



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS
DE GRAN CANARIA

Departamento de Ingeniería de Procesos

Tesis Doctoral

Las Palmas de Gran Canaria, noviembre de 2015

**REUTILIZACIÓN DE AGUAS DE UN
PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA
AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS**

José Rafael Sánchez Ramírez

D. ANTONIO NIZARDO BENÍTEZ VEGA, SECRETARIO DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS DE LA UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA,

CERTIFICA,

Que el Consejo de Doctores del Departamento en su sesión de fecha de 23 de noviembre de 2015 tomó el acuerdo de dar el consentimiento para su tramitación, a la tesis doctoral titulada “Reutilización de aguas de un proceso de fangos activados para agua de riego en cultivos y suelos”, presentada por el doctorando D. José Rafael Sánchez Ramírez y dirigida por el Dr. D. Juan Emilio González González y la Dra. Dña. Jenifer Vaswani Reboso.

Y para que así conste, y a efectos de lo previsto en el Artº 6 del Reglamento para la elaboración, defensa, tribunal y evaluación de tesis doctorales de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, firmo la presente en Las Palmas de Gran Canaria, a 23 de noviembre de dos mil quince.



Departamento/Instituto/Facultad: INGENIERIA DE PROCESOS

Programa de doctorado: INGENIERIA AMBIENTAL Y DESALINIZACIÓN

Título de la Tesis

Reutilización de aguas de un proceso de fangos activados para agua de riego en cultivos y suelos.

Tesis Doctoral presentada por D/D^a JOSE RAFAEL SANCHEZ RAMIREZ

Dirigida por el Dr. D. JUAN EMILIO GONZÁLEZ GONZÁLEZ

Codirigida por la Dra. D^a. JENIFER VASWANI REBOSO

El Director

La Codirectora

El Doctorando,

Las Palmas de Gran Canaria, a 16 de noviembre de 2015

UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS
DE GRAN CANARIA

TESIS DOCTORAL

Reutilización de aguas de un proceso de
fangos activados para agua de riego en
cultivos y suelos.

JOSE RAFAEL SANCHEZ RAMIREZ

Las Palmas de Gran Canaria, 2015

AGRADECIMIENTOS

Las palabras no consiguen definir con tanta amplitud los sentimientos. Es lo que me ocurre cuando quiero expresar mi incommensurable gratitud a mi director de tesis Dr. D. Juan Emilio González González, Catedrático de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria y la hago extensible a la codirectora Dra. D.^a Jenifer Vaswani Reboso.

Mi agradecimiento para todas las personas de la Universidad de las Palmas de Gran Canaria y de la Espol de Guayaquil, que me animaron en todo momento.

También quiero mostrar mi gratitud al personal de del laboratorio de la Edar Sureste, encabezados por Eva García, por su valiosa colaboración.

Gracias a la Mancomunidad del Sureste y a todas las personas que desde diferentes niveles de responsabilidad la conforman.

Gratitud a toda mi familia por su apoyo, que siempre ha sido motivador e incondicional.

Mi agradecimiento a todas aquellas personas que han aportado un granito de arena o unas palabras de ánimo durante la realización de la tesis, en especial a Mercedes Lugo por su permanente motivación en el tramo final y a Fernando Miranda porque siempre ha estado disponible.

A Ti y a María Candelaria.

A mi madre y a mi padre.

A mis hijos, Pedro Ángel, Miriam, Lucía e Isabel de Jesús y a Esther Melián.

A mis hermanos Manolo y Lini , a todos mis sobrinos y a Expedita y Mateo.

Índice

**REUTILIZACION DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS
PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS**

CAPITULO 1: ANTECEDENTES, OBJETIVOS E HIPÓTESIS A INVESTIGAR 19

1.1 Introducción..... 19

1.2 Objeto del proyecto: 20

1.2.1 Académico: 20

1.2.2 Justificativo: 20

1.3. Situación y Emplazamiento: 21

1.3.1. Situación: 21

1.3.2. Emplazamiento: 21

1.4. Depuración del Agua Residual:..... 21

1.4.1 Introducción: 21

1.4.2. Tipos de Tratamientos: 23

1.4.2.1. Descripción de los tratamientos. 25

1.4.2.1.1. Desbaste. 25

1.4.2.1.1.1. Rejas de barras 26

1.4.2.1.1.1.a Rejas de limpieza manual 26

1.4.2.1.1.1.b Rejas de limpieza mecánica 27

1.4.2.1.1.2 Tamices 29

1.4.2.1.1.2.a Estáticos 29

1.4.2.1.1.2.b Rotatorios 29

1.4.2.1.2. Dilaceración 29

1.4.2.1.3. Desarenadores 30

1.4.2.1.3.1. Desarenadores rectangulares de flujo horizontal. 30

1.4.2.1.3.2 Desarenadores cuadrados de flujo horizontal 31

1.4.2.1.3.3. Desarenadores aireados 31

1.4.2.1.3.4. Desarenadores de vórtice 32

1.4.2.1.4. Desengrasado 32

1.4.2.1.4.1. Flotación por aire disuelto (DAF) 33

1.4.2.1.4.2. Flotación por aireación 34

1.4.2.1.4.3. Flotación por vacío 34

1.4.2.2. Procesos biológicos. 34

1.4.2.2.1. Procesos de ratamiento aerobio de cultivo en suspensión 35

1.4.2.2.1.a Proceso de fangos activados 35

1.4.2.2.1.b Lagunas aireadas. 42

1.4.2.2.2. Procesos aerobios de tratamiento de cultivo fijo 42

1.4.2.2.2.a Filtros percoladores. 42

1.4.2.2.2.b Biodiscos. 47

1.4.2.2.3. Procesos de tratamiento anaerobios de cultivos en suspensión. 48

1.4.2.2.3.a Proceso anaerobio de contacto 48

1.4.2.2.3.b Proceso anaerobio de manto de fango de flujo ascendente 48

1.4.2.2.4.a Filtro Anaerobio. 48

1.4.2.2.4.b Proceso de lecho expandido 48

1.4.2.2.5. Procesos de tratamiento por lagunaje (estanques de estabilización) 49

1.4.2.2.5.a Estanques aerobios 49

1.4.2.2.5.b Estanques facultativos 49

1.4.2.2.5.c Estanques anaerobios 50

REUTILIZACIÓN DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

1.4.3. Control de nutrientes	51
1.4.3.1. Eliminación de Nitrógeno.	51
1.4.3.2. Nitrificación biológica	52
1.4.3.2. a Proceso en una sola etapa	52
1.4.3.2. b Proceso en etapas separadas	54
1.4.3.3. Nitrificación/desnitrificación biológica.....	55
1.4.3.3. a. Sistemas de nitrificación/desnitrificación conjunta (fango único)	55
1.4.3.3. b Sistemas de desnitrificación de etapas separadas (fangos separados).....	56
1.4.4. Eliminación de Fósforo	58
1.4.4.1. a Proceso A/O.....	59
1.4.4.1. b Proceso PhoStrip	60
1.4.4.1. c Reactor discontinuo secuencial	60
1.4.4.2. Proceso A ² /O	60
1.4.4.3. Proceso Bardenpho (cinco etapas).....	61
1.4.4.5. Proceso UCT.....	61
1.4.4.5. Proceso VIP	61
1.4.5. Coagulación – Floculación.	61
1.4.6. Desinfección.	63
1.4.6.1. Química del Cloro.	65
1.5. Combinaciones de procesos.....	67
1.4. Introducción a la reutilización del agua residual depurada.	70
1.1.3. REALIMENTACIÓN DE LAS CAPAS ACUÍFERAS SUBTERRÁNEAS.....	71
1.7. Criterios de Calidad para la reutilización de las aguas depuradas.....	74
 CAPITULO 2: AGUA DE RIEGO. EFECTOS SOBRE LOS CULTIVOS Y EL SUELO .. 85	
2.1 Agua de riego y efecto sobre los cultivos y los suelos.....	85
2.2 Problemas debidos a la Salinidad.....	85
2.2.1 Tolerancia de los cultivos a la salinidad:.....	89
2.2.2 Prácticas de control de la salinidad:.....	92
2.2.2.1. Emparejamiento del suelo:.....	92
2.2.2.2. Programación del riego:	93
2.2.2.3 Colocación de las semillas:	93
2.2.2.4 La Fertilización:	94
2.3. Problemas de Infiltración:	97
2.4. Manejo del riego para controlar los problemas de Infiltración:.....	100
2.4.1. Frecuencia en los riegos:	101
2.4.2. Riegos presiembra:	101
2.4.3. Duración del proceso de riego:.....	101
2.4.4. Cambio del sistema de riego:	101
2.5 Problemas de Toxicidad:	102
2.5.1. El Cloro:	103
2.5.2 El Sodio:	103
2.5.3 EL Boro:.....	104

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

2.6. Técnicas control de Toxicidad:	105
2.6.1. Lixiviación:	105
2.6.2. Selección de cultivos:	106
2.6.3. Mezclas de aguas:.....	106
2.7. Problemas que se originan por los nutrientes:	107
2.7.1. El Nitrógeno:.....	107
2.7.2. El Fósforo:	109
2.7.3.- El Potasio	110
2.7.4. El Magnesio:	111
2.7.5. pH anormales:	111
2.7.6. Incrustaciones:.....	112
2.8 Técnicas de riego y efecto sobre los cultivos y los suelos:	113
2.8.1 Introducción:	113
2.8.2 Riego por Surcos:.....	115
2.8.3. Riego por Goteo:	118
2.8.4. Riego por Inundación:	120
2.8.5.- Riego por Aspersión.	122
2.9. Obstrucciones en los sistemas de riego	123
2.10. Calidad de las Aguas de riego.	127
CAPITULO 3. EMPLEO DE AGUAS DEPURADAS COMO AGUA DE RIEGO	135
3.1. Riegos con agua depurada:	135
3.2. Características de las aguas depuradas:	136
3.2.1. Propiedades Físicas:	137
3.2.2. Propiedades Químicas:	138
3.2.3. Propiedades Biológicas:.....	138
3.3 Obstrucciones en los sistemas de riego localizado:	139
3.4. Almacenamiento de aguas depuradas en estanques:	139
3.5.- Mezclas de aguas de diferentes calidades:	141
3.6. Precauciones para mantener en buen estado el sistema de riego de agua depurada:	142
3.7. Reutilización del agua depurada en la EDAR de La Mancomunidad del Sureste:	143
3.7.1.Conclusiones extraídas del estudio de la caracterización del agua depurada en La Mancomunidad del Sureste:	146
3.7.1.1. Investigaciones previas: Proyecto Dereá	153
3.7.1.1. Datos analíticos previos de las características del agua de la depuradora del Sureste.....	158
3.7.2. Otras EDAR donde se reutiliza el agua depurada:	163

3.8. Distribución del terreno y tipos de cultivos de la zona;	167
3.9 Normas de control del uso de aguas depuradas, como agua de riego, en otros zonas del mundo:	174
3.10. Particularidades del cultivo de Cítricos:.....	177
3.10.1. Generalidades:.....	177
CAPITULO 4. PROCESO DE OBTENCIÓN DE LOS PARÁMETROS BIOCINÉTICOS	200
4.1.Determinación de las Relaciones Cinéticas:	200
4.2 Introducción al proceso de fangos activados:.....	200
4.3 Principios Básicos de la Oxidación Biológica:.....	202
4.3.1. Metabolismo Microbiano:.....	202
4.3.2. Metabolismo microbiano en el tratamiento de las Aguas Residuales:.....	204
4.4 Modelos Matemáticos para el proceso de Fangos Activados:	205
4.4.1. Relaciones cinéticas:	206
4.4.1.1 Introducción:.....	206
4.4.1.2. Determinación de la Velocidad Específica de Consumo de Sustrato.q:.....	209
4.4.2 Balances de Materia :.....	212
4.4.2.1 Parámetros Biocinéticos.....	212
4.4.2.2 Balances de materia para determinar el consumo de oxígeno	217
4.4.2.3. Balances de materia para determinar la producción neta de biomasa (AX.v):.....	219
4.4.3 Ecuaciones para el cálculo de las condiciones óptimas de decantación del lodo:	221
4.4.4. Determinación de los Parámetros Biocinéticos:	225
4.4.4.1 Puesta en marcha de la experiencia:	228
4.4.4.3. Método de cálculo de los parámetros biocinéticos:	234
CAPITULO 5. PROCESO DE FANGOS ACTIVOS. VARIABLES QUE CONTROLAN EL PROCESO	239
5.1. Objetivo del capítulo:.....	239

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

5.2 Introducción al proceso de fangos activos:.....	239
5.3.Variables Fundamentales del Proceso:.....	242
5.4. Ecuaciones de diseño que dependen de la alimentación inicial:.....	244
5.4.1. Balances de Materia para los Caudales:	244
5.4.2. Balances de Materia para S_o :	245
5.4.3. Balances de Materia para obtener X_v o X_{nv} :	246
5.4.4. Ecuaciones de diseño de las Relaciones Cinéticas.- Ecuación de la velocidad específica del consumo de sustrato, q :	247
5.4.5. Ecuación de diseño de la producción neta de biomasa:.....	248
5.4.6. Ecuaciones de diseño de la utilización de oxígeno:.....	250
5.4.7.Ecuación de diseño de la relación A/M	250
5.5. Balances de Materia para obtener la Producción total de lodos:	251
5.5.1. Balances de Materia de los Sólidos en susp. volátiles:	251
5.5.2. Balances de Materia de los Sólidos en susp. No volátiles:	253
5.6. Expresiones para calcular los caudales de curso v del rebosamiento del clarificador secundario. O_w y O_e respectivamente:.....	254
5.7 Balance de materia para la determinación de la relación de recirculación. r :.....	255
5.8. Cálculo del tiempo de residencia en el reactor:.....	256
5.9. Necesidades de nutrientes	258
5.10. Neutralización:.....	260
5.11. Estudio del efecto de la temperatura:	260
5.11.1. Estimación de la temperatura de operación del Reactor Biológico:.....	260
5.11.2. Efecto de la temperatura sobre los parámetros biocinéticos:.....	264
5.12. Balances de materia para la determinación de Sólidos No Volátiles en Suspensión:	265
5.13.- Determinación de la Edad del Fango	267
5.1.4.- Relación del parámetro A/M con la edad del lodo	270
5.15. Transferencia de oxígeno al agua residual:.....	271

5.15.1. Introducción:.....	272
5.15.2. Ecuación de Transferencia de Oxígeno:	274
5.15.3. Relación entre las Capacidades de Oxigenación en las condiciones de referencia y en las reales:	277
5.15.4.- Rendimiento en la transferencia de oxígeno de las unidades de aireación:.....	280

CAPÍTULO 6. PARAMETROS BIOCINÉTICOS; CÁLCULOS Y ENSAYOS.285

6.1. OBJETO DEL CAPÍTULO:	285
6.2. ENSAYOS DE LABORATORIO CON EL REACTOR BIO'LÓGICO	287
6.2.1. ENSAYO 1:	287
6.2.1.4. Determinación del tiempo de retención hidráulico:	288
6.2.1.5. Determinación de la DB05:.....	288
6.2.1.6. Determinación del índice Volumétrico de Lodos (IVL); Después de 30 minutos:.....	289
6.2.1.7. Determinación de la Velocidad de Utilización de Oxígeno:	290
6.2.2. ENSAYO 2:	290
6.2.2.1. Determinación de los Sólidos en suspensión volátiles:	290
6.2.2.2. Determinación de la Producción de Biomasa:	291
6.2.2.3. Determinación del caudal (Qo):	291
6.2.2.4. Determinación del tiempo de retención hidráulico:	291
6.2.2.5. Determinación de la DB05;.....	291
6.2.2.6. Determinación del Índice Volumétrico de Lodos (IVL): Después de 30 minutos:.....	292
6.2.3. ENSAYO 3:.....	293
6.2.3.1. Determinación de los Sólidos en suspensión volátiles:	293
6.2.3.2. Determinación de la Producción de Biomasa:.....	294
6.2.3.3. Determinación del caudal (Qo):	294
6.2.3.4. Determinación del tiempo de retención hidráulico:.....	294
6.2.3.5. Determinación de la DB05:.....	294
6.2.3.6. Determinación del Índice Volumétrico de Lodos (IVL): Después de 30 minutos:	296
6.2.3.7. Determinación de la Velocidad de Utilización de Oxígeno:.....	296
6.2.4. ENSAYO 4:	296
6.2.4.1. Determinación, de los sólidos en suspensión volátiles:	296
6.2.4.2. Determinación de la Producción de Biomasa:.....	297
6.2.4.3. Determinación del caudal (Qo):	297
6.2.4.4. Determinación del tiempo de retención hidráulico:	297
6.2.4.5. Determinación de la DBO5:	298
6.2.4.6. Determinación del Índice Volumétrico de Lodos (IVL): Después de 30 minutos:	299
6.2.4.7. Determinación de la Velocidad de Utilización de Oxígeno:	299
6.2.5. ENSAYO 5:.....	299
6.2.5.1. Determinación de los Sólidos en suspensión volátiles:	299
6.2.5.2. Determinación de la Producción de Biomasa:	300
6.2.5.3. Determinación del caudal (Qo):.....	300
6.2.5.4. Determinación del tiempo de retención hidráulico:.....	300
6.2.5.5. Determinación de la DB05	301
6.2.5.6. Determinación del Índice Volumétrico de Lodos (IVL): Después de 30 minutos:.....	302

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

6.2.5.7. Determinación de la Velocidad de Utilización de Oxígeno:.....	302
6.2.6. ENSAYO 6:.....	302
6.2.6.1. Determinación de los Sólidos en suspensión volátiles:	303
6.2.6.2. Determinación de la Producción de Biomasa:.....	303
6.2.6.3. Determinación del caudal (Qo):.....	303
6.2.6.4. Determinación del tiempo de retención hidráulico:	304
6.2.6.5. Determinación de la DBOs:.....	304
6.2.6.6. Determinación del Índice Volumétrico de Lodos (IVL): Después de 30 minutos:....	305
6.2.6.7. Determinación de la Velocidad de Utilización de Oxígeno:.....	305
6.3 GRÁFICOS DE VELOCIDADES DE UTILIZACIÓN DE OXÍGENO (VUO)	305
6.4. RESUMEN DE LOS ENSAYOS REALIZADOS:.....	312
6.4.1. DETERMINACIÓN DE LA CONSTANTE DE VELOCIDAD DE CONSUMO DE SUSTRATO, K: .	315
6.4.2. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE UTILIZACIÓN DE OXÍGENO. a y b:	316
6.4.3. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE PRODUCCIÓN DE BIOMASA, Y Y KD:	317
6.4.4. GRÁFICOS DE LOS PARÁMETROS BIOCINÉTICOS:.....	319
6.4.5. DETERMINACIÓN DEL VALOR ÓPTIMO DE A/M, (RELACIÓN ALIMENTO-MICROORGANISMOS	320
6.5. OBJETO DE ESTE APARTADO	322
6.6. DATOS DE PARTIDA:	322
6.6.1. Alimentación al Reactor biológico	322
6.6.2. Calidad del efluente	322
6.6.3. Reactor Biológico	323
6.7. CONSUMO DE SUSTRATO (KG DE DBO CONSUMIDO AL DÍA):.....	324
6.8. ESTIMACIÓN DE LA TEMPERATURA DE OPERACIÓN DEL REACTOR BIOLÓGICO.(TW), DE VERANO E INVIERNO	324
6.9. PARÁMETROS BIOCINÉTICOS CORREGIDOS POR LAS TEMPERATURAS	325
6.10. TIEMPO DE RESIDENCIA (TR) EN EL REACTOR:,	326
6.11. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL REACTOR:	328
6.12. CONSUMO DE OXÍGENO:.....	329
6.13. PRODUCCIÓN NETA DE BIOMASA. (XV):.....	329
6.14. CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE RECIRCULACIÓN (r):	330
6.15. BALANCE DE CAUDALES. DETERMINACIÓN DE OR, Oo. Ow, Oe. Ou:	331
6.16. TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO (TH).....	333
6.17. BALANCES DE MATERIA PARA LOS SÓLIDOS NO VOLÁTILES (Xnvo =Xnva: Xnvu):.....	333
6.18. CÁLCULO DE LA PRODUCCIÓN TOTAL DE LODOS. SSTW.....	335

6.19. CONCENTRACIONES DE DBO. (SOL. SÓLIDOSVOLÁTILES EN SUSPENSIÓN (XV.O), DE LA ALIMENTACIÓN COMBINADA AL REACTOR:	337
6.20. CÁLCULO DE LA EDAD DEL FANGO:	337
6.21. CÁLCULO DE LA POTENCIA DE LAS TURBINAS	338
6.21.1. Cálculo de Cs.s conc. de oxígeno en condiciones de saturación):.....	338
6.21.2. Proceso reiterativo:	341
6.22. RESUMEN DE LOS CÁLCULOS:	342

CAPITULO 7. REMODELACIÓN DE LA ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES DE LA MANCOMUNIDAD DEL SURESTE.....347

7.1.- Introducción.	347
7.2.- Descripción de la EDAR Sureste.	347
7.3.- Línea de fangos	349
7.4. Línea de agua	350
7.4.1.- Obra de llegada.....	351
7.4.2. – Bypass general	351
7.4.3.- Predesbaste	352
7.4.4.- Desbaste de gruesos y finos	352
7.4.5.- Desarenado y desengrase	353
7.4.6.- Depósito de homogeneización	354
7.4.7.- Bombeo de agua bruta.....	354
7.4.8.- Obra de reparto	354
7.4.9.- Obra de reparto a decantadores primarios de planta existente	354
7.4.10.- Decantación primaria.....	355
7.4.11.- Reactor biológico	355
7.4.12.- Decantación secundaria	357
7.4.13- Cloración	357
7.5. Fangos.....	357
7.5.1.- Extracción y bombeo de fangos primarios.....	357

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

- Esquema de la línea de fangos	358
7.5.2.- Espesador	359
7.5.3.- Extracción de fangos en exceso.....	359
7.5.4.- Flotación de fangos en exceso.....	360
7.5.5.- Recirculación de fangos	360
7.5.6.- Digestión de fangos.....	360
7.5.7.- Digestión secundaria.....	360
7.5.9.- Deshidratación de fangos.....	360
7.6.- Modificaciones propuestas.	361
7.6.1.- Partes y proceso elegido en el tratamiento terciario.....	363
8. LINEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS:	366
9. CONCLUSIONES:	366
BIBLIOGRAFIA	368
PRINCIPALES PONENCIAS Y PUBLICACIONES DEL DOCTORANDO:.....	373
ANEXO DE RESULTADOS ANALITICOS DE LA EDAR SURESTE UNA VEZ REALIZADA LA AMPLIACIÓN.	375

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de Rejas	27
Tabla 2. Tipos de tamices	29
Tabla 3. Aplicaciones: Riego.....	70
Tabla 4. Aplicaciones: agua urbana no potable	70
Tabla 5. Criterios de tratamiento y calidad para la reutilización.....	72
Tabla 6. Directrices de la calidad microbiológica, en el uso del agua residual tratada en la agricultura.....	73
Tabla 7. Valores Máximo admisibles (VMA) reutilización. Usos urbanos.....	77
Tabla 8. Valores Máximo admisibles (VMA) reutilización. Usos agrícolas.....	78
Tabla 9. Valores Máximo admisibles (VMA) reutilización. Usos industriales.....	79
Tabla 10. Máximo admisibles (VMA) reutilización. Usos recreativos.....	79
Tabla 11. Muestreo y análisis en reutilización de aguas	80
Tabla 12. Evaluación de la calidad de las aguas regeneradas.....	81
Tabla 13. Métodos o técnicas analíticas para las aguas regeneradas.....	82
Tabla 14. Tolerancia de algunos cultivos a la Salinidad en relación con el rendimiento potencial.....	89
Tabla 15. Concentración de Ca° para la determinación del SAR aj.....	99
Tabla 16. Tolerancia al cloro	103
Tabla 17. Tolerancia al sodio.....	104
Tabla 18. Tolerancia al boro.....	105
Tabla 19. Elementos obstruores: físicos, químicos y biológicos.....	124
Tabla 20. Determinación del pHc	126
Tabla 21. Influencia de la calidad del agua de riego para crear problemas de obstrucción en los sistemas de riego.....	127
Tabla 22. Resumen de evaluación para un agua de riego.....	129
Tabla 23. Concentraciones máximas para oligoelementos	130
Tabla 24. Valores de evaluación normales en aguas de riego blancas	131
Tabla 25. Criterios de calidad para reutilización de aguas depuradas	140
Tabla 26. Probabilidad de superar los límites.....	147
Tabla 27. Datos analíticos promedios afluente de la EDAR Sureste.....	158
Tabla 28. Datos analíticos promedios reactores biológicos EDAR Sureste	159
Tabla 29. Datos analíticos promedios secundarios EDAR Sureste	160
Tabla 30. Datos analíticos promedios Serpentin de cloración EDAR Sureste.....	161
Tabla 31. Datos analíticos promedios Emisario Edar Sureste	162
Tabla 32. Resumen de los análisis de agua depurada varias EDAR de Gran Canaria	163
Tabla 33. Consumo de agua en la comarca del Sureste para usos agrícola.....	170
Tabla 34. Normas sobre reutilización de agua depurada en el mu otras zonas	174
Tabla 35. Tipos de tratamiento para reutilización en riegos	175
Tabla 36. Frecuencia de muestreo	230
Tabla 37. Expresiones de interés para el cálculo de los parámetros biocinéticos..	234
Tabla 38. Parámetros que se estudian en cada corriente.....	242
Tabla 39. Concentración de oxígeno disuelto	272
Tabla 40. Presión de vapor de agua a diferentes temperaturas.....	273
Tabla 41. Valores medios de sólidos en suspensión. Ensayo 1.	287
Tabla 42. Velocidad utilización oxígeno. Ensayo 1.	290

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

Tabla 43. Valores medios de sólidos en suspensión. Ensayo 2	290
Tabla 44. Velocidad utilización oxígeno. Ensayo 2	293
Tabla 45. Valores medios de sólidos en suspensión. Ensayo 3	293
Tabla 46. Velocidad utilización oxígeno. Ensayo 3	296
Tabla 47. Valores medios de sólidos en suspensión. Ensayo 4	297
Tabla 48. Velocidad utilización oxígeno. Ensayo 4	299
Tabla 49. Valores medios de sólidos en suspensión. Ensayo 5	300
Tabla 50. Velocidad utilización oxígeno. Ensayo 5	302
Tabla 51. Valores medios de sólidos en suspensión. Ensayo 6	303
Tabla 52. Velocidad utilización oxígeno. Ensayo 6	305
Tabla 53. Gráfico de velocidad de utilización del oxígeno. Ensayo 1	306
Tabla 54. Gráfico de velocidad de utilización del oxígeno. Ensayo 2	307
Tabla 55. Gráfico de velocidad de utilización del oxígeno. Ensayo 3	308
Tabla 56. Gráfico de velocidad de utilización del oxígeno. Ensayo 4	309
Tabla 57. Gráfico de velocidad de utilización del oxígeno. Ensayo 5	310
Tabla 58. Gráfico de velocidad de utilización del oxígeno. Ensayo 6	311
Tabla 59. Resumen de los ensayos	312
Tabla 60. Resumen datos ensayos.	313
Tabla 61. Valores de R_{o2} (1/h)	314
Tabla 62. valores de μ (l/h)	315
Tabla 63. Valores para calcular k	316
Tabla 64. Tabla para determinar a y b	317
Tabla 65. Valores para determinar μ	318
Tabla 66. Gráfico parámetro K	319
Tabla 67. Gráfico parámetros a y b	319
Tabla 68. Gráfico parámetros Y y K_d	320
Tabla 70. Valores de IVL y A/M	321
Tabla 69. Curva IVL-A/M	321
Tabla 71. Caudales.	333
Tabla 72. Concentración de oxígeno disuelto	338
Tabla 73. Presión de vapor de agua en función de la teperatura	339
Tabla 74. Concentraciones de sólidos en suspensión	342
Tabla 75. Valores de las SSTw	343
Tabla 76. Caudales	343

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. . Ejemplo de Tratamiento del agua residual. Línea de Agua	67
Figura 2. . Ejemplo de instalación típica de Tratamiento Primario.....	68
Figura 3. Tratamiento depuradora del Sureste	69
Figura 4. Formas del agua en el suelo	86
Figura 5. Delimitación de tolerancia relativa a la salinidad en los cultivos.....	90
Figura 6. Salinidad en surcos	94
Figura 7. Colocación de semillas y plántulas en los surcos para disminuir el efecto de la salinidad	94
Figura 8. Complejos arcillosos húmicos.....	99
Figura 9. Infiltración del agua respecto a la salinidad y el SAR.....	100
Figura 10. Ciclo del Nitrógeno en medio acuático	108
Figura 11. Ciclo del Fósforo en el suelo.....	110
Figura 12. Acumulación de sales con diferentes sistemas de riego	114
Figura 13. Riego por surcos	115
Figura 14. Filtración de agua en surco	116
Figura 15. Imágenes de sistemas de riego por goteo.....	118
Figura 16. Detalle del riego por goteo en palmera.....	119
Figura 17. Sistemas de riego por inundación	120
Figura 18. Inundación continua	121
Figura 19. Inundación intermitente	122
Figura 20. Riego por aspersión	123
Figura 21. Esquema de tecnologías empleadas en el proyecto DEREA.....	154
Figura 22. Consumo de agua por cultivo en el Sureste de Gran Canaria.....	168
Figura 23. Deficiencia en hierro	180
Figura 24. Aplicación de quelatos de hierro.	182
Figura 25. Carencia de magnesio.	183
Figura 26. Carencia de calcio	184
Figura 27. Carencia de nitrógeno	185
Figura 28. Carencia de fósforo.....	187
Figura 29. Carencia de potasio	189
Figura 30. Carencia de azufre.....	191
Figura 31. carencia de manganeso.....	191
Figura 32. Carencia de Zinc	193
Figura 33. Carencia de boro	194
Figura 34. Carencia de cobre.....	195
Figura 35. carencia de molibdeno	196
Figura 36. Mecanismo de la degradación aerobia del sustrato.....	203
Figura 37. Relación MLVSS-sustrato. Reactor discontinuo	207
Figura 38. Reactor continuo	209
Figura 39. Curva de valores S/M óptimo	224
Figura 40. Reactores empleados en el laboratorio.....	226
Figura 41. .Esquema del reactor empleado con aireador	228
Figura 42. Dos reactores en funcionamiento simultáneo	229
Figura 43. Diagrama de flujo del proceso e fangos activos	240
Figura 44. Diagrama teórico de un reactor biológico.....	249
Figura 45. Variaciones hipotéticas de temperatura el reactor.....	261

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

Figura 46. Transferencia de oxígeno.....	275
Figura 47. Transferencia de oxígeno aproximada	276
Figura 48. Planta EDAR Sureste.....	348
Figura 49. Línea de agua	351
Figura 50. Pretratamiento.....	353
Figura 51. Reactor biológico y decantación secundaria	356
Figura 52. Línea de fangos.....	358
Figura 53. Flotación y bombeo de fangos.....	359
Figura 54. Deshidratación de fangos	361
Figura 55. Tratamiento terciario	362
Figura 56. Dosificación de reactivos	364
Figura 57. Decantación compacta	365
Figura 58. Filtración agua tratada	365

CAPÍTULO 1
Antecedentes,
objetivos
e hipótesis a
investigar

CAPITULO 1: ANTECEDENTES, OBJETIVOS E HIPÓTESIS A INVESTIGAR

1.1 Introducción.

A principios del siglo XX, las aguas residuales de la mayoría de las comunidades se vertían directamente al mar, ríos y corrientes mediante alcantarillado unitario. La acumulación de fangos y el desarrollo de olores y condiciones desagradables, surgieron como consecuencia de esta práctica. Para solventar estos problemas se introdujo la evacuación separada de las aguas residuales y de las aguas pluviales, y el tratamiento de las aguas residuales.

En muchos lugares en los que el abastecimiento de agua no es capaz de satisfacer adecuadamente la demanda y hay que buscar recursos alternativos (Godet y Brissaudd 1991). Es obvio que debe cambiar la visión que se tienen del agua ya utilizada, como un residuo a eliminar y adoptar el concepto de que es un recurso que se puede reutilizar para diversos fines, como puede ser el riego o agua para refrigeración industrial.

Los métodos de tratamiento de las aguas residuales empezaron a desarrollarse ante la necesidad de velar por la salud pública y evitar las condiciones adversas provocadas por la descarga del agua residual al medio ambiente.

La necesidad de depurar y reutilizar las aguas residuales (Griñan, 1997) adquiere, cada vez más, un carácter indispensable, máxime cuando el aumento poblacional y el desarrollo de distintas actividades, produce un aumento de los residuos. Esto conduce a la necesidad de controlar los vertidos que por su alto poder contaminante degradan el medio receptor.

La importancia de una correcta depuración de las aguas residuales se pone de manifiesto en la normativa que se recopila a lo largo esta Tesis, en las cuales la depuración se recoge como una obligación social y ecológica.

1.2 Objeto del proyecto:

1.2.1 Académico:

De acuerdo con la legislación y el plan de estudios vigentes, es condición necesaria para la obtención del título de Doctor, haber superado previamente los cursos del Programa de Doctorado así como la Suficiencia Investigadora, la cual se expone ante una Comisión de Doctorado. Una vez superados estos aspectos, se procede a la presentación de la Tesis.

1.2.2 Justificativo:

El objeto de la presente Tesis es efectuar una valoración del estado actual de la Estación Depuradora de la Mancomunidad del Sureste, para estudiar qué posibilidades existen para la reutilización del agua tratada, como agua de riego, así como las remodelaciones que la misma necesitase para ser ajustada a las perspectivas de desarrollo que los municipios comienzan a acusar.

El cálculo y diseño de las variaciones que se han de efectuar, se ejecutaran de acuerdo con la normativa y ordenanzas vigentes, para lo cual se adjuntarán los documentos que sean necesarios para la aprobación, por parte de los organismos a quienes compete dicha aprobación.

Especial mención hacemos al Real Decreto 1620/2007 de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. Éste fue aprobado durante el proceso de elaboración de la presente Tesis, por la misma se ha adaptado a lo prescrito en el mismo.

1.3. Situación y Emplazamiento:

1.3.1. Situación:

La EDAR Sureste se encuentra en el sureste de la Isla de Gran Canaria, en el municipio de Agüimes y trata las aguas residuales de los municipios de Agüimes, Ingenio y Santa Lucía, además de algunos barrios de la zona costera limítrofes con el Barranco de Tirajana correspondientes al Término municipal de San Bartolomé de Tirajana. Dichos barrios son, Aldea Blanca, El Rodeo, Juan Grande, Castillo del Romeral y El Matorral.

1.3.2. Emplazamiento:

La EDAR Sureste se emplaza en la Zona Industrial de Arinaga, calle Cactus, número 70, en el término municipal de Agüimes. La misma linda al Norte con la citada vía y la Zona Franca, al este con el Puerto de Arinaga, al Sur con el Barranco del Polvo y término municipal de Santa Lucía y al oeste con terrenos del Iltre. Ayuntamiento de la Villa de Agüimes.

1.4. Depuración del Agua Residual:

1.4.1 Introducción:

El agua ha sido empleada por el hombre con fines diversos. Actualmente no sólo se usa como un bien de consumo directo, sino que es necesaria para el desarrollo de las actividades de la población, al mismo tiempo que sirve como medio de evacuación de los desechos que ésta genera.

Hoy en día, a finales de este siglo, dar alternativas que permitan restablecer el equilibrio medioambiental es una obligación surgida de la necesidad de conservar aquellos bienes que la naturaleza ofrece, pero no con la misma velocidad con la que los consumimos.

Probablemente no exista un municipio, en la Isla de Gran Canaria, que no sepa qué es sufrir restricciones de agua potable; ni habrán quienes no hayan dejado secar, lo que en otro tiempo fueron terrenos destinados a fines agrícolas, debido a que las lluvias fueron insuficientes para mantener los niveles de agua subterráneas. Con el fin de paliar estas carencias, han sido instaladas varias plantas Potabilizadoras de agua de mar, que garantizan, en gran medida, el suministro de agua potable. Esto supone destinar grandes sumas de dinero, no sólo a la construcción de éstas, sino a su mantenimiento y desarrollo.

Las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales, tratan las aguas usadas (aguas residuales), con procesos adecuados, consiguiéndose una clarificación del efluente que es, potencialmente, una fuente de agua reutilizable.

Los usos que pueden dársele son diversos y dependen del tipo de tratamiento que realice la Depuradora, el cual dependerá a su vez, de las características del agua residual bruta que llegue a la estación de tratamiento.

A efectos de aclarar, a lo largo de esta Tesis, los diferentes conceptos, hemos de tener en cuenta las definiciones descritas en el artículo 2, del Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. Las mismas son:

- a) Reutilización de las aguas: aplicación, antes de su devolución al dominio público hidráulico y al marítimo terrestre para un nuevo uso privativo de las aguas que, habiendo sido utilizadas por quien las derivó, se han sometido al proceso o procesos de depuración establecidos en la correspondiente autorización de vertido y a los necesarios para alcanzar la calidad requerida en función de los usos a que se van a destinar.

- b) Aguas depuradas: aguas residuales que han sido sometidas a un proceso de tratamiento que permita adecuar su calidad a la normativa de vertidos aplicable.
- c) Aguas regeneradas: aguas residuales depuradas que, en su caso, han sido sometidas a un proceso de tratamiento adicional o complementario que permite adecuar su calidad al uso al que se destinan.
- d) Estación regeneradora de aguas: conjunto de instalaciones donde las aguas residuales depuradas se someten a procesos de tratamiento adicional que puedan ser necesarios para adecuar su calidad al uso previsto.

1.4.2. Tipos de Tratamientos:

Los métodos individuales de tratamiento suelen clasificarse en:

- Operaciones físicas unitarias: En las que predominan la acción de las fuerzas físicas.
- Procesos químicos unitarios: La eliminación o conversión de los contaminantes se consigue con la adición de productos químicos o gracias al desarrollo de ciertas reacciones químicas.
- Procesos biológicos unitarios: La eliminación de los contaminantes se lleva a cabo gracias a la actividad biológica.

Históricamente se asocia el término “pretratamiento o primario” a las operaciones físicas unitarias; “secundario” a los procesos químicos o biológicos y “terciario” a las combinaciones de los tres. No obstante, estos términos son arbitrarios y en muchos casos carecen de valor alguno (Ronzano y Dapena, 1995).

Una vez establecidos los objetivos de tratamiento para un proyecto específico, y revisadas las normativas a las que se debe ajustar, el grado de tratamiento necesario puede determinarse comparando las características del agua residual cruda con las exigencias del efluente correspondiente.

Tanto el conocimiento teórico, como la experiencia práctica, son necesarios en la elección de las combinaciones de las operaciones y los procesos unitarios conducentes a alcanzar los objetivos del tratamiento.

Como se dijo anteriormente, los tratamientos que pueden aplicarse al agua residual para depurarla son múltiples, aunque pueden agruparse, a grandes rasgos, en los siguientes:

- Pretratamiento: Elimina los sólidos de mayor tamaño.
 - Cribado de sólidos gruesos y finos
 - Desarenado
 - Dilaceración
- Tratamiento Primario: Reduce la concentración de partículas en suspensión y adecúa para el tratamiento secundario.

- Sedimentación
- Floculación
- Flotación
- Homogenización
- Neutralización

- Tratamiento Secundario: Reduce la concentración de materia orgánica y los sólidos en suspensión en un alto porcentaje.

- Respecto a la eliminación de materia orgánica:

- Balsas de Estabilización
- Lagunas de Aireación
- Filtros Percoladores
- Lodos Activos
- Digestión Aerobia
- Digestión Anaerobia
- Biodiscos
- Microfiltración

- Respecto a la eliminación de sólidos en suspensión:

- Decantación
- Floculación

- Tratamiento Terciario : Permite aumentar la calidad del afluente.

- Floculación
- Filtración
- Adsorción
- Intercambio Iónico
- Destilación
- Ósmosis Inversa
- Electrodiálisis
- Eliminación de nutrientes
- Congelación

- Tratamientos diversos:

- Precipitación
- Oxidación
- Reducción
- Stripping

- Desinfección:

- Cloración
- Ozonización
- Destrucción Química
- Irradiación

1.4.2.1. Descripción de los tratamientos.

Describiremos en los apartados siguientes, brevemente, cada uno de los tratamientos.

1.4.2.1.1. Desbaste.

Es la primera operación que tiene lugar en las plantas de tratamiento y tiene como objeto retener y separar los cuerpos voluminosos flotantes y en suspensión, que arrastra consigo el agua residual.

Con ello se consigue:

- Eludir posteriores depósitos.
- Evitar obstrucciones en canales, tuberías y conducciones en general.
- Interceptar las materias que por sus excesivas dimensiones podrían dificultar el funcionamiento de las unidades posteriores.
- Aumentar la eficiencia de los tratamientos posteriores.

El procedimiento más habitual para realizar esta operación se basa en hacer pasar el agua residual bruta a través de rejillas de barras o de tamices.

1.4.2.1.1.1. Rejas de barras

Puede decirse que, salvo excepciones, la instalación de rejillas es indispensable en cualquier depuradora, con objeto de retirar al máximo los residuos de gran volumen (separados en rejas con separaciones de 15 mm o superiores) consistentes sobretodo en desechos tales como piedras, ramas, trozos de chatarra, papel, plásticos, trapos y parte de materia orgánica.

El destino de los residuos retenidos en las rejillas puede ser:

- Incorporación al sistema público de recogida de basuras.
- Enterramiento.
- Incineración.
- Trituración y posterior reintegración al agua.

Siendo el primer método de eliminación el más comúnmente empleado.

Las rejillas pueden clasificarse, con arreglo a distintos criterios, en:

- Horizontales, Verticales, Inclínadas y Curvas.
- Finas, Medias y Gruesas.
- Fijas o Móviles.
- De Limpieza automática o manual.

Realizaremos una breve descripción de las rejas según esta última clasificación:

1.4.2.1.1.1.a Rejas de limpieza manual

Se suelen emplear en pequeñas estaciones de bombeo de agua residual antes de las bombas y en instalaciones de pretratamiento de plantas de pequeño tamaño.

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

Su longitud no debe exceder de 3m para favorecer una correcta limpieza y las barras que la forman no suelen exceder de los 10mm de anchura por 50mm de profundidad. En la parte superior de la reja debe colocarse una placa perforada para que los objetos extraídos se puedan almacenar para su posterior drenaje.

El canal donde se ubica la reja se debe proyectar de modo que se evite la acumulación en el mismo de arenas y demás materiales pesados, debiendo ser recto y perpendicular a la reja, con objeto de conseguir una distribución uniforme de sólidos.

Es esencial que la velocidad del flujo se limite a aproximadamente 0,45 m/s a caudal medio con objeto de que halla suficiente superficie de reja para la acumulación de residuos en los períodos entre operaciones de limpieza.

1.4.2.1.1.b Rejas de limpieza mecánica

Se dividen en 4 tipos:

- De cadenas (son las más frecuentes).
- De movimiento oscilatorio.
- Catenarias.
- Accionadas mediante cables.

Las rejas de cadenas se pueden dividir en diferentes categorías según que la limpieza se lleve a cabo por la cara anterior o posterior y en función de la cara por la cual el peine rascador se desplaza.

Tabla 1. Tipos de Rejas

Tipos de rejas		Ventajas	Desventajas
Cadenas	Limpieza y retorno frontal.	Más modernas y eficientes en retención de sólidos.	Baja robustez. Alta susceptibilidad de que el peine se encalle por acumulación de sólidos en barra de rejas.
	Limpieza frontal y retorno parte posterior	Se minimiza el potencial de bloqueo del peine.	Necesidad de placa articulada en la parte inferior que se puede bloquear.

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

	Limpieza y retorno en parte posterior	Las barras protegen el rastrillo de posibles daños causados por las basuras.	Poco robusta. Problemas de arrastre de sólidos aguas abajo.
Oscilatorias		Los componentes que necesitan mantenimiento al estar por encima del nivel de agua evitan tener que vaciar el canal para repararlos. Se minimiza el arrastre de sólidos	Limitada capacidad para aguas con alta cantidad de residuos al disponer de un solo rastrillo de limpieza.
Catenarias		El mecanismo de transmisión no tiene ruedas dentadas sumergidas	Se necesita un gran espacio para su instalación.
Cables		El rastrillo es el único elemento mecánico sumergido.	Limitada capacidad de rastrillados. Problemas de mantenimiento por: destensado de cables, enrollamiento en tambores, fallos en mecanismos de frenado.

Por razones de mantenimiento y explotación, es recomendable evitar la colocación de rejas de limpieza manual y disponer de un mínimo de dos unidades de rejas para poder dejar una de ellas fuera de servicio en las labores de mantenimiento. En algunos casos, la reja manual, se instala de forma que pueda tratar los caudales de rebose que se producirían si la reja mecánica queda inutilizada.

1.4.2.1.1.2 Tamices

Se caracterizan por disponer de aberturas libres inferiores a los 15 mm, donde en función del tamaño de la abertura, se retienen diferente proporción de sólidos suspendidos:

Tabla 2. Tipos de tamices

Tamaño de la abertura	% Retención de sólidos
2-6 mm	5-10%
0,75-1,5 mm	10-15%

Los residuos finos separados contienen cantidades apreciables de grasas, espumas y sólidos volátiles.

Los tamices se pueden clasificar en:

1.4.2.1.1.2.a Estáticos

El núcleo fundamental de la unidad es el conjunto de barras o hilos de tamiz con aberturas entre 0,2 y 1,2 mm. La malla filtrante está formada por pequeñas barras de acero inoxidable en forma de cuña orientadas en el sentido del flujo. Deben ser limpiadas una o dos veces al día con agua caliente a Presión, vapor o agente desengrasador.

1.4.2.1.1.2.b Rotatorios

La malla se monta sobre un cilindro giratorio, pudiendo circular el agua residual, bien entrando por un extremo del tambor y saliendo a través de la malla filtrante o entrando por la parte superior del elemento y saliendo por el interior del tambor. Por lo que, los sólidos se recogerían en la superficie interior o exterior del tamiz respectivamente.

1.4.2.1.2. Dilaceración

Son sistemas que trituran los sólidos gruesos sin separarlos del flujo, de esta forma se consiguen partículas de menor tamaño y más uniformes, que se eliminarán en procesos posteriores. Su empleo puede resultar ventajoso en las

estaciones de bombeo para la protección de las bombas frente a problemas de obstrucciones y para evitar tener que manejar y eliminar residuos.

Sin embargo, los expertos no se ponen de acuerdo en la conveniencia de su uso en las plantas de tratamiento ya que los sólidos triturados pueden generar problemas de atascamientos.

Existen diversos tipos pero en todos, la rejilla intercepta los sólidos de mayor tamaño, mientras que los más pequeños circulan por el espacio libre existente entre la rejilla y las cuchillas, entre ellos, se diferencian en el método de trituración y desmenuzamiento de sólidos.

La instalación de los dilaceradores debe contar con un bypass que permita emplear una reja de barras manual en el caso de que el caudal supere la capacidad del dilacerador o ante la eventualidad de un fallo mecánico o eléctrico.

1.4.2.1.3. Desarenadores

Su función es separar las arenas, término que engloba la arena, grava, cenizas y otros materiales pesados con peso específico o velocidad de sedimentación superior a la de los sólidos orgánicos putrescibles; con objeto de:

- Proteger elementos mecánicos móviles de la abrasión y el desgaste.
- Disminuir la formación de depósitos en tuberías y conducciones.

La composición de las arenas es muy variable, con un contenido en humedad del 13-65% y peso específico entre 1,3 y 2,7 dependiendo de la cantidad de materia orgánica adherida a la materia inerte.

Los Desarenadores se suelen colocar después del desbaste y antes de los tanques de sedimentación primaria aunque en algunas instalaciones precede al desbaste.

Existen 4 tipos de desarenadores:

1.4.2.1.3.1. Desarenadores rectangulares de flujo horizontal.

Se proyectan de modo que se mantenga una velocidad aproximada de 0,3 m/seg y proporcione suficiente tiempo como para que sedimenten en el fondo del

canal las partículas de arena. La longitud del canal vendrá dada por la profundidad que requiere la velocidad de sedimentación. El área de la sección transversal por el caudal y el número de canales.

Debe preverse una longitud adicional para tener en cuenta la turbulencia producida en la entrada y salida del canal, por lo que se recomienda un incremento del 50% de la longitud teórica prevista. La extracción de arenas se lleva a cabo mediante un mecanismo de rasquetas o cangilones.

1.4.2.1.3.2 Desarenadores cuadrados de flujo horizontal

El afluente se distribuye en la sección transversal del canal mediante una serie de deflectores, y tras seguir una trayectoria recta rebosa por un vertedero.

Estos desarenadores se proyectan en función de la carga de superficie, que depende del tamaño de partículas y temperatura del agua. Nominalmente están concebidas para eliminar el 95% de partículas. Los sólidos se retiran a un cuenco situado a un lado del tanque mediante un mecanismo de rasquetas.

1.4.2.1.3.3. Desarenadores aireados

La sección transversal del canal es semejante a los tanques de aireación de fangos activados de circulación en espiral, con la excepción de que se incluye un canal de recogida de arenas de unos 0,9 m de profundidad, con paredes laterales muy inclinadas, ubicado a lo largo de un lateral del depósito, bajo los difusores de aire. Los difusores se sitúan entre 0,45 y 0,6 m. por encima de la base normal del tanque.

Si la velocidad de rotación transversal es alta, se arrastrará arena fuera del tanque y si es baja se producirá la sedimentación de una parte de la materia orgánica con la arena.

Con un buen ajuste de la cantidad de aire suministrado se puede alcanzar un porcentaje de eliminación de arenas del 100%.

Para la extracción de arenas se suele disponer de cucharas bivalvas que se desplazan sobre un monorraíl centrado sobre el canal de almacenamiento, aunque también se pueden usar para su recogida transportadores de cadena de cangilones, de tornillo helicoidal, etc...

En zonas en que se vierten agua industriales se puede producir en este tipo de proceso desprendimiento de COVs debido a la agitación por aire que representa un riesgo para la salud.

1.4.2.1.3.4. Desarenadores de vórtice

Son sistemas en las que el flujo de agua provoca la formación de un vórtice. La entrada del agua residual se lleva a cabo en dirección tangencial, sedimentando la arena por gravedad.

Las características de las arenas recogidas en los desarenadores varían ampliamente, pudiendo contener un 50% o más de materia orgánica, por lo que si no se evacuan con rapidez, puede atraer insectos y roedores, produciendo un olor desagradable. Su destino final suele ser el vertedero.

1.4.2.1.4. Desengrasado

Las grasas han creado muchos problemas en la técnica de depuración de aguas residuales, especialmente en los elementos y procesos siguientes:

- En rejillas finas causan obstrucciones que aumentan los gastos de conservación.
- En los decantadores forman una capa superficial que dificulta la sedimentación al atraer hacia la superficie pequeñas partículas de materia orgánica.
- En la depuración por el sistema de fangos activados, dificultan la correcta aireación disminuyendo el coeficiente de transferencia de oxígeno y participando en la producción del fenómeno de "bulking".
- Perturba el proceso de digestión de lodos.

Las cantidades de grasas incorporadas en las aguas residuales son muy variables, pero para aguas urbanas, pueden considerarse unas cifras de 24 gr./hab. día o bien el 28% de los sólidos en suspensión.

El sistema más comúnmente empleado para la eliminación consta de 2 fases:

- La emulsión de las grasas en el desarenador mediante aireación permitiendo su ascenso a la superficie y su posterior retirada.
- Separación en las balsas de decantación, retirando estas por medio de rasquetas superficiales.

El desarenado y desengrasado pueden realizarse de forma separada o conjuntamente. Esta última alternativa presenta las siguientes ventajas:

- Las velocidades de sedimentación de las arenas y de flotación de las partículas de grasas no se modifican prácticamente por hacerlas en el mismo depósito.
- El aire comprimido añadido para la desemeulsión ayuda a impedir la sedimentación de las partículas de fango poco densas, por lo que la arena depositada en el fondo, es más limpia.
- Las partículas de arena, al sedimentar, desaceleran las velocidades ascensionales de las partículas de grasa. Disponen así éstas de más tiempo para ponerse en contacto entre sí durante su recorrido hacia la superficie, aumentando el rendimiento de la flotación de grasas.

El método utilizado para esta operación de ascensión de las partículas sólidas o líquidas de una fase líquida, se denomina Flotación. La separación se consigue introduciendo finas burbujas de gas, normalmente aire, en la fase líquida. Las burbujas se adhieren a las partículas, y la fuerza ascensional que experimenta el conjunto partícula-burbuja de aire hace que suban hasta la superficie del líquido.

De esta forma, es posible hacer ascender a la superficie partículas cuya densidad es menor que la del líquido, además de favorecer la ascensión de las de densidad inferior.

Existen 3 métodos de adicionar aire, que originan los siguientes tipos de Flotación:

1.4.2.1.4.1. Flotación por aire disuelto (DAF)

El aire se disuelve en el agua residual a una presión de varias atmósferas, liberándose hasta alcanzar la presión atmosférica. La presurización se realiza mediante una bomba, pudiéndose realizar a la totalidad del caudal a tratar o a parte del efluente que previamente había sido recirculado del DAF dependiendo de que las instalaciones sean de pequeño o gran tamaño.

1.4.2.1.4.2. Flotación por aireación

Las burbujas de aire se introducen directamente en la fase líquida por medio de difusores o turbinas sumergibles.

1.4.2.1.4.3. Flotación por vacío

Consiste en saturar de aire el agua residual directamente en el tanque de aireación o permitiendo que el aire penetre en el conducto de aspiración de una bomba. Al aplicar un vacío parcial, el aire disuelto abandona la solución en forma de burbujas diminutas, que se adhieren a las partículas para formar una capa de espuma que se elimina mediante un mecanismo de rasquetas. La arena y demás sólidos pesados que se depositan en el fondo, se transportan hacia un cuenco central de fangos para su extracción por bombas.

A veces se añade ciertos aditivos químicos para facilitar el proceso de flotación, empleándose reactivos químicos inorgánicos (sales de hierro o Aluminio, sílice activada) o polímeros orgánicos.

1.4.2.2. Procesos biológicos.

Los procesos biológicos tienen como objetivo la coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables, estabilización de la materia orgánica y en muchos casos, la eliminación de nutrientes como el Nitrógeno y el Fósforo, mediante la acción de una variedad de microorganismos, principalmente bacterias.

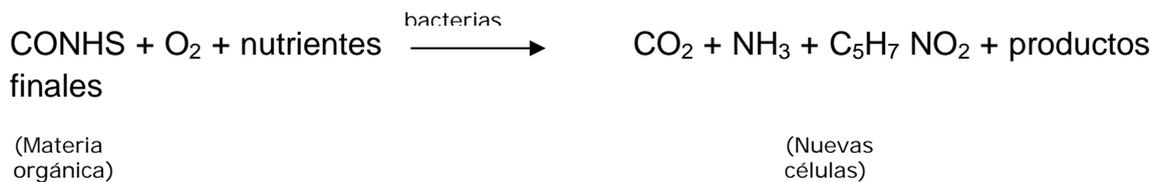
La comprensión de las actividades bioquímicas de los microorganismos es básica, en el proyecto del tratamiento biológico y en la elección del proceso que resulta más adecuado.

Dada su amplia variedad abarcaremos su clasificación en función de la presencia o ausencia de oxígeno en el sistema de tratamiento (aerobio o anaerobio respectivamente) y de que los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica se encuentren en suspensión dentro del líquido (procesos de cultivo en suspensión) o fijada a un medio inerte (procesos de cultivo fijo).

1.4.2.2.1. Procesos de ratamiento aerobio de cultivo en suspensión

1.4.2.2.1.a Proceso de fangos activados

Es el más ampliamente empleado. El residuo orgánico se introduce en su reactor, donde se mantiene un cultivo bacteriano aerobio en suspensión, que convierte la materia orgánica en otros productos y nuevas células bacterianas según las siguientes reacciones:



El ambiente aerobio se consigue mediante el uso de difusores o aireadores mecánicos. Al cabo de un periodo de tiempo, la mezcla se conduce hasta un tanque de sedimentación, del cual se recircula una parte hacia el reactor para mantener la concentración de células deseadas y otra se purga.

Del mismo modo que es importante que las bacterias descompongan el residuo orgánico tan pronto como sea posible, también lo es que formen un flóculo adecuado en cuanto a condiciones de sedimentación.

En el diseño del proceso de fangos activados, es necesario tener en cuenta:

a) Tipo reactor (mezcla completa o flujo pistón)

Los elementos que hay que tener en cuenta en la toma de esta decisión son:

a.1) *Cinética de la reacción:*

Ambos reactores suelen poseer en la práctica parecido tiempo de detención hidráulica.

a.2) *Necesidad de transferencia de Oxígeno:*

Se ha desarrollado tres formas de aireación:

- Aireación graduada: Se adecua el oxígeno suministrado a la demanda de oxígeno
- Aireación con alimentación escalonada: Agua residual entrante y sólidos de retorno se distribuyen a lo largo del reactor.
- Mezcla completa: Aire suministrado se ajusta o excede de la demanda de oxígeno.

a.3) *Naturaleza del agua residual:*

Un reactor Mezcla Completa puede soportar mejor los vertidos puntuales con un alto contenido en materia orgánica y compuestos tóxicos que uno de Flujo Pistón.

a.4) *Condiciones ambientales:*

Influyen sobre todo la Temperatura al modificar la velocidad de las reacciones, el Ph ya que si es bajo se puede inhibir el crecimiento de ciertos organismos y favorecer el de otros (filamentosos) que perturbarían el proceso; y la alcalinidad ya que si es baja también lo será la capacidad de tamponamiento.

a.5) *Costes de Construcción, Mantenimiento y Explotación.*

b) *Criterios de carga:*

Dos de los parámetros de uso más común para el control del proceso son:

- La relación alimento – microorganismo (F/M)
- Tiempo medio de retención celular (O_C)

Los valores típicos de relación F/M que se encuentran en la literatura varían entre 0,05 y 1 (Ronzano y Dapena, 1995). La utilización de O_C comprendidos entre 3 y 15 días, conducen a efluentes estables de mayor calidad y de un fango con buenas características de sedimentabilidad.

c) *Producción de fango:*

Su conocimiento es importante ya que afecta al diseño de las instalaciones y evacuación del fango en exceso.

d) Necesidad y transferencia de O₂:

La necesidad teórica de O₂ se puede determinar a partir de la DBO del agua residual y la cantidad de organismos purgados diariamente, en los casos en que se considere la nitrificación en la demanda total de O₂ hay que contar también con el Oxígeno que se consume en la conversión del Nitrógeno, desde amoniaco hasta nitrato.

El suministro de aire debe ser adecuado para:

- Satisfacer la DBO del agua residual
- Satisfacer la respiración endógena de los microorganismos.
- Proporcionar un mezclado adecuado.
- Mantener una concentración mínima de O₂ disuelto en el tanque de aireación entre 1 y 2 mg/l.

Cuanto más bajo es la relación F/M, la respiración endógena, la nitrificación y los prolongados periodos de aireación, mayor las necesidades de aire a inyectar (Avenidaño et al., 2012, Gerardi 2002).

Para hacer frente a las cargas orgánicas puntas, se recomienda diseñar los equipos de aireación con un factor de seguridad que cubra como mínimo las condiciones de una carga diaria de DBO igual al doble de la carga media. Los equipos de aireación también deben dimensionarse de forma que se asegure una concentración de oxígeno disuelto de 2 mg/l en carga media y 0,5 mg/l en punta.

e) Necesidades de Nutrientes:

Los principales nutrientes para los microorganismos son el Nitrógeno y el Fósforo en cantidades que varían con la edad del tejido celular y con las condiciones ambientales. No obstante, se supone como valores típicos, que se necesita un 12,4% de N₂ y 1/5 parte de este valor en Fósforo.

Otros nutrientes necesarios serían:

- En cantidades sustanciales: Na, K, Ca, PO₄³⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻.
- A nivel de trazas: Fe, Cd, Mn, B, Mo, V, Co, I, Se.

f) Características del efluente:

La materia orgánica del efluente de un proceso de tratamiento biológico está compuesto por:

- Materia orgánica soluble biodegradable.
- Materia orgánica en suspensión.
- Materia orgánica no biodegradable.

Problemas de explotación en procesos de fangos activados:

1. Modificaciones en la sedimentabilidad de los fangos:

Los problemas de sedimentación de fangos se pueden producir a causa de diversos factores, entre los que destacamos:

1.a- *Formas de crecimiento de los microorganismos:*

El crecimiento de éstos pueden realizarse de tres formas diferentes: dispersa, filamentosa o floculenta. Aunque las tres formas cohabitan en el licor mezcla, para conseguir una buena calidad del agua, hay que disminuir las formas dispersas y filamentosas y favorecer las floculadas.

Los microorganismos filamentosos y floculantes se diferencian en:

- Su metabolismo: Los floculantes pueden crear reservas para su crecimiento y los filamentosos no.
- Superficie relativa: Los filamentosos tienen una relación superficie/Volumen más alta que los floculantes, facilitándoles la adsorción de sustrato y Oxígeno pero haciéndoles más sensibles a oxidantes y alcalinizantes.

1.b- *Bulking:*

Estudios estadísticos demuestran que el 40% de las plantas de depuración padecen bulking durante intervalos de tiempo o de forma continuada, siendo la fuga de materia en suspensión la principal causante de la degradación de la calidad del agua y el aumento del índice de fangos. El bulking se debe a la insuficiente velocidad de sedimentación de los flóculos,

siendo los factores que afectan al crecimiento relativo de los microorganismos filamentosos y floculantes:

1.b.1 Carga másica o edad del fango:

No es posible calcular una planta con una carga másica que permita obtener índices de fangos favorables, sobre todo, teniendo en cuenta que las condiciones de carga reales suelen ser distintas de las previstas.

1b.2 Concentración de sustrato:

Dependiendo del tipo de reactor tendremos que si éste es Mezcla Perfecta al estar el sustrato en la misma concentración que la del agua tratada es decir, muy baja, se favorece el crecimiento de los organismos filamentosos. Sin embargo en flujo Pistón, una buena parte del recorrido presenta un crecimiento en floculantes superior al de filamentosas, para después bajar hasta igualarse e incluso hacerse inferior.

1.b.3 Concentración de Oxígeno:

Debido a que la superficie en organismos filamentosos es mayor que en floculantes, éstos aprovechan mejor el Oxígeno disuelto al penetrar fácilmente hacia el interior de las bacterias.

Para una cierta carga másica, corresponden unas necesidades de Oxígeno determinadas, y a éstas una Concentración de Oxígeno límite en el licor que permita su utilización por las bacterias.

1.b.4 Equilibrio Nutricional:

Un desequilibrio en nutrientes favorece el crecimiento de los organismos filamentosos. Dependiendo de la edad del fango, se considera un agua desequilibrada cuando:

La relación $N/DBO < 0,035$ a $0,05$.

La relación $P/DBO < 0,007$ a $0,01$.

Generalmente, un agua residual urbana posee concentraciones de Nitrógeno y Fósforo superiores a los mínimos necesarios. También una deficiencia de Hierro ($Fe > 2\text{mg/l}$) puede producir bulking.

1.b.5 pH

Los pH ligeramente bajos, 6-6,5 pueden favorecer el crecimiento de microorganismos filamentosos y producirse fenómenos de bulking.

1.b.6 Oxidantes

Debido a la gran superficie específica de los microorganismos filamentosos suelen tener una sensibilidad alta a los oxidantes como el Cloro y agua oxigenada, con buenos resultados para luchar contra el bulking. No obstante, su aplicación debe hacerse con precaución, usando dosis suficientes como para eliminar los organismos nocivos, pero sin producir daños a los organismos útiles.

1.b.7 Inhibidores

El Hierro tiene efecto inhibitor sobre varias formas de organismos filamentosos, mientras que el ácido sulfhídrico sobre organismos floculantes.

2. Espumas Nocardias

Son espumas persistentes, viscosas y de color marrón que llegan a cubrir las cubas de aireación pudiendo alcanzar espesores de hasta 1 m y produciendo los siguientes inconvenientes:

- Al estar formadas por materia orgánica, fermentan y producen malos olores.
- El derrame de estas en las proximidades del sistema, suponen un peligro para el personal, al ser resbaladizas.
- Pueden pasar a la Decantación Secundaria, donde sobrenadan, perjudicando la calidad del agua.

Algunos de los factores que influyen en el crecimiento de estos microorganismos de tipo actinomiceto del género Nocardia son:

2.a *Edad del fango.*

Hay que disminuir la edad del fango (hasta 3 días) durante un tiempo de 3 semanas como mínimo, debiendo ir acompañado de una purga de las espumas.

2.b Grasas y aceites.

Un aumento de la concentración de éstas, favorecen la producción de Nocardias.

2.c Selector

Empleando un reactor anóxico, se consigue su disminución, ya que las Nocardias son aerobias estrictas.

2.d Digestión anaerobia.

Las plantas con digestión anaerobia que envían los sobrenadantes del proceso a cabeza de la instalación, no suelen tener problemas de Nocardia o mediante la adición de fangos digeridos al Reactor.

2.e Aireación.

Mediante la reducción al mínimo posible de la aireación se puede conseguir una menor producción de espumas.

2.f Separación física.

La evacuación superficial de las espumas y envío a cabeza, con una fuerte dilución, puede ser una solución si la planta dispone de un buen desengrasador.

