

EVALUACION DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO TIPO TANQUE SEPTICO - FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE PARA LAS AGUAS RESIDUALES DEL «BENEFICIO ECOLOGICO» DEL CAFE

José Alejandro Sánchez Cadavid

INTRODUCCION

Colombia es el primer país en la producción de café suave a nivel mundial. El beneficio por vía húmeda hace que se obtenga esta calidad de café; sin embargo, el alto consumo de agua en el proceso y la descarga posterior a las fuentes superficiales o subterráneas, han generado un problema ambiental de gran magnitud. Además, las fuentes de agua que han sido contaminadas con las descargas de los desechos líquidos que provienen del beneficio del café presentan, entre otros, inconvenientes serios para ser utilizadas como fuentes abastecedoras de agua potable.

En tiempo de cosecha, las áreas cafeteras y sus fuentes de agua superficiales suelen registrar altos índices de contaminación como consecuencia de las descargas de aguas residuales que provienen del beneficio del café.

En los Departamentos del Quindío, Valle, Caldas, Antioquia, etc., se han venido

ejecutando investigaciones sobre la tratabilidad de los residuos que se derivan del despulpado tradicional del café (vía húmeda), por métodos anaeróbicos con resultados satisfactorios.

Este proyecto tuvo la colaboración del Comité Departamental de Cafeteros de Antioquia y el Posgrado de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Antioquia (Medellín, Colombia) y está formulado hacia la evaluación de un "Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente", FAFA, precedido de un tanque séptico (sedimentador biológico), como sistema para el tratamiento de las aguas residuales del café, con un desecho originario de un beneficiadero "Ecológico", (despulpado en seco y desmucilaginado mecánico).

Los resultados obtenidos fueron satisfactorios a pesar de que el desecho generado es muy intermitente y en épocas que no son de cosecha cafetera no se produce; lo que dificulta más la aplicación de sistemas biológicos para su tratamiento.

Magister en Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia.

La etapa experimental se inició a finales del mes de noviembre de 1994 en su fase de montaje y el desarrollo en sí, en febrero de 1995 y se terminó en febrero de 1996. El trabajo experimental se llevó a cabo en la finca "La Aguada", localizada en la vereda Aguas Frías del municipio de Medellín, Colombia.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Consideraciones generales

La digestión anaerobia es un proceso natural que ocurre cuando compuestos orgánicos biodegradables se encuentran en ausencia de oxígeno y son expuestos a la degradación biológica.

En los últimos años, consideraciones ambientales y energéticas han llevado a la búsqueda de nuevos sistemas de tratamiento de las aguas residuales industriales y domésticas en donde se han constituido los sistemas anaerobios como una promisoriosa alternativa.

Algunos de los sistemas anaerobios de alta tasa utilizados hoy para el tratamiento de desechos domésticos e industriales son : el filtro anaerobio, (Young y McCarty 1969), el reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente, también conocido por las siglas en inglés como el UASB, (Lettinga y colaboradores 1978), el sistema anaerobio de película fija y lecho expandido o fluidizado, (Switzenbaum 1978), etc.

La descomposición anaerobia de la materia orgánica involucra procesos metabólicos que son menos eficientes en la captación de energía que el metabolismo aerobio. Los organismos anaerobios casi siempre liberan materia orgánica rica en energía ya que la energía presente en los enlaces de los

compuestos orgánicos queda en su mayor parte en los enlaces del metano que, dada su característica gaseosa en condiciones normales de temperatura y presión, escapa a la atmósfera. Es decir, los microorganismos anaerobios no utilizan completamente la energía potencial que reciben.

Estos mismos sustratos se transformarían en H₂O y CO₂ en ambientes aeróbicos. De esta forma, hay menos energía disponible para el crecimiento de las bacterias anaeróbicas. Por esto, los microorganismos anaeróbicos producen menos material celular por unidad de sustrato consumido que los microorganismos aeróbicos (Zegers 1987).

A continuación se presentan algunas de las ventajas y desventajas de los tratamientos anaeróbicos de aguas residuales sobre los aerobios convencionales.

Ventajas:

- Baja producción de exceso de lodos (estabilizados).
- Bajos requerimientos nutricionales.
- No se requiere energía para aireación.
- El proceso puede manejarse frecuentemente con altas cargas intermitentes.
- Los lodos anaerobios pueden preservarse (sin alimentación) por largos período (meses) sin mayores deterioros.
- Los lodos pueden representar un beneficio importante al aplicarse al terreno.
- Producción de metano (energía disponible directamente).
- Soporta cargas contaminantes relativamente altas.

Desventajas:

- Las bacterias anaeróbicas (particularmente las metanogénicas) son muy

susceptibles a la inhibición por gran número de compuestos.

- El arranque del proceso es lento si no se dispone de una buena semilla o inóculo.
- Los tratamientos anaerobios generalmente demandan un adecuado post-tratamiento para la remoción de la DBO remanente, nitrógeno y compuestos malolientes.
- Son sistemas en proceso de investigación y, por tanto, existe poca experiencia práctica. Su aplicación sólo puede hacerse con base en estudios experimentales rigurosos.

En esta investigación se utilizó un sistema tipo filtro anaerobio a escala semipiloto in situ para un desecho altamente concentrado y de suministro intermitente.

Los filtros anaerobios representan una tecnología en desarrollo, adecuada para el tratamiento de los desechos industriales que contienen materiales orgánicos biodegradables solubles. Desde 1977 se han venido diseñando y construyendo una gran cantidad de sistemas a gran escala, y existe una gran cantidad de datos disponibles para comparar el desempeño del campo al desempeño de las unidades a escala de laboratorio (Young, Yang, 1989).

El filtro anaerobio de flujo ascendente es básicamente una columna o una torre rellena de un material inerte que sirve de medio de adherencia a los microorganismos y en donde se retiene un porcentaje sustancial de la biomasa que está presente en forma de flocúlos atrapados en los intersticios del lecho.

En general, el sistema es operado con flujo vertical ascendente y sin recirculación, lo que

produce un régimen hidráulico como el denominado flujo pistón.

Los desechos generados en el beneficio del café son de dos clases: líquidos, formados por las aguas mieles; y sólidos, compuestos por la pulpa. La pulpa también produce un lixiviado (líquido producido en la descomposición) con una alta concentración de materia orgánica.

En tiempo de cosecha, las áreas cafeteras y sus fuentes superficiales suelen registrar altos índices de contaminación como consecuencia de las descargas de aguas residuales originadas en el beneficio del café.

El beneficiadero «ecológico» es una tecnología que utiliza el despulpado en seco (con una mínima cantidad de agua) por medio de despulpadoras de disco. Además, el desprendimiento del mucílago que antes se hacía por fermentación y lavado, se hace por medios mecánicos utilizando una desmucilagadora que necesita una mínima cantidad de agua, evitándose el lavado y reduciéndose éste a un enjuague final únicamente. (Correa CENICAFÉ, 1994).

Fundamentos teóricos de la digestión anaerobia

La digestión anaerobia es un proceso que, en ausencia de oxígeno molecular, convierte la materia orgánica a metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) por la combinación de la actividad de cinco grupos diferentes de microorganismos facultativos y anaerobios estrictos. En la figura 1 se muestra un diagrama de flujo que ilustra las diferentes etapas de transformación de un sustrato durante la degradación anaerobia.

Según Díaz (1994), el proceso de digestión anaerobia ocurre mediante la secuencia de las siguientes etapas:

- * Hidrólisis de biopolímeros (proteínas, carbohidratos y lípidos).
- * Fermentación de aminoácidos y lípidos.
- * Oxidación b-anaerobia de ácidos grasos de cadena larga y alcoholes.

- * Oxidación anaerobia de productos intermedios como ácidos volátiles (excepto acetato).
- * Conversión de acetato a metano.
- * Reducción de CO_2 a CH_4 .

