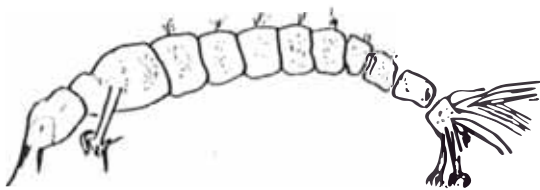


FIG. 22 : MICROORGANISMOS PRESENTES EN EL FILTRO PERCOLADOR

7. _ VORTICELLA



8. _ BODO



9. _ OIKOMONAS

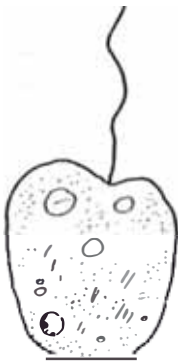


FIG. 23 MICROORGANISMOS PRESENTES EN EL FILTRO PERCOLADOR

10 . - ALGAS

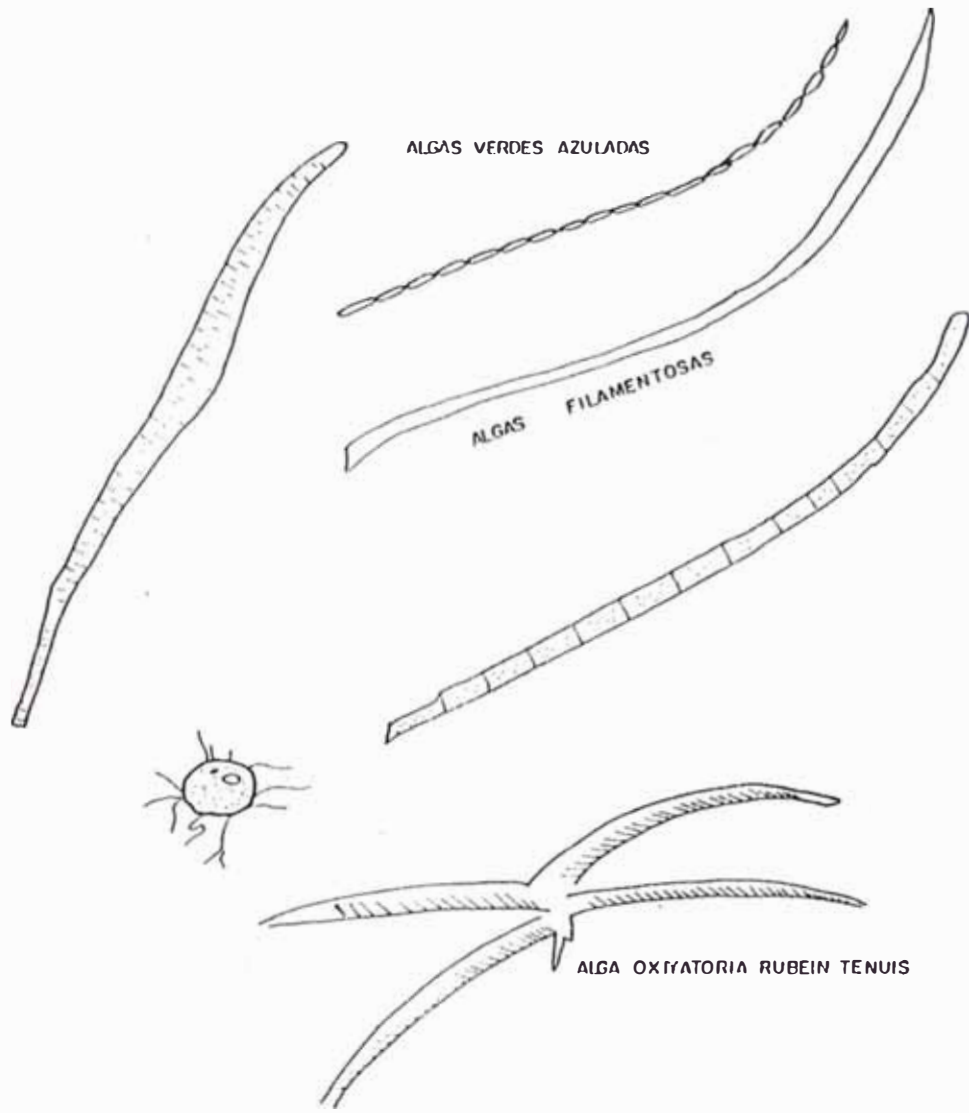


FIG. 24 : MICROORGANISMOS PRESENTES EN EL FILTRO PERCOLADOR

se basa en una mayor o menor capacidad de los microorganismos para extraer de los residuos contenidos en las aguas servidas su alimento, y para elaborar una película gelatinosa que junto con los microorganismos, conforman el elemento fundamental de todo sistema de tratamiento biológico aerobio.

Esta película gelatinosa recibe el nombre de "zooglea", cuya característica es su viscosidad y apariencia gelatinosa conteniendo gran cantidad de microorganismos.

En el Cuadro N° 41 se indica las condiciones del filtro percolador en evaluación.

PARAMETROS	VALORES PROMEDIO EFLUENTE	
	Afluente	Efluente
Materia Orgánica (DBO)	32,71	21,63
Oxígeno Disuelto (OD) (mg/lit.)	0	3,6
Temperatura °C	20	19,7
pH	6,8	7,3
Sólidos Totales (mg/lit.)	659	697
Sólidos Suspendidos (mg/lit.)	20,1	38,2
Colif. Fecales (N°/100ml)	4E+06	10E+06
Colif. Totales (N°/100ml)	8E+06	11E+06

Cuadro N° 41: CONDICIONES DE TRABAJO DEL FILTRO PERCOLADOR

Se considera al pH como un factor importante en el desarrollo de los organismos. La mayoría de los organismos en el desarrollo de la biomasa, presentan un adecuado desarrollo en un pH

entre 4.0 nos confirma una vez más a 9.5, por lo general se establece un pH óptimo para el crecimiento entre 6.5 y 7.5.

Según el valor promedio de pH encontrado (ver Cuadro N°33), tenemos un pH = 6.8 lo cual debe reflejarse en las condiciones para el desarrollo de la biomasa en el filtro percolador.

En cuanto a la concentración de materia orgánica, se indica que a una mayor concentración de materia orgánica, exige una mayor concentración de oxígeno, si el oxígeno no es suficiente resulta condiciones anaeróbicas, siendo la demanda Bioquímica de oxígeno (D.B.O.) una medida de la carga orgánica, se observa que los valores de D.B.O. son muy bajos en comparación a desagües crudos que se presentan generalmente en tratamientos de este tipo, se tienen valores hasta de 200 ppm. DBO en desagües crudos y en filtros percoladores convencionales circulares, la concentración esta en un orden de 100 ppm. aproximadamente.

Según algunos autores, la tasa de actividad biológica esta relacionado directamente en forma proporcional a la concentración de materia orgánica. De acuerdo a algunas experiencias, la tasa de remoción de la D.B.O., va disminuyendo con la profundidad del filtro, es decir que conforme aumenta la profundidad en el Filtro Percolador se va reduciendo la concentración de la materia orgánica,

y esto hace que la concentración de la biomasa biológica disminuya su actividad.

Este mismo criterio puede ser aplicado a la evaluación del filtro percolador, es decir en toda la evaluación, se ha encontrado una concentración promedio de (DBO soluble 17.10 ppm; DBO total 33.71 ppm), estos valores indican una reducción significativa que realiza el reactor (RAFA), desde el ingreso del agua cruda. Se puede deducir que debido a este bajo valor de DBO, la actividad biológica ha disminuido y esto se refleja en la concentración de la biomasa encontrado tanto del afluente y el efluente al filtro percolador.

Durante el período en que tuvo lugar la evaluación, se observó que existe poco desarrollo de organismos formadores de la biomasa del filtro, presentando mayor concentración en el lecho-filtrante. En el Cuadro N° 40, se indican los organismos observados.

De acuerdo a la tabla se observa algunos de los organismos presentes en el filtro percolador, sin embargo, la concentración de organismos observados fueron muy escasos, esto se puede deber a muchos factores como el poco desarrollo de la biomasa, la falta de riego uniforme, etc. Se sabe que la remoción de la materia orgánica es esencialmente función de los microorganismos presentes, de la concentración de la materia

orgánica que se aplica, del Período de Retención (P.R.), de la Temperatura.

La cadena biológica que se desarrolla está en función de la concentración de materia orgánica, las bacterias son consumidas por rotíferos y protozoarios, etc. Sin embargo no hay desarrollo de estos organismos debido a la poca cantidad de materia orgánica.

7.2 CARACTERISTICAS DE LOS ORGANISMOS ENCONTRADOS EN EL FILTRO BIOLÓGICO

7.2.1 Protozoarios

Estos organismos se han encontrado en el lecho filtrante y a la salida del filtro percolador, en ambos casos su presencia estuvo en forma aislada y no en la cantidad que se da en un filtro convencional. Se definen como protistas móviles microscópicos y por lo general son unicelulares, los protozoos son generalmente de un orden de magnitud mayor que las bacterias y suelen consumir bacterias como fuentes de energía. Es decir los protozoos actúan como purificadores de los procesos biológicos, debido a que consumen bacterias y partículas orgánicas. Se ha encontrado protozoarios del grupo de las ciliados como el Paramecium que es un ciliado libre. También se encuentra los Euplotes y Epystiles.

Es una población animal predominante en

filtros bien operado que se dan en todas sus formas, desde Fitomastigofora hasta Suctoria, los primeros existen en las capas superiores donde la concentración orgánica es superior y por tanto puede competir con las bacterias.

Los ciliados son comunes a lo largo de toda la profundidad en las partes aerobias. Los ciliados libres, predominan en las regiones superiores. Las poblaciones en especies predominantes de protozoos varían de filtro a filtro e inclusive dentro de un mismo filtro pueden variar como respuesta al cambio de carga orgánica o a las condiciones ambientales.

7.2.2 Rotíferos

Se encuentran a la salida y sobre la superficie del lecho filtrante ya que es un animal aerobio, consumen bacterias dispersas y floculadas pequeñas partículas de materia orgánica. Se dice que su presencia en un efluente indica un proceso de purificación biológica aerobio muy eficiente, la cantidad de Rotíferos observados en el filtro percolador y a la salida fue muy poco, a pesar de tener un oxígeno disuelto igual a 4.0 ppm.

7.2.3 Bacterias

El indicador de contaminación son las bacterias coliformes fecales, su presencia aumenta a la salida del biofiltro.

7.2.4 Hongos

La falta de una mayor concentración de materia orgánica inhibió el desarrollo de este organismo, la mayoría son aerobias estrictos, crecen con poca humedad, tienen un PH óptimo entre 5 y 6, los hongos deben competir con las bacterias para obtener alimentos.

El pH = 7.0 del filtro percolador, no deja desarrollar a los hongos. En el Cuadro N° 40 se indica algunos microorganismos presentes en el filtro percolador.

7.3 DETERMINACION DE CARGAS

7.3.1 Determinación de la carga hidráulica (m³/m²/día)

Relación entre el volumen de desagüe que ingresa al filtro percolador por unidad de tiempo, por área unitaria de superficie.

- Gasto total que se aplica al filtro

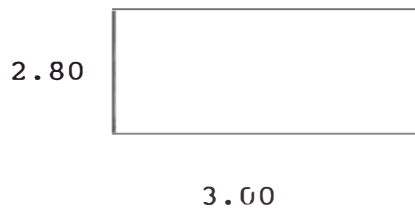
Caudal de ingreso = 0.7 lt/seg.

Gasto Total = 0.7 lt/s. <> 60.48 m ³ /día
--

Gasto aforado al ingreso del filtro percolador (tanque de compensación) por bombeo.

Gasto Total = Flujo de agua de desecho + Flujo de recirculación

- Superficie del Medio Filtrante



$$\begin{aligned} A &= l \times a \\ A &= (3.00)(2.80) \\ A &= 8.40 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Carga Hidráulica/Tasa de Filtración

$$\text{Carga Hidráulica (m}^3\text{/m}^2\text{/día)} = \frac{\text{Gasto Total (m}^3\text{/día)}}{\text{Area Sup.Filtro (m}^2\text{)}}$$

$$\text{Carga Hidráulica} = \frac{60.48 \text{ m}^3\text{/día}}{8.40 \text{ m}^2} = 7.20$$

Carga Hidráulica = 7.20 m³/m²/día
--

m³/m²/día: indica el volumen (m³) a aplicar en un área superficial (m²) del filtro en un día.

Es el volumen total del líquido incluyendo la recirculación que es aplicado al filtro por día y por unidad de área (m³/m²/día)

7.3.2 Determinación de la carga orgánica (kg DBO/m³/día).

Relación entre el volumen de desagüe que se hace pasar por unidad de tiempo por área unitaria de superficie.

- **Determinación de la DBO₅ (aplicado kg/día) al día (promedio)**

$$\text{DBO}_5(\text{aplicado}) = \text{DBO}_5(\text{mg/lt}) * \text{Flujo}(\text{lt/seg})$$

- **Considerando la DBO_{5 total} aplicado (promedio)**

$$\text{DBO}_{\text{total}}(\text{aplicado}) = 32.71\text{mg/lt} * 0.70\text{lt/seg}$$

$$\text{DBO}_{\text{total}}(\text{aplicado}) = 32.71 \text{ mg/lt} * 1\text{kg}/10^6\text{mg} * 0.70 \text{ lt/seg} * 86,400 \text{ seg/día}$$

DBO_{5 total} (aplicado) = 2.00 kg/día

- **Considerando la DBO₅ soluble aplicado (promedio)**

$$\text{DBO}_5(\text{aplicado}) = 17.10\text{mg/lt} * 0.7 \text{ l/sg.} * 1\text{Kg}/10^6\text{mg} * 86,400 \text{ seg./día}$$

DBO₅ soluble (aplicado) = 1.00 kg/día

- Volumen del Medio Filtrante (m³)

Volumen del Medio filtrante (m³)=Area del filtro * Altura

Volumen medio filtrante (m ³) = 6.75 m ³

- Carga Orgánica (Kg.DBO/m³/día)

$$\text{Carga Orgánica (kg/m}^3\text{/día)} = \frac{\text{DBO}_5\text{ aplicado (kg/día)}}{\text{Volumen Medio filtrante (m}^3\text{)}}$$

- Si DBO₅ (Total) Aplicado

$$\text{Carga orgánica} = \frac{2.00 \text{ kg/día}}{6.75 \text{ m}^3} = 0.3 \text{ Kg.DBO/m}^3\text{/día}$$

Carga Orgánica = 0.30 kg.DBO/m ³ /día
--

- Si DBO₅ (Soluble) Aplicado

$$\text{Carga orgánica} = \frac{1.00 \text{ kg/día}}{6.75 \text{ m}^3} = 0.15 \text{ Kg.DBO/m}^3\text{/día}$$

Carga Orgánica = 0.15 kg.DBO/m ³ /día
--

- Para que un filtro no se obstruya, hay que preveer una determinada tasa de aplicación

por unidad de superficie de filtro

Los filtros percoladores se clasifican según su carga hidráulica y/o carga orgánica en filtros de alta o baja carga, ver cuadro N° 42.

De acuerdo a los valores de Carga Hidráulica y Carga Orgánica encontrados, podemos indicar, según la comparación de los cuadros N° 42 y N° 43, la Carga Hidráulica = $7.20 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$, se encuentra en el rango de alta Carga Hidráulica. Respecto a la Carga Orgánica = $0.30 \text{ kg DBO}/\text{m}^3/\text{día}$, se encuentra en una baja carga.

- Consideraciones Respecto a la Carga Orgánica

Con el valor encontrado $0.30 \text{ kg DBO}/\text{m}^3/\text{día}$ representa una baja carga orgánica, esto se comprueba en la evaluación y operación del filtro percolador, donde se ha presentado condiciones de un proceso facultativo con tendencia a un estado anaerobio de operación. Esto se explica en la medida que se tiene una baja DBO reducido en gran medida por el RAFA cuya operación se realiza en estado anaerobio.

Según algunos autores para que se tenga con toda seguridad un efluente estabili-

CARGAS	FILTRO BAJA CARGA/CAPACIDAD (m ³ /m ² /día)	FILTRO ALTA CARGA/CAPACIDAD (m ³ /m ² /día)	OBSERVACIONES
Hidráulica	1.12 - 4.5	11.2 - 45	De Metcalf - Eddy
Orgánica	1.0 - 3.3	3.3 - 16.5	
Hidráulica	1.7 (Normal)	7 - 28 (acción rápida)	Tesis Chilena
Orgánica	0.15 - 0.40	0.4 - 1.75	
Hidráulica	0.20 - 0.80	8.50 - 28.0	Revista Brasileña DAF
Orgánica	hasta < 0.20	0.50 - 1.80	
Hidráulica	---	---	Filtro Percolador de Lother Hess 0.50 - 0.8 Kg. DBO ₅ /m ³ /día son raros y constituyen casos intermedarios
Orgánica	< 0.50	0.80 <	
Hidráulica	0.80 - 0.20	8.50 - 28	Ing. Lother Hess /Ing. Alberico Prado Pastosa (ODI)
Orgánica	hasta 0.20	0.50 - 1.8	
Hidráulica	-----	7.20 Carga Alta	Datos obtenidos, compatible tesis chilena
Orgánica	0.3 Carga Baja	-----	
Hidráulica	1.0 - 4.0	8.0 - 40.0	Sewage Treatment Plant Design (WP Aguas Residuales - Rivas Mijares)
Orgánica	0.080 - 0.4	0.4 - 4.8	

Carga Hidráulica : (m³/m²/día)

Carga Orgánica : (kg/DBO₅/día)

Cuadro N° 42 : CLASIFICACION DE LOS FILTROS PERCOLADORES

CARGA HIDRAULICA (m ³ /m ² /día)	7,20
CARGA ORGANICA (kg/DBO _{5tot} /día)	0,30

Cuadro N° 43 : VALORES RESULTADO DE LA EVALUACION

zado el filtro percolador debe ser dimensionado de tal forma, que en promedio se tenga una carga polutante del orden de 0.175 kg DBO/día para un filtro de baja capacidad y de 0.875 kg DBO/día, para filtros de alta capacidad para desagües adecuados. En el Cuadro N° 44 se indica los factores principales que deben tenerse en cuenta en un Filtro Percolador.