Hemos de tener en consideración que un examen visual del fango nos puede ayudar a detectar problemas en el sistema, como son:

- Fangos negros: A veces vienen acompañadas de mal olor, siendo una señal del desarrollo de fermentaciones anaerobias cuyo origen pudo ser: Oxigenación insuficiente, deposición en el fondo debido a agitación insuficiente o presencia de fangos pesados de origen industrial.
- Fangos desfloculados: Son flóculos rotos en forma de partículas pequeñas que sedimentan mal y que dejan un sobrenadante turbio originados por: vertidos de residuos tóxicos o ácidos, condiciones anaeróbicas, aumento de la másica, desequilibrio nutricional, aireación inadecuada.
- Flóculos diseminados: Esta inspección se realiza en los decantadores secundarios, cerca de los vertederos. Son partículas sobrenadantes, casi transparentes, muy ligeras que

suben en los decantadores secundarios debido a que son partes ligeras de fangos nuevos. En este caso debe aumentar la edad del fango y disminuir la purga de fangos en exceso.

- Flóculos de cabeza de alfiler: Son flóculos compactos y muy pequeños de diámetro inferior a 1 mm., se pueden observar en decantadores secundarios con sobrenadante turbio. Su presencia se puede deber a: Edad del fango alta, fangos sobreoxidados, fangos rotos por exceso de aireación.

1.4.2.2.1.b Lagunas aireadas.

Es análogo al de fangos activados de aireación prolongada, excepto en que se usa como reactor un depósito excavado en el terreno. En la actualidad, se utilizan complementadas con instalaciones de sedimentación e incorporando recirculación de sólidos biológicos.

El Oxígeno se suministra mediante difusores o aireadores superficiales quedando los sólidos en suspensión.

1.4.2.2.2. Procesos aerobios de tratamiento de cultivo fijo

1.4.2.2.2.a Filtros percoladores.

El agua residual generalmente decantada para evitar un rápido atascamiento, se derrama sobre un lecho de material: piedra, puzolana o plástico presente en el interior de un depósito generalmente cilíndrico que posee un falso fondo que soporta el material, permitiendo que salga el agua residual y que entre el aire.

A lo largo de la percolación del agua residual a través del lecho, se elimina gran parte de la materia orgánica gracias a la biopelícula que se forma sobre el material, la cual está formada por un apilamiento irregular de células que suelen agrietarse y permitir así realizar los intercambios de oxígenos y sustrato.

Los filtros incluyen un sistema de drenaje inferior para recoger el líquido tratado y los sólidos biológicos separados, que son separados en un tanque de sedimentación. En la práctica, se recicla una parte del líquido recogido en el sistema de drenaje o del efluente del decantador, para diluir la concentración del agua residual que entra en el sistema y mantener así la humedad de la película biológica.

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

Debido a que la migración de sustrato en la biopelícula es de 3 a 5 veces menor que la del oxígeno, se desarrollan 3 capas del exterior al interior:

- Aerobia: Recibe sustrato y por tanto crece
- Aerobia: No recibe sustrato, no crece, pero posee respiración endógena.
- Anaerobia: Sin sustrato ni Oxígeno. Se encuentra en fermentación produciendo burbujas de gas que pueden provocar el desprendimiento de trozos de biopelículas que son arrastrados por el agua. El espacio libre es ocupado rápidamente por nuevas colonias bacterianas.

Este último fenómeno conocido como arrastre, es función de la carga hidráulica y orgánica del filtro, siendo la esencia del mecanismo de autolimpieza que impide el atascamiento de los lechos.

La carga hidráulica origina las velocidades de arrastre, debiendo ser reguladas para asegurar un espesor uniforme de la película biológica, mientras que la carga orgánica influye en la velocidad de metabolismo en la capa biológica.

Las biopelículas gruesas pueden favorecer el atascamiento considerando que el rendimiento máximo se consigue con espesores de 100 micras.

Los microorganismos presentes en el filtro son:

- Bacterias: Tanto aerobias como anaerobias cuya misión es descomponer la materia orgánica. En la capa viscosa en la que prevalecen condiciones adversas para el crecimiento se pueden encontrar bacterias filamentosas y en las zonas más bajas del filtro las nitrificantes.
- Hongos: Contribuyen a la estabilización del agua residual pero sólo a pH bajo, pudiendo obstruir el filtro y limitar la ventilación del mismo si crecen rápidamente.
- Algas: Sólo crecen en las capas superiores a las que pueden llegar la luz solar. Añaden oxígeno al agua residual que se filtra durante el día pero pueden producir obstrucciones del filtro y provocar por tanto malos olores.
- Protozoos: Su función al igual que en fangos activados es controlar la población bacteriana.

Estas poblaciones varían en función de la profundidad del filtro, cambios en la carga orgánica, carga hidráulica, composición del afluente, pH, temperatura, disponibilidad de aire, etc...

Los filtros percoladores se clasifican según las cargas orgánicas o hidráulicas aplicadas en:

- *Filtros de baja carga:* Producen una calidad estable del afluente con independencia de la naturaleza cambiante del afluente. La carga hidráulica constante se mantiene mediante bombas con control de nivel de succión aunque en plantas de baja dimensiones, el escaso caudal nocturno puede hacer necesario recircular parte del efluente para mantener la humedad del medio.
Si la población nitrificante está suficientemente desarrollada y si las condiciones climáticas y características del agua residual son las adecuadas se pueden conseguir un elevado nivel de eliminación de DBO y alta nitrificación.
- *Filtros de media carga:* Como en este tipo de lecho el crecimiento bacteriano no queda limitado, puede darse el riesgo de atascamiento, que se evita manteniendo sobre el lecho una carga hidráulica suficiente para producir la autolimpieza, siendo necesario para asegurar este caudal un proceso de recirculación.
La recirculación ayuda a prevenir el encharcamiento del filtro, reducir los problemas de olores y proliferación de moscas.
Al igual que en baja carga deben estar precedidos por una decantación primaria, salvo en el caso especial del tratamiento de aguas industriales desprovistas de materias en suspensión sedimentables.
- *Filtros de alta carga:* Trabajan a altas cargas hidráulicas y orgánicas por lo que necesitan disponer de mayor profundidad, lo que se consigue mediante el empleo de medios más ligeros, como es el plástico.
- *Filtros de desbaste:* Son filtros diseñados para trabajar con cargas hidráulicas altas. Se usan para la eliminación de una parte de la materia orgánica o como medio de mejora del proceso de nitrificación posterior. Necesitan altas tasas de recirculación, siendo el fenómeno de arrastre de la capa

REUTILIZACION DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

biológica algo continuo. Si se emplea un efluente no sedimentado para la recirculación, los sólidos biológicos presentes en el caudal de recirculación pueden contribuir a la eliminación de materia orgánica como si se tratara de un sistema de cultivo en suspensión.

El proceso ha demostrado tener mayor resistencia frente a las cargas de choque y se utiliza sobre todo, en aguas residuales industriales con concentraciones altas de DBO y buena degradabilidad, como es el sector agroalimentario.

Los factores que hay que tener en cuenta en el proyecto de estos tipos de instalaciones son:

- *Dosificación del caudal:* Los caudales de alimentación del filtro vendrán determinados por la carga orgánica presente con objeto de conseguir así, no sólo un crecimiento continuo y uniforme de la biomasa, sino también el desprendimiento del exceso de ésta.
- *Tipo y características de alimentación del sistema de distribución:* El más usado es el rotatorio, el cual está formado por 2 o más brazos montados sobre un pivote central, que giran en un plano horizontal. Los brazos son huecos y cuentan con una serie de boquillas por las cuales se distribuye el agua residual sobre el medio filtrante. La Velocidad de rotación varía en función de la carga orgánica y el caudal, quedando entre la parte inferior del distribuidor y superficie del medio filtrante, un espacio libre entre 150 y 225 mm. Las características más importantes a tener en cuenta al elegir el tipo de distribuidor son: su robustez, facilidad de limpieza, capacidad de manejar grandes variaciones de caudal manteniendo una adecuada velocidad de giro, resistencia a la corrosión.
- *Características del medio filtrante:* Es conveniente que el medio filtrante tenga la mayor superficie específica posible, para que se pueda formar la mayor cantidad de película biológica. Pero esta característica hay que conjugarla con el índice de huecos, ya que éstos serán los que permitirán el paso del aire y agua. Los materiales de soporte pueden ser

naturales o artificiales, debiendo cuidar la uniformidad del medio poroso, su durabilidad y resistencia. Los materiales más usados son la piedra, cantos rodados, antracita y puzolana, los artificiales pueden ser desde escorias hasta elementos plásticos. Los cuales pueden estar ordenados o desordenados.

- *Configuración del sistema de drenaje inferior:* La recogida del agua residual tratada se efectúa por medio de un dispositivo de drenaje en el fondo del lecho bacteriano. Este sistema contará con una serie de canales de recogida, con la característica fundamental de que no deben existir sedimentaciones, ya que el agua residual lleva los flóculos que sedimentarán en el decantador secundario. Para ello la pendiente será del 1 – 2 % y la sección no irá nunca llena, ya que deberá servir también como canal de aireación. Una recomendación de diseño marca que la zona de salida al falso fondo de agua y aire, sea el 15 – 20 % de la superficie total del lecho.
- *Sistema de Ventilación:* Puede ser natural o forzada. La natural se produce por efecto de la diferencia de temperatura del aire y el agua. Al calentarse o enfriarse el aire en el interior del lecho se produce una variación de densidad que provoca el movimiento de la masa. Cuando la diferencia no es mayor de 2 grados centígrados se para el tiro. Por tanto el lecho estará aireado cuando se produzca una diferencia térmica, entre agua y aire, superior a 2 grados. En algunos tipos, para evitar este paro de oxigenación se recurre a la ventilación forzada.
- *Tanques de sedimentación:* La decantación secundaria tiene por objeto eliminar la mayor cantidad posible de la materia en suspensión que sale en el licor del lecho. Estas materias están constituidas por materias no sedimentables, coloidales, trozos de películas desprendidas. Si se adopta un sistema con recirculación, se podría reciclar una fracción de los sólidos sedimentados y purgar el resto. A pesar de que la recirculación podría colaborar a la inoculación del filtro, los objetivos fundamentales son diluir la concentración del afluente

y hacer que el efluente se ponga de nuevo en contacto con la población biológica para su tratamiento adicional.

1.4.2.2.b. Biodiscos.

Es un reactor biológico rotativo de contacto formado por una serie de discos circulares de poliestireno o cloruro de polivinilo, situados sobre un eje. Los discos parcialmente sumergidos en el agua residual giran lentamente en el seno de éste.

Los microorganismos se encuentran adheridos a la superficie de los discos formando una película que debido a la rotación de los discos se pone en contacto alternativamente con el agua residual y la atmósfera. La rotación también permite eliminar el exceso de sólidos en los discos y mantener en suspensión los sólidos arrastrados.

Con un diseño adecuado pueden tener mejores rendimientos que otros sistemas de películas fija, debido a la menor relación carga orgánica/biomasa, aumentar el tiempo de retención de sólidos en fase biológica, mejor control sobre la formación de cortocircuitos.

Las características del efluente en lo que se refiere a DBO son comparables a la de los fangos activados. En los casos en que se precisa un efluente nitrificado, se pueden utilizar para el tratamiento conjunto de la DBO y amoníaco o para nitrificar por separado el efluente del tratamiento secundario.

El medio soporte del biodisco se puede distribuir en etapas, es decir, subdividir en celdas independientes mediante el uso de deflectores o mediante varios tanques en serie. De esta forma, cada nueva etapa recibe un agua residual con menor contenido en materia orgánica que la etapa anterior. En los sistemas sobrecargados se han observado rendimientos inferiores que producen una menor concentración de oxígeno disuelto y olores por presencia de Ácido Sulfhídrico, e incluso un alto desarrollo de organismos filamentosos.

Los sistemas de biodiscos pueden presentar problemas con:

- Ejes: La rotura de éstos representan la pérdida de una unidad para el proceso y posibles daños a parte del medio pudiéndose atribuir a un incorrecto diseño, fatiga de metales, exceso de biomasa.
- Medio: Roturas por altas temperaturas, presencia de disolventes orgánicos, inadecuado diseños del soporte.
- Cojinetes de apoyo: Debido a la falta de lubricación.
- Olores: Debido a cargas orgánicas altas.

1.4.2.2.3. Procesos de tratamiento anaerobios de cultivos en suspensión.

1.4.2.2.3.a Proceso anaerobio de contacto.

Se ha empleado para la estabilización de efluentes con mayor contenido orgánico en estado soluble. Los residuos que se quieren tratar se mezclan con los sólidos del fango recirculado y se digieren a continuación en un reactor cerrado para evitar la entrada de aire. El contenido del reactor tras la digestión se separa en un clasificador o unidad de flotación, sometándose posteriormente el sobrenadante a un tratamiento posterior y el fango sedimentado recirculándolo para servir de siembra al agua residual entrante.

1.4.2.2.3.b Proceso anaerobio de manto de fango de flujo ascendente.

El agua residual fluye en sentido ascendente a través de un manto de fango constituido por gránulos o partículas biológicas. Los gases producidos, CH_4 y CO_2 , provocan una circulación interior que colabora en la formación y mantenimiento de los gránulos. El gas libre y las partículas a las que se ha adherido el gas, ascienden para liberar el gas y volver a caer hasta la superficie del manto de fango. El líquido con algunos sólidos y gránulos biológicos se llevan a una decantador donde tras extraer los sólidos se reconducen a la superficie del manto de fango.

1.4.2.2.4. Proceso anaerobio de tratamiento de cultivo fijo.

1.4.2.2.4.a Filtro Anaerobio.

Es una columna rellena de un medio sólido donde el agua a tratar fluye en sentido ascendente. Las bacterias anaerobias adheridas al medio degrada la materia orgánica carbonosa, cuando esta tiene una menor concentración y a temperatura ambiente.

1.4.2.2.4.b Proceso de lecho expandido.

El agua residual se bombea a través de un lecho de material adecuado (arena, carbón, etc.) en el que se ha desarrollado un cultivo biológico. El efluente se recircula para diluir el agua entrante y mantener un caudal que asegure la expansión del medio.

1.4.2.2.5. Procesos de tratamiento por lagunaje (estanques de estabilización)

Se pueden clasificar en relación con la presencia de oxígeno en: aerobias, facultativas y anaerobias, pudiendo haber un cultivo en suspensión, fijo o combinada.

Se aplican en unidades independientes o en forma combinada para el tratamiento de residuos orgánicos solubles y efluentes de plantas de tratamiento.

1.4.2.2.5.a Estanques aerobios.

Son grandes depósitos excavados en el terreno, de poca profundidad (15 – 50 cm) que degrada la materia orgánica mediante procesos naturales en el que actúa bacterias y algas en suspensión.

Las algas liberan oxígeno en la fotosíntesis que es utilizado por las bacterias para la degradación de la materia orgánica. Los nutrientes y CO₂ liberado en la degradación a su vez son consumidos por las algas. También existen animales superiores como rotíferos y protozoos que mejoran la calidad del efluente. La eficacia de eliminación de DBO₅ es del 95%, debiendo ser posteriormente eliminado las algas y bacterias. Para optimizar los resultados, es conveniente mezclar el contenido de los estanques mediante el uso de bombas o aireadores.

1.4.2.2.5.b Estanques facultativos.

Son tanques excavados en el terreno que se alimentan con agua procedente de un proceso previo de desbaste o con el efluente de un tratamiento primario.

Se puede apreciar 3 zonas:

- Superficial: Existen bacterias aerobias y algas
- Intermedia: Parcialmente aerobias y anaerobia, con bacterias facultativas.
- Inferior: Anaerobio con bacterias anaerobias.

Los materiales orgánicos sólidos y coloidales se oxidan por acción de las bacterias aerobias y facultativas empleando el Oxígeno generado por las algas. Los sólidos de gran tamaño sedimentan para formar una capa de fango que se descompone anaeróticamente produciendo compuestos orgánicos disueltos y

gases como el CO_2 , H_2S y CH_4 que se oxidan por las bacterias aerobias o se liberan a la atmósfera.

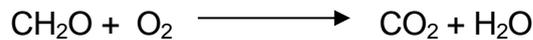
La presencia de Oxígeno en la capa superior del estanque se consigue por las algas o aireadores superficiales que posibilitan aplicar cargas orgánicas más altas si ésta no excede de la cantidad de Oxígeno que puede ser suministrada.

Las algas usan en su actividad fotosintética Carbono procedente del CO_2 o del ion bicarbonato, originando un pH alto.

Fotosíntesis:



Respiración:



Un factor a tener en cuenta es la acumulación de fango ya que su degradación anaerobia producirá gases y ácidos que provocarán un aumento de la demanda de Oxígeno superando así las reservas de éste en el estrato aerobio.

1.4.2.2.5.c Estanques anaerobios

Se usan para el tratamiento de agua residual de alto contenido orgánico con alta concentración de sólidos. Suele ser un estanque profundo excavado en el terreno dotado de un sistema de conducciones de entrada y salida. Los residuos a tratar sedimentan en el fondo donde se degradan anaeróbicamente en CO_2 , CH_4 , Ácidos orgánicos y tejido celular.

Se pueden conseguir rendimientos de eliminación de la DBO_5 superiores al 70%.

Los estanques de Estabilización se pueden conectar en serie sobre todo si es preciso un alto nivel de eliminación de DBO o de Coliformes; o en paralelo, si se desea una mejor distribución de los sólidos sedimentados.

También se ha recurrido a la recirculación del efluente para la mejora de los rendimientos de los sistemas en serie. A veces, es necesario aplicar instalaciones de eliminación de sólidos para reducir la presencia de algas, empleándose para ello los siguientes sistemas:

Tanques de sedimentación, Precipitación química mediante adición de productos químicos con posterior floculación y sedimentación, Flotación, Desbaste de Finos, Usos de filtros, Aplicación al terreno.

1.4.3. Control de nutrientes

El Nitrógeno y el Fósforo son los principales nutrientes aportados en las aguas residuales por lo que su eliminación se hace necesaria cada vez con mayor frecuencia debido al impacto de éstos sobre la calidad de las aguas receptoras.

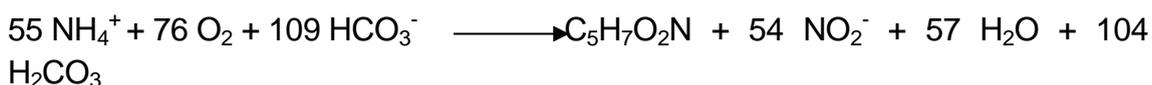
1.4.3.1. Eliminación de Nitrógeno.

En el agua residual, el Nitrógeno puede estar presente en múltiples formas, y son numerosas las transformaciones que pueden sufrir y que permiten convertir el Nitrógeno amoniacal en otros productos fácilmente separables (Gerardi, 2002, Collado et al., 2012). El principal mecanismo de eliminación de Nitrógeno es aquel consistente en la Nitrificación-Desnitrificación, basado en los siguientes procesos:

Nitrificación:

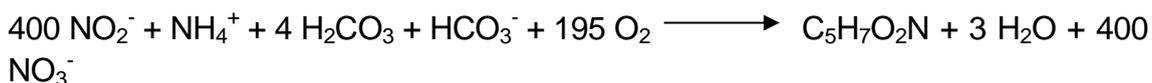
Es el primer paso en la eliminación del Nitrógeno, siendo dos géneros de bacterias los responsables, Nitrosomas y Nitrobacter.

Nitrosomas:



El Amoniaco es oxidado a Nitrito.

Nitrobacter:



El Nitrito se convierte en Nitrato.

Se observa que se necesita unos 4,3 mg de O₂ por cada mg de N₂ amoniacal oxidado a Nitrógeno en forma de Nitrato (Bitton, 1994), además se consume una gran cantidad de alcalinidad, 8,64 mg HCO₃⁻ por cada mg de

Nitrógeno amoniacal oxidado. La transformación del Nitrógeno amoniacal en Nitrato, no supone la eliminación de éste sino eliminar su demanda de Oxígeno.

Hay muchas sustancias que resultan inhibitoras para las bacterias nitrificantes como son, una alta concentración de NH_4^+ y HNO_2 y algunas sustancias orgánicas.

Desnitrificación:

La desnitrificación heterótrofa es un proceso respiratorio microbiano que suministra a los organismos la Energía necesaria para su crecimiento; se produce gracias a los Nitritos y Nitratos que se reducen a Nitrógeno molecular. Este es un gas inerte, que no es utilizable para el crecimiento biológico.

Las reacciones de reducción del Nitrógeno son las siguientes:



La desnitrificación consigue:

- Recuperar una parte de la alcalinidad consumida en la Nitrificación: 3,5 g CaCO_3 /g N- NO_3 reducido.
- Si está controlada se disminuyen los riesgos de desnitrificación incontrolada en la Decantación secundaria.
- Recupera una parte del Oxígeno consumido por la Nitrificación: 2,6 g O_2 / g N- NO_3 reducido.

1.4.3.2. Nitrificación biológica

Se pueden clasificar atendiendo al grado de separación de las funciones de oxidación del Carbono y de la Nitrificación en “Etapa Única” cuando ambos procesos se realiza en un único reactor, o “Etapas Separadas” cuando los procesos se realizan en diferentes reactores.

Ambos tipos de procesos pueden a su vez emplear reactores de película fija o en suspensión.

1.4.3.2. a Proceso en una sola etapa

La nitrificación se puede conseguir en cualquiera de los procesos de fangos activados de cultivo en suspensión, siendo los más empleados el de Flujo

Pistón convencional, Mezcla Completa, y Aireación prolongada. Los dos procesos de película fija que se pueden emplear son los Filtros Percoladores y los Biodiscos.

- **Cultivo en suspensión:**

Generalmente si es posible suministrar la cantidad de aire necesaria, a Temperaturas moderadas en los procesos de fangos activados convencionales, es fácil asegurar el proceso de nitrificación. No obstante, se ha de introducir algunas modificaciones funcionales para la estabilización de la materia orgánica:

- Se debe suministrar una cantidad de Oxígeno adicional para el proceso de nitrificación.
- Las bacterias responsables de la nitrificación son muy diferentes de las bacterias heterótrofas responsables de la degradación de la materia orgánica. Las bacterias nitrificantes al poseer una velocidad de crecimiento menor que la heterótrofa requieren tiempo de retención celular más elevado.
- En aguas residuales de baja alcalinidad se deben tomar las medidas oportunas que permitan la adición de cal o sosa debido a que la conversión microbiana provoca una caída de pH.

Hay que tener en cuenta las siguientes variables, que actúan sobre el proceso de nitrificación:

- *Concentración de Amoníaco-Nitrito:* La concentración de Amoníaco y Nitrito afecta al crecimiento de Nitrosomas y Nitrobacter, siendo el crecimiento de éste último mayor que la de los Nitrosomas. La conversión del Amoníaco en Nitrito se considera la fase limitante del crecimiento.
- *Relación DBO₅/NKT:* La cantidad de organismos nitrificantes presentes en el líquido mezcla estará relacionada con la relación DBO₅/NKT. Cuanto mayor es esta relación menor será la cantidad de estos organismos.
- *Concentración de Oxígeno disuelto:* Se recomienda un valor mínimo de OD de 2 mg/l para evitar los efectos retardadores de las bajas concentraciones de OD sobre la velocidad de nitrificación.
- *Temperatura:* La tasa conjunta de nitrificación decrece al aumentar la Temperatura.

- *pH*: Se ha observado que la tasa máxima de nitrificación se produce entre valores de 7,2 y 9. Además hay que considerar que cada mg/l de N-NH₄⁺ oxidado provoca la destrucción de 7,14 mg/l de alcalinidad expresada como CaCO₃.

- **Película fija:**

Los principales procesos de película fija son los filtros Percoladores y los Biodiscos. El rendimiento de estos procesos viene determinados por la carga orgánica debiéndose mantener dentro de un intervalo predeterminado. Los filtros que emplean medios sintéticos al poseer una mayor superficie de contacto aceptan mayor carga que los medios pétreos.

Empleando Biodiscos, no se conseguirá una nitrificación importante, a no ser que se reduzca la concentración de DBO₅ soluble hasta 15mg/l. La cantidad de amoníaco que se puede oxidar dependerá de la superficie de las unidades por lo que la superficie total de los Biodiscos debe ser la suma de la necesaria para la oxidación de la materia orgánica y de la nitrificación.

1.4.3.2.b Proceso en etapas separadas

Se consigue una mayor flexibilidad y fiabilidad del proceso ya que la oxidación del Carbono y Nitrificación al llevarse a cabo independientemente disminuye los problemas de toxicidad que las bacterias Nitrificantes acusan frente a la materia orgánica biodegradable.

- **Cultivos en suspensión:**

En muchos aspectos es parecido al proceso de fango activado. Si se desean concentraciones de amoníaco muy bajas, es aconsejable emplear reactores de Flujo Pistón o varios reactores de Mezcla Completa en serie.

Los niveles bajos de Carbono en el afluente del proceso de nitrificación pueden romper el equilibrio entre los sólidos separados en la decantación y los producidos en el reactor, por lo que se hace necesario un aumento de la DBO del afluente del reactor de nitrificación.

- **Película fija:**

Se utiliza Filtro Percoladores y Biodiscos. Los filtros percoladores se pueden emplear para la nitrificación a continuación de un sistema de oxidación de Carbono de Cultivo en suspensión o combinado con otro filtro percolador.

1.4.3.3. Nitrificación/desnitrificación biológica

Es el más adecuado debido a:

- Elevado rendimiento de eliminación del Nitrógeno.
- Alta estabilidad y fiabilidad del proceso.
- Facilidad de control del proceso.
- Reducidas necesidades de espacio.
- Coste moderado.

La eliminación del nitrato en forma de nitrógeno se realiza biológicamente bajo condiciones anóxicas interviniendo dos tipos de sistemas enzimáticos que realizan procesos asimilativos y catabólicos:

- *Asimilativos*: El nitrato se convierte en nitrógeno amoniacal para que la célula lo usen en la biosíntesis.
- *Catabólicos*: Se forma nitrógeno gas a partir de nitrato.

En los sistemas de nitrificación/desnitrificación debe haber un contenido de materia orgánica suficiente para proporcionar la energía necesaria para que las bacterias lleven a cabo la conversión del nitrato en nitrógeno. Las necesidades de carbono se pueden cubrir tanto confluente internas (agua residual y materia celular) o externas.

Otro término importante es el oxígeno disuelto ya que a concentraciones de 1 mg/l la velocidad de desnitrificación tiende a ser nula.

Los procesos los clasificaremos atendiendo a si estos se realizan conjuntamente con la oxidación de la materia orgánica o no.

1.4.3.3. a. Sistemas de nitrificación/desnitrificación conjunta (fango único)

Las ventajas que presenta este sistema son:

- Reducción del volumen de aire necesario para conseguir la nitrificación y eliminación de la DBO₅.
- Eliminación de la necesidad de fuentes de Carbono suplementarias para la desnitrificación. Se emplea el Carbono presente en el agua residual y el que queda en los fragmentos de tejido celular bacteriano después de la degradación endógena de los organismos.
- No es necesario el uso de Decantadores intermedios y sistemas de recirculación de fangos.

Destacamos dos tipos de procesos:

- **Proceso Bardenpho en cuatro etapas:**

El agua a tratar entra en una zona de desnitrificación anóxica a la que se le recircula líquido mezcla nitrificado desde un tanque de oxidación de carbono y nitrificación conjuntas, situado después del reactor anóxico. El carbono presente en el agua residual se emplea para desnitrificar el nitrato recirculado. Debido a la alta carga orgánica, la desnitrificación tiene lugar rápidamente. El amoníaco contenido en el agua residual circula a través de la primera zona anóxica sin sufrir modificación alguna para su nitrificación en el primer tanque de aireación. El líquido mezcla nitrificado del primer tanque de aireación pasa a una segunda zona anóxica, en la que tiene lugar una segunda desnitrificación en la que se consume el carbono endógeno. La segunda zona aerobia se emplea para eliminar por stripping el nitrógeno gas antes de pasar al decantador. El amoníaco liberado del fango en la segunda zona anóxica también se nitrifica en la última zona aerobia.

- **Canales de oxidación:**

El líquido mezcla fluye dando vueltas en un canal cerrado, impulsado y aireado por mecanismos de aireación mecánica, estableciéndose una zona aerobia en la parte situada a continuación del aireador, y una zona anóxica en el tramo anterior. El agua residual a tratar se alimenta aguas arriba de la zona anóxica donde se consume parte del carbono. El efluente del reactor se extrae del final de la zona aerobia para su clarificación.

1.4.3.3.b Sistemas de desnitrificación de etapas separadas (fangos separados)

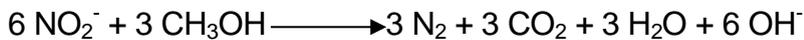
Se realiza la oxidación del Carbono y la nitrificación conjuntamente en un reactor y la desnitrificación en otro, por lo que el fango se genera por separado en cada reactor. Se hace uso de la adición de una fuente de carbono orgánico externa en forma generalmente de Metanol (CH_3OH), el cual debe añadirse sin exceso para que no aparezca en forma de DBO en el efluente.

Si se emplea el metanol como fuente de Carbono la estequiometría del proceso energético sería la siguiente:

Primer paso:



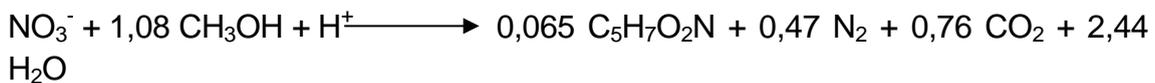
Segundo paso:



Reacción global:



Reacción global de eliminación de Nitratos:



Si todo el nitrógeno se halla presente en forma de nitrato, las necesidades globales de metanol se pueden calcular empleando la ecuación anterior. Sin embargo, el agua residual a desnitrificar que ha seguido un tratamiento biológico puede contener algunos nitritos y oxígeno disuelto por lo que las necesidades de metanol se pueden calcular empleando la siguiente relación empírica:

$$C_m = 2,47 N_o + 1,53 N_1 + 0,87 D_o$$

C_m = Concentración de metanol necesaria, mg/l.

N_o = Concentración inicial de nitrógeno en forma de nitrato, mg/l.

N_1 = Concentración inicial de nitrógeno en forma de nitrito, mg/l.

D_o = Concentración inicial de Oxígeno disuelto, mg/l.

- Cultivo en suspensión

Se parece al sistema de fangos activados empleado para la eliminación del Carbono orgánico utilizando tanto reactores de mezcla perfecta como de flujo en pistón. Es necesario disponer de un elemento para la eliminación del nitrógeno gas entre el reactor y las instalaciones de sedimentación ya que el gas se adhiere a los sólidos biológicos impidiendo una buena sedimentación.

Estos elementos pueden consistir en airear los canales de conexión del reactor biológico con el decantador o en colocar un tanque independiente en el que se procede a la aireación de los sólidos durante un corto periodo de tiempo.

El efluente de la etapa de desnitrificación se puede filtrar, o añadir alúmina antes de proceder a la filtración para conseguir la eliminación del Fósforo y sólidos suspendidos residuales.

Los sólidos suspendidos volátiles del líquido mezcla presentes en los reactores de nitrificación están compuestos por los organismos responsables de la conversión del carbono orgánico y de la nitrificación. Los SSLM en el reactor de nitrificación suelen ser un 50-100% más elevados que los SSVLM, y pueden contener precipitados químicos residuales en los casos en los que se utiliza la precipitación química para la eliminación de Fósforo. En los reactores de desnitrificación, los SSVLM son del orden del 40-70% de los SSLM.

El efecto de la Temperatura sobre el rendimiento del proceso es importante ya que la calidad del efluente empeora a bajas Temperaturas.

- Película Fija

Los más comúnmente empleados son:

- Reactores de lecho fluidizado:

El agua residual a tratar circula ascensionalmente a través de un lecho de material granular fino, como la arena, a una velocidad suficientemente elevada como para suspender o fluidificar el medio. La fluidificación aumenta la superficie específica del medio y permite altas concentraciones de biomasa en el reactor. El reactor requiere un espacio relativamente pequeño y es sencillo de operar.

- Biodiscos:

Para la desnitrificación es parecido al de los procesos aerobios, excepto por el hecho de que el medio se sumerge totalmente para evitar la oxigenación del líquido. Para eliminar el exceso de biomasa desprendida, es necesario proceder a la clarificación después del tratamiento biológico.

1.4.4. Eliminación de Fósforo

El Fósforo es un elemento esencial para la vida biológica, tanto para los organismos inferiores como para las estructuras más complejas. Un examen de diversos estudios manifiesta que la relación P/DBO₅ varía del 3,2 al 6,6% en el caso de aguas residuales con predominio de urbanas.

La mayoría del Fósforo aportado a las aguas residuales urbanas proviene de los desechos humanos y de los detergentes, la agricultura es la causante del 15% restante. El Fósforo aparece como Fosfato en las formas siguientes:

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

- Ortofosfatos solubles (PO_4^{3-}): Fácilmente precipitables, pueden proceder directamente de los vertidos o del resultado de una degradación en el proceso del tratamiento de los polifosfatos orgánicos e inorgánicos.
- Polifosfatos (P_2O_7): Orgánicos o Inorgánicos, pueden degradarse en ortofosfatos o permanecer inertes. A su vez, pueden estar en solución o en suspensión más o menos sedimentable.

Sólo una reducida fracción de los Fosfatos (en su mayoría orgánico) es sedimentable. Esta fracción se estima normalmente entre el 5-15% del total.

Uno de los principales organismos responsables de la eliminación del Fósforo son los Acinetobacter, los cuales en condiciones anaerobias liberan el Fósforo almacenado ante la presencia de ácidos grasos volátiles.

Los microorganismos no sólo utilizan el Fósforo para el mantenimiento celular, síntesis celular y transporte de Energía, sino que también lo almacenan para su posterior uso.

1.4.4.1. Eliminación biológica del Fósforo

1.4.4.1.a Proceso A/O

Es un sistema de cultivo en suspensión de fango único que lleva a cabo conjuntamente la oxidación del Carbono y eliminación de Fósforo del agua residual, combinando secuencialmente etapas aerobias y anaerobias. Si además se quiere que se produzca la nitrificación, es necesario procurar el suficiente tiempo de detención en la fase aerobia. El fango sedimentado se recircula a la entrada del reactor y se mezcla con el agua residual entrante. Bajo condiciones anaerobias, el Fósforo presente en el agua residual y en la masa celular recirculada se libera en forma de fosfatos solubles. El Fósforo se separa de la corriente líquida a través de la purga de fango activado. La concentración de Fósforo en el efluente depende de la relación DBO/Fósforo, si ésta es superior a 10:1 se pueden alcanzar concentraciones de fósforo soluble en el efluente menor o igual a 1 mg/l.

1.4.4.1.b Proceso PhoStrip

Una parte del fango de recirculación del tratamiento biológico se desvía a un tanque anaerobio de eliminación de Fósforo, donde el Fósforo se libera y se extrae junto con los sobrenadantes, y el fango activado de bajo contenido en fósforo se recircula al tanque de aireación. El sobrenadante se trata con cal u otro coagulante en un tanque independiente y se conduce a decantación primaria o a un tanque de floculación/clarificación independiente para separar los sólidos.

1.4.4.1.c Reactor discontinuo secuencial

En este sistema se puede conseguir conjuntamente la oxidación del carbono, reducción del Nitrógeno y eliminación de Fósforo. En este caso necesitaríamos la siguiente configuración de reactores:

- Anaerobio: Se produce la liberación del Fósforo y consumo de la DBO.
- Aerobio: Los microorganismos consumen el Fósforo.
- Anóxico: Se realiza la desnitrificación, siendo necesario disponer de una fuente de Carbono, ya sea externa o por la respiración endógena de la biomasa presente.

La duración total del ciclo puede variar entre 3 y 24 horas.

Eliminación conjunta de Nitrógeno y Fósforo mediante procesos biológicos.

Los procesos más comúnmente empleados son:

1.4.4.2. Proceso A²/O

Es una modificación del proceso A/O que incorpora una zona anóxica para conseguir la desnitrificación. El período de detención en la zona anóxica es de alrededor de 1 hora. La zona anóxica es deficitaria en oxígeno disuelto, pero existe disponibilidad de oxígeno químicamente ligado en forma de nitratos o de nitritos gracias a la recirculación del líquido mezcla nitrificado que se recircula desde la zona aerobia.

1.4.4.3. Proceso Bardenpho (cinco etapas)

Incorpora una quinta etapa (anaerobia) para la eliminación del fósforo. La secuencia de etapas favorece el desarrollo de zonas anaerobias, anóxicas y aerobias para la eliminación del fósforo, el nitrógeno, y el carbono. Para conseguir una desnitrificación más completa, se introduce una segunda etapa anóxica en la que el nitrato generado en la etapa aerobia actúa como aceptor de electrones y la cesión de electrones corre a cargo del carbono orgánico endógeno. La fase aerobia final se emplea para eliminar de la solución por stripping el nitrógeno gas residual y para minimizar la liberación de fósforo en el decantador final. El líquido mezcla de la primera etapa aerobia se recircula a la zona anóxica.

1.4.4.5. Proceso UCT

Parecido al proceso A^2/O , salvo dos excepciones. El fango activado de retorno no se recircula a la zona aerobia sino a la anóxica, mientras que la recirculación interna se realiza desde la etapa anóxica a la anaerobia. Al recircular el fango activado a la etapa anóxica, se elimina la introducción de nitrato en la zona anaerobia, lo cual mejora la liberación del fósforo en la fase anaerobia. El sistema de recirculación interna consigue mejorar la utilización de la materia orgánica en la etapa anaerobia.

1.4.4.5. Proceso VIP

Es similar a los procesos A^2/O y UCT salvo en los sistemas de recirculación empleados. El fango activado recirculado se introduce a la entrada de la zona anóxica junto con el caudal de recirculación nitrificado proveniente de la zona aerobia. El líquido mezcla de la zona anóxica se recircula a la cabeza de la zona anaerobia.

1.4.5. Coagulación – Flocculación.

Existen dos clases generales de dispersiones de partículas sólidas coloidales en los líquidos. Cuando el agua es el disolvente, se las llama

hidrófobas o coloides “enemigos del agua” o hidrófilas o “coloides amantes del agua”.

Un factor importante en la estabilidad de los coloides es la presencia de la carga de superficie. Cuando la superficie del coloide o partícula adquiere carga, algunos iones de carga contraria (contraiones) se adhieren a la superficie y quedan retenidos en ella gracias a las fuerzas electrostáticas y de Van der Waals que resisten la agitación térmica. El potencial en la superficie de la nube iónica se le suele llamar potencial zeta, teóricamente, corresponde al potencial medido en la superficie que encierra la capa fija de iones adherida a la partícula.

Con objeto de provocar la agregación entre partículas, se deben tomar las precauciones necesarias para reducir la carga de las mismas o bien superar el efecto de dicha carga. Esto se puede conseguir mediante diferentes mecanismos:

- La adición de iones que determinen el potencial, los cuales serán absorbidos o reaccionarán con la superficie del coloide para reducir la carga de superficie, o la adición de electrolitos, que produzcan la reducción del espesor de la capa difusa y, por tanto, reduzcan el valor potencial zeta.
- La adición de moléculas orgánicas de cadena larga (polielectrolitos) que producen la eliminación de partículas por medio de la adsorción y la formación de puentes entre ellas.
- La adición de productos químicos que formen iones metálicos hidrolizados.

Los polielectrolitos se dividen en dos categorías:

- Naturales: Incluyen polímeros de origen biológico y los derivados del almidón, de la celulosa y alginatos.
- Sintéticos: Monómeros simples que se polimerizan para formar sustancias de alto peso molecular.

Según el signo de la carga en el momento de introducirlos en agua (negativo, positivo o neutro), se clasifican en polielectrolitos aniónicos, catiónicos y no iónicos respectivamente.

La acción de los polielectrolitos se puede dividir en tres categorías:

- Actúan como coagulantes rebajando la carga de las partículas, puesto que las partículas del agua residual están cargadas negativamente se emplean polielectrolitos catiónicos.

- La formación de puentes entre las partículas. Se usa polímeros aniónicos y no iónicos que se adhieren a un número de puntos de adsorción de la superficie de las partículas, aumentando su tamaño hasta poder ser eliminadas por sedimentación.
- Acción de coagulación-formación de puentes que resulta de emplear polielectrolitos catiónicos de alto peso molecular, además de reducir la carga también formarán puentes entre las partículas.

El proceso de coagulación-floculación, con independencia del reactivo utilizado, discurre generalmente mediante la disociación del coagulante añadido al agua, seguido de la polimerización de éste para dar lugar a entidades polinucleares que son las especies químicas encargadas de formar entidades mayores con los coloides del agua: los “Flóculos”, con densidad sensiblemente superior a la del agua y capaces de sedimentar por su propio peso completando de esta manera el proceso global de coagulación-floculación-decantación.

Se suele reservar el término coagulación para el proceso de desestabilización de los coloides naturales del agua, mientras el de floculación para el de agregación de las entidades coagulante-coloides que posteriormente sedimentarían. A este respecto, cítese la existencia de las sustancias floculantes: en general se trata de polímeros orgánicos cuya misión es la de asociarse a los microfloculos formados durante la coagulación y favorecer, debido a su alto peso molecular, el crecimiento de estos microfloculos para que formen verdaderos flóculos macroscópicos. El modo de acción de los floculantes es puramente físico mediante la generación de “puentes de van der Waals”. Debe hacerse hincapié en que coagulación y floculación son en cierto modo simultáneas, pero que si no se produce la desestabilización del coloide (coagulación) la efectividad del floculante sería mínima.

1.4.6. Desinfección.

La desinfección consiste en la destrucción selectiva de los organismos que causan enfermedades. Los métodos más empleados para llevar a cabo la desinfección son:

- *Agentes químicos:* Los agentes químicos utilizados para la desinfección incluyen el cloro y sus compuestos, bromo, yodo, ozono, fenol, alcoholes, metales pesados, colorantes, jabones, compuestos amoniacales cuaternarios, agua oxigenada, ácido y álcalis diversos.

- *Agentes físicos:* Los desinfectantes físicos que se pueden emplear son la luz y el calor.
- *Medios mecánicos:* Las bacterias se pueden eliminar en diversos procesos de tratamiento como son desarenadores, sedimentación primaria, filtros percoladores, fangos activados, etc.
- *Radiación:* Los principales tipos de radiación son la radiación electromagnética, la acústica y la radiación de partículas.

Al aplicar los medios o agentes de desinfección descritos, se deben tener en cuenta los siguientes factores:

- *El tiempo de contacto:* Se ha podido observar que para una concentración dada de desinfectante, la mortalidad de los patógenos aumenta cuanto mayor sea el tiempo de contacto.
- *Tipo y concentración del agente químico:* Según el tipo de agente químico empleado, y dentro de ciertos límites, se ha podido comprobar que la efectividad de la desinfección está relacionada con la concentración.
- *Temperatura:* El aumento de la temperatura produce un aumento en la velocidad de mortalidad.
- *Número de organismos:* Cuanto mayor sea la concentración de organismos, mayor será el tiempo necesario para alcanzar una mortalidad determinada.
- *Tipo de organismos:* La efectividad de los diferentes desinfectantes está incluida por la naturaleza y condición de los organismos. Por ejemplo, las células bacterianas de crecimiento viable se destruyen fácilmente. En cambio las esporas bacterianas son extremadamente resistentes.
- *Naturaleza del medio líquido:* Por ejemplo, puede haber materia orgánica extraña que reduzca la eficacia de los desinfectantes oxidantes al reaccionar con ellos. La turbidez reducirá la efectividad de los desinfectantes debido a la adsorción y a la protección de las bacterias atrapadas.

Al ser el Cloro el desinfectante más empleado expondremos de manera somera el comportamiento de éste y omitiremos la descripción de los demás desinfectantes.

1.4.6.1. Química del Cloro.

Los compuestos de cloro más comúnmente empleados en las plantas de tratamiento de aguas residuales son el cloro gas (Cl_2), el hipoclorito sódico (NaOCl), el hipoclorito de calcio [$\text{Ca}(\text{OCl})_2$], y el dióxido de cloro (ClO_2).

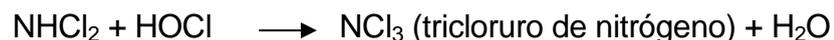
El hecho de que el cloro libre reaccione con el amoníaco y de que sea un fuerte agente oxidante, complica bastante el mantenimiento de una cantidad residual (combinado o libre) para la desinfección de las aguas residuales:

- *Punto A:* Al ir añadiendo cloro, las sustancias que reaccionan con facilidad, como el Fe^{+2} , el Mn^{+2} , el H_2S o la materia orgánica, reaccionan con el cloro y lo reducen en gran parte a ion cloruro.
- *Entre A y B:* El cloro continuará reaccionando con el amoníaco para formar cloraminas:



Para relaciones molares entre cloro y amoníaco inferiores a 1, se formará monocloramina y dicloramina.

- *Entre B y el punto de breakpoint:* Algunas de las cloraminas se transforman en tricloruro de nitrógeno mientras que las restantes cloraminas se oxidarán a óxido de nitrógeno y nitrógeno y el cloro se reducirá a ion cloruro. Si se continúa añadiendo cloro, todas las cloraminas se oxidarán en el breakpoint:



- *Después del breakpoint:* La adición de cloro más allá del breakpoint, producirá un aumento del cloro libre disponible

directamente proporcional al cloro añadido (hipoclorito sin reaccionar).

La razón principal para añadir suficiente cloro como para obtener cloro residual libre radica en que se asegura que se alcanzará la desinfección. Los productos químicos añadidos para lograr la reacción al breakpoint también contribuirán a incrementar la cantidad de sólidos disueltos totales en el agua residual.

1.5. Combinaciones de procesos.

Son muchas las posibles combinaciones que pueden realizarse, por ello es conveniente realizar un estudio del agua residual a depurar y de la calidad del agua que se desea obtener.

Podemos diseñar gráficos que reflejen diferentes posibilidades de tratamiento, por ejemplo el siguiente:

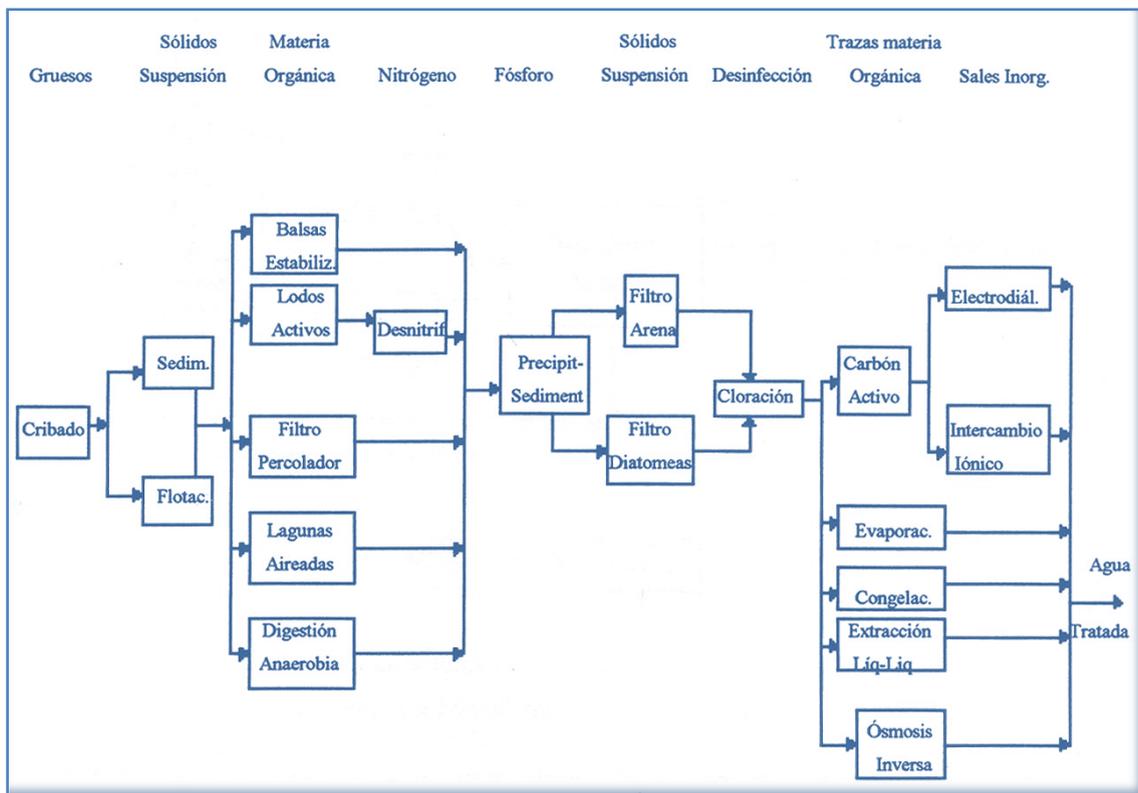


Figura 1. . Ejemplo de Tratamiento del agua residual. Línea de Agua

Las diferentes combinaciones que pueden llevarse a cabo dependerán del agua de entrada a la planta y lo normal es emplear solamente los procesos que garanticen las exigencias del efluente.

Los ejemplos siguientes sirven para explicar el diagrama de algunos sistemas de tratamiento:

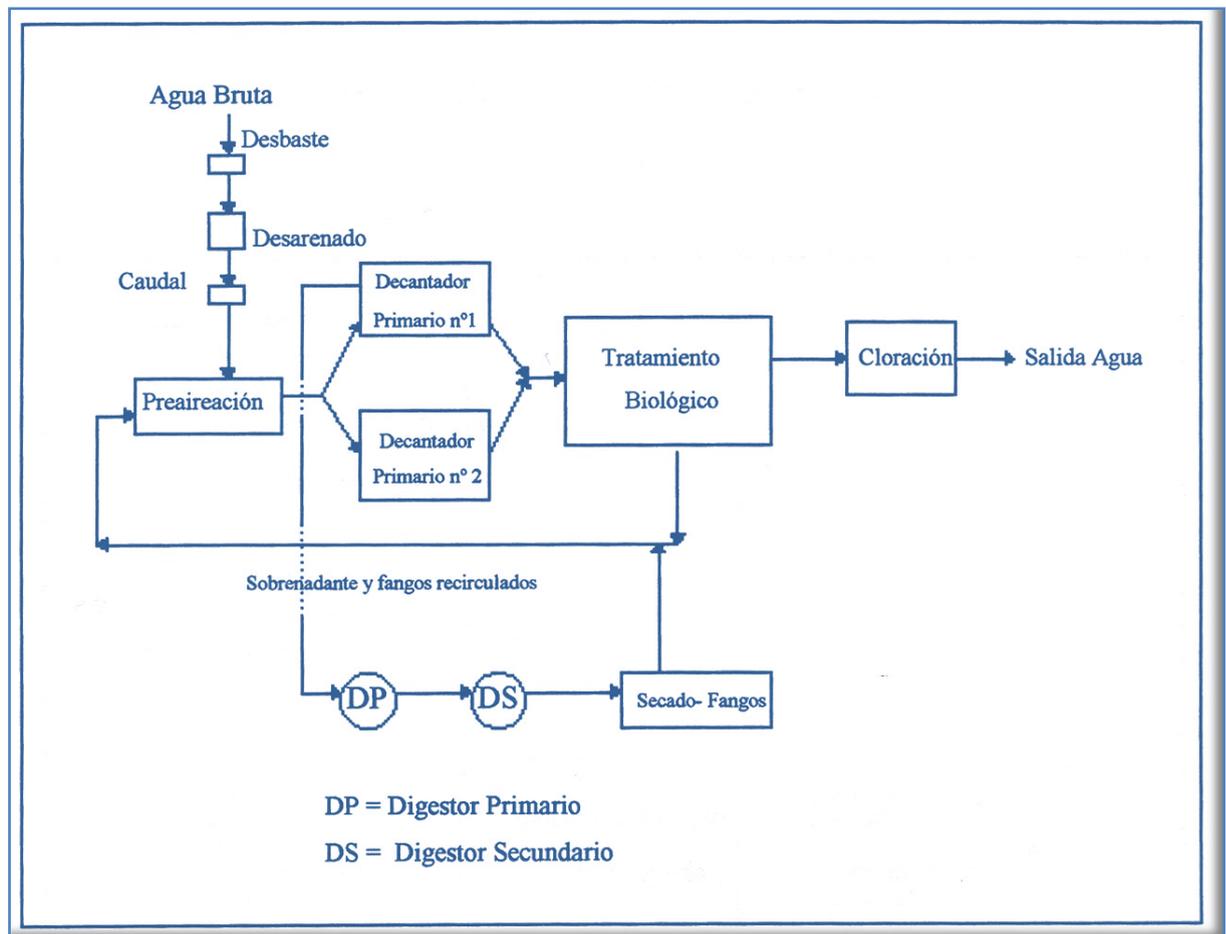


Figura 2. . Ejemplo de instalación típica de Tratamiento Primario

El destino final que puede dársele al agua tratada puede ser el vertido directo al medio receptor, (mar, río, embalses), ó su reutilización.

Éste último es el que se estudia, con mayor interés en esta Tesis y en especial para el proceso de depuración de aguas residuales en la Mancomunidad del Sureste.

REUTILIZACION DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

Esta planta presenta el tratamiento que se describe a continuación en forma gráfica.

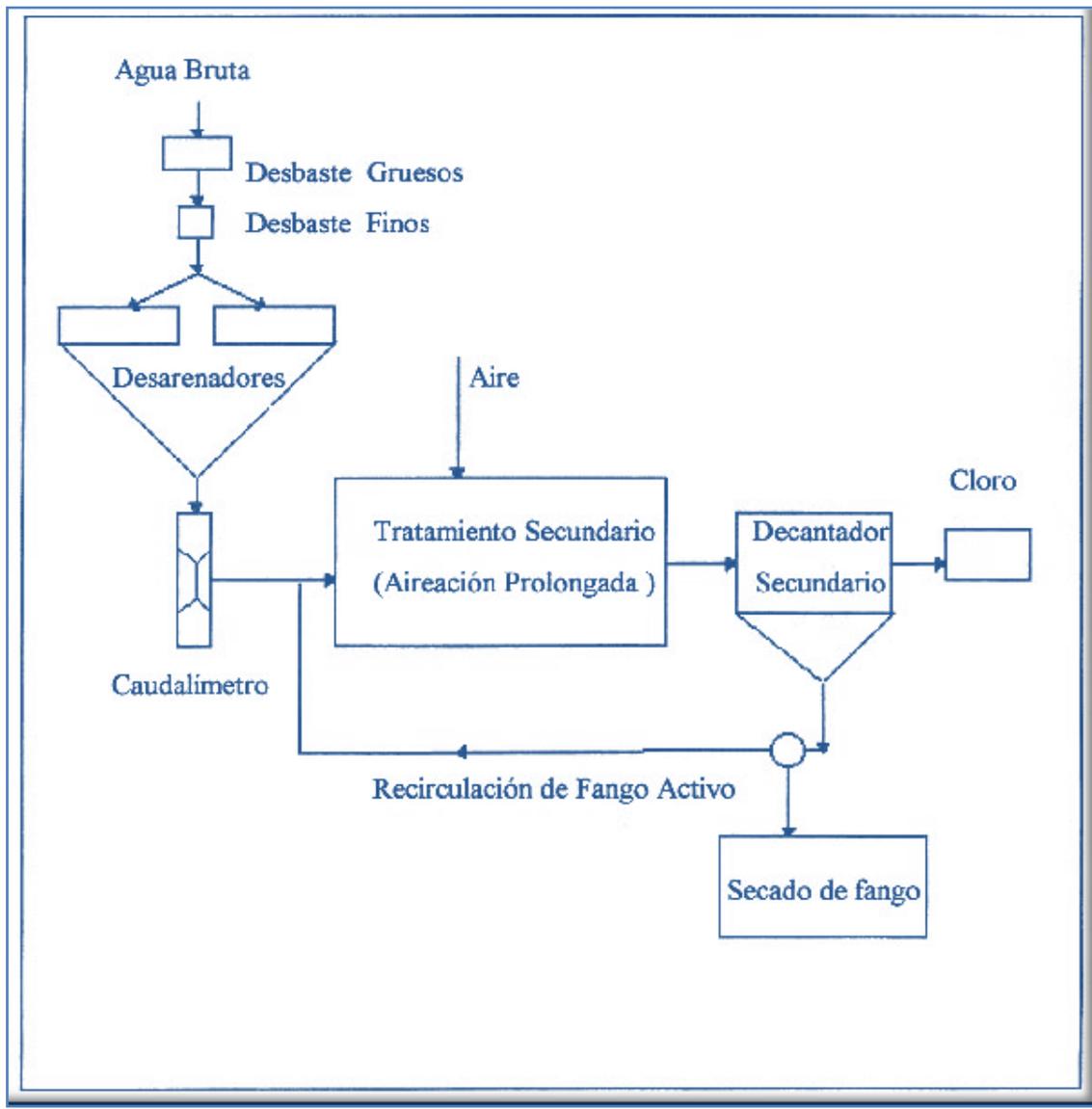


Figura 3. Tratamiento depuradora del Sureste

1.4. Introducción a la reutilización del agua residual depurada.

La tendencia actual, debido a la escasez de agua potable en algunas zonas de nuestras islas, es la de reutilizar el agua obtenida en la depuración de las aguas residuales municipales. Esto reduce la demanda de agua potable, es decir, se sustituye por agua depurada el agua potable que se emplearía, siempre que las condiciones de la primera lo permitan, especialmente si se emplea con fines agrícolas y urbanos.

Algunos de las aplicaciones más comunes son las indicadas a continuación:

Tabla 3. Aplicaciones: Riego

Agrícola	Zonas verdes
Cultivos Forrajeros	Zonas residenciales
Cultivos de Fibra y de Semillas de Siembra	Parques y Jardines
Viveros	Patios de recreo
Cultivos Comestibles	Vías Públicas
	Cementerios

Tabla 4. Aplicaciones: agua urbana no potable

Protección contra incendios
Lavado de vehículos
Aire acondicionado
Cisternas de servicios
Limpieza de calles
Limpieza de contenedores de basura

1.1.3. REALIMENTACIÓN DE LAS CAPAS ACUÍFERAS SUBTERRÁNEAS

Recarga de acuíferos potables
Control de la intrusión de agua salada

1.1.4. OTROS USOS

Embalse recreativos u ornamentales
Aumento de caudales
Recuperación suelos y barrancos
Control de polvo
Construcción

En la tabla 5 se indican los criterios de tratamiento y calidad para la reutilización de las aguas tratadas, establecidos por el estado de California. Se observa que el grado de tratamiento aumenta en función del grado de contacto al que puede estar expuesto el ser humano a las aguas regeneradas.

Tabla 5. Criterios de tratamiento y calidad para la reutilización

Fuente: State of California (1978)

Tipo de Reutilización	Límite de Coliformes Totales	Tratamiento Exigido
- Cultivos forrajeros - Cultivos de fibra y de siembra - Riego superficial de huertos y viñedos	-----	Primario
- Pasto de animales - Embalses ornamentales - Riego de zonas verdes	23 /100 ml	Oxidación y Desinfección
- Riego superficial de cultivos comestibles (b) - Embalse de recreo (no baño)	2,2 / 100 ml	Oxidación y Desinfección
- Riego por aspersión de cultivos comestibles - Riego de zonas verdes - Embalse de recreo (Si baño)	2,2/100 ml	Oxidación, Coagulación, Clarificación, Filtración (c) y Desinfección.

(b) .- Los cultivos destinados a la industria alimentaria pueden tener requisitos distintos.

(c) .- La turbidez del efluente filtrado será inferior a 2 UNT durante un período de 24 horas.

Se observa que el grado de tratamiento aumenta en función del grado de contacto al que puede estar expuesto el ser humano a las aguas regeneradas.

En el año 1971 la Organización Mundial de la Salud organizó una reunión de expertos en el tema de las aguas regeneradas. Se establecieron entonces una serie de criterios que han ido cambiando a lo largo de los

REUTILIZACION DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

anos, hasta que, en el año 1985, en Engelberg (Suiza), se llevó a cabo otra reunión en la que se revisaron las investigaciones acerca de los diferentes aspectos sanitarios, especialmente en la reutilización agrícola y en la piscicultura. Las conclusiones de este congreso se recogen en el llamado informe Engelberg, el cual incluye directrices acerca de la reutilización en irrigación. En el año 1987, la cita fue en Ginebra, y en el año 1989 se publicaron las directrices recopiladas, hasta el momento, por la O.M.S.; reafirmando aquella que había sido recopilada en el informe Engelberg, las cuales se indican en la tabla siguiente:

Tabla 6. Directrices de la calidad microbiológica, en el uso del agua residual tratada en la agricultura.

Categoría	Condiciones para la Reutilización	Grupo Expuesto	Nematodos Intestinales (*)	Coliformes fecales (**)	Tratamiento de las Aguas Residuales
A	Cultivos a consumir en crudo, parques públicos	Trabajadores, Consumidores Públicos	≤ 1	$\leq 1,000$	Estanques de Estabilización o equivalente
B	Cultivo de cereales, industriales, forrajeros, pastos y árboles	Trabajadores	≤ 1	No hay valores recomendados	Retención en Estanques de Estab. Durante 8-10 días o equivalente
C	Riego localizado de los cultivos del tipo categoría B, sin exposición al público o trabajadores	Ninguno	No aplicable	No aplicable	Pretratamiento, no inferior a decantación primaria

(*) para la media aritmética de nº de huevos por litro

(**) para la media geométrica, nº por 100 ml.

En el riego de árboles frutales debe suspenderse las dos semanas antes de su recogida.

Para cada uno de los distintos uso recogidos se exige que el agua presente unas determinadas características físicas - químicas y microbiológicas.

Los factores que afectan a la calidad del agua tratada son:

- La calidad del agua bruta
- El tratamiento de las aguas residuales
- La efectividad del tratamiento
- El sistema de distribución y su funcionamiento

Para asegurar el buen funcionamiento de la depuración, deben tomarse medidas de control que eviten los vertidos industriales, los cuales aportan altas concentraciones de sustancias químicas impidiendo que el proceso de depuración, se lleve a cabo correctamente.

1.7. Criterios de Calidad para la reutilización de las aguas depuradas.

Los criterios para determinar si es posible o no reutilizar un agua regenerada, se estudian en función de:

1. Protección de la Salud Pública, con especial atención a los aspectos microbiológicos.
2. Características Físico - Químicas, las cuales pueden hacer restringir su uso.
3. Efectos en el Riego, debe considerarse como afecta cada uno de los componentes del agua en los cultivo y vegetales así como a los suelos y aguas subterráneas en las que se aplica el agua.
4. Aspecto final del agua, el cual deberá ser clara, transparente e inodora, especialmente si el agua se destina a almacenamiento en estanques, con fines recreativos.

5. Percepción del usuario; Es importante que el agua se perciba segura y apropiada para el uso al que se destina

Para los usos no potables de las aguas residuales regeneradas, se conocen bien los efectos de muchos de los componentes químicos, por lo tanto la calidad del agua, referida a estos parámetros, puede determinarse rápidamente y con facilidad.

Si el destino final del agua depurada es el riego de cultivos, debe estudiarse el contenido de materia orgánica, especialmente si las aguas a tratar son de procedencia industrial.

Los riesgos sanitarios que se asocian a este tipo de aguas regeneradas, en cuanto a los agentes microbiológicos, son más difíciles de evaluar, y varios países han dispuesto de normativa para su utilización.

Uno de los países con mayor tradición en la reutilización de las aguas residuales tratadas es Estados Unidos, en concreto el estado de California que estableció las primeras normativas acerca de la reutilización en el año 1918.

En España la normativa se establecía los condicionantes para el vertido al dominio hidráulico y a partir de ahí se “reutilizaba” el agua. La Ley 11/2005, de 22 de junio, por la que se modifica la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional, contiene una modificación del texto refundido de la Ley de Aguas, aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, en la que se ha dado nueva redacción del artículo 109.1 «el Gobierno establecerá las condiciones básicas para la reutilización de las aguas, precisando la calidad exigible a las aguas depuradas según los usos previstos. El titular de la concesión o autorización deberá sufragar los costes necesarios para adecuar la reutilización de las aguas a las exigencias de calidad vigentes en cada momento».

La normativa específica para la reutilización queda recogida en el **REAL DECRETO 1620/2007, de 7 de diciembre**, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. En la misma se define el concepto de reutilización y se introduce la denominación de **aguas regeneradas**, más acorde con las posibilidades de reutilización que la norma establece y ampliamente admitida en la doctrina técnica y jurídica. Asimismo se establecen las disposiciones relativas a los usos admitidos y exigencias de calidad precisas en cada caso. El anexo I del citado Real Decreto, recoge los criterios mínimos obligatorios exigibles de calidad para la utilización de las aguas regeneradas según los usos.

Con el objeto de utilizar los términos definidos en esta normativa, indicamos al menos las definiciones que utilizamos en esta Tesis y que se indican en el artículo 2 del citado Real Decreto:

a) Reutilización de las aguas: aplicación, antes de su devolución al dominio público hidráulico y al marítimo terrestre para un nuevo uso privativo de las aguas que, habiendo sido utilizadas por quien las derivó, se han sometido al proceso o procesos de depuración establecidos en la correspondiente autorización de vertido y a los necesarios para alcanzar la calidad requerida en función de los usos a que se van a destinar.

b) Aguas depuradas: aguas residuales que han sido sometidas a un proceso de tratamiento que permita adecuar su calidad a la normativa de vertidos aplicable.

c) Aguas regeneradas: aguas residuales depuradas que, en su caso, han sido sometidas a un proceso de tratamiento adicional o complementario que permite adecuar su calidad al uso al que se destinan.

REUTILIZACIÓN DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

d) Estación regeneradora de aguas: conjunto de instalaciones donde las aguas residuales depuradas se someten a procesos de tratamiento adicional que puedan ser necesarios para adecuar su calidad al uso previsto”

Asimismo en el anexo I.A se indican los criterios para la reutilización de las aguas en función de los usos, tal y como se indican en las siguientes tablas.