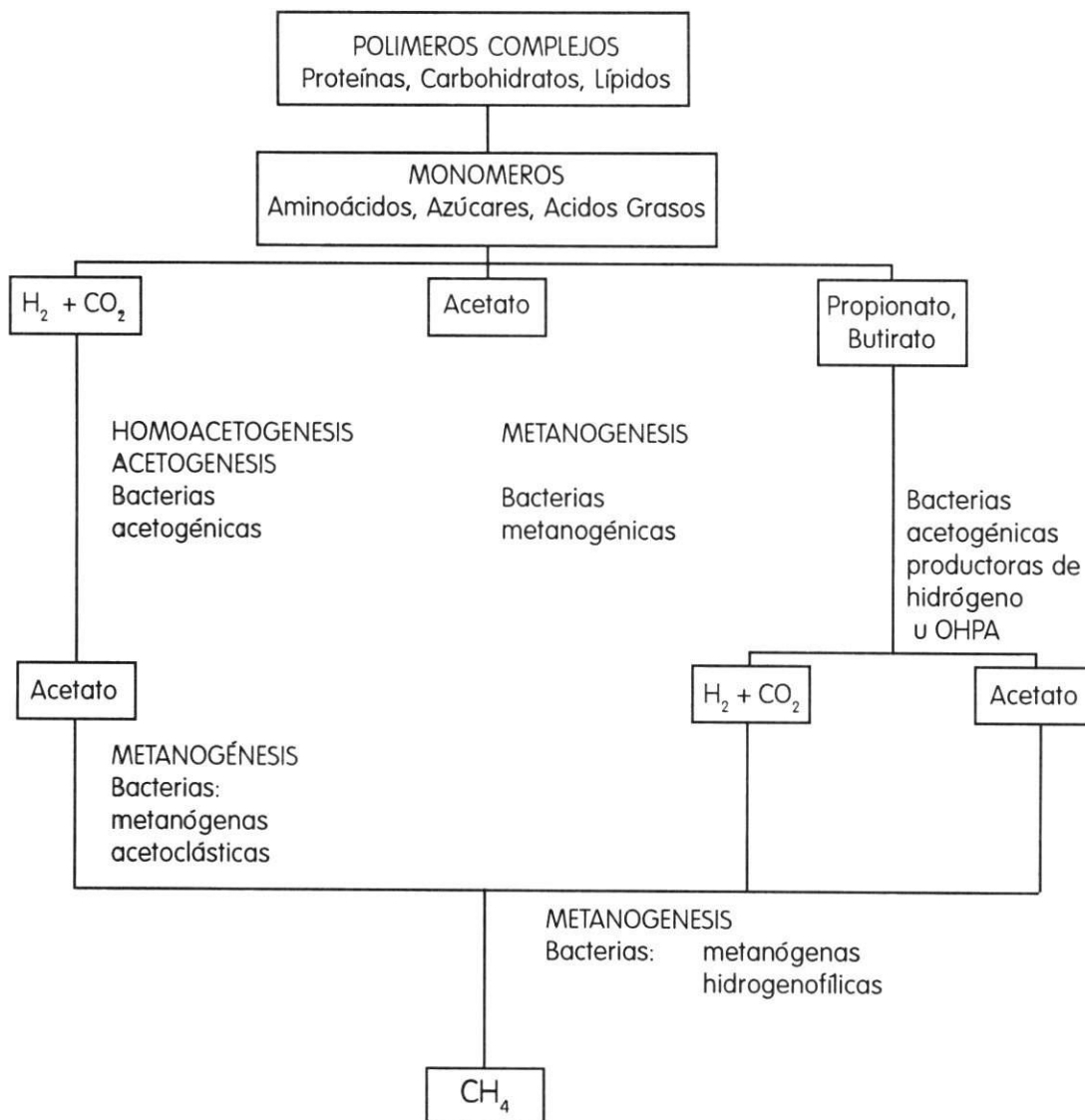


Figura 1: Diagrama del proceso biológico de la digestión anaerobia (Brock & Madigan, 1992).

Sistemas de tratamiento anaerobio

Generalidades. Tradicionalmente el tratamiento anaerobio ha sido considerado como de baja eficiencia. La razón para ello es que las cantidades de energía disponibles para las bacterias anaerobias son

considerablemente menores que la disponible para las aerobias. La actividad anaerobia es relativamente lenta; la velocidad de crecimiento y las concentraciones de bacterias en los digestores tradicionales son notablemente bajas. Por otra parte la eficiencia del tratamiento

aeróbico está limitada por la transferencia de oxígeno a la masa de bacterias en desarrollo; concentraciones relativamente pequeñas de bacterias copan totalmente la capacidad de transferir oxígeno de la atmósfera al reactor. (Barrera T. 1993). Por lo que, para concentraciones altas de DQO los sistemas aeróbicos presentan limitantes altas.

Los límites de eficiencia del tratamiento anaerobio están impuestos por la máxima concentración de bacterias que pueda retenerse en el reactor. La capacidad metanogénica de los lodos anaerobios hace difícil su sedimentabilidad e impide su concentración; solamente en sistemas de medio fijo o de flujo ascendente con separación de fases se puede conseguir concentraciones lo suficientemente altas como para producir eficiencias similares a las conseguidas por los métodos aerobios. (Barrera T. 1993).

Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA). Los filtros anaeróbicos representan una tecnología en desarrollo adecuada para el tratamiento de desechos industriales que contienen materiales orgánicos biodegradables solubles. Desde 1977 se han venido diseñando y construyendo una gran cantidad de sistemas a gran escala, y existen suficientes datos disponibles para comparar el desempeño del campo al desempeño de las unidades a escala de laboratorio. Estas comparaciones muestran una gran concordancia entre los filtros anaeróbicos del laboratorio y los de gran escala y muestran que los factores más críticos de diseño que afectan el desempeño son el tiempo de retención hidráulica, el tipo de medio de soporte y la dirección del flujo. El área de superficie del medio afecta un poco el desempeño, con la mayor eficiencia

asociada con mayores áreas de superficie específica. Sin embargo, la diferencia es tan pequeña que el uso de un medio que tiene un área de superficie específica alta no se justificaría desde el punto de vista económico. El desempeño del tratamiento no se afecta significativamente con las aguas de desecho que entran y tienen concentraciones de demanda química de oxígeno, DQO, por encima o cercanas a 3000 miligramos/litro.

Un gran cambio en la tecnología de tratamiento anaeróbico surgió a fines de 1960 con el desarrollo del filtro anaeróbico. Este trabajo estabilizó una línea demarcadora de factibilidad para este tipo de procesos e identificó una cantidad de características operativas importantes. Primero estaba el factor de que el filtro anaeróbico es capaz de producir largos tiempos de retención de sólidos; por lo tanto, ha sido posible tratar cargas moderadamente bajas (2.000 a 20.000 miligramos/litros de demanda química de oxígeno, DQO, para desechos orgánicos industriales solubles). Segundo, el proceso es estable aun cuando se opera bajo flujos y cargas variables e intermitentes. Tercero, La granulación de los sólidos biológicos en los espacios intersticiales dentro de la matriz del medio, contribuyen grandemente a esta estabilidad y es un factor esencial en producir una alta eficiencia. Esta última característica llevó a un desarrollo eventual de reactores anaeróbicos de flujo ascendente. Las cargas orgánicas varían desde un mínimo de 0.2 kilogramos DQO/ m³ día a un máximo típico de 16 kilogramos DQO/m³ día. Los tiempos de retención hidráulica (TRH) varían entre 12 y 96 horas. El tipo de aguas de desechos varía desde las aguas negras domésticas con una DQO entre 100 a 150 mg/l, a los desechos de destilería que tiene una DQO cercana a 85.000 mg/l. (Young y Yang, 1989).

MATERIALES Y MÉTODOS

Información General

Este proyecto se planteó con el objetivo específico, entre otros, de evaluar la aplicabilidad de un sistema de aguas residuales tipo Tanque Séptico - Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente, (TS-FAFA), a escala semi-piloto para tratar las aguas residuales provenientes del "Beneficiadero Ecológico" (mucílago concentrado, agua de enjuague, agua de selección hidráulica, agua de despulpado, etc..) y las aguas residuales domésticas de las viviendas.

El proyecto se montó en la finca "La Aguada", con un plantío aproximado de 25000 palos de café, situada en la vereda Aguas Frías del municipio de Medellín, Colombia, con una temperatura promedio de 23°C, a una altura de 1.700 msnm. aproximadamente y cuyo sistema de beneficiado del café era del tipo "Ecológico", diseñado por el Comité Departamental de Cafeteros de Antioquia. En las figuras 2, 3 y 4 se muestran los equipos utilizados en el beneficiadero "Ecológico" de la finca La Aguada (Vereda Aguas Frías, Medellín, Colombia).

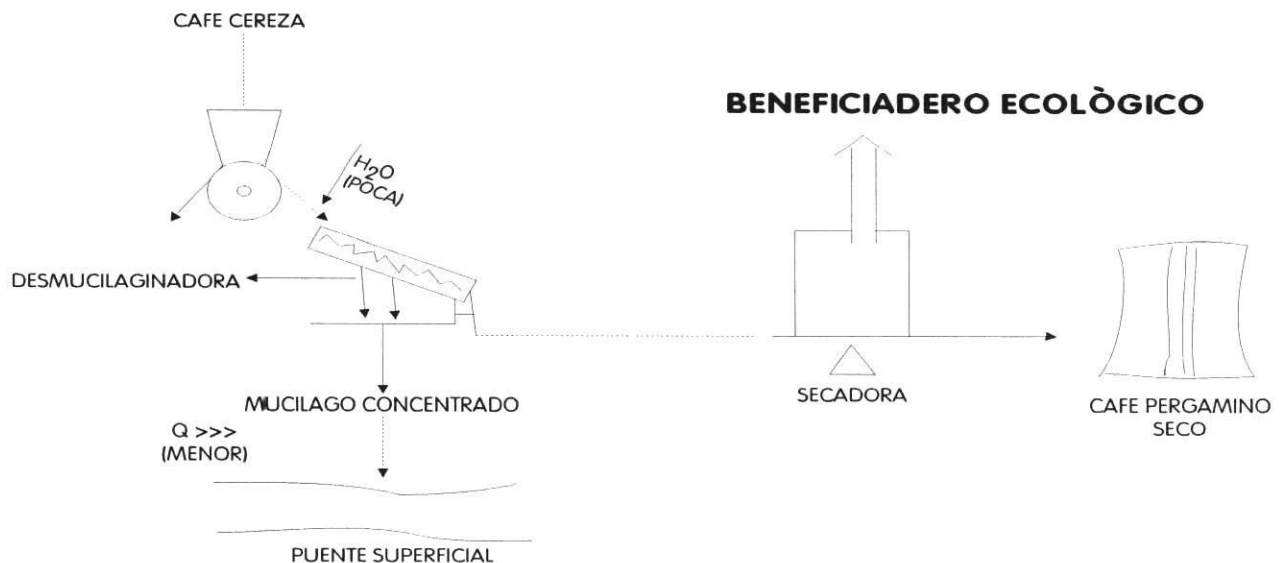


Figura 2. Esquema General del Beneficiadero Ecológico.

Con el desarrollo del Beneficiadero Ecológico, en la actualidad se está consumiendo un litro de agua por kilogramo de café pergamino seco, equivalente a cuatro litros por kilogramo de café cereza.

Durante los cuatro meses que dura la cosecha de fin de año se pueden estar produciendo por hectárea de café sembrado y en producción, unos dos mil cuatrocientos kilogramos de mucílago puro y unos seiscientos kilogramos en los dos meses de la cosecha de mitaca.

Por lo tanto, se estima que, en fincas con beneficiaderos ecológicos, se producen por cada hectárea de café unos 53,3 litros de desecho líquido, producto del beneficio del grano.

Así mismo, se estima que en época de cosecha se tenga una población de diez trabajadores por hectárea de café, por lo que se estarían produciendo unos setecientos a mil quinientos litros de agua residual doméstica diariamente por hectárea (según dotaciones para zonas rurales de 70 a 190 l/hab.día).