Un filtro de baja carga representa un dispositivo relativamente sencillo con un funcionamiento seguro, produce una calidad estable de efluente sin perjuicio de que el afluente sea de naturaleza cambiante, se dice que predomina en él una gran población de bacterias nitrificantes, por lo que el efluente es pobre en amoníaco y rico en nitritos

El Filtro Percolador en evaluación se alimenta mediante una bomba sumergible (Marca EBARA SELF-PRIMING, de 60 Hz y 0.75 Kw.) que llena a un tanque y de este discurre por gravedad de manera directa, sobre el lecho filtrante (ver plano de detalle)

Se indica que los filtros de baja carga orgánica presentan olores frecuentes especialmente si el agua residual es poco reciente o séptica o si el tiempo es cálido.

FILTRO PERCOLADOR NO CONVENCIONAL (EVALUADO)	FACTOR
7,2	Carga hidráulica (m ³ m ² /día)
0,3	Carga orgánica (kg.DBO5/m ³ /día)
1.10	Profundidad (m)
ninguna	Recirculación
6,75	Volumen de piedra (m ³)
Ninguna	Moscas en el filtro
Intermitente	Arrastre de sólidos
Simple	Operación
Interminante	Intervalo de operación
---	Efluente

Cuadro N° 44 : FACTORES PRINCIPALES DEL FILTRO PERCOLADOR

Respecto a esto, se presenta olor en el tanque de compensación que alimenta el filtro, en este tanque se almacena el agua que sale del RAFA, pero como la carga orgánica, es decir, la DBO es baja no se presenta problemas elevados de olor como si ocurre en plantas similares que no tienen el RAFA como tratamiento primario.

Esto nos lleva a buscar una relación entre la cantidad de DBO y los olores. Se puede indicar que un agua con baja carga orgánica debería presentar olores, sin embargo esto no ha ocurrido ya que la DBO del agua que ingresa al filtro es muy baja lo cual no genera problemas de olor, a pesar de que el Oxígeno Disuelto de ingreso es cero tal como se ha obtenido.

La presencia de moscas (psychoda) fue escasa por la reducida presencia de olor y no ha presentado problemas, salvo algunas larvas de moscas en la superficie del filtro.

7.4 PERÍODO DE RETENCION*

La determinación del período de retención, en el filtro percolador se realizó por observación, es decir, al termino de la evaluación, se procedió a cerrar el ingreso del agua de riego al filtro percolador, se evacuó totalmente el agua retenida en el filtro, luego de un tiempo, se procedió a abrir el ingreso de agua, tomando la diferencia de hora de ingreso al filtro percolador y el tiempo de salida se aproximó un período de retención.

$$P.R. = 10 \text{ min.}$$

Esta determinación nos permite tener una idea del período de retención del Filtro Percolador evaluado.

Un período de retención P.R. = 10 min. representa un tiempo corto en el contacto del fluido con la capa biológica presente en el lecho filtrante, la nula reducción de los coliformes fecales a la salida del filtro percolador demuestra lo afirmado, ocasionado por una alta carga hidráulica y baja carga orgánica.

La determinación teórica del período de retención, está expresado por la expresión:

$$t = \frac{CHA^n}{Q^n}$$

DONDE:

t = Período de retención (horas)

H = Profundidad del medio filtrante

A = Area Específica (m^2 de superficie de las piezas por m^3 de volumen del filtro).

Q = Carga hidráulica ($m^3/m^2/día$)

C, m, n = Constantes, dependen del Area Específica de la forma de las piezas (piedras), del espesor de la película biológica. Se determinan experimentalmente.

i) Determinación del área específica

$$\text{Superficie c/pieza} = \pi D^2$$

D = diámetro c/pieza (se considera material esférico granular cantos rodados \varnothing 3" (0.0762m))

$$\text{Superficie c/pieza} = (3.14) (0.0762)m^2$$

$$\text{Superficie c/pieza} = 0.018 m^2$$

Representa la superficie de una sola pieza \varnothing 3" aproximadamente.

- Superficie piezas/ m^3

1 m^3 contiene : 13 x 13 x 13 = 2197 piezas.

Este valor se determina asumiendo un cubo de 1.00 m por lado.

$$\text{Superficie piezas}/m^3 = (0.018) (2197)$$

$$\text{Superficie piezas}/m^3 = 40.00 m^2/m^3$$

- **Volumen Filtro**

Volumen=Volumen calculado del filtro percolador

$$\text{Volumen} = 6.75 \text{ m}^3$$

- **Superficie Total Piezas**

$$\text{Superficie Total Piezas} = (40 \text{ m}^2/\text{m}^3)(6.75 \text{ m}^3)$$

$$\text{Superficie Total Piezas} = 270.00 \text{ m}^2$$

- **Area Específica**

$$\text{Area Específica} = \frac{\text{Superficie Total Piezas (m}^2\text{)}}{\text{Volumen de Filtro (m}^3\text{)}}$$

$$\text{Area Específica} = \frac{270.00 \text{ m}^2}{6.75 \text{ m}^3}$$

$$\text{Area Específica} = 40.00 \text{ m}^2/\text{m}^3$$

ii) **Determinación del Período de Retención**

Si:

$$C = 0.70 \text{ (canto rodado)}$$

$$H = 1.10 \text{ m.}$$

$$A = 40.00 \text{ m}^2/\text{m}^3$$

$$Q = 7.20 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$$

$$m = 0.01$$

$$n = 0.667 \text{ (flujo turbulento)}$$

$$t = \frac{(0.70) (1.10) (40.00)^{0.01}}{(7.20)^{0.667}}$$

$$t = 0.214 \text{ hr.}$$

$$t = 12.85 \text{ min}$$

Este valor teórico, se aproxima al período de Retención determinado en campo. Otra forma de calcular el período de retención es mediante el uso de trazadores, reactivos químicos y/o Isotopos radiactivos.

7.5 EFICIENCIA DE LA UNIDAD

Eficiencia Total de la Estación de Tratamiento (E_1)

$$E_1 = \frac{\text{DBO}_t(\text{desague crudo}) - \text{DBO}_t(\text{Efluente Filtro Percolador})}{\text{DBO}_t(\text{desague crudo})}$$

$$E_1 = \frac{200 - 21.63}{200}$$

$$E_1 = 89.18\%$$

- Eficiencia del Decantador (RAFA) (E_2)

$$E_2 = \frac{200 - 32.71}{200}$$

$$E_2 = 83.64\%$$

- $\text{DBO}_t(\text{Efluente Final Estación}) = (1.0 - 0.89)(200 \text{ mg/lit})$

$$\text{DBO}_t(\text{Efluente Final Estación}) = 21.64 \text{ mg/lit}$$

- $\text{DBO}_t(\text{Afluente al Filtro Percolador}) = (1.0 - 0.83)(200 \text{ mg/lit})$

$$\text{DBO}_t(\text{Afluente al Filtro Percolador}) = 32.72 \text{ mg/lit}$$

$$\text{DBO}_t(\text{Removido por el Filtro Percolador}) = 32.72 - 21.64$$

$$\text{DBO}_t(\text{Removido por el Filtro Percolador}) = 11.08 \text{ mg/lit}$$

Eficiencia del Filtro Percolador (E)

$$E = \frac{\text{DBO}_t(\text{Removido por Filtro Percolador})}{\text{DBO}_t(\text{Afluente al Filtro Percolador})}$$

$$E = 11.08/32.72$$

$$E = 33.87 \%$$

Otra forma de calcular la eficiencia:

$$E = \frac{\text{DBO}_t(\text{Afluente al F.P.}) - \text{DBO}_t(\text{Efluente del F.P.})}{\text{DBO}_t(\text{Afluente al F.P.})} = \frac{32.71 - 21.63}{32.71}$$

$$E = 33.87 \%$$

8. CONCLUSIONES

- El Filtro Percolador evaluado reduce la carga orgánica del efluente en un porcentaje menor a lo esperado, obteniéndose una eficiencia remocional en $DBO_{5(\text{total})}$ de 33.70 % y un $DBO_{5(\text{soluble})}$ del 5.29 %. El tratamiento previo mediante un reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) reduce drásticamente la carga orgánica del agua residual doméstico, debido a este proceso disminuye la eficacia del filtro percolador.
- De acuerdo a los resultados que se obtienen en el efluente del Filtro Percolador, una carga orgánica de DBO_{total} (21.63mg/lt) y sólidos totales de 696.9 mg.lt, es óptimo para el riego de parques y jardines, y lugares en los cuales no se tenga contacto directo con los usuarios. Además permite la recarga de los acuíferos y cuerpos o cursos de agua.
- El Filtro Percolador se diseñó con la finalidad de reducir los coliformes fecales y totales, sin embargo de acuerdo a los resultados obtenidos el filtro no logra remover los coliformes. La eficiencia remocional de coliformes totales es de (-89%) y de (-144%) en cuanto a fecales se refiere encontrados por los coliformes en el medio filtrante a una

temperatura de (19.70°C), pH (7.3) y OD (0.5 mg/lt)), sumado al limitado desarrollo de la película biológica (zooglea) incluido los organismos consumidores como: protozoarios, rotíferos, hongos, etc.

- Una alta carga hidráulica (7.20m³/m²/día), una mínima carga orgánica (0.30 kg/DBO/día) y un periodo de retención corto (13 min) reduce significativamente la eficiencia del Filtro Percolador.
- Los sistemas de ventilación y distribución del Filtro Percolador han operado de una forma irregular. Una inadecuada distribución de agua residual sobre el lecho filtrante, limitó el desarrollo de la película biológica, el agua pasa directamente al punto de efluencia del filtro, sin sufrir ninguna estabilización biológica. Así mismo el sistema de ventilación no cumplió su función de aerear adecuada y suficientemente el medio filtrante, generando condiciones anaerobias en la mayoría de la zona del filtro y creando condiciones propicias para el desarrollo de coliformes.
- La mayor remoción de sólidos, se produce en el reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA). La concentración de sólidos en general aumenta relativamente al muestrear los efluentes del filtro,

este incremento se debe al desprendimiento de las paredes debido a la fisura, a la elevada carga hidráulica. El arrastre de la película biológica en formación aumenta relativamente la presencia de sólidos orgánicos.

9. RECOMENDACIONES

- La aplicabilidad de un Filtro Percolador no convencional para el tratamiento de un agua residual doméstico es limitado debido a la remoción previa del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA) los resultados obtenidos confirman lo mencionado. Un filtro percolador convencional mejoraría la eficiencia en la remoción de los coliformes.

- Para aguas residuales de baja carga orgánica, se recomienda instalar un sistema de recirculación del efluente, de esta manera se lograría una mayor formación de la película biológica (zooglea) aumentando el tiempo de contacto y remoción de coliformes.

- Un sistema de distribución fijo, no garantiza una asperción homogénea sobre el lecho filtrante, es recomendable un sistema de distribución giratorio sobre una superficie circular.

- Para una notable reducción de los organismos coliformes fecales, se requiere que el sistema trabaje bajo condiciones aerobias, para ello se deberá optimizar el sistema de ventilación aumentando los diámetros de las tuberías de ventilación, una mejor distribución de los mismos; para mayor

seguridad y eficiencia se recomienda la instalación de aereadores en el medio filtrante.

- Es necesario que las paredes del filtro percolador tengan una resistencia y enlucido apropiado que evite la fisura en las paredes, el desprendimiento de material sólido inerte y corrosión por los gases H_2S , CH_4 , CO_2 , etc. producidos en el filtro.
- Se recomienda mantener un tanque de compensación a un nivel constante garantizando un nivel de presión hidráulica sobre el medio filtrante, de esta manera se reducen los taponamientos del sistema de distribución.
- El sistema incluye equipop de bombeo, se debe garantizar por lo menos dos equipos que permitirían un bombeo continuo sobre el lecho filtrante las 24 horas.
- Se recomienda un permanente mantenimiento y operación del filtro, de los equipos de bombeo, etc. dotando del personal necesario.
- Debido a la remoción de coliformes fecales, se recomienda la desinfección de sus efluentes con cloro para usos recreacionales u otros en contacto con los usuarios.

10. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

1. BRANCO, SAMUEL MUGEL Hidrobiología Aplicada a la Ingeniería Sanitaria. 1959 - Universidad de Sao Paulo, BRASIL
2. CASTRO, MARIA LUISA Procedimiento Simplificado de Análisis Químico de Aguas residuales. CEPIS
3. ECKENFELDER, W.W., Industrial water Pollution Control, New York; Mc. Graw-Hill Book Company 1966
4. ECKENFELDER, W.W. Jr. y OCCONOR, O.J. Biological waste Tratment. Pergamon Press, New York (1961)
5. ENGENARIA SANITARIA, Río de Janeiro V-16, N° 3, Jul/Set - 1977 Revista Pág. 439-442
6. EVANDRO RODRIGUEZ, BRITTO Contribuicao ao estudo para determinacao de un indicador de poluicao fecal, DES, SURSAN, Sec. Obr. Públ. Est. da G.B, 1972, apres. XII Cong. Interam. Eng. Sanit, Assuncao Paraguai, Agosto 1972, 4 op.

7. FAIR - GEGER - OKUM. Purificación de Aguas y Tratamiento y Renovación de Aguas residuales. 1967

8. GALLER, W.S. & GOTAAS, H.B., Analysis of Biological Filter Variables Journal of The Sanitary Engineering Division, ASCE, 90, W^o6, P.59 (1964)

9. HOWLAND, W. E. Flow over porous media asin a trickling filter Proceedings - 12 th Purdue Industrial Waste Conference, la fayotte, Indiana, P. 435 (1957)

10. IDROVO, DIEGO Reactor U.A.S.B (Revisión Bibliográfica) - Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) - LIMA.PERU. DIC 1990.

11. LOTHER HESS, MAX Tratamiento Biológico - OPS/UNIFIA.

12. MC KINNEY, ROSS Microbiology For Sanitary Engineers - Mc Graw Hill - 1962

13. METCALF - EDDY. Tratamiento y Depuración de las Aguas residuales. 1977. Ed. Labor S.A. Barcelona-España.

14. MUÑOZ A., HORACIO Filtro Percoladores - Universidad de Antioquia - Colombia. 1989

15. PALMER, C. MERVIN Algas Abastecimiento de Agua - I Edición 1962
16. PAZ MOROTE, JOSE - PAZ CASAMI, JOSE M. Alcantari-llado y Depuraciones de Aguas residuales. 1963.
17. PELCZAR/REID/CHAM. Microbiología. IV Edición 1982 - MEXICO
18. PRADO PASTANA FILHO, ALBERICO Filtros biológicos. EN: Revista DAE N°08 PAG. 84-95 Año 1976
19. Revista D.A.E. Aspectos Ecológicos del Filtro Biológico. Vol 45, N# 140 Pag 40-42 Marzo 1985.
20. RIVAS MIJARES, GUSTAVO Tratamiento de Agua Residual. I Edición 1967 - VENEZUELA.
21. SCHULZE, K.L., Experimental Vertical Screen Trickling Filtrer. Sewage and Industrial Wastes, Vol. 29, p. 458 (1957)
22. VALENCIA MONTOYA, GUILLERMO Filtros Percoladores. Universidad del Valle, Cali, Colombia.
23. VELZ, E.J., A BASIC LAW FOR THE PERFORMANCE OF BIOLOGICAL BEDS. Sewage Works Journal, Vol. 20, p. 245 (1948)

24. VINCES ARAOZ, ALEJANDRO Aspectos Biológicos del Modulo de Tratamiento de Aguas residuales en Miraflores. X Congreso Peruano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. APIS/PERU.

25. YAÑEZ, F.A. - KIRCHMER, C. Literature sorvey and development of experimental procedures for stabilization ponds; second progress report submitted IDRC, Lima, OPS, CEPIS, 1979.