Tabla 7. Valores Máximo admisibles (VMA) reutilización. Usos urbanos.

ANEXO I.A: CRITERIOS DE CALIDAD PARA LA REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS SEGÚN SUS USOS					
CALIDAD REQUERIDA					
USO DEL AGUA PREVISTO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)				
	NEMATODOS INTESTINALES ¹	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS
1.- USOS URBANOS					
CALIDAD 1.1: RESIDENCIAL ² a) Riego de jardines privados. ³ b) Descarga de aparatos sanitarios. ³	1 huevo/10 L	0 (UFC ⁴ /100 mL)	10 mg/L	2 UNT ⁵	OTROS CONTAMINANTES ⁶ contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas ⁷ deberá asegurarse el respeto de las NCAs. ⁸ Legionella spp. 100 UFC/L (si existe riesgo de aerosolización)
CALIDAD 1.2: SERVICIOS a) Riego de zonas verdes urbanas (parques, campos deportivos y similares). ⁹ b) Baldeo de calles. ⁹ c) Sistemas contra incendios. ⁹ d) Lavado industrial de vehículos. ⁹	1 huevo/10 L	200 UFC/100 mL	20 mg/L	10 UNT	

¹ Considerar en todos los grupos de calidad al menos los géneros: *Angylostoma*, *Trichouris* y *Aecactis*.
² Deben someterse a controles que aseguren el correcto mantenimiento de las instalaciones.
³ Su autorización estará condicionada a la obligatoriedad de la presencia doble circuito señalizado en todos sus tramos hasta el punto de uso.
⁴ Unidades Formadoras de Colonias.
⁵ Unidades Nefelométricas de Turbiedad.
⁶ ver el Anexo II del RD 849/1986, de 11 de abril.
⁷ ver Anexo IV del RD 907/2007, de 6 de julio.
⁸ Norma de calidad ambiental ver el artículo 245.5.a del RD 849/1986, de 11 de abril, modificado por el RD 606/2003 de 23 de mayo.
⁹ Cuando exista un uso con posibilidad de aerosolización del agua, es imprescindible seguir las condiciones de uso que señale, para cada caso, la autoridad sanitaria, sin las cuales, esos usos no serán autorizados.

REUTILIZACIÓN DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

Tabla 8. Valores Máximo admisibles (VMA) reutilización. Usos agrícolas.

USO DEL AGUA PREVISTO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)				
	NEMATODOS INTESTINALES	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS
2.- USOS AGRÍCOLAS¹					
CALIDAD 2.1² a) Riego de cultivos con sistema de aplicación del agua que permita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles para alimentación humana en fresco.	1 huevo/10 L	100 UFC/100 mL Teniendo en cuenta un plan de muestreo a 3 días ³ con los siguientes valores: n = 10 m = 100 UFC/100 mL M = 1.000 UFC/100 mL c = 3	20 mg/L	10 UNT	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido de aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. <i>Legionella</i> spp. 1.000 UFC/L (si existe riesgo de aerosolización) Es obligatorio llevar a cabo la detección de patógenos Presencia/Ausencia (<i>Salmonella</i> , etc.) cuando se repita habitualmente que c=3 para M=1.000
<p>¹ Características del agua regenerada que requieren información adicional: Conductividad: 3,0 dS/m ; Relación de Adsorción de Sodio (RAS): 6 meq/L; Boro: 0,5 mg/L; Arsénico: 0,1 mg/L; Berilio: 0,1 mg/L; Cadmio: 0,01 mg/L; Cobalto: 0,05 mg/L; Cromo: 0,1 mg/L; Cobre: 0,2 mg/L; Manganeso: 0,2 mg/L; Molibdeno: 0,01 mg/L; Niquel: 0,2 mg/L; Selenio : 0,02 mg/L; Vanadio: 0,1 mg/L... Para el cálculo de RAS se utilizará la fórmula:</p> $RAS (meq / L) = \frac{[Na]}{\sqrt{\frac{[Ca] + [Mg]}{2}}}$ <p>² Cuando exista un uso con posibilidad de aerosolización del agua, es imprescindible seguir las condiciones de uso que señale, para cada caso, la autoridad sanitaria, sin las cuales, esos usos no serán autorizados</p> <p>³ Siendo n: nº de unidades de la muestra; m: valor límite admisible para el recuento de bacterias; M: valor máximo permitido para el recuento de bacterias; c: número máximo de unidades de muestra cuyo número de bacterias se sitúa entre m y M.</p>					
USO DEL AGUA PREVISTO	NEMATODOS INTESTINALES	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS
CALIDAD 2.2 a) Riego de productos para consumo humano con sistema de aplicación de agua que no evita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles, pero el consumo no es en fresco sino con un tratamiento industrial posterior. b) Riego de pastos para consumo de animales productores de leche o carne. c) Acuicultura.	1 huevo/10 L	1.000 UFC/100 mL Teniendo en cuenta un plan de muestreo a 3 días ³ con los siguientes valores: n = 10 m = 1.000 UFC/100 mL M = 10.000 UFC/100 mL c = 3	35 mg/L	No se fija límite	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. <i>Taenia saginata</i> y <i>Taenia solium</i> : 1 huevo/L (si se riegan pastos para consumo de animales productores de carne) Es obligatorio llevar a cabo detección de patógenos Presencia/Ausencia (<i>Salmonella</i> , etc.) cuando se repita habitualmente que c=3 para M=10.000
CALIDAD 2.3 a) Riego localizado de cultivos leñosos que impida el contacto del agua regenerada con los frutos consumidos en la alimentación humana. b) Riego de cultivos de flores ornamentales, viveros, invernaderos sin contacto directo del agua regenerada con las producciones. c) Riego de cultivos industriales no alimentarios, viveros, forrajes ensilados, cereales y semillas oleaginosas.	1 huevo/10 L	10.000 UFC/100 mL	35 mg/L	No se fija límite	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. <i>Legionella</i> spp. 100 UFC/L
<p>¹ Siendo n: nº de unidades de la muestra; m: valor límite admisible para el recuento de bacterias; M: valor máximo permitido para el recuento de bacterias; c: número máximo de unidades de muestra cuyo número de bacterias se sitúa entre m y M.</p>					

REUTILIZACION DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA Tabla 9. Valores Máximo admisibles (VMA) reutilización. Usos industriales.

USO DEL AGUA PREVISTO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)				
	NEMATODOS INTESTINALES	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS
3.- USOS INDUSTRIALES					
CALIDAD 3.1 ¹					
a) Aguas de proceso y limpieza excepto en la industria alimentaria. b) Otros usos industriales.	No se fija límite	10.000 UFC/100 mL	35 mg/L	15 UNT	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs Legionella spp.: 100 UFC/L
c) Aguas de proceso y limpieza para uso en la industria alimentaria	1 huevo/10 L	1.000 UFC/100 mL Teniendo en cuenta un plan de muestreo a 3 clases ² con los siguientes valores: n = 10 m = 1.000 UFC/100 mL M = 10.000 UFC/100 mL c = 3	35 mg/L	No se fija límite	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. Legionella spp.: 100 UFC/L Es obligatorio llevar a cabo detección de patógenos Presencia/Ausencia (Salmonella, etc.) cuando se repita habitualmente que c=3 para M=10.000
CALIDAD 3.2					
a) Torres de refrigeración y condensadores evaporativos.	1 huevo/10 L	Ausencia UFC/100 mL	5 mg/L	1 UNT	Legionella spp: Ausencia UFC/L Para su autorización se requerirá: - La aprobación, por la autoridad sanitaria, del Programa específico de control de las instalaciones contemplado en el Real Decreto 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis. - Uso exclusivamente industrial y en localizaciones que no estén ubicadas en zonas urbanas ni cerca de lugares con actividad pública o comercial.
<p>¹ Cuando exista un uso con posibilidad de aerosolización del agua, es imprescindible seguir las condiciones de uso que señale, para cada caso, la autoridad sanitaria, sin las cuales, esos usos no serán autorizados</p> <p>² Siendo n: nº de unidades de la muestra; m: valor límite admisible para el recuento de bacterias; M: valor máximo permitido para el recuento de bacterias; c: número máximo de unidades de muestra cuyo número de bacterias se sitúa entre m y M.</p>					

Tabla 10. Máximo admisibles (VMA) reutilización. Usos recreativos.

USO DEL AGUA PREVISTO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)				
	NEMATODOS INTESTINALES	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS
4.- USOS RECREATIVOS					
CALIDAD 4.1 ¹					
a) Riego de campos de golf.	1 huevo/10 L	200 UFC/100 mL	20 mg/L	10 UNT	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. Si el riego se aplica directamente a la zona del suelo (goteo, microaspersión) se fijan los criterios del grupo de Calidad 2.3 Legionella spp. 100 UFC/L (si existe riesgo de aerosolización)
CALIDAD 4.2					
a) Estanques, masas de agua y caudales circulantes ornamentales, en los que está impedido el acceso del público al agua.	No se fija límite	10.000 UFC/100 mL	35 mg/L	No se fija límite	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. P _T : 2 mg PL (en agua estancada)
<p>¹ Cuando exista un uso con posibilidad de aerosolización del agua, es imprescindible seguir las condiciones de uso que señale, para cada caso, la autoridad sanitaria, sin las cuales, esos usos no serán autorizados</p>					

REUTILIZACIÓN DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

Tabla 11. Muestreo y análisis en reutilización de aguas

ANEXO I.B: FRECUENCIA MÍNIMA DE MUESTREO Y ANÁLISIS DE CADA PARÁMETRO								
El control deberá realizarse a la salida de la planta de regeneración, y en todos los puntos de entrega al usuario.								
La frecuencia de análisis se modificará en los siguientes supuestos:								
i. Tras 1 año de control se podrá presentar una solicitud motivada para reducir la frecuencia de análisis hasta un 50%, para aquellos parámetros que no sea probable su presencia en las aguas. ii. Si el número de muestras con concentración inferior al VMA del Anexo I.A es inferior al 90% de las muestras durante controles de un trimestre (o fracción, en caso de periodos de explotación inferiores), se duplicará la frecuencia de muestreo para el periodo siguiente. iii. Si el resultado de un control supera al menos en uno de los parámetros los rangos de desviación máxima establecidos en el Anexo I.C, la frecuencia de control del parámetro que supere los rangos de desviación se duplicará durante el resto de este período y el siguiente.								
Las frecuencias mínimas de análisis se especifican en la tabla siguiente:								
USO	CAUDAL	NEMATODOS INTESTINALES	ESCHERICHIA COLI	SS	TURBIDEZ	Nt y Pt	OTROS CONTAMINANTES	OTROS CRITERIOS
1.- USO URBANO	1.1 y 1.2	Quincenal	2 veces semana	Semanal	2 veces semana	---	El Organismo de cuenca valorará la frecuencia de análisis sobre la base de la autorización de vertido y del tratamiento de regeneración.	Mensual
2.- USO AGRARIO	2.1	Quincenal	Semanal	Semanal	Semanal	---		Mensual
	2.2	Quincenal	Semanal	Semanal	---	---		Quincenal
	2.3	Quincenal	Semanal	Semanal	---	---		---
3.- USO INDUSTRIAL	3.1	---	Semanal	Semanal	Semanal	---		Mensual
	3.2	Semanal	3 veces semana	Diaria	Diaria	---		Legionella spp. 3 veces semana
4.- USO RECREATIVO	4.1	Quincenal	2 veces semana	Semanal	2 veces semana	---		---
	4.2	---	Semanal	Semanal	---	Mensual		---
5.- USO AMBIENTAL	5.1	---	2 veces semana	Semanal	---	Semanal		---
	5.2	Semanal	3 veces semana	Diaria	Diaria	Semanal		Semanal
	5.3	---	---	Semanal	---	---		---
	5.4							Frecuencia igual al uso más similar

REUTILIZACION DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

Tabla 12. Evaluación de la calidad de las aguas regeneradas.

ANEXO I.C: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS REGENERADAS	
La calidad de las aguas regeneradas se valorará mediante el análisis de muestras tomadas sistemáticamente en todos los puntos de entrega de las mismas y con las frecuencias mínimas previstas en el Anexo I.B.	
CRITERIOS DE CONFORMIDAD	
La calidad de las aguas regeneradas se considerará adecuada a las exigencias de este real decreto si en los controles analíticos de un trimestre, o fracción cuando el periodo de explotación sea inferior, cumpla simultáneamente:	
<ol style="list-style-type: none">El 90% de las muestras tendrá resultados inferiores a los VMA en todos los parámetros especificados en el Anexo I.A.,Las muestras que superen el VMA del Anexo I.A no sobrepasen los límites de desviación máxima establecidos a continuaciónPara las sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las Normas de Calidad Ambiental en el punto de entrega de las aguas regeneradas según la legislación propia de aplicación	
PARÁMETRO	LIMITE DE DESVIACIÓN MÁXIMA*
Nematodos intestinales	100% del VMA
<i>Escherichia coli</i>	1 unidad logarítmica
<i>Legionella spp</i>	1 unidad logarítmica
<i>Taenia saginata</i>	100% del VMA
<i>Taenia solium</i>	100% del VMA
Sólidos en suspensión	50% del VMA
Turbidez	100% del VMA
Nitratos	50% del VMA
Nitrógeno Total	50% del VMA
Fósforo Total	50% del VMA
*Se entiende por desviación máxima la diferencia entre el valor medido y el VMA	
MEDIDAS DE GESTIÓN FRENTE A INCUMPLIMIENTOS	
<ol style="list-style-type: none">Se procederá a la suspensión del suministro de agua regenerada en los casos en los que no se cumplan los criterios de conformidad i e iii anteriores.Si en un control se superan en un parámetro los límites de desviación máxima de la tabla anterior, se procederá a realizar un segundo control a las 24 horas. En el caso de persistir esta situación se procederá a la suspensión del suministro.El suministro se reanudará cuando se hayan tomado las medidas oportunas en lo relativo al tratamiento para que la incidencia no vuelva a ocurrir, y se haya constatado que el agua regenerada cumpla los VMA del Anexo I.A durante cuatro controles efectuados en días sucesivos.En los casos de incumplimiento descritos en los apartados 1º, 2º y 3º será de aplicación la modificación de frecuencias de control prevista en el Anexo I.B.	

REUTILIZACION DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

Tabla 13. Métodos o técnicas analíticas para las aguas regeneradas.

ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS

Los métodos o técnicas analíticas de referencia que se proponen en este Anexo se tomarán como referencia o guía. Se podrán alternativos siempre que estén validados y den resultados comparables a los obtenidos por el de referencia. Para el caso del análisis deberán cumplir los valores de incertidumbre y límite de cuantificación especificados en la tabla correspondiente. Los análisis deberán ser realizados en laboratorios de ensayo que dispongan de un sistema de control de calidad según la Norma 17025.

MICROBIOLÓGICOS

PARÁMETRO	MÉTODOS O TÉCNICAS ANALÍTICAS DE REFERENCIA
Nematodos intestinales	Método Bailinger modificado por Bouhoum & Schwartzbrod. "Analysis of wastewater for use in agriculture" Ayres & Mara O.M.S. (1996)
<i>Escherichia coli</i>	Recuento de Bacterias <i>Escherichia Coli</i> β- Glucuronidasa positiva
<i>Legionella spp</i>	Norma ISO 11731 parte 1: 1998 Calidad del Agua. Detección y enumeración de <i>Legionella</i> .-
<i>Taenia saginata</i>	-----
<i>Taenia solium</i>	-----

CONTAMINANTES

PARÁMETRO	TÉCNICA DE REFERENCIA	U ¹	LC ²
Sólidos en suspensión	Gravimetría con filtro de fibra de vidrio	30%	5 mg/L
Turbidez	Nefelometría	30%	0,5 UNT
Nitratos	Espectroscopía de absorción molecular Cromatografía iónica	30%	10 mg NO ₃ /L
Nitrógeno Total	Suma de Nitrógeno Kjeldahl, nitratos y nitritos Autoanalizador	30%	3 mg N/L
Fósforo Total	Espectroscopía de absorción molecular Espectrofotometría de plasma	30%	0,5 mg P/L
Sustancias Peligrosas	Cromatografía Espectroscopía	Metales: 30% Orgánicos: 50%	30% de NCA

¹ Incertidumbre máxima expandida con un factor de cobertura de 2.

² Límite de cuantificación, es decir, concentración mínima de interés que puede determinarse con el nivel de incertidumbre requerido en la tabla.

CAPÍTULO 2
Agua de riego:
Efectos sobre los
cultivos y el suelo

CAPITULO 2: AGUA DE RIEGO. EFECTOS SOBRE LOS CULTIVOS Y EL SUELO

2.1 Agua de riego y efecto sobre los cultivos y los suelos.

Antes de reutilizar el agua depurada, especialmente en el caso de que ésta se destine al riego, debe tenerse conocimiento de cuales son aquellos factores que influyen en que un agua sea más o menos buena para el fin al previsto, además de cumplir con la legislación vigente y en especial el en el REAL DECRETO 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.

La experiencia en el uso de aguas de diferentes calidades, se ha almacenado a través de las observaciones y estudios de los distintos problemas que se plantean durante el uso de ésta. De estas observaciones surgen las diferentes medidas de calidad de agua, las cuales se han agrupado de diferentes formas para preparar patrones a seguir en situaciones similares, aumentando la capacidad de pronosticar las respuestas de los distintos cultivos en determinadas circunstancias.

Estos problemas son, principalmente la salinidad, la infiltración en el suelo y la presencia de productos tóxicos para la planta.

2.2 Problemas debidos a la Salinidad.

Los problemas de salinidad surgen cuando las sales se acumulan en las zonas radicales de las plantas, a concentraciones elevadas. Estas sales son transportadas, normalmente por las aguas de riego y se acumulan en los suelos.

Para comprender por qué es tan perjudicial una salinidad elevada, debe conocerse el proceso por el cual la planta absorbe el agua que necesita para el desarrollo y la síntesis de nuevos órganos.

Proceso de absorción del agua por las plantas:

El agua del suelo puede clasificarse según muestra la figura 4

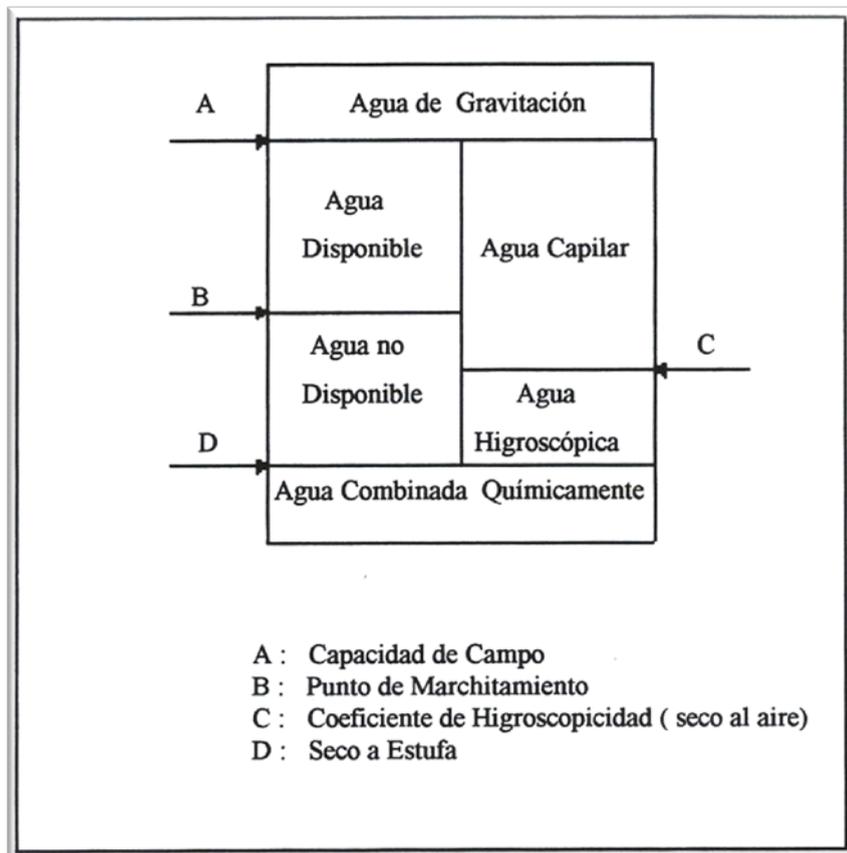


Figura 4. Formas del agua en el suelo

- Según la capacidad de succión de Humedad pueden clasificarse como:
 - Agua Gravitacional: Es retenida con una succión $< 1/3$ atm y se elimina por gravedad

REUTILIZACION DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

- Agua Capilar: Retenida con una succión entre $1/3$ y 31 atm, se elimina por contacto con el aire.
 - Agua Higroscópica: Retenida a más de 31 atm, sólo eliminable en una estufa a 110 °C durante varias horas.
- Según la utilización por la planta se clasifican en:
- Agua Sobrante: La eliminada por gravedad (comprende el agua gravitacional).
 - Agua Disponible: Es la que pueden absorber las raíces para cubrir sus necesidades (comprende unos $2/3$ del agua capilar).
 - Agua No Disponible: Es la que el suelo retiene fuertemente y la planta no puede absorber(comprende el agua higroscópica y $1/3$ del agua capilar)

Las distintas formas en que las plantas toman agua del suelo, pueden diferenciarse en:

-Absorción Activa:

Cuando las necesidades de agua son bajas, la planta realiza la absorción a través de las raíces, donde se acumulan las sales por efecto osmótico. Por los estomas de las hojas puede tomarse una cantidad pequeña de agua lluvia del rocío ó de la nieve.

- Absorción Pasiva:

Cuando la planta pierde agua por efecto de la transpiración, necesita recuperarla, por ello succiona agua del suelo. Es necesario que esta agua esté al alcance de las raíces.

Por otra parte, la utilización del agua por las plantas en relación con el efecto de salinidades se explica a continuación:

Por lo general el esfuerzo mayor que realiza la planta es la succión del agua capilar. En los suelos salinos se produce un aumento de la presión osmótica lo cual genera una situación en la que la planta está incapacitada para realizar una succión tan elevada, con lo que se marchita.

Inmediatamente después del riego, el agua más aprovechable es aquella situada en la capa superior de la zona radicular, ésta es a su vez la capa de menor salinidad. A medida que el cultivo consume dicha agua la encontrará, cada vez, en capas más profundas, y por estas razón serán capas más salinas.

Para manejar suelos con tendencia a la salinización, es importante controlar el agua y el método de riego, así pues, cuando se emplean métodos de riego por aspersion el movimiento de sales se produce hacia abajo, (ideal para cultivos sensibles con raíces poco profundas como las fresas); con el riego por surcos, el movimiento de sales se produce en sentido ascendente, es decir, hacia la zona del surco menos mojada; en cuanto al riego por goteo, son riegos cortos, que mantiene la humedad, por lo que las sales tienden a acumularse alrededor del gotero en forma de corona circular blanca.

Manteniendo los suelos húmedos con riegos ligeros, se consigue una dilución de sales que disminuyen los efectos tóxicos y osmóticos. Mantener esta situación es útil durante la época de germinación y el estado de plántula, hasta alcanzar un estado vegetativo avanzado con mayor tolerancia a la salinidad.

Con riegos ligeros ó por aspersión, se logran desplazamientos de las sales a capa inferiores, fuera del radio radicular de la plántula.

Las sales acumuladas pueden eliminarse realizando lavados de los suelos con aguas de mayor calidad. En este proceso se lleva a cabo por desplazamiento de las sales a niveles más profundos, pero para conseguir un buen rendimiento debe contarse con un buen sistema de drenaje.

2.2.1 Tolerancia de los cultivos a la salinidad:

Cada cultivo responde de forma diferente a la salinidad. Se considera que un agua con una salinidad de 0.7 dS/m no tiene restricciones en su uso agrario.

Según Las Organizaciones de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, la salinidad promedio de la zona radicular que puede ser tolerado por las plantas sin afectar negativamente a su desarrollo, es la Salinidad Umbral (Su). A esta salinidad el rendimiento potencial de los cultivos es aún del 100 %.

Tabla 14. Tolerancia de algunos cultivos a la Salinidad en relación con el rendimiento potencial

	<u>Rendimiento potencial</u>				
	100 %	90 %	75 %	50 %	0 %
	ECa	ECa	ECa	ECa	ECa
Maíz	1,1	1,7	2,5	3,9	6,2
Tomate	1,7	2,3	3,4	5,0	8,4
Papas	1,7	1,7	2,5	3,9	6,7
Pimiento	1,0	1,5	2,2	3,4	5,8
Lechuga	0,9	1,4	2,1	3,4	6,0

REUTILIZACION DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

Cebolla	0,8	1,2	1,8	2,9	5,0
Palmera	2,7	4,5	7,3	12	21
Naranja	1,1	1,6	2,2	3,3	5,4

ECa = salinidad del agua de riego dS/m

El rendimiento potencial 0%, implica la salinidad máxima teórica a la que la planta deja de crecer.

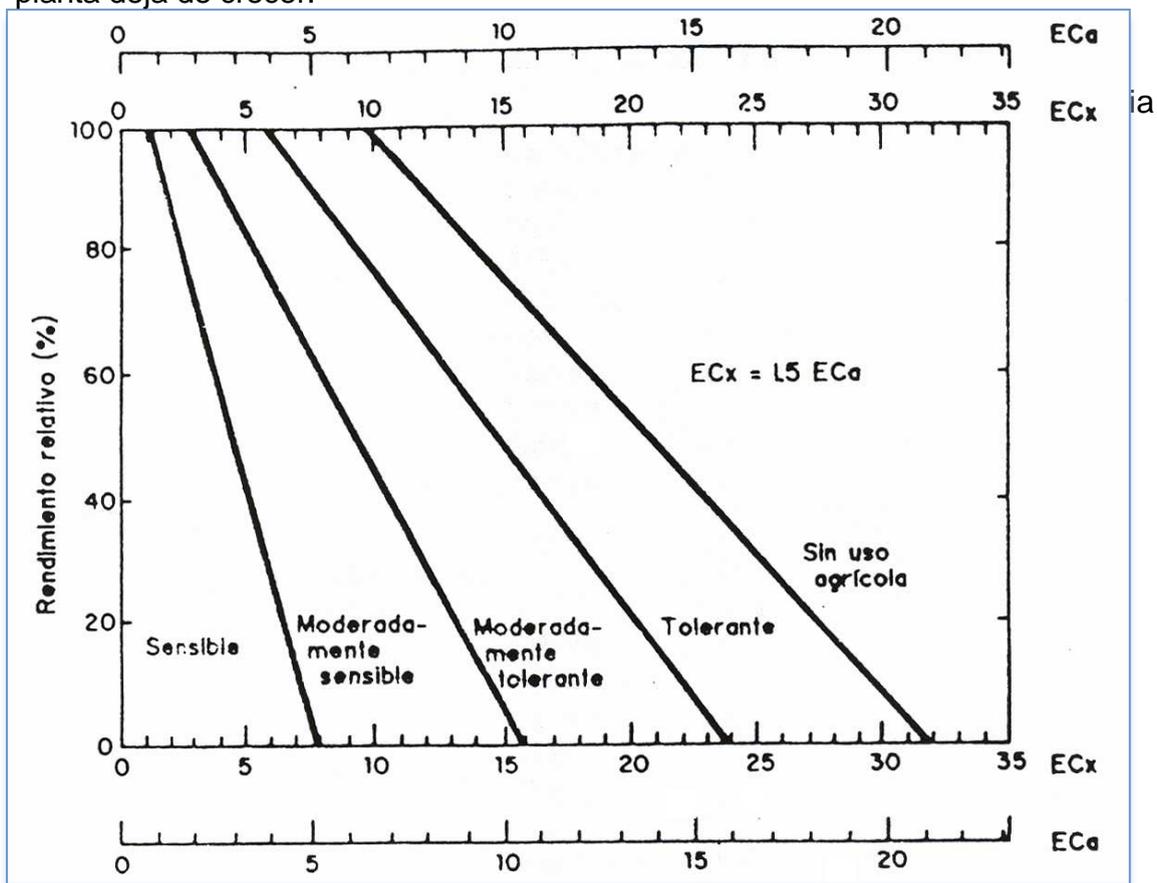


Figura 5. Delimitación de tolerancia relativa a la salinidad en los cultivos.

La tolerancia relativa que ofrece cada cultivo a la salinidad es diferente, podemos apreciarlo en los ejemplos descritos a continuación, donde el grado de tolerancia se divide en los cuatro grupos nombrados anteriormente:

REUTILIZACION DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

TOLERANTES

- Algodón
- Cebada
- Espárragos
- Palmera Datilera

MODERADAMENTE TOLERANTES

- Trigo
- Higuera
- Olivo
- Papaya

MODERADAMENTE SENSIBLES

- Caña de Azúcar
- Girasol
- Maíz
- Alfalfa
- Calabaza
- Col
- Papas
- Pimiento
- Sandía
- Tomate

SENSIBLES

- Cebolla
- Zanahoria

- Aguacate
- Lima
- Limón
- Naranja
- Mandarino
- Mango
- Níspero

Los factores que afectan a la tolerancia son:

- Calidad del agua de riego
- Etapa de desarrollo del cultivo
- Los patrones de injertos
- El clima
- La fertilización.

2.2.2 Prácticas de control de la salinidad:

Las siguientes prácticas pueden ayudar a controlar la salinización de un suelo.

2.2.2.1. Emparejamiento del suelo:

Nivelar el terreno ayuda a mejorar el reparto del agua de riego, evitando las acumulaciones de agua en los puntos más bajos. Con esta medida se evita que el agua no alcance las zonas altas, lo que supondría un desplazamiento del agua hacia allí, por capilaridad, evaporándose con facilidad y concentrando sus sales.

El emparejamiento no consiste en cambiar las pendientes, sino en alisar las superficies.

2.2.2.2. Programación del riego:

Programando las regadas se evita la escasez de agua y se puede controlar el riego con agua de salinidad elevada. El riego frecuente, pero en láminas de agua más finas, evita el agotamiento excesivo de la zona radicular de las plantas.

Controlando el tipo de riego se pueden desplazar las sales a zonas menos dañinas, dentro de la zona radicular, para los cultivos, por esta razón pueden combinarse diferentes sistemas.

2.2.2.3 Colocación de las semillas:

La situación de las semillas es especialmente importante cuando se riega por medio de inundación de surcos.

Cuando se emplea este sistema, el agua inunda la parte más baja, por ello el agua se desplaza hacia la zona más alta y central del camellón, por capilaridad. Allí se evapora con facilidad el agua concentrándose las sales que lleve disueltas.

La foto siguiente refleja este proceso; en ella se observa una capa blanquecina en la zona superior del surco, esta costra surge debido a la acumulación de sales, que es arrastrada por el agua capilar hasta la zona más seca del surco.

En este caso el efecto se debe al riego con agua salobre de pozo.



Figura 6. Salinidad en surcos

Las semillas colocadas en hilera simple, en el centro del camellón plano, se hallarán en la zona de máxima concentración, pero si en el mismo camellón situamos dos, en los extremos, ambas semillas se beneficiarían de una salinidad menor,(ver figura 6).

Otra técnica es la de riego por surco inclinado; las semillas se colocan en las pendientes contiguas, próximas al agua.

En resumen, las semillas brotan cuando no se sitúan en zonas de acumulación salina, y ésta dependerá de la forma del camellón y del método de riego empleado para aportar el agua.

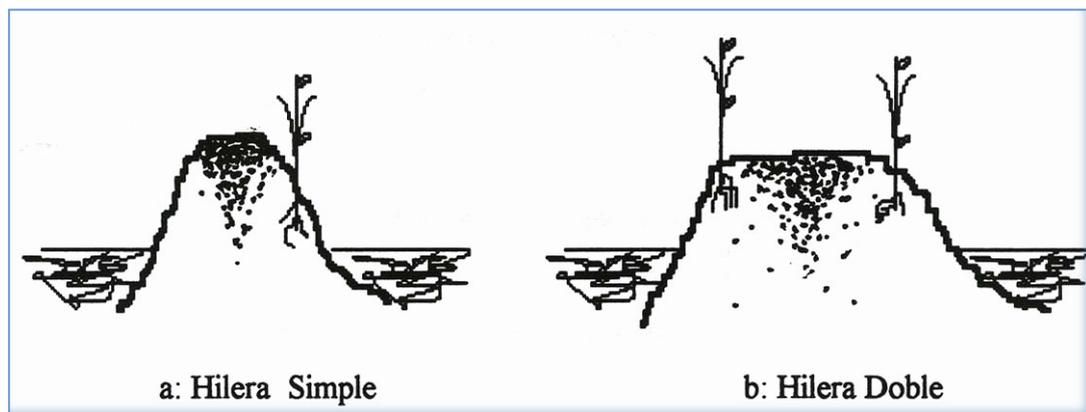


Figura 7. Colocación de semillas y plántulas en los surcos para disminuir el efecto de la salinidad

2.2.2.4 La Fertilización:

Definimos la fertilidad como la capacidad para abastecer de nutrientes un cultivo; llamamos fertilizantes a todas las sustancias que aporten, en forma asimilable por la planta, los nutrientes perdidos.

Los elementos nutritivos de las plantas son, fundamentalmente:

REUTILIZACION DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

- Carbono
- Oxígeno
- Hidrógeno
- Nitrógeno
- Fósforo
- Potasio
- Calcio
- Magnesio
- Hierro
- Boro
- Manganeseo
- Cobre
- Zinc
- Molibdeno
- Cloro

De éstos, los tres primeros son suministrados en abundancia por el agua y el aire y el agua, el resto debe suministrarlos el suelo.

La carencia de nutrientes producen anomalías en el crecimiento normal de la planta, para suplirlos se emplean fertilizantes que podemos clasificar, según su origen, en naturales y químicos; aunque también pueden clasificarse por el contenido en nutrientes.

Por su origen:

- Naturales: Derivados de productos vegetales y animales.
- Minerales o químicos: También llamados abonos, están constituidos por

- sustancias inorgánicas obtenidas en procesos químicos
- sustancias orgánicas sintetizadas en el laboratorio.

Por su contenido pueden ser:

- Simples: formados por uno de los tres nutrientes primarios (N, P, K), llamándose, respectivamente, Nitrogenados, Fosfatados ó Potásicos.
- Compuestos: formados por la combinación de dos ó tres de los nutrientes primarios.

Las combinaciones para obtener fertilizantes compuestos pueden realizarse mezclando varios simples (compuestos por mezcla) ó por reacciones químicas (compuestos complejos).

Los fertilizantes son ricos en muchas sales solubles. Si se fertiliza cerca de las semillas o de plantas, estos productos intensifican los problemas de salinidad y/o toxicidad.

Las plantas tiernas son muy sensibles a la salinidad, por esta razón se puede aplicar una pequeña cantidad antes o en el momento de la siembra, el resto de fertilizante deberá ser suministrado en una ó varias aplicaciones en el período de tiempo que va desde la emergencia hasta la etapa de crecimiento vigoroso de la planta.

2.3. Problemas de Infiltración:

Los problemas de infiltración surgen cuando el agua de riego no atraviesa la superficie del suelo a una velocidad tal que permita abastecer a las plantas del líquido necesario entre dos riegos consecutivos.

El efecto final producido es similar al caso de la salinidad, una reducción del suministro de agua a los cultivos, aunque en este caso se genera por la escasa penetración de agua en la zona radicular, mientras que en el caso de la salinidad el problema se debía a la reducción de la disponibilidad del agua existente por proceso osmótico.

Se define la permeabilidad como la " Conductividad Hidráulica", la cual depende de la geometría de los poros del suelo y del contenido de agua en él, de forma que se describe el flujo de agua en el interior del terreno.

La infiltración del agua está influenciada por factores como:

- Textura del suelo
- Tipo de minerales o arcillas
- Características Químicas (cationes Intercambiables)

La infiltración, en general, aumenta con la salinidad, ó con un aumento de la cantidad de Sodio respecto del Calcio y el Magnesio, es decir, con aumento del SAR.

Cuando un suelo está formado por partículas muy finas que sellan la superficie, la infiltración es más lenta independientemente del SAR ya que el agua se ve incapacitada para penetrar.

El porqué es tan importante conocer el valor del SAR se debe a lo siguiente:

El Calcio es uno de los nutrientes que necesitan las plantas, y suelen emplearse compuestos de éste, para "enmendar" suelos con carácter ácido. Otra de las características del calcio es que actúa de floculante, lo cual le permite atrapar las partículas de arcilla y humus suspendidas, en forma de coloides, en el agua; formando un complejo arcilloso- húmico que mejora las características físicas de los suelos.

El Magnesio actúa en menor medida de forma similar.

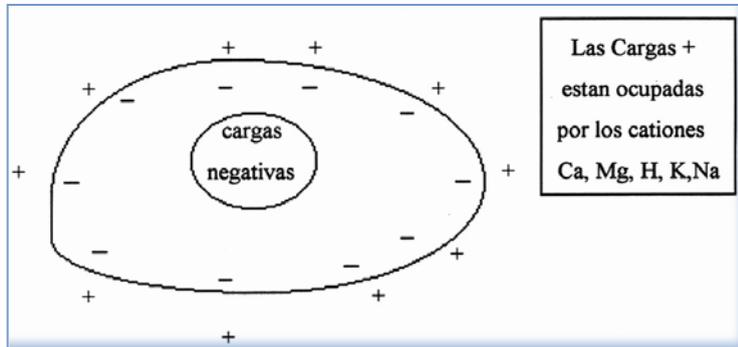
Cuando el pH de los suelos asciende, el Sodio presente, si se encuentra en cantidades elevadas, (en una proporción $\text{Na} : \text{Ca} = 3 : 1$), desplaza al calcio y al magnesio del complejo floculado, forzando la precipitación de éstos como carbonatos insolubles.

El aumento del pH favorece la dilución del calcio por la presencia de CO_2 en el agua, mientras que precipita en presencia de carbonatos, bicarbonatos o sulfatos, en cantidades suficientes para superar la solubilidad de la caliza, (carbonato cálcico), o del yeso, (sulfato cálcico). Para tener en cuenta todos estos procesos, incluyendo los efectos del CO_2 , del bicarbonato y de la salinidad, se emplea una expresión del SAR corregido, llamado SAR ajustado ($\text{SAR}_{aj.} = \text{SAR}^\circ$).

La expresión que permite determinarlo, es similar a la anterior ecuación, pero corrigiendo los me/l de $\text{Ca} = \text{Ca}^\circ$, en función de:

- La salinidad E_{ca} (dS/m)
- El Bicarbonato en relación al calcio ($\text{HCO}_3^- / \text{Ca}$)
- La presión parcial del dióxido de carbono, ejercida en los primeros milímetros de suelo ($P = 0.0007 \text{ atm}$)

REUTILIZACION DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS



La superficie del complejo, está cargado negativamente

Figura 8. Complejos arcillosos húmicos

Tabla 15. Concentración de Ca^o para la determinación del SAR aj

<u>Salinidad del agua de riego (Eca dS/m)</u>					
HCO₃⁻/Ca	0,7	1,0	1,5	2,0	3,0
1.00	2.01	2.09	2.16	2.23	2.35
1.25	1.73	1.78	1.86	1.92	2.02
1.50	1.53	1.58	1.65	1.70	1.79
1.75	1.38	1.43	1.49	1.54	1.62
2.00	1.26	1.31	1.36	1.40	1.48
2.25	1.17	1.21	1.26	1.30	1.37
2.50	1.09	1.12	1.17	1.21	1.27
3.00	0.96	1.00	1.04	1.07	1.13
3.50	0.97	0.90	0.94	0.97	1.02
4.00	0.80	0.82	0.86	0.88	0.93

(HCO₃⁻ / Ca = se expresa en me/l)

Esta tabla se ha realizado suponiendo que:

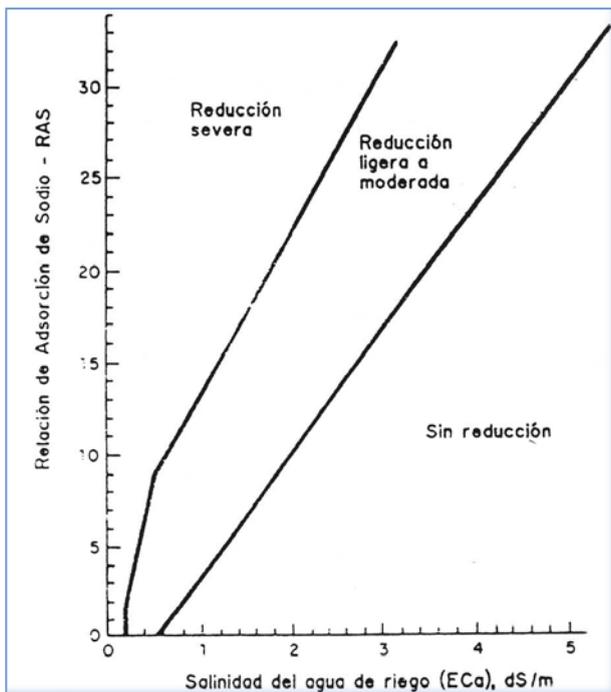
- La presión relativa de CO₂ cerca de la superficie es 0.0007 atm
- No hay precipitación de Magnesio

Si tiene lugar un incremento del sodio respecto del calcio, se produce una disgregación del suelo, debido a los efectos dispersantes del sodio.

Este efecto perjudica el cultivo debido a la falta de aireación del suelo por formación de costras, crecimientos anormales, enfermedades en las plantas ó crecimiento de malas hierbas y aumento de presencia de insectos.

La compactación relativa del suelo puede verse afectada por la presencia de sodio en cantidades excesivas, en relación con el calcio y el magnesio, produciéndose una dispersión del mismo.

Una velocidad de infiltración de agua se considera baja cuando es de 3 mm/hora, y por encima de 12 mm /hora, relativamente alta.



La figura 9 refleja la infiltración respecto a la salinidad y al SAR.

2.4. Manejo del riego para controlar los problemas de Infiltración:

Existen varios métodos que permiten reducir los problemas asociados a la infiltración.

Figura 9. Infiltración del agua respecto a la salinidad y el SAR

2.4.1. Frecuencia en los riegos:

Recordemos que el problema principal de infiltración en los suelos aparece porque el agua no llega fácilmente a la planta. Regar frecuentemente favorece el suministro de agua a las plantas, siempre que se prevea el que no se acumule agua que anegue los cultivos produciendo una asfixia de las raíces, al no estar convenientemente aireadas.

Este tipo de riego mantiene un nivel de humedad alto en la zona radicular de la planta, reduciendo los estados de escasez entre dos riegos consecutivos.

2.4.2. Riegos presiembra:

Éstos se emplean para llenar la zona radicular con la humedad necesaria, ya que se llenan también las zonas inferiores de esta zona . Este método es adecuado cuando la filtración del agua es lenta.

2.4.3. Duración del proceso de riego:

Es importante recordar que uno de los problemas que surgen en presencia excesiva de agua, es la mala aireación en el suelo, ya que el agua se introduce en todos los poros del suelo y no deja penetrar al aire en los poros de mayor tamaño. Por esta razón puede alargarse el riego, rebajando el caudal, para evitar escorrentía excesiva.

2.4.4. Cambio del sistema de riego:

En algunas ocasiones, un suelo con problemas de permeabilidad se beneficia de un sistema de riego. Especialmente si se cambia de método de riego por superficie a otros de aplicación más uniforme y controlada

(aspersión de gota fina, riegos localizados). El inconveniente es que supone realizar grandes inversiones de dinero

2.5 Problemas de Toxicidad:

Este problema no se asocia a la escasez de agua, como en el caso de los anteriores (salinidad e infiltración); aunque suelen complicarlos. Un problema de toxicidad surge por la acumulación de determinadas sustancias que provocan daños en los cultivos, a partir de unas concentraciones elevadas.

Todos los cultivos no presentan igual sensibilidad a una misma sustancia, por ejemplo, los cultivos anuales son más resistentes a concentraciones superiores que los cultivos frutales.

Las sustancias de las que hablamos son, principalmente el Sodio (Na), el Cloro (Cl) y el Boro (B). En los tres casos los inconvenientes se presentan debido a la absorción del agua del suelo, acumulándose en las hojas y dificultando la transpiración.

Además el Na y Cl pueden ser absorbidos a través de las hojas cuando se realiza riego por aspersión. Esta absorción foliar acelera las acumulaciones de los iones tóxicos.

Vamos a estudiarlos independientemente.

2.5.1. El Cloro:

Este ión no es retenido por las partículas del suelo, por el cual se desplaza fácilmente junto con el agua, y es absorbido por las raíces trasladándose hasta las hojas, donde se acumula por la transpiración.

Los síntomas de acumulación excesiva se presentan como necrosis ó quemaduras en las hojas, comenzando por las puntas de éstas.

En la tabla 16 se recogen valores de la tolerancia al Cloro del aguacate y cítricos.

Tabla 16. Tolerancia al cloro

Cultivo	Nivel máximo permisible de Cloro (sin dañar las hojas)	
	En zona radicular (Cl x, me/l)	En agua de riego (Cl a, me/l)
Aguacate	7,5	5,0
	6,0	4,0
	5,0	3,3
Cítricos	25,0	16,6
	15,0	10,0
	10,0	6,70

2.5.2 El Sodio:

Este catión se controla con los valores del SAR. La toxicidad del sodio se relaciona con la disponibilidad del calcio en el suelo, hasta tal punto que no se sabe bien si la toxicidad se debe a la presencia excesiva de sodio o a un déficit de calcio.

De cualquier forma, el síntoma clave, en este caso, es parecido a la quemadura por efecto del cloro, sólo que a lo largo del borde de las hojas, no en la punta de ésta.

La tabla 17 recoge las tolerancias de algunos cultivos al sodio intercambiable.

Tabla 17. Tolerancia al sodio

Sensibles (PSI < 15)	Semisensible (15 < PSI < 40)	Tolerantes (PSI > 40)
Maíz	Zanahoria	Alfalfa
Pomelo	Caña de azúcar	Cebada
Naranja	Rábano	Remolacha
Mandarino	Tomate	Algodón
Garbanzo	Trigo	

2.5.3 EL Boro:

Éste es un elemento esencial para el desarrollo de las plantas, (el sodio no lo es y el cloro sólo en pequeñas cantidades), pero en cantidades pequeñas.

El boro contenido en el agua del suelo es absorbido por la planta y acumulado en las hojas; comienzan a presentarse problemas cuando la concentración foliar supera los 250-3000 mg B / Kg materia seca.

Se detecta en las hojas más viejas, que se tornan amarillas o secas por los bordes. A medida que la toxicidad aumenta se expande por las zonas intervenales, en dirección hacia el centro de las hojas.

La tabla 18 recoge valores de la tolerancia al Boro por parte de algunos cultivos.

Tabla 18. Tolerancia al boro

Sensibles (0,5-1,0 mg/l)	Sensibilidad media (1,0-4,0 mg/l)	Tolerantes (4,0-6,0 mg/l)
Aguacate	Pimiento	Tomate
Pomelo	Zanahoria	Alfalfa
Naranja	Papas	Perejil
Ajo	Lechuga	Remolacha
Trigo	Nabo	Algodón
Girasol	Maíz	Espárrago
	Calabaza	

2.6. Técnicas control de Toxicidad:

2.6.1. Lixiviación:

Los tres iones que hemos estudiado pueden reducirse de la zona radicular de la planta por lixiviación, es decir, aplicando una cantidad de agua extra de la que los cultivos necesitan durante el período de crecimiento. Con esto se logra desplazar los iones tóxicos a zonas inferiores al sistema radicular.

- El grado de lixiviación mínimo necesaria que controla el Cloro, $RL_{(Cl)}$ (riego por superficie), puede determinarse a partir de la expresión siguiente:

$$RL_{(Cl)} = CI a / (5CI x - CI a)$$

Cl a = Concentración de cloro en el riego (me/l)

Cl x = Concentración de cloro en el extracto de saturación (me/l)

Cl x representa la concentración que un determinado cultivo puede tolerar

- Para reducir la presencia del Sodio es necesario aportar una cantidad de agua mayor que para el cloro, por lo que es preferible emplear enmiendas de calcio, con lo cual se equilibra el valor del SAR.
- El Boro es aún más difícil de eliminar por lixiviación, ya que se desplaza muy lentamente con el agua del suelo siendo necesario usar tres veces la cantidad de agua necesario para lixiviar cloro, esto supone riesgos por falta de aireación en el suelo.

Actualmente se realizan estudios sobre la acción del ácido sulfúrico en suelos con exceso de boro.

2.6.2. Selección de cultivos:

Emplear cultivos más tolerantes a los iones tóxicos es la mejor forma de evitar sus efectos. Pero esto supone el tener que realizar estudios previos que garanticen dicha tolerancia.

2.6.3. Mezclas de aguas:

En ocasiones las mezclas de aguas de distintas calidades reducen los efectos tóxicos. Esto es especialmente útil para reducir los efectos del sodio, debido al efecto de dilución que favorece la adsorción en el suelo de los cationes divalentes de calcio y magnesio.

2.7. Problemas que se originan por los nutrientes:

Los elementos fundamentales para el desarrollo de las plantas son el nitrógeno, fósforo, azufre, potasio, calcio, magnesio y hierro además de los imprescindibles, es decir, el carbono, hidrógeno y oxígeno –aire y agua-. También son necesarios para el crecimiento de las plantas el cobre, manganeso, molibdeno, zinc, boro sodio y cloro.

Estos elementos llegan a la plantas a través de las raíces mediante fenómenos de ósmosis, por lo que deben presentarse en forma iónica.

Los macronutrientes son; nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio.

Los micronutrientes son; hierro, boro, manganeso, cobre, zinc, molibdeno.

2.7.1. El Nitrógeno:

El nitrógeno forma parte de las proteínas, enzimas, vitaminas, clorofila, etc. de la planta. También se encuentra en forma de nitratos y nitritos, los cuales aumentan en concentración cuando existen problemas de síntesis de proteínas en la planta.

La planta absorbe el Nitrógeno en forma de nitratos ó amonio. El primero es absorbido por la planta y se desplaza libremente en la disolución del suelo, mientras que el segundo es absorbido por los coloides del suelo (si no es absorbido pasa rápidamente a nitratos).

Este elemento es un nutriente importante para las plantas, así como un estimulante del crecimiento. Por esta razón, los excesos producen un crecimiento excesivo, retrasa la maduración y aumenta la demanda de otros elementos.

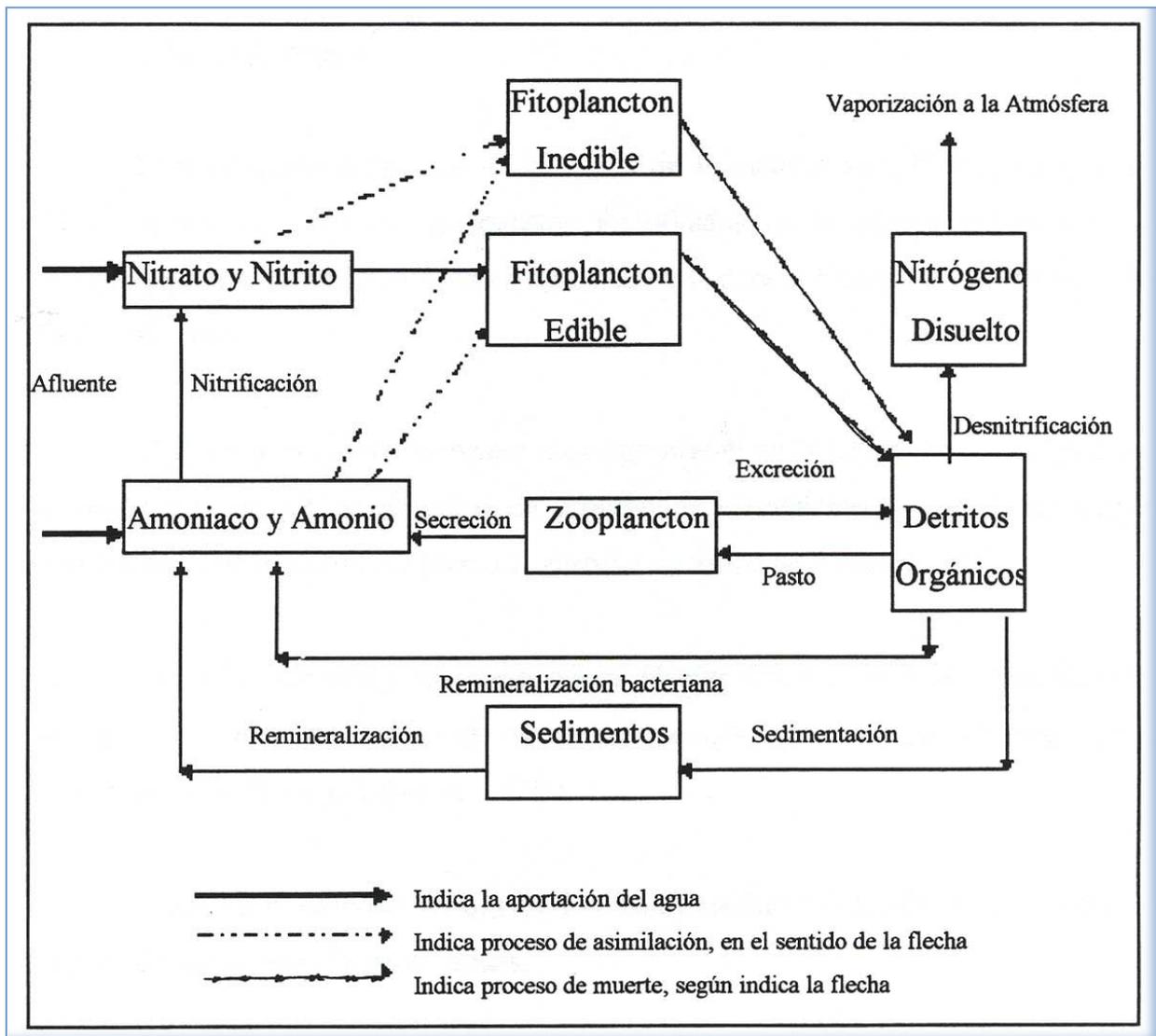


Figura 10. Ciclo del Nitrógeno en medio acuático

Las hojas se vuelven de un verde oscuro pero desciende la calidad de los frutos; además, en condiciones adversas las plantas acostumbradas a nitrógeno en exceso, son más susceptibles de sufrir alteraciones.

Por el contrario, la escasez de este nutriente provoca una maduración acelerada de los frutos, los cuales serán de pequeño tamaño y poca calidad. La

vegetación se vuelve raquítica, con hojas pequeñas y de un color verde amarillento, (en ocasiones hasta violeta si la deficiencia es grande).

De cualquier forma, no todas las plantas tienen la misma respuesta al exceso ó déficit del nitrógeno.

La desnitrificación es un proceso que se emplea para la reducción de este elemento pero es muy costoso.

2.7.2. El Fósforo:

Este elemento constituye un 0.5-1 % de la materia seca de la planta, como P_2O_5 , forma parte de los compuestos fosforilados de la planta, encargados del transporte y almacenamiento de la energía necesaria para la realización de los procesos vitales del vegetal.

El fósforo es un constituyente muy importante en el metabolismo, al igual que el nitrógeno, ya que forma parte de proceso de crecimiento y síntesis de nuevos componentes de la planta. La planta lo absorbe en forma de fosfatos.

Un déficit de este nutriente produce plantas débiles, de hojas pequeñas con nervios poco pronunciados y con coloración azulada, en ocasiones púrpura, que se detecta fácilmente en las hojas más viejas.

Como en el caso del nitrógeno, los frutos maduran con retraso por lo que se reduce el rendimiento de las cosechas.

Los excesos de fósforo no son muy comunes en aguas de riego normales, pero si ocurre la planta acusa falta de hierro por la insolubilidad de éste en el suelo en forma de fosfato.

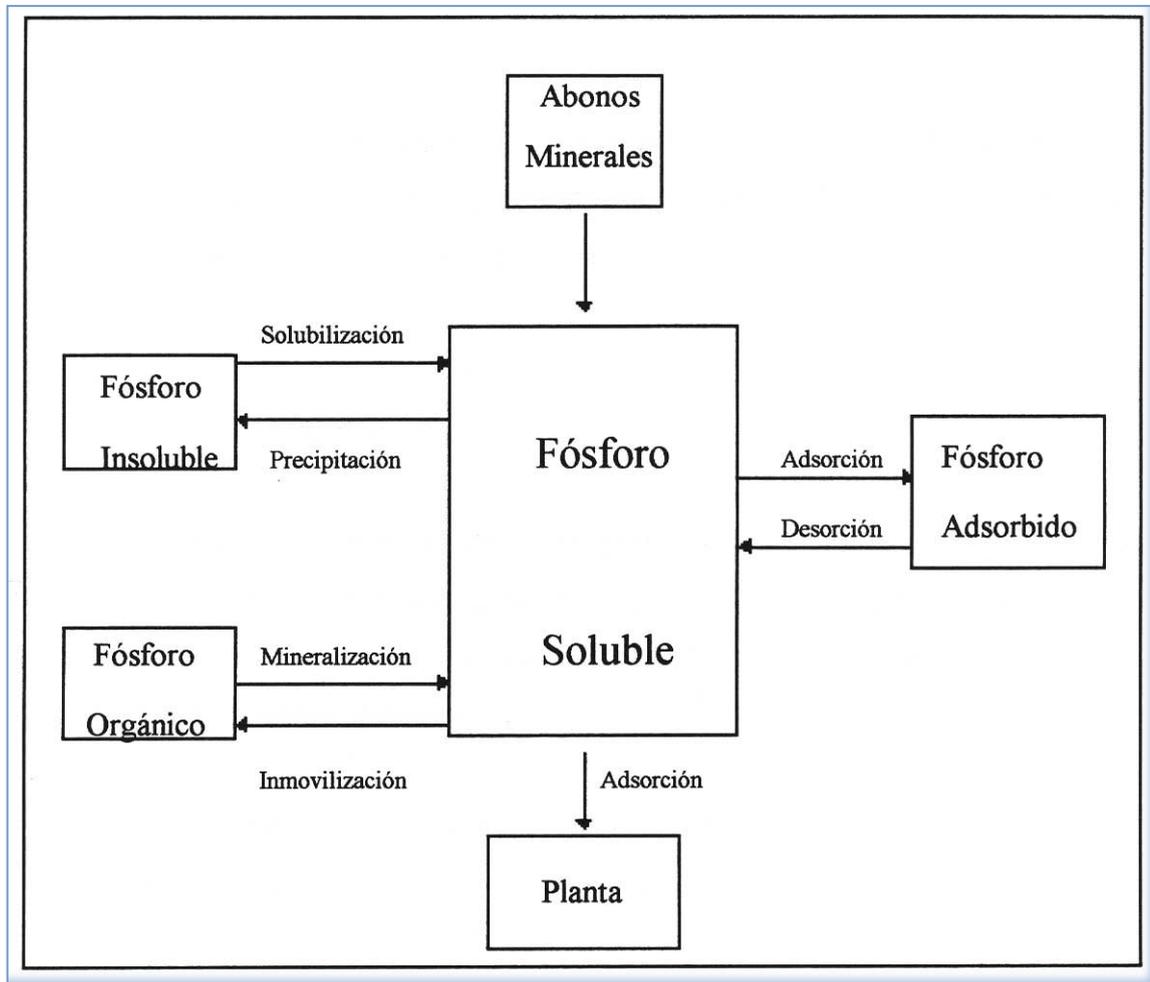


Figura 11. Ciclo del Fósforo en el suelo

2.7.3.- El Potasio

Este elemento no forma parte de los principios esenciales de las plantas, pero es absorbido en cantidades relativamente altas. Forma parte de muchas enzimas y por ello regula varias de las funciones de la planta, y también forma parte de los prótidos de la misma.

El potasio favorece el aprovechamiento del agua por la planta, manteniendo la turgencia celular, por esta razón, en caso de escasez de

agua se produce una disminución de la transpiración, lo que genera un efecto favorable a la hora de soportar condiciones de salinidad alta.

Un déficit de potasio supone el retraso del crecimiento y la maduración de los frutos. Esto puede detectarse por la presencia de manchas cloróticas (falta de color verde) y necrosis en los bordes de las hojas.

2.7.4. El Magnesio:

Se cree que un alto contenido de magnesio produce problemas de infiltración, aunque esto aún no se halla bien documentado. De cualquier forma, este elemento actúa de forma similar al calcio. La planta lo absorbe con más facilidad que al sodio, pero con un grado inferior que al calcio.

El valor del SAR es más peligroso cuando la relación Ca/Mg es menor de uno; y más peligroso cuanto menor sea.

Cuando la relación Ca/ Mg <1 , es decir, si existe deficiencia de Calcio, se generan problemas de deficiencias en las plantas si no existe suficiente calcio para contrarrestar los efectos del magnesio.

Desde luego se concluye que, aunque los estudios de los efectos de estos cationes, conjuntamente, no están muy estudiados, en los casos de valores menores de 1 en la relación Ca/Mg, es necesario estudiar con mayor detenimiento el agua de riego.

2.7.5. pH anormales:

El pH nos indica el grado de acidez ó basicidad del agua, siendo el intervalo adecuado de 6.0 a 8.5.

Aguas de baja salinidad ($E_{ca} < 0.2$), suelen presentar pH anormales que seguramente indicarán el desequilibrio de iones, pero no producen problemas graves, pero pueden corroer los componentes metálicos de las tuberías etc.

Los valores de pH del suelo ocasionados por el aporte de agua de riego, sufren lentas variaciones, por esta razón, un pH adverso puede ser corregido mediante enmiendas en el agua, aunque lo mejor es realizar la corrección sobre el mismo suelo por aplicación de azufre u otras sustancias ácidas, si los pH son básicos, y el yeso u otras sustancias básicas, si los suelos son ácidos.

2.7.6. Incrustaciones:

Las aguas con abundancia en sales solubles de calcio, bicarbonatos y sulfatos, cuando se aplican por aspersión, presentan problemas de incrustaciones en forma de depósitos blanco en las diferentes partes de los cultivos.

Estos depósitos no presentan un potencial tóxico importante, pero reducen el potencial comercial de los frutos.

2.8 Técnicas de riego y efecto sobre los cultivos y los suelos:

2.8.1 Introducción:

Regar consiste en suministrar a los cultivos el agua necesaria cuando la que suministra la lluvia es insuficiente. Existen diferentes formas de riego, las cuales se diferencian en la forma de aplicación del agua, lo que está condicionado por factores como:

- La pendiente del terreno
- La permeabilidad del suelo
- La capacidad de retención de agua del suelo
- El tipo de cultivo
- La inversión y el coste de mantenimiento
- La disponibilidad de mano de obra

Los métodos de riego más empleados son:

- Surcos
- Goteo
- Inundación
- Aspersión

Cada uno de ellos afecta de forma diferente a la eficiencia de aplicación de agua y a la salinidad.

Pueden agruparse como:

- Riegos por Gravedad o superficiales, cuando el agua empleado se suministra al suelo de forma que el reparto se realiza por la acción de la gravedad

- Riegos Forzados, si se distribuye el agua a presión mediante sistemas de tuberías en las que se instalan los emisores del agua.

Cuando la presión ejercida es relativamente elevada, el chorro de agua sale a gran velocidad, repartiéndose en el suelo en forma de lluvia, esto se conoce como riego por aspersión. Si la presión es reducida, y el agua sale por

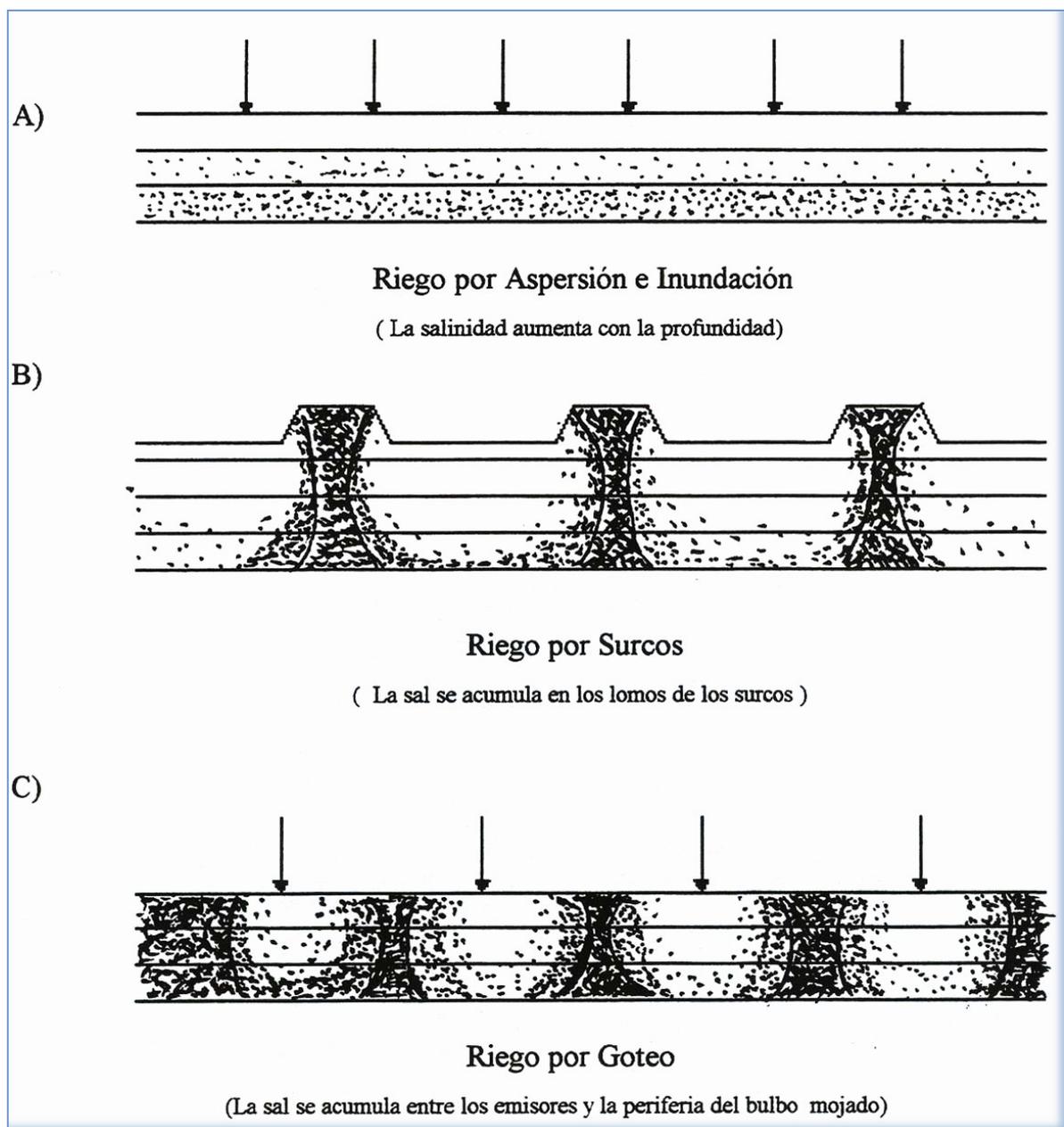


Figura 12. Acumulación de sales con diferentes sistemas de riego

orificios muy pequeños, se forman gotas, que empapan el suelo en profundidad, aunque la superficie del suelo aparente estar seca o ligeramente húmeda. Este método de riego recibe el nombre de riego por goteo.