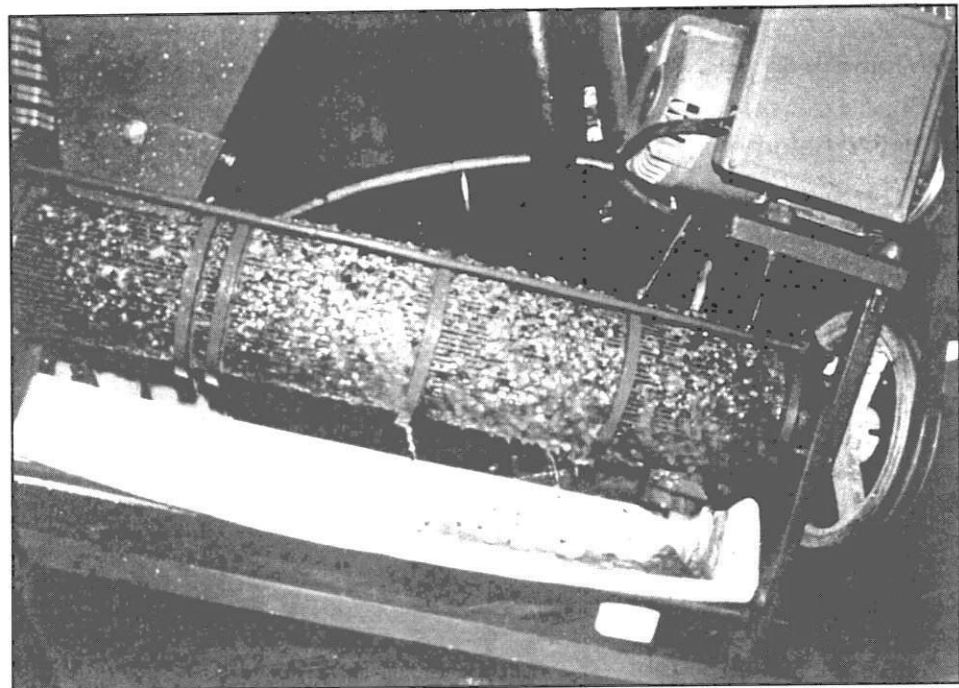
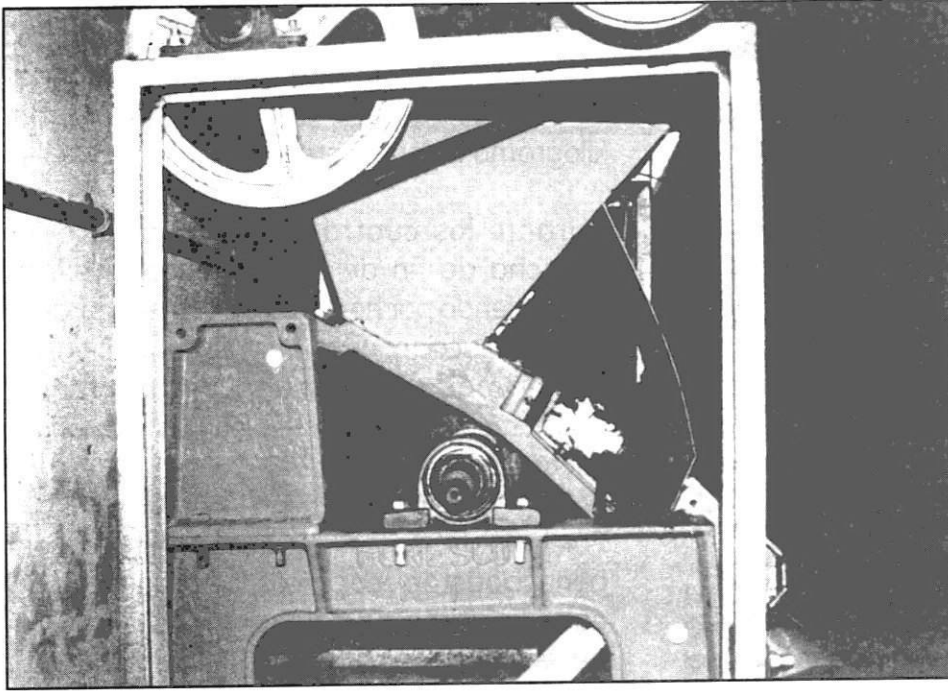


Figura 3. Arriba: Despulpadora de disco (no utiliza agua)
Abajo: Desmucilaginadora (desprende el mucílago de la fruta)

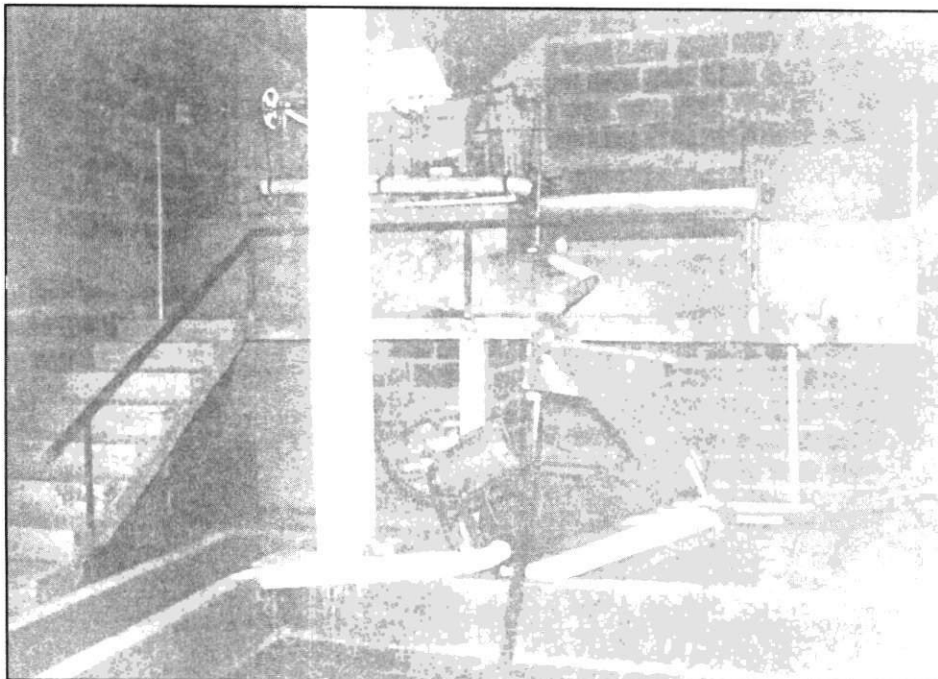
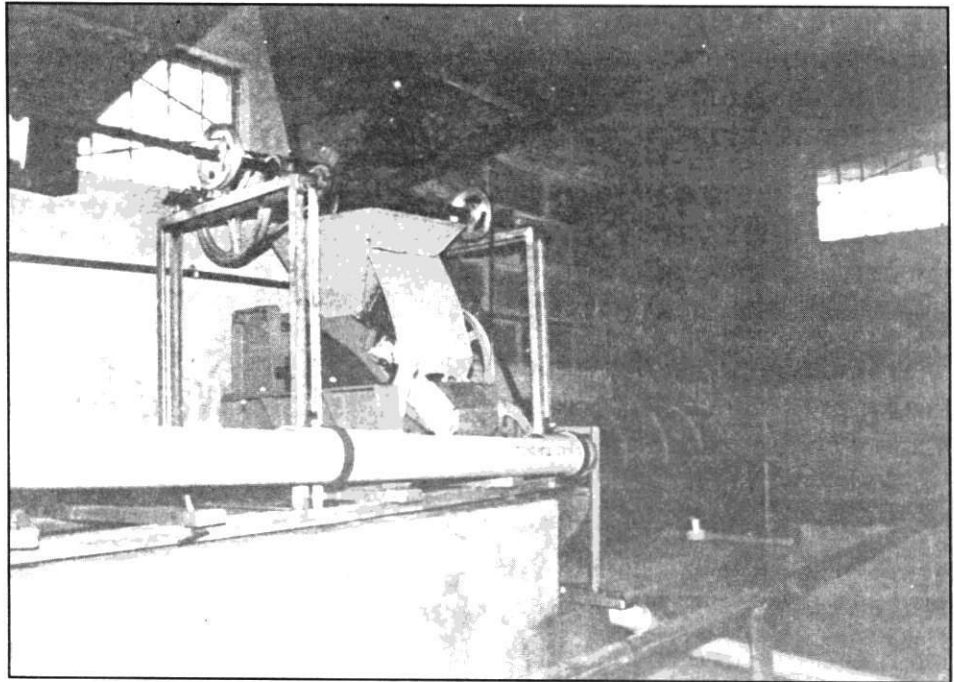


Figura 4. Arriba: Despulpadora de Disco y la Zaranda
Abajo: Beneficiadero Ecológico de la finca La Aguada.

Descripción del sistema

El sistema experimental que se propuso para esta investigación estaba constituido por varias etapas, a saber:

Una primera etapa del sistema estaba compuesta por unos recipientes de Mezcla y Homogenización, conformados por dos canecas plásticas de 55 galones cada una.

La segunda etapa estaba conformada por un tanque de carga para controlar y mantener una cabeza hidráulica y alimentar los reactores con un caudal constante. Esta estructura se construyó con una caneca plástica de 55 galones, provista de una válvula flotador de 2" de cobre.

Como tercera etapa se tenían los reactores en sí, constituidos por un Tanque Séptico, TS (también llamados sedimentadores biológicos) de 1000 litros, plástico, de forma troncocónica.

Como estructura principal en esta tercera etapa del sistema, se construyó el Filtro

Anaerobio de Flujo Ascendente, FAFA; para su construcción se utilizó un tanque plástico troncocónico de 1000 litros de capacidad, el cual se adaptó como filtro de flujo ascendente utilizando un falso fondo, un medio de soporte para las bacterias en guadua (trozos de 5 a 8 cms de longitud y diámetro) y unos mecanismos de entrada y salida. La entrada al reactor se construyó a nivel del fondo del tanque.