26. ZAPATER ROVIRA. JUAN M. Reutilización de Aguas residuales para Agricultura. Universidad Nacional Agraria - CEPIS - 1980

ANEXO Nº I

GRAFICAS

RELACION DE GRAFICAS

Nº	DESCRIPCION
1.0	Variación T°/pH/O.D/Afluente
2.0	Variación T°/pH/O.D/Efluente
3.0	Variación D.B.O. Total
4.0	Variación D.B.O. Soluble
5.0	Variación D.B.O. Total-D.B.O. Soluble/Afluente
6.0	Variación D.B.O. Total-D.B.O. Soluble/Efluente
7.0	Variación Sólidos Totales
8.0	Variación Sólidos Suspendidos
9.0	Variación Sólidos Sedimentables
10.0	Relación Sólidos Volátiles
11.0	Relación Sólidos Fijos
12.0	Variación Sólidos Volátiles - Fijos/Afluente
13.0	Variación Sólidos Volátiles - Fijos/Efluente
14.0	Variación de Coliformes/Afluente
15.0	Variación de Coliformes/Efluente
16.0	Relación de Coliformes Totales
17.0	Relación de Coliformes Fecales

Gráfico N° 1: VARIACION T°/pH/OD/AFLUENTE

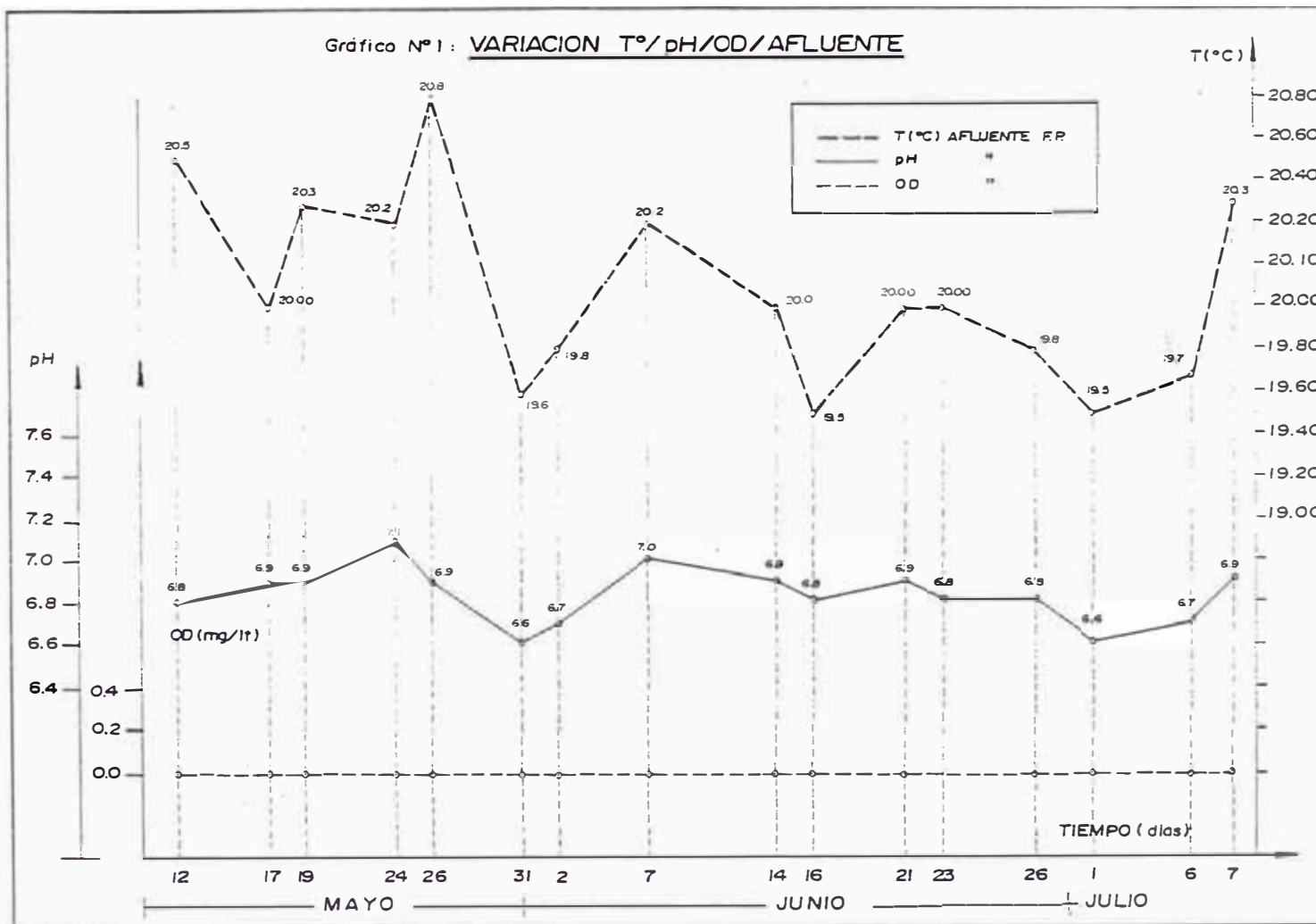


Gráfico N°2 VARIACION T°/pH/OD/EFLUENTE

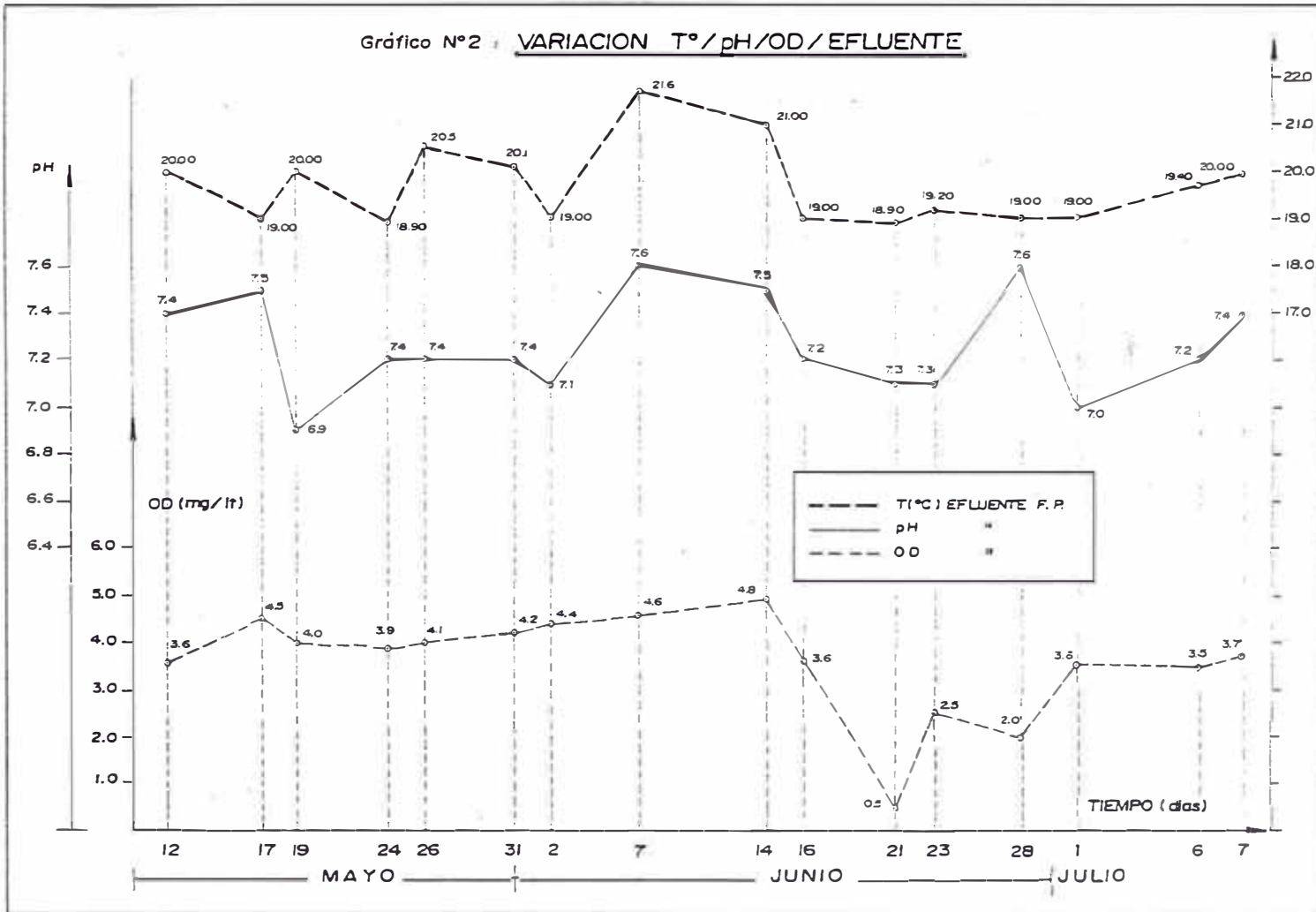
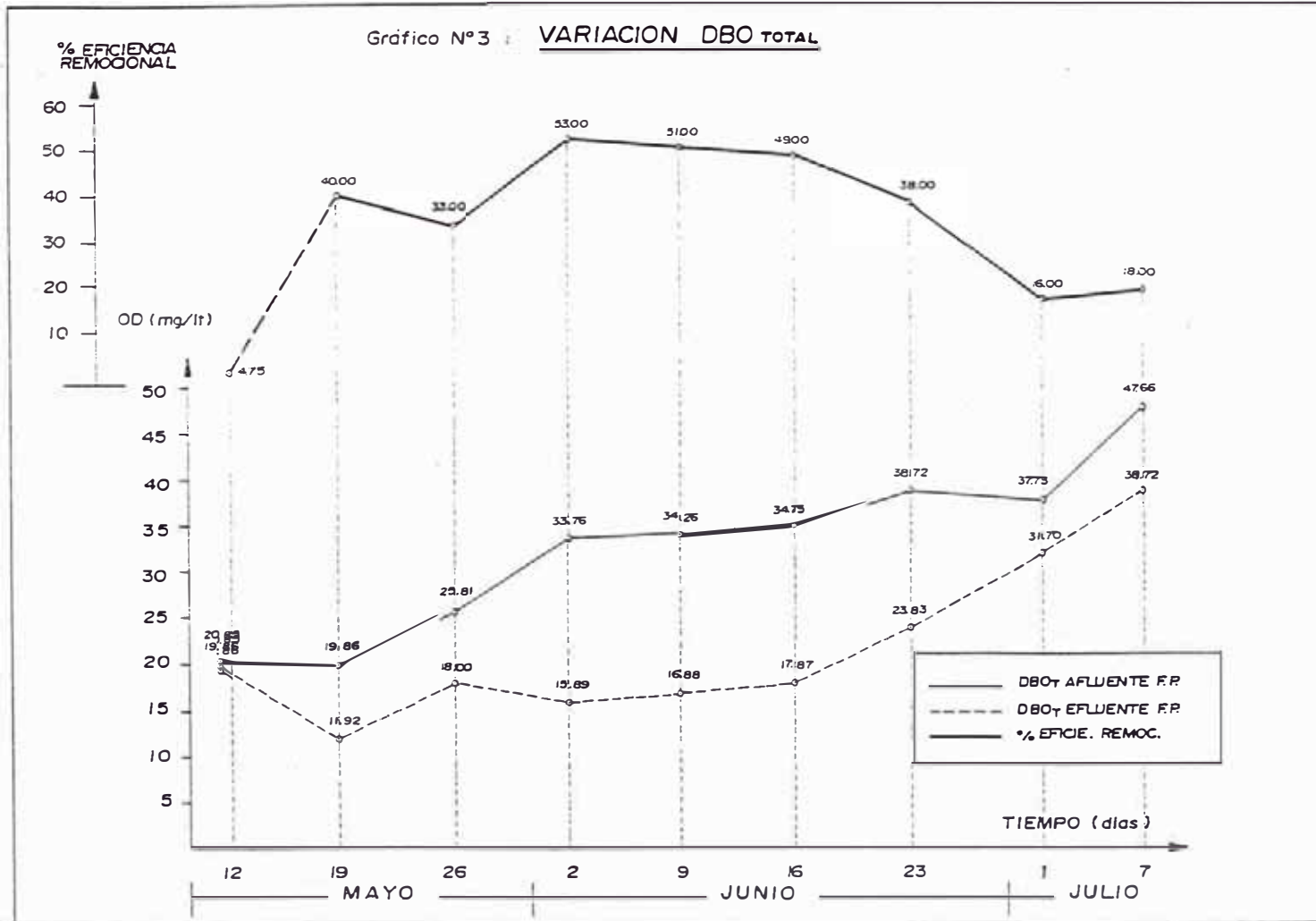
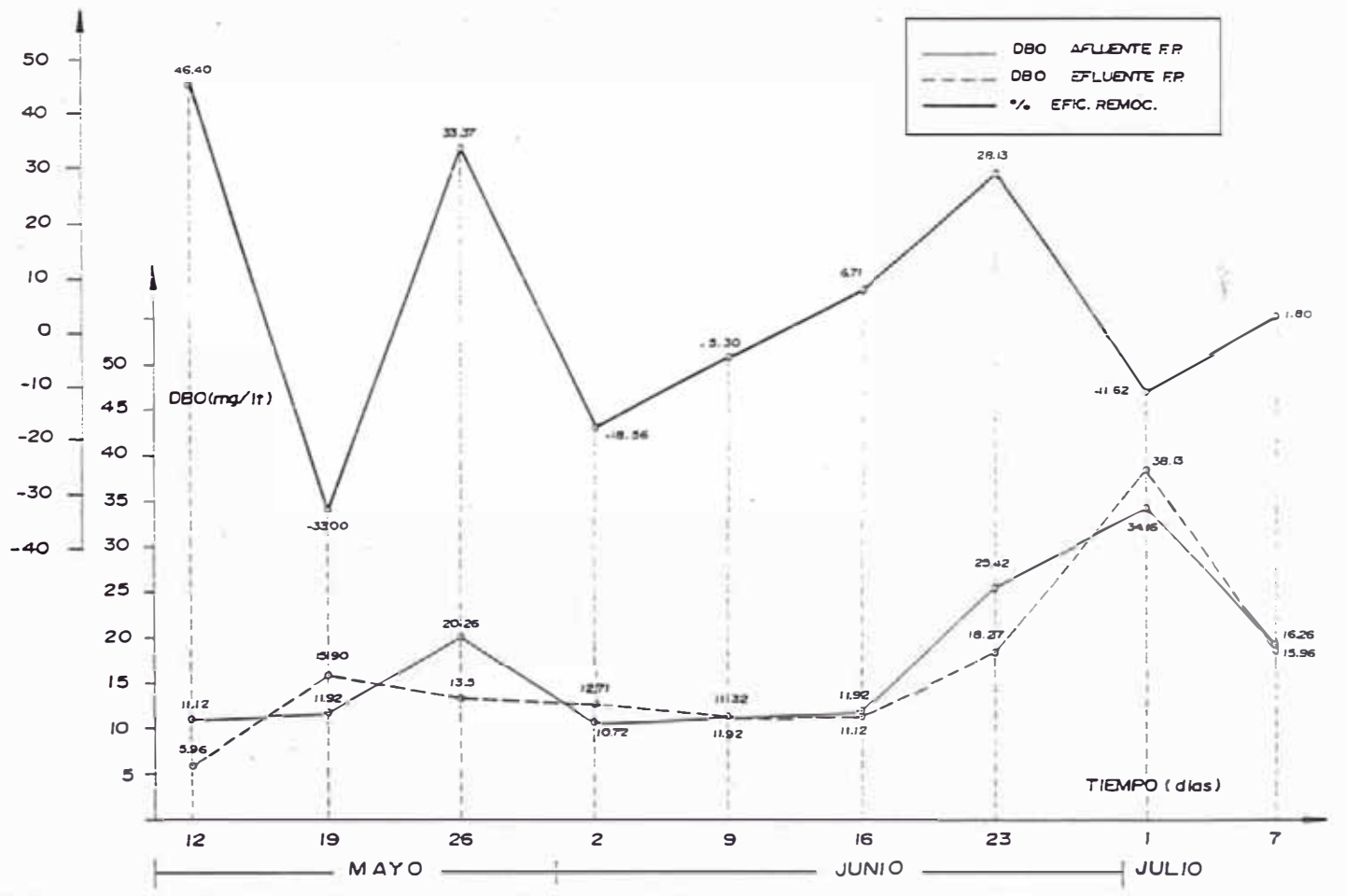