Por otra parte, los que permiten una distribución uniforme del agua sobre el área del suelo regada son la aspersion y la inundación, mientras que en los sistemas de goteo y surcos se aplican el agua en partes concretas del terreno.

En los dos primeros, se produce un perfil de salinidad cuya mayor concentración se sitúa en la zona inferior de los radios radiculares de las plantas.

En el riego por surcos, las sales, además de aumentar con la profundidad, se sitúan en las zonas del suelo no alcanzadas por el agua, es decir, alcanzan las zonas más altas al ser arrastradas con el agua de capilaridad, tras la posterior evaporación de ésta. Las situadas en zonas profundas son arrastrados por el agua gravitacional que es lixiviada. En el riego por goteo, las sales se acumulan en la periferia del suelo mojado (bulbo mojado) del gotero.

2.8.2 Riego por Surcos:



Este sistema se caracteriza porque la aplicación de agua se realiza por medio de unas canaletas preparadas en el terreno llamadas surcos (figura 12).

El agua se reparte desde la zona más elevada del terreno hasta

Figura 13. Riego por surcos

la más baja por gravedad. El surco se llena de agua que se infiltra por el fondo y los laterales de éste penetrando profundamente en el suelo pero en sentido lateral.



Figura 14. Filtración de agua en surco

La infiltración del agua en el suelo depende de la textura del suelo, ya que este factor controla la velocidad de infiltración de agua y la capacidad de mantener la humedad de terreno.

Cuanto más rápido penetre el agua en la tierra, se produce el efecto de lateralidad en menor medida, por esta razón es importante tener en cuenta la distancia entre surcos, sobre todo si los suelos son arenosos.

Existen varios factores a tener en cuenta para regar con surcos, tales como:

- La separación entre surcos
- La pendiente
- La longitud
- Situación de los surcos

Respecto a la separación de surcos puede decirse que debe ser tal que permita que el agua se desplace hasta alcanzar la zona de terreno que ocupan las raíces.

Para suelos arenosos, la velocidad de penetración será mayor en profundidad, si se mantienen los surcos separados unos 50 cm. Si la capa de suelo descansa sobre una capa poco permeable, reteniendo el agua infiltrada, la humectación lateral aumentaría.

REUTILIZACION DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

En los suelos arcillosos, se alcanza la misma profundidad si se mantienen distanciados entre 100-120 cm.

La pendiente que debe darse al surco para un riego eficaz, ha de ser uniforme para evitar la distribución irregular del agua a lo largo de él, al igual que para evitar la erosión y el arrastre de tierra hacia las partes más bajas.

Con una pendiente adecuada no se producen encharcamientos, ni se dañan las plantas por rebosamiento de agua por los lomos.

La situación adecuada de los surcos es aquella en la que son paralelos a alguna de las lindes del terreno, y paralelos entre sí; aunque cuando el terreno se halla inclinado se pueden trazar surcos en diagonal.

La longitud del surco se decide en base a varios factores aunque se presentan diferentes ventajas e inconvenientes entre la elección de longitudes largos o cortos. Los surcos demasiado largos tienen como inconveniente que en terrenos con gran inclinación el riesgo de erosión es mayor y por otra parte el agua se distribuye de forma más irregular debido a que la parte inicial recibe más agua que la parte más alejada del punto de aplicación del agua.

En los surcos demasiado corto, debe prestársele atención al flujo de agua pues habrá de regularse. No son operativos para manejar maquinaria de siembra, cultivo y recolección.

Por todo esto la elección de la longitud de los surcos es conveniente decidirla sopesando cada una de las necesidades del usuario.

2.8.3. Riego por Goteo:

Se basa en un riego lento y constante de agua junto a la zona radicular de la planta, manteniendo un óptimo nivel de agua en la planta.

Con este sistema las pérdidas de agua se reducen respecto a los sistemas de riego superficiales. La denominación se aplica a sistemas de riegos localizados con caudales inferiores a 16 l/h ((Rodrigo et al., 1992)

Para instalar un sistema de goteo se necesitan:

- Cabezales, para la toma el agua, regulan la presión, dosifican el caudal de agua y el fertilizante.
- Red de distribución, que conduce el agua hasta el punto de aplicación. Suelen ser de material plástico flexible ó semirígido.
- Boquillas ó Goteros, por donde sales el agua de aplicación.



Figura 15. Imágenes de sistemas de riego por goteo.

El procedimiento consiste en aplicar el agua en las proximidades de la planta mojando un cierto volumen de suelo, donde ha de desarrollarse el sistema radicular.



Figura 16. Detalle del riego por goteo en palmera

Las pérdidas de agua se producen por evapotranspiración, es decir, por la transpiración del cultivo y el efecto de evaporación, aunque esta última es de escasa magnitud debido a la aplicación localizada del agua, mientras que la

transpiración puede ser mayor respecto de otros sistemas de riego debido al calentamiento que sufre el suelo seco, provocando un aumento de la temperatura del follaje.

Respecto a la saturación del suelo tras el riego, el goteo no presenta problemas, ya que sólo se satura la porción de terreno húmeda, pero el resto continúa igual de aireado. Las sales que pudiese contener el suelo más las que aporta el agua de riego, se mantienen en disolución en el agua del suelo. La planta absorbe el agua junto con una pequeña parte de éstas, el resto queda en el suelo. A medida que disminuye la cantidad de agua, aumenta la concentración de sales, produciéndose el efecto osmótico que dificulta el desarrollo del cultivo. Para evitarlo el goteo debe mantenerse a un nivel alto de humedad.

Anteriormente se ha explicado que la acumulación de sales se produce alrededor del bulbo en forma de corona; en los casos que llueve de forma ligera las sales tienden a desplazarse hacia el interior del bulbo, por esta razón no es raro ver que se riegue a la vez que llueve ó tras la lluvia, ya que así se consigue disminuir la salinidad en la zona de concentración de las raíces.

A la hora de fertilizar, se disuelven los fertilizantes en el agua de aplicación al bulbo.

2.8.4. Riego por Inundación:

Este método también recibe el nombre de Riego por Compartimentos (foto 2.6). Consiste en la aplicación del agua de riego sobre el terreno nivelados y dividido en diferentes compartimentos por medio de pequeños diques



Figura 17. Sistemas de riego por inundación

REUTILIZACION DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

En este método se aplica agua de forma continua sobre el suelo, manteniéndola en el interior de dichos compartimentos, lo cual es adecuado si los suelos son arcillosos, de poca capacidad de infiltración, ya que permiten retener el agua durante mayor tiempo, pero debe tenerse en cuenta que un encharcamiento excesivo produce la asfixia de las raíces.

En caso de suelos arcillosos, los compartimentos deben ser pequeños ya que así se garantiza un reparto más uniforme en estos suelos permeables.

Existen dos modalidades de riego por inundación:

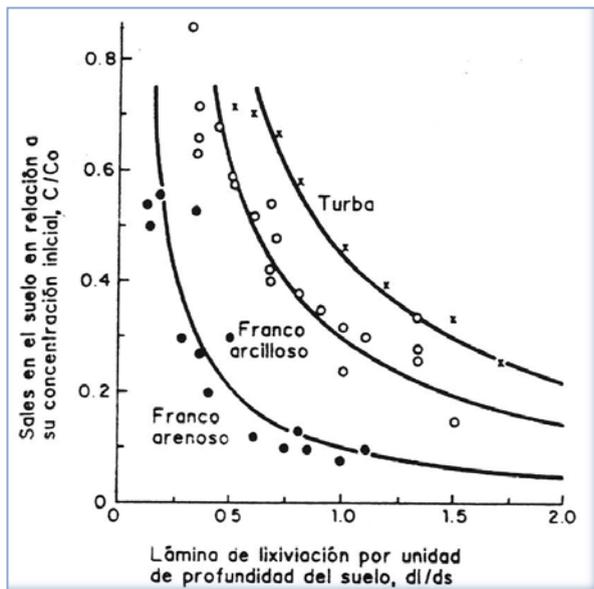


Figura 18. Inundación continua

- **Encharcamiento continuo**, donde el flujo del agua es continuo (caso de arrozales). Si el terreno es de pendiente uniforme se suministra el agua de forma independiente a cada uno desde el punto de partida del agua. Mientras que cuando el terreno se distribuye en diferentes niveles se deja escurrir el agua desde los más altos hasta los más bajos.

- **Encharcamiento intermitente**, si el sector a regar se divide en varios compartimentos ó eras, y el agua se aplica por medio de una reguera a la que se le han realizado unos orificios.

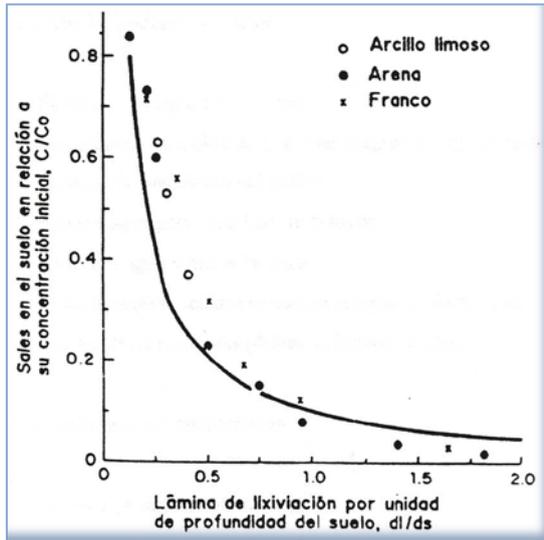


Figura 19. Inundación intermitente

Cuando la era está al nivel de agua adecuándose para de suministrarla, luego se deja que se infiltre en el suelo. Esto permite que el suelo se airee entre dos riegos consecutivos (apropiado para los caso en que se planten hortalizas).

2.8.5.- Riego por Aspersión.

Como se ha explicado anteriormente, el riego por aspersión consiste en realizar una distribución del agua de riego en forma de lluvia.

La red de riego por aspersión consta de:

- Grupo motobomba, suministrador del agua a la presión necesaria
- Red de distribución, conductora del agua hasta el punto de aplicación.
- Aspersores, repartidores del agua a presión

La aspersión presenta diferentes ventajas e inconvenientes.

Entre las ventajas podemos nombrar:

- El reparto de agua es uniforme

REUTILIZACION DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS



Figura 20. Riego por aspersión

- Puede usarse en suelos de cualquier naturaleza, sin necesidad de precondicionamiento del terreno
- Puede usarse para todo tipo de cultivos
- Se ahorra agua y mano de obra
- El fertilizante se reparte junto con el agua, de forma uniforme
- Las partes aéreas de las plantas se limpian de polvo

Entre los inconvenientes encontramos:

- El coste de instalación es elevado.
- Los poros de salida pueden sufrir obstrucciones si el agua contiene una concentración elevada de sólidos en suspensión.
- El viento dificulta el reparto uniforme.

2.9. Obstrucciones en los sistemas de riego

En los sistemas de riego localizados, los emisores de agua pueden obstruirse por sedimentos, sustancias químicas u organismos biológicos.

Estos elementos obstructores se recogen en la tabla 19.

Tabla 19. Elementos obstructores: físicos, químicos y biológicos

Físicos (Sólidos en suspensión)	Químicos (Precipitados)	Biológicos (Bacterias y Algas)
1. Arena	1. Carbonatos (Ca y Mg)	1.-Filamentos
2. Limo	2. Sulfatos (Ca)	2.-Mucílagos
3. Arcilla	3. Metales Pesados	3.-Depósitos Microbianos
4. Materia Orgánica	4. Fertilizantes	4.-Bacterias
		6.-Organismos acuáticos

Las obstrucciones pueden producirse por una de estas causas, o por la combinación de varias, esto complicaría su solución.

Es importante conocer las posibles causas de obstrucciones, por ello deben analizarse, en el agua de riego:

- Sales inorgánicas
- Sólidos en suspensión
- DBO
- DQO
- Materia orgánica
- Microorganismos
- Hierro
- Oxígeno disuelto

El problema más común, peor más sencillo de solucionar, es la obstrucción por sólido en suspensión, los cuales consisten en partículas de varios tamaños de caliza, material sólido erosionado de los embalses y algas.

REUTILIZACION DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

Las partículas más pesadas pueden ser filtradas o sedimentadas, siendo la primera la más fiable.

Filtrar consiste en hacer pasar el agua a través de un medio filtrante (que puede ser arena), y posteriormente por tamices elegidos a razón del tamaño que se desea filtrar.

Las obstrucciones químicas provocada por la precipitación de compuestos de carbonato y/o sulfatos de calcio, se producen gradualmente, por ello son más difíciles de localizar.

Este tipo de precipitaciones se ven favorecidas por las temperaturas elevadas y los pH altos. La precipitación del calcio puede ser anticipada por medio del índice de saturación.

$$\text{Índice de saturación} = \text{pH a} - \text{pH c}$$

Siendo:

pH a = el pH actual del agua

pH c = al pH teórico, el que alcanzaría el agua en equilibrio con el CaCO_3

Los valores positivos indican la tendencia del carbonato a precipitar-, los valores negativo indican la tendencia a que el carbonato se mantenga en solución.

La tabla 20 indica el procedimiento para calcular el pH c:

Tabla 20. Determinación del pHc

$pH_c = (pK_2 - pK_c) + pCa + p(Alk)^3$			
Concentración (me/l)	pK₂ - pK_c	pCa	P(Alk)
1,00	2,1	3,3	3,0
1,25	2,1	3,2	2,9
1,50	2,1	3,1	2,8
2,00	2,2	3,0	2,7
2,50	2,2	2,9	2,6
3,00	2,2	2,8	2,5
4,00	2,2	2,7	2,4
5,00	2,2	2,6	2,3
6,00	2,2	12,5	2,2
8,00	2,3	2,4	2,1
10,00	2,3	2,3	2,0
12,50	2,3	2,2	1,9
15,00	2,3	2,1	1,8

A continuación, en la tabla 21 se expresan los valores de restricción para el agua de riego.

Tabla 21. Influencia de la calidad del agua de riego para crear problemas de obstrucción en los sistemas de riego.

Problema	Unidad	Grado de restricción		
		Ninguno	Medio	Severo
Físicos:				
Sólidos Suspendido	mg/l	< 50	50-100	> 100
Químicos:				
pH	mg/l	< 7	7 – 8	> 8
Sólido soluble	mg/l	< 500	500 – 1000	> 8,0
Manganeso	mg/l	< 0,1	0,1 – 1,5	> 2000
Hierro	mg/l	< 0,1	0,1 – 1,5	> 1,5
A.Sulfidrico	mg/l	< 0,5	0,5 – 2,0	> 1,5
Biológicos:				
Probl. Bacteriana	Max. nº/ml	< 10000	10E4 – 50E4	> 50000

2.10. Calidad de las Aguas de riego.

Se ha explicado cómo están interrelacionados el cultivo, el suelo y el agua, así como los diferentes métodos de riego más empleados para conseguir un aporte adecuado de líquido. Y ahora conviene explicar cómo evaluar la calidad de un agua para riego.

Los principales puntos que se estudian de un agua que se va a destinar al riego son los relacionados con la salinidad, la infiltración en el suelo,

la toxicidad , así como el exceso ó déficit de algunos nutrientes, el pH y la presencia de sedimentos en suspensión.

En general, para la determinación de la calidad del agua se estudian estos factores por separado, aunque muchos de los problemas surgen de combinaciones de éstos.

Han de estudiarse:

- Los tipos y las concentraciones de sales causantes del problema.
- Las relaciones agua-suelo-cultivo para averiguar qué genera la situación adversa.
- El efecto de un uso, a largo plazo del agua.
- Métodos de prevención, corrección ó retraso de un probable problema.

Las directrices a seguir para evaluar el agua indicados en la tabla 2.8, han sido estudiadas en la Universidad de California (Univerity of California Committee), y se expresan en la tabla que seguirá a continuación . Pero es importante entender que estas directrices no son invariables. Dependerán de los suelos, de los cultivos etc... y es conveniente realizar directrices personalizadas para cada situación.

REUTILIZACIÓN DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS
PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

Tabla 22. Resumen de evaluación para un agua de riego

Restricciones en el uso del agua				
Parámetro	unidad	Ninguna	Media	Alta
Salinidad				
Eca ó	dS/m	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0
SST	mg/l	< 450	450 – 2000	> 2000
Infiltración				
SAR-Eca	Un Eca =			
SAR				
0 – 3		> 0,7	0,7 – 0,2	< 0,2
3 – 6		> 1,2	1,2 – 0,3	< 0,3
6 – 12		> 1,9	1,9 – 0,5	< 0,5
12 – 20	> 2,9	> 2,9	2,9 – 1,3	< 1,3
Toxicidad (iones específicos)				
Na				
Riego por superficie	SAR	< 3	3 – 9	> 9
Riego por aspersión	me/l	< 3	> 3	-----
Cl				
Riego por superficie	me/l	< 4	4 – 10	> 10
Riego por aspersión	me/l	< 3	> 3	-----
B	Mg/l	< 0,7	0,7 – 3	> 3
Otros				
Nitratos – NO ³⁻	mg/l	22	22 – 135	> 135
Bicarbonatos – HCO ³⁻	me/l	< 1,5	1,5 – 8,5	> 8,5
PH	Amplitud normal:	6,5 – 8,5		

En cuanto a la concentración de oligoelementos podemos decir que las concentraciones máximas están recogidas en la tabla siguiente:

Tabla 23. Concentraciones máximas para oligoelementos

Elemento	Concentración (mg/l)	Observaciones
Cromo (Cr)	0,1	No es esencial. Se recomiendan valores bajos por desconocimiento de los efectos que puede generar
Cobre (Cu)	0,2	Tóxico entre 0,1 – 1,0 mg/l para algunas plantas en soluciones nutritivas
Hierro (Fe)	5,0	En suelos aireados no es tóxico. Contribuye a la acidez y a la indisponibilidad del P y Mo
Manganeso (Mn)	0,5	< 0,2 mg/l solo tóxico en suelos ácidos
Zinc (Zn)	2,0	Toxicidad reducida a pH > 6 y en suelos de extura fina y en suelos orgánicos.

(Estos valores han sido determinados para aplicaciones de caudal de 10.000 m³/ha/año. Y para consumo continuo de agua en un mismo lugar).

Los valores normales de parámetros evaluadores de la calidad del agua de riego, se recogen en la tabla siguiente:

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS
PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

Tabla 24. Valores de evaluación normales en aguas de riego blancas

Parámetros	Símbolo	Unidad	Valor normal
<u>Contenido en sales:</u>			
Conductividad Eléctrica	Eca	DS/m	0 – 3
Sólidos Suspensión Totales	SST	Mg/l	0 – 2000
<u>Cationes y Aniones:</u>			
Calcio	Ca ⁺	me/l	0 – 20
Magnesio	Mg ²⁺	me/l	0 – 5
Sodio	Na ⁺	me/l	0 – 40
Carbonatos	CO ₃ ²⁻	me/l	0 – 0,1
Bicarbonatos	HCO ₃ ⁻	me/l	0 – 10
Cloro	Cl ⁻	me/l	0 – 30
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	me/l	0 – 20
<u>Nutrientes:</u>			
Nitrato-Nitrógeno	NO ₃ -N	mg/l	0 – 10
Amonio-Nitrógeno	NH ₄ -N	mg/l	0 – 5
Fosfato-Fósforo	PO ₄ -P	mg/l	0 – 2
Potasio	K ⁺	mg/l	0 – 2
<u>Varios:</u>			
Boro	B	mg/l	0 – 2
Acidez-Alcalinidad	pH	1 – 14	6 – 8,5
Relación Adsorción Sodio	SAR	(me/l) ^{1/2}	0 - 15

NO₃-N, expresa el nitrato como nitrógeno (dividiendo por factor 4,43)

NH₄- N, expresa el amonio como nitrógeno (dividiendo por factor 1,29)

PO₄-P, expresa los fosfatos como fósforo (dividiendo por factor 3,06)

CAPÍTULO 3
Empleo de aguas
depuradas
como agua de riego

CAPITULO 3. EMPLEO DE AGUAS DEPURADAS COMO AGUA DE RIEGO

3.1. Riegos con agua depurada:

La deficiencia de recursos hídricos en Canarias es cada vez más pronunciada (Plan Hidrológico Insular de Gran Canaria). Por esta razón comienza a despertar, dentro de cada uno de los afectados por dicho hecho, la convicción, (ya no idea), de que reutilizar el agua residual tratada por procesos depurativos, es cada vez más importante para prevenir estas carencias de agua.

Actualmente, y pese a existir normativa para la reutilización de agua residual tratada, como agua de riego, se continúan realizando estudios sobre cómo puede afectar este tipo de agua al sistema agua-cultivo-suelo, (como sistema interrelacionado).

De las depuradoras de la Zona Norte de Gran Canaria se reutilizan, en mayor ó menor medida, las agua depuradas de

- Barranco Seco
- Cardones
- Firgas
- Guía
- Gáldar
- Moya
- Tenoya
- Tejeda
- Artenara.

Es decir, se reutiliza agua de 8 estaciones; además en la zona Sur se reutiliza una parte del caudal depurado del EDAR de Las Burras.

En el presente proyecto se estudia la capacidad de emplear como, agua de riego el agua depurada de La Mancomunidad del Sureste. Por ello es importante conocer en qué condiciones debe encontrarse un agua residual para su reuso y si el agua de esta estación cumple con esos requisitos.

Es necesario seguir un patrón de evaluación. Además de cumplir con la normativa, se recurren a las necesidades de los cultivos a los cuales será destinado este agua, así como a las experiencias llevadas a cabo en esta isla. y las normativas recogidas de otros países.

3.2. Características de las aguas depuradas:

Como se ha explicado, reutilizar el agua en la agricultura beneficia en gran medida al aprovechamiento controlado de las aguas blancas. Pero es importante conocer cómo es el agua depurada disponible, sobretodo para prevenir los efectos generados del uso, a largo plazo de las impurezas que pueda contener, como de los nutrientes, oligoelementos, sales etc. sobre los suelo y los cultivos. Especialmente la elevada salinidad que suele ir asociada a las aguas residuales.

A continuación estudiaremos los efectos del agua depurada sobre el suelo agrícola.

3.2.1. Propiedades Físicas:

Este tipo de aguas presenta un alto contenido en Sodio, esto puede convertirse en un problema si la cantidad es muy elevada, (SAR alto), debido al efecto dispersante sobre el suelo. Este efecto se produce con más o menos intensidad dependiendo si los suelos son arcillosos ó arenosos. Por otra parte, el agua depurada es rica en Calcio y Magnesio, lo que ayuda a contrarrestar los efectos del Sodio.

La conductividad eléctrica, (Eca, cuyas unidades serán en dS/m), es una forma de medir el contenido total de sales. Ésta disminuye el efecto disgregante del sodio en el suelo, y por esta causa deben estudiarse ambos parámetros conjuntamente. Existen diferentes tablas que indican los valores de SAR y Conductividad que pueden relacionarse para evaluar su efecto.

El alto contenido en sales produce en los cultivos dificultades para absorber el agua del entorno, al igual que efectos tóxicos por algunos iones, (en especial sodio, cloro y boro), como se explicó anteriormente.

El agua depurada aporta materia orgánica, en forma de agregados. Ésta mejora las condiciones de permeabilidad y drenaje del suelo, lo cual reduce los efectos negativos del sodio.

Por esta razón los aportes de materia orgánica y demás sustancias ricas en calcio contribuyen a reequilibrar la estructura del suelo.

3.2.2. Propiedades Químicas:

La característica principal de las aguas depuradas, en lo que a propiedades químicas se refiere, es el aporte de elementos nutritivos, (nitrógeno, fósforo, potasio, etc.) lo que reduce la demanda abonos minerales, con la consiguiente reducción de los costos.

Es muy importante controlar el aporte de nutrientes, para evitar problemas de exceso. Esto se controla con análisis periódicos que permiten conocer el grado de asimilación de nutrientes.

Las aguas depuradas suelen tener un contenido de Nitrógeno que oscila entre los 10- 50 mg/l de Nitrógeno Total, sin considerar el procedente de los nitritos, nitratos y amonio. Del uso de aguas con fertilizantes artificiales, se obtienen resultados similares a los obtenidos por el uso agua reutilizada.

El aporte de Fósforo en aguas depuradas oscila entre 5-20 mg/l niveles adecuados para cubrir las necesidades de la mayor parte de los cultivos. Un exceso de fósforo puede producir carencia de oligoelementos como el hierro y el zinc.

El Potasio contenido en este tipo de aguas, oscila entre 10-50 mg/l, cantidad suficiente para los cultivo; no son comunes los problemas por exceso de K y, generalmente, es necesario un aporte de fertilización potásica complementaria ya que los cultivos presentan gran demanda de este elemento.

3.2.3. Propiedades Biológicas:

Una característica positiva del uso de agua depurada, es que el aporte de materia orgánica favorece el desarrollo de microorganismos del

suelo (alguno facilitan la capacidad de extracción de agua y nutrientes del sistema radicular de las plantas), lo cual mejora las propiedades químicas y físicas de éste.

Por otra parte, si el aporte de sodio fuese excesivo, se vería desfavorecido el crecimiento de estos microorganismos, al producirse condiciones anaeróbicas.

3.3 Obstrucciones en los sistemas de riego localizado:

Las aguas depuradas contienen mayor proporción de materia orgánica y sólidos en suspensión, que las aguas blancas, éstos tienden a acumularse en los emisores de agua, (riego localizado), por esta razón es necesario eliminarla. Para ello se emplean métodos de decantación y/o filtración.

Por otro lado, la presencia de bicarbonatos a pH en torno a 7.5, puede generar depósitos que obstruyan los sistemas de riego. Estas razones hacen necesario realizar controles y lavados de los sistemas, evitándose así la producción de problemas causados por la obturación. de los emisores de agua.

3.4. Almacenamiento de aguas depuradas en estanques:

Para llevar a cabo la eliminación de microorganismos es necesario desinfectar el agua depurada que se obtiene como efluente final.

Este proceso de desinfección es muy importante a la hora de acumular el agua durante un período de tiempo relativamente largo, debido a que el alto contenido de nutrientes del agua favorece la proliferación de algas y microorganismos diversos, si se llegan a unas condiciones de aireación y luz adecuadas.

La proliferación de algas en los estanques de almacenamiento, puede reducirse aplicando cantidades controladas de sulfato ó permanganato de cobre.

En España existe el Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas, basado en las exigencias de la Organización Mundial de la Salud y otros países más adelantados en estas técnicas, que regula la presencia de microorganismos en el agua depurada, para su posterior reuso, lo cual es lógico si tenemos en cuenta que una eliminación deficiente de microorganismos supone un riesgo de contagio de enfermedades ó procesos infecciosos.

En el apartado “1.4.4. Criterios de Calidad para la reutilización de las aguas depuradas”, exponemos con detalle las condiciones establecidas en el Real Decreto y que en síntesis son las siguientes:

Tabla 25. Criterios de calidad para reutilización de aguas depuradas

-Nematodo intestinal < 1	Para todos los usos del agua
- Coliformes fecales <10/100 ml	De agua de riego de céspedes y ornamentales con contacto directo así como para productos de consumo en crudo.
- Coliformes fecales < 200/100 ml	De agua para riego de céspedes con acceso restringido, hortalizas para consumir sancochadas y árboles frutales.
- Coliformes totales < 500/100 ml	De agua de riego de cereales, cultivos industriales, forraje y pastos

3.5.- Mezclas de aguas de diferentes calidades:

Los riegos que conlleva el uso de agua residual tratada, en cuanto al grado de salinidad y a la toxicidad se refieren, pueden reducirse alternando los riegos con aguas de mayor calidad; sobre todo en aquellas zonas en las que las lluvias son suficientes para arrastrar las sales.

Para las zonas en las que no se dispone de aguas de calidad existe otra alternativa. Esta consiste en mezclar aguas de diferentes calidades, que aunque no disminuye el contenido de sales totales, se produce un efecto de dilución de las sales de la porción más concentrada, lo cual permite regar zonas más amplias.

La cantidad de agua mezclada que se suministra deberá ser suficiente para que se produzca un lavado de las sales por lixiviación. Esta cantidad se puede estimar según la expresión siguiente:

$$C_{nf} = (C_{na} * (Q_a/Q_t)) + (C_{nb} * (Q_b/Q_t))$$

siendo:

C_{nf} , la concentración final de sales de la mezcla

C_{na} , la concentración de sales del agua más concentrada

C_{nb} , la concentración de sales del agua menos concentrada

Q_a , el caudal aportado del agua más diluida

Q_b , el caudal aportado del agua más concentrada

Q_t , el caudal total; ($Q_a + Q_b$)

Las concentraciones de sales se expresan en dS/m ó miliequivalentes / litro.

De cualquier forma, el empleo de esta técnica no es adecuado cuando las plantas se hallan en período de crecimiento, sin embargo se puede utilizar en fases posteriores ya que las plantas resisten mejor la concentración de sales.

3.6. Precauciones para mantener en buen estado el sistema de riego de agua depurada:

La mejor forma de evitar problemas es tomar precauciones. Por ello, realizar un correcto diseño de una instalación de riego, es la mejor forma de conseguir óptimos resultados.

Factores a tener en cuenta:

- Prefiltrado de los sólidos en suspensión: Protege los sistemas de impulsión.
- Filtros de arena: Elimina los sólidos suspendidos que puedan decantarse en el interior del sistema de riego.
- Filtros de malla: Para el mismo fin anterior pero con opción de elegir diámetros de filtración más pequeños.
- Selección de los emisores de agua, es necesario considerar los parámetros siguientes:
 - Diámetro de paso
 - Tipo de flujo
 - Longitud del canal
 - Capacidad de vaciado

- Selección de tuberías y piezas varias, con lo que se evitan problemas de corrosión y desgaste excesivo.

A parte de estos factores, en lo que se refiere al manejo de los sistemas de riego:

- El control del pH, por acidulación, permite reducir los efectos de obturación.
- Emplear agua sin abono al finalizar el riego, ayuda, de igual forma, a reducir éste efecto.
- La limpieza del sistema puede realizarse aplicando agua a una mayor presión. Esto puede realizarse al menos cada 6 meses.

3.7. Reutilización del agua depurada en la EDAR de La Mancomunidad del Sureste:

Para caracterizar un agua depurada debemos, en primer lugar, establecer qué criterios de evaluación se van a seguir y porqué.

Estos criterios se basan en los objetivos a conseguir; en este capítulo el principal es el estudio del efluente de la Estación Depuradora de aguas residuales de La Mancomunidad del Sureste, con el fin de establecer si presenta características adecuadas para su reutilización.

Los parámetros de evaluación se han escogido en función de las exigencias de las normativas vigentes al respecto.

Estos parámetros son:

Características Microbiológicas:

- Determinación microbiológica de Coliformes

Contenido en Materia Orgánica:

- Determinación de DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno)
- Determinación de DQO (Demanda Química de Oxígeno)
- Determinación de S.S. (Sólidos en Suspensión)

Caracterización Química:

- Determinación de Nitritos, Nitratos y Amonio
- Determinación de Nitrógeno Total
- Determinación de Fosfatos
- Determinación de Sulfatos
- Determinación de Cloruros
- Determinación de Calcio y Magnesio
- Determinación de Sodio y Potasio
- Determinación de Bicarbonatos
- Determinación de Surfactantes Aniónicos (detergentes)
- Determinación de Aceites y Grasas

Contenido en sustancias tóxicas y metales pesados:

- Determinación de Boro
- Determinación de Hierro
- Determinación de Manganeso
- Determinación de Cromo

REUTILIZACION DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

- Determinación de Cobre
- Determinación de Zinc

Control de la Salinidad.:

- Determinación de Conductividad eléctrica
- Determinación del SAR (relación de adsorción de sodio) y SAR aju.

y además :

- Determinación de pH

Los valores que se obtiene de éstos parámetros "hablan" de cómo es el agua, indicando si es depurado dentro de los límites establecidos y cuales pueden ser los usos a los que es posible destinar ese volumen.

Por ejemplo: un contenido de tóxicos superiores a los límites, imposibilita la reutilización como agua de riego, ya que perjudicarían las cosechas; si el contenido en Nitrógeno y Fósforo es elevado, no podría verterse el agua en embalses con riesgo de sufrir procesos eutróficos; si el contenido del sodio, respecto del calcio, hace que el SAR sea elevado, no sería adecuado emplear el agua en recuperar suelos, etc....

De entre las diferentes posibilidades de reutilización a las que puede destinarse el agua residual tratada en municipio de La Mancomunidad del Sureste, se han considerado las siguientes opciones:

1. Riego de Cultivos Preseleccionados
2. Riego de Parques Municipales
3. Riego de Jardines

4. Limpieza de calles y contenedores
5. Embellecimiento de Barrancos
6. Recuperación de suelos y montes
7. Servicio Anti-incendios
8. Control de Polvo

Es necesario insistir en que la principal preocupación, a la hora emplear este tipo de aguas, debe ser el cumplimiento de las exigencias microbiológicas con el fin de evitar la proliferación de focos infecciosos que pudieran afectar a la población. Si no existe un riesgo potencial de este tipo, el paso siguiente será estudiar cada uno de los diferentes destinos por separado, comprobando cual es la opción más restrictiva en el uso, y estimando las características del agua para las distintas posibilidades de reutilización.

3.7.1. Conclusiones extraídas del estudio de la caracterización del agua depurada en La Mancomunidad del Sureste:

No necesitan atención especial, por presentar una probabilidad de hallarse dentro de los límites establecidos, en un 98%° (98 por mil de las veces) , los parámetros que se indican a continuación:

- pH
- Nitrógeno Total
- Calcio
- Bicarbonatos
- Surfactantes aniónicos
- Boro
- Hierro
- Manganeso
- Cromo

REUTILIZACION DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

- Cobre
- Zinc

La probabilidad de superar el límite establecido en el resto de los parámetros es la siguiente:

Tabla 26. Probabilidad de superar los límites de diferentes parámetros. EDAR Sureste

Parámetro	%
Conductividad	2,87
DBO ₅	14,9
DQO	4,75
Fosfatos	39,7
Nitritos	16,1
N. Amoniacal	10
Sulfatos	11,1
Cloruros	31,2
Magnesio	4,4
Sodio	14,2
Potasio	9,9
Aceites y Grasas	4,9
SAR	1,7

SAR y Conductividad:

Ambos porcentajes son poco alarmantes al ser bajos, a esto se suma el hecho de que no existe gran oscilación entre los dos.

Se determina que existe riesgo de salinizar los suelos cuando los porcentajes de éstos parámetros superen el 5% y/o exista una diferencia considerable entre ellos.

Nitratos. Nitritos y Nitrógeno amoniacal:

La concentración media de Nitratos supera el límite establecido, por esta razón no se ha calculado el porcentaje de cumplimiento del límite, ya que se estima bajo.

El porcentaje de Nitritos es de 16.1 %, y el de Nitrógeno Amoniacal de 10%. Se hallan por debajo del 20% de probabilidad de superar los límites correspondientes.

Debemos considerar que las plantas asimilan el nitrógeno, fundamentalmente, en forma de nitratos; los nitritos se oxidan rápidamente a esta forma. Por otra parte, en el suelo el NH_4^+ se adhiere al complejo arcilloso-húmico mejorando la permeabilidad de éste, también puede transformarse en nitratos para ser utilizado por las plantas como nutriente en forma asimilable.

Las anteriores consideraciones permiten comprender que el contenido de estas sustancias, en aguas depuradas, es elevado al ser el resultado de la oxidación biológica. y que benefician a la planta al aportarle nitrógeno; pero es necesario cuidar no aplicar cantidades excesivas de nutriente nitrogenado cuando la planta se halla en proceso de desarrollo.

Las restricciones en este tipo de sustancias se deben a que su presencia en el agua, sin ser asimilado, favorece el crecimiento de algas y

otras series de microorganismos que producen un aumento en los procesos de eutrofización, por lo que no es conveniente tenerla almacenada durante mucho tiempo, ni expuesta a la luz.

Se concluye que, aunque el porcentaje de estas sustancias es elevado, no son motivo de restringir el uso del agua depurada como agua de riego, especialmente en plantas leguminosas las cuales contienen un alto contenido en N.

Fosfatos y Potasio:

Los porcentajes de fosfatos y potasio son 39.7 y 9.9 respectivamente

El potasio y el fósforo son, junto con el nitrógeno, los principales nutrientes para los vegetales.

La alta probabilidad del fósforo se debe a que se ha tomado el límite de la normativa de vertido, quizá muy estricta si se considera que las plantas asimilarán una parte elevada de esta sustancia. Por esto no es preocupante el hecho de que supere el 20 %, ya que si comparamos el valor medio obtenido de fósforo con otras plantas de la isla, que también reutilicen el agua en la agricultura, no encontraremos gran diferencia (ver tabla 32).

El potasio, al igual que el fósforo es asimilado por la planta con facilidad y en grandes cantidades ya que regula múltiples funciones. El porcentaje es inferior al 10 %, por ello no se considera que sea perjudicial.

Sodio y Magnesio:

Porcentaje de sodio y magnesio, respectivamente, 14.2 y 4.4 %.

Ya se ha explicado ampliamente como es la relación entre Sodio-Magnesio-Calcio. En esta caracterización, el porcentaje de error del Magnesio no es preocupante. El magnesio disuelto en el agua es utilizado por la planta para formar parte de la clorofila, por lo que interviene en la formación de hidratos de carbono. Es consumido en grandes dosis por la hortalizas y las leguminosas.

El sodio presenta un porcentaje de error que es necesario tener en cuenta, aunque no supere el 20%, especialmente cuando el agua se aplica a riego de:

- Millo
- Judía
- Almendro
- Melocotonero
- Cítricos
- Aguacates...

Pues se resienten con una salinidad elevada.

Es necesario controlar la aplicación del agua depurada combinándola con otras aguas de calidad superior.

Cloruros:

Al igual que el sodio, el cloro afecta a los cultivos en forma negativa ya que es tóxico a concentraciones elevadas. Una probabilidad del 31.2% referida a un límite de 350 mg/l es elevada, pero éste es bastante restrictivo.

REUTILIZACION DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

Por su sensibilidad a los cloruros hay que prestar especial atención y combinar con agua de calidad buena, cuando se aplique el agua depurada a cultivos de:

- Papas
- Frutales de Hueso
- Cítricos
- Aguacate....

Sulfatos:

El porcentaje para sulfatos, referido a 300 mg/l es de 11.1 %. No puede considerarse bueno pero tampoco presenta problemas si se trata con precaución al aplicar a cultivos de platanera y hortalizas como la lechuga.

Aceites y Grasas:

Para este parámetro se obtiene una probabilidad de superar el límite establecido en 10 mg/l, de 4,9 %.

No conviene creer que por no superar el 5 % puede considerarse bueno, puesto que la presencia de aceites y grasas lleva asociada la presencia de compuestos que pueden ser tóxicos para las plantas y perjudiciales para el suelo.

Conviene prestar mayor atención al contenido aceites y grasas y mejorar la retención de éstas, en el pretratamiento de la planta depuradora.

Sólidos en suspensión. DBO₅ y DQO:

La concentración media de Sólidos en suspensión supera el límite establecido en 30 mg/l

La DBO₅ presenta un porcentaje de error de 14.9 y la DQO de 4.75. (No debemos confundir las concentraciones con la probabilidad, por eso no es extraño que el grado de acierto de DQO, dentro de sus límites, sea mayor que el de DBO₅)

Al existir una concentración de sólidos suspendidos, por encima de los 30 mg /l, en varias de las muestras tomadas, favorece que la DBO también se halle por encima de los límites. La probabilidad de error de DQO no es alarmante, por esta misma razón.

Para evitar los problemas de obstrucciones en los sistemas de riego, por causa de sedimentación de sólidos o por obstrucción de los emisores, se instalará en la estación depuradora un sistema de filtros de arena.

En resumen:

Prestar atención cuando los riegos se realicen en zonas donde los cultivos presenten una especial sensibilidad a:

- Sodio, Cloruros y Sulfatos.

y en los sistemas de riego localizado a

- Sólidos en suspensión y DBO₅

3.7.1.1. Investigaciones previas: Proyecto Derea

Como respuesta a las necesidades de tratamiento de aguas para atender la necesidades del importantes sector agrícola a la vez que se aprovechan los recursos disponibles, surge el Centro de Investigación y Desarrollo PROYECTO DERE A (DEmostración en REutilización de Aguas), fruto de la colaboración entre la Dirección General de Calidad de Aguas del MOPTMA, la Consejería de Obras Públicas, Vivienda y Aguas del Gobierno Canario y de la Mancomunidad Intermunicipal del Sureste de Gran Canaria.

Este Centro se ubica en la EDAR del Sureste de la isla de Gran Canaria y su fin es el estudio y desarrollo de tratamientos terciarios avanzados en el campo de reutilización de las aguas tratadas.

La ubicación del mismo se definió por las características que ofrecía dicha comarca, con una demanda agrícola importante, una población en constante aumento y una zona industrial en desarrollo. Además su balance hídrico deficitario obliga a recurrir a recursos no convencionales para conseguir un desarrollo continuo y estable.

Los objetivos básicos del PROYECTO DERE A (Del Pino et al., 1995) fueron:

1.- Recopilación de información sobre la problemática de la reutilización, tratamientos, experiencias, reglamentación, etc. para la creación de un banco de datos sobre la materia.

2.- Experimentación a escala piloto, de los distintos procesos terciarios avanzados, cuyos resultados puedan extrapolarse a plantas de tamaño real.

REUTILIZACIÓN DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

3.- Difusión de la información surgida de la experimentación y sus resultados, en general, de la tecnología de la reutilización de aguas regeneradas.

4.- La aplicación práctica, a pequeña escala, con experiencias de regadíos en cultivos, que permita conocer el comportamiento y desarrollo de los mismos al aplicarles aguas regeneradas.

5.- Cooperar con los agricultores dotándoles de asistencia técnica para mejorar las condiciones de regadío con aguas regeneradas.

-4-El cumplimiento de los objetivos propuestos para el PROYECTO DERECA no se limita a la investigación de los sistemas o unidades ya instaladas en el mismo, sino que su propia dinámica exige que se experimente con otros sistemas de nuevas tecnologías y además se valore la eficacia de los tratamientos de depuración terciaria menos sofisticados.

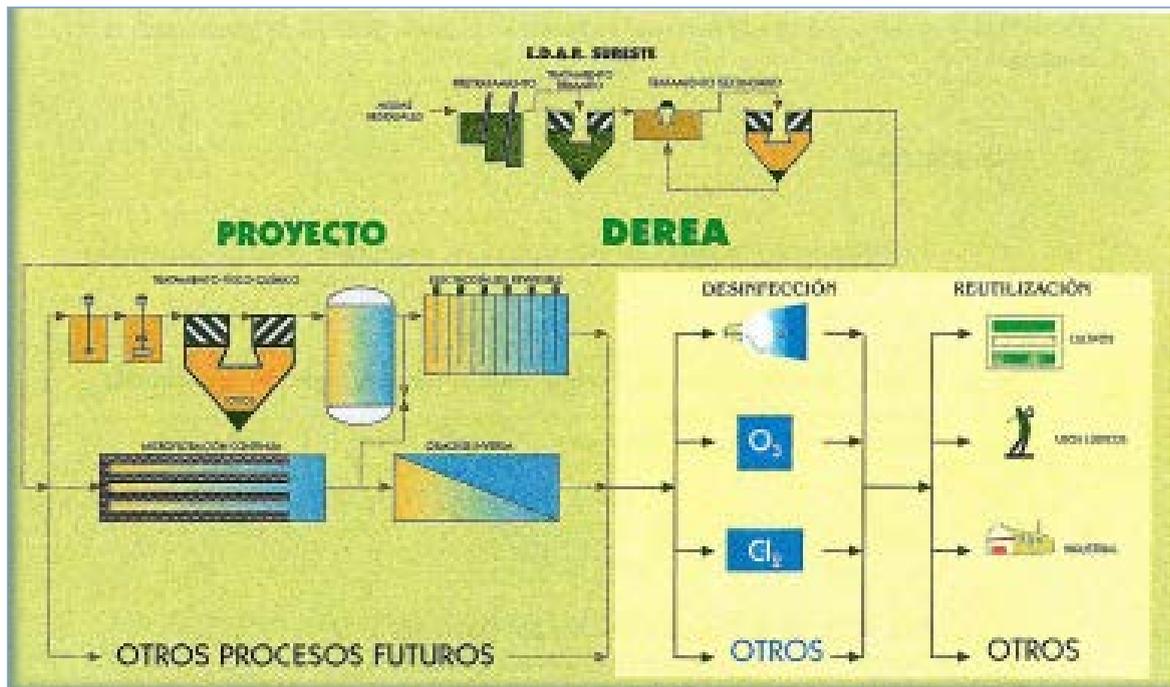


Figura 21. Esquema de tecnologías empleadas en el proyecto DERECA

1. La operación de la planta de Microfiltración continua tolera grandes variaciones de Sólidos en Suspensión (SS) en el agua de alimentación (SS: 100-200mg/L). La planta produce un agua producto prácticamente libre de SS ($> 1,0$ mg/L), Turbidez ($> 1,0$ NTU), y Coliformes Totales y Fecales, manteniendo el mismo nivel de Sólidos Disueltos, SAR, y nutrientes que en el agua de alimentación. La reducción de DBOs conseguida, es superior al 80%, obteniéndose un valor medio de 6 mg/l. El contenido de SS en el agua de alimentación afecta la frecuencia de las limpiezas químicas.

2. El tratamiento Físico-Químico a emplear depende de las características del agua de alimentación. Con el efluente de la EDAR de la Mancomunidad del SE de Gran Canaria el tratamiento más efectivo fue con cal, cloruro férrico y un polielectrolito fuertemente aniónico. Con este esquema de tratamiento, se consigue un agua producto con bajos niveles de DBOs (9 mg/l), Turbidez (4 NTU), Coliformes Fecales (31 colonias/100 ml), y Coliformes Totales (465 colonias/100 ml). El contenido en Sólidos Disueltos, Conductividad, y SAR es, sin embargo, superior al agua de alimentación.

En las experiencias realizadas, un sistema F/Q efectivo para producir agua de alimentación de calidad aceptable, para ser tratada por O1, requiere un efluente secundario estable y un sistema F/Q completo con cal y cloruro férrico a pH 10,5-11,0.

Este tratamiento por otra parte, requiere constantes análisis y ensayos para encontrar las dosificaciones y reactivos óptimos, por lo cual no es aconsejable en instalaciones pequeñas en las que no se disponga de laboratorio.

3. Tanto el agua producto de la planta Microfiltración Continua como del sistema de tratamiento Físico-Químico deben ser cloradas ($> 1,0$ mg/L Cloro Total) para evitar el crecimiento de biomasa en tuberías y depósitos de

agua producto. Esta simple cloración prolonga la vida de los filtros cartucho y disminuye el número de limpiezas químicas en las plantas de OI y EDR.

4. La alimentación a la planta de Osmosis Inversa fue en todo momento el agua tratada por microfiltración. El contenido de sólidos disueltos del agua producto de la OI se mantuvo siempre entre 56 y 171 mg/L (con un valor medio de 99 mg/l) y la conductividad entre 80 y 380 μ S/cm (con un valor medio de 156 μ S/cm), obteniéndose también un buen rendimiento en eliminación de DBOs y nutrientes. Debido a la alta alcalinidad del agua de alimentación (200-600 mg/l como CaCO_3) el consumo de H_2SO_4 fue elevado: 0,5-0,8 Kg/m³ de agua producto. El tratamiento con OI mejora considerablemente el SAR del agua tratada, y elimina prácticamente los Coliformes Totales y Fecales.

5. La operación de la planta de Electrodialisis Reversible fue muy flexible y toleró altos niveles de SS (40-60 mg/L) en el agua de alimentación. Sin embargo, estos niveles de SS originaron frecuentes cambios de filtros cartucho (10,0 μ ; 50 cm) y limpiezas químicas (con HCl y NaCl) lo que encarece el tratamiento. Los Sólidos Disueltos del agua producto se mantuvieron en todo momento entre 280 y 550 mg/L (con un valor medio de 400 mg/l), y la Conductividad entre 450 y 900 μ S/cm (con un valor medio de 630 μ S/cm). El SAR del agua producto de la EDR fue superior al SAR del agua producto de la OI. El contenido de Coliformes Fecales y Totales en el agua producto, es similar al del agua de alimentación del proceso. El contenido de Amoníaco, Nitratos y Fosfatos en las aguas producto de la EDR es superior al encontrado en las aguas productos de la OI. Esto tiene sus ventajas e inconvenientes y su aplicación en reutilización depende del cultivo a regar con las aguas producto de uno u otro proceso.

6. Respecto de la desinfección, los distintos procesos se comportan de la siguiente manera:

REUTILIZACION DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

-MFC: elimina Coliformes Totales y Fecales, y en general Patógenos de tamaño superior a 0,2 μ .

- F/Q: la desinfección del agua producto, depende principalmente de la dosis de cloro empleada en el mismo.

- Ósmosis inversa.: el agua producto, está libre de Patógenos, incluyendo los Virus.

- E.D.R.: /L.. No elimina Patógenos.

8. El coste de la Osmosis Inversa en los ensayos realizados resulta excesivo, especialmente el de ácido sulfúrico que alcanza valores fuera de lo normal, consecuencia de una gran variación en la alcalinidad del agua de aporte, y al uso de membranas de acetato de celulosa que requieren bajar el pH hasta valores de al menos 6. La utilización de membranas de poliamida aromática de última generación que permiten trabajar a pH superior a 7 y cuyo consumo energético es mucho menor, permitiendo reducir los costes totales.

3.7.1.1. Datos analíticos previos de las características del agua de la depuradora del Sureste

Tabla 27. Datos analíticos promedios afluente de la EDAR Sureste

PROMEDIOS ENTRADA EDAR DEL SURESTE 2010

	Ph	C.E. a 20°C	DQO	DBO ₅	Aceites y grasas	S.Totales	S. Disueltos	S. Suspensión	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	N _{TOTAL}	P _{TOTAL}	Al	Fe	SiO ₂	T.A.
	μS/cm	mg/l O ₂	mg/l O ₂	mg/l	g/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
ENERO	7,69	2200	771	578	38,7	1,48	1378	187	0,60	87,65	100,70	12,80	0,09	1,60	13,75	32,80
FEBRERO	7,60	2326	718	460	53,2	2,19	1957	205	0,68	61,00	70,90	12,28	0,11	1,34	8,88	28,17
MARZO	7,70	3043	804	523	51,0	1,90	1680	233	0,77	83,34	100,96	11,03	0,12	1,82	6,57	37,90
ABRIL	7,66	2189	920	670	48,5	1,48	1171	407	0,69	71,70	109,35	9,62	0,14	2,42	5,11	44,60
MAYO	7,74	2191	761	503	35,7	1,11	877	218	0,77	85,15	89,55	11,69	0,16	1,47	6,95	44,90
JUNIO	7,53	3089	1019	530	44,2	1,77	1556	241	0,66	77,10	102,05	8,86	0,12	1,56	13,43	38,60
JULIO	7,59	2834	731	480	40,0	1,64	1485	211	0,63	83,00	99,80	8,75	0,15	1,68	14,30	47,20
AGOSTO	7,58	3247	711	400	67,8	2,00	1669	230	0,80	69,55	77,90	10,35	0,18	1,92	11,70	46,70
SEPTIEMBRE	7,87	2119	733	454	49,5	1,16	976	200	0,49	82,05	81,75	13,30	0,14	1,37	11,15	37,00
OCTUBRE	7,95	2359	632	430	46,1	1,79	1463	229	0,34	75,40	88,45	10,85	0,14	1,63	11,67	23,70
NOVIEMBRE	7,64	3705	814	525	35,9	1,87	1492	366	0,85	101,65	123,80	13,50	0,19	1,47	13,90	54,20
DICIEMBRE	7,80	2977	822	496	53,4	1,81	1544	314	0,55	83,10	96,00	10,75	0,11	1,56	0,49	38,30
PROMEDIO	7,70	2689,91	786,21	504,03	46,99	1,68	1437,23	253,32	0,65	80,06	95,10	11,15	0,14	1,65	9,82	39,51
MÁXIMO	7,95	3705,24	1019,40	670,00	67,80	2,19	1956,50	406,80	0,85	101,65	123,80	13,50	0,19	2,42	14,30	54,20
MÍNIMO	7,53	2119,24	631,75	400,00	35,67	1,11	876,75	187,17	0,34	61,00	70,90	8,75	0,09	1,34	0,49	23,70

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

Tabla 28. Datos analíticos promedios reactores biológicos EDAR Sureste

PROMEDIOS SALIDA REACTOR EDAR DEL SURESTE 2010

	Ph		V 30		DQO mg/l O2		S. Totales		S. Suspensión		O2 mg/l	
	NORTE	SUR	NORTE	SUR	NORTE	SUR	NORTE	SUR	NORTE	SUR	NORTE	SUR
ENERO	7,25	7,24	641	390	155	177	3,57	3,24	2,92	2,74	0,19	0,21
FEBRERO	6,96	7,04	477	279	145	183	3,70	3,48	2,70	2,38	0,16	0,16
MARZO	7,12	7,17	454	314	142	151	3,87	3,30	2,70	2,36	0,10	0,08
ABRIL	7,12	7,17	454	314	142	151	3,87	3,30	2,70	2,36	0,10	0,08
MAYO	7,38	7,45	387	314	169	136	3,49	2,94	2,75	2,40	0,15	0,15
JUNIO	7,38	7,45	387	314	169	136	3,49	2,94	2,75	2,40	0,15	0,15
JULIO	7,16	7,35	513	402	108	112	3,50	3,00	2,61	2,30	0,10	0,08
AGOSTO	7,27	7,24	366	317	107	93	2,84	2,64	2,00	1,76	0,22	0,22
SEPTIEMBRE	7,37	7,46	378	293	140	130	2,84	2,59	2,40	1,75	0,27	0,31
OCTUBRE	7,54	7,53	331	343	116	174	2,88	3,35	2,50	2,52	0,25	0,36
NOVIEMBRE	7,37	7,38	429	362	168	146	3,17	3,59	2,64	2,49	0,53	0,56
DICIEMBRE	7,24	7,31	421	361	177	121	2,67	2,57	2,04	1,92	0,26	0,24
PROMEDIO	7,26	7,32	436,45	333,57	144,51	142,38	3,32	3,08	2,56	2,28	0,21	0,22
MÁXIMO	7,54	7,53	640,53	402,27	176,76	182,75	3,87	3,59	2,92	2,74	0,53	0,56
MÍNIMO	6,96	7,04	331,32	279,00	106,65	92,90	2,67	2,57	2,00	1,75	0,10	0,08

Tabla 29. Datos analíticos promedios secundarios EDAR Sureste

PROMEDIOS SECUNDARIO EDAR DEL SURESTE 2010

	Ph	C.E. a 20°C	DQO	DBO ₅	S.Totales	S. Disueltos	S. Suspensión	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	N _{TOTAL}	P _{TOTAL}	Al	Fe	SiO ₂	S ⁻²
	μS/cm	mg/l O ₂	mg/l O ₂	mg/l	g/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
ENERO	7,32	1550	86	21	0,85	822	22	0,16	52,45	54,75	4,16	0,04	0,26	12,21	0,04
FEBRERO	7,14	1510	73	21	1,01	987	20	1,19	29,60	36,37	2,74	0,03	0,21	8,66	0,05
MARZO	7,24	1655	80	22	1,03	1003	22	0,60	40,84	54,40	4,60	0,04	0,28	6,00	0,04
ABRIL	7,33	1484	86	21	0,90	880	22	0,26	40,80	51,78	1,61	0,05	0,26	5,48	0,04
MAYO	7,47	1587	97	23	0,81	787	22	0,22	46,68	48,05	1,54	0,06	0,22	5,70	0,05
JUNIO	7,44	1723	89	22	0,88	854	24	0,21	49,25	52,43	1,44	0,07	0,26	13,35	0,038
JULIO	7,44	1786	79	20	1,03	1011	21	0,26	41,25	43,75	0,96	0,06	0,27	13,25	0,06
AGOSTO	7,34	1814	68	17	0,90	874	24	0,53	28,50	31,88	3,63	0,06	0,33	13,35	0,05
SEPTIEMBRE	7,42	1536	67	18	0,89	878	13	0,28	33,00	35,15	7,94	0,14	9,85	6,33	0,07
OCTUBRE	7,61	1600	82	19	1,02	997	19	0,55	53,25	54,40	1,33	0,06	0,25	12,86	0,05
NOVIEMBRE	7,46	1811	84	20	1,07	1049	22	0,16	53,50	58,15	1,31	0,08	0,28	13,15	0,06
DICIEMBRE	7,29	1479	68	20	0,91	886	18	1,78	26,95	35,45	0,79	0,05	0,17	0,46	0,06
PROMEDIO	7,37	1627,88	79,97	20,31	0,94	918,93	20,77	0,52	41,34	46,38	2,67	0,06	1,05	9,23	0,05
MÁXIMO	7,61	1814,36	97,20	23,42	1,07	1048,80	24,18	1,78	53,50	58,15	7,94	0,14	9,85	13,35	0,07
MÍNIMO	7,14	1479,17	66,90	17,11	0,81	786,63	12,90	0,16	26,95	31,88	0,79	0,03	0,17	0,46	0,04

REUTILIZACION DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

Tabla 30. Datos analíticos promedios Serpentín de cloración EDAR Sureste

PROMEDIOS DEPÓSITO DE CLORACIÓN (SERPENTÍN) / EDAR DEL SURESTE 2010						
	pH	CE a 20°C (μS/cm)	Turbidez NTU	DQO mg/l O2	DBO5 mg/l O2	S. Suspensión mg/l
ENERO	7,37	1624	10,66	79,5	15,3	15
FEBRERO	7,13	1485	10,82	70,0	20,8	18
MARZO	7,35	1595	12,02	78,9	17,0	14
ABRIL	7,36	1513	12,40	64,6	10,8	16
MAYO	7,20	1573	11,46	69,7	12,0	11
JUNIO	7,31	1549	12,94	64,8	16,0	16
JULIO	7,30	1569	12,50	64,1	11,5	14
AGOSTO	7,34	1757	11,64	77,6	16,4	19
SEPTIEMBRE	7,29	1542	9,19	72,4	10,0	17
OCTUBRE	7,46	1595	9,97	92,3	16,0	15
NOVIEMBRE	7,53	1845	12,00	51,5	18,2	20
DICIEMBRE	7,28	1460	9,39	68,8	16,2	17
PROMEDIO	7,33	1592,14	11,25	71,17	15,00	15,93
MÁXIMO	7,53	1845,10	12,94	92,25	20,75	19,95
MÍNIMO	7,13	1459,94	9,19	51,46	10,00	10,62

REUTILIZACION DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

Tabla 31. Datos analíticos promedios Emisario Edar Sureste

EMISARIO DE LA E.D.A.R DEL SURESTE AÑO 2010															
		13-01-10	10-02-10	10-03-10	07-04-10	12-05-10	29-06-10	07-07-10	04-08-10	15-09-10	06-10-10	03-11-10	01-12-10	Norma 1	Norma 2
Calcio	mg/l Ca	27	....	23	....	27	....	23	....	29	....	25	....	....
Conduct. 25 °C	µS/cm	1757	1746	1637	1691	1801	2190	1.689	1.796	2.250	1.860	1.965	1.189	....
DQO	mg/l O ₂	< 100	137	104	108	< 100	124	< 100	138	< 100	119	135	120	<160	125mg/l ó 75%red
Fosfatos	mg/l PO ₄ ³⁻	1,76	3,79	2,39	2,61	3,27	2,31	2,8	3,3	7	3	2,5	1,5	....
Mat. Sedim.	ml/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	<0,5	
Oxig. Disuelto	mg/l O ₂	5,6	5,44	6,09	3,28	5,44	2,74	4,19	5,09	5,87	2,69	4,19	5,05	....
pH		7,4	6,8	7,2	7,6	7,8	7,5	7,6	7,5	7,6	7,6	7,5	7,3	5,5-9,5	
Sól. Susp	mg/l	11,5	8	13	5,8	18,6	11,5	11	14	10	6	14,5	22,5	<30	35mg/l ó 90%red
Aceites y gr.	mg/l	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	4,6	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	2,8	20	
Aluminio	mg/l Al	0,052	....	0,679	....	0,141	....	0,536	....	0,918	....	3,32	....	1	
Amonio	mg/l NH ₄ ⁺	52,1	59,2	46,5	50,5	70,6	64	56,6	49,7	52,6	62,3	70,7	22,7	15	
Arsénico	mg/l As	< 0,025	....	< 0,025	....	< 0,025	....	< 0,025	....	< 0,025	....	< 0,025	....	0,5	
Cadmio	mg/l Cd	< 0,004	....	< 0,004	....	< 0,004	....	< 0,004	....	< 0,004	....	< 0,004	....	0,1	
Fósforo total	mg/l P	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
Cianuros	mg/l CN ⁻	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,5	
Cobre	mg/l Cu	< 0,05	....	< 0,05	....	< 0,05	....	< 0,05	....	< 0,05	....	< 0,05	....	0,2	
Color	Pt-Co	196	....	41	....	86	....	130	....	86	....	71	....	....
COT	mg/l C	14	77	22	30	42	< 10	< 10	15	19,8	29	36	47	....
Cromo	mg/l Cr	< 0,01	....	< 0,01	....	< 0,01	....	< 0,01	....	< 0,01	....	< 0,01	....	2,2	
DBO	mg/l O ₂	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	35,8	27	< 25	26	28	<30	25mg/l ó 70-90%red
Ecotoxicidad	Equitox/m ³	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	....
Fenoles	mg/l	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,5	
Fluoruros	mg/l F ⁻	0,26	....	0,3	....	< 0,01	....	0,36	....	0,48	....	0,4	....	....
H. alifáticos	mg/l	< 0,2	....	< 0,2	....	< 0,2	....	< 0,2	....	< 0,2	....	< 0,2	....	....
HAP's	µg/l	< 0,01	....	< 0,01	....	0,068	....	< 0,01	....	< 0,01	....	< 0,01	....	....
Hierro	mg/l Fe	0,401	....	0,239	....	0,266	....	0,276	....	0,147	....	0,188	....	2	
Manganeso	mg/l Mn	0,04	....	0,062	....	0,026	....	0,073	....	0,076	....	0,075	....	2	
Mercurio	µg/l Hg	< 0,5	....	< 0,5	....	< 0,5	....	< 0,5	....	< 0,5	....	< 0,5	....	0,05 mg/l	
Níquel	mg/l Ni	< 0,05	....	< 0,05	....	< 0,05	....	< 0,05	....	< 0,05	....	< 0,05	....	2	
Nitrógeno total	mg/l N	46,6	59,1	39	41,6	51,4	49,8	44,6	38,6	40,8	46	54,4	18,2	....
Pest.(Organclor)	µg/l	0,02	....	0,141	....	0,215	....	0,26	....	0,167	....	0,158	....	0,05 mg/l	
Piomo	mg/l Pb	< 0,05	....	< 0,05	....	< 0,05	....	< 0,05	....	< 0,05	....	< 0,05	....	0,2	
Sulfatos	mg/l SO ₄ ²⁻	88	....	49	....	91	....	87	....	86	....	57	....	2000	
Sulfuros	mg/l S ²⁻	0,03	....	0,039	....	0,024	....	< 0,001	....	< 0,001	....	0,005	....	1	
Temperatura	°C	19,6	19,2	19,6	19,6	19,9	19,6	19,6	19,1	19,3	20,7	19,6	19,1	....
Vanadio	mg/l V	< 0,25	....	< 0,25	....	< 0,25	....	< 0,25	....	< 0,25	....	< 0,25	....	....
Zinc	mg/l Zn	1,21	....	0,61	....	< 0,01	....	0,134	....	0,158	....	0,086	....	3	
Estaño	mg/l Sn	< 0,05	....	< 0,05	....	< 0,05	....	< 0,05	....	< 0,05	....	< 0,05	....	10 mg/l	
Molibdeno	mg/l Mo	< 0,02	....	< 0,02	....	< 0,02	....	< 0,02	....	< 0,02	....	< 0,02	....	....
Plata	mg/l Ag	< 0,01	....	< 0,01	....	< 0,01	....	< 0,01	....	< 0,01	....	0,043	....	....
Titanio	mg/l Ti	< 0,02	....	< 0,02	....	< 0,02	....	< 0,02	....	< 0,02	....	< 0,02	....	....