Con este medio se llenó hasta las 2/3 partes aproximadamente del volumen del reactor; para evitar el levantamiento del medio por flotación se colocó una malla removible de aluminio y plástico. Como zona de sedimentación se dejó un espacio entre la malla de aluminio y la estructura de salida de aproximadamente unos 10 cm. Un esquema de los reactores tanque séptico y FAFA, se muestra en la figura 5; en la figura 6 se ilustra la conformación del FAFA. La figura 7 muestra el esquema general del sistema de tratamiento.

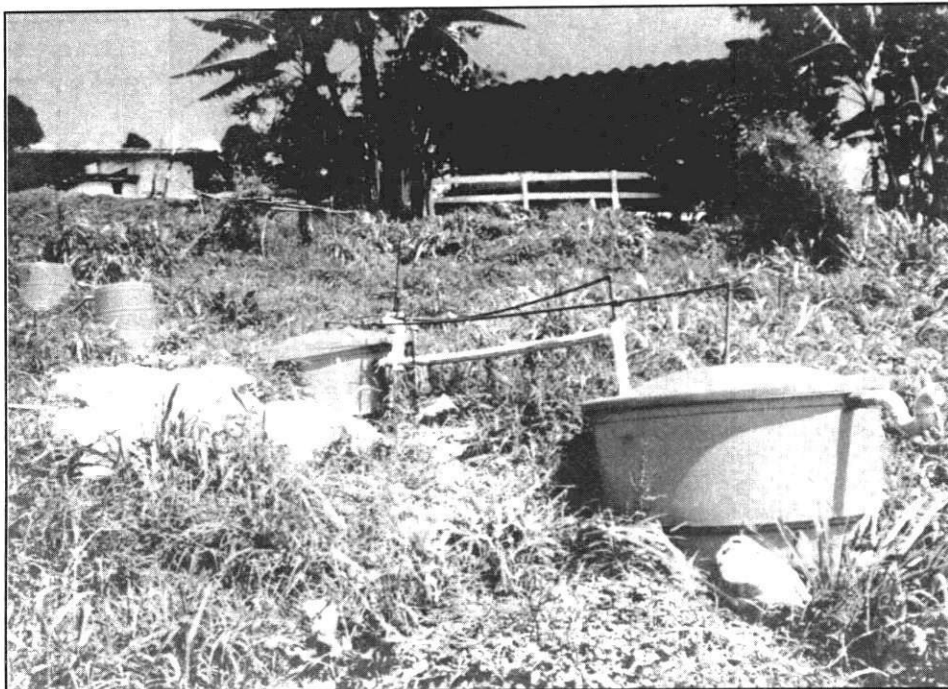


Figura 5 Ilustración del sistema TS - FAFA (vista inferior)

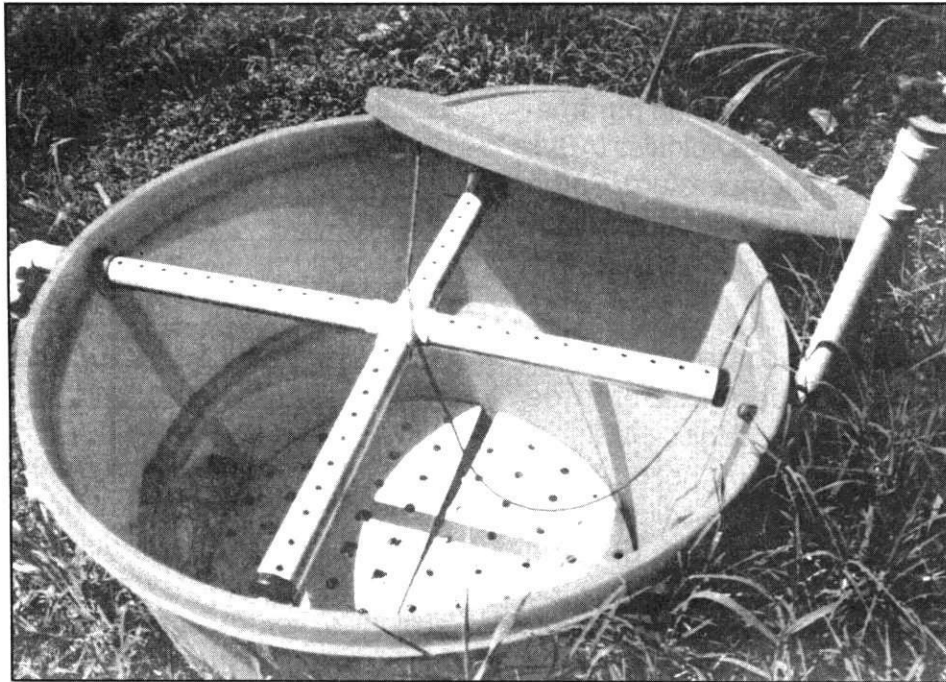


Figura 6. Ilustración de la conformación del FAFA. (falso fondo, estructura de recolección y salida del efluente).

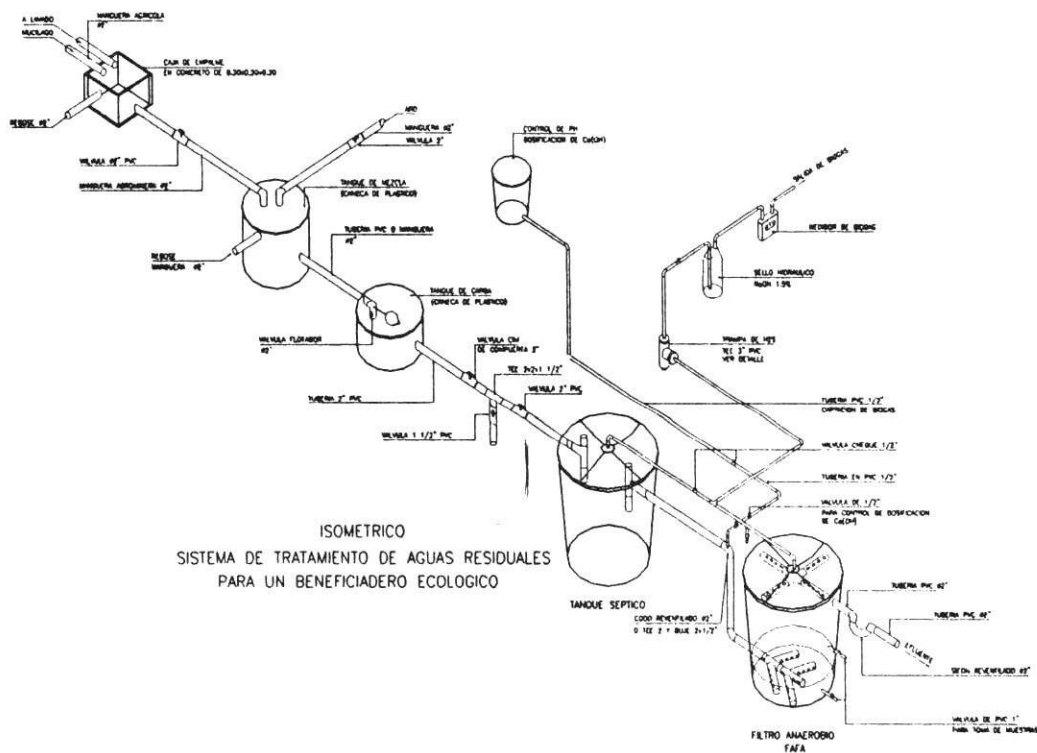


Figura 7. Esquema general del sistema TS - FAFA (isométrico)

2.3 Operación del Sistema

La operación del sistema se realizó siguiendo los pasos para la aclimatación de un reactor anaerobio, controlando parámetros como pH, ácidos grasos volátiles (AGV), capacidad búffer (C.B.), temperatura, Carga Volumétrica (Lv), DQO (total y filtrada), Sólidos (suspendidos, totales y volátiles), TRH y/o Caudal (Q), etc.

Inicialmente se hizo una caracterización del desecho proveniente de un sistema de despulpado de café tipo "Ecológico", $ARC_{mezclor}$ del desecho originario de un pozo séptico artesanal, ARD y del desecho salido directamente de la desmucilaginada del café despulpado ARC_{puro} . Las características de estos desechos se presentan en las tablas 1, 2 y 3.

Las $ARC_{mezclor}$ son las originadas en el beneficio ecológico completo, es decir: las aguas residuales del despulpado, desmucilaginado y lavado del café y lavado de equipos. Las ARC_{puro} son los desechos líquidos que se desprenden directamente del desmucilaginado (desprendimiento mecánico del mucílago de la almendra del café).

TABLA 1. Características del ARC_{puro} .

Parámetro	Valor promedio
DQOt (mg/l)	105,984
SS (mg/l)	42,127
SSV (mg/l)	653
pH	5.2

TABLA 2. Características del ARD.

Parámetro	Valor promedio
DQOt (mg/l)	512
DQOf (mg/l)	36
DBO5 (mg/l)	114
SS (mg/l)	232
SSV (mg/l)	77
ST (mg/l)	446
Nt (mg/l)	21
Pt (mg/l)	0.5

TABLA 3. Características del ARC_{mezcla} .

Parámetro	Valor promedio
DQOt (mg/l)	25,255
DQOf (mg/l)	5,364
DBO5 (mg/l)	8,000
ST (mg/l)	12,042
SS (mg/l)	10,720
Ntotal (mg/l)	182
Ptotal (mg/l)	0,8
pH	5,0

El desecho a tratar en los reactores se obtuvo luego de analizar cuáles podrían ser los residuos líquidos que produciría una finca de café con viviendas y con beneficiadero ecológico. Por tal motivo se decidió analizar las características de una mezcla conformada por las aguas residuales del beneficiadero ecológico del café (ARC_{mezcla}) y las aguas residuales domésticas (ARD), y se llamó "Aguas Residuales Finca Cafetera", (ARFC). Las características de este desecho se presentan en la tabla 4.

TABLA 4. Características del ARFC.

Parámetro	Valor promedio
DQOt (mg/l)	6,197
DQOf (mg/l)	4,880
DBO5 (mg/l)	3,857
SS (mg/l)	2,206
SSV (mg/l)	1,160
ST (mg/l)	5,237
Ntotal (mg/l)	446
Ptotal (mg/l)	9,3
pH	5,1

Las características de los desechos anteriores son promedios de los datos obtenidos durante el tiempo de trabajo.