Gráfico N°3 : VARIACION DBO TOTAL



% EFICIENCIA REMOCIONAL

Gráfico N°4 : VARIACION DBO SOLUBLE



Gráfica N° 5 : VARIACION DBO TOTAL - DBO SOLUBLE / AFLUENTE

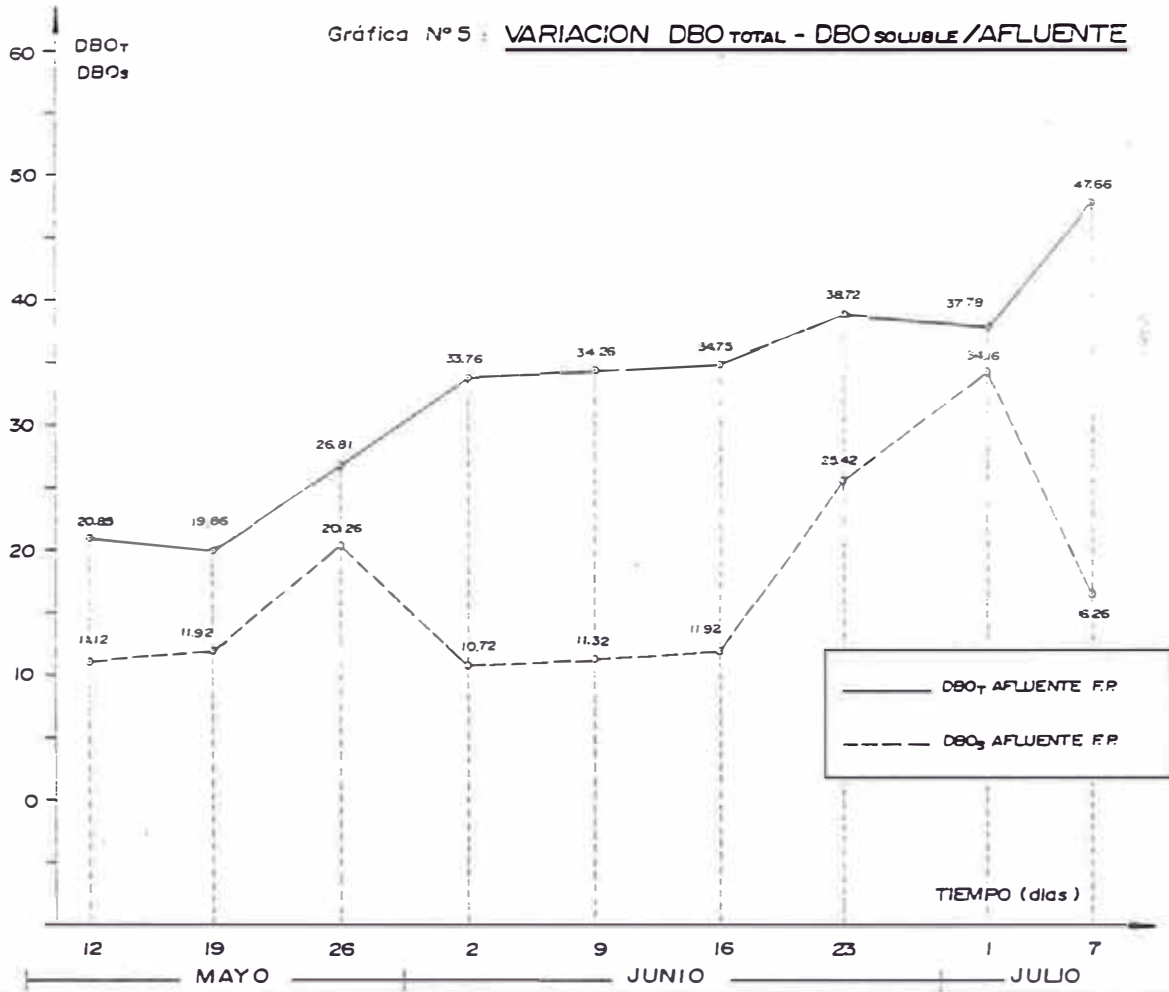


Gráfico N°6 VARIACION DBO TOTAL-DBO SOLUBLE/ EFLUENTE

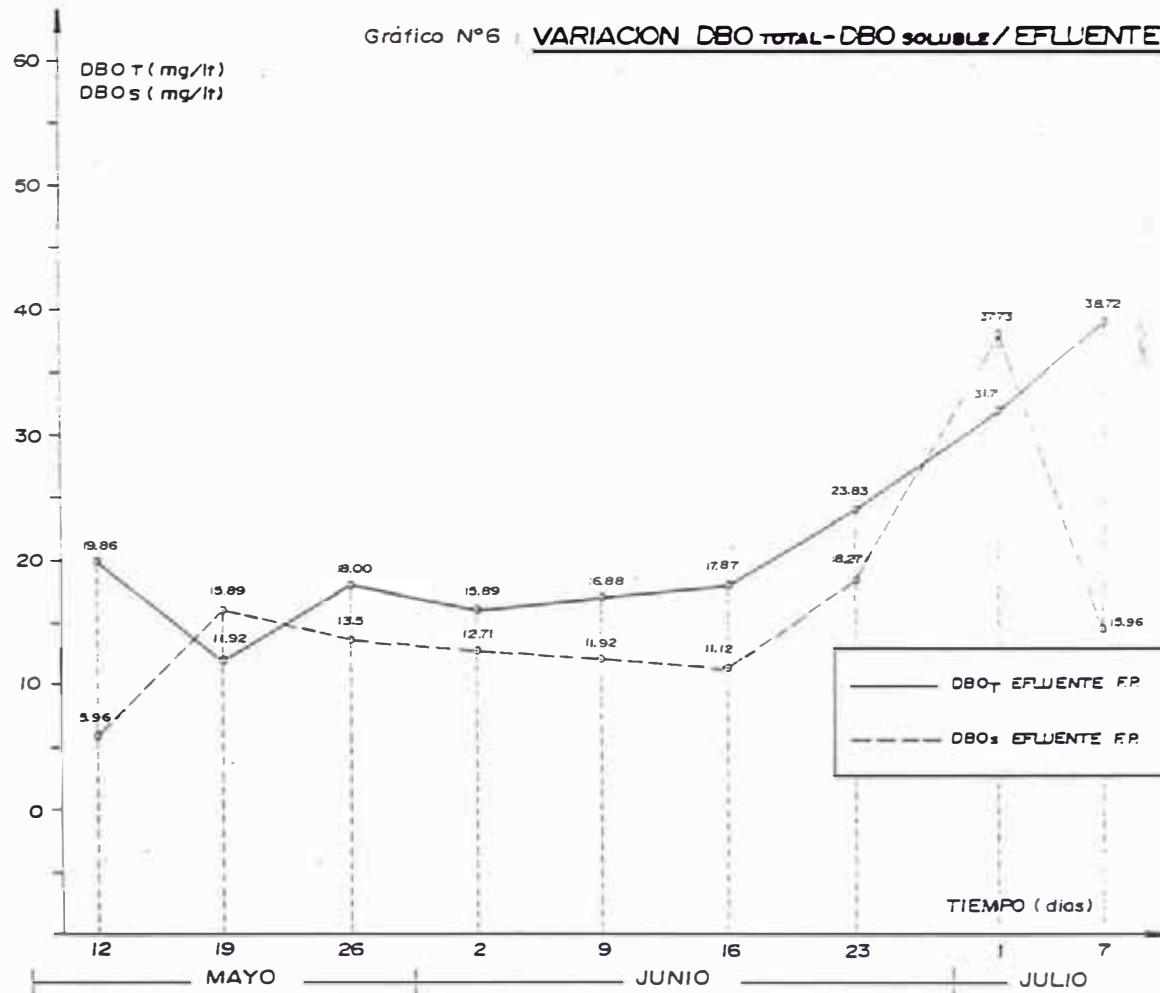


Gráfico N° 7 : VARIACION SOLIDOS TOTALES

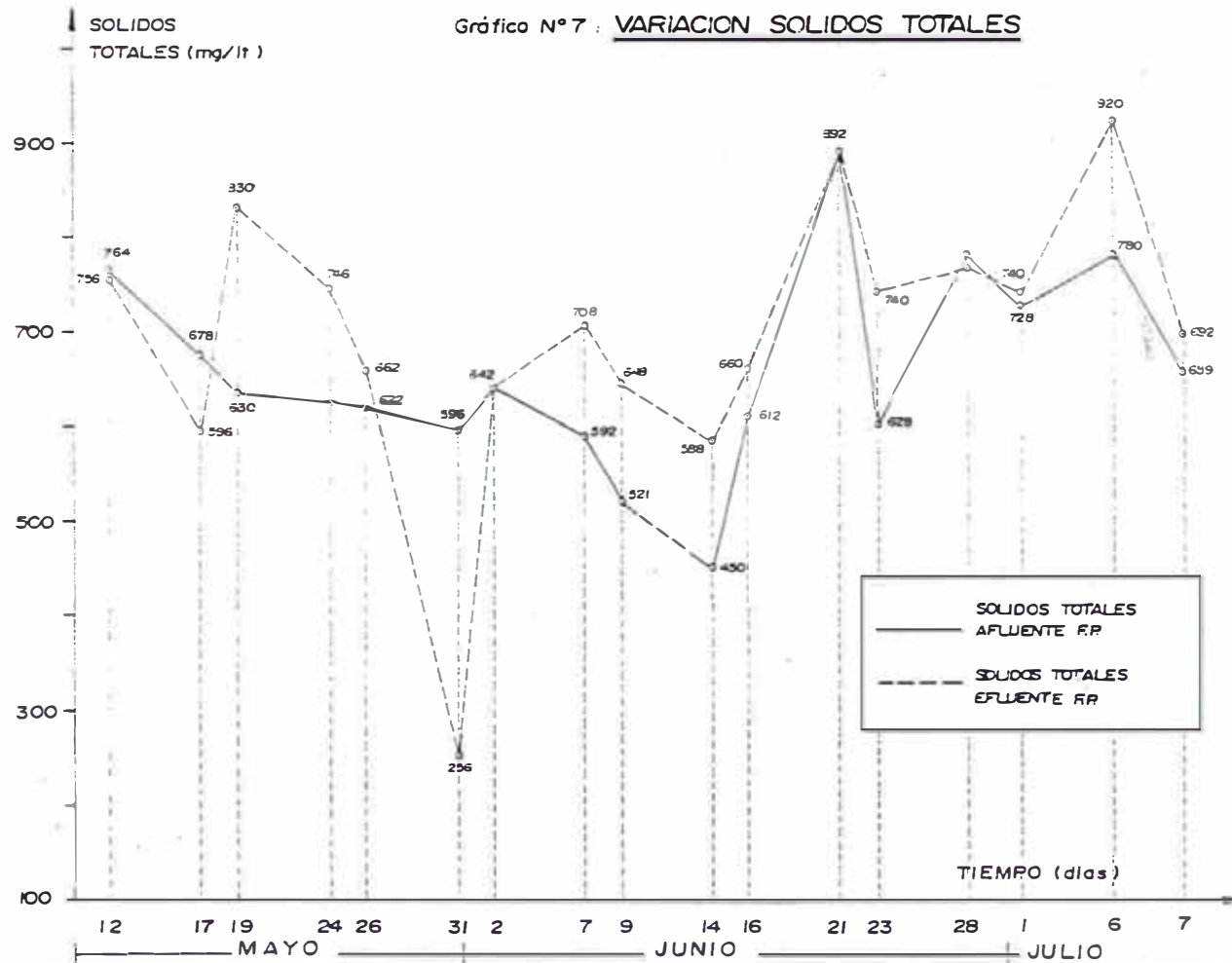
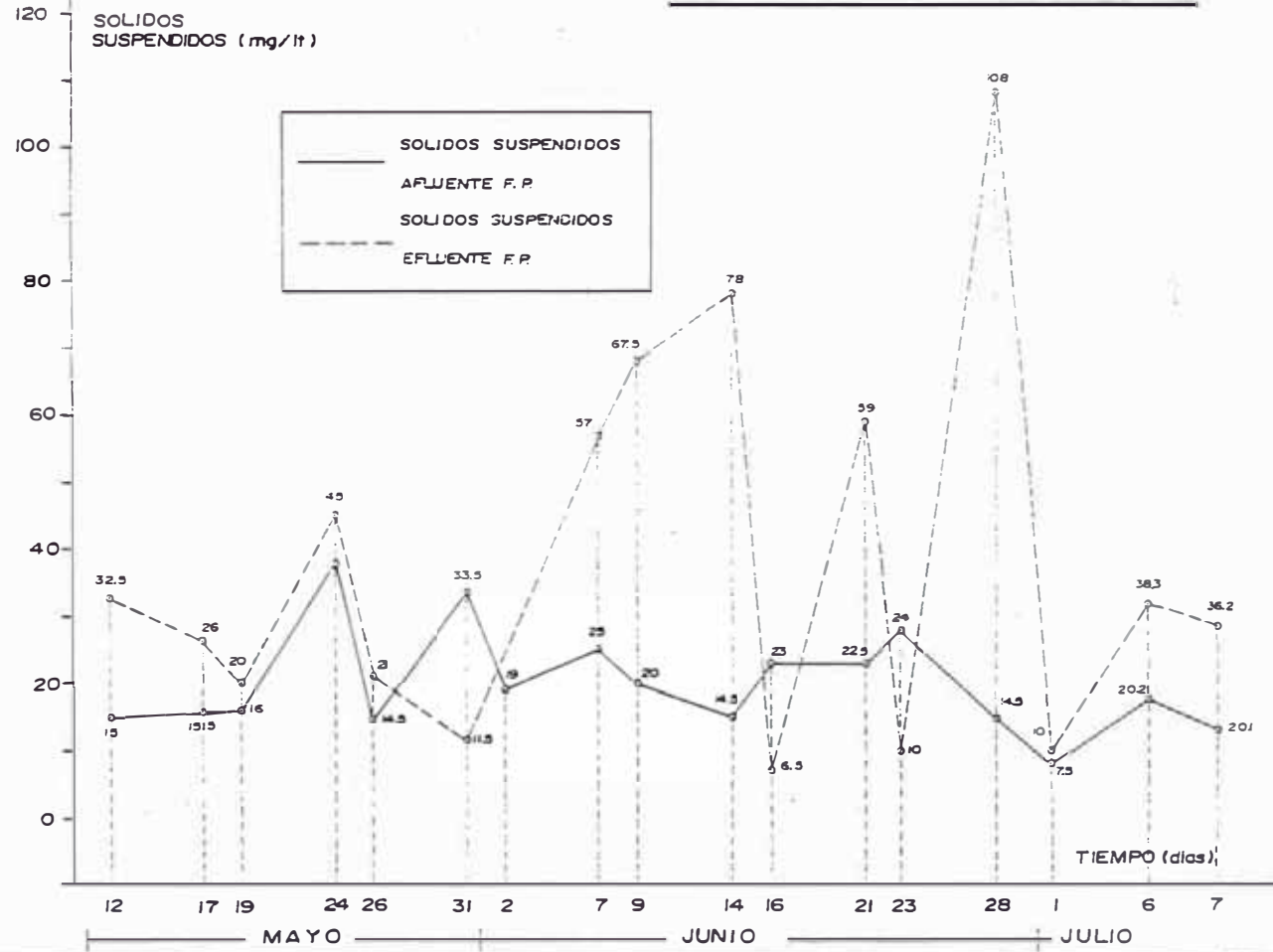


Gráfico N°8 : VARIACION SOLIDOS SUSPENDIDOS



SOLIDOS
SEDIMENTABLES
(mg/lr/hr)

Gráfico N° 9 : VARIACION SOLIDOS SEDIMENTABLES

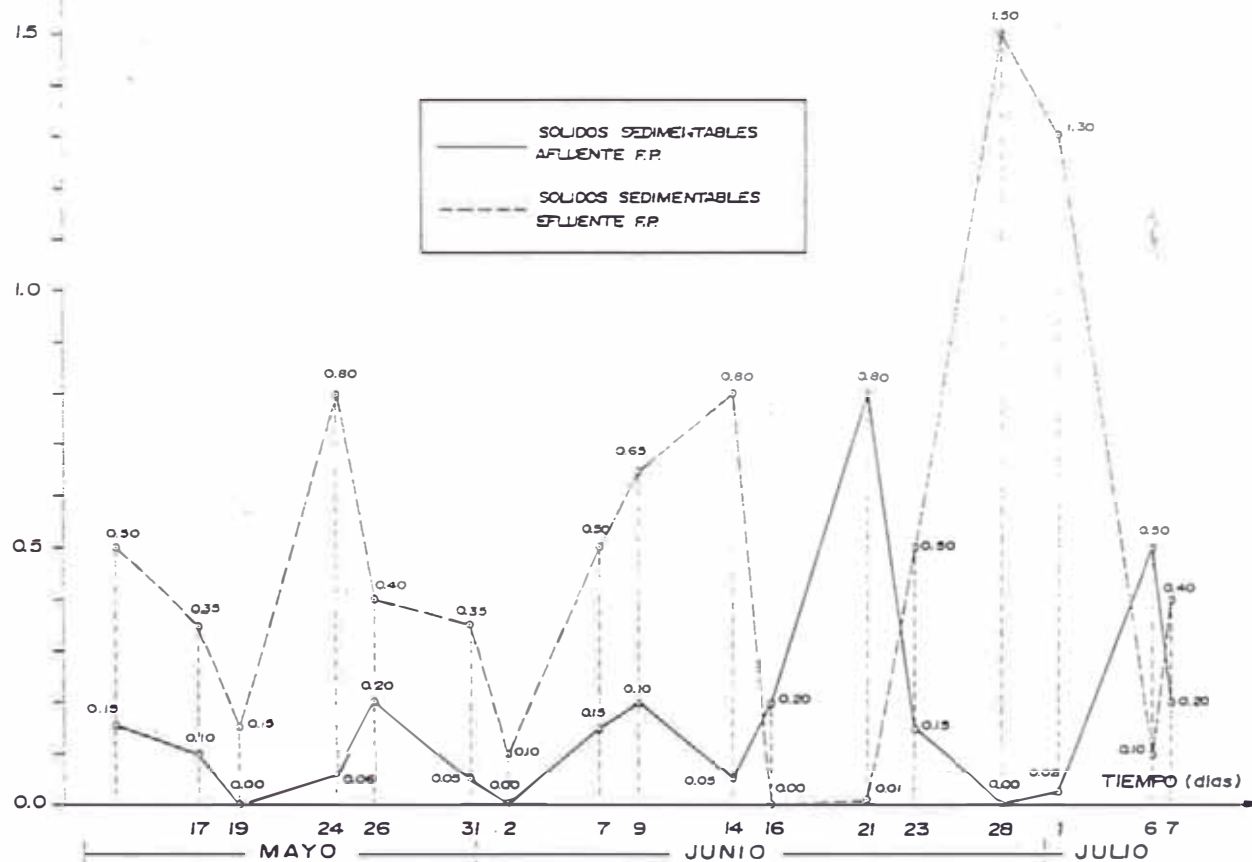
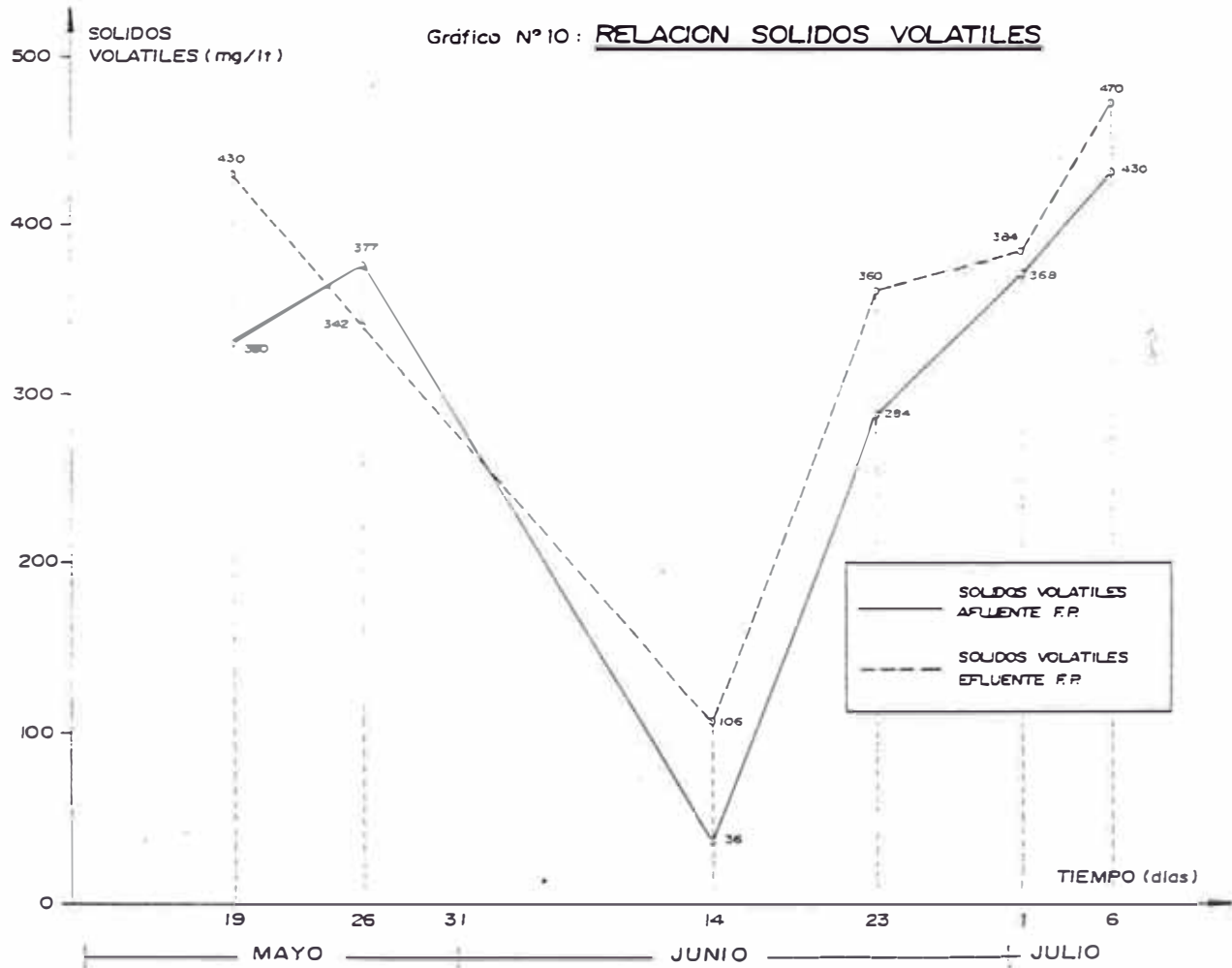