Norma (1): Decreto 174/1994, de 29 de Julio, de Vertidos para la Protección del Dominio Público Hidráulico. BOC 104.

Norma (2): RD-ley 11/1995, de 28 de Diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.

mg/l

3.7.2. Otras EDAR donde se reutiliza el agua depurada:

El Consorcio Insular de Aprovechamiento de Aguas depuradas de Gran Canaria, ha publicado un documento técnico sobre la Depuración aguas, en el que se recogen los datos de algunas Plantas Depuradoras.

Tabla 32. Resumen de los análisis de agua depurada varias EDAR de Gran Canaria

Parámetro	unidad	Arucas (*)	Gáldar	Moya	Firgas
PH	1-14	7,8	7,7	7,7	7,3
Eca	dS /m	2,2	1,6	2	1,3
Ca ²⁺	mg/l	82	37,6	73,5	29
Mg ²⁺	mg/l	81	38,4	75	38
Na ⁺	mg/l	304	216,3	270	188
K ⁺	mg/l	100,8	73,8	53,4	42
NH ₄ ⁺	mg/l	6,5	20,4	1	0,5
HCO ₃ ⁻	mg/l	647	459	455,4	175
Cl ⁻	mg/l	390	209	151	153
SO ₄ ²⁻	mg/l	159	125,7	177	115
PO ₄ ³⁻	mg/l	51,5	58,4	69	60
NO ₃ ⁻	mg/l	54,3	82,2	360	240
NO ₂ ⁻	mg/l	23	23,6	1,3	0,6
SAR		5,7	6,3	5,3	5,4

(*) No se reutiliza el agua de esta planta.

Es difícil establecer relaciones entre depuradoras diferentes, ya que las características del agua bruta varían de un municipio a otro. A pesar de esto, pueden emplearse los datos de otras estaciones que reutilizan el agua, como punto de comparación. En el caso de empleo como agua de riego es de interés guiarse por los datos suministrados en la tabla 3.7, acerca de la calidad de las aguas de riego, valorando el agua regenerada para dicha finalidad.

Según esta tabla se deduce que:

1. Para estudiar los problemas de salinidad e infiltración:

La relación entre el SAR y la Conductividad es adecuada, además de no ser necesario realizar restricciones en el uso de ésta.

$$\text{SAR (6-12)} \Rightarrow \text{Eca (>1,9 dS /m)}$$

2. El Intervalo de pH es adecuado, ya que se halla entre los límites de 6,5-8,5

$$\text{pH} = 6,975$$

3. Respecto a presencia de iones tóxicos, Cl, Na, y B:

$$\text{SAR} = 8.1$$

Na : SAR (3-9) \Rightarrow Restricción Media;

$$\text{C1} = 8.5 \text{ meq./l}$$

$$\text{Cl} : (4 - 10 \text{ meq./l}) \Rightarrow \quad " \quad "$$

$$\text{B} = 1,37 \text{ mg/l}$$

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

B : (0, 7-3 mg/l) ⇒ “ “

Según estos resultados de restricción al agua depurada, para uso como agua de riego, se deduce que el agua no podrá emplearse de forma continua, ya que existe el riesgo de toxicidad

4. La concentración de bicarbonatos (168,1 mg/l), expresada en meq./l, supone que el uso del agua también sea medianamente restringido:

$$\text{HCO}_3^- = 2,75 \text{ meq/l}$$

-Bicarbonatos : (1,5-8,5 meq./l) ⇒ Restricción media ;

Este valor se sitúa próximo al límite inferior, por lo que dicha restricción no será en grado estricto.

5. En cuanto a la concentración de Nitratos debe hacerse que las restricciones altas se llevan a cabo cuando se superan los 135 mg/l.

$$\text{NO}_3^- = 196 \text{ mg/l}$$

- Nitratos (> 135 mg/l) ⇒ Restricción alta;

Esto se debe a que el aporte en nitrógeno, en forma asimilable, puede llegar a ser excesivo en aquellas plantas que se estén en período de desarrollo por lo cual las restricciones que se establecen deben ser estudiadas según las necesidades de aporte de nutrientes.

Concluyendo:

Aunque el riesgo de problemas de salinidad e infiltración del agua no es preocupante, el riesgo de toxicidad para los vegetales puede ir en aumento si se efectúan riegos muy continuados.

Por estas razones el uso del agua depurada en la EDAR de La Mancomunidad del Sureste, como agua de riego es posible, según la tabla 3.7, pero con ciertas restricciones, lo cual se traduce en la realización de riegos alternados o intercalados, y/o realizando mezclas de aguas de diferentes calidades, tal y como se explicará más adelante.

Aunque los valores de la tabla 3.7 sirven de guía para evaluar un agua de riego, no deben tomarse como valores inmóviles. Para verificar si un agua es adecuada han de realizarse estudios en plantas piloto, comprobando cómo evolucionan las plantas y analizando el suelo para garantizar la ausencia de problemas.

Por esta razón se ha seleccionado, como objetivo de reutilización del agua tratada, el riego en cultivos preseleccionados, ya que el agua regenerada puede ser admitida por varios cultivos pero ser perjudicial para otros más sensibles. Debido a la variedad de cultivos que se encuentran en el municipio, sería conveniente realizar estos estudio piloto.

El objetivo final es el de poder atender las necesidades hídricas de todos los cultivos del Sureste de Gran Canaria, tomando las medidas necesarias para que las características del agua reutilizada sean compatibles con cada uno de los tipos de cultivos.

3.8. Distribución del terreno y tipos de cultivos de la zona;

En una primera fase debemos atender las demandas de los cultivos que se encuentran a una cota inferior a 200 metros, teniendo en cuenta que disponemos de infraestructuras para atender toda esta zona. Corresponde esta cota con la de ubicación del depósito de distribución de aguas reutilizadas de El Cabezo, el cual se alimenta directamente desde la estación de bombeo de la EDAR Sureste. Los cultivos actuales que se encuentran en esta zona, están destinados fundamentalmente a la exportación y corresponden a:

- Tomates
- Pepinos
- Plátanos
- Plantas ornamentales
- En menor medida pimientos.

Para mercado interior, es decir autoconsumo también tenemos además de los expuestos:

- Habichuelas
- Cítricos
- Papayas

Con respecto a una segunda fase atenderíamos los cultivos de medianías, que actualmente se abastecen con aguas de la desaladora de agua de mar del sureste, nacientes y extracciones del acuífero. Los cultivos que tenemos en esta zona son los mismos expuestos para cotas inferiores a 200 metros y además los siguientes:

- Vides
- Aguacates
- Almendros
- Mangos

REUTILIZACION DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

- Papas
- Maíz
- Cebollas
- Leguminosas
- Forrajeras en general.

En ambos casos no nos olvidamos de la atención a servicios públicos descritos en anteriores apartados: jardinería, limpieza de calles, redes contra-incendios, etc.

En el siguiente gráfico se exponen los consumos de acuerdo con el ISTAC, pero en la posterior tabla, se calcula los datos:

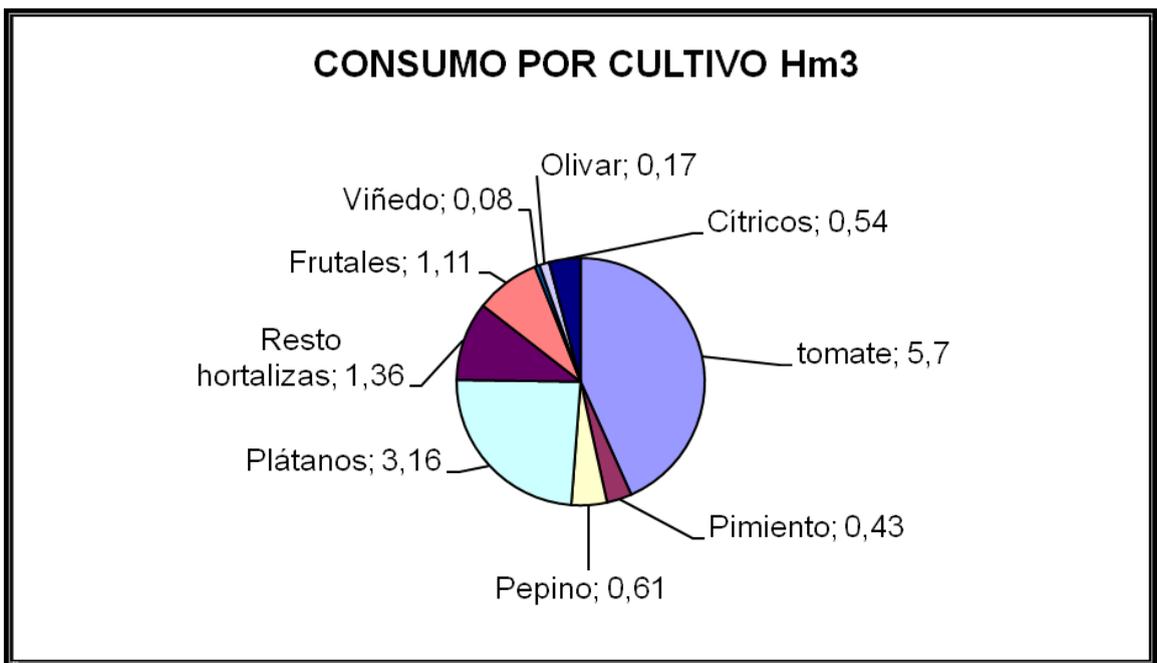


Figura 22. Consumo de agua por cultivo en el Sureste de Gran Canaria
Fuente ISTAC.

REUTILIZACION DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

Los datos de la tabla siguiente están calculados con los siguientes parámetros:

- Evapotranspiración media diaria según estación meteorológica de Pozo Izquierdo.
- Coeficientes de cultivo (consumo teórico según etapa de desarrollo) publicado por la FAO.
- Datos sobre superficies según ISTAC.

Tabla 33. Consumo de agua en la comarca del Sureste para usos agrícola

(fórmula FAO Penman-Monteith Eto)

CULTIVOS	Eto 4,78	Etapas de crecimiento del cultivo						Duración cultivo días	Consumo mm	Superficie (Ha) cultivadas comarca	Consumo de agua (m ³ /año)	Hm ³ / año
		Inic y desarrollo		Media		Final						
		días	Kc	días	Kc	días	Kc					
Maiz grano	ESTACION METEOROLÓGICA SANTA LUCIA (GC03)	70	0,3	50	1,2	30	0,35	150	437,37	24	104.968,80	0,10
Leguminosas grano		50	0,4	40	1,15	20	0,35	110	348,94	4	13.957,60	0,01
Papas		55	0,5	30	1,15	30	0,75	115	403,91	25	100.977,50	0,10
Industriales		90	1	90	1	90	1	270	1.290,60	4	51.624,00	0,05
Ornamentales		90	1	90	1	90	1	270	1.290,60	20	258.120,00	0,26
Forrajes		30	0,3	20	1,2	10	0,35	60	174,47	21	36.638,70	0,04
Col		55	0,7	25	1,05	10	0,95	90	354,92	15	53.237,25	0,05
Lechuga		50	0,7	15	1	10	0,95	75	284,41	14	39.817,40	0,04
Sandía		50	0,4	30	1	30	0,75	110	346,55	5	17.327,50	0,02
Melón		55	0,5	40	1,05	20	0,75	115	403,91	11	44.430,10	0,04
Espinaca		40	0,7	15	1	5	0,95	60	228,25	1	2.282,45	0,00
Calabaza		50	0,5	30	1	20	0,8	100	339,38	17	57.694,60	0,06
Calabacín		55	0,5	25	0,95	15	0,75	95	298,75	42	125.475,00	0,13
Pepino		50	0,6	40	1	15	0,75	105	388,38	125	485.468,75	0,49
Pepinillo		50	0,6	40	1	15	0,75	105	388,38	1	3.883,75	0,00
Berenjena		75	0,6	40	1,05	25	0,9	140	523,41	22	115.150,20	0,12
Tomate asurcado		80	0,6	70	1,15	30	0,9	180	743,29	63	468.272,70	0,47
Tomate exportación		80	0,6	70	1,15	30	0,9	180	743,29	543	4.036.064,70	4,04

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

Pimiento	70	0,6	110	1,15	30	0,9	210	934,49	36	336.416,40	0,34
Ajo	55	0,7	110	1	45	0,7	210	860,40	2	17.208,00	0,02
Coliflor	85	0,7	40	1,05	15	0,95	140	553,29	9	49.795,65	0,05
Cebolla	55	0,7	110	1,05	45	0,75	210	897,45	5	44.872,25	0,04
Cebolleta	55	0,7	110	1,05	45	0,75	210	897,45	2	17.948,90	0,02
Puerro	55	0,7	110	1,05	45	0,75	210	897,45	4	35.897,80	0,04
Zanahoria	50	0,7	30	1,05	20	0,95	100	408,69	7	28.608,30	0,03
Habichuelas	50	0,4	30	1,15	10	0,35	90	277,24	28	77.627,20	0,08
Guisante verde	50	0,5	35	1,15	20	1,1	105	417,06	2	8.341,10	0,01
Haba verde	50	0,5	35	1,15	15	0,3	100	333,41	2	6.668,10	0,01
Otras hortalizas	50	0,7	30	1,05	20	0,95	100	408,69	26	106.259,40	0,11
Total herbaceos											6,75
Plátanos	180	1	180	1,2	5	1,1	365	1.919,17	130	2.494.921,00	2,49
Cítricos	150	0,75	120	0,7	95	0,7	365	1.257,14	34	427.427,60	0,43
Frutales	90	0,8	90	1,15	30	0,9	210	967,95	91	880.834,50	0,88
Viñedo	70	0,3	90	0,7	20	0,45	180	444,54	14	62.235,60	0,06
Olivar	110	0,65	60	0,7	90	0,7	260	843,67	16	134.987,20	0,13
Total leñosos											4,00
Total Hm³/año											10,75

En Resumen:

Para la aplicación del agua depurada, como agua de riego, debe estudiarse el tipo de cultivo al que se aplica. Por esta razón se estudian los cultivos de la zona, revelando este estudio que

- En lo que a cultivos de leguminosa y tubérculos, (tipo A), destacamos que debe preverse el efecto del sodio y de los cloruros, por lo que no se recomiendan riegos continuados de éste tipo de aguas. Sin embargo el contenido en Nitrógeno asimilable y Potasio es beneficioso

- Teniendo en cuenta que la cantidad de Leñosos es importante, la situación es similar al caso anterior ya que sodio y cloruros perjudican a los cítricos, al aguacate al almendro....

- Lo Herbáceos, a excepción de las hortalizas, son resistentes al agua con concentración alta de sales, así podría aprovecharse el agua depurada en cultivos forrajeros y leguminosas como la alfalfa.

3.9 Normas de control del uso de aguas depuradas, como agua de riego, en otros zonas del mundo:

En otras regiones del planeta, con amplia experiencia en la reutilización de las aguas depuradas, se recogen las indicaciones que se expresan a continuación:

Tabla 34. Normas sobre reutilización de agua depurada en el mu otras zonas

Cultivo	California	Israel	África del Sur	Alemania RF
Huertos y viñas	Efluente primario No aspersión No usar frutos caídos	Efluente secundario	Efluente terciario + cloración No aspersión	No regar por aspersión en la vecindad
Cultivos de fibra y semillas	Efluente primario Regar por surcos o aspersión	Efluente secundario No regar cultivos de semillas de hortalizas comestibles	Efluente terciario	Pretratamiento y sedimentador Trat. Biológico + cloración si aspersión
Cultivos consumo humano (eliminación de patógenos)	Por superficie: efluente primario Por aspersión: Trat. Secundario + cloración <23coli/100 ml	Desinfección: Hortalizas: <1000coli/100 ml (80 % muestras)	Efluente terciario	No regar durante las 4 semanas antes de la cosecha

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

Cultivos que se consumen crudos	Por superficie: <23coli/100 ml Por aspersión: Desinfectar y filtrar	Regar solo frutas que se pelen		No regar las papas y cereales después de la floración
---------------------------------	--	--------------------------------	--	---

Fuente: WHO (1973)

La Organización Mundial de la Salud sugiere un tratamiento determinado, de las aguas residuales, para cada tipo de cultivo que se disponga. Estas sugerencias se recogen en la tabla 3.9 que sigue a continuación:

Tabla 35. Tipos de tratamiento para reutilización en riegos

	Directo	Cocinado	Crudos	Sin contacto	Con contacto
Criterio de salud *	1+4	2 + 4 o 3 + 4	3+4	2	3+5
Trat. primario	esencial	Esencial	esencial	esencial	esencial
Trat. secundario	esencial	Esencial	esencial	esencial	esencial
Filtración - arena	----	Ocasional	ocasional	----	esencial
Desinfección	----	Ocasional	esencial	ocasional	esencial

Criterios de salud*:

Los números que se indican en el cuadro indican lo siguiente:

- 1 : Libre de sólidos grandes, y eliminación de huevos de parásitos
- 2 : Lo indicado en 1 más la eliminación significativa de bacterias

3: No se permite más de 100 organismos coliformes por 100 ml en el 80% de las muestras

4: No se permite elementos químicos que dejen residuos indeseables en los cultivos

5: No se permiten sustancias químicas que puedan afectar a las mucosas o a la piel.

El riego con aguas residuales tratadas puede producir diferentes contaminaciones, en el aire, en el suelo, en las plantas. Todo dependerá de la magnitud de la carga contaminante de ésta a la salida del tratamiento, del clima predominante, del tipo de cultivo regado, y del sistema de riego .

Si los terrenos y cultivos son adecuados, los efluentes se aplicaran por surcos para no contaminar el aire o la zona superior de las plantas. La subirrigación por tuberías y el riego por goteo son lo más seguros para evitar éstos efectos negativos, sin embargo su elevado coste si se emplea a gran escala, limitan su viabilidad.

Un problema adicional es la facilidad de obstrucción de los emisores de agua y de tuberías por los diferentes sedimentos y desarrollos microbianos.

El riego por aspersión es el sistema que, potencialmente, tiene mayor capacidad para provocar la contaminación microbiana del aire y de los cultivos.

En términos cuantitativos, la cantidad de aguas residuales disponibles para el riego son pequeñas, pero las consecuencias de su uso son de gran importancia tanto económica, ambiental y social. Por esta razón esta justificada el realizar estudios exhaustivo del uso de dichas aguas.

3.10. Particularidades del cultivo de Cítricos:

3.10.1. Generalidades:

Los agrios son una de las plantas más resistentes a la escasez de agua, aunque también son consideradas como plantas exigentes según qué momentos. Los momentos en los que el agua es más necesaria son:

- Transplantes y arraigos
- Brotación
- Floración
- Cuajado
- Engorde del fruto cuajado

La carencia de agua en estos estadios puede producir deficiencias o trastornos, es por esta razón que el sistema de riego debe ser adecuado .

El riego por manta tiene un rendimiento del 60% mientras que por aspersión alcanza el 85 %, pero la conveniencia del empleo de uno u otro sistema de riego dependerá de ciertas circunstancias tales como:

Textura del terreno, Calidad y Cantidad del agua disponible...

Para el cálculo de las necesidades de riego FAO propone la expresión siguiente:

$$Etc = Eto * Kc$$

$$ETc = \text{Necesidades hídricas}$$

E_{To} = Evapotranspiración en una zona determinada. - K_c = Coeficiente de cultivo

Disponiendo de un tanque evaporímetro, se puede llevar un seguimiento de las evapotranspiraciones, siendo entonces:

- Estanque = lectura de la lámina evaporada en tanque (mm) - K_p = Coeficiente de tabla Doorenbos y Pruitt

A las necesidades de agua hay que multiplicarle el factor $1 / (1 - LR)$, siendo, LR el requerimiento de agua para el lavado:

$$E_{to} = E_{\text{tanque}} * K_p$$

Estanque = lectura de la lámina evaporada en tanque (mm)

K_p = Coeficiente de tabla Doorenbos y Pruitt

A las necesidades de agua hay que multiplicarle el factor $1/(1-LR)$, siendo, LR el requerimiento de agua para el lavado:

$$LR = CE_{\text{agua de riego}} / 2 * CE_{\text{máxima}}$$

La $CE_{\text{máxima}}$ para cítricos = 8 mmhos / Cm.

Las necesidades de nutrientes aportados por medio de riego por sistema localizado, por Kg de producción a fijar, será de

- Nitrógeno = 6 g Kg de producción
- Fósforo = 2-3 g /Kg de producción
- Potasio = 2.5 - 4 g / Kg de producción
- Magnesio = 15-18 Kg /Ha

3.10.2. Deficiencias y Toxicidad de minerales:

Como todos los vegetales, la carencia o exceso de minerales puede producir afecciones en el crecimiento y desarrollo de la misma.

La deficiencias de algunos de estos minerales pueden detectarse por los efectos evidentes que se producen en la planta:

BORO

Su carencia genera frutos pequeños , duros, deformes con las piel más gruesa y puede evitarse mediante la aplicación de Bórax como abono.

El exceso de boro produce un amarillamiento de los nervios foliares desde el ápice, por los márgenes se extiende hasta el interior de la hoja. El exceso de boro se elimina con riegos abundantes o con agua de lluvias.

CALCIO

Su deficiencia es rara, pero es capaz de reducir sensiblemente las cosechas.

COBRE

Se suele presentar alteraciones en las plantas jóvenes, cuando la carencia de cobre es notable, ya que crecen excesivamente dando lugar a hojas largas y ramas esbeltas.

La toxicidad por cobre se traduce en danos a las raíces. Puede evitarse este efecto manteniendo los suelos a un pH de 6 - 6.5.

HIERRO



Figura 23. Deficiencia en hierro

La deficiencia de hierro se detecta por la clorosis de las hojas, apareciendo primero en las hojas más jóvenes; el limbo toma color amarillento o claro menos la zona de los nervios que permanece de color verde oscuro.

Síntomas

- La clorosis férrica se manifiesta primero en las hojas jóvenes. Éstas, se ven amarillas menos los nervios que permanecen verdes. Más tarde, quedarán casi totalmente amarillas. También en las hojas viejas aparecen síntomas de amarilleo. Después las hojas se arrugan y caen.
- No es una clorosis uniforme. Por ejemplo, se puede ver en la misma planta ramas con clorosis bastante fuerte junto a otras ramas sanas.
- Hay especies vegetales más sensibles que otras a la falta de Hierro. Por ej., el Naranja lo acusa, pero el Olivo no tiene este problema. Sensibilidad a clorosis tienen Callistemon, Hibisco, Nandina, Camelia, Hortensia, Gardenia, Rododendro... entre otras muchísimas plantas,

Causas

- Normalmente las carencias aparecen a causa de un bloqueo del Hierro en el suelo debido al pH.
- En los suelos calizos (es decir, que tienen mucha cal, pH alto) el Hierro está bastante insoluble, es decir como mineral (imagínate una piedrecita por así decirlo), no disuelto en agua, y por tanto, no absorbible por las raíces

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

- Por ello, en un suelo calizo, que casi siempre tendrá el pH mayor de 7,5, hay muchas posibilidades de que aparezca este problema.
- Una Azalea, una Hortensia, un Naranja, un Roble, etc. plantados en estos suelos alcalinos (pH mayor de 7.5) es probable que sufran la llamada clorosis férrica.
- Otra causa, aparte de los suelos alcalinos, es regar con aguas calcáreas, particularmente en macetas. El riego con aguas duras, termina alcalinizando el sustrato y bloqueando el Hierro y otros micronutrientes.
- En frutales, a los 2-3 años de la plantación cuando la raíz llega a la capa caliza del subsuelo es cuando se muestran los síntomas.

Solución

- Prevenir. Averigua el pH o el contenido en caliza de tu suelo y si el pH es mayor de 7 o el nivel de caliza es alto, es mejor que NO PLANTES ninguna de las especies de las llamadas acidófilas o calcífugas

Quelatos

- Cuando se produce esta carencia, la cura más eficaz es dar a la planta **quelatos de Hierro**, que es un fertilizante especialmente diseñado para estos casos. Los *quelatos de hierro*, o de otros Micronutrientes, se caracterizan por tener una estructura química que evita su insolubilización en el suelo, están como "protegidos" del bloqueo del pH alcalino.
- Hay quelatos por vía radicular y por vía foliar. Los vía foliar, es decir, pulverizándolo sobre las hojas (abonos líquidos) van bien, las hojas se vuelven verdes en 24 horas o pocos días. Respeta la dosis indicada para no provocar quemaduras.
- Los abonos foliares resultan muy interesantes para Micronutrientes (Hierro,

Cobre, Manganese, Zinc, Boro, Molibdeno) porque la planta necesita pequeñas cantidades, pero no tanto para Macronutrientes (Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Magnesio, Calcio y Azufre) que sólo puede ser un complemento a las raíces.

- Una tercera opción son las inyecciones de tronco, pero es un método más profesional. Las inyecciones, aunque normalmente efectiva, resulta caras y únicamente aplicable a árboles de cierta edad.



Acidificar el suelo o substrato

- También es muy conveniente acidificar el suelo para que se libere el Hierro del suelo que está insolubilizado y quede así disponible para las raíces. Se puede aportar todos los años o cada dos para conseguir esta acidificación:

Figura 24. Aplicación de quelatos de hierro.

- Turba rubia (pH=3,5, por tanto es ácida)
- Azufre en polvo.
- Yeso
- Sulfato de Hierro

Acidificar el agua de riego

- Aparte del suelo o substrato en el caso de macetas, está el pH del agua de riego. Es decir, podemos tener las plantas plantadas en un sitio con un pH **no** alcalino pero estar regando con agua que sí tiene pH alcalino (aguas con mucha cal), con lo cual tenemos más o menos el mismo problema de antes. **Se puede acidificar el agua con Ácido cítrico.**

MAGNESIO

Su falta es corriente en suelos arenosos debido a la poca retención del elemento al aplicarse como abono. En suelos calcáreos ocurre lo mismo debido al efecto antagónico con el calcio. Los síntomas de la escasez de magnesio son fácilmente detectables y se traducen en la clorosis que se extiende a lo largo de la hoja hasta ocultar la mayor parte del limbo de, excepto una pequeña área verde en la base.

El magnesio para las plantas, es un elemento con el que fabricar la clorofila, el verde de las hojas y, en consecuencia, es esencial para la fotosíntesis. Al mismo tiempo, el magnesio juega un papel esencial en la transferencia de energía en la planta



Figura 25. Carencia de magnesio.

En hojas viejas, un color amarillento tanto entre los nervios como en los bordes, siendo las hojas de abajo las más afectadas (si fuera en hojas nuevas, habría que pensar en Hierro, Manganeso, etc.), menos un triángulo verde que queda en la base. Más tarde, también afecta a las hojas jóvenes. Finalmente, caída de hojas.

- Una de las causas más frecuentes de la carencia magnésica es el exceso relativo de Potasio en el suelo.

Solución

- Aplicar fertilizante que contenga Magnesio en su composición.
- Para corregir graves deficiencias se puede usar Sulfato de Magnesio.
- Los efectos de una aplicación en el suelo a veces tardan en notarse en la

planta. Por ello, en casos graves conviene tratar el follaje mediante pulverización de una solución de Sulfato magnésico al 2 %, repitiendo el tratamiento con diez días de intervalo.

- Empleo moderado de abonados potásicos para evitar este antagonismo.

CALCIO

Síntomas carencia de Calcio en tomates **Síntomas**

Suele ser difícil distinguir los síntomas de deficiencia real de Calcio de los que provocan otras carencias, frecuentes en suelo ácido, como la deficiencia de Magnesio, de Potasio, de Fósforo, de Molibdeno, y efectos tóxicos por exceso de Manganeso y Aluminio.



Figura 26. Carencia de calcio

- Aunque los síntomas varían entre especies, generalmente se observará necrosis de los ápices y de las puntas de hojas jóvenes además de algún tipo de deformación de las hojas, generalmente en gancho hacia abajo cuyos bordes se encorvan hacia la cara inferior o adoptan una apariencia dentada y, a menudo, clorosis en el nuevo crecimiento.

Solución

- Las enmiendas caliza molida son suficientes para restituir al suelo la cal que le falta. Dosis: 1500-2000 Kg. por hectárea a aportar en otoño y se entierra labrando.

NITRÓGENO

La carencia de este nutriente es común en los cítricos y esto supone un amarillamiento uniforme de las hojas.. Es necesario cuidar las necesidades de nitrógeno de la planta durante la fase de crecimiento, especialmente durante el aumento de la actividad de la copa del árbol.



Figura 27. Carencia de nitrógeno

El nitrógeno es un elemento que da vigor a las plantas y abundancia de hojas.

Síntomas

- Empieza primero **por las hojas más viejas**, las inferiores (en el caso del Hierro, empieza por las más jóvenes, que son los brotes).
- Se ven hojas más claras **de color verde pálido, que va tornándose en amarillo**, incluyendo las nerviaciones. Aunque la clorosis llegue a toda la planta los síntomas son más evidentes en las hojas viejas.
- Si la deficiencia continúa las hojas inferiores caen.
- No crece, el follaje es escaso, aunque puede florecer con cierta abundancia. En definitiva la planta tiene un aspecto raquítico y amarillento.
- Estos mismos síntomas también pueden producirlo Nematodos, asfixia

radicular, daños en raíces, otras carencias, etc. por lo que hay riesgo de confusión.

Solución

- Aplica fertilizantes nitrogenados. Sirven los fertilizantes completos N-P-K para plantas verdes o cualquiera que posea bastante Nitrógeno (N).
- En los casos en que se desea una acción muy rápida, puede tener buenos efectos el nitrógeno en forma de **nitratos**, por ejemplo, Nitrato amónico, Nitrato cálcico, Nitrato potásico, etc.
- Los abonos orgánicos, como el estiércol, mantillo, compost, guano, humus de lombriz, compost, etc., proporcionan Nitrógeno a medida que se descomponen. Abona cada año con alguno de estos productos.

Excesos de Nitrógeno

- Produce un crecimiento exagerado y color verde intenso.
- Se forman plantas débiles con tejidos tiernos, y, por tanto, más propensas a las plagas y enfermedades, al viento, a la lluvia, al granizo, a las heladas...
- Las plantas abonadas con un exceso de nitrógeno, son más sensibles a los ácaros (una plaga).
- La floración es escasa por el predominio de hojas (muchas hojas y pocas flores).
- Flores incompletas, sin estambres o sin pistilos. Caída de flores y frutos. Frutos con color anormal.
- Aparece gomosis en árboles frutales (exudación de goma por tronco y ramas).

- También se deprime la absorción de Fósforo, Potasio, Cobre y otros.

FÓSFORO

La deficiencia del fósforo en los cítricos es de difícil observación, las hojas de los árboles afectados son uniformemente más claras o amarillentas, tal y como ocurre con las carencias de nitrógeno.



Figura 28. Carencia de fósforo

Síntomas

- La deficiencia de Fósforo suele comenzar en las hojas inferiores, al igual que el Nitrógeno, que son más viejas
- **Hojas con un verde oscuro apagado que adquieren luego un color rojizo o púrpura característicos y llegan a secarse.**
- Además, el número de brotes disminuye, formando tallos finos y cortos con hojas pequeñas.
- Menor desarrollo radicular, menor floración y menor cuajado de los frutos.

- No parece causar daños el exceso de este elemento.

Causas

- En los suelos calizos (pH alto) el fósforo se insolubiliza en parte, no estando a disposición de las plantas. La cal provoca su bloqueo.
- En los suelos ácidos, los fosfatos también resultan insolubilizados en forma de fosfatos de hierro.

Solución

- Abonar con un fertilizante rico en Fósforo enterrándolos ligeramente para que queden más cerca de las raíces, ya que tiene poca movilidad en el suelo.
- Todos los abonos completos para plantas con flores, geranios, rosas, etc. incluyen Fósforo y también sirven.
- **La fertilización fosfórica debe ser algo más elevada de lo normal en suelos calizos** para evitar las retrogradaciones a Fósforo insoluble. Necesidad de añadir altas dosis para una baja utilización.

POTASIO

La carencia de Potasio se manifiesta en el fruto más que en las hojas. La carencia produce frutos pequeños de piel delgada y una atípica epidermis de textura fina. La absorción excesiva de este nutriente se traduce en la aparición de frutos grandes, de corteza basta que tienden a permanecer ligeramente verdes.



Figura 29. Carencia de potasio

Síntomas

- Los primeros síntomas de su carencia, cuando todavía es leve, se observan en las **hojas viejas**; pero cuando es aguda, son los brotes jóvenes los más severamente afectados, llegando a secarse.
- Lo más típico, son los bordes y puntas de las hojas más viejas secas después de amarillear (ver fotos superiores).
- Son síntomas parecidos a la deficiencia de Magnesio, pero los del Potasio se centran más en los bordes.
- Quizás hojas jóvenes rojizas.
- Se reduce la floración, fructificación y desarrollo de toda la planta.
- El Potasio (K) aumenta la resistencia de la planta a las enfermedades, a la sequía y al frío; si falta, será más vulnerable a estos agentes.
- La carencia de Potasio es mucho más frecuente en los **suelos arenosos** debido a que se lava este elemento fuera del alcance de las raíces con la lluvia y el riego continuado. También en suelos con mucha cal puede

escasear.

- No hay excesos de Potasio que produzca toxicidad en la planta, puesto que serían necesarias cantidades muy grandes de abono. Sin embargo, tanta abundancia de Potasio puede provocar la carencia de Magnesio por antagonismo con él.

Solución a las carencias de Potasio

- Usar fertilizantes con alta proporción en Potasio, ya sean complejos N-P-K o simples como el Sulfato potásico.
- En árboles frutales se puede pulverizar varias veces sobre el follaje con Sulfato Potásico en solución al 2 %.

SALINIDAD

Los problemas de salinidad, asociados a las aguas depuradas, a los suelos salinos, y vientos salinos procedentes del mar, generan árboles más pequeños y con hojas verdes sin brillo, a la vez que pueden aparecer hojas necróticas irregulares y pardas en el ápice y márgenes de las hojas. En casos extremos, los síntomas se desarrollan de forma repentina, incluyendo o no fuerte defoliación, decaimiento y desecación de frutos. Las hojas de los árboles atacados tienden a desprenderse del limbo y el pecíolo, quedando éste unido al brote claro después de llegada la maduración del fruto.

AZUFRE

Síntomas

- La deficiencia es poco frecuente y se presenta como una clorosis general, con hojas más claras hacia la parte superior de la planta.



Figura 30. Carencia de azufre

- Los síntomas son muy semejantes a la carencia de Nitrógeno y es difícil saber si corresponde a uno u otro. Sería necesario un análisis foliar de laboratorio.

Solución

- Una enmienda con Azufre en polvo en el suelo es suficiente.

MANGANESO (Mn)

Síntomas

- La carencia de Manganese ofrece síntomas parecidos a los del Hierro: hojas jóvenes amarillas entre los nervios que permanecen verdes. Se puede diferenciar porque en este caso aparece una **aureola verde alrededor de los nervios**. Con carencias muy fuertes también amarillearán dichos nervios.



Figura 31. carencia de manganeso

Causas

- Se debe generalmente a suelos con pH demasiado alto, suelos calizos.
- También es por suelos arenosos muy lavados
- .

Solución

- Es corriente considerar todas las clorosis como carencia de Hierro, y por eso las aplicaciones de quelatos de Hierro no son eficientes.
- Aplica quelatos de Manganeso al suelo o pulveriza sobre las hojas.
- Otro producto es el Sulfato de Manganeso, 3g por 100 litros de agua. Empapar el substrato. O bien, un pulverizado foliar con Sulfato de Manganeso en dosis de 12 gramos por 100 litros de agua.
- En plantaciones frutales, se puede añadir sulfato de manganeso al suelo en dosis de 100-300 kg/ha., pero es más eficaz pulverizar el cultivo con una solución de este producto al 0,3-1%, en dosis de unos 500 l/ha, en abril-mayo, preferentemente en dos aplicaciones.

ZINC (Zn)

Síntomas

- La carencia de Zinc se da sobre todo en árboles frutales
- .
- Se manifiesta en las hojas más jóvenes, las brotadas en el año.
- Los entrenudos se acortan en los brotes, formando rosetas de hojas amarillentas, pequeñas y estrechas. Las hojas viejas aparecen bronceadas y se caen fácilmente.



Figura 32. Carencia de Zinc

Síntomas en peral y en naranjo (derecha)

Causas

- Suelos con pH alto (calizo)
- Un suelo ácido y arenoso lavado por la lluvia durante muchos años

Solución

- Lo mejor para solucionarlo son los quelatos de Zinc, aplicados en el suelo o pulverizado en hoja.
- Otro producto, más bien de uso agrícola, es el Sulfato de Zinc. Dosis: 3 gramos de Sulfato de Zinc por 100 litros de agua. Empapar el substrato. Otra posibilidad es la aplicación foliar en dosis de sulfato de zinc de 12g por 100 litros de agua.
- En plantaciones frutales también se puede hacer una pulverización con una solución de Sulfato de Zinc al 1 % y neutralizada con 0,5 % de cal. Igualmente es posible efectuar una pulverización de sulfato de cinc al 5 % antes del desborre.

BORO (B)

Síntomas

- El Boro se acusa en tejidos de crecimiento y provoca un crecimiento lento.



Figura 33. Carencia de boro

- Falta de desarrollo debidos a la depresión del punto de crecimiento, una clorosis de las hojas jóvenes, o a veces su enrojecimiento, y frecuentemente una alteración de los frutos, con necrosis internas.
- Aparición de brotación lateral a consecuencia de la muerte de los ápices. Apariencia general de achaparramiento.
- Casi todos los frutales son sensibles a las carencias de Boro, pero los Manzanos, más.

Causas

- En terrenos calizos es donde se ha de temer una deficiencia de Boro. También en suelos arenosos por el lavado de las lluvias.
- Las condiciones de sequía son igualmente favorables a la aparición de la carencia, la cual es muy intensa cuando a una primavera lluviosa le sigue un verano seco.

Solución

- La deficiencia de Boro está muy extendida, pero puede ser fácilmente corregida.
- Existen correctores de carencias con Boro.

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

- Otro producto es Bórax. Dosis: 5 gramos por 100 litros de agua y regar con ese agua abundantemente.
- El pH elevado bloquea el Boro aplicado como sal (Borax) y son necesarias dosis muy altas para obtener el efecto deseado.
- Hay que tener especial cuidado en las aportaciones de Boro al suelo; un exceso de dicho oligoelemento puede resultar tóxico para las plantas.
- No se debe añadir, por tanto, Boro de forma sistemática sin asegurarse de antemano de que existe una carencia del mismo.

COBRE (CU)

Síntomas

- La carencia de Cobre es la más difícil de diagnosticar.



Figura 34. Carencia de cobre

- En hojas jóvenes se aprecian manchas cloróticas (amarillas) poco específicas. Aparecen primero en las hojas jóvenes y activas.
- La **tonalidad verde azulada de las hojas** constituye el principal síntoma de su carencia, aunque en los cítricos, se manifiesta por manchas y resquebrajado de corteza de frutos (se le llama Exantema).

Causas

- Las causas de su carencia son las mismas que las de otros Micronutrientes, el pH alto. Recuerda que LOS SUELOS CALIZOS BLOQUEAN el Hierro (Fe), el Manganeseo (Mn), el Zinc (Zn) y el Cobre (Cu).
- Otra causa de la deficiencia de Cobre (Cu) son los terrenos muy lavados, básicamente suelos arenosos y pobres en fertilizantes.

Solución

- La aportación regular de cobre por medio de tratamientos fungicidas cúpricos, por ejemplo, Sulfato de Cobre en el Caldo Bordelés, Oxiclورو de cobre, etc., es suficiente para remediar esta deficiencia en todos aquellos lugares donde aparece. Las plantas consumen muy poco de este elemento.



Figura 35. carencia de molibdeno

Síntomas

- Aunque es poco frecuente la carencia de Molibdeno, los síntomas son muy parecidos al Nitrógeno: una clorosis general, empezando por las hojas viejas. La planta de verde claro tira a amarillo.
- Puede mostrarse como deformaciones en las hojas nuevas (hojas enrolladas o en cuchara) o como clorosis entre nerviaciones en hojas intermedias o inferiores o como necrosis de bordes.

Causas

- Este elemento es insolubilizado en suelos ácidos, contrariamente a los otros Micronutrientes que se encuentran bloqueados en medios alcalinos y calizos.

Solución

- Las carencias de Molibdeno se pueden curar con correctores de carencias.
- Una enmienda con cáliz molida suele dar buenos resultados. Su efecto es subir el pH para que se solubilice el Molibdeno bloqueado.

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS
PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

CAPÍTULO 4
Proceso de obtención
de
los parámetros
biocinéticos

CAPITULO 4. PROCESO DE OBTENCIÓN DE LOS PARÁMETROS BIOCINÉTICOS

4.1. Determinación de las Relaciones Cinéticas:

En este capítulo se explica en que consiste la oxidación biológica y cómo se pueden determinar los parámetros biocinéticos a partir de las experiencias realizadas con los reactores biológicos, en el laboratorio.

4.2 Introducción al proceso de fangos activados:

El sistema de depuración biológica por fangos activados comenzó a desarrollarse en 1882, con los primeros ensayos de aireación de efluentes, aunque su importancia no se hace notar hasta 1914, con la publicación de la definición del concepto por Ardem Lockett, de Gran Bretaña. Desde entonces el proceso ha ido evolucionando pausadamente hasta nuestros días. El mayor auge lo ha alcanzado en estos últimos veinte años.

Los tratamientos secundarios en plantas depuradoras de aguas residuales son aquellos tratamientos denominados biológicos. Estos procesos pueden ser aerobios (necesidad de aporte de oxígeno al sistema), ó anaerobios (no se aporta oxígeno al sistema).

El proceso de fangos activados es uno de estos procesos secundarios aerobios.

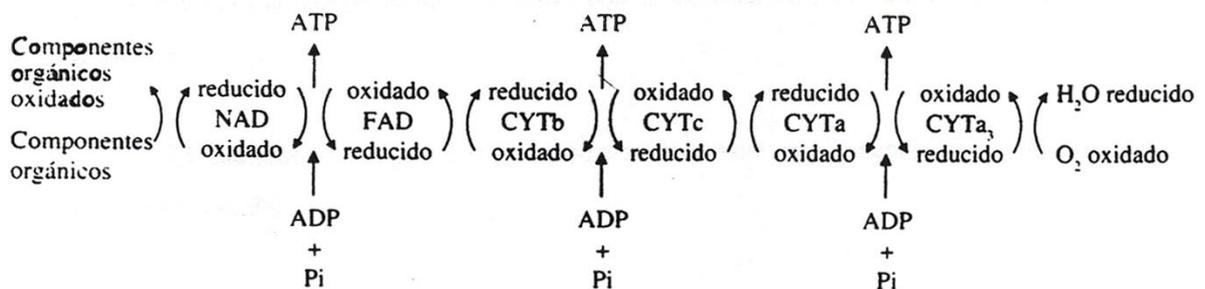
Los fangos activados están formados por partículas de fangos producidas en las agua residuales brutas o sedimentadas, por la acción de los microorganismos que se desarrollan en los tanques de aireación, en presencia de oxígeno disuelto.

REUTILIZACIÓN DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

El término "activado" se emplea ya que el proceso está unido a la acción activa de dichos microorganismos.

La penetración celular puede ser simple ó directa; ó puede necesitar de la ayuda de sistemas enzimáticos.

Fig 4.1 Oxidación de los componentes orgánicos



ESQUEMA DE LA OXIDACIÓN DE LOS COMPONENTES ORGÁNICOS

(Según R. C. Loehr, modificado).

Los transportadores de electrones son: **NAD**, **FAD**, CYT a. b. c y la CYT_a,

Una vez en el interior de la célula, puede oxidarse el sustrato, o materia orgánica asimilable. Esta oxidación se produce en varias etapas de una complejidad elevada.

El *anabolismo* puede definirse como el conjunto de fases del metabolismo que dan como resultado la síntesis de los componentes orgánicos del protoplasma, necesarios para el crecimiento y la reproducción de las células.

Estos componentes necesitan de energía y de sustrato para su formación, se trata de polímeros simples.

También estos procesos son de mucha complejidad, por lo que no se describen.

El proceso, a grandes rasgos, consiste en mantener una población de microorganismos (bacterias, protozoos, hongos), que actúa como cultivo biológico. Éstos se alimentan con la materia biodegradable que contiene el agua residual, (es lo que llamamos oxidación biológica del sustrato), y necesitan un aporte de oxígeno con el que puedan desarrollar dicha actividad.

La población bacteriana ha de mantenerse en un determinado nivel para que exista un equilibrio entre la comida presente y los microorganismos, así como con la introducción de oxígeno del equipo instalado.

El fundamento del proceso y el modelo matemático se explicarán más adelante con mayor detalle.

4.3 Principios Básicos de la Oxidación Biológica:

4.3.1. Metabolismo Microbiano:

En primer lugar debemos definir el concepto de metabolismo como el conjunto de actividades de las células vivas.

Podemos dividirlos en dos partes: Catabolismo y Anabolismo.

Denominamos *catabolismo* a una serie de reacciones bioquímicas que transforman la materia viva en desechos o residuos.

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

La materia orgánica ha de penetrar primero en la célula y lo hace a través de la membrana citoplasmática. Si la materia orgánica está disuelta, penetra directamente; si está en forma de suspensión o en forma coloidal, éstas han de reducirse de tamaño ó hidrolizarse por exoenzimas que la propia célula produce.

Podemos ver mejor como nos ayudan estas definiciones a determinar los balances de materia en el proceso metabólico representando un diagrama (fig 4.2) muy conocido, pero que expresa la actuación de cada uno de los parámetros de forma clara.

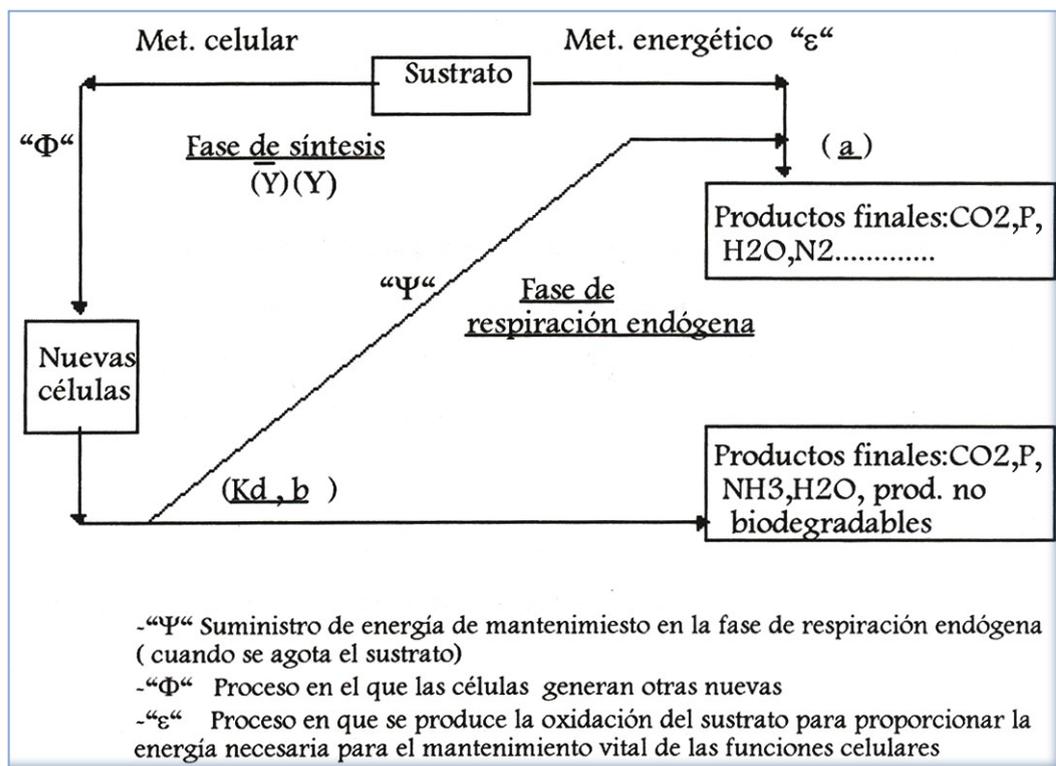


Figura 36. Mecanismo de la degradación aerobia del sustrato

En el esquema se han indicado los procesos en los que interviene cada parámetro biocinético.

En él se describen las formas de consumo del sustrato, durante el proceso biológico.

4.3.2. Metabolismo microbiano en el tratamiento de las Aguas Residuales:

Las 4 etapas en las que se desarrolla el metabolismo son las que se describen a continuación:

- a. **DBO soluble ó rápidamente biodegradable;** constituida por moléculas simples, pasa a través de la membrana celular directamente metabolizándose a altas velocidad.

- b. **DBO lentamente biodegradable;** constituida por las materias en suspensión y coloide. Esta materia es adsorbida sobre la célula, siendo almacenada sobre la membrana citoplasmática hasta que, posteriormente, sufren un proceso de hidrólisis por acción enzimática, para formar un sustrato que sea asimilable.

Este proceso es relativamente lento, pero una vez convertida en materia asimilable el proceso de metabolización es similar al del apartado a.-.

- c. **Producción de Masa Activa:** La fracción de DBO metabolizada se emplea para transformarse en materia del nuevo protoplasma celular; la fracción que queda se usa para la producción de la energía necesaria para la síntesis.

La energía producida con un consumo de oxígeno está en relación directa con la DBO eliminada.

- d. **Oxidación de la Masa Activa:** Al mismo tiempo que tiene lugar la oxidación y la producción de energía, hay una pérdida neta de masa biológica, causada por procesos de respiración endógena, (pérdida de masa endógena).

De la materia oxidada, aproximadamente el 80% se transforma en productos finales simples(CO_2 , H_2O .); la parte que resta, es decir el 20% no es degradable y queda como residuo.

La cantidad de oxígeno necesaria para la oxidación es proporcional a la masa de materia volátil desaparecida.

El proceso de respiración endógena se explicará con mayor detalle, más adelante.

4.4 Modelos Matemáticos para el proceso de Fangos Activados:

El proceso de lodos activados debe representarse mediante un correspondiente desarrollo matemático. La determinación experimental de los parámetros en las que está basado el modelo matemático, se obtienen a partir de los ensayos realizados en laboratorio con unos reactores, especiales para este fin.

Los diferentes grupos en los que se pueden agrupar estas relaciones son:

- a. Relaciones Cinéticas
- b. Balances de materia para la determinación del consumo de oxígeno y de la producción neta de lodo biológico.
- c. Ecuaciones para el cálculo de las condiciones óptimas de sedimentación del lodo.

4.4.1. Relaciones cinéticas:

4.4.1.1 Introducción:

Para estudiar la cinética del tratamiento biológico, debe tenerse en cuenta que el factor que nos indica la información adecuada es la determinación de la velocidad de consumo de la materia biodegradable, (sustrato), por la acción de los microorganismos.

Para llevar a cabo el estudio consideremos:

- Reactor discontinuo:

Introducimos una siembra de microorganismos, junto con el agua residual, y hacemos circular aire, de tal forma que la turbulencia que éste genera, garantiza la uniformidad de concentración a la par que oxigena el medio, permitiendo que por esta razón el sistema se mantenga es estado de mezcla completa.

Se determinan medidas de concentración del sustrato S, del agua. Podemos medirla en términos de DBO, DQO... etc.

Estas mediciones se realizan a intervalos de tiempo preseleccionados con el fin de representar la disminución de la carga contaminante.

Por otra parte se realizan determinaciones de la producción de lodo biológico, en otras palabras, de los sólidos en suspensión volátiles del licor de la mezcla aireada a partir de ahora se representará por las siglas MLVSS derivadas del nombre en inglés), a intervalos de tiempo también preseleccionados.

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

Los reactores que trabajan en discontinuo, al no disponer de una alimentación continua, varían el volumen desde el inicio de la experiencia hasta el final de ésta debido a pérdidas de líquido por evaporación. Por esta razón debe de disponerse, en el reactor, de una escala volumétrica, y al determinar los MLVSS se indica el nivel de líquido.

Realizando un estudio sobre la acción de dichos microorganismos, (MLVSS), sobre el sustrato(S), obtendríamos las curvas recogidas en la fig 4.3:

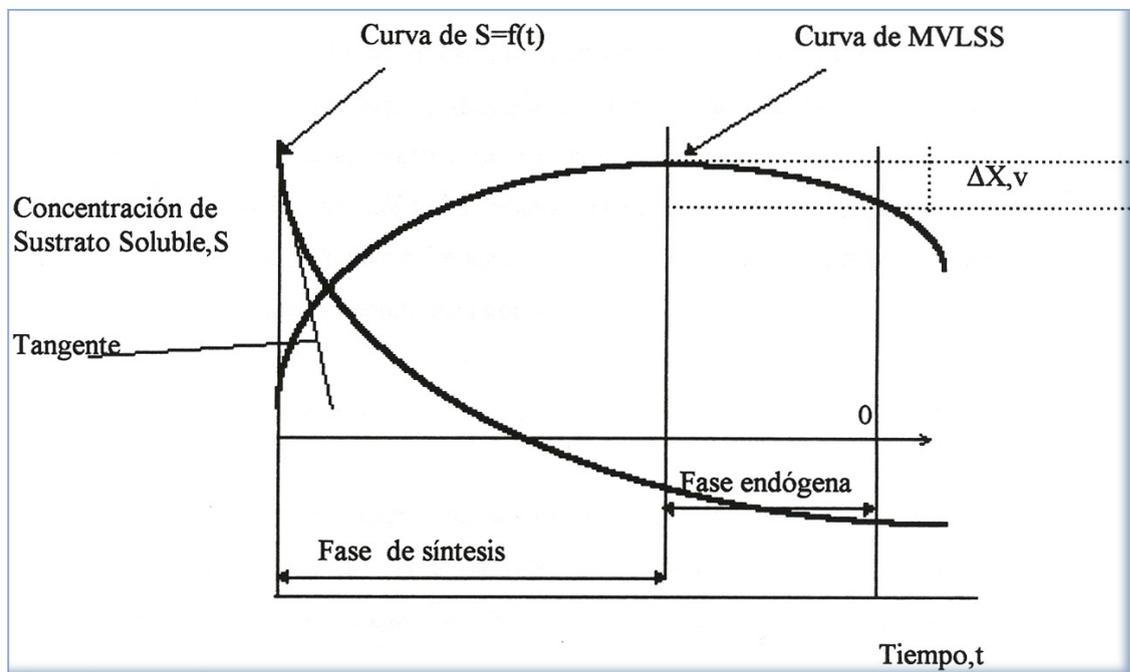


Figura 37. Relación MLVSS-sustrato. Reactor discontinuo

De este gráfico extraemos la siguiente lectura:

La DBO soluble, ó sustrato soluble, decrecerá con el tiempo, pero la concentración de MLVSS aumenta, (período donde abunda el alimento de los microorganismos), hasta llegar a un máximo a partir del cual este valor decrece, (el alimento se hace insuficiente y comienza la fase de respiración endógena), a partir de aquí, la velocidad a la que se sintetizan nuevas células es inferior a la velocidad a la que se destruyen otras, lo que indica la fracción

decreciente de la curva de MLVSS. En realidad este proceso de respiración endógena es más complicado, y tiene que ver con la entrada en competencia entre el crecimiento de los microorganismos primarios (las bacterias), y sus depredadores (los protozoos).

Si representamos los valores de S y los de MLVSS, el punto donde MLVSS alcanza el máximo es aquel en el que la velocidad de destrucción de células iguala a la velocidad de síntesis de células nuevas.

A este tipo de reactores, en los que la concentración de sustrato es elevada, el consumo de éste sigue una cinética de orden 0, lo que significa que la velocidad de consumo es constante e independiente de la concentración del sustrato. Esto ocurre en la primera etapa de la operación del reactor, cuando la carga de sustrato aún es elevada, y la pendiente de la curva iguala a la velocidad de consumo, dS/dt ; es decir, la pendiente coincide prácticamente con la curva.

- Reactores en continuo:

La diferencia con los reactores discontinuos es que la DBO del efluente aquí se mantiene constante, es decir opera en régimen estacionario, y al proyectarse los reactores para conseguir una reducción efectiva de carga contaminante, además de ser constante, será baja.

Por otra parte, la concentración de MLVSS, llamada $X_{v,a}$, será un valor preseleccionado, que se mantiene constante (el reactor trabaja en régimen estacionario), recirculando el lodo concentrado que se decanta en el clarificador secundario.

En este tipo de reactores el consumo de sustrato, con concentraciones bajas de éste, sigue una cinética de orden 1, lo que indica que la velocidad de consumo es proporcional a la concentración de sustrato remanente, es decir, si represento la curva de S frente al tiempo,

obtengo que la pendiente de la curva (dS/dt , ó velocidad de consumo de sustrato), disminuye con el tiempo, conforme disminuye la concentración del sustrato.

4.4.1.2. Determinación de la Velocidad Específica de Consumo de Sustrato.q.:

Para esta determinación hemos de considerar un reactor continuo que opere en régimen estacionario y en mezcla completa, cuyo diagrama puede representarse mediante la fig 4.4

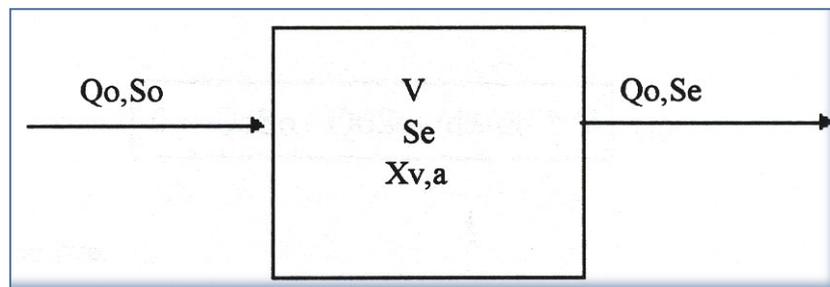


Figura 38. Reactor continuo

V es el volumen del reactor

So es la DBO de entrada

Se es la DBO de salida

Qo es el caudal (igual a la entrada que a la salida del reactor)

Xv,a es la concentración de MLVSS en el reactor

Si realizamos un balance de materia en el reactor podemos escribir que:

$$V_{cr} = (V_{es}) - (V_{ss}) - (V_{os})$$

Siendo:

V_{cr} (la velocidad de cambio en el reactor) = 0

V_{es} (la velocidad de entrada de sustrato en el reactor) = $Q_o * S_o$ (mg)

V_{ss} (la velocidad de salida de sustrato en el reactor) = $Q_o * S_e$ (mg)

V_{os} (la velocidad de oxidación del sustrato en el reactor)

En régimen estacionario, $X_{v,a}$ permanece constante en el reactor por lo que V_{cr} es nula.

La velocidad de oxidación de sustrato se debe a la acción bacteriana, y viene expresada por la pendiente de la curva de consumo de sustrato, $/dS/dt/$ (en valor absoluto) que se expresa en mg de DBO/ litro, por lo que debemos multiplicarla por el volumen del reactor unificando así las unidades; con lo que obtenemos que:

$$V_{os} = (dS/dt) * V \text{ (mg)}$$

Sustituimos cada término en la ecuación inicial y obtenemos:

$$0 = Q_0 S_0 - Q_0 S_e - /dS/dt/ * V \quad (1)$$

Es decir que:

$$/dS/dt/ * V = Q_0 S_0 - Q_0 S_e \Rightarrow /dS/dt/ = (Q_0 S_0 - Q_0 S_e) / V$$

A partir de ahora llamaremos a $/dS/dt/= (dS/dt)$

Definiremos la velocidad de consumo de sustrato por la unidad de masa de MLVSS presente en el reactor.

Definiremos la velocidad específica de consumo de sustrato q , como la velocidad de consumo de dicho sustrato en un reactor continuo por unidad de MLVSS presente en el reactor, es decir

$$q = (1/X_{v,a}) * (dS/dt) = Q_0 * (S_0 - S_e) / (X_{v,a} * V) \quad (2)$$

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

Teniendo en cuenta que Q_0/V representa el tiempo de residencia hidráulico(th) en el reactor, expresado en m^3 , podremos decir que:

$$q = (S_0 - S_e) / (X_{v,a} * th) \quad (3)$$

Cuyas unidades se corresponderían con:

mg/1 de DBO consumida / (mg /1 de MLVSS * dia) ó

Kg/1 de DBO consumida / (Kg /1 de MLVSS * dia)

Si suponemos que el consumo de sustrato sigue la cinética de primer grado, podremos decir también que:

$$(dS/dt) = K * S_e \quad (4)$$

suposición válida para concentraciones de sustrato bajas, tal y como trabaja un reactor en continuo bajo condiciones de mezcla completa y en régimen estacionario.

Teniendo en cuenta esta suposición podemos sustituir el valor de la ecuación 4 en la ecuación 3 de la siguiente forma:

$$q = (1/X_{v,a}) * K * S_e = (S_0 - S_e) / (X_{v,a} * th) \quad (5)$$

Como hemos decidido una concentración de MLVSS constante en el reactor podemos decir que

$$K / X_{v,a} = k \text{ (cte. de consumo del sustrato); } \quad (6)$$

por esta razón tendremos la relación lineal de q siguiente:

$$q = (S_0 - S_e) / (X_{v,a} \cdot \theta) = k \cdot S_e \quad (7)$$

Esta ecuación indica que la velocidad de consumo de sustrato es proporcional a la concentración del sustrato. La constante de consumo de sustrato, k , puede obtenerse mediante la determinación de la pendiente de la línea que se consigue al representar q , es decir, $(S_0 - S_e) / (X_{v,a} \cdot \theta)$, frente a S_e ; para diferentes ensayos.

Las dimensiones de k son, según la ecuación (6): litros / (día * mg)

4.4.2 Balances de Materia :

4.4.2.1 Parámetros Biocinéticos

Ya hemos tratado anteriormente cómo funciona el metabolismo microbiano en el sistema de oxidación biológico; es también importante tener en cuenta para el dimensionamiento de los tanques de fangos activados cómo se determinan las necesidades de oxígeno y de producción del lodo biológico para asegurar un correcto funcionamiento. Es por esta necesidad que deben de realizarse los balances de materia correspondientes a ambos parámetros, y por ello se definen los parámetros biocinéticos, cada uno de los cuales está representado por los siguientes símbolos:

Tabla 4.1 Símbolo y definiciones de los p. biocinéticos

Parámetro	Definición
\bar{Y}	Fracción de sustrato consumido para la síntesis celular
Y	Fracción de MLVSS producidos por Kg de sustrato total consumido

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

- a Fracción de sustrato consumido para la **producción de energía** mediante la oxidación del sustrato
- Kd Fracción de MLVSS oxidada, por unidad de tiempo durante el proceso de **respiración endógena**
- b Representa los Kg de oxígeno utilizados en el reactor para la fase de **respiración endógena** por Kg de MLVSS

La fase de respiración endógena surge cuando el alimento que está presente, es insuficiente para sustentar tanto el metabolismo celular como el energético. Las necesidades energéticas y de mantenimiento de las funciones vitales celulares, obliga a la oxidación de materia celular.

I. Parámetro \bar{Y} :

Existe una proporción entre el consumo de sustrato y DBO, DQO, DTeO... ; siendo el valor de Y, independiente del parámetro de consumo de oxígeno empleado; (en este proyecto se emplea la DBO).

$$\begin{aligned}\bar{Y} &= \text{Kg de sustrato consumido en la síntesis} / \text{Kg de sustrato total consumido} \\ &= \text{Kg de DBO usado en síntesis} / \text{Kg de DBO total consumida.}\end{aligned}\quad (8)$$

II Parámetro a:

Definimos "a" como la fracción de sustrato consumido para producir energía mediante la oxidación del sustrato.

Definido el parámetro anterior, tenemos que

$a = \text{Kg de sustrato consumido en metabol. Energético} / \text{Kg sustrato total consumido} = \text{Kg de DBO consumido M. energético} / \text{Kg DBO total consumida.}$ (10)

El valor numérico de “a” también es independiente de cómo se exprese el consumo de oxígeno,(aquí se emplea la DBO), ya que es una cantidad adimensional

La DBO que se consume en el metabolismo energético es similar a la cantidad de oxígeno que se emplea para oxidar el sustrato, por esta razón podemos expresar la ecuación del parámetro “a” como:

$$1 = Y + a \quad (9)$$

$a = \text{Kg de oxígeno usados en oxidación de sustrato} / \text{Kg de DBO total consumida}$

Esta expresión permite obtener los Kg de oxígeno empleados en el metabolismo energético de la siguiente manera:

$\text{Kg de O}_2 \text{ (para oxidar en sustrato)} = a * \text{Kg de DBO total consumida}$
(11)

En estas expresiones el valor del parámetro “a” ya no es adimensional y si tiene importancia la forma de expresar el consumo de oxígeno.

III. Parámetro Y:

Este parámetro se define, como la producción de lodo biológico por Kg de sustrato total consumido.

$$Y = \text{Kg MLVSS producidos} / \text{Kg de sustrato total consumido}$$

$$\text{Kg MLVSS producidos} = Y * \text{Kg de DBO total consumida} \quad (12)$$

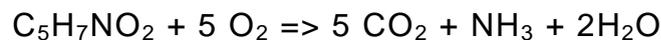
Ambos parámetros pueden relacionarse a raíz de ensayos empíricos, (por ejemplo con la lactosa) usando DBO, DQO, DTeO.. como medidas de la cantidad de sustrato total consumido.