La mezcla entre el ARC_m y el ARD para obtener la calidad del ARFC requerida, se hizo

Tabla 5. Resultados del seguimiento de aclimatación y operación del sistema y características del desecho tratado, ARFC.

RESULTADOS

FECHA	DÍAS	CAUDAL -/d	TRH días	DQO†-mg/l afluent,	DQO†-mg/l efluente	Temp C		pH afluent,	pH efluent,	Lv Kg DQO/m3d	E %	SSV-mg/l efluente	AGV meq/l	C.B.
						efluent	afluent							
IV- 4-95	0	38,6	7	1400	-	21	22	4,3	7	0,2	-			
IV-11-95	7	35,6	9	1400	-	21	23	4	7	0,15	-			
IV-20-95	16	67,5	4	1384	-	21	22	4,5	7	0,35	-			
IV-24-95	20	134,7	3	1593	-	20	23	4,5	7	0,53	86,1			
IV-27-95	23	67,3	6	1667	222	20	23	4,5	7	0,28	93			
V-3-95	29	67,3	6	1760	116	21	23	4,3	6,6	0,29	83,2			
V-6-95	35	67,3	6	2080	296	21	23	4,3	6,6	0,35	89			
V-12-95	40	80,8	5	1800	230	21	22	4,3	7,5	0,36	95		0,85	0,6
V- 17-95	43	134,7	3	1482	92	20	22	6	7	0,5	92,2	40		
V-20-95	46	134,7	3	1417	116	20	23	5,8	7	0,47	90,4			
V-23-95	49	134,7	3	1258	136	20	23	6	7	0,42	95,6			
V-26-95	53	101	4	1669	56	21	23	6,1	6,8	0,42	94,2			
V-30-95	56	134,7	3	1501	96	21	23	6	7	0,5	95,2			
VI-2-95	59	134,7	3	3397	72	21	22	4,9	6,8	1,13	97,7			
VI-5-95	62	134,7	3	1254	79	21	22	5,3	6,9	0,42	78,4		3,5	0,35
VI-8-95	67	-	5	-	271	20	22	5,3	6,8	-				
VI-13-95	70	134,7	3	1819	-	20	23	5	-	0,61				
VI-16-95	74	101	4	-	-	21	23	4,5	6,8	-				
VI-20-95	77	134,7	3	-	-	21	23	4,5	7	-				
VI-23-95	82	80,8	5	-	-	21	23	4,3	-	-				
VI-28-95	98	25,25	16	-	-	21	23	4,3	6,8	-				
VII-15-95	101	134,7	3	-	-	21	23	4,5	7	-				
VII-18-95	123	18,4	22	-	-	21	23	4,5	6,8	-				
VIII-9-95	146	17,6	23	-	-	20	22	4	7	-				
IX-1-95	184	-	38	-	-	20	22	-	7,2	-			1,68	
X-10-95	193	44,9	9	6816	-	21	23	4,9	6,7	0,75	97,7			
X-19-95	197	101	4	11451	159	21	23	4	7	2,86		21		
X-23-95	201	101	4	-	-	20	22	-	6,5	-			8,2	1,24
X-27-95	209	50,5	8	9064	-	20	23	4,3	7,1	1,13	96,9			
X-30-95	212	-	3	-	-	20	23	-	7,1	-				
XI-2-95	214	-	2	-	-	21	23	-	7,1	-			9,5	0,46
XI-4-95	221	57,7	7	10500	280	21	23	-	6,8	1,5	90,8			
XI-11-95	228	57,7	7	12087	958,8	21	23	-	6,8	1,73			11,5	0,83
XI-18-95	235	115,4	7	16000	-	20	23	-	6,7	2,29	84,8		13,3	0,37
XI-25-95	244	44,9	9	16264	2439	21	23	5,2	6,8	1,81	85	158	8	0,35
XII-4-95	252	50,5	8	14480	1546	21	23	4,2	6,8	1,81	89,3		11,5	0,67
XII-11-95	258	67,33	6	7568	481	21	23	5,1	6,9	1,26	93,6	190	9	0,3
XII-15-95	262	101	4	9240	365	21	23	5,1	7	2,31	96		23,8	0,24
XII-17-95	264	-	-	-	-	20	22	5	6,8	-				
XII-20-95	267	-	-	-	-	21	23	-	6,5	-				
XII-22-95	269	-	-	-	-	21	23	-	6,7	-				
XII-26-95	273	36,73	11	8520	310	21	23	5,1	6,8	0,77	96,4		2,74	0,13
XII-29-95	276	134,7	3	7980	295	21	23	5,2	7,1	2,66	96,3		0,72	0,45
I-3-96	281	80,8	5	8120	300	21	23	4,2	6,8*	1,62	96,3		0,83	0,42
I-8-96	286	80,8	5	7990	320	21	23	4,5	7	1,6	96		1,96	0,39
I-13-96	291	80,8	5	9200	1648	21	23	4	6,7	1,84	82		123	
I-15-96	293	-	-	-	-	21	23	-	6,7*	-				
I-17-96	295	-	-	-	-	20	23	-	6,7*	-				
I-20-96	298	57,71	7	12000	320	20	22	6,1	7	1,71	97,3	60		
I-24-96	302	101	4	14560	224	21	23	6,3	7,3	3,64	98,5	106	5,3	0,16
I-27-96	305	134,7	3	10520	308	21	23	5,9	7,1	3,51	97	228	5	0,2
I-30-96	308	134,7	3	9500	350	21	23	5	7,1	3,17	96,3			
II-3-96	311	134,7	3	9200	310	21	23	4,9	7,1	3,07	96,6			
II-6-96	314	134,7	3	10470	356	20	22	5,1	6,9	3,5	96,6			
II-9-96	317	134,7	3	15320	225	20	22	5,4	6,9	5,1	98,5			
II-11-96	319	202	2	11711	174	20	22	6,7	7	5,85	98,5		5,33	0,3
II-15-96	323	101	4	12100	195	21	23	6,2	7,1	3,03	98,4			
II-18-96	326	134,7	3	13485	309	21	23	6,9	7,1	4,5	97,7	68	3,6	0,28

preparando una relación con porciones de aproximadamente una parte de ARC_m por veinte de ARD, para el tiempo transcurrido entre el inicio de la aclimatación y finales del mes de abril; a partir de mayo se varió la proporción de la mezcla con una porción de ARC_m por ocho de ARD; y finalmente se preparó el ARFC, mezclando una parte de ARC_m por tres partes de ARD, desde el reinicio de la alimentación, en el mes de octubre, hasta finalizar el ensayo.

En la tabla 4, se muestra un promedio de las características físico-químicas del afluente que en este caso sería el desecho para tratar por ser esta calidad la que se podría estar produciendo en una finca cafetera la mayor parte del tiempo.

Todos los análisis de las muestras se hicieron en los laboratorios del Posgrado de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Antioquia (Medellín, Colombia) siguiendo la metodología propuesta por los métodos normalizados de la American Public Health

Association, APHA, la American Water Works Association, AWWA, y la Water Pollution Control Federation, WPC, de los Estados Unidos de América.

RESULTADOS

Aclimatación y operación del sistema

La aclimatación del reactor consiste en la obtención de la estabilización de una buena eficiencia de remoción de la DQOt que entra al sistema en un tiempo de retención hidráulico, TRH, lo más bajo posible, a medida que se monitorean algunos parámetros físico-químicos del lodo formado, del afluente y del efluente.

Los parámetros utilizados para este seguimiento fueron el pH, los AGV y la capacidad búffer, C.B., los SSV, la DQOt el TRH, la L_v , el Caudal y la temperatura. En la tabla 5 y las gráficas 1 a 5, se presentan los resultados obtenidos durante 326 días en los cuales se hicieron mediciones de los parámetros (véase tabla 5, pág. anterior).

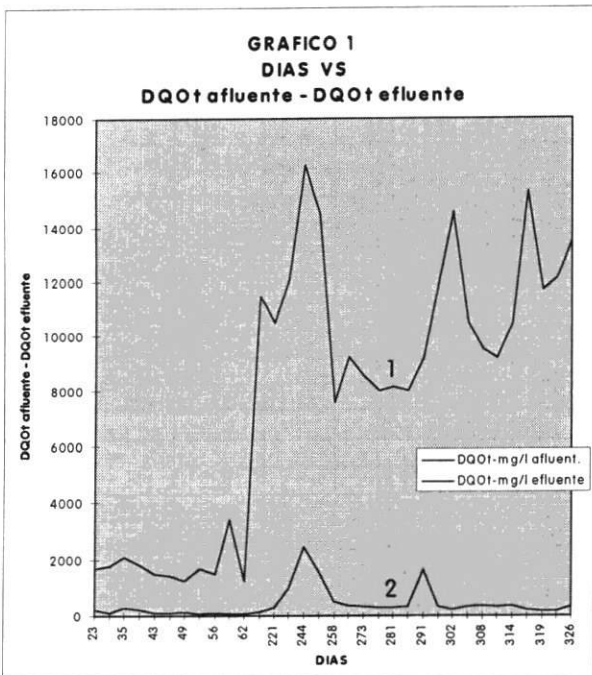


GRAFICO 1. Comportamiento de la DQOt del Afluente y el Efluente durante el tiempo de operación del sistema.