Gráfico Nº 10: RELACION SOLIDOS VOLATILES



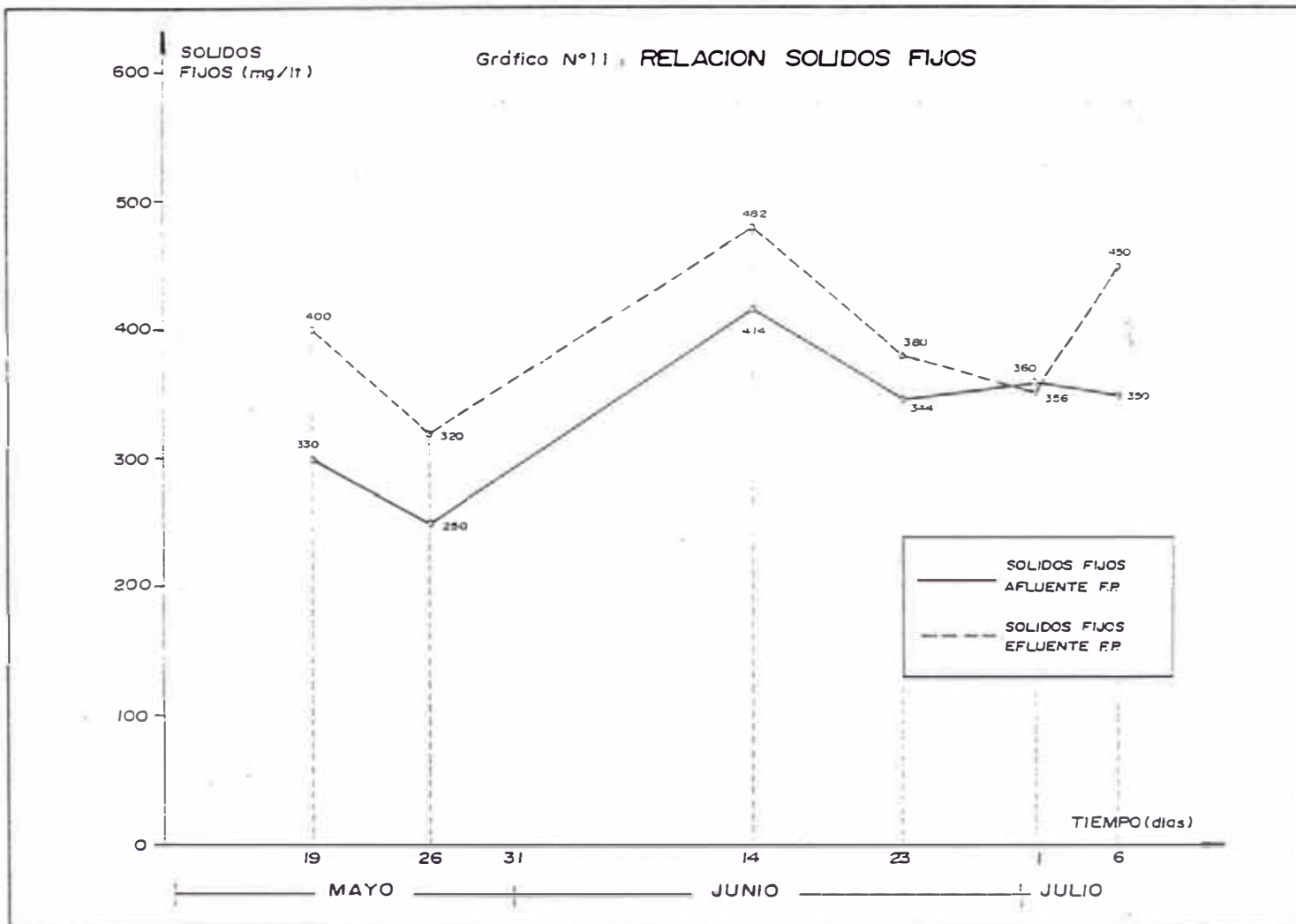
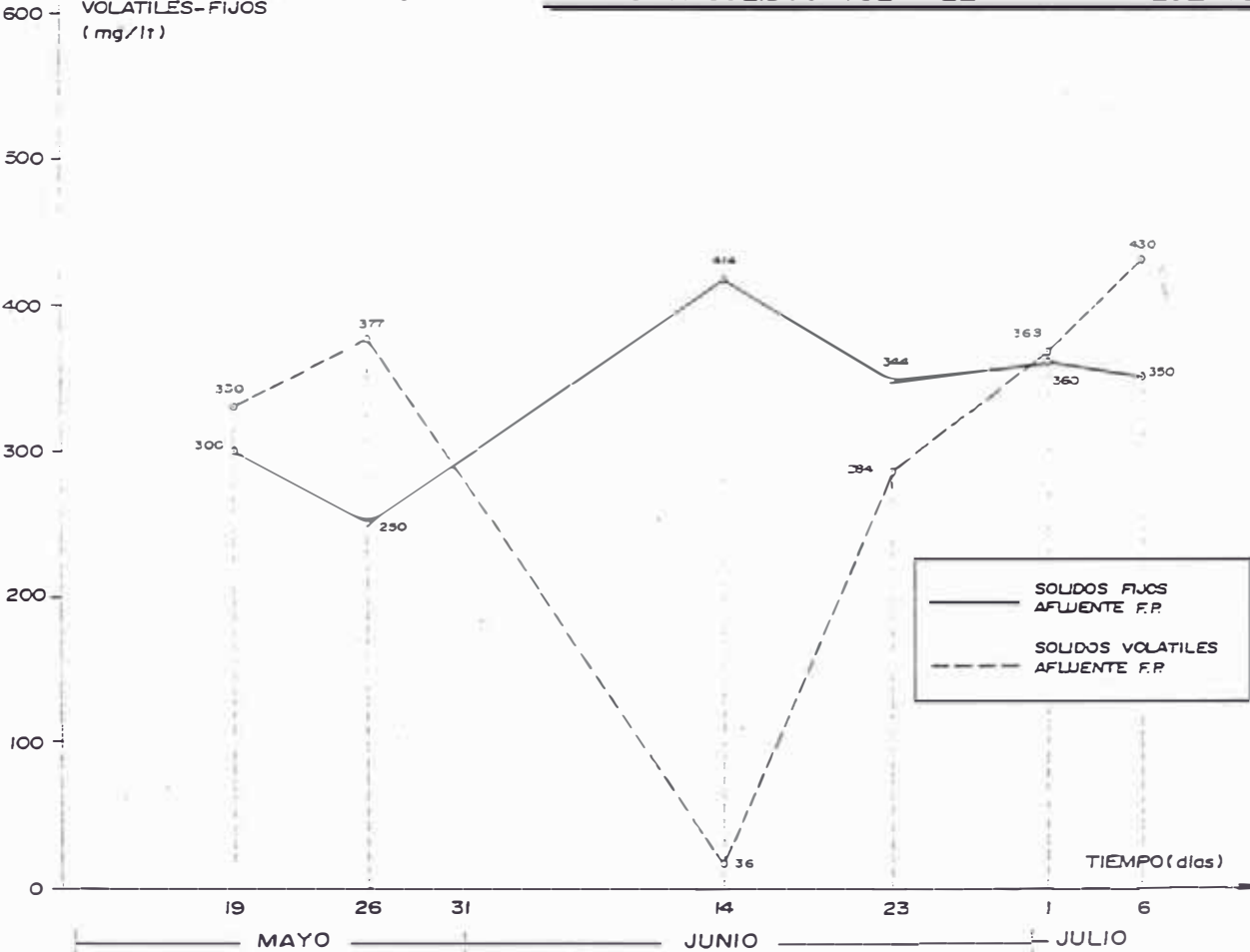


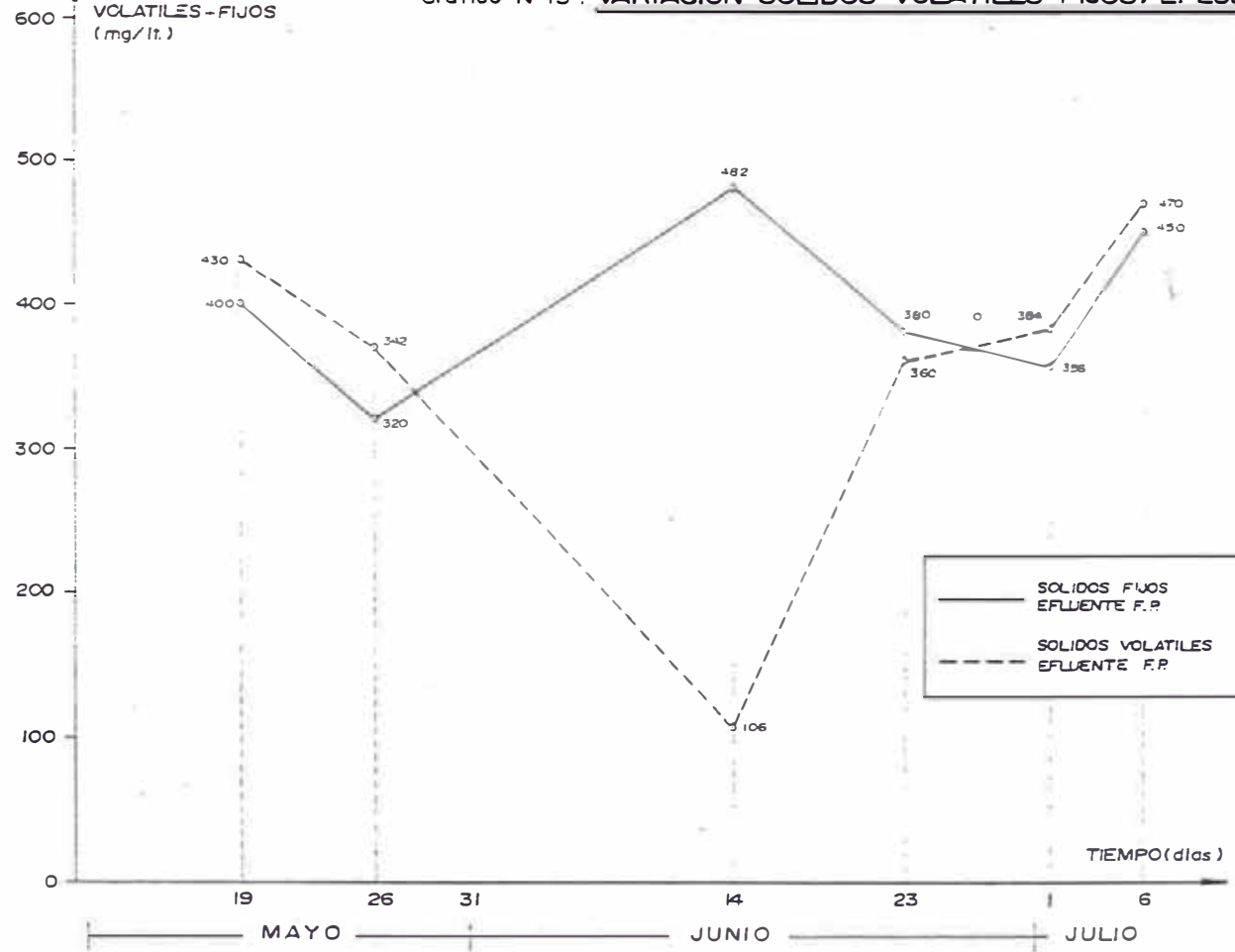
Gráfico Nº 12 VARIACION SOLIDOS VOLATILES FIJOS/AFLUENTE

SOLIDOS
VOLATILES-FIJOS
(mg/lr)



SCLIDOS
VOLATILES-FIJOS
(mg/lit.)