En realidad el parámetro que controla el diseño de los reactores de fangos activados es el Y, (que es una cantidad adimensional), por esa razón, a partir de ahora es el que consideraremos.

1V. Parámetro Kd:

Este es un parámetro de diseño que corresponde a la fase de pérdida de masa endógena.

Considerando que los MLVSS podemos formularlos, químicamente, como $C_5H_7NO_2$, describiremos la oxidación de las células en la respiración endógena como:



Hemos definido el parámetro Kd como la fracción de MLVSS oxidada por unidad de tiempo en el reactor, durante la fase endógena. Podemos nombrar a Kd como el *coeficiente de descomposición microbiana*.

$$Kd = \frac{\text{Kg MLVSS oxidados}}{(\text{dia} * \text{Kg de MLVSS en el reactor})} \quad (13)$$

unidades de 1 / Tiempo

Como consecuencia de la definición de este parámetro podemos decir que:

$$\text{Kg/día MLVSS oxidados} = K_d * (\text{Kg MLVSS en el reactor})$$

(14)

Como hemos definido que la cantidad de MLVSS, en el reactor, debe mantenerse constante, para trabajar en régimen estacionario, tendremos que estos MLVSS se corresponden con el producto ($X_{v,a} * V$); por lo tanto

$$\text{Kg/ día de MLVSS oxidados (respiración endógena)} = K_d * X_{v,a} * V$$

(15)

V. Parámetro b

Junto con el K_d son los dos parámetros que se corresponden a la fase endógena. Su definición se corresponde con los Kg de oxígeno empleados en el reactor para la oxidación de la fracción de MLVSS, por día, en la fase de respiración endógena.

$$b = \text{Kg de oxígeno} / (\text{ día } * \text{ Kg de MLVSS en el reactor})$$

(16)

Por ello el consumo de oxígeno en esta fase viene dado por la expresión

$$\text{Kg O}_2/\text{día} = b * X_{v,a} * V = b * \text{Kg MLVSS en el reactor}$$

(17)

Debe aclararse que “Kd” y “b” representan velocidades, por esta razón aparece el tiempo en sus expresiones; mientras que en las expresiones de a y Y no aparece ya que son relaciones.

4.4.2.2 Balances de materia para determinar el consumo de oxígeno

La importancia de realizar estos balances de oxígeno radica en determinar el equipo que habrá de airear el tanque.

Para estudiar las necesidades de oxígeno nos centramos en

- a. El oxígeno requerido, por día, para oxidar el sustrato, es decir, para proporcionar energía a las células.

Según hemos determinado en la ecuación (11):

$$\text{Kg O}_2/\text{día} = a * (\text{Kg de DBO consumida}) = a * (\text{So-Se}) * \text{Qo} \quad (18)$$

Las unidades son:

$$a = \text{Kg de O}_2 / \text{Kg DBO consumida}$$

$$(\text{So-Se}) = \text{mg} / \text{litro de DBO consumida}$$

$$\text{Qo} = \text{m}^3 / \text{sg}$$

Si unificamos unidades obtenemos el factor 86,4 ; con lo que la expresión queda de la siguiente forma:

$$\text{Kg O}_2/\text{día} = 86,4 * a * (\text{So-Se}) * \text{Qo} \quad (19)$$

- b. Oxígeno requerido en la fase endógena, para cuyo balance empleamos la expresión (17):

$$\text{Kg O}_2/\text{día}(\text{ endógeno}) = b * X_{v,a} * V * 0.001 \quad (20)$$

0.001 es el factor que resulta al pasar los m³ a litros

Resumiendo:

$$\text{Kg O}_2/\text{día} = a * (\text{So}-\text{Se}) * Q_0 + b * X_{v,a} * V \quad (21)$$

Podemos hacer uso de unas ecuaciones alternativas para la determinación del oxígeno. Éstas son las siguientes:

La cantidad de oxígeno total necesario puede describirse como (VUO) * V, ya que la Velocidad de Utilización de Oxígeno (VUO) es la cantidad de éste, consumido por día y por unidad de volumen del reactor; por lo cual la VUO está multiplicada por V, para poder igualarse a los Kg O₂ /Día.

$$\text{VUO} * V = a * (\text{So}-\text{Se}) * Q_0 + b * X_{v,a} * V \quad (22)$$

Debemos considerar que si despejamos VUO la fracción $V / Q_0 = t_h$ (tiempo de residencia hidráulico). De igual forma puede dividir todos los miembros por $X_{v,a}$, con lo que la expresión se transforma en:

$$\text{VUO} / X_{v,a} = (a * (\text{So}-\text{Se}) / (X_{v,a} * t_h)) + b \quad (23)$$

Teniendo en cuenta que el primer miembro de la suma es la expresión que corresponde a la velocidad específica de consumo de sustrato, q.

Al primer término de la igualdad le llamaremos R_{o2} , y lo definiremos como la velocidad específica de consumo de oxígeno, en otras palabras, la cantidad de oxígeno consumido por unidad de tiempo y unidad de masa biológica.

Podemos escribir pues que:

$$R_{O_2} = V_{UO} / X_{v,a} = a * q + b = (\text{Kg } O_2 / (\text{dia}) * \text{kg MLVSS}) \quad (24)$$

con lo que

$$R_{O_2} = a * q + b \quad (25)$$

Esta es una expresión lineal mediante la cual, si se representan diferentes valores de R_{O_2} frente a los correspondientes valores de q se obtiene una recta cuyo valor de pendiente corresponde al parámetro a , y la ordenada en el origen corresponde al parámetro b .

Una definición diferencial del término R_{O_2} , análoga a la expresión de q , (vel. espec. de consumo de sustrato), es la siguiente:

$$R_{O_2} = (1 / X_{v,a}) * (d O_2 / dt) ; \text{Kg } O_2 / (\text{dia}) * \text{Kg MLVSS}$$

$$R_{O_2} = a * q + b = a * (1 / X_{v,a}) * (dS / dt) + b$$

$$(dO_2 / dt) = a * (dS / dt) + b * X_{v,a}$$

4.4.2.3. Balances de materia para determinar la producción neta de biomasa (AX.v):

Para realizar un correcto balance de materia debemos tener en cuenta la porción de MLVSS que se produce por el consumo de sustrato y la que se pierde por la endogénesis.

- a. La *Biomasa producida*, por el consumo de sustrato puede calcularse a partir de la ecuación (12)

$$\text{Kg MLVSS / dia producidos} = Y * (S_o - S_e) * Q_o$$

(unificar unidades el factor por el que debe multiplicarse la expresión es 86,4)

- b. La *Biomasa perdida en la fase de endogénesis*, se puede obtener, a su vez de la ecuación (15), por lo que:

$$\text{Kg MLVSS (endógeno) / dia} = K_d * V * X_{v,a}$$

(unificar unidades multiplicando por 0.001)

En resumen

$$\text{Kg MLVSS (neta) / dia} = \Delta x_v = Y * (S_o - S_e) * Q_o - K_d * X_{v,a} * V \quad (27)$$

Al igual que las ecuaciones de balance de oxígeno, podemos expresa las ecuaciones de producción neta de biomasa con expresiones alternativas:

Consideremos la ecuación anterior:

$$\Delta x_v = Y * (S_o - S_e) * Q_o - K_d * X_{v,a} * V \quad (28)$$

Si hacemos: $(\Delta x_v/V) / X_{v,a}$ el segundo miembro de la ecuación quedaría de la siguiente forma: $Y * (S_o - S_e) / (X_{v,a} * \theta) - K_d$; por que recordemos que V / Q_o se corresponde con el tiempo de residencias hidráulico. Tengamos en cuenta el primer término:

$$(\Delta x_v/V) / X_{v,a} = (\text{mg MLVSS prod.} / (\text{d} * \text{litro de licor})) / (\text{mg MLVSS} * \text{litro de licor})$$

le asignamos el símbolo μ ; lo llamaremos velocidad específica de crecimiento de la biomasa, ya que simboliza la cantidad de biomasa producida por unidad de tiempo y por unidad de biomasa presente en el reactor:

$$\mu = \text{kg MLVSS produc}/(\text{dia} * \text{Kg MLVSS}) \quad (29)$$

La ecuación quedará de la siguiente forma:

$$\mu = Y * (\text{So}-\text{Se}) * /(\text{Xv,a} * \text{th}) - \text{Kd} = Y * q - \text{Kd} \quad (30)$$

Es decir: $\mu = Y * q - \text{Kd}$, representa una ecuación lineal, que puede obtenerse a partir de diferentes valores de p y de q , pudiendo conseguirse así el valor de la pendiente de la recta, que representa al parámetro Y ; y la ordenada en el origen, que equivale al parámetro Kd .

Una definición de la velocidad específica de crecimiento de la biomasa, μ , en forma diferencial, paralela a la definición expresada para la velocidad específica de consumo de sustrato, q , es la siguiente:

$$\begin{aligned} \mu &= (1/\text{Xv,a}) * (\text{dXv,a} / \text{dt}); \text{Kg MLVSS produc.}/(\text{d} * \text{Kg MLVSS}) \\ \mu &= Y * q - \text{Kd} = Y * (1/\text{Xv,a}) * (/ \text{dS}/ \text{dt}) - \text{Kd} \\ (\text{dXv,a} / \text{dt}) &= Y * (/ \text{dS}/ \text{dt}) - \text{Kd} * \text{Xv,a} \end{aligned}$$

4.4.3 Ecuaciones para el cálculo de las condiciones óptimas de decantación del lodo:

En este apartado se estudiarán qué aspectos han de ser tratados en cuanto a la separación de los lodos del proceso, para asegurarnos que no se producen efectos que puedan alterar el correcto funcionamiento del proceso de fangos activados.

Debe tenerse en cuenta, que aunque la base fundamental del proceso es la acción del lodo biológico, éste ha de mantenerse dentro de unos niveles adecuados de sedimentación, de tal forma que decante en el clarificador secundario, que sigue al proceso biológico.

El problema más común es el "bulking" del lodo. Este es un término anglosajón que significa inflado, de gran voluminosidad. El lodo se vuelve ligero y se dispersa en el decantador, con lo que se hace difícil su sedimentación. El lodo que ha adquirido estas características, al no decantar, pasa con el efluente del clarificador, disminuyendo la calidad del efluente al producirse un efecto de respiración endógena en éste, debido a la baja concentración de sustrato, en relación a la cantidad de microorganismos.

El análisis de la decantación de los lodos se lleva a cabo por medio de la realización de ensayos de sedimentación en el laboratorio.

Parámetros a estudiar:

- a. El parámetro empleado para evaluar dicha característica es el índice volumétrico de los lodos (IVL).

El IVL: se define como el volumen (ml) que ocupa 1 gramo de sólidos en suspensión totales de licor de la mezcla, (MLSS, expresado en peso seco), después de un período de 30 minutos de dejar en reposo en el interior de una probeta de 1000 ml.

- b. La relación entre la cantidad de alimento y la cantidad de microorganismos. El A/M , ó relación alimento- organismos, se expresa mediante la ecuación siguiente:

$$A/M = \text{Kg sustrato afluente} / (\text{día} * \text{Kg MLVSS en reactor})$$

Teniendo en cuenta que

$$A = (Q_o * S_o) * 86,4 \text{ (kg/d)} \quad M = (X_{v,a} * V) * 0.001 \text{ (Kg)}$$
$$A/M = (Q_o * S_o) / (X_{v,a} * V)$$

En otros términos:

$$A/M = S_o / (X_{v,a} * th) \quad (32)$$

(Unidades de 1/ Tiempo)

El valor óptimo del parámetro A/M se encuentra entre 0.3 y 0.6

unidades de (Kg DBO efluente / (día * Kg MLVSS))

La importancia de determinar esta relación puede entenderse más claramente con las siguientes explicaciones:

1. Una relación baja de A/M (< 0.3), indica que la cantidad de alimento ó sustrato es insuficiente para mantener el crecimiento de microorganismos, lo que supone que el sistema comience a trabajar en fase endógena. En esta fase, el metabolismo celular libera un residuo, constituido por cápsulas celulares muy finas que no decantan; por esta razón el lodo obtenido bajo estas condiciones estará formado por flóculos muy dispersos.
2. Cuando los valores de A/M se comprende en el intervalo 0.3-0.6, el lodo presenta, generalmente, buenas características de sedimentación; lo denominamos lodo floculante.
3. Si la relación A/M fuera superior al valor 0.6, habrá predominio de microorganismos de carácter filamentoso (Sphaerotilus), cuyas colonias ocasionan un fenómeno de bulking en el lodo, volviendo inflado, impidiendo que la decantación se efectúe correctamente.

Es interesante hacer un estudio entre las diferentes relaciones de A/M y IVL que se obtienen en distintos ensayos de laboratorio. Ello nos es de utilidad si representamos gráficamente ambos valores. Pueden situarse los valores de IVL como eje de coordenadas, se obtendrá una curva (fig 17.5) que presenta un valor mínimo, similar a la siguiente:

Fig 4.5 Curva de valores de A/M optimo

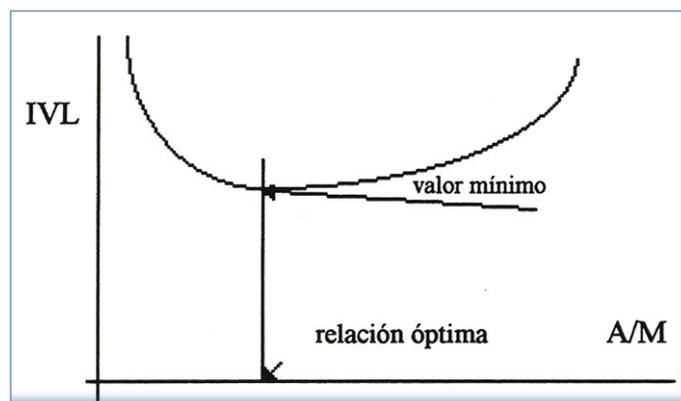


Figura 39. Curva de valores S/M óptimo

Este mínimo representa la relación óptima debido a que el principal interés en la decantación de un lodo es que el IVL sea el más bajo, puesto que supone unas mejores condiciones de sedimentación de éste

A partir de la gráfica podemos determinar que valor de la relación A/M es el más adecuado (mínimo). Con esta relación empírica, conoceremos el tiempo de retención hidráulico del lodo floculante óptimo, aplicando la expresión siguiente:

$$Th = V/Qo$$

$$(A/M) \text{ opt} = So/(Xv,a * th) \tag{33}$$

$$th = So/(Xv,a * (A/M) \text{ opt}) \tag{34}$$

Para que se presenten adecuadas condiciones de sedimentación del lodo, conviene que la entrada del agua residual en el tanque aireador se haga de una forma tal que garantice la mezcla completa, ya que la geometría y el aporte de afluente en el reactor, intervienen las características de floculación del lodo.

4.4.4. Determinación de los Parámetros Biocinéticos:

La determinación de los parámetros biocinéticos descritos en los apartados anteriores, es decir: Y , a , K_d , b ; así como la determinación del constante de consumo del sustrato k , deben realizarse los ensayos a escala de laboratorio.

- Para la realización del ensayo se ha construido un *reactor*, de metacrilato, con un volumen total de 14 litros; dividido en dos cámaras, por una pantalla deslizante (Ver Foto 4.1)

La mayor de éstas cámaras simula el *tanque de aireación*; donde tendrá lugar la oxidación biológica del sustrato. Aquí actúa la masa biológica de MLVSS

La otra cámara simula el *decantador secundario*; hacia donde circulará el agua tratada, y donde los lodos que la acompañan, decantarán dejando el agua clarificada en la superficie de este.



Figura 40. Reactores empleados en el laboratorio

- Un *tanque de almacenamiento* externo, contiene el agua residual que será introducida al sistema de forma continua. El flujo de la alimentación se controla mediante una llave de paso.
- *El aire* que se introduce en el sistema, proporciona la turbulencia necesaria para mantener el medio en régimen de mezcla completa, y lo proporciona una bomba.

Ésta está conectada al tanque de aireación por medio de un tubo de goma, que a su vez se conecta a un filtro poroso fijado en la pared del tanque de oxidación. Con esto se facilita su dispersión, ya que las burbujas de aire entran en el sistema de una forma más finamente dividida. También se suministra aire comprimido desde una toma de aire general, que lleva incorporado un indicador de presión, donde se han colocado una llaves que

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

permitan regular la cantidad de oxígeno disuelto que entra en el sistema. El aporte de oxígeno ha de ser continuo.

- Las cámaras se hallan divididas por una pantalla, construida de metacrilato, al igual que el reactor; que puede deslizarse para situarla a diferentes alturas, según convenga.

La salida del efluente clarificado se efectúa a través de un tubo colocado en la parte superior del decantador, con lo que se asegura la retención, en el fondo del mismo, de los lodos. El efluente se regula con una llave de paso.

La recirculación de los lodos se realiza mediante una pequeña bomba, que extrae los lodos del fondo del decantador secundario y los retorna al tanque de aireación. Este lodo posee una actividad bacteriológica elevada.

La purga de fangos ha de llevarse a cabo para garantizar que la edad del fango no excede los límites correspondientes a la adecuada calidad de sedimentación.

Es importante mantener el volumen de agua en el reactor constante, por esta razón hay que suministrar al sistema una cantidad de alimentación fresca similar a la extraída para el análisis y la que pueda haberse evaporado.

De la misma forma la cantidad de MLVSS, (que X_v ,a oscilará entre 2000 y 3000 mg/l), deberá mantenerse dentro de los valores estipulados, por esta razón deberán purgarse una cantidad de fangos correspondiente a la producción neta diaria, (ΔX_v).

Es importante realizar mediciones de temperatura, para regularla si oscilase demasiado, ya que la determinación de los parámetros a calcular varía con este factor.

El diagrama que se halla a continuación describe el montaje.

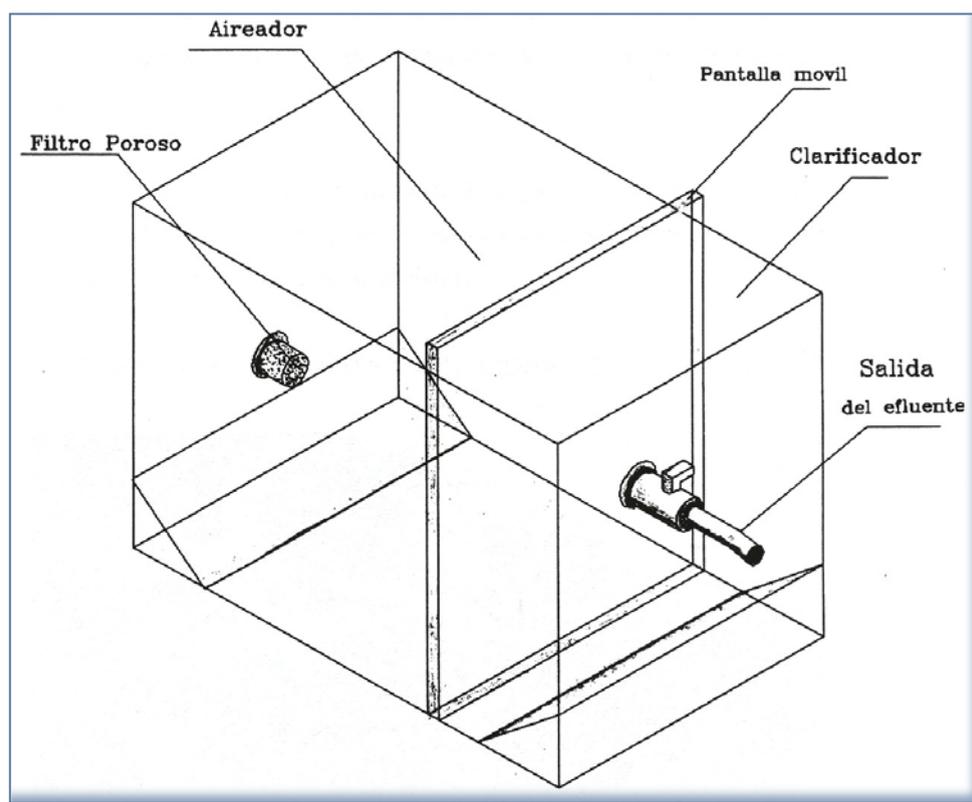


Figura 41. -Esquema del reactor empleado con aireador

4.4.4.1 Puesta en marcha de la experiencia:

Este experimento puede llevar más de una semana desde el inicio hasta su fin por lo que es conveniente trabajar con dos reactores simultáneamente (Ver imagen 42)

- a. Introducir directamente una siembra de lodos, hasta un volumen predeterminado. A continuación, y tras haber hecho un análisis de

REUTILIZACION DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

SSV,(sólido en suspensión volátil), se llena el resto del reactor hasta conseguir una dilución tal que establezca una concentración de 2000-3000 mg/1 de MLVSS.

- b. Conectar el aire para garantizar la oxigenación necesaria, al igual que para mantener el estado de mezcla completa. La pantalla deslizante se ajusta a la altura entre 5-15 mm. desde el fondo. Con esta abertura se garantiza un intercambio de lodo entre ambas cámaras.
- c. Se introduce el agua residual en el tanque a un caudal determinado, hasta conseguir el equilibrio; este punto se alcanza cuando VUO del reactor permanece inalterable, y la DBO del efluente se estabiliza.



Figura 42. Dos reactores en funcionamiento simultáneo

4.4.4.2. Muestreo y Análisis durante la experiencia:

El muestreo que se ha seguido en estas experiencias se indica en la tabla 36 siguiente:

Tabla 36. Frecuencia de muestreo

	Agua día 1	Licor	Agua última	Frecuencia
DBO	Si	--	Si	2/semana
pH	--	si	Si	diario
Conductividad	--	si	Si	diario
IVL	si	--	Si	2/semana
OD	--	si	Si	diario
MLVSS	--	si	--	diario

También puede analizarse algunos iones (cloruros, sulfatos....)

- La medición de pH y de conductividad puede realizarse directamente en cada una de las cámaras.
- Para el análisis de los MLVSS, se levanta totalmente la pantalla deslizante y se agita el contenido totalmente; la cantidad de lodo presente en el decantador, no afecta para la determinación del crecimiento de la biomasa ya que al no haber aireación, no se desarrolla materia biológica nueva.

Como indica el esquema de muestreo, se determinan los MLVSS diariamente.

Esta toma de muestras ha de realizarse cada 24 horas para poder determinar el crecimiento de la biomasa de la siguiente forma:

$$\Delta X_v = V_t * (X_2 - X_1)$$

Siendo X_2 y X_1 los MLVSS determinados en dos días consecutivos, y V_t el volumen total del reactor (14 litros).

- Para la determinación del pH y del oxígeno disuelto se emplearon aparatos de medida directa con electrodos.

Determinación del pH:

Se obtienen medidas fiables utilizando un pH-metro, una vez que ha sido calibrado a pH 4 y pH 7.

La calibración de cada aparato dependerá de la marca y modelo, por lo que deberán seguirse las instrucciones del manual, al igual que para las instrucciones de uso y conservación.

Determinación del OD:

La forma más rápida de determinarlo es utilizar un medidor de oxígeno disuelto, por medio de un electrodo; se obtienen resultados buenos, siempre que el aparato incluya un sistema de corrección de temperatura, ya que ésta influye en la medida.

El método para la calibración, así como para el uso y mantenimiento, dependerá de cada aparato, por lo que habrán que seguir las instrucciones del manual.

Determinación de la velocidad de utilización de oxígeno(VUO):

La VUO es un valor cuya utilidad es la de permitir la determinación experimental de los parámetros biocinéticos a y b (parámetros de la utilización de oxígeno).

La forma más sencilla de determinarla es realizando medidas de OD a intervalos de tiempo de 30 sg.

Para la medición del oxígeno disuelto puede emplearse una célula galvánica.

La técnica consiste en lo siguiente:

Se toma una botella de DBO y se llena con el agua del tanque de aireación.

Se introduce el electrodo en el frasco, permitiendo que rebose un poco de agua, cuidando, al mismo tiempo que no haya acumulación de burbujas de aire dentro del frasco, lo que conduce a tomar medidas que no se corresponden con la realidad.

El contenido del frasco debe estar agitado continuamente, para garantizar la homogeneidad.

El paso siguiente es registrar las lecturas galvánicas de OD a intervalos de 30 sg, durante unos 6-10 minutos

La pendiente de la recta que se obtiene al representar el tiempo en el eje de abscisas, y el OD en el eje de ordenadas, se corresponde con el valor de la VUO.

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

El ensayo debe realizarse lo antes posible una vez extraído el licor del tanque de aireación.

Este es un ensayo que nos permite estudiar el comportamiento del lodo en su proceso de decantación.

Es importante, para el buen funcionamiento de una planta con proceso de fangos activos, que la mayor parte de los MLVSS se separen en el decantador secundario. Con ello se evita una presencia excesiva de microorganismos en el efluente, dónde la cantidad de alimento es pequeña, por lo cual, en el caso de existir MLVSS en mayor medida de la debida, el sistema debe consumir una cantidad extra de oxígeno para satisfacer la demanda, que se incrementa al funcionar el sistema en régimen de respiración endógena.

Cuando el lodo biológico, ó MLVSS , no decanta correctamente, se habla del "bulking" del lodo; es decir, se trata de un lodo inflado que no decanta con facilidad.

El índice volumétrico de los lodos, (IVL), se define como el volumen, en ml, que ocupa 1 gr de sólido en suspensión, del licor del tanque de aireación, tras decantar durante 30 minutos, en una probeta graduada de 1000 ml.

Para el ensayo en el laboratorio debe seguirse el siguiente procedimiento:

Agitar la muestra para homogenizarla. Tomar 1 litro e introducirlo en una probeta de 1 litro.

Dejar que se produzca la decantación durante 30 min.

Pasado este intervalo de tiempo se anota el nivel al que han quedado los sólidos (v').

Es necesario disponer de un dato más : los Sólidos totales en suspensión (SS).

Para la determinación de IVL debe aplicarse la siguiente expresión:

$$IVL = v'(m1)/SS \text{ (gr)}$$

4.4.4.3. Método de cálculo de los parámetros biocinéticos:

Con los diferentes datos obtenidos en el número de experiencias realizadas con los reactores, se dispone de los datos que nos permitirán calcular, empíricamente, los parámetros biocinéticos:

A continuación se indicarán las expresiones necesarias para ello:

Tabla 37. Expresiones de interés para el cálculo de los parámetros biocinéticos

$q = (S_o - S_e) / (X_{v,a} * t_h)$
$q = k * S_e$
$Ro_2 = (V_{UO} / X_{v,a}) * 60$
$Ro_2 = a * q + b$
$\mu = (\Delta x_v / V) / X_{v,a}$
$\Delta X_v = V t * (X_2 - X_1)$
$\mu = Y * (S_o - S_e) / (X_{v,a} * t_h) - K_d$
$\mu = Y * q - K_d$
$A = (Q_o * S_o)$
$M = (X_{v,a} * V)$
$A/M = ((Q_o * S_o) / (X_{v,a} * V)) * 24$
$t_h = S_o / (X_{v,a} * (A/M)_{opt})$

REUTILIZACION DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

Cada concepto deberá expresarse en unidades compatibles con el resto de términos de la ecuación.

So = Es la concentración media de DBO del agua del primer día, de decir el agua de entrada (mg/l)

Se = Es la concentración media de DBO del agua última, de decir el agua de la efluente que sale (mg/litro)

Xv,a = Es la concentración media de MLVSS (mg/litro)

Qo = Es el caudal de agua (litro/hora)

VUO = Es la velocidad de utilización de oxígeno (mg /((litro *minuto))

ΔXv = Es la producción de biomasa (g/día)

th = Es el tiempo de residencia, V/Qo (hora)

q = Es la velocidad específica de consumo de sustrato (1/ hora)

k = Es la constante de consumo de sustrato (litro/(mg * día)

A/M = Es la relación alimento- microorganismos (mg DBO/(mgMLVSS*día)

IVL = Es el índice volumétrico de los lodos

Ro2 = Es la velocidad específica de consumo de oxígeno(1/ hora)

Se realiza una gráfica con los valores obtenidos de A/M y el IVL para obtener el A/M óptimo, puesto que será un dato de importancia más adelante, para establecer el tiempo de retención en el reactor biológico.

Las experiencias realizadas y los resultados obtenidos se hallan en la Memoria Justificativa.

CAPÍTULO 5
Proceso de fangos
activos.
Variables que
controlan
el proceso

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS
PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

CAPITULO 5. PROCESO DE FANGOS ACTIVOS. VARIABLES QUE CONTROLAN EL PROCESO

5.1. Objetivo del capítulo:

En este capítulo se describen las variables necesarias para diseñar un proceso de fangos activados, así como las expresiones que permitirán realizar los balances de materia y caudal en el proceso secundario.

5.2 Introducción al proceso de fangos activos:

Una vez que se dispone de los parámetros biocinéticos Y , a , K_d , b , y de la constante de consumo de sustrato k , obtenidos de la experiencia de laboratorio, está en disposición de introducirnos en el diseño de las plantas de fangos activados (ó lodos activos).

En el reactor del que se dispone en el laboratorio, se realiza una recirculación de lodos, de forma intermitente, no de forma continua, para mantener el valor de $X_{v,a}$ dentro de los valores establecidos (2000- 3000), extrayendo la producción neta de lodos.

En las plantas que vamos a estudiar, se considera que la extracción de fango se realiza continuamente, purgando otra porción hacia el sistema, aunque en las plantas no se realice de esta manera.

En la figura 5.1 se indica el diagrama de flujo de agua y lodo; así como los principales símbolos que emplearemos en el diseño, en cada una de las secciones del proceso de fangos activos.

Este diagrama servirá de base para la realización de los diferentes balances de materia y caudal, por lo que es importante tenerlo claro.

REUTILIZACION DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

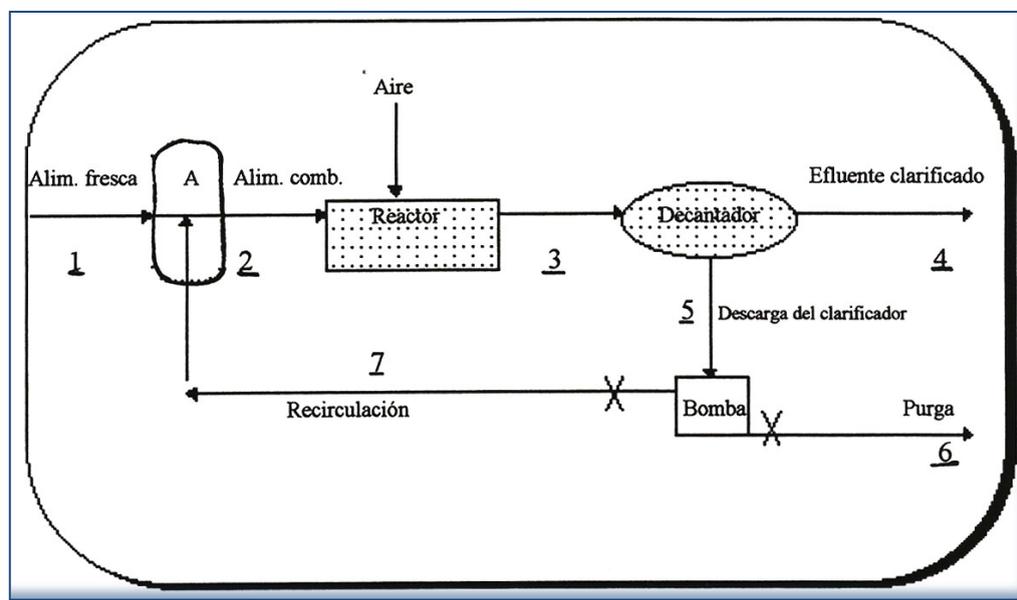


Figura 43. Diagrama de flujo del proceso e fangos activos

Nomenclatura:

Lo números subrayados corresponden a las diferentes corrientes que se definen a continuación.

Subíndices:

F : Alimentación fresca ó inicial; Corriente 1

o : Alimentación combinada (fresca + recirculado);

Corriente 2 ç

a : Efluente del reactor; Corriente 3

e : Efluente clarificado; Corriente 4

u : Descarga del clarificador Secundario; Corriente 5

w: Descarga de la purga; Corriente 6,

Nota: La Corriente 7, es la de recirculación; Se representa con R

Símbolos:

Q :	Caudal (m^3/s)
R :	Relación entre la alimentación inicial y la recirculación, para formar la alimentación combinada.
S:	DBO soluble (mg/l)
Xv,:	Concentración de sólidos en suspensión volátiles
Xnv,:	(mg/l).
V:	Concentración de sólidos en suspensión no volátiles
ΔXv :	(mg/l)
(VSS) w:	Volumen del reactor (m^3)
(NVSS)w:	Producción de lodos (Kg/d)
(TSS):	Kg/d de sólidos en suspensión volátiles en Purga Kg/d de sólidos en suspensión no volátiles en Purga Kg de sólidos en suspensión totales en la Purga.

Ejemplos:

Cada uno de estos símbolos puede ir acompañado del subíndice correspondiente a cada corriente, así, por ejemplo:

* QR, representa el caudal de recirculado

* Xv,a, representa la concentración de sólidos en suspensión volátiles en el reactor. Esta concentración equivale a la que se tienen en la corriente 3, efluente del reactor (reactor mezcla completa en equilibrio).

* SF, es la DBO soluble presente en la alimentación inicial

* Xnv,e, representa la concentración de sólidos en suspensión no volátiles presentes en el efluente final

Tabla 38. Parámetros que se estudian en cada corriente

Corriente 1:	Corriente 7:	Corriente 2;
QF	$QR = r * QF$	$Qo = QF + QR$
SF	Se	So
Xv,F	Xv,u	Xv,o
Xnv,F	Xnv,u	Xnv,o
En el Reactor:	Corriente 3:	Corriente 4:
V y OXv	Qo	Qe
Xv,a	Xv,a	Xv,e
$Xnv,a = Xnv,o$	Xnv,a	Xnv,e
Se	Se	Se
Corriente 5:	Corriente 6:	
Qu	Qw	
Se	Se	
Xv,u	Xv,u	
Xnv,u	Xnv,u	
	(VSS)w	
	(NVSS)w	
	(SST)w	

5.3. Variables Fundamentales del Proceso:

Hemos dicho ya que para diseñar una planta de fangos activados, es necesario conocer los parámetros Y, a, Kd, b, y k .

Estos parámetros los pudimos determinar mediante la experiencia con el reactor a escala laboratorio.

Las ecuaciones desarrolladas para la determinación de los parámetros biocinéticos estaban basadas en la experiencia del laboratorio, ensayo en el que no se estudiaba la recirculación ni la purga de forma continua.

En esta sección trataremos el diseño de la planta considerando como alimentación de entrada al reactor, la alimentación combinada, que resulta cuando la alimentación inicial (que viene de tratamientos anteriores) se suma a la fracción de recirculado que proviene de la descarga del clarificador secundario. Esto no lo considerábamos en el ensayo de laboratorio, en el cual tomamos como datos de alimentación inicial Q_0 y S_0 y no como datos de alimentación combinada.

Deberemos, pues, realizar los correspondientes balances para obtener las expresiones en función de la alimentación combinada.

a.- Una de las variables fundamentales es $MLVSS$, esta es una variable que determina el diseñador de la planta, en este caso un intervalo de 2000-3000.

La extracción de la producción neta de biomasa se realizaba intermitentemente, dependiendo de la cantidad de $MLVSS$ que hubiera de extraerse para mantener la concentración dentro de los límites establecidos. En la planta real el lodo se recicla tal y como indica el diagrama de flujo del proceso.

b.- Otra variable importante es la concentración de sólidos volátiles en el reciclado, X_v , u. (corriente 7).

Esta concentración se corresponde con la MLVSS de la purga, (corriente 6); esperándose una sedimentación adecuada del lodo tal que la concentración que se obtenga esté comprendida en el intervalo 10000-16000.

La purga se supone continua, a efectos de cálculos en los balances de materia.

En condiciones de equilibrio, la acumulación de lodos en el reactor debe ser nula por lo que la producción de lodo se elimina mediante el proceso de purga.

5.4. Ecuaciones de diseño que dependen de la alimentación inicial:

Como se ha indicado, las expresiones obtenidas anteriormente, para realizar el ensayo en el laboratorio, no tenían en cuenta la alimentación combinada. Es por ello, que se establecerán aquí las nuevas relaciones en función de la alimentación inicial, pero entendida como QF y no como Qo.

Las expresiones calculadas con anterioridad pueden encontrarse en la sección de la formulación del reactor continuo.

5.4.1. Balances de Materia para los Caudales:

La Relación de recirculación, r se define como el siguiente cociente: QR / QF por lo tanto:

$$QR = r * QF$$

En la alimentación combinada tenemos que:

$$Q_o = QF + QR \Rightarrow Q_o = QR + (r * QR) = QR * (1 + r)$$

Este caudal, Q_o , que entra en el reactor es igual al caudal de salida; y a su vez el caudal de salida del reactor se separa en el caudal que sale como efluente final, Q_e , y en que se descarga en el clarificador secundario, Q_u ; es por esta razón que también:

$$Q_o = Q_e + Q_u$$

En la descarga del clarificador secundario podemos establecer que los caudales de salida del clarificador se dividen en el caudal que se purga y el caudal que se recircula:

$$Q_u = Q_R + Q_w \Rightarrow Q_u = (Q_F * r) + Q_w$$

Resumiendo:

$$Q_o = Q_e + Q_u = Q_F + Q_R = Q_e + Q_R + Q_w$$

Y si ocurre que: $Q_F + Q_R = Q_e + Q_R + Q_w$

podrá decirse que: $Q_F = Q_e + Q_w$

5.4.2. Balances de Materia para So:

So es la DBO soluble combinada y se calcula mediante un balance de DBO alrededor del punto que en el diagrama de flujo se indica con la letra A. Este punto en donde convergen la alimentación fresca y la recirculación.

$$\text{DBO entrada} = \text{DBO salida}$$

- La DBO entrada = DBO fresca + DBO recirculada, por lo tanto:

$$\text{DBO entrada} = S_F * Q_F + S_e * Q_R$$

- La DBO a la salida corresponde a la alimentación combinada:

$$\text{DBO salida} = S_o Q_o$$

Si tenemos en cuenta, por los balances de caudal, que $Q_R = r * Q_F$, en condiciones de equilibrio tendríamos el siguiente balance:

$$S_F * Q_F + S_e * Q_F * r = Q_o * S_o$$

es decir que:

$$Q_F * (S_F + S_e * r) = Q_o * S_o; \text{ de donde}$$
$$S_o = [Q_F * (S_F + S_e * r)] / Q_o$$

En los balances de caudales puede determinarse que $Q_o = Q_F * (1 + r)$, entonces:

$$S_o = (S_F + S_e * r) / (1 + r)$$

La DBO consumida en el reactor es $(S_o - S_e)$ por lo que teniendo en cuenta esta diferencia, operando correctamente, obtendremos:

$$(S_o - S_e) = (S_F - S_e) / (1 + r)$$

5.4.3. Balances de Materia para obtener $X_{v,o}$ v $X_{nv,o}$:

Realizando, alrededor del punto de unión de la corriente 1 y la corriente 7(el punto A), un balance de sólidos en suspensión volátiles y no volátiles, obtendremos que:

$$\text{VSS entrada} = \text{VSS salida}$$

$$\text{VSS entrada} = Q_R * X_{v,u} + Q_F * X_{v,F}$$

$$\text{VSS salida} = Q_O * X_{v,o}$$

En el equilibrio se establece que:

$$Q_O * X_{v,o} = Q_R * X_{v,u} + Q_F * X_{v,F}$$

$$Q_R = r * Q_F ; \quad \text{por lo tanto:}$$

$$Q_O * X_{v,o} = Q_F * r * X_{v,u} + Q_F * X_{v,F} = Q_F * (X_{v,F} + r * X_{v,u});$$

de lo que se deduce que:

$$X_{v,o} = (Q_F/Q_O) * (X_{v,F} + r * X_{v,u}) \Rightarrow$$

$$X_{v,o} = (X_{v,F} + r * X_{v,u}) / (1 + r)$$

De forma similar se consigue, para el balance de sólidos no volátiles que:

$$X_{nv,o} = (X_{nv,F} + r * X_{nv,u}) / (1 + r)$$

5.4.4. Ecuaciones de diseño de las Relaciones Cinéticas.- Ecuación de la velocidad específica del consumo de sustrato, q:

Si antes definíamos el volumen del tanque como $V = Q_O * t_h$ (donde t_h era el tiempo hidráulico de residencia), por lo que

$$V / Q_O = t_h \text{ (tiempo hidráulico de residencia)}$$

Ahora será: $V = QF \cdot t$ (donde t tiempo de residencia de la alimentación fresca, es un tiempo ficticio), por lo cual:

$$V / QF = t \quad (\text{donde } t \text{ tiempo de residencia de la alimentación fresca, es un tiempo ficticio})$$

Con la nueva definición de tiempo ficticio determinamos la expresión de la velocidad de consumo de sustrato, q

Antes la escribíamos como:

$$q = (S_o - S_e) / (t_h \cdot X_{v,a}) = k \cdot S_e$$

Si tenemos en cuenta que con los balances de materia descritos:

$$Q_o = QF + Q_R = QF(1+r) \text{ y} \\ (S_o - S_e) = (S_F - S_e) / (1+r);$$

La expresión de q quedará como sigue:

$$q = [(S_F - S_e) / (1+r)] / [t_h \cdot X_{v,a}] \\ \text{Como } t_h = V/Q_o = V/QF(1+r) = t/(1+r)$$

$$q = (S_F - S_e) / [t \cdot X_{v,a}] = k \cdot S_e$$

5.4.5. Ecuación de diseño de la producción neta de biomasa:

Supongamos por un momento que pudiésemos estudiar por separado cada una de las dos corrientes que entran en el reactor en forma de alimentación combinada. Esto podríamos verlo mejor dibujado:

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

(Nota: Recordar que: $Q_o = Q_F + Q_R = Q_F * (1 + r)$ y $Q_R = r * Q_F$)

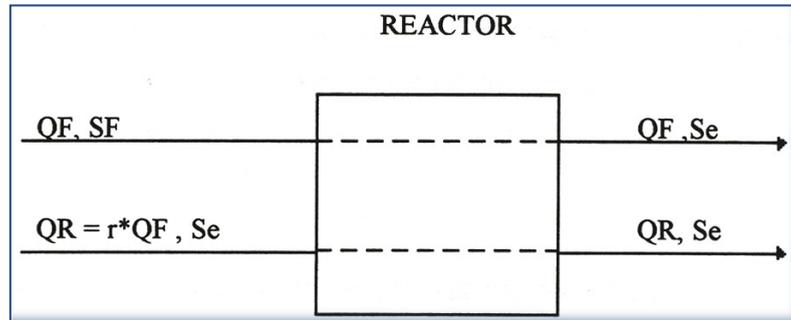


Figura 44. Diagrama teórico de un reactor biológico

Haciendo una interpretación física del diagrama, vemos la corriente de recirculación, no varía sus características, puesto que entra y sale con el mismo caudal y concentración de DBO soluble; mientras, la corriente de alimentación fresca si pasa de tener una DBO soluble a la entrada a tener otra de salida.

De estas dos corrientes hipotéticas separadas, extraemos la conclusión de que el lodo biológico que se sintetiza en el reactor se debe fundamentalmente al aporte de la alimentación fresca, pasando la SF a ser Se.

En el caso del reactor del laboratorio, se dedujo que la expresión de la producción neta de biomasa era:

$$\Delta X_v = Y * (S_o - S_e) * Q_o - K_d * V * X_{v,a}$$

— Con las condiciones de recirculación tendríamos la expresión corregida:

$$\Delta x_v = Y * (SF - S_e) * Q_F - K_d * V * X_{v,a}$$

El primer miembro de esta expresión indica que la producción de lodo biológico en el reactor se deriva de la alimentación fresca (como vemos, no incluye parámetros dependientes de R sino de F)

El tiempo ficticio, t , descrito en el anterior apartado, simboliza el tiempo que la corriente ficticia separada de alimentación fresca permanece en el interior del reactor. En los procesos de lodos activados este tiempo t oscila entre 4-8 horas.

5.4.6. Ecuaciones de diseño de la utilización de oxígeno:

En las expresiones obtenidas sin considerar la recirculación como parte de la alimentación al factor, la expresión que nos indicaba la utilización de oxígeno era

$$\text{Kg O}_2/\text{dia} = a * (S_o - S_e) * Q_o + b * V * X_{v,a}$$

Pero teniéndola en cuenta la expresión cambia para quedar:

$$\text{Kg O}_2/\text{dia} = a * (S_F - S_e) * Q_F + b * V * X_{v,a}$$

El primer término de esta expresión es análogo al primer miembro de la expresión de la producción neta de biomasa; representa el oxígeno utilizado por la corriente hipotética separada de alimentación fresca.

5.4.7. Ecuación de diseño de la relación A/M

$$\text{Antes : } A/M = (S_o * Q_o) / (X_{v,a} * V) = S_o / (X_{v,a} * t_h),$$

Teniendo en cuenta que el aporte de sustrato lo realiza la corriente ficticia de alimentación fresca separada, La ecuación modificada queda

$$A/M = SF / (X_{v,a} * t)$$

Donde la relación óptima de A/M me permite calcular que:

$$t = (A/M_{opt} * X_{v,a}) / SF$$

siendo $t = f(QF)$

5.5. Balances de Materia para obtener la Producción total de lodos:

En este apartado se van a establecer los balances de materia que permitirán determinar la cantidad de sólidos e suspensión volátiles y no volátiles en la corriente de purga (corriente 6). Para lo cual se estudiarán los sólidos en suspensión de toda la planta.

5.5.1. Balances de Materia de los Sólidos en susp. volátiles:

Condiciones de partida:

- a. La concentración de MLVSS del reactor, $X_{v,a}$, en el equilibrio se establece en un valor entre 2000 - 3000 mg/l.
- b. La producción de biomasa por la síntesis del sustrato en el reactor viene dada por la expresión:

$$\text{Kg MLVSS prod.} = Y * (SF - Se) * QF.$$

ya que : Kg MLVSS producidos = Y * Kg de DBO consumida

- c. La biomasa perdida por endogénesis se expresa por:

$$\text{Kg MLVSS perdidos} = K_d * V * X_{v,a}$$

- d. La alimentación inicial contiene una concentración de sólidos en suspensión volátiles despreciables; $X_{v,F} \approx 0$ Esta aproximación puede hacerse sin grandes consecuencias para el diseño ya que agua arriba al reactor la aireación suministrada al sistema es inapreciable, por lo que la posibilidad de desarrollo de biomasa no es significativo.

- e. La biomasa que se purga se expresa mediante: $Q_w * X_{v,u}$
- f. La parte de sólidos que se pierden por el rebosadero del clarificador secundario, ha de ser pequeña ($Q_e * X_{v,e}$)

En las condiciones de equilibrio:

$$VSS \text{ entran} = VSS \text{ salen}$$

VSS entran = VSS síntesis en reactor + VSS alimentación inicial

$$VSS \text{ entran} = Y * (S_F - S_e) * Q_F + Q_F * X_{v,F}$$

VSS salen = VSSpurga + VSS perd. Endogénesis + VSS perd. Rebosadero

$$VSS \text{ salen} = (Q_w * X_{v,u}) + (K_d * X_{v,a} * V) + (Q_e * X_{v,e})$$

Por lo tanto:

$$Y * (S_F - S_e) * Q_F + Q_F * X_{v,F} = (Q_w * X_{v,u}) + (K_d * X_{v,a} * V) + (Q_e * X_{v,e})$$

$$(Q_w * X_{v,u}) = [Y * (S_F - S_e) * Q_F - (K_d * X_{v,a} * V)] - (Q_e * X_{v,e}) + Q_F * X_{v,F};$$

$$(VSS)_w = (Q_w * X_{v,u}) = \Delta x_v - (Q_e * X_{v,e}) + Q_F * X_{v,F};$$

Los sólidos en suspensión volátiles igualan a los que se pierden en el rebosadero del clarificador, los que llegan con la alimentación inicial y los que se producen con la oxidación del sustrato.

5.5.2. Balances de Materia de los Sólidos en susp. No volátiles:

Se establece el siguiente balance de materia:

$$\text{NVSS entran} = \text{NVSSsalen}$$

$$\text{NVSS entran} = \text{NVSS de alimentación inicial} = QF * X_{nv,F}$$

$$\text{NVSSsalen} = \text{NVSS purga} + \text{NVSS rebosadero} = Qw * X_{nv,u} + Qe * X_{nve}$$

Por lo tanto:

$$QF * X_{nv,F} = Qw * X_{nv,u} + Qe * X_{nve}$$

$$(\text{NVSS})_w = Qw * X_{nv,u} = QF * X_{nv,F} - Qe * X_{nve}$$

5.5.3. Balance de Sólidos en Suspensión Totales:

$(\text{SST})_w$ ó sólidos en suspensión totales, en la purga = $(\text{NVSS})_w + (\text{VSS})_w$

$$(\text{SST})_w = [Y (SF - Se) * QF - (Kd * X_{v,a} * V)] - (Qe * X_{v,e}) + QF * X_{v,F} + QF * X_{nv,F} - Qe * X_{nve}$$

$$X_{nv,F} - Qe * X_{nve}$$

Operando obtenemos que:

$$(\text{SST})_w = \Delta x_v - (Qe * X_{v,e}) + QF * X_{v,F} + QF * X_{nv,F} - Qe * X_{nve}$$

Teniendo en cuenta que de los balances de caudales obteníamos: $Qe = QF - Qw$; podemos eliminar, en la ecuación de $(\text{NVSS})_w$, Qe ; quedando así

$$(SST)_w = \Delta x_v - (Q_e * X_{v,e}) + Q_F * X_{v,F} + Q_F * X_{nv,F} - (Q_F - Q_w) * X_{nve}$$

$$(SST)_w = \Delta x_v - (Q_e * X_{v,e}) + Q_F * X_{v,F} + Q_F * X_{nv,F} - Q_F * X_{nve} + Q_w * X_{nve}$$

por lo tanto, la ecuación queda:

$$(SST)_w = \Delta x_v - (Q_e * X_{v,e}) + Q_F * X_{v,F} + Q_F * (X_{v,F} - X_{nve}) + Q_w * X_{nve}$$

5.6. Expresiones para calcular los caudales de curso v del rebosamiento del clarificador secundario. Q_w y Q_e respectivamente:

Debemos recordar que hemos definido Q_e como: $Q_e = Q_F - Q_w$; .

Si en la ecuación de $(VSS)_w$, sustituimos el valor de Q_e , por esta expresión, quedará:

$$\begin{aligned} (VSS)_w &= (Q_w * X_{v,u}) = \Delta x_v - (Q_e * X_{v,e}) + Q_F * X_{v,F} = \\ &= \Delta x_v - ((Q_F - Q_w) * X_{v,e}) + Q_F * X_{v,F} \end{aligned}$$

operando nos queda:

$$(Q_w * X_{v,u}) = \Delta x_v - (Q_F * X_{v,e}) - (Q_w * X_{v,e}) + (Q_F * X_{v,F})$$

Despejando de esta ecuación Q_w obtenemos la expresión que permite conocer el caudal de purga:

$$Q_w = [\Delta x_v - Q_F * (X_{v,F} - X_{v,e})] / (X_{v,u} - X_{v,e})$$

de esta ecuación se deduce que Q_e tiene la siguiente expresión

$$Q_e = Q_F - Q_w = Q_F - \{ [\Delta x_v - Q_F * (X_{v,F} - X_{v,e})] / (X_{v,u} - X_{v,e}) \}$$

correspondiendo el valor que se extraiga de esta expresión, al caudal de rebosamiento por el clarificador.

5.7 Balance de materia para la determinación de la relación de recirculación. r:

La relación de recirculo, ó recirculación, se definió anteriormente como la relación entre el caudal de alimentación fresca y el caudal de recirculación que se combinan para dar la alimentación de entrada al reactor.

Esto se traduce en que: $r = Q_R / Q_F$

Realizando un balance de VSS alrededor del clarificador secundario, se obtiene:

$$VSS \text{ entran} = VSS \text{ salen}$$

$$VSS \text{ entran} = VSS_{\text{efluente reactor}} = Q_o * X_{v,a}$$

$$VSS \text{ salen} = VSS_{\text{efluente clarificador}} + VSS_{\text{purga}} + VSS_{\text{en lodo reciclado}} =$$

$$= (Q_e * X_{v,e}) + (\Delta x_v + (Q_F * X_{v,F}) - (Q_e * X_{v,e})) + (Q_R * X_{v,u});$$

$$Q_R * X_{v,u} = r * Q_F * X_{v,u} \quad \text{y} \quad Q_o * X_{v,a} = Q_F * (1+r) * X_{v,a}$$

En condiciones de equilibrio:

$$Q_F * (1 + r) * X_{v,a} = (Q_e * X_{v,e}) + (\Delta x_v + (Q_F * X_{v,F}) - (Q_e * X_{v,e})) + (r * Q_F * X_{v,u});$$

Si despejamos de esta ecuación r , la expresión quedará como se indica:

$$r = ((QF * X_{v,a}) - (QF * X_{v,F}) - \Delta x_v) / (QF * (X_{v,u} - X_{v,a})); \text{ es decir:}$$

$$r = (X_{v,a} - X_{v,F}) - \Delta x_v / (X_{v,u} - X_{v,a})$$

Normalmente los valores de Δx_v y $QF * X_{v,F}$, del numerador, son pequeños comparados con el valor de $QF * X_{v,a}$, en el denominador; pudiéndose escribir una ecuación reducida:

$$R = X_{v,a} / (X_{v,u} - X_{v,a})$$

Si consideramos que $X_{v,u}$ y $X_{v,a}$ son valores prefijados por el diseñador de la planta, podemos realizar esta aproximación para estudiar las primeras etapas del proceso de diseño, y poder planificar antes de introducirse en estudios más profundos y complejos.

5.8. Cálculo del tiempo de residencia en el reactor:

En primer lugar deben estudiarse qué criterios son los que determinan el tiempo de residencia en el interior del reactor. Éstos son, principalmente dos:

- a. La Calidad del efluente; ya que deberán cumplirse los requisitos establecidos previamente. Ésta depende de la DBO soluble consumida.
- b. La Carga orgánica; estudiada mediante la relación A/M óptima del lodo.

Se calculan los tiempos de residencia a partir de las expresiones que determinan ambas condiciones; Para el primer caso:

$$t = (SF - Se) / (k * X_{v,a} * Se)$$

Para el segundo caso:

$$t = SF / (X_{v,a} * (A/M)_{opt})$$

Los tiempos obtenidos de las dos ecuaciones normalmente no coinciden, debiendo estudiarse para cual de los dos el tiempo de retención es más restrictivo.

Hay que considerar que la temperatura crítica de invierno, es decir, la temperatura menor, nos determina el consumo de DBO soluble más desfavorable. Esta condición dirige el cálculo del tiempo de residencia con la primera expresión, ya que si no lo consideramos así, podría ocurrir que el efluente de salida no presentara las condiciones de calidad exigidas.

De igual forma hay que estudiar la sedimentabilidad del lodo, de tal forma que no se presenten problemas y éste realice una fácil decantación. Esta característica la controlamos con la relación A/M, que tendrá que mantenerse en un intervalo apropiado para tal fin. El tiempo de residencia necesario bajo las condiciones preestablecidas de A/M lo determinamos con la ecuación segunda.

Dependerá de múltiples factores el que el tiempo de residencia obtenido a partir de una u otra expresión sea mayor que el otro. Pero el que controla el diseño del reactor para la obtención de un efluente correctamente depurado, es aquél de ellos que sea superior, (ó uno de compromiso entre ambos), con lo cual se garantiza el cumplimiento de las exigencias de ambos criterios.

Cuando se determina el tiempo de residencia, se calcula el volumen del reactor que es necesario y la relación A/M real, así como el valor real de Se,

(dependiendo del cual de los dos tiempos hallamos tomado como el de residencia), con ese tiempo que hemos calculado. Para ello empleamos las fórmulas siguientes:

$$V = QF * t \quad A/M = SF / (X_{v,a} * t) \quad Se = SF / (1 + (k * t * X_{v,a}))$$

El cálculo de Se se realizará para las temperaturas críticas de invierno (k menor).

5.9. Necesidades de nutrientes

Conocemos con el nombre de nutrientes a aquellas sustancias necesarias para el desarrollo de la actividad biológica de forma correcta; éstos son el Fósforo, Nitrógeno, Calcio, Magnesio, y Vitaminas, que aunque necesarias en pequeñas cantidades, del orden de trazas, suelen encontrarse en las aguas residuales.

En el caso de las aguas residuales industriales, las aguas pueden presentar déficit en alguno de estos nutrientes, en concreto de Fósforo (P) y Nitrógeno (N). Es por esta razón importante conocer las cantidades que se requieren en el proceso de ambas sustancias.

El estudio del aporte necesario se realiza partiendo del hecho de que el contenido de P y N en los MLVSS purgados, es decir, los Kg / día de ΔX_v , son del 2% y 12% respectivamente.

Los pesos de estos nutrientes que se pierden son:

1. Peso perdido por la purga de MLVSS:

N : $(0.12 * \Delta X_v)$ Kg/d

P: $(0.02 * \Delta X_v)$ Kg/d

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

2. Peso perdido en el efluente:

Debe recordarse que el efluente total = $Q_e + Q_w = Q_F$

Las concentraciones de P y N solubles presentes en el efluente se estiman, respectivamente, iguales a 1,0 y 0,5 mg/l . Por esto:

$$N : (1,0 * Q_F * 86,4) \text{ Kg/d}$$

$$P : (0,5 * Q_F * 86,4) \text{ Kg/d}$$

(86,4 es el factor que resulta al unificar las unidades).

En resumen:

$$N \text{ requerido: } (1,0 * Q_F * 86,4) + (0,12 * \Delta X_v) \text{ Kg/d}$$

$$P \text{ requerido: } (0,5 * Q_F * 86,4) + (0,02 * A X_v) \text{ Kg/d}$$

Las cantidades disponibles de estos nutrientes son

$$N \text{ disponible: } 86,4 * Q_F * (NKT) \text{ Kg/d}$$

$$P \text{ disponible: } 86,4 * Q_F * (P) \text{ Kg/d}$$

(NKT) indica el nitrógeno total Kjeldahl en la alimentación inicial en mg/l

(P) indica el fósforo en la alimentación inicial en mg/l

En el caso de que las cantidades disponibles fueran mayores que las requeridas, no se añadirían cantidades de estos nutrientes, pero si se diese en caso contrario, la adición de las cantidades deficitarias se realiza en forma de:

NH_3 , anhidro ó acuoso, PO_4H_3 ó $\text{PO}_4 \text{NH}_3$.

5.10. Neutralización:

El pH al que la actividad bacteriana es adecuada, se halla entre 6 y 8 , por lo cual es necesario comprobar si el agua que entra en el reactor necesita de una neutralización previa.

Algunas aguas alcalinas no necesitan ser neutralizadas ya que el CO_2 producido por la degradación bacteriana, reacciona con los grupos OH, presentes debido a la alcalinidad, para formar bicarbonato (HCO_3), taponándose el sistema a pH 8 aproximadamente. El cálculo realizado estima que se consumen del orden de 0,5 Kg de alcalinidad, expresada como CaCO_3 , por cada Kg de DBO consumida.

5.11. Estudio del efecto de la temperatura:

5.11.1. Estimación de la temperatura de operación del Reactor Biológico:

Las variaciones que sufre la constante de la ecuación cinética del consumo de sustrato, k , con las variaciones de temperatura, pueden describirse con un modelo matemático que sigue la ecuación de Arrhenius, determinándose que cada aumento de 10°C hace que el valor de k se duplique; pudiéndose expresar por medio de la siguiente ecuación:

$$k_{T_w} = k_{20} \Phi^{(T_w - 20)}$$

donde T_w representa la temperatura el agua residual en el interior del reactor, en $^\circ\text{C}$, k_{20} es el valor de la constante a los 20°C , determinado experimentalmente en el laboratorio, y Φ es un valor empírico igual a 1,03. (El efecto que la temperatura ejerce en los parámetros biocinéticos no es tan determinante, no obstante se le dedicará el apartado siguiente 10.2).

Es importante conocer la temperatura a la que opera el reactor biológico con el fin de corregir la constante de la velocidad k que se ha hallado en el laboratorio, hasta la temperatura real de trabajo.

Si se pudiera determinar un rango de trabajo de la temperatura de operación del reactor, T_w , el problema que supone realizar estas correcciones se vería simplificado.

Estableciendo un balance térmico en el reactor, podemos estimar la temperatura de operación, T_w de la siguiente manera:

Supongamos la figura siguiente, en la que se representa la situación térmica real, a la izquierda, y la hipotética, a la derecha, en la que se divide la alimentación total que se introduce al reactor en dos corrientes ficticias, una de alimentación fresca, otra la de recirculado.

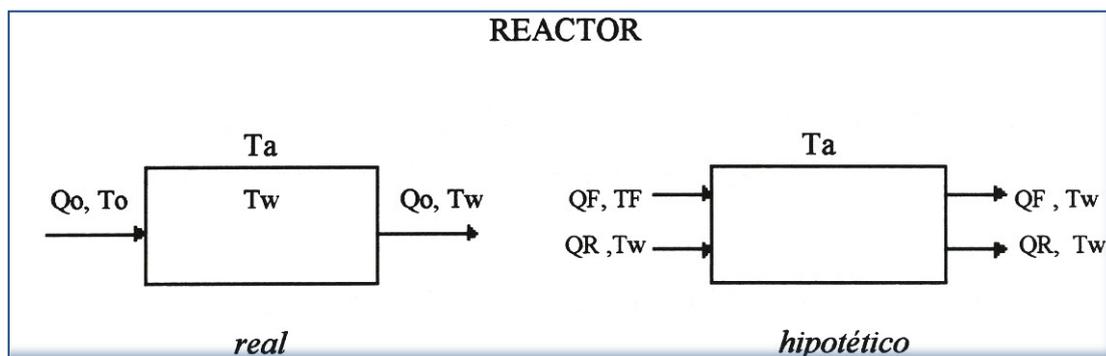


Figura 45. Variaciones hipotéticas de temperatura el reactor

La nomenclatura que se usa en este gráfico define los términos siguientes:

Q_o : Caudal de alimentación combinada entrante y saliente del reactor

QF: " fresca, separada hipotéticamente, entrante en el reactor

QR: " reciclada , " " , entrante en el reactor

Ta: Temperatura ambiente, °C

TF: Temperatura de la alimentación fresca, °C

Tw: Temperatura del licor y del efluente de salida del reactor

Para hacer el balance térmico debemos definir también:

h : Es el coeficiente de transferencia de calor entre la masa de licor del reactor y el calor ambiental, expresado en $\text{Kcal} / (\text{h} * \text{m}^2 * ^\circ\text{C})$

C : Es el calor específico del licor mezclado del reactor, que tomamos igual a $1,0 \text{ Kcal}/(\text{Kg} * ^\circ\text{C})$

mF: Es el caudal másico de la alimentación fresca, expresado en Kg/h

para lo cual hacemos:

$$mF = QF (\text{m}^3/\text{s}) * 1000 (\text{Kg}/\text{m}^3) * 3600(\text{s}/\text{h}) = 3,6 * 10^6 * QF$$

A : Es la superficie de transferencia el licor en la balsa de aireación , se expresa en m^2

En el equilibrio deben igualarse en cambio entálpico que tiene lugar en el afluente con las pérdidas de calor que sufre el ambiente; es decir:

$$- \Delta H \text{ afluente} = mF * (TF - Tw) = 3,6 * 10^6 * QF * (TF - Tw) ; \text{Kcal}/\text{h}$$

$$\begin{aligned} - \text{Pérdidas de calor} &= h (\text{Kcal} / (\text{h} * \text{m}^2 * ^\circ\text{C})) * A (\text{m}^2) * (Tw - Ta) ^\circ\text{C} = \\ &= h * A * (Tw - Ta) ; \text{Kcal}/\text{h} \end{aligned}$$

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

En el equilibrio:

$$3,6 \cdot 10^6 \cdot QF \cdot (TF - Tw) = h \cdot A \cdot (Tw - Ta) ; \text{Kcal/h}$$

Para abreviar la expresión, podemos llamar: $F = h / 3,6 \cdot 10^6$; y despejando Tw obtendremos:

$$Tw = (A \cdot F \cdot Ta + QF \cdot TF) / (A \cdot F + QF)$$

Las variables de las que depende el valor del coeficiente de transferencia de calor, h , son:

La humedad relativa del aire, la velocidad del viento, la radiación solar, la geometría de la balsa de aireación y la potencia requerida para los arreadores, siendo ésta la de mayor importancia para el caso de reactores lodos activos.

Teniendo en cuenta que la cantidad de calor liberado por 1CV en una hora para un cambio de temperatura de 1°C es de $1134 \text{ Kcal} / (\text{h} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{CV})$, podemos establecer la igualdad de

$$h \cdot A = 1134 \cdot \text{CV}; (\text{CV} = \text{potencia requerida})$$

Por lo que la ecuación, en el equilibrio, puede escribirse como:

$$3,6 \cdot 10^6 \cdot QF \cdot (TF - Tw) = 1134 \cdot (\text{CV}) \cdot (Tw - Ta) ; \text{Kcal/h}$$

Y al despejar ahora Tw se obtiene que:

$$Tw = [(3,6 \cdot 10^6 \cdot QF \cdot TF) + (1134 \cdot \text{CV} \cdot Ta)] / [(3,6 \cdot 10^6 \cdot QF) + (1134 \cdot \text{CV})]$$

Para la determinación de la temperatura de operación en la balsa de aireación, T_w , debemos suponer un valor de potencia; para no escoger valores dispares se tomará uno ajustado una expresión dada:

$$\text{Tenemos que: } CV \approx (\text{Kg DBO /d}) / [(30 \text{ a } 32) * \text{Kg DBO}/(\text{CV} * \text{d})]$$

Esta regla de estimación se extrae del hecho de que en una planta de lodos activos, se consumen al día de 30 a 32 Kg de DBO por CV.

$$\text{Kg de DBO} = 86,4 * QF(\text{m}^3/\text{s}) * (\text{SF} - \text{Se})(\text{mg}/1)$$

Es por esto que el valor de potencia, para iniciar el cálculo iterativo se tomará ajustado a la expresión

$$CV = 86,4 * QF * (\text{SF} - \text{Se}) / (30 \text{ a } 32)$$

Con el resultado, se calcula el valor aproximado de T_w . Con el valor de T_w se recalcula el valor de potencia requerida hasta conseguir una mínima desviación entre dos pares consecutivos de CV y T_w .