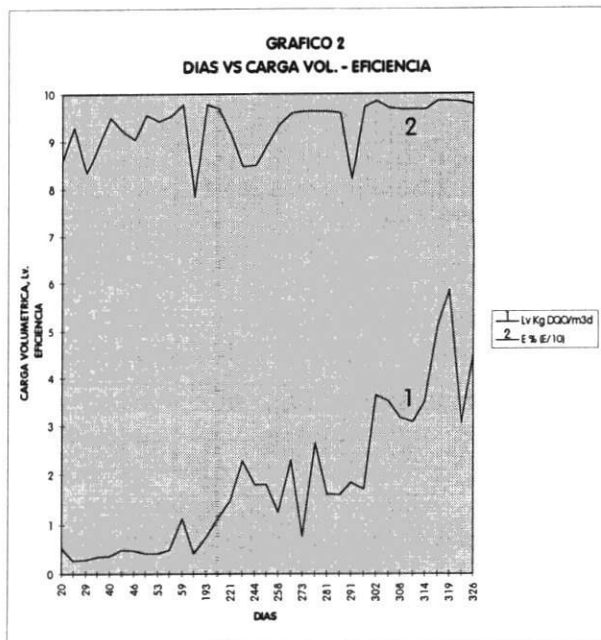


GRAFICO 2. Comportamiento de la Carga Volumétrica, L_v , y la Eficiencia de remoción de la DQOt durante el tiempo de operación y aclimatación del sistema.

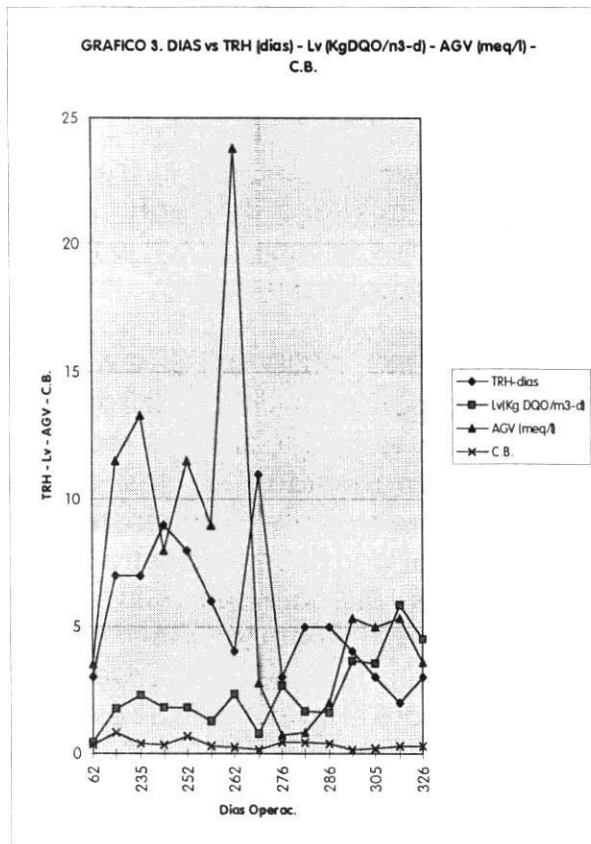


GRAFICO 3. Comportamiento del TRH, Lv, AGV y la C.B. con respecto a los días de operación del sistema.

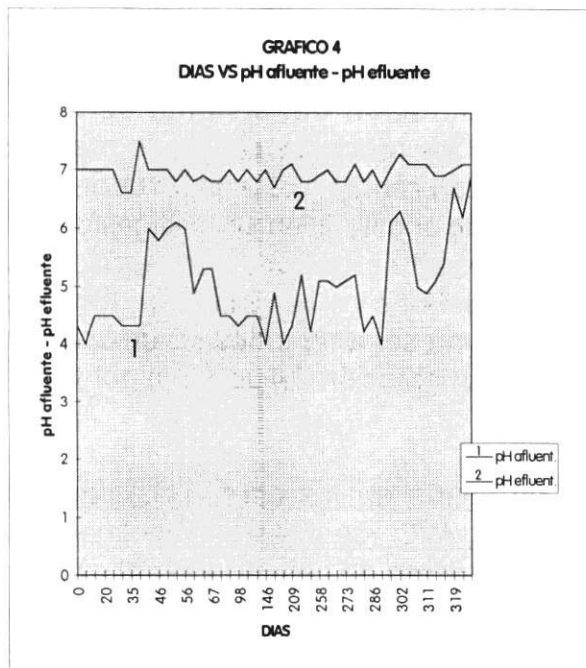


GRAFICO 4. Comportamiento del pH del Afluente y el Efluente durante la aclimatación y operación del reactor FAFA.

Dias Operacion	0	62	262	298	314	326
SST (mg/l)	4878	9190	7790	10550	14299	21300
SSV (mg/l)	2572	6520	5550	7290	9880.5	14719
pH	7	7.1	7.4	7.1	7	7

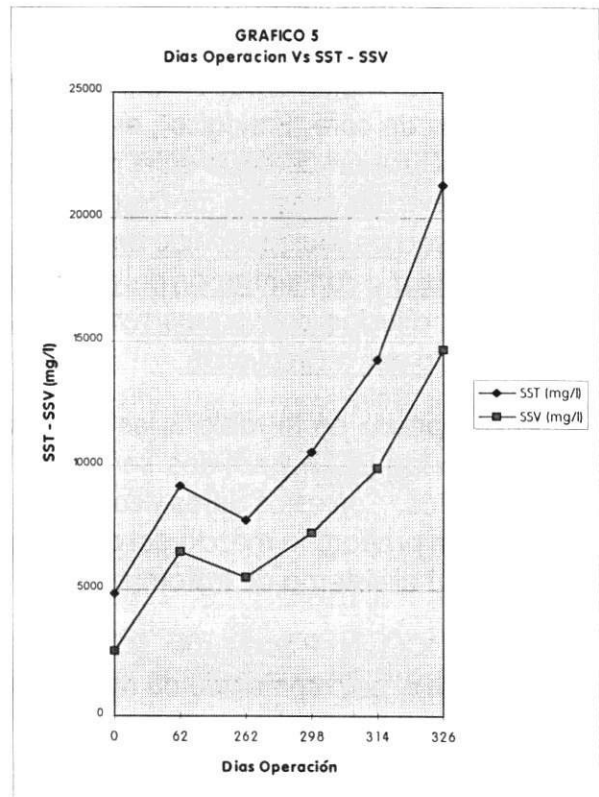


GRAFICO 5. Comportamiento de la conformación de lodo en el Reactor FAFA.

DISCUSION DE RESULTADOS.

Los resultados obtenidos en el estudio se resumen en la tabla 5 y se ilustran en las gráficas 1 a 5.

La Tabla 1 presenta la características del desecho producido en el desmucilaginado mecánico del café, el cual se obtuvo del análisis de tres muestras compuestas recogidas en el transcurso de una semana. Las muestras fueron tomadas directamente en el desmucilagador mecánico, lo que permite tener un conocimiento de las características del mucílago que se desprende del grano del café.

Como se aprecia en dicha tabla, la concentración de DQO total muestra un valor alto. Los reactores biológicos presentan limitaciones para tratar directamente desechos con valores de DQO tan altos, ya que las bacterias tanto aerobias como anaerobias no soportan estas concentraciones. Con la implementación del sistema de beneficio de café "Ecológico", en el cual hay poca utilización de agua en el proceso, se debe tener un sistema de tratamiento para los desechos líquidos de tipo anaerobio y se debe bajar la concentración del desecho ya sea por dilución con aguas residuales domésticas o por recirculación.

Como se aprecia en la tabla 3 los valores registrados de DQO_t y sólidos son relativamente altos. Con estos datos y con los de la tabla 2 se preparó la mezcla del desecho que se entró al sistema de tratamiento.

La relación DQO : N : P es de 100 : 0.7 : 0.003 lo que indica el bajo contenido de nitrógeno y fósforo en el desecho proveniente del beneficiadero.

Sin embargo, con los datos registrados en la tabla 4, que muestra los valores promedios de las características del ARFC, desechos provenientes del beneficiadero ecológico ARC_m , mezclados con las aguas residuales domésticas, ARD, se aprecia una mejor relación DQO, N, P, con valores de 100 : 7.2 : 0.15, ; lo que indica que sólo el contenido de fósforo podría estar generando limitaciones en el crecimiento de la masa bacteriana dentro del reactor FAFA, desde el punto de vista de contenido de macronutrientes.

Como se puede observar en la tabla 4, los valores de DQO_t , DQO_p , DBO_5 y sólidos en general, son mucho más bajos que los del desecho puro, ARC_{puro} , y que los del desecho del beneficiadero, ARC_M .

Con estos valores de DQO y sólidos se estima que el sistema no tendrá limitaciones en cuanto a saturación y asimilación del alimento por parte de las bacterias. Además, se observa que la dilución de la DQO_t , los sólidos y el aumento del contenido de macronutrientes se beneficia con la mezcla de aguas residuales domésticas.

La relación DBO_5 / DQO_t es de 0.63, que muestra la parcial biodegradabilidad del desecho. Sin embargo, ensayos recientes de biodegradabilidad de las aguas residuales del café muestran una biodegradabilidad anaerobia entre el 84% y el 95% (Wills y Molina); además, la revisión bibliográfica reporta el buen funcionamiento de los sistemas anaerobios en general para el tratamiento de este tipo de desecho. (Baena 1992 , Castro y Hernández 1994).

La tabla 5, muestra los resultados de los parámetros analizados para el seguimiento de la aclimatación y la operación del sistema.

La aclimatación del sistema se inició llenando los reactores con agua residual doméstica y con 20 kilos aproximadamente de un lodo originado en un biodigestor que trata desechos de una porqueriza. La adición del lodo y el llenado de los tanques se hizo una semana antes de arrancarse con la alimentación del desecho por tratar (ARFC).

La variación en las características del desecho, ARC_m , se debe principalmente a que el proceso de beneficiado del café no es continuo y por lo tanto presenta descargas de desecho discontinuas, con picos a diferentes horas, días, semanas e inclusive meses durante la época de cosecha. Esto indica que durante el

tratamiento de los desechos líquidos del beneficiado del café, es complejo alimentar un reactor en forma continua, al cual en todo momento, se le esté ingresando la misma cantidad de desecho y con la misma concentración. Por lo anterior se ve la necesidad de tener una estructura de homogenización en la cual se pueda almacenar y regular el suministro de desecho.

Inicialmente se pretendió operar el sistema en flujo continuo e ir haciendo variaciones de caudal con base en la carga volumétrica propuesta, pero por problemas de atascamiento en las válvulas de control de caudal, por la alta presencia de sólidos (granos de café) y las variaciones del caudal de desecho generado en el despulpado, se decidió alimentar el reactor en forma de flujo discontinuo (por cochadas).