Gráfico N°13 : VARIACION SOLIDOS VOLATILES-FIJOS/EFLUENTE



NMP/100ml
(x 10E+6)

Gráfica N° 14 : VARIACION DE COLIFORMES/AFLUENTE

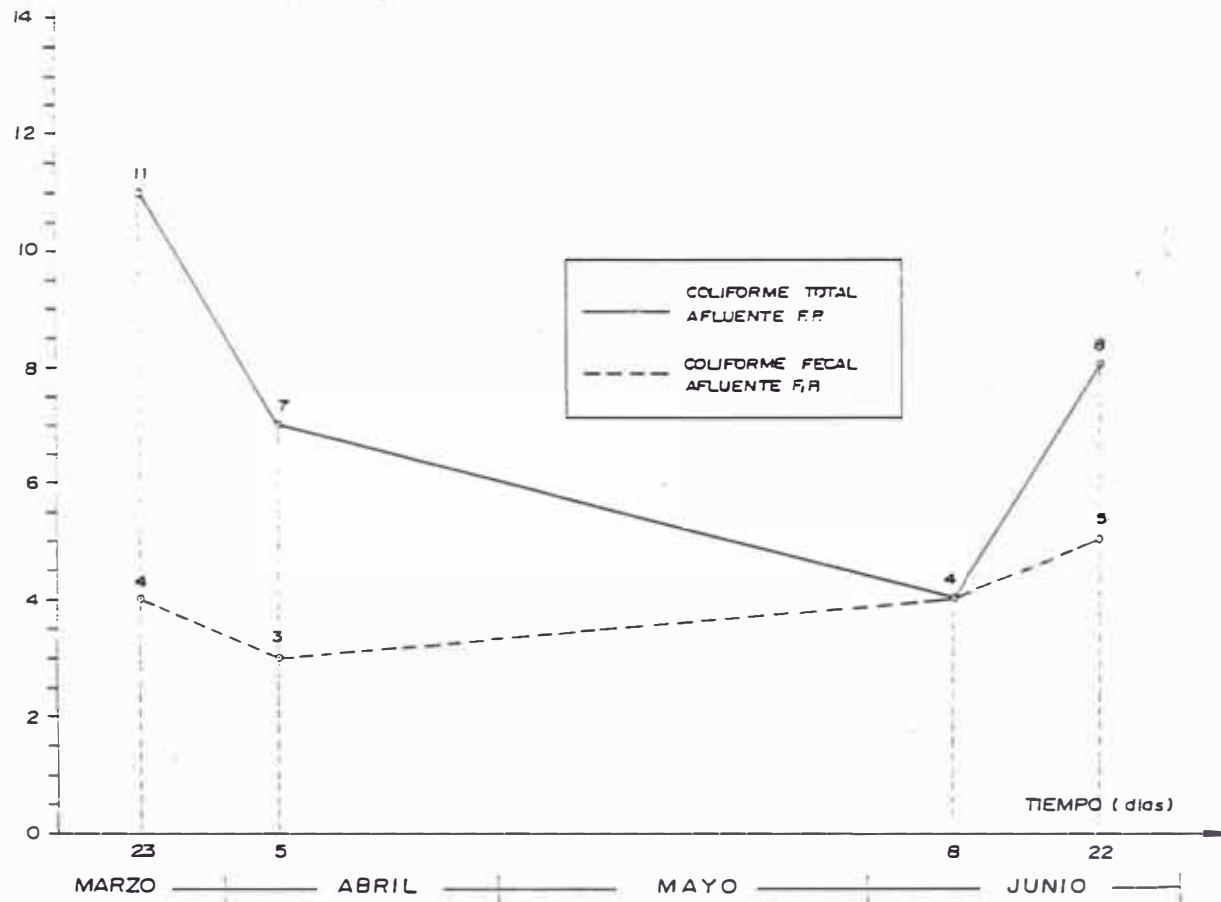
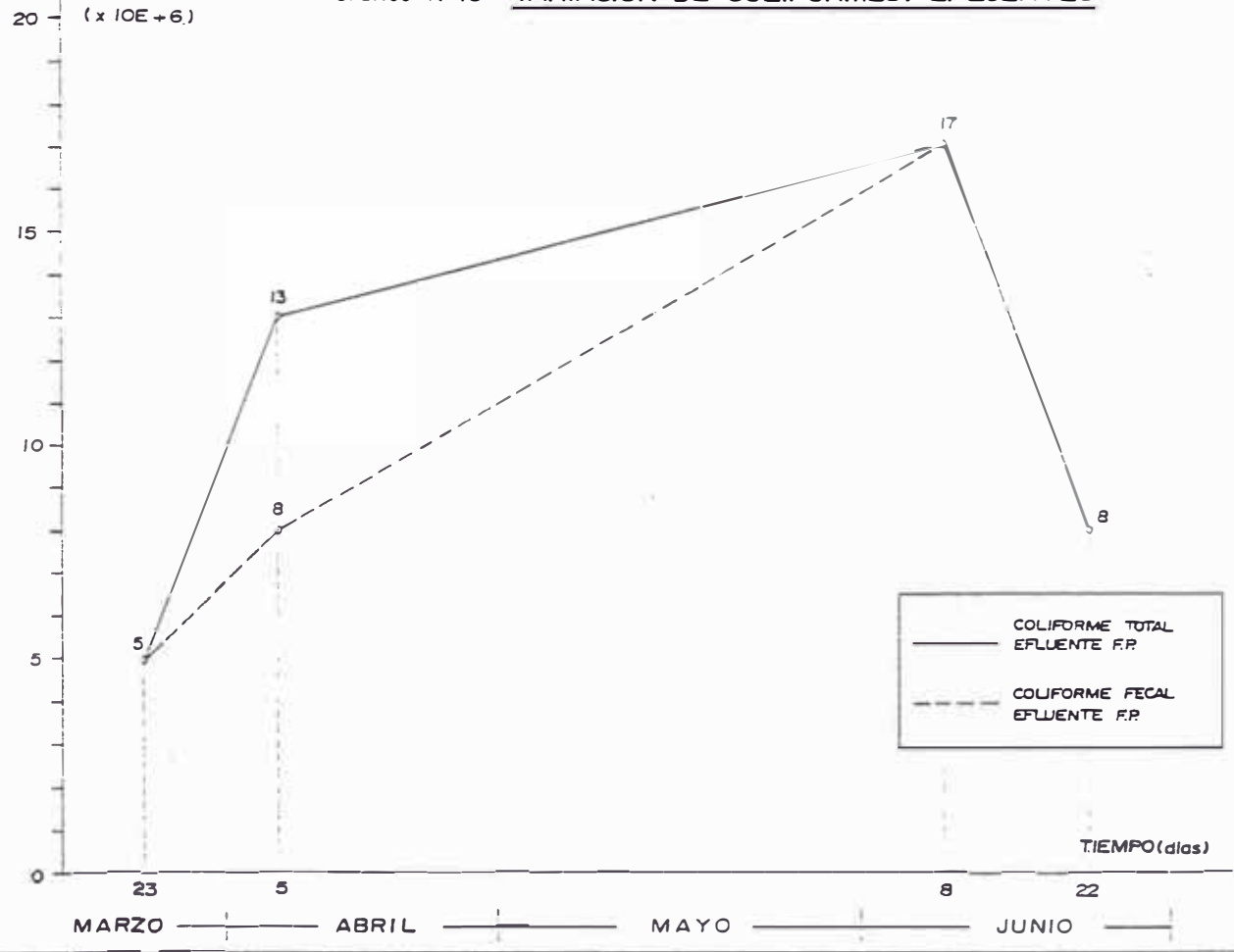


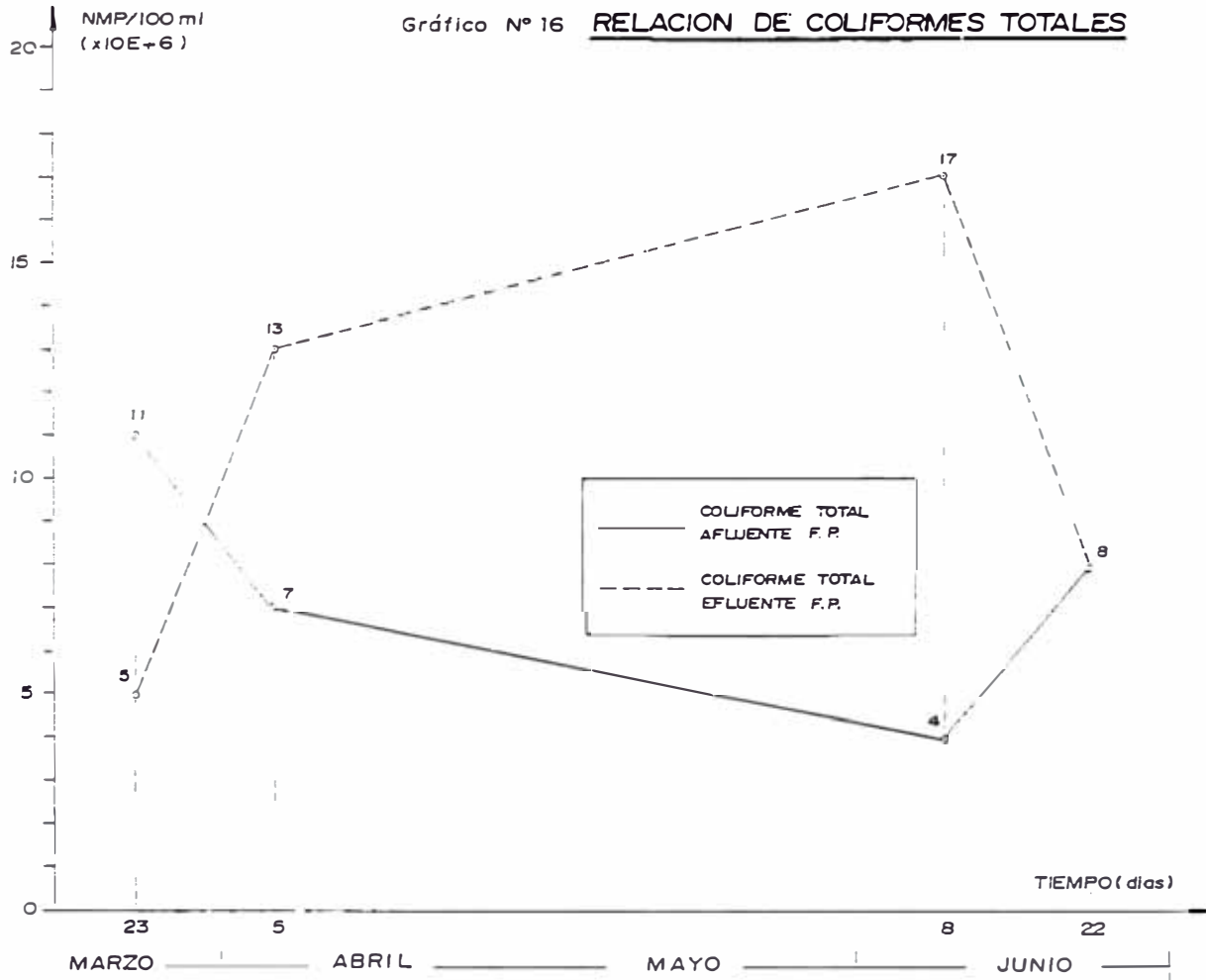
Gráfico Nº 15 : VARIACION DE COLIFORMES / EFLUENTES

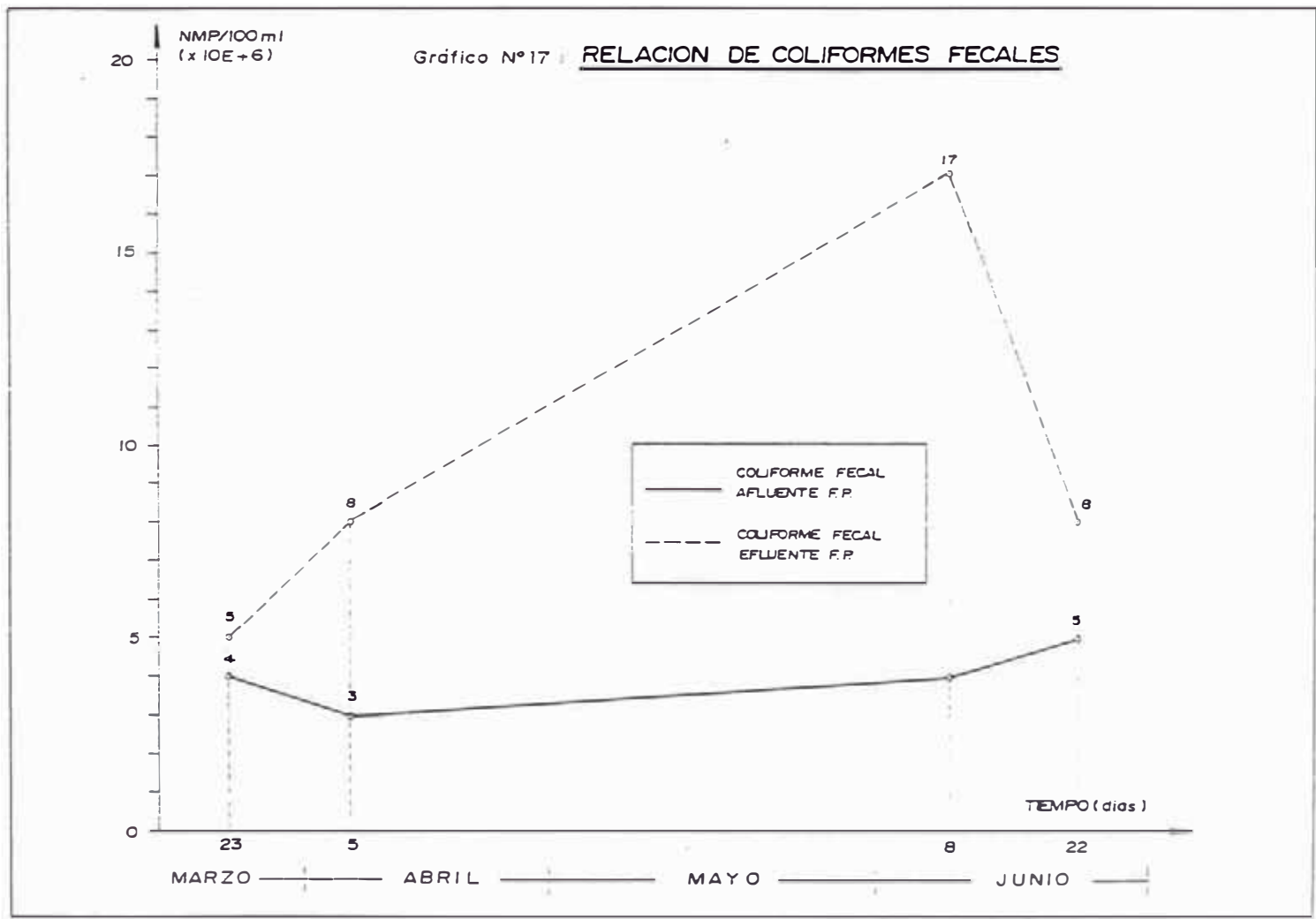
NMP/100 ml
(x 10E+6)



COLIFORME TOTAL
EFLUENTE F.P.
COLIFORME FECAL
EFLUENTE F.P.

Gráfico N° 16 RELACION DE COLIFORMES TOTALES





ANEXO N° II

**ENSAYOS DE TRATABILIDAD DEL
AGUA POTABLE**

ENSAYOS DE TRATABILIDAD DEL AGUA POTABLE

PARAMETROS FISICO-QUIMICOS-BIOLÓGICOS

1.1 PH

1.1.1 OBJETIVO

- Determinación de los iones hidroneo presentes en el agua residual.
- Verificar la capacidad ácido y/o alcalino de la muestra.

1.1.2 EQUIPO

Es recomendable el uso de medida electrométricos (potenciómetro) en la medida del pH, por ser superior el método de comparado colorimétrico, esta último esta sujeto interferencias de la muestra en aguas residuales, la presencia de Materia Coloidal, turbiedad, materia orgánica, etc.; altera las condiciones de la muestra.

1.1.3 PROCEDIMIENTO

- El equipo de medición del pH, debe ser estandarizado, se enjuagan los electrodos de pH, con agua destilada - Potenciómetro.
- Secar los electrodos de pH (usar papel TISSUES) que no raya la superficie de vidrio.
- Introducir los electrodos de vidrio en un vaso con

el volumen de solución amortiguadora.

- Se mide la temperatura de la solución amortiguadora y se ajusta a la temperatura del medidor de pH, compensando la temperatura.
- Se registra el valor del pH, el que debe ser indicado a la temperatura de la muestra.

1.2 TEMPERATURA

1.2.1 OBJETIVO

- Determinar la temperatura del agua residual afluyente y efluente del filtro percolador.

1.2.2 EQUIPO

- Se recomienda un termómetro de mercurio de escala centígrada de 0°C a 100°C.

1.2.3 PROCEDIMIENTO

- Se sumerge el termómetro en la muestra, a una profundidad adecuada, para obtener una lectura correcta.
- Registre la temperatura a la fracción más cercana de

un grado centígrado.

1.3 OXIGENO DISUELTO

1.3.1 OBJETIVO

- Determinar las condiciones aerobias y/o anaerobias en base a la concentración de Oxígeno presente en la muestra.

1.3.2 METODO DE ANALISIS

Se realiza mediante el método Winkler, la prueba se basa en la adición a la muestra de una solución de manganeso divalente, seguido de un alcali fresco contenido en un frasco.

APARATOS

- Botellas DBO, de 300 ml.
- Baretta automática de 50 ml.
- Pipetas con graduación de volúmenes conocidos
- Erlenmeyer de 50 ml.
- Frascos volumétricos calibrados a 203 ml.

1.3.3 PROCEDIMIENTO

- Se vierte 2 ml. de solución de sulfato de manganeso y luego 2 ml. de solución alcali, yoduro, nitruro

bajo la superficie del líquido a una muestra de 300 ml contenida de una botella de Oxígeno Disuelto (O.D).

- Se agita la muestra, una vez sedimentado los floes, se agrega 2 ml. de H_2SO_4 , concentrado, se agita hasta obtener una mezcla homogénea.
- Se toma una muestra de 203 ml. en un frasco Erlenmeyer.
- Se titula con el tiosulfato 0.025 N. alcanzando un color amarillo pálido.
- Se adiciona 1 ml. de solución de almidón, titulado luego hasta lograr el viraje del color azul.

Para la evaluación, se recomienda la determinación del O.D. en el campo (IN SITU), mediante el uso de equipos portantes.

1.4 DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (D.B.O)

1.4.1 OBJETIVO

- Determinar mediante una medida indirecta, la concentración de materia orgánica e inorgánica degradable biológicamente.

- Determinar el oxígeno disuelto antes y después de un período de incubación.

1.4.2 EQUIPO

Se requiere para su determinación de los siguientes aparatos:

- Bomba compresora
- Botella de incubación de D.B.O. de 300 ml. de capacidad con tapa de vidrio y boca especial para sello de agua para prevenir la entrada de aire durante la incubación.
- Incubadora a 20°c + que excluya la luz para prevenir crecimiento de algas.
- Botella de 20 lts. de capacidad para el agua de dilución.
- Material necesario para determinación de OD.
- Reactivos.

1.4.3 PROCEDIMIENTO

- Almacenar agua de dilución
- Realizar las diluciones
- Determinar el oxígeno disuelto
- Se incuba el agua de dilución del testigo y las muestras diluidas.
- Después de 5 días a temperatura 20°c, verificar el oxígeno disuelto.
- No es necesario semilla en las aguas residuales domésticas

1.5 SOLIDOS

1.5.1 OBJETIVO

- Determinar la concentración de los residuos presentes en una muestra de agua residual

1.5.2 SOLIDOS TOTALES

La muestra homogeneizada es evaporada y pesada en una cápsula de porcelana en una estufa a 103 - 105°c. El incremento de peso sobre la cápsula vacía representa el peso total.