Más adelante se determinarán las expresiones que permitan realizar un cálculo más exhaustivo de la potencia requerida, ya que sólo podremos conocerla en etapas posteriores al diseño de la balsa de aireación. Por esta razón es necesario hacer una estimación preliminar, (luego se ajustarán los valores).

5.11.2. Efecto de la temperatura sobre los parámetros biocinéticos:

Recordemos qué parámetros vamos a considerar en esta sección:

- k_d : coeficiente de descomposición microbiana;

- b : Kg de oxígeno usados por día y por Kg de MLVSS en el reactor en la fase endógena

Los parámetros a y Y no se estudian en esta sección por que no son muy sensibles a las variaciones de temperatura. De cualquier forma, es de elevada dificultad estimar este efecto sobre estos parámetros, por lo que, en lo que al diseño de las plantas de fangos activos, se suponen independientes de ésta.

Al igual que la ecuación de la constante de la velocidad de consumo, se ha determinado que dentro de los márgenes normales de temperatura de operación, tanto Kd como b, presentan variaciones con la temperatura, que pueden describirse mediante la ecuación de Arrhenius; es decir:

para Kd:

$$K_{d,Tw} = K_{d,20} \Phi^{(Tw - 20)}$$

para b:

$$b_{,Tw} = b_{,20} \Phi^{(Tw - 20)}$$

Donde Tw representa la temperatura el agua residual en el interior del reactor, en °C, y Φ es un valor empírico comprendido entre 1,03 y 1,06.

5.12. Balances de materia para la determinación de Sólidos No Volátiles en Suspensión:

Ahora estudiaremos este parámetro en las diferentes zonas de la planta. Para ello, el proceso consiste en tomar una fracción de sólidos en suspensión volátiles a la salida del reactor y dentro de él, que designaremos como Fv, siendo:

$$F_v = X_{v,a} / (X_{v,a} + X_{nv,a})$$

Al diseñar una planta se estima que la concentración de los sólidos volátiles en el reactor ha de oscilar entre un 70 - 90 % esto significa que:

$$0.7 < F_v < 0.9$$

Normalmente $X_{v,a}$ está predeterminada por el diseñador en un valor entre 2000 - 3000 mg/l, (en las plantas de lodos activos convencionales); sin embargo $X_{nv,a}$ es un valor que se calcula.

Si despejamos $X_{nv,a}$ de la ecuación, obtenemos que:

$$X_{nv,a} = (1 - F_v) / F_v = X_{nv,o}$$

El valor de los sólidos no volátiles en el interior del reactor y a la salida de él es similar, se establece así.

El valor de $X_{nv,u}$ se puede obtener haciendo un balance de materia no volátil alrededor del clarificador secundario.

Es necesario conocer de antemano la pérdida de sólidos no volátiles en el efluente del clarificador; lo ideal es que se diseñe para una captura del 100% de los sólidos, lo que significaría que $X_{nv,e} \approx 0$.

Si hacemos el balance:

$$Q_o * X_{nv,a} = Q_e * X_{nv,e} + Q_u * X_{nv,u}$$

despejando $X_{nv,u}$

$$X_{nv,u} = [QF * (1+ r) * X_{vn,a} - Q_e * X_{nv,e}] / Q_u$$

Al realizar las aproximaciones correspondientes, tendremos:

$$X_{nv,u} \approx (QF * (r + 1) * X_{nv,a})/Q_u$$

Estableciendo otro balance de materia alrededor del punto de unión entre la alimentación fresca y la corriente de recirculado, se obtiene:

$$QF * X_{nv,F} + QR * X_{nv,u} = Q_o * X_{nv,o} = Q_o * X_{nv,a}$$

Despejando $X_{nv,F}$;

$$X_{nv,F} = (r + 1) * X_{nv,a} - X_{nv,u}$$

En el caso de existir un clarificador primario, $X_{nv,f}$ sería la concentración de sólidos no volátiles que contendría el agua, por lo que podemos dimensionar este clarificador, con esta pérdida de NVSS por el rebosadero.

5.13.- Determinación de la Edad del Fango

El término edad del fango, θ , se define como la relación entre la masa de VSS del sistema y la producción neta de biomasa. Estudiaremos su utilidad para regular y controlar las condiciones de operación de la planta.

Para determinar la expresión de la edad del fango recordemos que la cantidad de sólidos volátiles contenidos en la purga lo determinábamos mediante la expresión:

$$(Q_w * X_{v,u}) = [Y * (S_F - S_e) * Q_F - (K_d * X_{v,a} * V)] - (Q_e * X_{v,e}) + Q_F * X_{v,F}$$

y que esto se traduce en:

$$\Delta X_v = (Q_w * X_{v,u}) + (Q_e * X_{v,e}) - (Q_F * mX_{v,F})$$

La edad del fango será:

$$\theta = X_{v,a} * V / \Delta X_v$$

$$\theta = (X_{v,a} * V) / [(Q_w * X_{v,u}) + (Q_e * X_{v,e}) - (Q_F * X_{v,F})]$$

Obsérvese que la expresión de la edad del fango se corresponde con la expresión de la velocidad específica de crecimiento de la biomasa, pero a la inversa, esto es:

$$\theta = X_{v,a} * V / \Delta X_v = 1 / \mu$$

ya que:

$$\mu = (\Delta X_v / X_{v,a}) / V$$

Podemos decir, que la edad del fango es un parámetro que permite controlar el crecimiento de la biomasa, en una relación inversamente proporcional.

La velocidad específica de crecimiento de la biomasa, μ , también puede expresarse en forma de ecuación lineal, siendo:

$$\mu = Y * q - K_d;$$

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

por lo que también podremos expresar la expresión de la edad del fango en la forma siguiente:

$$1/\vartheta = Y * q - K_d = \mu$$

Esta expresión de edad del fango permite determinar expresiones para el cálculo de S_e y $X_{v,a}$, ya que el término q (velocidad de consumo del sustrato), puede ser sustituido por:

$$q = (SF - S_e) / (t * X_{v,a}) = k * S_e$$

Si empleamos el primer miembro, podemos despejar $X_{v,a}$ (concentración de MVLSS en el reactor), obteniendo que la ecuación del valor de equilibrio para este parámetro será

$$1/\vartheta = Y * q - K_d = Y * ((SF - S_e) / (t * X_{v,a})) - K_d$$
$$X_{v,a} = (1/t) * [(SF - S_e) * \vartheta * Y] / [(\vartheta * K_d) + 1]$$

Esta ecuación es independiente de la cinética que siga q .

De forma similar, y usando el segundo miembro, podemos obtener la ecuación para el valor de equilibrio de S_e (concentración de DBO en el efluente del clarificador secundario):

$$1/\vartheta = Y * q - K_d = Y * (k * S_e) - K_d$$

$$S_e = [1 + K_d * \vartheta] / [Y * k * \vartheta]$$

Esta expresión si depende de la cinética de q , ya que, como se explicó en su momento, el segundo término es el resultado de la suposición de que la velocidad de consumo del sustrato sigue una cinética de orden 1.

Hasta ahora hemos desarrollado el diseño de la planta de fangos activados, a partir de unos valores de $X_{v,a}$ y S_e establecidos. A partir de estos valores se ha determinado el tiempo de retención, t , el volumen del reactor.... y demás parámetros incluidos la edad del lodo.

Al desarrollar las expresiones de la edad del lodo para obtener expresiones de $X_{v,a}$ y S_e , vemos que puede hacerse un desarrollo del diseño en base al preestablecimiento de los valores de θ y t ; ; y a partir de éstos calcular el resto de variables.

Recordemos que el tiempo de retención se define como: $t = V/QF$

5.1.4.- Relación del parámetro A/M con la edad del lodo

La expresión de A/M que conocemos es:

$$A/M = (Q_0 * S_0) / (X_{v,a} * V);$$

o lo que es lo mismo:

$$A/M = S_0 / (X_{v,a} * t);$$

Algunos autores definen esta relación como los Kg de sustrato empleado para la obtención de los Kg de MLVSS en el reactor; en este caso podemos expresarlo como:

$$A/M = (S_0 - S_e) / (X_{v,a} * t);$$

Expresión válida, dentro de ciertos límites, si consideramos que el valor de S_e frente al de S_0 , es pequeño, (no superior al 15 %).

A/M es un factor de correlación, por lo que su definición no es muy exacta.

Recordemos que la expresión de la velocidad de consumo del sustrato q es:

$$q = (S_o - S_e) / (X_{v,a} * t)$$

Podemos observar la similitud entre ambas expresiones, por lo que se hace la aproximación de que $A/M \approx q$; y como consecuencia de esto:

$$\mu = Y * q - K_d = Y * (A/M) - K_d = 1 / \theta$$

$$Y * (A/M) - K_d = 1 / \theta$$

De esta expresión se deduce que controlando la edad del fango se puede controlar la relación A/M, y viceversa.

Normalmente, el diseñador de la planta, escoge un valor de la relación alimento-microorganismos (A/M), cercano al valor óptimo. Al hacer esto se puede calcular la edad del lodo con esta ecuación .

Para mantener la edad del fango más o menos constante, debe regularse el caudal de la purga.

Si la relación A/M es elevada, esto significa que existe una cantidad de alimento superior a la que necesitan los microorganismos presentes.

La solución para evitar el problema es la de reducir esta relación. Para ello se aumenta la edad del fango disminuyendo el caudal de purga progresivamente para evitar choques de carga.

5.15. Transferencia de oxígeno al agua residual:

5.15.1. Introducción:

En esta sección estudiaremos cómo el oxígeno es transferido al agua residual, con el fin de obtener qué sistema de aireación será adecuado instalar para el tratamiento biológico aerobio de fangos activados al que hacemos mención.

Para los cálculos deben realizarse comparaciones con la transferencia de oxígeno al agua corriente.

Es necesario determinar la saturación de oxígeno, para obtener la concentración de oxígeno disuelto (OD mg/1), en las condiciones de saturación.

Para el agua residual la llamaremos: C_{sr} (mg/1)

Para el agua corriente la llamaremos: C_s (mg/1)

La relación entre ambas se expresa como β , obteniéndose experimentalmente que su valor oscila entre 0.92 y 0.98

$$\beta = C_{sr}/C_s$$

Los valores de C_s , a 760 mm Hg , pueden obtenerse de la tabla siguiente:

Tabla 39. Concentración de oxígeno disuelto a saturación a distintas temperaturas

<u>T^a (°C)</u>	<u>C_s (mg/l)</u>
10	11,3
15	10,2
20	9,2
25	8,4
30	7,6
35	7,1
40	6,6

REUTILIZACION DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

El efecto que ejerce la presión sobre C_s se estudia por de la *ley de Henry*, según la cual la concentración de oxígeno disuelto (OD) en la fase líquida es proporcional a la presión parcial del oxígeno en la fase gaseosa, esto es:

$$C_s = Y(O_2) * (P - P_v)$$

siendo P la presión barométrica, P_v la presión de vapor de agua e $Y(O_2)$ la fracción molar del oxígeno en el aire, (que es igual a 0,21).

La diferencia ($P - P_v$) representa la presión del aire en la fase gaseosa.

Obtenemos una expresión similar para C_s a 760 mm Hg; y la relación entre éstas se representa en la expresión:

$$C_s / C_{s760} = (P - P_v) / (760 - P_v)$$

Los valores de P_v se encuentran en la tabla siguiente:

Tabla 40. Presión de vapor de agua a diferentes temperaturas

<u>T^a (°C)</u>	<u>C_s (mg/l)</u>
10	9,209
15	12,788
20	17,535
25	23,756
30	31,824
35	42,175
40	55,324

Dependerá del tipo de aireación escogida, por aireación superficial o por burbujeo (difusores, turbinas) el que se realicen unas u otras aproximaciones para corregir esta expresión.

5.15.2. Ecuación de Transferencia de Oxígeno:

El estudio que se va a realizar aquí se basa en la teoría de la doble película, la cual habla de la existencia de dos capas, una líquida y otra gaseosa, en la interfase entre la fase de masa gaseosa y la fase de masa líquida.

Las capas interfaciales ofrecen resistencia a la transferencia de oxígeno, desde la masa gaseosa hasta la masa líquida, aunque la que ofrece la capa gaseosa se desprecia frente a la resistencia que ofrece la película líquida.

El proceso de transferencia se divide en dos partes:

1. Saturación de la interfase líquida (C_s), existente entre las dos fases.
2. Paso de las moléculas de oxígeno desde la interfase líquida a la masa de líquido (C), de tal forma que en esta parte el proceso de transferencia reduce la velocidad, debido a la mayor resistencia que ofrece dicha masa a la difusión de oxígeno.

Depende del nivel de turbulencia el que el proceso de transferencia lo controle la película líquida o la masa de líquido

Para comprender el proceso de transferencia, se realizan las figuras 5.4a y 5.4b, que se expone a continuación:

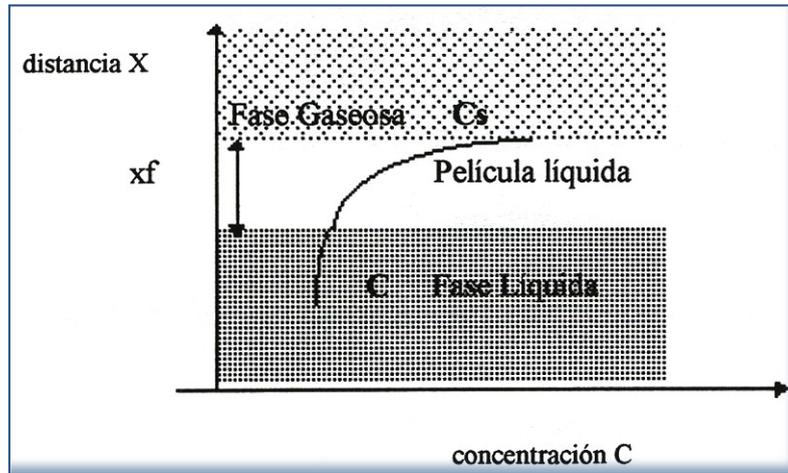


Figura 46. Transferencia de oxígeno

La ecuación que controla la transferencia de oxígeno es:

$$\left(\frac{\partial M}{\partial t} = -D \cdot A \cdot \frac{\partial C}{\partial x_f}\right)$$

$\frac{\partial}{\partial}$ es el símbolo de la derivada parcial

$\frac{\partial M}{\partial t}$ es la velocidad de transferencia (kg/h)

D es el coeficiente de difusión (m^2/h)

A es el área de contacto superficial entre la fase líquida y la fase gaseosa (m^2)

$\frac{\partial C}{\partial x_f}$ es el gradiente de concentración de oxígeno ($kg/(m^3 \cdot m)$)

La concentración de oxígeno es una variable que depende no sólo del espesor de la película de líquido sino también del tiempo. Como el espesor de dicha capa es muy pequeño podemos realizar una aproximación línea, de tal forma que el diagrama quedaría así:

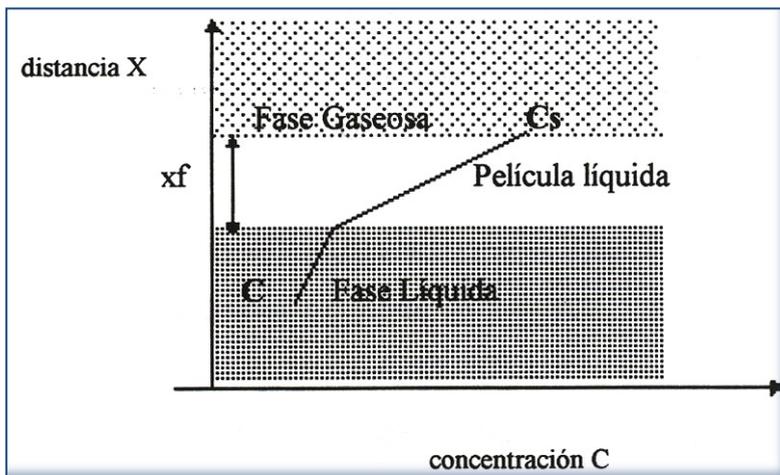


Figura 47. Transferencia de oxígeno aproximada

Y la ecuación de transferencia quedaría de la forma que sigue:

$$dM / dt = (-D * A * (C-Cs)) / xf$$

$$dM / dt = (D * A * (Cs-C)) / xf$$

Llamando a la capacidad de oxigenación CO; y dividiendo ambos miembros de la igualdad por el volumen de la masa de líquido obtenemos:

$$CO = (dM / dt) * (1/V) = KL * a * (Cs-C)$$

(dM/dt)*(1/V) se expresa en (masa)/(tiempo * volumen) es decir, expresa concentración / tiempo, es decir dC /dt

D/xf = KL, es el coeficiente de transferencia de oxígeno

A/V es el área de contacto interfacial por unidad de volumen (1/M)

La expresión queda de la siguiente forma:

Para agua corriente: $CO = dC/dt = Kla * (Cs-C)$

Para agua residual: $CO = dC/dt = Kla * (Csr-C)$

La determinación del coeficiente Kla se realiza conjuntamente, por métodos experimentales en condiciones de aireación estacionario y transitorio. Su determinación permite evaluar los equipos de aireación.

La relación entre el coeficiente Kla del agua residual y el del agua corriente se expresa con el símbolo α y su valor suele ser menor de la unidad.

$$\alpha = (Kla \text{ agua residual} / Kla \text{ agua corriente})$$

5.15.3. Relación entre las Capacidades de Oxigenación en las condiciones de referencia y en las reales:

Como condiciones de referencia se toman:

$$T_a = 20 \text{ }^\circ\text{C}; \quad P = 760 \text{ mmHg}; \quad OD = 0 \text{ mg/l}$$

Para obtener la capacidad de oxigenación, CO , en otras condiciones de temperatura y OD , la expresión a emplear será:

$$(CO)_{\text{real}} = (dC/dt)_{\text{real}} = (Kla)_{T,\text{real}} * (C_{sr} - C)$$

En las condiciones de referencia:

$$(CO)_{\text{ref}} = (dC/dt)_{\text{ref}} = (Kla)_{20,\text{ref}} * (C_{s760} - 0)$$

La relación entre ambas expresiones será:

$$(CO)_{\text{real}} / (CO)_{\text{ref}} = [(Kla)_{T,\text{real}} / (Kla)_{20,\text{ref}}] * [(C_{sr} - C) / 9,2]$$

9,2 es el valor de C_{s760} para 20°C

Podemos realizar diferentes correcciones de esta expresión, teniendo en cuenta:

1.- La temperatura:

Afecta a esta expresión en cuanto que la relación K_{la} a 20 °C puede ser relacionada con otra a cualquier temperatura, T , por la expresión:

Para agua corriente:

$$K_{la,T} = K_{la,20} * \theta^{(T-20)}$$

Para agua residual:

$$K_{la r,T} = K_{la r,20} * \theta^{(T-20)}$$

$\theta = 1,024$; es un valor empírico

La relación de las capacidades de oxigenación tendrá ahora la forma siguiente:

$$(CO) \text{ real} / (CO) \text{ ref} = [(K_{la})_{r,20} / (K_{la})_{20}] * \theta^{(T-20)} * [(C_{sr} - C) / 9,2]$$

2.- Los sólidos disueltos:

Por un lado: $\beta = C_{sr} / C_s$; y por otro: $\alpha = (K_{la} \text{ agua residual} / K_{la} \text{ agua corriente})$

$$C_{rs} = C_s * \beta = (K_{la r,20} / K_{la 20})$$

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

Por lo tanto:

$$(T-20) \\ (CO)_{real} / (CO)_{ref} = \alpha_{20} * \theta * [((Cs * \beta) - C) / 9,2]$$

3.- La presión:

3.1.-Caso de aireación superficial:

Para indicar la saturación para agua corriente en la zona superficial denominamos a Cs como Cs,s.

Si dijimos que : $Cs/Cs_{760} = (P-P_v)/(760-P_v)$, la expresión queda:

$$Cs,s / Cs,s_{760} = (P - P_v) / (760 - P_v), \text{ y de aquí:}$$

$$(T-20) \\ (CO)_{real} / (CO)_{ref} = \alpha_{20} * \theta * [(Cs,s_{760} * [(P-P_v) / (760-P_v)] * \beta) - C] / 9,2]$$

3.2.-Caso de aireación por burbujeo:

Para indicar la saturación para agua corriente en la aireación por burbujeo, denominamos a Cs como Cs,m.

$$Cs,m \approx Cs,s * [(P_b / 2,066) + 0,5]$$

P_b es la presión en la descarga del compresor

$$(T-20) \\ (CO)_{real} / (CO)_{ref} = \alpha_{20} * \theta * [(Cs,s * [(P_b / 2,066) + 0,5] * \beta) - C] / 9,2]$$

5.15.4.- Rendimiento en la transferencia de oxígeno de las unidades de aireación:

El rendimiento de transferencia se representará como RT.

RT se expresa como la cantidad de oxígeno transferido realmente por la energía empleada:

$$RT = \text{Kg O}_2 \text{ transferidos} / (\text{CV} \cdot \text{h})$$

Para motores trifásicos la fórmula de la potencia nominal del aireador viene dada por:

$$CV = A \cdot Y \cdot R_m \cdot R_r \cdot [\cos [(FP \cdot 3 \uparrow(0.5)) \cdot (1/746)]]$$

A es la intensidad

V es la tensión de la línea

R_m es el rendimiento del motor

R_r es el rendimiento del reductor

1/746 es el factor de conversión de vatios a CV

El RT de los aireadores superficiales oscilan entre 1 y 1,5 Kg O₂ / CV·h

Los rendimientos de transferencia en condiciones reales y de referencia pueden relacionarse como se hizo con la capacidad de oxigenación, siendo la expresión similar:

(T-20)

$$(RT)_{\text{real}} / (RT)_{\text{ref}} = (CO)_{\text{real}} / (CO)_{\text{ref}} = \alpha_{20} \cdot \theta^{\beta} [((C_{s,s} \cdot \beta) - C) / 9,2]$$

La determinación de esta relación se halla para la temperatura crítica de verano y de invierno.

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

En cuanto a la transferencia de oxígeno, la temperatura que controla el proceso suele ser la de verano, ya que a temperaturas mayores la dificultad para mantener una cantidad de oxígeno disuelto adecuada, se acentúa.

La correlación existente entre el rendimiento de transferencia en relación con el nivel de agitación (CV/m^3) al que se somete la masa líquida, suele ajustarse a una relación lineal:

$$(\text{RT})_{\text{ref}} = (S * P_c) + (\text{RT})_m$$

S es una constante característica del equipo de aireación

P_c es la potencia en CV por m^3 de líquido del tanque de aireación

(RT)_{ref} es el rendimiento en la transferencia de oxígeno en condiciones de referencia y expresado en $\text{KgO}_2 \text{ transf.} / (\text{CV} * \text{h})$

(RT)_m es el oxígeno transferido al agua corriente en las condiciones de referencia con turbulencia nula, expresado como $\text{KgO}_2 \text{ transf.} / (\text{CV} * \text{h})$. Este valor correspondería a la ordenada en el origen de la recta.

CAPÍTULO 6
Parametros
biocinéticos;
cálculos y ensayos.

CAPÍTULO 6. Parametros biocinéticos; cálculos y ensayos.

6.1. OBJETO DEL CAPÍTULO:

En este apartado se describen los ensayos realizados en el laboratorio con los reactores biológicos. Se ha simulado un tratamiento de fangos activos para obtener los parámetros biocinéticos que se emplearán, posteriormente, para estudiar el tratamiento biológico de la planta real .

Los análisis que se detallan en esta sección, para las muestras extraídas del reactor del laboratorio, son:

- a. Determinación de los sólidos en suspensión volátiles ($X_{v,a} = SSV$).
- b. Determinación de la producción neta de biomasa ($b \cdot X_{vg}/d$).
- c. Determinación del caudal (Q_0)
- d. Determinación del Tiempo de retención hidráulico (t_r)
- e. Determinación de la demanda biológica de oxígeno (DB_{05}), por el método de Winkler.
- f. Índice volumétrico de los sólidos (IVL).
- g. Velocidad de utilización de oxígeno (VUO).

- El volumen del reactor es de 14 litros

- El intervalo de tiempo que dura cada ensayo con un reactor, consta de 8 días.

Para este período de tiempo se determinan diariamente la concentración de MLVSS, es decir $X_{v,a}$, y la producción neta de biomasa (g/d).

- Los datos aquí presentados son el resultado de la determinación de la media aritmética de los distintos valores obtenidos a lo largo de esos 8 días que duró cada experiencia.

- El resultado de las DBO_5 se obtienen al 5º día de la extracción de la muestra; no puede obtenerse inmediatamente. Así la DBO_5 del agua entrante al reactor se obtendrá el 5º día de la experiencia, y la de salida se obtendrá 5 días después de la finalización de la misma.

Las expresiones para determinarlas son:

$$\begin{aligned} \text{mg/l } DBO_5 &= (O_c \cdot V_b \cdot 1000) / (V_t \cdot V_m) \\ O_c &= (V_e \cdot M \cdot 8) \\ V_e &= (V_B - V_g) \end{aligned}$$

donde se definen:

O_c Oxígeno consumido, mg/l.

V_c Volumen de oxígeno consumido .

V_B Tiosulfato total gastado en la valoración del blanco.

V_g Tiosulfato total gastado en la valoración de la muestra.

M Molaridad del tiosulfato

V_b Volumen de la botella de la siembra (p.ej. 250 ml)

V_t Volumen tomado para realizar la valoración, corregido con el volumen de los reactivos añadidos (p.ej. para 100 ml: $(100 \cdot 250) / (250 - 2) = 100,8$ ml)

V_m Volumen de la muestra tomada del reactor

Para realizar los cálculos de forma más rápida llamaremos:

$$A = (V_{\text{Blanco}} - V_{\text{gastado}}) \cdot 0,024 \cdot 8$$

$$B = A \cdot \text{Botella}$$

$$C = V_{\text{siembra}} \cdot V_{\text{muestra corregido}}$$

$$DBO_5 = (B \cdot 1000) / C \text{ mg/l}$$

- En la determinación de los sólidos en suspensión volátiles, la nomenclatura será la siguiente:

V_m : volumen de la muestra en ml, ml

P (antes): gramos del crisol más el filtro, gr

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

P(105 °C): gramos del crisol-filtro y el residuo, tras secarlo a 105 °C, gr

P(550 °C): gramos del crisol-filtro y el residuo, tras calcinarlo a 550 °C, gr

SSV: ppm de Sólidos en suspensión Volátiles, mg/l

SSF: ppm de Sólidos en suspensión Fijo, mg/l

SST: ppm de Sólidos en suspensión Totales, mg/l

- La determinación de la Producción de la Biomasa se realiza con el primer y último valor de $X_{v,a}$ teniendo en cuenta el período de tiempo que conlleva, días, para poder expresar su valor como g/d.

6.2. ENSAYOS DE LABORATORIO CON EL REACTOR BIO'LÓGICO

6.2.1. ENSAYO 1:

6.2.1.1. Determinación de los Sólidos en Suspensión volátiles:

Para la obtención del valor medio de los Sólidos en suspensión volátiles, $X_{v,a}$ (SSV), se calcula la media de los valores obtenidos durante los días que dura el ensayo:

Tabla 41. Valores medios de sólidos en suspensión. Ensayo 1.

Día	Vm	P(antes)	P(105°C)	P(550 °C)	SST	SSF	SSV
Martes	100	15,7979	15,9838	15,8815	1853	836	1017
Miércoles	100	15,7964	16,1654	15,8657	3690	693	2997
Jueves	100	14,8837	15,2842	14,9595	4005	758	3248
Viernes	100	14,8716	15,2655	14,9279	3939	563	3376
Sábado	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Domingo	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Lunes	100	14,8860	15,3434	14,9465	4574	605	3969
Martes	100	14,8854	15,3542	14,9428	4688	574	4113

$$X_{v,a} = \text{SSV medio} = (4113+3969+3376+3248+2997+1017)/6 = 18720/6$$

$$X_{v,a} = 3120 \text{ mg/l}$$

6.2.1.2. Determinación de la Producción de Biomasa:

$$\text{gld} = (\text{SSVs} - \text{SSV}_1) * V \text{ reactor} / \text{días}$$

$$\text{gld} = (4,113 - 1,017) * 14/8 = 5,4180 \text{ g/d}$$

6.2.1.3. Determinación del caudal (Qo):

$$Q_o = \text{litros} / \text{horas} = 512,4 / 250 = 2,083 \text{ l/h}$$

6.2.1.4. Determinación del tiempo de retención hidráulico:

$$t_r (\text{horas}) = V \text{ reactor} / Q_o = 141 / 2,083 = 6,72 \text{ h}$$

6.2.1.5. Determinación de la DB05:

$$A = (V \text{ blanco} - V \text{ gastado}) * 0,024 * 8$$

$$B = A * \text{Botella}$$

$$C = V_{\text{siembra}} * V_{\text{muestra corregido}}$$

$$\text{DB05} = (B * 1000) / C \text{ mg/l}$$

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

Día final(So):

Día final (Se) a final (Se):

V botella: 250 ml

V botella: 125 ml

V muestra : 25 ml (25,2)

V muestra: 25 ml (25,4)

V siembra: 1 ml

V siembra: 2 ml

V blanco : 1,06 ml

V blanco: 0,93 ml

V gastado tiosulfato: 0,38 ml

V gastado tiosulfato: 0,7 ml

N tiosulf: 0,024

N tiosulf: 0,024

$A = (1,06 - 0,38) * 0,024 * 8 = 0,13056$ $A = (0,93 - 0,7) * 0,024 * 8 = 0,04416$

$B = A * 250 = 32,64$

$B = A * 125 = 5,52$

$C = 1 * 25,2 = 25,2$

$C = 2 * 25,4 = 50,8$

$DBO_5 = 1295 \text{ mg/l}$

$DBO_5 = 110 \text{ mg/l}$

**6.2.1.6. Determinación del índice Volumétrico de Lodos (IVL);
Después de 30 minutos:**

Después de 30 minutos:

$IVL = m1 \text{ Probeta } 1SST \text{ (gr)}$

$IVL = 450 / 14,6875 = 96 \text{ ml/g}$

6.2.1.7. Determinación de la Velocidad de Utilización de Oxígeno:

Tabla 42. Velocidad utilización oxígeno. Ensayo 1.

Minutos	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	5	6	7	8	9
OD	0,93	0,86	0,79	0,73	0,67	0,60	0,55	0,45	0,35	0,26	0,19	0,13

$$VUO = 0,1011 \text{ mg} \cdot \text{min} / \text{litro} = 6,066 \text{ mg} \cdot \text{h} / \text{litro}$$

6.2.2. ENSAYO 2:

6.2.2.1. Determinación de los Sólidos en suspensión volátiles:

Para la obtención del valor medio de los Sólidos en suspensión volátiles, $X_{v,a}$ (SSV), se calcula la media de los valores obtenidos durante los días que dura el ensayo:

Tabla 43. Valores medios de sólidos en suspensión. Ensayo 2

Día	Vm	P(antes)	P(105 °C)	P(550 °C)	SST	SSF	SSV
Martes	100	15,7948	15,9795	15,8120	2019	172	1847
Miércoles	100	14,9876	15,2832	15,0204	3284	328	2956
Jueves	100	15,7964	16,1010	15,8179	3261	215	3046
Viernes	100	14,8847	15,2162	14,8941	3409	94	3315
Sábado	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Domingo	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Lunes	100	14,8767	15,2151	14,8869	3486	102	2284
Martes	100	14,8853	15,2305	14,8924	3523	71	3452

$$X_{v,a} = \text{SSV medio} =$$

$$(1847+2956+3046+3315+3384+3452) / 6 = 18000 / 6$$

$$X_{v,a} = 3000 \text{ mg/l}$$

6.2.2.2. Determinación de la Producción de Biomasa:

$$g/d = (SSVs - SSV_1) * V_{\text{reactor}} / \text{días}$$

$$g/d = (3,452 - 1,8472) * 1418 = 2,8084 \text{ gl d}$$

6.2.2.3. Determinación del caudal (Qo):

$$Q_o = \text{litros/horas} = 32,5 / 16,8 = 1,935 \text{ l/h}$$

6.2.2.4. Determinación del tiempo de retención hidráulico:

$$t_r (\text{horas}) = V_{\text{reactor}} / Q_o = 141 / 1,935 = 7,237 \text{ h}$$

6.2.2.5. Determinación de la DB05;

$$A = (V_{\text{blanco}} - V_{\text{gastado}}) * 0,024 * 8$$

$$B = A * \text{Botella}$$

$$C = V_{\text{siembra}} * V_{\text{muestra corregido}}$$

$$DBO_5 = (B * 1000) / C \text{ mg/l}$$

Día ftnal(So):

Día :ftnal(Se):

V botella: 250 ml

V botella: 250 mi

V muestra : 25 ml (25,2)

V muestra : 25 ml (25,2)

V siembra: 1 ml

Vsiembra : 2 mi

V blanco : 1,06 ml

V blanco : 1,06 ml

V gastado tiosulfato: 0,46 ml

V gastado tiosulfato: 0,7 mi

N tiosulf: 0,024

N tiosulf: 0,024

$$A = (1,06 - 0,46) * 0,024 * 8 = 0,1152$$

$$A = (0,80 - 0,7) * 0,024 * 8 = 0,0192$$

$$B = A * 250 = 28,2$$

$$B = A * 250 = 4,8$$

$$C = 1 * 25,2 = 25,2$$

$$C = 2 * 25,2 = 50,4$$

$$DBO_5 = (28,2 * 1000) / 25,2$$

$$DBO_5 = (4,8 * 1000) / 50,4$$

$$DBO_5 = 1143 \text{ mg/l}$$

$$DBO_5 = 95 \text{ mg/l}$$

6.2.2.6. Determinación del Índice Volumétrico de Lodos (IVL): Después de 30 minutos:

Después de 30 minutos:

$$IVL = \text{ml Probeta} / \text{SST (gi)}$$

$$IVL = 2101,3523 = 60 \text{ ml/g}$$

6.2.2.7. Determinación de la Velocidad de Utilización de Oxígeno:

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

Tabla 44. Velocidad utilización oxígeno. Ensayo 2

Minutos	0,5	1	1,5	2	2,5	3	4	4,5	5	6	7	8
OD	0,85	0,77	0,71	0,63	0,58	0,51	0,47	0,41	0,32	0,24	0,16	0,12

$$VUO = 0,0982 \text{ mg} \cdot \text{min} / \text{litro} = 5,892 \text{ mg} \cdot \text{h} / \text{litro}$$

6.2.3. ENSAYO 3:

6.2.3.1. Determinación de los Sólidos en suspensión volátiles:

Para la obtención del valor medio de los Sólidos en suspensión volátiles, $X_{v,a}$ (SSV), se calcula la media de los valores obtenidos durante los días que dura el ensayo:

Tabla 45. Valores medios de sólidos en suspensión. Ensayo 3

Día	Vm	P(antes)	P(105 °C)	P(550 °C)	SST	SSF	SSV
Jueves	100	14,7987	15,0574	14,8529	3129	542	2587
Viernes	100	14,6732	14,9345	14,7321	2013	589	2602
Sábado	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Domingo	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Lunes	100	15,9702	16,2450	16,0336	2782	634	2748
Martes	100	14,9291	15,2226	15,0605	3664	729	2935
Miércoles	100	16,2106	16,5455	16,2702	3951	602	3349
Jueves	100	14,7997	15,1812	14,8601	4419	604	3815

$$X_{v,a} = \text{SSV medio} = (2587+2602+2748+2935+3349+3815) / 6 = 18036 / 6$$

$$X_{v,a} = 3006 \text{ mg/l}$$

6.2.3.2. Determinación de la Producción de Biomasa:

$$g/d = (SSVs - SSV1) * V \text{ reactor} / \text{días}$$

$$g/d = (3,815 - 2,587) * 1418 = 2,149 \text{ g/d}$$

$$DB05 = (B * 1000) / C \text{ mg/l}$$

6.2.3.3. Determinación del caudal (Qo):

$$Qo = \text{litros} / \text{horas} = 30 / 16,8 = 1,786 \text{ l/h}$$

6.2.3.4. Determinación del tiempo de retención hidráulico:

$$tr \text{ (horas)} = V \text{ reactor} / Qo = 14 / 1,786 = 8,12 \text{ h}$$

6.2.3.5. Determinación de la DB05:

$$A = (V \text{ blanco} - V \text{ gastado}) * 0,024 * 8$$

$$B = A * \text{Botella}$$

$$C = V_{\text{siembra}} * V_{\text{muestra}} \text{ corregido}$$

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

Día ftnal(So):

V botella: 250 ml

V muestra : 25 ml (25,2)

Vsiembra : 1 ml

V blanco : 0,82 ml

V gastado tiosulfato: 0,26 ml

N tiosuif: 0,024

$$A = (0,82 - 0,26) * 0,024 * 8 = 0,10752$$

$$B = A * 250 = 28,2$$

$$C = 1 * 25,2 = 25,2$$

$$DBO_5 = (28,2 * 1000) / 25,2$$

$$DBO_5 = 1067 \text{ mg/l}$$

Día ftnal(Se):

V botella: 250 ml

V muestra : 25 ml (25,2)

V siembra : 2 ml

V blanco : 0,88 ml

V gastado tiosulfato: 0,8 ml

N tiosuif: 0,02425

$$A = (0,88 - 0,8) * 0,02425 * 8 = 0,01552$$

$$B = A * 250 = 3,881$$

$$C = 2 * 25,2 = 50,4$$

$$DBO_5 = (3,881 * 1000) / 50,4$$

$$DBO_5 = 77 \text{ mg/l}$$

6.2.3.6. Determinación del Índice Volumétrico de Lodos (IVL): Después de 30 minutos:

$$\text{IVL} = \text{ml Probeta } 1 \text{ SST (gr)}$$

$$\text{IVL} = 190 \cdot 1,419 = 43 \text{ ml/g}$$

6.2.3.7. Determinación de la Velocidad de Utilización de Oxígeno:

Tabla 46. Velocidad utilización oxígeno. Ensayo 3

Minutos	0,5	1	1,5	2	2,5	3	4	4,5	5	6	7	8
OD	1,58	0,51	1,45	1,38	1,34	1,29	1,19	1,15	1,11	1,02	0,92	0,88

$$\text{VVO} = 0,0929 \text{ mg} \cdot \text{min} / \text{litro} = 5,574 \text{ mg} \cdot \text{h} / \text{litro}$$

6.2.4. ENSAYO 4:

6.4.2.1. Determinación, de los sólidos en suspensión volátiles:

Para la obtención del valor medio de los Sólidos en suspensión volátiles, $X_{v,a}$, (SSV), se calcula la media de los valores obtenidos durante los días que dura el ensayo:

Tabla 47. Valores medios de sólidos en suspensión. Ensayo 4

Dia	Vm	P(antes)	P(105 °C)	P(550°C)	SST	SSF	SSV
Viernes	100	15,4908	15,7824	15,5838	3009	93	2916
Sábado	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
Domingo	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
Lunes	100	14,9903	15,2911	15,0178	3283	275	3008
Martes	100	14,9779	15,2595	15,0053	3090	274	2816
Miércoles	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
Jueves	100	14,6805	14,9802	14,7506	3698	701	2997
Viernes	100	15,6973	16,0836	15,7360	4250	387	3863

$$X_{v,a} = \text{SSV medio} = (2916+3008+2816+2997+3863)/5 = 15600 / 5$$

$$X_{v,a} = 3120 \text{ mg/l.}$$

6.2.4.2. Determinación de la Producción de Biomasa:

$$g/d = (\text{SSVs} - \text{SSV}_i) * V \text{ reactor} / \text{días}$$

$$g/d = (3,863 - 2,916) * 14 \cdot 18 = 1,6567 \text{ g / d}$$

6..2.4.3. Determinación del caudal (Qo):

$$Q_o = \text{litros/horas} = 27,5 / 16,8 = 1,637 \text{ l/h}$$

6.2.4.4. Determinación del tiempo de retención hidráulico:

$$tr \text{ (horas)} = V \text{ reactor} / Q_o = 14 / 1,637 = 8,55 \text{ h}$$

6.2.4.5.Determinación de la DBOs:

$$A = (V \text{ blanco} - V \text{ gastado}) * 0,024 * 8$$

$$B = A * \text{Botella}$$

$$C = V_{\text{siembra}} * V_{\text{muestra corregido}}$$

$$\underline{\underline{DBO_5 = (B * 1000) / C \text{ mg/l}}}$$

Día ftnal(So):

Día ftnal(Se):

V botella: 250 ml

V botella: 250 ml

V muestra : 50 ml (50,4)

V muestra : 25 ml (25,2)

V siembra : 2 ml

V siembra: 2 ml

V blanco: 2,01 ml

V blanco : 0,84 ml

V gastado tiosulfato: 0,03 ml

V gastado tiosulfato: 0,78 ml

N tiosulf: 0,024

N tiosulf : 0,02436

$$A = (2,01 - 0,03) * 0,024 * 8 = 0,3802$$

$$A = (0,80 - 0,78) * 0,02436 * 8 = 0,0117$$

$$B = A * 250 = 95,05$$

$$B = A * 250 =$$

$$2,925 \quad C = 2 * 50,4 = 100,8$$

$$C = 2 * 25,2 = 50,4$$

$$DBO_s = (95,05 * 1000) / 100,8$$

$$DBO_s = (2,925 * 1000) / 50,4$$

$$DBO_5 = 944 \text{ mg/l}$$

$$DBO_s = 58 \text{ mg/l}$$

6.2.4.6. Determinación del Índice Volumétrico de Lodos (IVL): Después de 30 minutos:

Después de 30 minutos:

$$IVL = \text{mi Probeta} / \text{SST (gr)}$$

$$IVL = 170 / 4,250 = 40 \text{ ml/g}$$

6.2.4.7. Determinación de la Velocidad de Utilización de Oxígeno:

Tabla 48. Velocidad utilización oxígeno. Ensayo 4

Minutos	0,5	1	1,5	2	2,5	3	4	4,5	5	6	7	8
OD	2,17	2,11	2,05	1,99	1,94	1,89	1,79	1,75	1,71	1,62	1,56	1,49

$$VUO = 0,0910 \text{ mg} \cdot \text{min} / \text{litro} = 5,460 \text{ mg} \cdot \text{h} / \text{litro}$$

6.2.5. ENSAYO 5:

6.2.5.1. Determinación de los Sólidos en suspensión volátiles:

Para la obtención del valor medio de los Sólidos en suspensión volátiles, X_v , (SSV), se calcula la media de los valores obtenidos durante los días que dura el ensayo:

Tabla 49. Valores medios de sólidos en suspensión. Ensayo 5

Dia	Vm	P(antes)	P(105 °C)	P(550 °C)	SST	SSF	SSV
Viernes	100	14,8670	15,1234	14,9261	2564	591	1973
Sábado	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Domingo	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Lunes	100	14,8828	15,1823	14,9035	2995	207	2788
Martes	100	15,9763	16,2983	16,0091	3220	328	2892
Miércoles	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Jueves	100	15,3966	15,7581	15,4475	3615	509	3106
Viernes	100	14,7969	15,1057	14,8211	3088	242	2846

$$X_{v,a} = \text{SSV medio} = (1973+2788+2892+3106+2846) / 5 = 15270 / 5$$

$$X_{v,a} = 2721 \text{ mg/l}$$

6.2.5.2. Determinación de la Producción de Biomasa:

$$gld = (\text{SSVs} - \text{SSV1}) * V \text{ reactor} / \text{días}$$

$$g/d = (2,8456 - 1,973) * 14 \text{ l} = 1,5270 \text{ g/d}$$

6.2.5.3. Determinación del caudal (Qo):

$$Q_o = \text{litros} / \text{horas} = 26 / 16,8 = 1,5476 \text{ l/h}$$

6.2.5.4. Determinación del tiempo de retención hidráulico:

$$\text{tr (horas)} = V \text{ reactor} / Q_o = 14 \text{ l} / 1,5476 = 9,046 \text{ h}$$

6.2.5.5. Determinación de la DB05

$$A = (V \text{ blanco} - V \text{ gastado}) * 0,024 * 8$$

$$B = A * \text{botella}$$

$$C = V_{\text{siembra}} * V_{\text{muestra}} \text{ corregido}$$

$$DBO_s = (B * 1000) / C \text{ mg/l}$$

Día final(So):

Día final(Se):

Vbotella: 250 ml

V botella: 250 ml

V muestra: 25 ml (25,2)

V muestra : 25 ml (25,2)

V siembra : 1 ml

V siembra : 1 ml

V blanco : 0,8 ml

V blanco : 0,60 ml

V gastado tiosulfato: 0,44 ml

V gastado tiosulfato: 0,57 ml

N tiosulf : 0,024

N tiosulf: 0,024

$$A = (0,8 - 0,44) * 0,024 * 8 = 0,069$$

$$A = (0,60 - 0,57) * 0,024 * 8 = 0,00576$$

$$B = A * 250 = 17,28$$

$$B = A * 250 = 1,44$$

$$C = 1 * 25,2 = 25,2$$

$$C = 1 * 25,2 = 25,2$$

$$DBO_5 = (17,28 * 1000) / 25,2$$

$$DBO_s = (1,44 * 1000) / 25,2$$

$$DBO_s = 686 \text{ mg/l}$$

$$DBO_s = 57 \text{ mg/l}$$

$$B = A * 250 = 17,28 \quad C = 1 * 25,2 = 100,8$$

$$DBO_5 = (17,28 * 1000) / 25,2$$

**6.2.5.6. Determinación del Índice Volumétrico de Lodos (IVL):
Después de 30 minutos:**

$$IVL = m1 \text{ Probeta} / SST \text{ (gr)}$$

$$VL = 210 / 3,088 = 68 \text{ ml/g}$$

6.2.5.7. Determinación de la Velocidad de Utilización de Oxígeno:

Tabla 50. Velocidad utilización oxígeno. Ensayo 5

Minutos	0,5	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6	7	8
OD	1,02	0,98	0,95	0,92	0,89	0,86	0,80	0,75	0,70	0,65	0,59

$$VUO = 0,0560 \text{ mg*min /litro} = 3,360 \text{ mg * h /litro}$$

6.2.6. ENSAYO 6:

6.2.6.1. Determinación de los Sólidos en suspensión volátiles:

Para la obtención del valor medio de los sólidos en suspensión volátiles, $X_{v,a}$, (SSV), se calcula la media de los valores obtenidos durante los días que dura el ensayo:

Tabla 51. Valores medios de sólidos en suspensión. Ensayo 6

Día	Vm	Plantes)	P(105 °C)	P(550 °C)	SST	SSF	SSV
Jueves	100	14,7986	14,8388	14,8187	2108	201	1907
Viernes	100	14,8898	15,1143	14,9223	2245	325	1920
Sábado	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Domingo	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Lunes	100	15,7216	15,9385	15,7320	3220	328	2892
Martes	100	16,5836	16,8170	16,6073	2334	237	2097
Miércoles	100	14,7953	15,0737	14,8481	2784	528	2256
Jueves	100	14,7998	15,0801	14,8320	2803	322	2481

$$X_{v,a} = \text{SSV medio} = (1907+1920+2065+2097+2256+2481) / 6 = 12726 / 6$$

$$X_{v,a} = 2121 \text{ mg/l}$$

6.2.6.2. Determinación de la Producción de Biomasa:

$$g/d = (SSV_s - SSV_1) * V_{\text{reactor}} / \text{días}$$

$$g/d = (2,481 - 1,907) * 14 / 8 = 1,0407 \text{ g/ d}$$

6.2.6.3. Determinación del caudal (Qo):

$$Q_0 = \text{litros/horas} = 25 / 16,8 = 1,488 \text{ l/h}$$

6.2.6.4. Determinación del tiempo de retención hidráulico:

$$t_r (\text{horas}) = V_{\text{reactor}} / Q_0 = 141 / 1,488 = 9,474 \text{ h}$$

6.2.6.5. Determinación de la DBOs:

$$A = (V_{\text{blanco}} - V_{\text{gastado}}) * 0,024 * 8$$

$$B = A * V_{\text{botella}}$$

$$C = V_{\text{siembra}} * V_{\text{muestra}} \text{ corregido}$$

$$\text{DBOs} = (B * 1000) / C \text{ mg/l}$$

Día final(So):

Día final(Se):

V botella: 125 ml

V botella: 250 ml

V muestra: 25 ml (25,4)

V muestra : 100 ml (100,8)

V siembra : 1 ml

V siembra : 2 ml

V blanco : 0,65 ml

V blanco : 3,8 ml

V gastado tiosulfato: 0,1 ml

V gastado tiosulfato: 3,6 ml

N tiosulf: 0,024

N tiosulf: 0,024

$$A = (0,65 - 0,1) * 0,024 * 8 = 0,1056$$

$$A = (3,8 - 3,6) * 0,024 * 8 =$$

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

$$B = A * 125 = 13,2$$

$$B = A * 250 = 9,6$$

$$C = 1 * 25,2 = 25,2$$

$$C = 2 * 100,8 = 201,6$$

$$DB05 = (13,2 * 1000) / 25,2$$

$$DB05 = (0,96 * 1000) / 201,6$$

$$DB05 = 519 \text{ mg/l}$$

$$DB05 = 48 \text{ mg/l}$$

6.2.6.6. Determinación del Índice Volumétrico de Lodos (IVL): Después de 30 minutos:

$$IVL = \text{ml Probeta} / \text{SST (gr)}$$

$$IVL = 290 / 2,956 = 98,1 \text{ ml/g}$$

6.2.6.7. Determinación de la Velocidad de Utilización de Oxígeno:

Tabla 52. Velocidad utilización oxígeno. Ensayo 6

Minutos	0,5	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6	7	8
OD	0,68	0,65	0,62	0,60	0,58	0,56	0,51	0,47	0,43	0,40	0,36

$$VUO = 0,0420 \text{ mg*min /litro} = 2,520 \text{ mg *h/litro}$$

6.3 GRÁFICOS DE VELOCIDADES DE UTILIZACIÓN DE OXÍGENO (VUO)

La obtención de las VUO deberán realizarse por medio de agrupamiento de las medidas, a fin de obtener la recta que más se ajuste a los valores obtenidos. Para ello realizamos una *regresión lineal*.

Las concentraciones de O.D. (mg/l) se han llevado a cabo con electrodo específico.

Tabla 53. Gráfico de velocidad de utilización del oxígeno. Ensayo 1

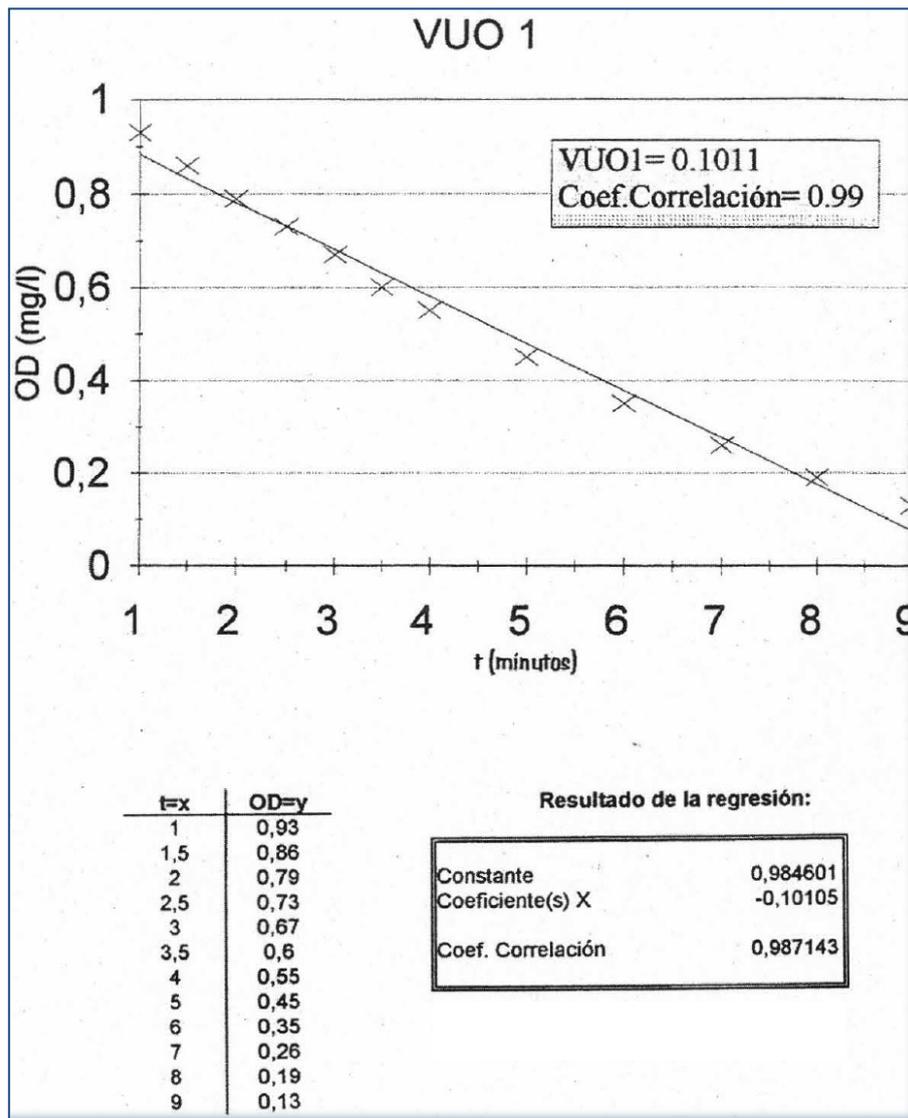


Tabla 54. Gráfico de velocidad de utilización del oxígeno. Ensayo 2

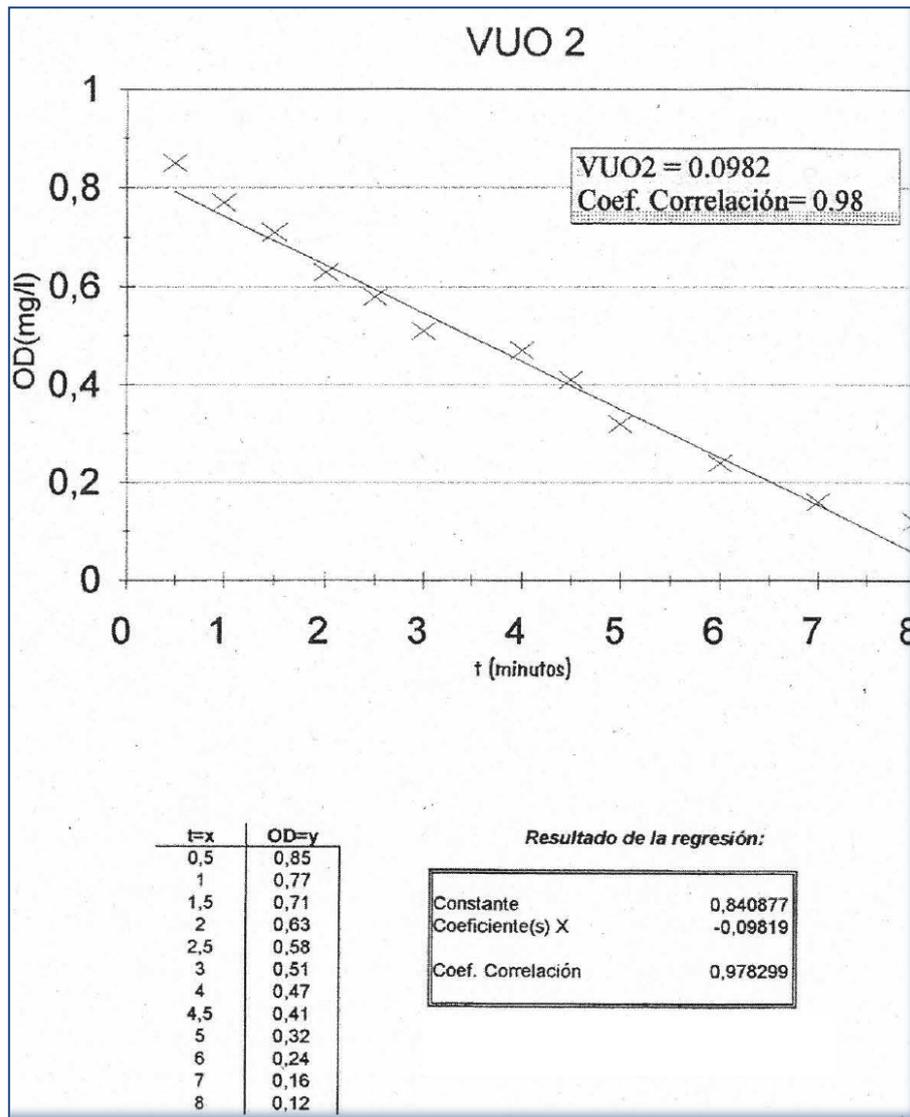


Tabla 55. Gráfico de velocidad de utilización del oxígeno. Ensayo 3

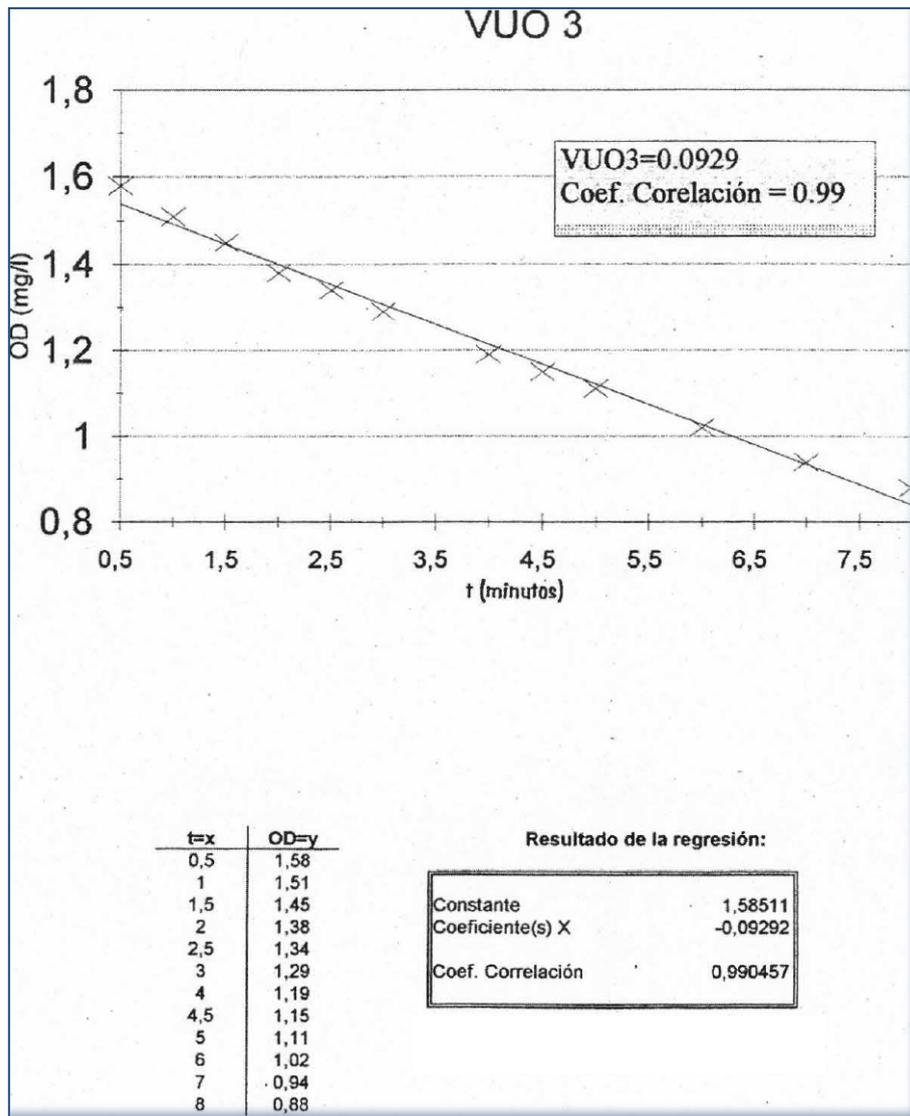


Tabla 56. Gráfico de velocidad de utilización del oxígeno. Ensayo 4

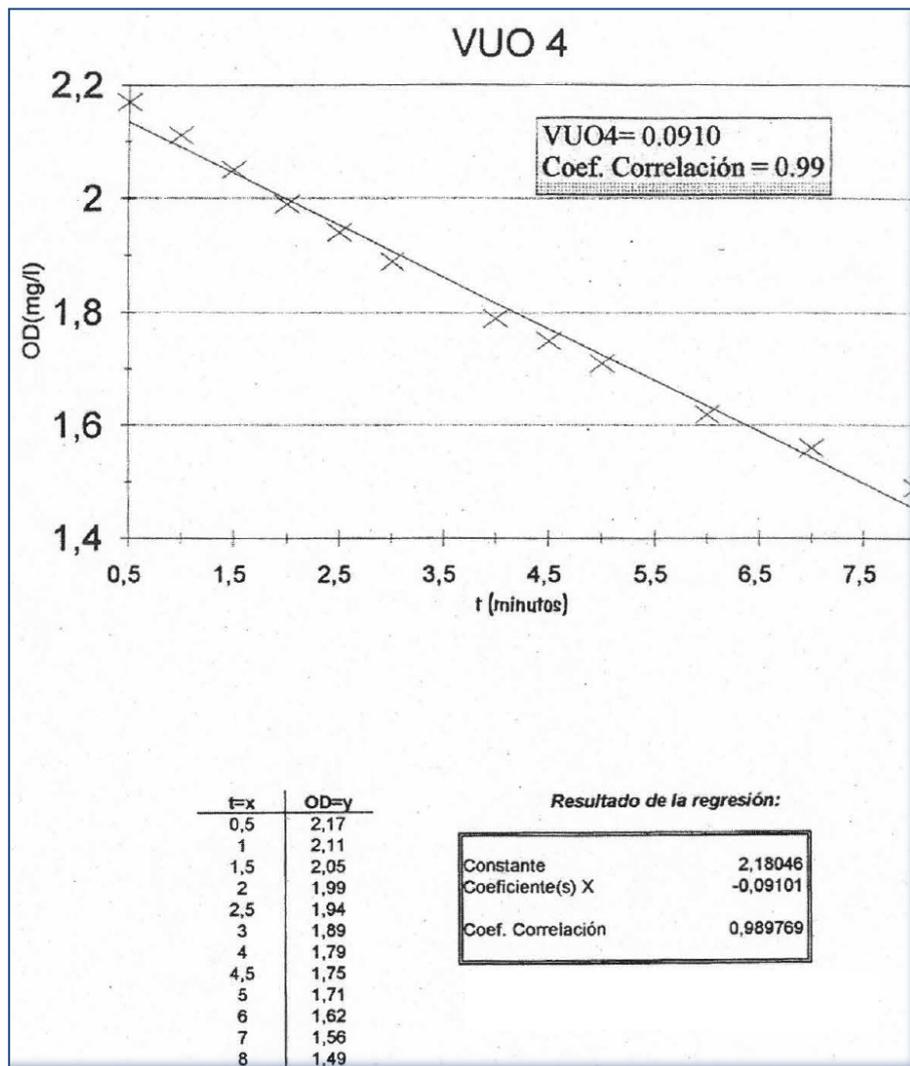


Tabla 57. Gráfico de velocidad de utilización del oxígeno. Ensayo 5

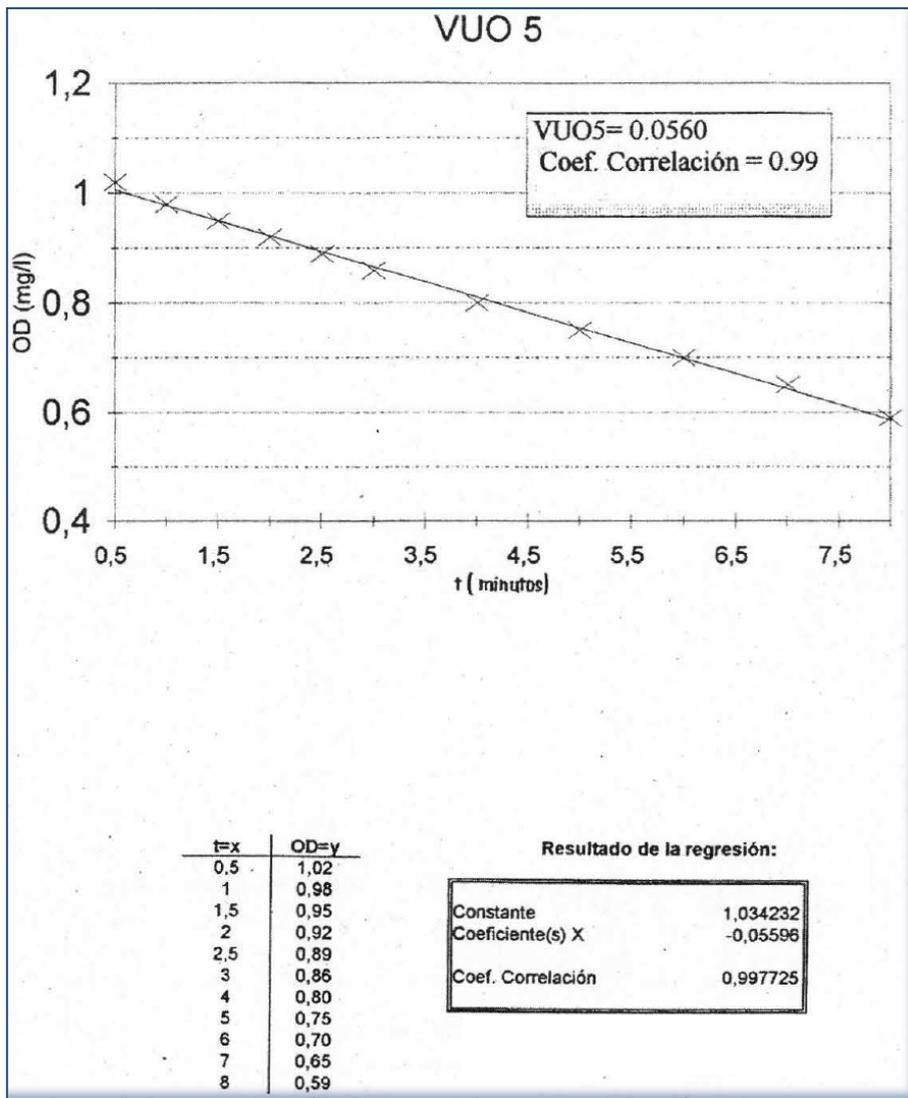
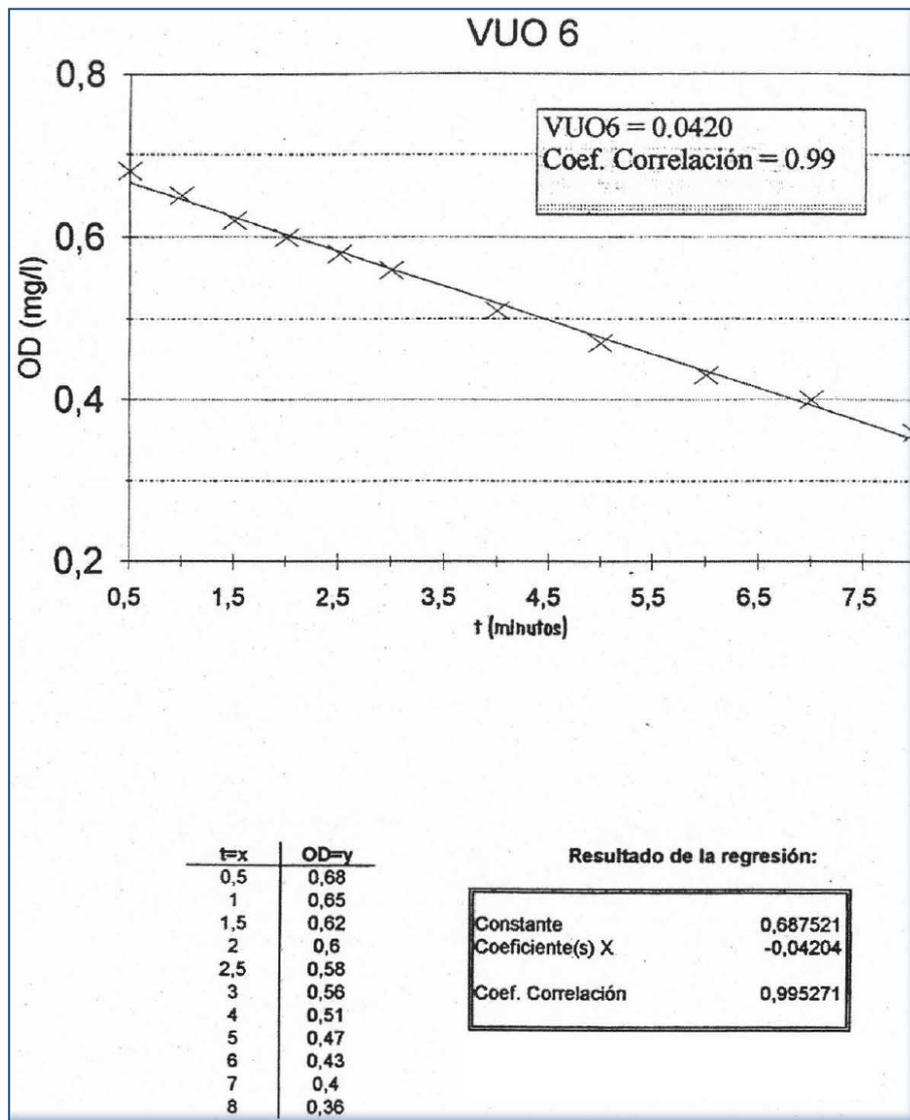


Tabla 58. Gráfico de velocidad de utilización del oxígeno. Ensayo 6



6.4. RESUMEN DE LOS ENSAYOS REALIZADOS:

Los ensayos, que se han llevado a cabo a la temperatura aproximada de 20°C, pueden agruparse según la tabla siguiente:

Tabla 59. Resumen de los ensayos

Ensayo	So	Se	Xv,a	VUO	IVL	Qo	th	Biomasa
1	1295	110	3120	01011	96	2,083	6,720	5,4180
2	1143	95	3000	0,0982	60	1,935	7,237	2,8084
3	1067	77	3006	0,0929	43	1,786	8,120	2,1490
4	944	58	3120	0,0910	40	1,637	8,553	1,6567
5	686	57	2721	0,0560	68	1,548	9,046	1,5270
6	519	48	2121	0,0420	98	1,488	9,744	1,0407

Estos son los datos a partir de los cuales se podrán calcular parámetros biocinéticos.