Entre los días 74 al 184 no se alimentó el reactor con desecho ARFC, ya que durante este tiempo no hubo producción de desecho de café, por no ser época de cosecha; sin embargo, el sistema se siguió alimentando con ARD para mantener en buenas condiciones el cultivo de bacterias formado.

A pesar de presentarse valores de DQO_T afluente muy variables, el sistema soportó estas variaciones y mantuvo una buena eficiencia de remoción. Es así como los valores de DQO_T del efluente se mantuvieron relativamente bajos.

Se observa cómo al presentarse los incrementos de la DQO_T del afluente, el efluente también se incrementa; sin embargo, al bajarse la concentración del afluente, el efluente también baja. No obstante estas variaciones, la eficiencia de remoción se mantuvo cercana al 80%.

El gráfico 2 muestra el comportamiento de la eficiencia del reactor al incremento de la carga volumétrica L_v , durante el tiempo de operación del sistema. En el gráfico se aprecia como a pesar de los incrementos de la carga volumétrica, L_v , la eficiencia del reactor se mantiene, en la mayor parte del tiempo, sobre el 80%, alcanzando valores de hasta un 98,5% de eficiencia en la remoción de la DQO_T . En los días en los cuales se presentó un incremento brusco de la DQO del afluente (ej: día 59) se presentó una disminución de la eficiencia al 84.4%, que sigue siendo una buena eficiencia.

Con los valores logrados de eficiencia de remoción de la DQO_T , se puede deducir que el desecho es altamente biodegradable y que además el sistema anaeróbico propuesto es adecuado para su tratamiento.

El gráfico 3 muestra el comportamiento del TRH, de la L_v , de los AGV y de la C.B. En él se observa el aumento de los AGV dentro del reactor cuando la L_v se subió rápidamente y la recuperación a niveles bajos nuevamente, cuando se aumentó el TRH bajando los valores de la L_v . Esta metodología, en la cual se aumenta el TRH, disminuyendo el caudal de entrada y por lo tanto bajando la carga volumétrica, L_v , se utilizó para controlar la acumulación de los AGV dentro del FAFA y evitar la acidificación del reactor. Una relativa estabilización de los niveles de AGV se alcanzó a los 270 días, aproximadamente, de haberse iniciado la aclimatación.

Como se indicó anteriormente, el sistema se arrancó con una L_v de 0.2 kg DQO/m^3 - día. Durante los primeros 56 días se incrementó levemente la carga volumétrica, disminuyendo el TRH y manteniendo la DQO del afluente relativamente

constante, hasta llegar a valores de 0.5 Kg DQO/m³ -día. El día 70 se aumentó drásticamente a 1.13 kg DQO/m³ -día, ya que el DQO del afluente presentó un valor alto con respecto a los valores anteriores. A partir del reinicio del sistema, el día 193, con alimentación de desecho de café ARFC, el valor de la Lv se fue incrementando, iniciándose con 0.75 kg DQO/m³ -día, hasta llegar a valores de 2.86 kg DQO/m³ -día, en 9 días. Sin embargo, el día 209 se bajó a valores entre 1.13 y 1.5, debido al aumento de los AGV y la leve baja del pH en el reactor FAFA; este mismo día, se decidió aumentar el TRH a 8 días para evitar la acidificación del reactor.

Al presentarse una mejora en el pH del efluente se continuó con el incremento de la Lv, aumentando la DQO del efluente y/o disminuyendo el TRH, para llegar hasta un valor de 2.31 kg DQO/m³ día, manteniéndose el pH del efluente entre 6.8 y 7.0. Sin embargo, el día 262, al presentarse un aumento de AGV en forma considerable, se suspendió la alimentación por 11 días. Este mismo día se agregó al reactor un volumen adicional de 20 kg de lodo, proveniente de un UASB que trata desechos de un matadero de pollos.

El día 273 se reinició la alimentación con un Lv de 0.77 kg DQO/m³ día, aumentándose levemente hasta llegar a valores entre 2.66 y 1.71, con este último valor registrado el día 298.

A partir del día 273, se iniciaron los incrementos de la Lv, con valores entre 3.64 y 4.5 kg DQO/m³ día, presentándose inclusive un valor pico de 5.85 kg DQO/m³ día. A pesar de estos incrementos, que se sostuvieron por un tiempo aproximado de 2 meses, no se presentaron bajas de pH a niveles de la fase ácida (pH<6.5) y los AGV

se mantuvieron en una buena concentración (AGV<8 meq/l).

El día 326 corresponde a febrero 18 de 1996, fecha en el cual se suspendió la alimentación al reactor en forma definitiva.

El gráfico 4 muestra el comportamiento del pH tanto del afluente como del efluente. No obstante las variaciones de pH en el afluente, el efluente siempre mostró valores de pH por encima o iguales a 6.5, que son valores aceptables para la no afectación de la población microbiana dentro del reactor y por lo tanto están dentro del rango permisible para los tratamientos anaerobios.

A pesar de que al afluente siempre se le agregó entre 50 y 60 gramos aproximadamente de cal diluidos en 10 litros de agua, cada que se alimentó el reactor, el pH del afluente se mantuvo generalmente en el rango ácido.

No obstante el aumento de los AGV en la época comprendida entre los días 201 a 262, el pH en el efluente y dentro del reactor no alcanzó a llegar a niveles de la fase ácida (pH menor de 6.5).

De los gráficos antes analizados y la tabla 5, se puede deducir que el reactor alcanzó su aclimatación y estabilización a partir del día 286, ya que después de este tiempo se aprecian niveles de capacidad búffer, C.B. por debajo de 0.4 y AGV menores a 5 meq/l, a pesar de aumentarse la Lv, lográndose TRH de 3 días en promedio. También se aprecia que el reactor al trabajar con valores de Lv mayores de 3 kg DQO/m³-día, e inclusive con picos de 5.85 kg DQO/m³-día, se mantuvo estable, tanto en el pH como en la C.B. y en los AGV, parámetros utilizados en este ensayo para el control del reactor.

El gráfico 5 muestra el comportamiento de la conformación del lodo dentro del reactor FAFA; inicialmente se arrancó con una concentración de lodos medidos como SSV de aproximadamente 2572 mg/l, y se terminó al día 326 con una concentración de lodo dentro del reactor de 14719 mg/l, lo que muestra una buena formación de lodo a través del tiempo de operación del sistema.

La adición de lodo el día 264 se realizó para mejorar la población microbiana formada ya que se notó una disminución de la concentración del lodo dentro del reactor y para buscar también una disminución de los AGV acumulados dentro del reactor.

La no alimentación del reactor con desecho de café y la disminución de la L_v , pudo haber afectado la tasa de crecimiento del lodo; sin embargo, con la última adición de lodo, el reactor se aclimató en un tiempo relativamente corto y el crecimiento de la población bacteriana casi se triplicó en cuestión de 60 días.

CONCLUSIONES

Se arrancó el filtro con una carga volumétrica de 0.2 kg DQO/m³ -d, y un tiempo de retención de 7 días, una DQOt en el desecho afluente de 1400 m/l.

La carga se incrementó escalonadamente utilizando la eficiencia, el pH del afluente y los AGV como parámetros de control, hasta llegar a valores de carga volumétrica, L_v , entre 5.85 y 4.5 kg DQO/m³-d y TRH entre 2 y 3 días, últimos valores alcanzados antes de terminarse el desecho (cosecha cafetera, 1995 - 1996).

Se utilizó como inóculo 20 kg de lodos de un biodigestor tipo chino alimentado con

desechos que provenían de una porqueriza; la concentración del lodo dentro del reactor FAFA, en el momento del inicio, fue de 2579 mg/l como SSV, y en el momento de suspenderse el trabajo se alcanzó una concentración de 14719 mg/l como SSV y 21300 mg/l como SST.

El desecho tratado no fue neutralizado totalmente. Sólo en algunas ocasiones se le agregó cal diluida sin adición de nutrientes.

El sistema muestra una eficiencia alta en casi todo el período de operación. Sin embargo la concentración de AGV fue en ocasiones muy alta, por lo que se controló con estrategias como la disminución de la carga volumétrica, aumentando el TRH, y agregando porciones de cal diluida a la entrada del FAFA.

El sistema se inició operándolo con alimentación continua, pero por problemas de atascamiento en las válvulas de control de caudal, debido al alto contenido de sólidos en el efluente y por la producción intermitente del desecho, se optó por alimentarlo en forma de cochadas (tipo batch).

La dilución con aguas residuales domésticas es importante en el aporte de nutrientes al desecho y en la disminución de la concentración tan alta que presenta el desecho puro (las concentraciones altas podrían presentar saturación que las bacterias no están en capacidad de absorber).

La mezcla entre el ARC_m y el ARD más utilizada durante el ensayo se obtuvo de la proporción de una parte de ARC_m por tres partes de ARD.

Es recomendable utilizar un inóculo durante el arranque del sistema con una concentración de aproximadamente 20.000

mg/l como SSV, llenando las 2/3 partes del reactor, con el propósito de disminuir el tiempo de estabilización y arranque del sistema.

Deben usarse tanques de homogenización para regular el caudal y almacenar el desecho para suministrarlo en época sin cosecha. La regulación del caudal se debe dar de tal manera que se disminuyan los caudales picos en corto tiempo.

Con la disminución de agua en el proceso de beneficio se mejora la posibilidad de almacenar desecho de café concentrado.

El cribado y la sedimentación - flotación son importantes para disminuir el contenido de sólidos y evitar que puedan atascar las válvulas de regulación de caudal.

Con los "beneficiaderos Ecológicos" no se está solucionando el problema de contaminación en las descargas directas a las fuentes superficiales. Con este sistema sólo se está concentrando el desecho producido. Sin embargo, con la disminución del agua gastada en el proceso de beneficio y aunque se aumente la concentración del desecho es factible mejorar el manejo, ya que se puede almacenar con mayor facilidad en tanques de homogenización (necesarios para el tratamiento del desecho); además, se requerirán tanques de menor tamaño que los utilizados si el beneficiadero fuese del tipo tradicional.