1.5.2.1 EQUIPOS

- Cápsula de evaporación de porcelana de 100 ml de capacidad
- Mufla para operar a 550 + 50°c
- Baño de agua
- Horno de secado con control/termostático con variación de temperatura de + 1°c
- Desecador
- Balanza analítica de 200gr. de capacidad y sensibilidad de + 0.1 mg

1.5.2.2 PROCEDIMIENTO

- Se calcina la cápsula de porcelana a 550° + 50° durante una hora (mufla)

- Se enfría, deseca, pesa y almacena
- Se transfiere la muestra medida de 50 ml al plato prepesado y se evapora a sequedad en el baño de vapor de agua, también puede utilizarse un horno desecador. Cuando se evapora en horno desecador, la temperatura deberá ser baja, aproximadamente 98°C para evitar que hierva y salpique la muestra (alternar el procedimiento).
- Se seca la muestra evaporada por lo menos una línea a 103 -105°C.
- Se enfría el plato en un desecador y se pesa.

1.5.3 **SOLIDOS TOTALES VOLATILES Y FIJO (a 550°C)**

La concentración de residuos volátiles y fijos en la muestra en la cual se ha determinado residuo total, puede determinarse por calcinación de la muestra a 550° + 50°C.

1.5.3.1 **EQUIPOS**

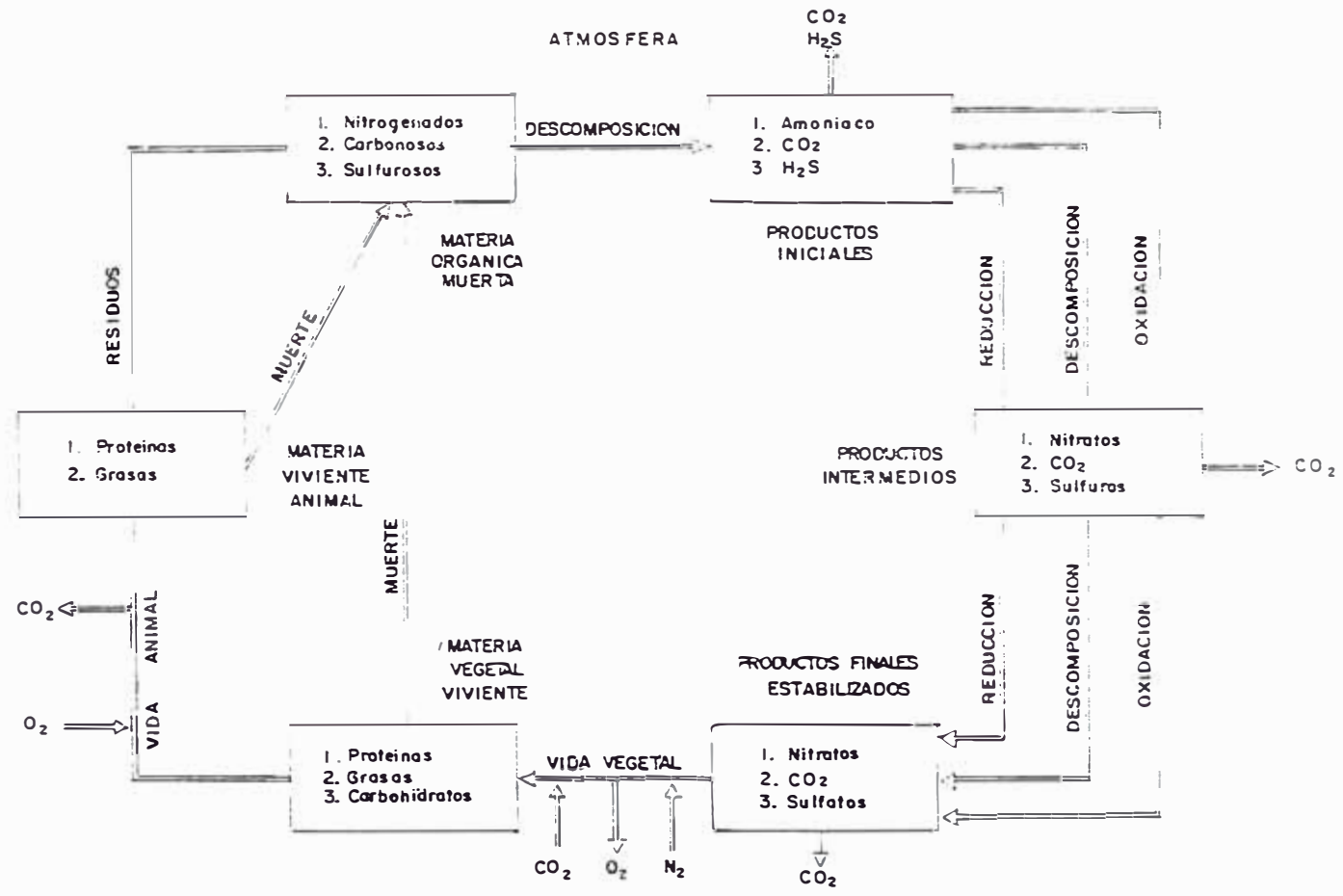
- Cápsula de evaporación porcelana de 100 ml de capacidad
- Mufla para pesar a 550 + 50°C
- Baño de agua
- Horno de secado con control termostático con variación de temperatura de + 1°C.

- Desecador, provisto con un desecante con indicador de color
- Balanza analítica de 200gr. de capacidad y sensibilidad de + 0.1mg.

1.5.3.2 PROCEDIMIENTO

- Se calcina el residuo producido en la parte (1.5.2) a peso constante en horno de mufla a una temperatura de $550 \pm 50^{\circ}\text{C}$.
- Alcanzada la temperatura antes indicada, se la mantiene por 15 a 20 min.
- Se mantiene la cápsula de porcelana en el aire hasta conseguir que se enfríe parcialmente y se transfiere al desecador para su enfriamiento final en un ambiente seco.
- Se pesa la cápsula tan rápido como se enfría completamente
- Se reporta la pérdida de peso en la calcinación como el residuo total volátil y el peso del residuo como residuo fijo.

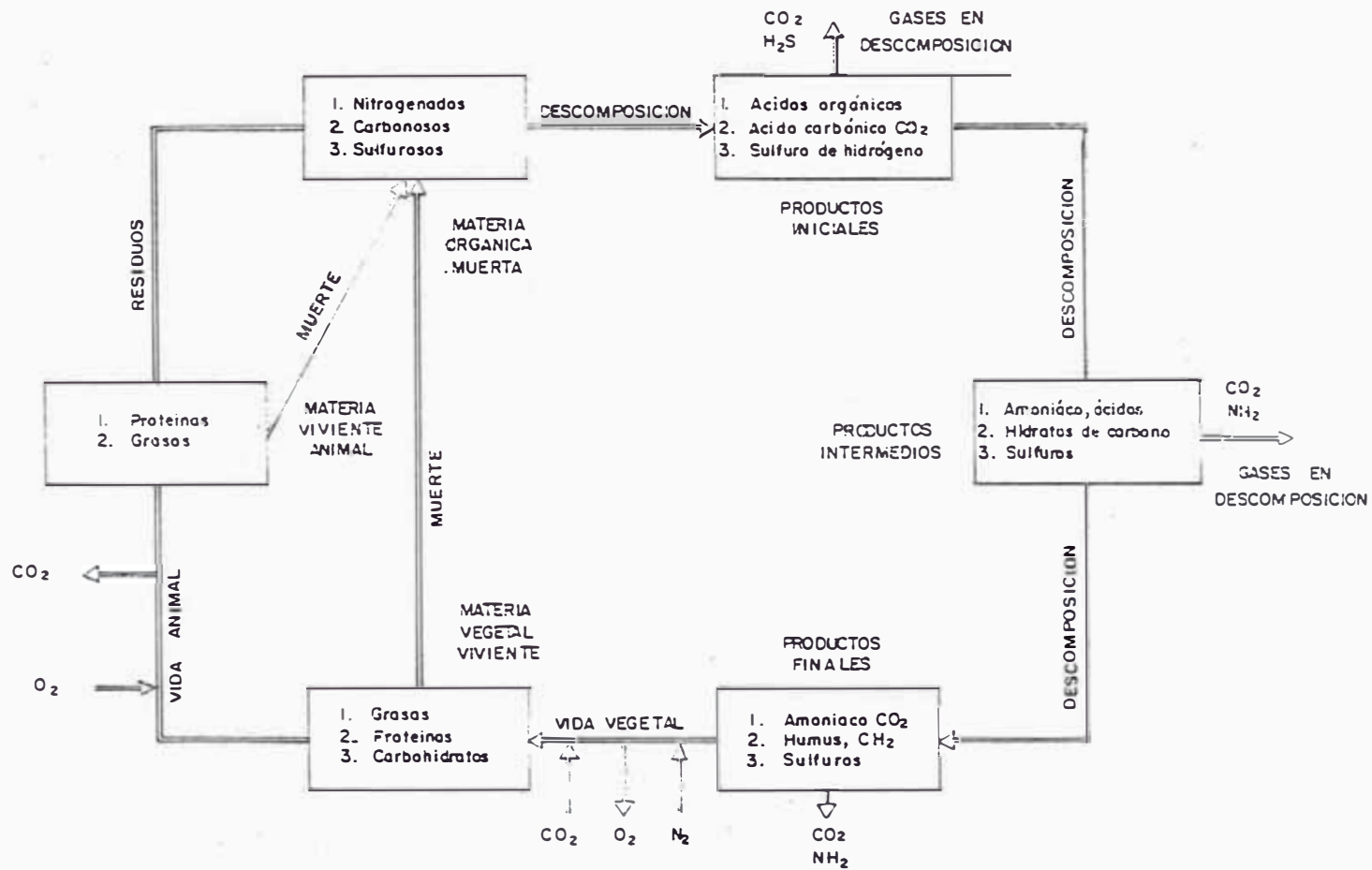
ANEXO N° III



EL CICLO AEROBIO

ANEXO N° IV

ATMOSFERA

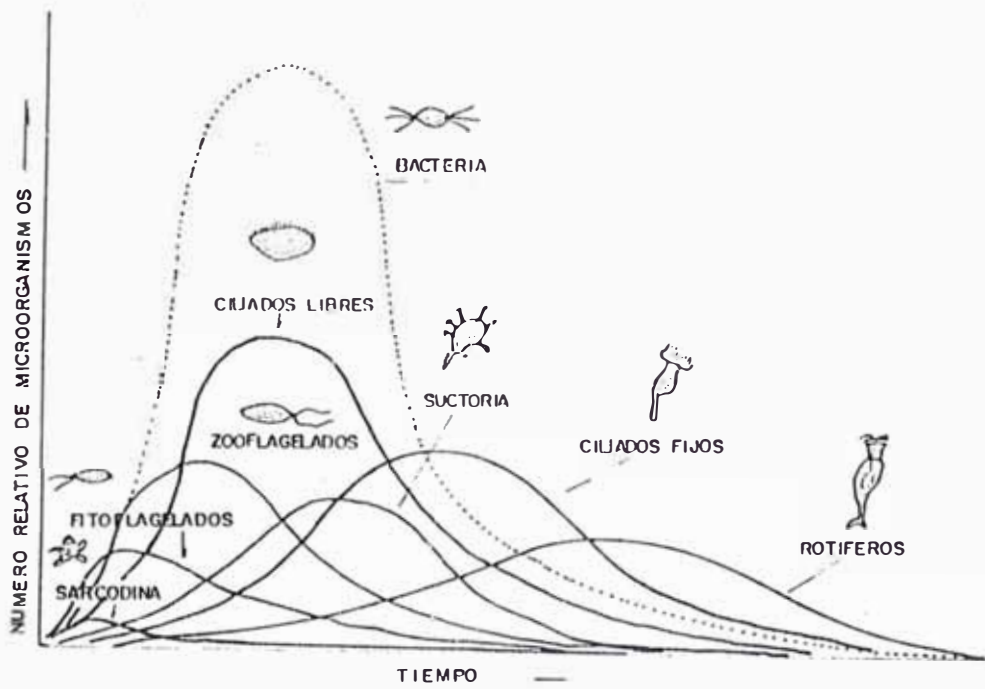


EL CICLO ANAEROBIO

ANEXO N° V



CURVA TIPICA DE CRECIMIENTO BACTERIANO



CRECIMIENTO RELATIVO DE MICROORGANISMOS EN EL CURSO DE LA ESTABILIZACION DE UN RESIDUO ORGANICO EN MEDIO LIQUIDO

ANEXO N° VI

MATERIALES E INSUMOS

Durante la evaluación, se utilizó los siguientes equipos y materiales.

PARÁMETRO	MÉTODO	EQUIPOS	MATERIALES
T°	-	Termómetro	-
pH	-	Potenciómetro	Agua destilada
DBO ₅ , O.D.	Métodos Standard de Análisis	Incubadora	Agua Destilada Nutrientes: Solución Amortiguadora de fosfato (A) Solución de Magnesio (B) Cloruro de Calcio (C) Cloruro Férrico(D) Solución: Sulfato de Manganeso Nitroso Yoduro (Sol.Alcali) Acido Sulfúrico Tiosulfato de Sodio
Sólidos	Sólidos Suspendidos	Papel Watmán Desecador Balanza	
	Sólidos Fijos-Volátiles	Horno Huelle Crisoles	
	Sólidos Sedimentables	Cibi Imhoff	
Bacteriológico	Método Cultivos Puros	Medio de Cultivo Placas Petri Incubadora Tubos de Ensayo	

EQUIPOS Y MATERIALES EMPLEADOS EN LA EVALUACIÓN

ANEXO N° VII

COSTOS UNITARIOS

**ANEXO N° VII
COSTO UNITARIO
ANÁLISIS DE LABORATORIO**

AGOSTO - 95'

PARÁMETROS	UND.	CANTIDAD	COSTO UNITARIO \$
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	UND.	-	10.00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	UND.	-	12.00
Oxígeno Disuelto (O.D)	UND.	-	8.00
Sólidos Totales (S.T.)	UND.	-	5.00
Sólidos Volátiles (S.V.)	UND.	-	6.00
Sólidos Sedimentables (S.S.)	UND.	-	3.00
Sólidos Fijos (S.F.)	UND.	-	6.00
Sólidos Suspendidos (S.Susp.)	UND.	-	6.00
Sólidos Filtrables (S.F.)	UND.	-	8.00
Temperatura (°C)	UND.	-	1.00
pH	UND.	-	6.00
Fósforo (P)	UND.	-	8.00
Coliformes Totales	UND.	-	16.00
Coliformes Fecales	UND.	-	16.00
Análisis Microbiológico	UND.	-	16.00
Análisis Bacteriológico	UND.	-	16.00

(*) Estos parámetros se determinan INSITU, no incluye el alquiler de los equipos (50.00 dólares/día), si incluye I.G.V. más pago al técnico.

(*) (*) Costos referenciales del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria (CEPIS)

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS

OBRA : Filtro Percolador
 Nro. : 1.01
 PARTIDA : Movilización y Desmovilización de Equipos
 y Herramientas.

FECHA : Julio-Agosto 95
 UNIDAD: Global
 RENDIM:

MANO DE OBRA	UND	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
MATERIAL				
HERRAMIENTAS				
Flete Terrestre (Movilización Equipo y Herramientas)	Global	1.00	400.00	400.00
T O T A L			S/.	400.00

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS

OBRA : Filtro Percolador
 Nro. : 1.02
 PARTIDA : Movilización de materiales

FECHA : Julio-Agosto 95
 UNIDAD: Global
 RENDIM:

MANO DE OBRA	UND	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
MATERIAL				
HERRAMIENTAS				
Flete (movilización de materiales)	Global	1.00	450.00	450.00
T O T A L			S/.	450.00

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS

OBRA : Filtro Percolador
 Nro. : 1.03
 PARTIDA : Nivelación trazo y replanteo

FECHA : Julio-Agosto 95
 UNIDAD: m²
 RENDIM: 30,000 m²/día

MANO DE OBRA	UND	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
Capataz (0.1)	hh	0.00003	8.40	0.0003
Operario (1.0)	hh	0.0003	7.64	0.0020
Peón (1.0)	hh	0.0003	6.18	0.0018
MATERIAL				
Estacas F°F° ø 1/2" x 0.30 m c/u	Und.	0.100	0.34	0.034
Cordel	ml.	0.500	0.18	0.090
Yeso	bls	0.040	2.20	0.088
Pintura esmalte	gln	0.002	25.00	0.050
Cemento tipo I	bls	0.006	11.90	0.071
Hormigón	m ³	0.002	18.00	0.036
HERRAMIENTAS				
Herramientas	%	0.0300	0.004	0.0001
Equipo topográfico (Nivel, teodolito, wincha, mira, jalón)	hc	0.0003	10.030	0.0030
T O T A L			S/.	0.3761

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS

OBRA : Filtro Percolador
 Nro. : 2.01
 PARTIDA : Excavación Masiva Manual

FECHA : Julio-Agosto 95
 UNIDAD: m³
 RENDIM: 5m³/día

MANO DE OBRA	UND	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
Capataz (0.10)	hh	0.16	8.40	1.344
Peón (2.00)	hh	3.20	6.18	19.776
MATERIAL				
HERRAMIENTAS				
Herramientas	%	0.03	21.120	0.634
T O T A L			S/.	21.754

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS

OBRA : Filtro Percolador
 Nro. : 2.02
 PARTIDA : Refine y Conformación de zanja.