El sistema TS-Fafa evaluado permite sobrecargas, variaciones amplias en las cargas aplicadas y períodos largos sin alimentación, sin que sufra drásticamente el funcionamiento o el reinicio, lo cual lo hace viable para el tratamiento

de desechos intermitentes como los del café.

Se requiere evaluar con mayor detalle y profundidad el funcionamiento hidráulico y el medio de soporte utilizado. Young y Yang (1991), reportan recomendaciones de alturas mínimas del medio de soporte dentro del reactor de 2 metros; sin embargo, filtros a escala piloto y de laboratorio con alturas menores, se han evaluado obteniéndose buenos resultados. Además, sistemas similares en la conformación como los evaluados por Restrepo (1994), llamados Sistemas Anaeróbico Múltiple Mixto, SAMM, fueron utilizados para observar el tratamiento de las aguas residuales domésticas.

Con respecto al medio de soporte, la bibliografía revisada reporta ensayos con medios similares a los utilizados en esta investigación, Baena (1993). Young y Yang (1991) y Henze Harremoes (1982) recomiendan medios de soporte con áreas superficiales entre 60 y 200 m²/m³ y diámetros de la partícula entre 20 y 50 mm. Con base en lo anterior y los resultados obtenidos en esta investigación, se concluye que utilizar la guadua como medio de soporte es viable y su tamaño debe estar dentro de las dimensiones especificadas. No obstante se debe estudiar la durabilidad del medio en períodos más prolongados.

Con los resultados obtenidos en este estudio se puede concluir que este sistema puede ser utilizado para tratar aguas residuales de las fincas cafeteras con beneficiaderos "ecológicos", pero su arranque debe ser dirigido o asesorado por personal experto.

BIBLIOGRAFIA

- ALVAREZ G., J. Desulpado del Café sin Agua. CENICAFE. Chinchiná 1991. 6 p, (Avances Técnicos Cenicafé N. 16).
- ARRANQUE Y OPERACION DE SISTEMAS DE FLUJO ASCENDENTE CON MANTO DE LODO. Curso, Santiago de Cali (Ciudad) 1987. C.V.C, U.V. Manual del Curso. Colombia. 1987.
- BAENA A., Luisa. Ensayo de Tratabilidad Mediante Filtro Anaerobio Para Aguas Mieles Producidas Durante El Beneficio Del Café. Revista ACODAL. Cali, Colombia. 1992.
- BARRERA, T. S. Fundamentos del Tratamiento Anaerobio. Seminario Sobre Tecnología del Tratamiento Anaerobio de Residuos Orgánicos. Santafé de Bogotá. Universidad de los Andes, Colombia. 1993.
- BAUCH. Compañía de Tecnología de Saneamiento Ambiental, (Sao Paulo, BR). Recuperación de materiales a partir de desechos del procesamiento de alimentos: Recuperación de pectina de los desechos del beneficio húmedo del café. Sao Paulo, CETESB; 1980, 27 p.
- BROCK, T. D., y M. MADIGAN. Biology of Microorganisms. Prentice Hall, Englewood cliffs, New Jersey. 1992. Citado por DIAZ, M. C. En: Aspectos Bioquímicos y Microbiológicos de la Digestión Anaeróbica. Santafé de Bogotá. p. 34, 1994.
- CAMPOS, J. L. y D. H. GÓMEZ. Potencialidade do Filtro Anaerobio. DAE. Vol. 49. No. 154. Jan-mar, 1989.
- CORDERO C, Olman. Servicio Nacional de Acueductos y Alcantarillados (San José, CR). Polución de Cuerpos de agua por residuos de café en Costa Rica.
- Corporación Autónoma Regional del Cauca (Cali, CO). Tratamiento anaerobio de aguas residuales del proceso de Café. Cali; CVC; S. d 72 p. tablas.
- CORREA P., Arturo. Contaminación de la miel del café y alternativas de manejo. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Comité Departamental de Antioquia. Medellín. 1993. 12 p.
- CUERVO F., H. Generalidades Sobre Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales. Manual del Curso Sobre Tratamiento Anaeróbico de Aguas Residuales - Microbiología y Bioquímica. Medellín, Colombia. 1988.
- DIAZ, M. C. Aspectos Bioquímicos y Microbiológicos de la Digestión Anaerobia. Curso de Aspectos Bioquímicos y Microbiológicos de la Digestión Anaerobia. Medellín, Universidad de Antioquia, Colombia. 1994.
- DIAZ, M. C. Reactores Anaeróbicos de Alta Tasa. Ingeniería e Investigación. Vol. 4. No. 2. Trimestre 1 de 1987. p. 11-18.
- FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Centro de Investigaciones de Café, CENICAFE. Manual del Cafetero Colombiano 4 ed. Chinchiná. Colombia. CENICAFE. 1979. 168 p.
- FIELD, Jim. Agricultural University of Wageningen (Wageningen, NL). Aguas residuales de café. Universidad del Valle (Cali, CO), Facultad de Ingeniería, Sección Saneamiento Ambiental; Corporación Autónoma Regional del Cauca (Cali, CO); Agricultural University of Wageningen (Wageningen, NL). Arranque y operación de sistemas de flujo ascendente con manto de lodo UASB; manual del curso. Cali, Univalle; 1987, 272 p. Ilustradas
- GARCIA F., Alcides Dinis y Luis Antonio Valledo Amaral. Café Soluvel; Tratamiento anaerobio de desechos de la producción. Ambiente Revista CETESB de Tecnología, 2 (1): 19-22, 1988.
- HENZE, M. P., HARREMÖES. Anaerobie Treatment of Wastewater in Fixed Film Reactor a Literature Review. Proceeding of Specialised Seminar of the IAWPRC Held in Copenhagen, 16, 17 june 1982.
- LETTINGA, G. y P. L. HULSHOFF. Advanced Reactor Desing, Operation and Economy. Post- Conference International Seminar on Anaerobie Treatment in Tropical Countrie Sao Paulo, Brasil. IAWRP-CEPESB. Agosto 25 al 29, 1986.

LETTINGA, Velsen., HOBMA DE SEEUN et al. Use of the Upflow Sludge Blanket (UASB) Reactor Concept for Biological Wastewater Treatment, Especially for Anaerobic Treatment. *Biotechnology and Bioengineering*. Vol. 22. p. 699-734. 1980.

Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables, Residuales. 17 Edición, American Public Health Association, APHA; American Water Works Association, AWWA; Water Pollution Control Federation, WPCF; Edición Díaz de Santos, S.A. Madrid, España. 1992.

McCARTY, P. Historical Trends in the Anaerobic Treatment of Dilute Wastwaters. Proceeding of the Seminar of Anaerobic Treatment of Sewage. University of Massachusetts. M. S. Switzenbaum, Editor.

MULLER, J. A., MANCINI, J. L. Anaerobic Filter - Kinetics and Application.

MUÑOZ A., H. Cinética de los procesos Anaerobios. Manual del Curso Sobre Tratamiento Anaeróbico de Aguas Residuales - Microbiología y Bioquímica. Medellín, Colombia. 1988.

ROJAS. C. D. Factores Ambientales que Inciden en la Aplicación de los Procesos Anaerobios. Manual del Curso Sobre Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales - Microbiología y Bioquímica. Medellín, Colombia. 1988.

ROJAS. C. D. La Alcalinidad como Parámetros de Control de los Ácidos Grasos Volátiles en Digestores Anaerobios. Manual del Curso Sobre Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales - Microbiología y Bioquímica. Medellín, Colombia. 1988.

RESTREPO, J. M. y E. M. ORDOÑEZ. Corroboración de un Método de Diseño para el Sistema Anaeróbico Múltiple Mixto de Tratamiento de Aguas Residuales Orgánicas. *Gaceta Ambiental, Acodal*. No. 7. Santafé de Bogotá, Colombia. Enero-marzo, 1994

SANZ U., J.R. Análisis de Calidad en Taza del Café Desmucilaginado Mecánicamente Después de Almacenamiento. Informe Anual de Actividades. Centro Nacional de Investigaciones de Café, CENICAFE. Disciplina de Ingeniería Agrícola. Chinchiná. Colombia. 1992.

TECNOLOGIA DEL TRATAMIENTO ANAEROBIO DE RESIDUOS ORGANICOS. Seminario. Santafé de Bogotá 1993. Memorias. Colombia. UNIANDES. 1993.

TRATAMIENTO ANAEROBICO DE LAS AGUAS RESIDUALES, MICROBIOLOGIA Y BIOQUIMICA. Curso. Medellín (Ciudad) 1988. Manual del Curso. Colombia, Universidad de Antioquia, CESET. 1988.

UTILIZACION INTEGRAL DE LOS SUBPRODUCTOS DEL CAFE. Simposio. Guatemala 1987. Memorias. Guatemala. ANACAFE, ICAITI. 1987.

WILLS B., B. y M. MOLINA. "Evaluación de la Biodegradabilidad y Toxicidad Anaerobia de Residuos Líquidos Complejos". Primer Simposio Colombiano de Digestión Anaerobia. Universidad de los Andes. Colombia, 1994.

YOUNG, J. C. Factor Affectings the Desing and Performance of Upflow Anaerobic Filters. *Wat. Sci. Tech.* Vol. 24. No. 8. 1991. p. 133-155.

YOUNG, J. C. y M. F. DAHAB. Effect of Media Desing on the Performance of Fixed -beld anaerobic Reactors. *Water Sci. Tech.*, 15, 369-383.

YOUNG, J. C. y P. L. McCarty. The Anaerobic, Filter For Waste Treatment. *Journal Water Pollution Control Federation*., 41 p. R160. Mayo 1969.

YOUNG, J. C. y B. S. YANG. Desing Considerations For Full-Scale Anaerobic Filters. *JWPCF*. 61(9). 1989.

ZEGERS, F. Microbiología. Curso sobre Arranque y Operación de Sistemas. UASB. CVE - Universidad del Valle - Universidad de Wagemngen. 1987.