FECHA : Julio-Agosto 95
 UNIDAD: m²
 RENDIM: 20 m²/día

MANO DE OBRA	UND	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
Capataz (0.1)	hh	0.040	8.40	0.336
Oficial (1.0)	hh	0.400	6.91	2.764
Peón (1.0)	hh	0.400	6.18	2.472
MATERIAL				
HERRAMIENTAS				
Herramientas	%	0.030	5.572	0.167
T O T A L			S/.	5.739

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS

OBRA : Filtro Percolador
 Nro. : 2.03
 PARTIDA : Relleno y compactación con material propio

FECHA : Julio-Agosto 95
 UNIDAD: m²
 RENDIM : 40m²/día

MANO DE OBRA	UND	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
MATERIAL				
Capataz (0.1)	hh	0.020	8.40	0.168
Peón (1.0)	hh	0.200	6.18	1.236
HERRAMIENTAS				
Herramientas	%	0.03	1.404	0.042
Plancha Compactadora (7 HP)	hm	0.10	20.680	2.068
T O T A L			S/.	3.514

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS

OBRA : Filtro Percolador
 Nro. : 2.04
 PARTIDA : Eliminación de material excedente

FECHA : Julio-Agosto 95
 UNIDAD: m³
 RENDIM: 12 m³/día

MANO DE OBRA	UND	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
Capataz (0.1)	hh	0.067	8.40	0.562
Oficial (1.0)	hh	0.667	6.91	4.609
Peón (1.0)	hh	0.667	6.18	4.122
MATERIAL				
HERRAMIENTAS				
Herramientas	%	0.03	9.293	0.279
T O T A L			S/.	9.572

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS

OBRA : Filtro Percolador
 Nro. : 3.01
 PARTIDA : Suministro e instalación de tubería de PVC ϕ -4" CL A-5, para línea de conducción.

FECHA : Julio-Agosto 95
 UNIDAD: ml
 RENDIM: 50 ml/día

MANO DE OBRA	UND	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
Capataz (0.10)	hh	0.016	8.40	0.134
Operario (1.00)	hh	0.160	7.64	1.222
Peón (1.00)	hh	0.160	6.18	0.989
MATERIAL				
Tubería de PVC ϕ - 4" (incluye anillos y 3% desperdicio)	ml	1.030	9.220.	9.497
HERRAMIENTAS				
Herramientas	%	0.03	2.345	0.070
T O T A L			S/.	11.912

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS

OBRA : Filtro Percolador
 Nro. : 3.02
 PARTIDA : Suministro e instalación de tubería de PVC \varnothing 2" CL. A-5, para línea de rebose

FECHA : Julio-Agosto 95
 UNIDAD: ml
 RENDIM: 50 ml/día

MANO DE OBRA	UND	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
Capataz (0.10)	hh	0.016	8.40	0.134
Operario (1.00)	hh	0.160	7.64	1.222
Peón (1.00)	hh	0.160	6.18	0.989
MATERIAL				
Tubería PVC, \varnothing - 2" (incluye anillos de jebe y 3% desperdicio)	ml	1.03	3.89	4.010
HERRAMIENTAS				
Herramientas	%	0.03	2.345	0.070
T O T A L			S/.	6.425

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS

OBRA : Filtro Percolador
 Nro. : 3.03
 PARTIDA : Suministro e instalación de tubería de PVC \varnothing - 1" CL. A - 10, para línea de impulsión y ventilación

FECHA : Julio-Agosto 95
 UNIDAD: ml
 RENDIM: 50ml/día

MANO DE OBRA	UND	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
Capataz (0.1)	hh	0.016	8.40	0.134
Operario (1.0)	hh	0.160	7.64	1.222
Peón (1.0)	hh	0.160	6.18	0.989
MATERIAL				
Tubería PVC \varnothing - 1" (incluye anillos de jebe y 3% desperdicio)	ml	1.03	1.56	1.607
HERRAMIENTAS				
Herramientas	%	0.030	2.345	0.070
T O T A L			S/.	4.022

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS

OBRA : Filtro Percolador
 Nro. : 4.01
 PARTIDA : Concreto para losa de fondo f'c = 210 kg/cm²
 (c = 0.10 m)

FECHA : Julio-Agosto 95
 UNIDAD: m³
 RENDIM: 5 m³/día

MANO DE OBRA	UND	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
Capataz (0.10)	hh	0.160	8.40	1.344
Operario (1.00)	hh	1.600	7.64	12.224
Oficial (1.00)	hh	1.600	6.91	11.056
Peón (6.00)	hh	9.600	6.18	59.328
MATERIAL				
Cemento Tipo I	bols	10.220	11.90	122.64
Arena	m ³	0.546	22.50	12.29
Piedra Chancada ø 1/2 "	m ³	0.557	29.00	16.15
Agua	m ³	0.145	10.00	1.45
HERRAMIENTAS				
Herramientas	%	0.030	83.952	2.519
Mezcladora 11 Pie ³	hm	0.200	15.340	3.068
Vibrador de concreto (4 HP)	hm	0.200	4.400	0.880
T O T A L			S/.	242.949

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS

OBRA : Filtro Percolador
 Nro. : 4.02
 PARTIDA : Revestimieto de paredes (c=0.05m)
 (C: H, 1:12)

FECHA : Julio-Agosto 95
 UNIDAD: m²
 RENDIM: 60m²/día

MANO DE OBRA	UND	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
Capataz (0.20)	hh	0.027	8.40	0.23
Operario(2.00)	hh	0.267	7.64	2.04
Oficial (1.00)	hh	0.133	6.91	0.92
Peón (6.00)	hh	0.800	6.18	4.94
MATERIAL				
Cemento tipo I	bols	0.187	11.90	2.23
Hormigón	m ³	0.067	18.00	1.21
Agua	m ³	0.009	10.00	0.09
HERRAMIENTAS				
Herramientas	%	0.030	8.13	0.24
Mezcladora 11 pie ³	hm	0.133	15.34	2.04
Reglas	p ²	0.080	1.90	0.15
T O T A L			S/.	14.09

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS

OBRA : Filtro Percolador
 Nro. : 5.01

FECHA : Julio-Agosto 95

UNIDAD: m³

PARTIDA : Cimiento corrido y sobrecimiento,
 (1.00 x 1.00 x 1.00 mt.) f 'c= 175 kg./cm²

RENDIM: 5 m³/día

MANO DE OBRA	UND	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
Capataz (0.20)	hh	0.320	8.40	2.69
Operario (2.00)	hh	3.200	7.64	24.45
Oficial (1.00)	hh	1.600	6.91	11.06
Peón (3.00)	hh	4.800	6.18	29.66
MATERIAL				
Cemento Tipo I	bols	8.516	11.90	101.34
Arena	m ³	0.455	22.50	10.24
Piedra Chancada ϕ 1/2 "	m ³	0.464	29.00	13.46
Agua	m ³	0.121	10.00	1.21
HERRAMIENTAS				
Herramientas	%	0.030	67.86	2.04
Mezcladora 11 Pie ³	hm	0.167	15.34	2.56
Vibrador de concreto (4 HP)	hm	0.167	4.40	0.73
T O T A L			S/.	199.44

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS

OBRA : Filtro Percolador
 Nro. : 5.02

FECHA : Julio-Agosto 95

UNIDAD: m³

PARTIDA : Cuerpo de tanque, f 'c = 140 Kg/m²

RENDIM: 5 m³/día

MANO DE OBRA	UND	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
Capataz (0.20)	hh	0.320	8.40	2.69
Operario(2.00)	hh	3.200	7.64	24.45
Oficial (1.00)	hh	1.600	6.91	11.06
Peón (3.00)	hh	4.800	6.18	29.66
MATERIAL				
Cemento tipo I	bols	6.813	11.90	81.07
Arena	m ³	0.364	22.50	8.19
Piedra Chancada ϕ 1/2"	m ³	0.371	29.00	10.76
Agua	m ³	0.097	10.00	0.97
HERRAMIENTAS				
Herramientas	%	0.030	67.86	2.04
Mezcladora 11 pie ³	hm	0.133	15.34	2.04
Vibrador de concreto (4HP)	hm	0.133	4.40	0.59
Reglas	p ²	0.080	1.90	0.15
T O T A L			S/.	173.67

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS

OBRA : Filtro Percolador

FECHA : Julio-Agosto 95

Nro. : 6.01

UNIDAD: Und

PARTIDA : Suministro e instalación de bomba sumergible de 0.75 kw (1Hp).

RENDIM: Und/día

MANO DE OBRA	UND	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
MATERIAL				
Suministro e instalación de 1 bomba sumergible de 0.75 Kw. (1 Hp)	Und.	1.00		
HERRAMIENTAS				
T O T A L			S/.	

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS

OBRA : Filtro Percolador

FECHA : Julio-Agosto 95

Nro. : 7.01

UNIDAD: m³

PARTIDA : Suministro y llenado de cantos rodados para la unidad filtrante.

RENDIM: 10m³/día

MANO DE OBRA	UND	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
Capataz (0.10)	hh	0.08	8.40	0.67
Oficial (1.00)	hh	0.80	6.91	5.53
Peón (2.00)	hh	1.60	6.18	9.89
MATERIAL				
Piedra de río (canto rodado de 2"-4")	m	1.00	25.00	25.00
Herramientas	%	0.03	16.09	0.48
T O T A L			S/.	41.57

ANEXO N° VIII

FORMULAS UTILIZADAS

Fórmulas Utilizadas en la Evaluación

I) Cálculo de la Demanda Bioquímica de Oxígeno

$$DBO = (OD_i - OD_f) * \frac{200}{V} * \left(\frac{1}{\%}\right) * f$$

donde:

DBO = Demanda Bioquímica de Oxígeno

OD_i = Oxígeno disuelto inicial (mgr/lt)

OD_f = Oxígeno disuelto final (mgr/lt)

V = Volumen titulado de muestra (ml)

f = Factor de corrección del reactivo

tiosulfato de Sodio (0.025N) = 0.985

% = porcentaje de concentración y/o dilución
de la muestra

II) Cálculo de los Sólidos Suspendidos

$$S_s = \frac{(w_f - w_i)}{V} * 10^6$$

donde:

S_s = Sólidos suspendidos (mgr/lt)

w_f = Peso final luego de la filtración (gr)

w_i = Peso inicial antes de la filtración (gr)

V = Volumen de la muestra (ml)

III) Cálculo de los Sólidos Volátiles

$$SV = ST - SF$$

donde:

SV = Sólidos Volátiles (mgr/lt)

SF = Sólidos Fijos (mgr/lt)

ST = Sólidos Totales (mgr/lt)

IV) Cálculo del Periodo de Retención del Filtro

$$t = \frac{CHA^n}{Q^n}$$

donde:

t = Período de Retención (horas)

H = Altura o profundidad del Filtro

A = Area específica (m²/m³)

Q = Carga hidráulica aplicada (m³/m²/día)

C, m, n = Constantes que dependen del área específica, de la forma de las piezas, del espesor de la película biológica y del tipo de flujo.

ANEXO N° IX

FORMATOS DISEÑADOS

EVALUACION DE FILTRO PERCOLADOR

UBICACION

MUESTRA TOMADA POR

ANALISIS HECHO POR

FECHA	HORA	PARAMETROS					
		AFLUENTE FILTRO PERCOLADOR			EFLUENTE FILTRO PERCOLADOR		
		T (C)	pH	OD (mg/l)	T (C)	pH	OD (mg/l)

OBSERVACIONES

EVALUACION DE FILTRO PERCOLADOR

UBICACION :
MUESTRA TOMADA POR :
ANALISIS HECHO POR :

FECHA	HORA	PARAMETROS		OBSERVACIONES
		AFLUENTE FILTRO PERCOLADOR DBO (mg/l)	EFLUENTE FILTRO PERCOLADOR DBO (mg/l)	

EVALUACION DE FILTRO PERCOLADOR

UBICACION :
 MUESTRA TOMADA POR :
 ANALISIS HECHO POR :

FECHA	HORA	PARAMETROS									
		AFLUENTE FILTRO PERCOLADOR					EFLUENTE FILTRO PERCOLADOR				
		S.SUSP. (mg/lt)	S.TOTAL (mg/lt)	S.SEDIM. (mg/lt)	S.FIJOS (mg/lt)	S.VOLAT. (mg/lt)	S.SUSP. (mg/lt)	S.TOTAL (mg/lt)	S.SEDIM. (mg/lt)	S.FIJOS (mg/lt)	S.VOLAT. (mg/lt)

OBSERVACIONES :

EVALUACION DE FILTRO PERCOLADOR

UBICACION :
 MUESTRA TOMADA POR :
 ANALISIS HECHO POR :

FECHA	HORA	COLIFORMES				OBSERVACIONES
		COLIFORMES FECALES (NMP/100ml)		COLIFORMES TOTALES (NMP/100ml)		
		AFLUENTE	EFLUENTE	AFLUENTE	EFLUENTE	

ANEXO N° X

ILUSTRACIONES



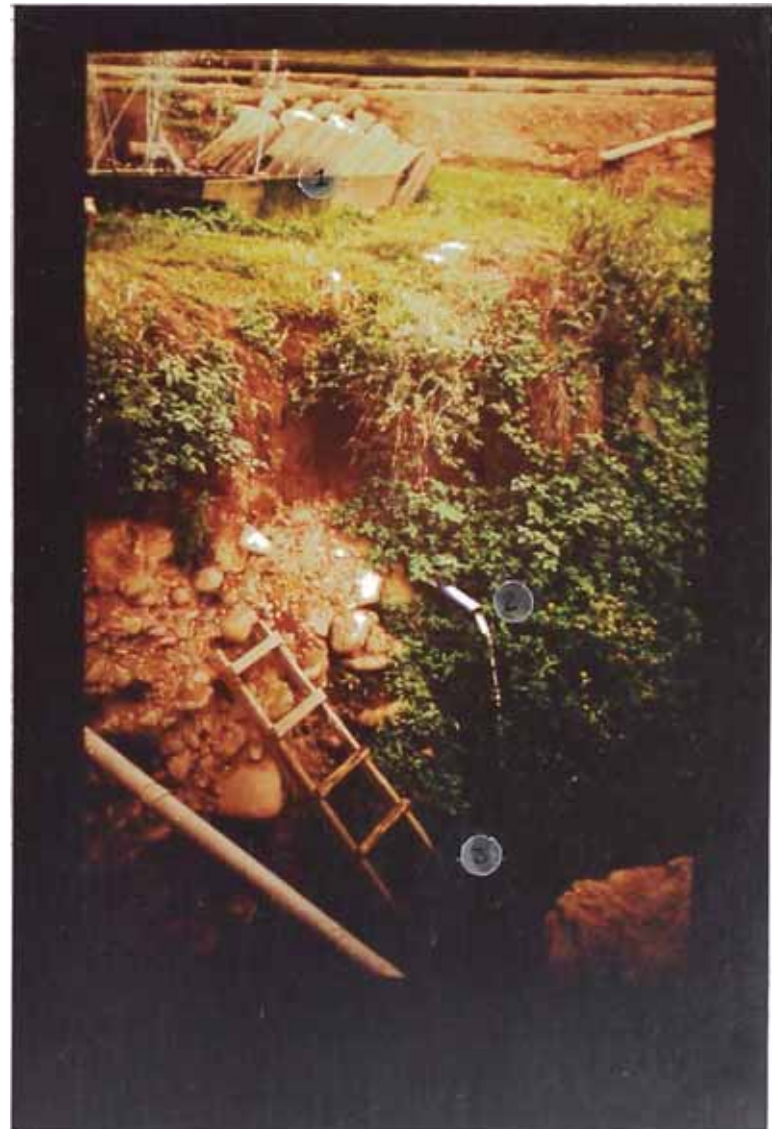
FOTOGRAFIA N° 1

- 1._ REACTOR ANAEROBIO FLUJO ASCENDENTE (R.A.F.A.)
- 2._ TANQUE DE COMPENSACION
- 3._ FILTRO PERCOLADOR PILOTO



FOTOGRAFIA N° 2

- 1.-REACTOR ANAEROBIO FLUJO ASCENDENTE (R.A.F.A)
- 2.-LINEA DE CONDUCCION RAFA - FILTRO PERCOLADOR
- 3.-TANQUE DE COMPENSACION
- 4.-EQUIPO DE BOMBEO



FOTOGRAFIA N° 3

- 1.- FILTRO PERCOLADOR PILOTO
- 2.- EFLUENTE FILTRO PERCOLADOR
- 3.- CANAL .



FOTOGRAFIA N° 4
FILTRO PERCOLADOR EN OPERACION



FOTOGRAFIA N° 5
1.- LECHO FILTRANTE
2.- TUBERIA DE DISTRIBUCION DE FLUJO



FOTOGRAFIA N° 6
MUESTRA DE LA SUPERFICIE FILTRANTE



FOTOGRAFIA N° 7
PELICULA BIOLÓGICA



FOTOGRAFIA N° 8
1.- ROTIFERO (PHILODINA)
2.- ALGAS VERDE-AZULADAS



FOTOGRAFIA N° 9
1.- PARAMOECIUM - TRICHUM
2.- ALGAS



FOTOGRAFIA N° 10
1._ PARAMOECIUM
2._ ALGAS VERDE _ AZULADAS
3._ LARVA DE INSECTO



FOTOGRAFIA N° 11



FOTOGRAFIA N° 12

- 1_ ROTIFEROS
- 2_ ALGAS



FOTOGRAFIA N° 13

VISTA PANORAMICA DE UNA DE LAS LAGUNAS AEREADAS