Ahora puede determinarse Ro2 en las unidades en las que se va a usar:

$$Ro2 = VUO / Xv,a$$

$$Ro2 = 6.066 \text{ mg } 1 \text{ (h*1) } 1 \text{ 3120 mg/1} = 0.00194 \text{ (1/h)}$$

$$(1/h) \text{ Ro2} = 0.00194 \text{ (1/h)}$$

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

C) Datos para hallar los parámetros de Producción de Biomasa. Yy Kd:

En este apartado es necesario unificar las unidades de la producción de biomasa para poder calcular el valor de μ

$$\mu = (\text{Biomasa}/V_{\text{reactor}}) / X_{v,a}$$

$$\text{Biomasa} = (5,418 \text{ gr } 1 \text{ d} * 1000 \text{ mg/gr}) / (24 \text{ hid}) = 225.8 \text{ mg/h}$$

$$\mu = (225.8 \text{ mg/h} / 141) / 3120 \text{ mg/l} = .005171/\text{h}$$

$$\mu = .00517$$

Realizando cálculos similares para cada uno de los diferentes Ensayos se obtienen las tablas siguientes en las que se resumen estos valores

Tabla 60. Resumen datos ensayos.

Ensayo	So-Se	X _{v,a} * th	q
1	1185	20970	0.0564
2	1048	21705	0.04828
3	990	23563	0.04201
4	886	26683	0.03320
5	629	24609	0.02556
6	471	19956	0.02360

En la siguiente tabla obtenemos los valores de Ro2 (1/h)

Tabla 61. Valores de Ro2 (1/h)

Ensayo	VUO	Ro2
1	6.066	0.00194
2	5.892	0.00196
3	5.574	0.00185
4	5.460	0.00175
5	3.360	0.00123
6	2.520	0.00119

$$Ro2 = VUO/X_{v,a} = a * q + b$$

En la siguiente tabla obtenemos los valores de μ (l/h)

Tabla 62. valores de μ (l/h)

Ensayo	gr/d	mg/h	(mg/h)/V	((mg/h)/V)/Xv,a
1	5.4180	225.8	16.1250	0.00517
2	2.8084	117.0	8.3583	0.00279
3	2.1490	89.5	6.3958	0.00213
4	1.6567	69.0	4.9307	0.00158
5	1.5270	63.6	4.5446	0.00167
6	1.0407	43.4	3.0973	0.00146

Una vez que disponemos de estos datos, nos hallamos en disposición de realizar los cálculos necesarios para determinar, gráficamente, los parámetros Biocinéticos.

6.4.1. DETERMINACIÓN DE LA CONSTANTE DE VELOCIDAD DE CONSUMO DE SUSTRATO, K:

Teniendo en cuenta la relación:

$$q = k^* S_e$$

que representa la ecuación de una recta que corta el origen de coordenadas, podemos obtener la constante k a partir de la tabla siguiente:

Tabla 3.32 Valores para obtener k

Tabla 63. Valores para calcular k

Ensayo	Se(mg/l)	q (l/h)
1	110	0.0565
2	95	0.0483
3	77	0.0420
4	58	0.0332
5	57	0.0256
6	48	0.0236

$$k = 0,00052 (1/(h * mg)) = 0,01248 l/(d * mg)$$

De la regresión lineal se obtiene un valor de $k = 0.00052$, con un coeficiente de correlación es de 0.98

6.4.2. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE UTILIZACIÓN DE OXÍGENO. a y b:

De la misma manera que el caso anterior, se realiza la regresión lineal, conociendo que:

$$R_{o2} = a * q + b$$

que representa la ecuación de una recta de término independiente **a** y de constante de ésta **b**; ambos valores pueden determinarse a partir de la tabla siguiente:

Tabla 64. Tabla para determinar a y b

Ensayo	Q (l/h)	R _{o2} (h-1)
1	0.0565	0.00194
2	0.0483	0.00195
3	0.0420	0.00184
4	0.0332	0.00175
5	0.0256	0.00123
6	0.0236	0.00119

De la regresión lineal se obtienen, con un coeficiente de correlación de 0.97

$$a = 0.22258 \text{ (kgO}_2\text{/Kg de MLVSS)}$$

$$b = 0.00072 \text{ (1/h)} = 0.17928 \text{ (1/d)}$$

6.4.3. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE PRODUCCIÓN DE BIOMASA, Y Y K_D:

En este caso la regresión lineal se realiza conociendo que:

$$\mu = Y \cdot q - k_d$$

que representa la ecuación de una recta de término independiente Y y de constante de ésta Kd, que corta al eje de negativo de coordenadas; ambos valores pueden determinarse a partir de la tabla siguiente:

Tabla 65. Valores para determinar μ

Ensayo	q(1/h)	VUO/Xv,a
1	0.0565	0.00517
2	0.0483	0.00279
3	0.0420	0.00213
4	0.0332	0.00158
5	0.0256	0.00167
6	0.0236	0.00146

De la regresión lineal se obtienen, con un coeficiente de correlación de 0.98:

$$Y = 0.10642 \text{ (Kg de MLVSS/Kg DBO)} \quad k_d = 0.00102 \text{ (1/h)} = 0.02448 \text{ (1/d)}$$

Y resumiendo, los valores de los parámetros calculados son

$$\begin{aligned} k &= 0.00052 \text{ (l/(h*mg))} = 0.01248 \text{ (l/(d*mg))} \\ a &= 0.22258 \text{ (kgO}_2\text{/ Kg de MLVSS)} \\ b &= 0.00072 \text{ (l/h)} = 0.17928 \text{ (l/d)} \\ Y &= 0.10642 \text{ (Kg de MLVSS/ Kg DBO)} \end{aligned}$$

$$K_d = 0.00102 \text{ (l/h)} = 0.02448 \text{ (l/d)}$$

6.4.4. GRÁFICOS DE LOS PARÁMETROS BIOCINÉTICOS:

A continuación se presentan los gráficos de las regresiones lineales elaboradas con el programa informático QUATIRO-PRO (BORLAND) para Windows:

Tabla 66. Gráfico parámetro K

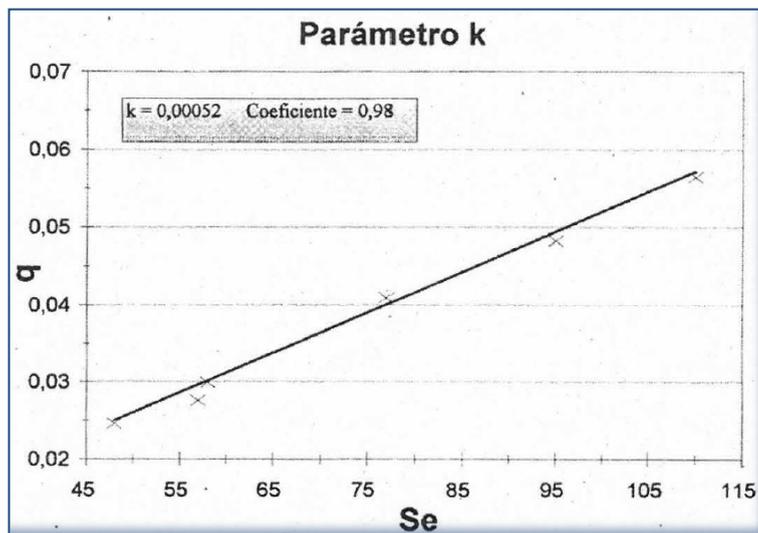


Tabla 67. Gráfico parámetros a y b

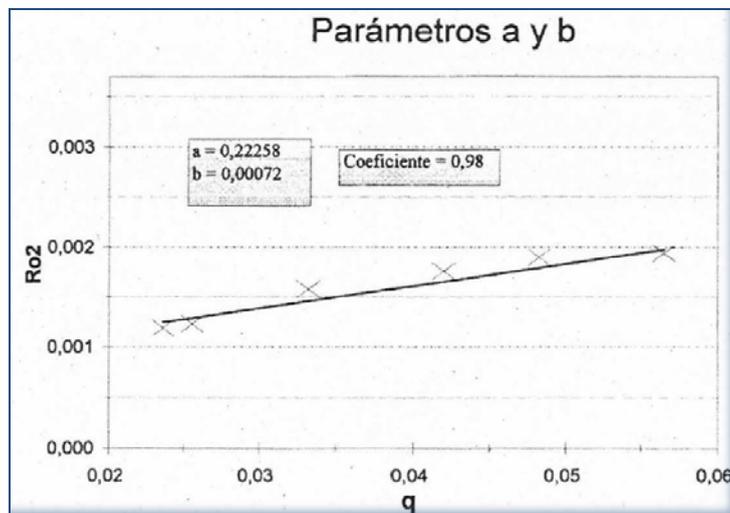
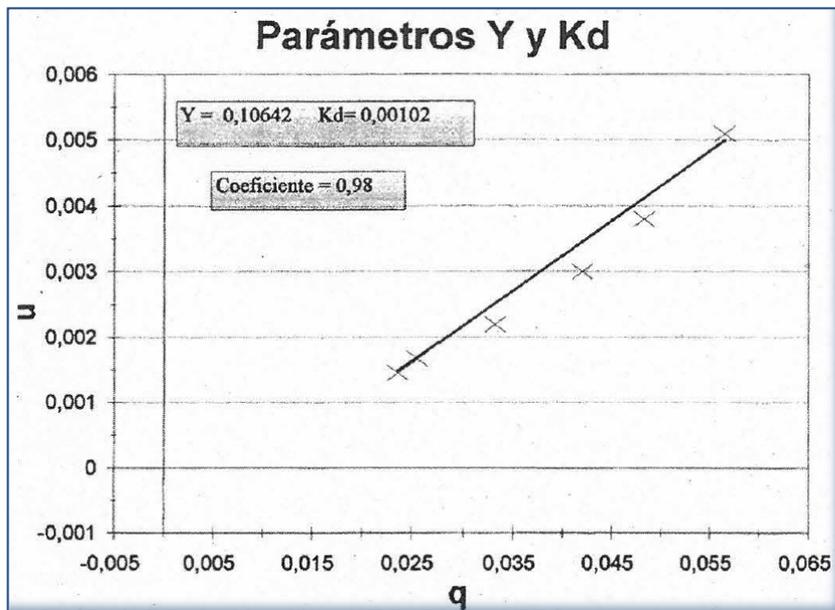


Tabla 68. Gráfico parámetros Y y Kd



6.4.5. DETERMINACIÓN DEL VALOR ÓPTIMO DE AM , (RELACIÓN ALIMENTO-MICROORGANISMOS)

La gráfica para la obtención del valor óptimo de la relación NM se obtiene a partir de la relación entre esta y los valores de IVL (índice volumétrico de los lodos); en la tabla siguiente se recogen los valores que se representarán. En el eje vertical, los valores de IVL , en el eje horizontal los de NM .

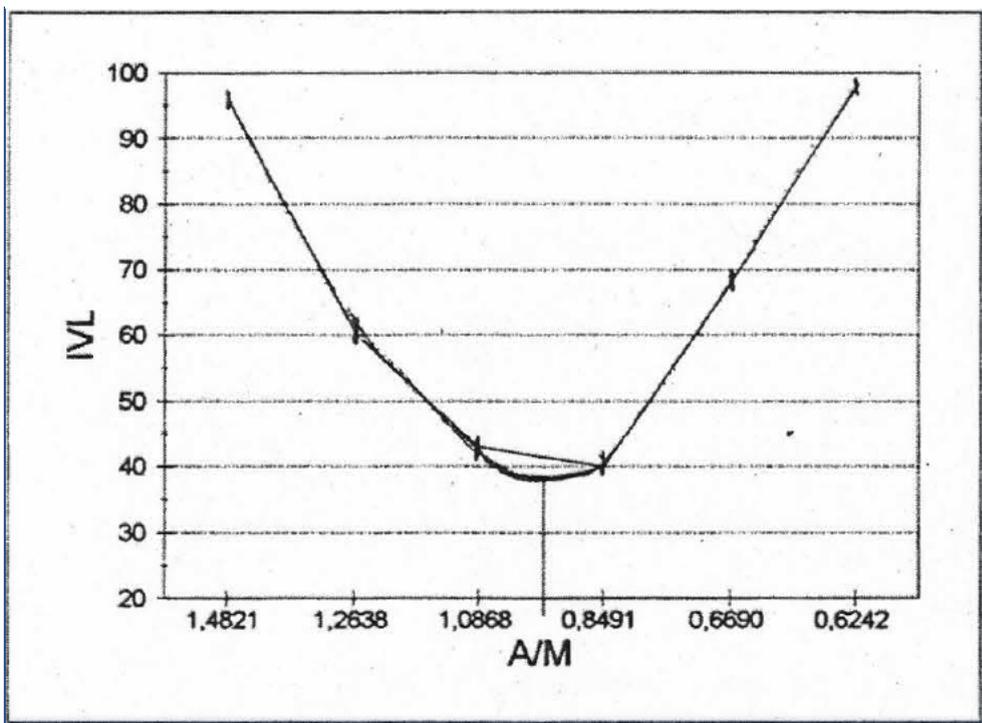
Los valores obtenidos para la obtención del gráfico $IVL-NM$ son:

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

Tabla 70. Valores de IVL y A/M

Ensayo	IVL	A/M
1	96	1.4821
2	60	1.2638
3	43	1.0868
4	40	0.8491
5	68	0.6690
6	98	0.6242

Tabla 69. Curva IVL-A/M



6.5. OBJETO DE ESTE APARTADO

El objetivo de este apartado es el de estudiar las variables que intervienen en el proceso de diseño del tratamiento biológico, para determinar si el actual es utilizable para los huecos caudales.

6.6. DATOS DE PARTIDA:

Para iniciar los cálculos del proceso biológico por fangos activos, se han de especificar los datos descritos a continuación:

6.6.1. Alimentación al Reactor biológico

- Caudal medio (QF) = $69,4 \text{ E-3 m}^3/\text{sg}$
- DBO a la entrada del reactor (SF) = 825 mg/l
- Concentración de sólidos en suspensión volátiles ($X_{v,F}$) = aprox. 5,7 mg/l, (es tan baja al no existir una aireación).
- Concentración de sólidos no volátiles ($X_{nv,F}$) = 21,5 mg/l
- Temperatura del agua en verano (TFv) = 21 °C
- Temperatura del agua en invierno (TFi) = 19,5 °C

6.6.2. Calidad del efluente

- DBO exigido en el efluente (Se) = 30 mg/l
- Sólidos en suspensión volátiles ($X_{v,e}$) = 30 mg/l
- Sólidos en suspensión no volátiles ($X_{nv,e}$) se desprecian = 0 mg/l

6.6.3. Reactor Biológico

- Se seleccionan los valores siguientes:
 - Sólidos en suspensión volátiles ($X_{v,a}$) = 3000 mg/l
 - Sólidos volátiles en suspensión en el recirculado ($X_{v,u}$)= 10000 mg/l
- Temperaturas del ambiente:
 - Verano :23°C
 - Invierno: 16°C
- Parámetros Biocinéticos
 - Referentes al consumo del sustrato:
$$K = 0.00052 \text{ 1 / (h * mg)}$$
 - Referentes al consumo de oxígeno:
$$a = 0.22258 \text{ Kg Oxígeno / Kg de DBO}$$
$$b = 0.00072 \text{ 1/h}$$
 - Referentes a la fase de respiración endógena:
$$Y = 0.10642 \text{ Kg de MLVSS producidos /Kg de DBO}$$
$$M = 0.00102 \text{ 1/h}$$
- Coeficientes de Arrhenius. θ para los parámetros:
 - Para el parámetro K : 1.03
 - Para los parámetros b y Kd : 1.05

6.7. CONSUMO DE SUSTRATO (KG DE DBO CONSUMIDO AL DÍA):

$$\begin{aligned} \text{Kg de DBO/d} &= 86.4 * Q_f * (S_f - S_e) = \\ 86.4 * 6,94 \text{ E-3} * (825-30) &= 4.767 \text{ Kg de DBO/día} \end{aligned}$$

6.8. ESTIMACIÓN DE LA TEMPERATURA DE OPERACIÓN DEL REACTOR BIOLÓGICO.(TW), DE VERANO E INVIERNO

En primer lugar estimamos un valor de potencia ; (podemos guiamos por la expresión: Kg DBO/d / (49-51))

$$\text{HP} = 4.767 / 49.6 = 96,11 \text{ HP}$$

$$T_w = ((3.6 \text{ E6} * Q_f * T_f) + (1134 * C_v T_{\text{amb}})) / ((3.6 \text{ E6} * Q_f) + (1134 * C_v))$$

$$\bullet \quad T_w(\text{ver}) = ((3.6 \text{ E6} * 69,4 \text{ E-3} * 21) + (1134 * 96,11 * 23)) / ((3.6 \text{ E6} * 69,4 \text{ E-3}) + (1134 * 96,11)) = 21,61^\circ\text{C}$$

$$\bullet \quad T_w(\text{inv}) = ((3.6 \text{ E6} * 69,4 \text{ E-3} * 19.5) + (1134 * 96,11 * 16)) / ((3.6 \text{ E6} * 69,4 \text{ E-3}) + (1134 * 96,11)) = 18,43^\circ\text{C}$$

Es decir:

$$\text{➤ } \} \quad T_w \text{ verano} = 21,61^\circ\text{C}$$

$$\text{➤ } \quad T_w \text{ invierno} = 18,43^\circ\text{C}$$

Entre ambas no existe una gran diferencia, y aunque no se cometería un gran error si tomáramos un valor medio, se opta por realizar cálculos paralelos para cada una de dichas temperaturas.

6.9. PARÁMETROS BIOCINÉTICOS CORREGIDOS POR LAS TEMPERATURAS

Los parámetros que deben corregirse con las diferentes temperaturas de operación, son los descritos a continuación:

$$K = 5.2E-4 \cdot 1.03^{(T_w - 20)}$$

$$Y = 0,10642 \text{ Kg MLVSS/KgDBO}$$

$$K_d = 0.00102 \cdot 1.05^{(T_w - 20)}$$

$$a = 0.22258 \text{ Kg O}_2/\text{ Kg DBO}$$

$$b = 0.00072 \cdot 1.05^{(T_w - 20)}$$

- Para las condiciones de verano: $T_w = 21.61 \text{ }^\circ\text{C}$

$$K(21.54) = 5.2 \text{ E-4} \cdot 1.03^{(21.61 - 20)} = 5.45 \text{ E-4 h}^{-1} \cdot \text{l/mg}$$

$$K_d(21.54) = 0.00102 \cdot 1.05^{(21.61-20)} = 0.001103 \text{ h}^{-1} \text{ (es decir l/h)}$$

$$b(21.54) = 0.00072 \cdot 1.05^{(21.61 - 20)} = 0.000779 \text{ h}^{-1}$$

- Para las condiciones de invierno : $T_w = 18.43 \text{ }^\circ\text{C}$

$$K(18.55) = 5.2 \text{ E-4} \cdot 1.03^{(18,43- 20)} = 0.000496 \text{ h}^{-1} \cdot \text{l/mg}$$

$$K_d(18.55) = 0.00102 \cdot 1.05^{(18.43-20)} = 0.000945 \text{ h}^{-1}$$

$$b(18.55) = 0.00072 * 1.05^{-(18.43-20)} = 0.000667 \text{ h}^{-1}$$

Los parámetros Y y a no depende, básicamente, de la temperatura, al ser relaciones, tal y como se explicó en la memoria descriptiva.

6.10. TIEMPO DE RESIDENCIA (TR) EN EL REACTOR:,

Para la determinación del tiempo de residencia debe tenerse en cuenta aquellos factores más restrictivos, es decir:

- la DBO del efluente final (S_e)
- las características de decantación del lodo, parámetro NM .

De ambos obtendremos un tiempo de retención, se escogerá, el mayor de ellos, aunque también puede escogerse un tiempo intermedio determinado, garantizando el cumplimiento de ambas condiciones, en la medida de lo posible.

- Caso 1 : Si controla la DBO del efluente (S_e):

Se emplea para esta expresión el valor de K (constante de consumo del sustrato) invernal, por ser la que recoge las exigencias de mayor tiempo de retención.

$$\begin{aligned} tr &= (SF - S_e) / (K_{inv} * X_{v,a} * S_e) = (825 - 30) / (0.000496 * 3000 * 30) = \\ &= 17.76 \text{ horas} = 0.74 \text{ días} \end{aligned}$$

- Caso 2 : Si controla la decantación del fango (A/M)

$$tr = SF / (X_{v,a} * A/M_{opt}) = 825 / (3000 * 0.92) = 0.30 \text{ días}$$

REUTILIZACION DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

Se observa que el tiempo del caso 1 es mayor que para el caso 2, es decir que las exigencias de DBO en el efluente controlan el tiempo de retención del agua en el reactor, así que tomamos el $tr = 0.74$ días.

Ahora se debe comprobar el valor de A/M correspondiente a este tr . Para ello empleamos la expresión siguiente:

$$A/M = SF / (X_{v,a} * tr) = 825 / (3000 * 0.74) = 0.372$$

En el gráfico que representa A/M frente a IVL , se observa que este valor de A/M no se halla en la zona óptima comprendida entre 0.8491 y 1.0868. Por otro lado debe tenerse en cuenta que para lodos con concentraciones entre 850 y 3500 mg/l, una buena decantación supone valores comprendidos entre 150-35 de IVL , y para el agua que se estudia el valor máximo de IVL obtenido, no supera 100 ml/g

Por las razones expuestas se tomará un valor intermedio:

tr(d)	Se(mg/l)	A/M	Validez
0.2	101.21	1.3750	baja
0.3	70.35	0.9167	baja
0.4	53.91	0.6875	media(A/M)
0.5	43.70	0.5500	media(A/M)
0.6	36.74	0.4583	media(Se)
0.7	31.69	0.3929	media(Se)

Los valores designados con una validez baja significan que se hallan muy distantes de cumplir con las exigencias de calidad del efluente.

Los valores designados con validez media (A/M), son los que se ajustan a la exigencia de decantación del fango, correspondientes a valores de $IVL <$ de 150 ml/g, pero que se distancian de la exigencia de 30 mg/1 de DBO en el efluente final.

Los valores designados con validez media (Se), son aquellos que se aproximan a las exigencias de calidad del efluente pero no garantizan una óptima decantación del lodo.

Consideremos el valor de A/M más desfavorable de los obtenidos, es decir, para $IVL = 98$, al que corresponde una relación $A/M = 0.6242$. Con estos datos se obtiene un tiempo de retención de 0.44días (10.57 horas) .

Para esta retención calculamos el valor que correspondería a la Se :

$$Se = SF 1 (1 + (X_{v,a} * K_{inv} * tr(h))) = 825 1 (1 + (3000 * 10.57 * 0.00049821)) = 49,11 = 49 \text{ mg/1. Este valor es superior a los } 30 \text{ mg/1.}$$

Considerando que los valores de A/M son buenos, ya que se hallan por debajo de los 150 mllg, en todo momento; podemos tomar como tiempo de retención el indicado por el caso 1, ya que para el caso que nos ocupa, la calidad del efluente es un valor más restrictivo.

Puede suponerse que para este tiempo de retención, la relación A/M , aunque no en sus condiciones óptimas, corresponde a un valor de IVL aceptable.

Concluyendo

Se considera un tiempo de retención de 0.7 días = 16,8 horas.

Para este valor de tiempo de retención la relación AIM se halla por encima de 0.3

6.11. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL REACTOR:

Se calcula dicho volumen con la expresión siguiente:

$$V = QF * tr = 69,4 E -3 (m^3/gs) * 16,8 (h) * 3600 (sg/h) = 4.197,27 m^3$$

Consideramos un valor de cerrado de $V = 4.200 m^3$.

Para el caudal medio de 6.000 m³/d.

6.12. CONSUMO DE OXÍGENO:

Se determina el oxígeno que es necesario suministrar, tanto en las condiciones de invierno como en las de verano; las condiciones de verano controlan las necesidades de oxígeno.

$$\text{Kg O}_2/\text{d} = a * (\text{SF}-\text{Se}) * \text{QF} + \text{verano} * X_{v,a} * V$$

Condiciones de verano, $b = 7.79 \text{ E-4 (l/h)}$

- $\text{Kg O}_2/\text{d} = (0.22258 * (825-30) * 69,4 \text{ E-3} * 86,4) + (0.000779 * 24 * 3000 * 4200 * (0.001)) = 1296,60 \text{ Kg O}_2/\text{día} = 54,03 \text{ Kg O}_2/\text{h}$

Condiciones de invierno, $b = 6.67 \text{ E-4 (1/h)}$:

- $\text{Kg O}_2/\text{d} = (0.22258 * (825-30) * 69,4 \text{ E-3} * 86,4) + (0.000667 * 24 * 3000 * 337 * (0.001)) = 1262,73 \text{ Kg O}_2/\text{d} = 52,61 \text{ Kg O}_2/\text{h}$

El consumo de oxígeno es ligeramente mayor en la época veraniega, pero sin diferir excesivamente del valor invernal.

La similitud de las necesidades de oxígeno a las temperaturas de operación extremas se debe a que dichas temperaturas tampoco difieren entre sí; confirmando así la afirmación realizada al inicio del capítulo, donde se indicó que podría realizarse el estudio del diseño con un valor intermedio de temperatura.

6.13. PRODUCCIÓN NETA DE BIOMASA. (X_V):

La biomasa producida se calcula, en esta sección a partir de la siguiente expresión:

$$\Delta X_V = (Y * (\text{SF}-\text{Se}) * \text{QF} * 864) - (\text{Kd} * X_{v,a} * V * 0,001)$$

Como se han determinado dos valores de Kd , (verano e invierno), se determinarán dos valores de Biomasa.

- Condiciones de Verano ($K_d = 0.001103 \text{ 1/h} = 0.026472 \text{ 1/d}$):

$$\Delta X_{v\text{-verano}} = (0.10642 * (825-30) * 69,4 \text{ E-3} * 86.4) - (0.026472 * 3000 * 4200 * 0.001) = 173,75 \text{ kg/d} = 7,23 \text{ Kglh}$$

- Condiciones de Invierno ($K_d = 0.000945 \text{ 1/h} = 0.02268 \text{ 1/d}$):

$$\Delta X_{v\text{-invierno}} = (0.10642 * (825-30) * 69,4 \text{ E-3} * 86.4) - 0.02268 * 3000 * 4200 * 0.001 = 221,53 \text{ Kg/d} = 9,23 \text{ Kg/h}$$

Se observa que la producción de biomasa es inferior en verano.

6.14. CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE RECIRCULACIÓN (r):

La expresión que permite determinar la relación de recirculación, r, es

$$r = (QF * X_{v,a} - X_v - QF * X_{v,F}) / (QF * (X_{v,u} - X_{v,a}))$$

$$> X_{v,F} = 5,7 \text{ mg/l} ; \Rightarrow QF * X_{v,F} = 0.0317 \Rightarrow 69,4 \text{ E-3} * 5,7 * 86,4$$

$$\Rightarrow QF * X_{v,F} = 34,18 \text{ Kg/d}$$

$$> QF * X_{v,a} = 69,4 \text{ E-3} * 3000 = 208,2 \text{ (m}^3\text{/sg)} * (\text{mg/l}) \text{ y por tanto}$$

$$QF * X_{v,a} = 17988,48 \text{ kg/d.}$$

$$> (X_{v,u} - X_{v,a}) = (10000-3000) = 7000 \text{ mg/l y por ello}$$

$$QF * (X_{v,u} - X_{v,a}) = 69,4 \text{ E-3} * 7000 * 86.4 = 41973 \text{ kg/d}$$

Con ésto la expresión queda de la siguiente forma:

$$r = (34,18 + 17988,484 - \Delta X_v) / 1973$$

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

Ahora debe calcularse la relación r en verano e invierno, según el valor de la producción de biomasa.

➤ Condiciones de verano $\Delta X_v = 173,75$ Kg/d:

$$r = (-34,18 + 17988,48 - 173,75) / 41973 = 0.4236 \quad (42.36 \%)$$

Condiciones de invierno $\Delta X_v = 221,53$ Kg/d:

$$r = (-34,18 + 17988,48 - 221,53) / 41973 = 0.4224 \quad (42.24 \%)$$

Como vemos, una vez más coinciden los valores para las condiciones extremas de temperatura.

La relación de recirculación se estima en el 42,2%

6.15. BALANCE DE CAUDALES. DETERMINACIÓN DE OR, Oo. Ow, Oe. Ou:

- Caudal de recirculación (OR) :

$$QR = QF * r = 69,4 \text{ E-3} * 0.422 = 29,29 \text{ E-3 m}^3/\text{sg} = 2530,38 \text{ m}^3/\text{d}$$

- Caudal de la alimentación combinada de entrada en el reactor{ Oo)

$$Q_o = QF + QR = QF * (1 + r) = 69,4 \text{ E-3} * (1 + 0.422) = 98,69 \text{ E-3 m}^3/\text{sg} = 8526,82 \text{ m}^3/\text{d}$$

- Caudal de purga (Qw)

Esta expresión indica que el caudal de purga deberá calcularse en las condiciones de verano e invierno, ya que la

producción de biomasa se ha determinado para esas condiciones.

➤ Condiciones de verano:

$$Q_w = (173,75 + 348 - (69,4 \text{ E-}3 * 86,4 * 30)) / ((10000-30) * 0,001) = 2,88 \text{ m}^3/\text{día} = 33,28 \text{ E-}3 \text{ m}^3/\text{sg}.$$

➤ Condiciones de invierno:

$$Q_w = (221,53 + 34,8 - (69,4 \text{ E-}3 * 86,4 * 30)) / (9970 * 0,001) = 7,67 \text{ m}^3/\text{d} = 88,74 \text{ E-}6 \text{ m}^3/\text{sg}$$

$$Q_w \text{ medio} = 61 \text{ E-}6 \text{ m}^3/\text{sg} = 5,2 \text{ m}^3/\text{d}$$

Se observa que son valores muy pequeños comparados con la alimentación y recirculación. Es importante tener en cuenta que por esta razón, el caudal de salida del clarificador secundario, Q_e , será prácticamente el caudal de alimentación fresca, con lo cual puede hacerse la aproximación de que $Q_e \approx Q_F$

- Caudal del efluente del clarificador secundario (Q_e)

$$Q_e = Q_F - Q_w = 69,4 \text{ E-}3 + 61 \text{ E-}6 = 69,34 \text{ E-}3 \text{ m}^3/\text{sg}$$

$$Q_e = 480,83 \text{ m}^3/\text{d}$$

- Caudal de descarga del clarificador secundario (Q_u) :

$$Q_u = Q_o - Q_e = 98,69 \text{ E-}3 - 69,34 \text{ E-}3 = 29,39 \text{ E-}3 \text{ m}^3/\text{sg} = 2539,30 \text{ m}^3/\text{d}$$

y de forma similar:

$$Q_u = Q_R + Q_w = 29,29 \text{ E-}3 + 61 \text{ E-}6 = 29,35 \text{ E-}3 \text{ m}^3/\text{sg} = 2535,93 \text{ m}^3/\text{d} \text{ con lo cual tomamos el valor medio}$$

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

$$Q_u = 29,37 \text{ E-3} = 2537,6 \text{ m}^3/\text{día}$$

Resumen del cálculo de Caudales:

Tabla 71. Caudales.

Qi	m³/sg	m³/d
QF	69,4E-3	6000
QR	29,29E-3	2530,38
Qo	98,69E-3	8526,82
Qw	6,1E-6	5,2
Qe	69,34E-3	5991

6.16. TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO (TH)

$$\begin{aligned} t_h &= V / Q_o = 4200 / (QF (1+r)) = 4200 / (69,4 \text{ E-3} * 1.422 * 86400) \\ &= 0.4925 \text{ días} = 11.82 \text{ horas} \end{aligned}$$

6.17. BALANCES DE MATERIA PARA LOS SÓLIDOS NO VOLÁTILES (X_{nvo} = X_{nva}: X_{nvu}):

Partimos de dos datos conocidos:

$X_{nv,F}$ (conc. sólidos no volátiles en la alimentación fresca) = 21,5 mg/1

$X_{nv,e}$ (conc. sólidos no volátiles a la salida del clarificador) \approx 0 mg/1

$$r = 0.4222$$

Las expresiones que van a permitir la determinación de las concentraciones de sólidos no volátiles restantes son:

$$a) X_{nv,o} = (X_{nv,F} + r * X_{nv,u}) / (1 + r)$$

$$b). X_{nv,F} = ((1 + r) * X_{nv,a}) - r * X_{nv,u}$$

$$e) X_{nv,u} = ((Q_F * (1 + r) * X_{nv,a}) - (Q_e * X_{nv,e})) / Q_u$$

Podemos decir que $X_{nv,a} = X_{nv,o}$. Con lo cual las incógnitas de las tres ecuaciones se reducen a dos.

Las ecuaciones quedan de la siguiente forma:

$$a) X_{nv,a} = (21.5 + 0.422 * (3.36 X_{nv,u})) / 1.422$$

$$b) 21.5 = 1.422 X_{nv,a} - 0.422 * X_{nv,u}$$

$$c) X_{nv,u} = ((69.4 \cdot 10^{-3} * 1.422 * X_{nv,a}) - 0) / (29.37 \cdot 10^{-3})$$

De la ecuación b) podemos despejar $X_{nv,a}$

$$b) X_{nv,a} = (21.5 + 0.422 X_{nv,u}) / 1.422$$

resulta una ecuación similar a la a), por lo tanto el sistema queda, con dos ecuaciones, así:

$$a) X_{nv,a} = (21.5 + 0.422 X_{nv,u}) / 1.422$$

$$e) X_{nv,u} = \{(69,4 \text{ E-}3 * 1.422 * X_{nv,a}) - 0\} / 29,37 \text{ E-}3 = 3,36 * X_{nv,a}$$

Deducimos que:

$$a) X_{nv,a} = \{21.5 + 0.422 * (3.36 X_{nv,a})\} / 1.422$$

$$a) X_{nv,a} = 15.12 + 0.997 X_{nv,a}$$

Con lo que:

$$X_{nv,a} = 15,121 / (1 - 0.997) = 5040 \text{ mg/l}$$

$$X_{nv,u} = 3.36 * 5040 = 16934,40 \text{ mg/l.}$$

Estos valores de sólidos no volátiles pueden parecer elevados, pero hay que considerar que no se ha instalado un decantador primario que reduzca los sólidos en suspensión que no son retenidos en el pretratamiento.

Si calculamos la fracción de sólidos volátiles, F_v obtenemos:

$$F_v = X_{v,a} / (X_{v,a} + X_{nv,a}) = 3000 / (3000 + 5040) = 0.3731$$

6.18. CÁLCULO DE LA PRODUCCIÓN TOTAL DE LODOS. SSTW

Para obtener la cantidad de lodo total producida y extraída mediante la purga del mismo, deben determinarse por separado los sólido volátiles (VSS_w y los no volátiles $NVSS_w$, según las expresiones descritas a continuación, tanto para las condiciones de verano como para las de invierno, (ya que interviene la producción neta de biomasa).

Condiciones de verano:

$$\begin{aligned} \text{VSSw} &= 173,75 + (5,7 * 69,4 \text{ E-}3 * 86,4) - (86,4 * 69,34 \text{ E-}3 * 30) \\ &= 2.820 \text{ Kg /d} \end{aligned}$$

de otra forma:

$$\text{VSS w} = \text{Qw} * \text{Xv,u} = 86,4 \text{ m}^3 \text{ E-}6 * 10000 = 52,70 \text{ Kg/d}$$

$$\text{Valor medio(verano)} = 40,45 \text{ Kg/d}$$

Condiciones de invierno:

$$\begin{aligned} \text{VSSw} &= 221,73 + (5,7 * 86,4 * 69,4 \text{ E-}3) - (86,4 * 69,34 \text{ E-}3 * 30) = \\ &76,17 \text{ Kg/d} \end{aligned}$$

de otra forma:

$$\text{VSSw} = 52,70 \text{ Kg/d}$$

$$\text{Valor medio (invierno)} = 64,44 \text{ Kg/d}$$

- Cálculo de los sólidos no volátiles, NVSSw:

Para este apartado no es necesario tener en cuenta las diferentes temperaturas, ya que éstas no influyen en este parámetro.

$$\text{NVSSw} = \text{Qw} * \text{Xnv,u} = 86,4 * 61 \text{ E-}6 * 16934,40 = 89,25 \text{ Kg/d}$$

- Cálculo de los sólidos totales SSTw:

$$\text{SSTw} = \text{VSSw} + \text{NVSSw}$$

En verano:

$$\text{SSTw} = 40,45 + 89,25 = 129,7 \text{ Kg/ d}$$

En invierno

$$\text{SSTw} = 64,44 + 89,25 = 153,7 \text{ Kg/d}$$

6.19. CONCENTRACIONES DE DBO. (SOL. SÓLIDOS VOLÁTILES EN SUSPENSIÓN (Xv.o), DE LA ALIMENTACIÓN COMBINADA AL REACTOR:

- Cálculo de los sólidos volátiles en suspensión Xv.o

$$X_{v,o} = (X_{v,F} + r * (X_{v,u})) / (1 + r)$$

$$X_{v,o} = (5.7 + (0.422 * 10000)) / 1.422 = 2971,66 \text{ mg/l}$$

- Cálculo de la DBO en la alimentación Combinada:

$$S_o = (S_F + S_e * r) / (1 + r) = (825 + (0.422 * 30)) / 1.422;$$

$$S_o = 589.07 \text{ mg/l}$$

6.20. CÁLCULO DE LA EDAD DEL FANGO:

$$\theta = (X_{v,a} * V) / \Delta X_v$$

Condiciones de verano

$$\text{Edad} = \theta = 3000 * 0.001 * 4200 / 173,75 = 72,52 \text{ días}$$

Condiciones de invierno:

$$\text{Edad} = \theta = 3000 * 0.001 * 4200 / 221,53 = 56,88 \text{ días}$$

6.21. CÁLCULO DE LA POTENCIA DE LAS TURBINAS

Se estimará la potencia específica para verificar que se han realizado los cálculos con los valores de Tw correctos, al tomar valores de HP.

6.21.1. Cálculo de Cs,s conc. de oxígeno en condiciones de saturación):

Este valor se determina según:

$$C_{s, s} = C_{s, s 760} * ((P-P_v) / 760 - P_v)$$

Los valores de Cs; a 760 mm Hg, pueden obtenerse de la tabla siguiente:

CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO, A SATURACIÓN A DISTINTAS TEMPERATURAS

Tabla 72. Concentración de oxígeno disuelto en función de la temperatura.

R (°C)	Cs(míwA)
r(°C)	
15	10,2
20	9,2
25	8,4
30	7,6
35	7,1
40	6,6

La diferencia (P- Pv) representa la presión del aire en la fase gaseosa. Los valores de Pv se encuentran en la tabla siguiente:

PRESIÓN DE VAPOR DEL AGUA A DIFERENTES TEMPERATURAS

Tabla 73. Presión de vapor de agua en función de la teperatura

T°(C)	Pv(mmHg)
15	12,788
20	17,535
25	23,7 6
30	31,824
35	42,175
40	55,324

La presión de operación considerada, P, es de 755 mmHg.

-Paso 1: Interpolando en las tablas de Cs,s y Pv obtenemos para las temperaturas de verano e invierno los valores de:

Temp. (Tw)	C s,s760 (_mg/l)_	Pv (_mmH_g)_
18,41	9,4	15,885
21,60	8,92	19,377

-Paso 2: Obtenidos los valores a las temperaturas de operación en el reactor, se calcula

Cs,s de Verano e Invierno:

$$C_{s,s} = C_{s,s\ 760} * (AB)$$

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

	mmHg	mmHg		mg/1	mg/1
Verano	735,623	740,623	0,99324	8,92	8,8598
Invierno	739,115	744,115	0,99328	9,49	9,4262

-Paso 3: Obtener el factor $K = RT_{real} / RT_{referencia}$:
Disponemos de la siguiente información:

$$P = 755 \text{ mmHg}$$

$$\alpha = 0.85$$

$$\beta = 0,96$$

$$C_{S,S} \text{ verano} = 8.8598 \text{ mg/1}$$

$$C_L = 3 \text{ mg/1}$$

$$C_{S,s} \text{ invierno} = 9,4262 \text{ mg/1}$$

$$K = \alpha * 1,024^{(T_w - 20)} * ((\beta * (C_{S,s} - C_L) / 9,2))$$

* Para las condiciones de verano:

$$K = 0.85 * 1.024^{(21,61 - 20)} * ((0.96 * (8.8598 - 3) / 9,2)) = 0,52845$$

* Para las condiciones de invierno:

$$K = 0.85 * 1.024^{(18,43 - 20)} * ((0.96 * (9,4262 - 3) / 9,2)) = 0,58064$$

Se observa que la K menor es decir, la que controla el proceso de transferencia de oxígeno, es la de verano.

6.21.2. Proceso reiterativo:

-Paso 1 : Suponer un valor de potencia específica:

$$Pe = 0,022905.$$

-Paso 2: Obtención de RT referencia:

$$RT) \text{ ref} = 5.42 * Pe + 0,939 = 1,0631 .$$

-Paso 3 :Cálculo del RT real

$$RT) \text{ real} = K_{\text{verano}} * RT) \text{ ref}$$

$$RT) \text{ real} = 0.52845 * 1.0631 = 0.56179$$

-- Paso 4 : Obtención de la Potencia requerida:

$$P \text{ requerida} = Kg \text{ O}_2/h / RT) \text{ real}$$

$$Pr = 54,03 \text{ Kg/h} / 0,56179 = 96,17 \text{ CV}$$

- Paso 5: Comprobación del valor de potencia específica escogida:

$$Pe = \text{Potencia} / \text{volumen}$$

$$Pe = 96,17 / 4200 = 0,0229$$

Este valor de potencia específica coincide con el valor obtenido en el paso 1 de este apartado. No es necesario realizar el proceso reiterativo ya que los valores de

potencia con los que se realizó el cálculo de las temperaturas de operación es adecuado.

6.22. RESUMEN DE LOS CÁLCULOS:

Llegados a este punto podemos resumir el tratamiento biológico, para un caudal medio de 481 m³/d, con los siguientes valores:

Concentraciones de DBO soluble:

$$SF = 825 \text{ mg/l}$$

$$So = 589 \text{ mg/l}$$

$$Se = 30 \text{ mg/l}$$

Concentraciones de sólidos en suspensión

Tabla 74. Concentraciones de sólidos en suspensión
(Valores expresados en mg/l)

Tipo de Corriente	Volátil	No Volátil
XF(alimentación fresca)	5,7	21,5
Xa(licor del reactor)	3000	5040
Xo(alimentación combinada)	2972	5040
Xu (descarga del clarificador)	10000	16934,40

REUTILIZACION DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

Tabla 75. Valores de las SSTw

(Valores expresados en Kg/día)

	Verano	Invierno
SSTw (corriente de purga)	129,7	153,7

-Caudales:

Resumen del cálculo de Caudales:

Tabla 76. Caudales

Qi	m ³ /sg	m ³ /d
QF	69,4E-3	6000
QR	29,29E-3	2530,38
Qo	98,69E-3	8526,82
Qw	6,1E-6	5,2
Qe	69,34E-3	5991
Qu	29,37E-3	2537,6

-Otros parámetros, (Valores medios)

-Kg DBO consumida/día..... 4767 Kg /d

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

-Kg de Oxígeno consumido/día.....53,32 Kg/h

- Xv(Producción neta de biomasa).....197,64 Kg/d

-V (Volumen del reactor)4200 m³

-Tr (Tiempo de retención).....0.7 días..... 16.8 horas

-th (tiempo hidráulico)0.4925 días.....11.82 horas

-S (Edad del fango).....64.70 días..... 1553 horas

-r (relación de recirculación)..... 0.422 42.22%

CAPÍTULO 7
Remodelación de la
Estación depuradora
de aguas residuales
de la Mancomunidad
del Sureste

CAPITULO 7. REMODELACIÓN DE LA ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES DE LA MANCOMUNIDAD DEL SURESTE

7.1.- Introducción.

En primer lugar describiremos todas las instalaciones que comprende la depuradora para posteriormente definir los cambios necesarios a realizar, en función de la calidad que debe tener el agua a reutilizar con fines agrícolas y de servicios públicos (jardinería, lavado de calles, etc.)

7.2.- Descripción de la EDAR Sureste.

La E. D.A.R del sureste pertenece a la Mancomunidad Intermunicipal del Sureste y por tanto recibe las aguas residuales de los municipios de Agüimes, Ingenio y Santa Lucía. Adicionalmente recibe las aguas de la estación de bombeo de Castillo del Romeral, que atiende a los barrios próximos al barranco de Tirajana, pertenecientes al municipio de San Bartolomé de Tirajana, entre otros, Aldea Blanca, El Rodeo, El Matorral, Juan Grande, Llanos de Juan Grande y Castillo del Romeral.

El caudal de tratamiento de la planta es de 12.000 m³/ día y se amplía a 18000 m³/ día. La planta se ha ejecutado en dos fases. La primera de ellas trataba 6.000 m³/día y en julio de 2001 se amplió hasta los 12.000 m³/día. Tiene las siguientes líneas de agua de 3000 m³/ día, una línea de

REUTILIZACIÓN DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

6.000 m³/ día y se ha realizado la nueva línea de 6.000 m³/ día durante el transcurso de este trabajo.



Figura 48. Planta EDAR Sureste

El tratamiento del agua residual consta de los siguientes procesos u operaciones unitarias:

1. Llegada del agua bruta con aliviadero de seguridad, para evacuar los caudales superiores al máximo de dimensionamiento.
2. By-pass general de la instalación
3. Predesbaste
4. Desbaste de gruesos y finos automático.
5. Desarenado y desengrase.
6. Depósito de homogeneización.
7. Bombeo de agua bruta
8. Obra de reparto
9. Obra reparto a decantadores primarios planta existente
10. Decantación primaria
11. Reactor biológico
12. Decantadores secundarios para separar el fango activado del efluente
13. Sistema de desinfección del efluente por medio de un clorador
14. Vertido final del efluente

7.3.- Línea de fangos

El saneamiento de fangos constará de los siguientes procesos u operaciones:

1. Extracción y bombeo de fangos primarios
2. Espesamiento de fangos primarios
3. Extracción de fangos en exceso
4. Flotación de fangos en exceso
5. Sistemas compactos de pretratamiento (Desbastes, desarenado y desengrase)
6. Extracción y bombeo de fangos espesados a digestión
7. Digestión anaerobia de fangos en dos etapas
8. Extracción y bombeo de fangos digeridos a secado
9. Deshidratación de fangos

7.4. Línea de agua

De manera esquemática se expone la línea de agua de al Edar Sureste,, que se describirá en los apartados siguientes:

REUTILIZACION DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

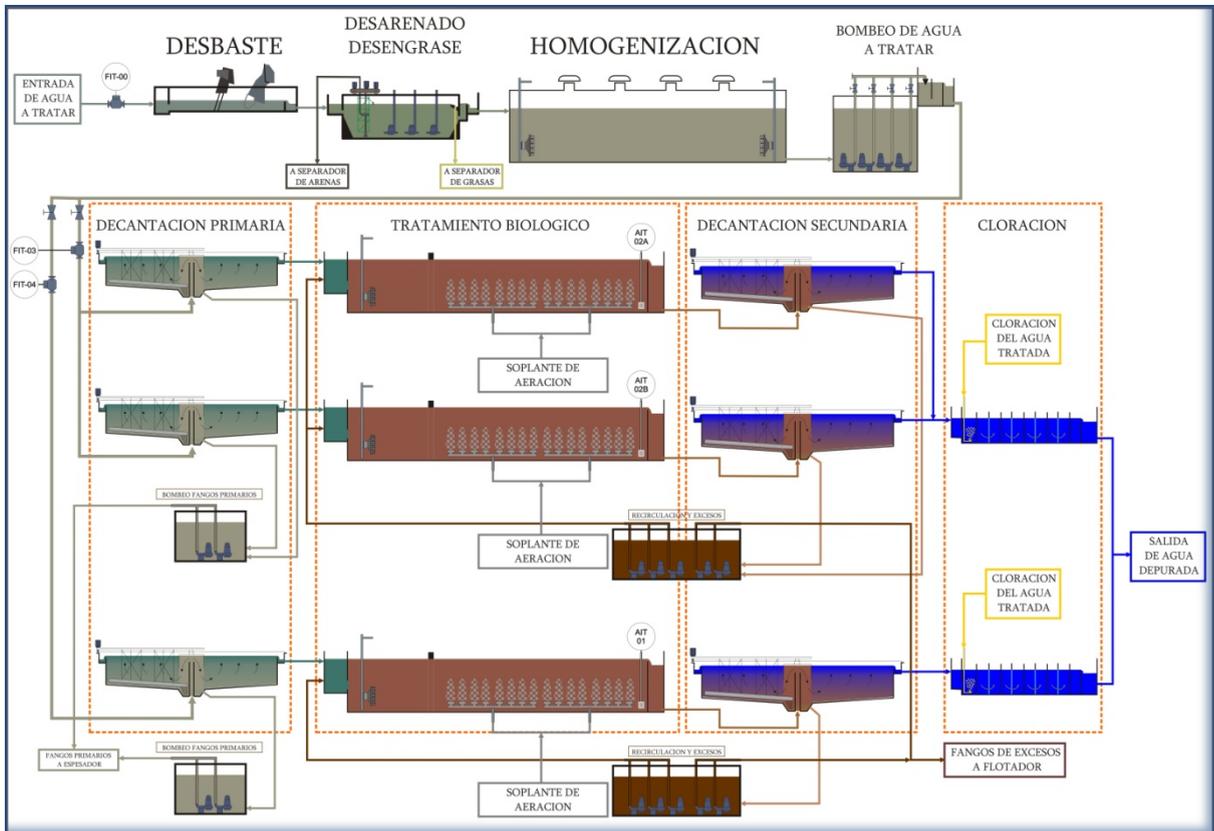


Figura 49. Línea de agua

7.4.1.- Obra de llegada

La obra de llegada incluye la posibilidad de realizar las funciones de aislamiento de la planta by-pass voluntario y aliviadero de seguridad mediante vertedero.

7.4.2. – Bypass general

Junto a la obra de llegada tomamos la posibilidad de Bypass voluntario de la planta, este Bypass es doble ya que nos permite separar las aguas según procedencia.

7.4.3.- Predesbaste

Después de pasar por la obra de llegada, el agua llega a un foso denominado de “predesbaste”, que se ha previsto para que se depositen en él los elementos gruesos que arrastren los colectores así como grandes flotantes y las arenas de un tamaño superior a 2 mm.

La solera de este pozo queda 3 metros por debajo de la rasante del colector de forma que la acumulación de residuos no impida la libre circulación del agua y evite, por tanto, que se ponga en carga el colector con la consiguiente acumulación de depósitos.

La extracción de detritus y grandes flotantes se realiza mediante una cuchara electrohidráulica anfibia. Los detritus y arenas se envían a contenedores dispuestos a tal efecto.

7.4.4.- Desbaste de gruesos y finos

El desbaste se realiza mediante una reja de desbaste grueso y otra de finos ambas automáticas. En caso de emergencia se dispone en el by-pass de una reja manual. Existen dos tornillos sin fin que recogen los detritus extraídos por las rejillas y los vierte en un contenedor.

Se indica a continuación figura con los equipos de la zona de desbaste:

REUTILIZACION DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

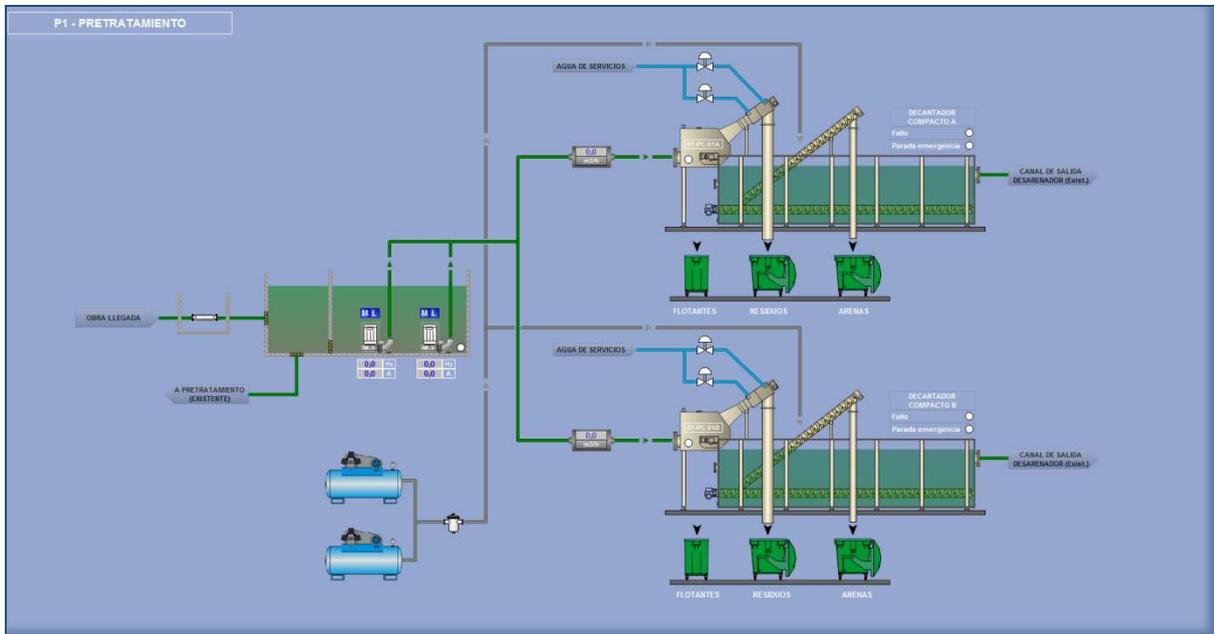


Figura 50. Pretratamiento

7.4.5.- Desarenado y desengrase

La no eliminación de las arenas o de las grasas presentes en el agua bruta, puede provocar serios problemas de explotación como el deterioro prematuro de los rodetes de las bombas de extracción de fangos o la formación de costras en la digestión que pueden acarrear serios accidentes.

En nuestro caso, con una red unitaria de recogida de aguas, la presencia de arenas y grasas es importante sobre todo cuando puede existir aporte industrial .

Para la eliminación se dispone de una insuflación de aire en los desarenadores mediante un sistema que se ocupa de la limpieza de arena y separación de grasas mediante insuflación de burbujas gruesas. Para la limpieza de arena se suministra un tornillo de Arquímedes. Por lo que se refiere a la eliminación de las grasas, los flotantes y grasa recogidos se recogen por gravedad en un pozo, al que llegan también los flotantes extraídos de la decantación primaria.

7.4.6.- Depósito de homogeneización

Para disponer en la planta de un caudal constante durante todo el día, y para homogeneizar el agua que a menudo tiene carácter industrial, se dispone de un depósito acumulador. Para eliminar los problemas que ocasiona mantener estanca el agua residual durante algún tiempo, se ha dispuesto de agitadores que obligan al agua a mantenerse en movimiento; así como de una aireación continuada.

7.4.7.- Bombeo de agua bruta

El agua bruta una vez homogeneizada es introducida en el pozo de bombeo, donde tres bombas sumergidas elevan el agua a la obra de reparto.

7.4.8.- Obra de reparto

La obra de reparto toma el agua a la salida de las bombas de agua bruta y reparte a continuación el afluente hacia las diferentes líneas de la planta. Esto se consigue mediante el empleo de compuertas manuales.

7.4.9.- Obra de reparto a decantadores primarios de planta existente

La obra de reparto está situada entre los dos decantadores primarios y agrupa distintas funciones. El agua proveniente de la obra de reparto junto a las bombas de agua bruta entra en una arqueta provista de dos vertederos, colocados de forma simétrica, lo que permite realizar un perfecto reparto entre las dos líneas de agua. Cerrando la entrada a los decantadores

primarios mediante dos compuertas, el agua sube de nivel y puede saltar en cada arqueta por un vertedero previsto para el by-pass.

En la misma obra de reparto se incluye el pozo de recogida de fangos primarios y el de flotantes, equipado con un agitador que permite el trasiego de la emulsión hacia el desnatador.

7.4.10.- Decantación primaria

Se disponen de dos decantadores primarios de rasquetas de 14 metros de diámetro cada uno para la planta inicial y de decantador primario de diámetro 18 metros en las otras dos plantas. Están equipados con un puente rodante dotado de rasquetas de superficie y de fondo. Los flotantes extraídos de la decantación se envían a una arqueta en el desarenador y desengrase.

7.4.11.- Reactor biológico

El agua pretratada es conducida a la cuba de aireación para su tratamiento biológico.

La línea de agua existente inicialmente dispone de dos biológicos idénticos de 3.000 m³/día cada uno y en las dos nuevas ampliaciones de otros dos de 6.000 m³/día con parrillas de difusores de membranas. El tratamiento biológico se realiza con fangos activos de media carga, con recirculación del licor mixto y la aireación se consigue con el empleo de soplantes de dos velocidades y difusores. El volumen total de cada biológico se reparte en dos zonas, una anóxica y otra aireada.

El nuevo biológico, que se realiza con este trabajo, es de de 6000 m³/día e incluye, como en los restantes:

- Zona anóxica: proceso de desnitrificación
- Aireación en reactor biológico
- Recirculación de licor mixto
- Decantación secundaria
- Recirculación de fangos
- Purga de fangos en exceso

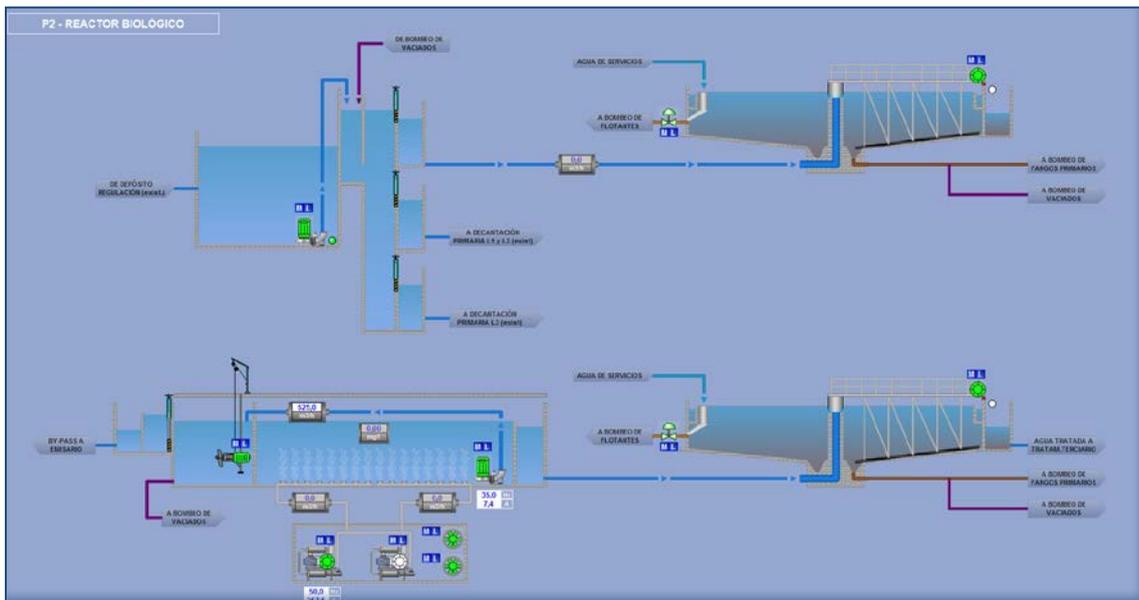


Figura 51. Reactor biológico y decantación secundaria

Hemos adoptado las características y parámetros necesarios para el dimensionamiento del volumen de las cubas, obligados por las necesidades de rendimiento en la eliminación de S.S. y DB05.

El suministro de aire se aporta mediante dos parrillas de difusores. El sistema de aireación garantiza una agitación del licor mixto suficiente para evitar su sedimentación.

7.4.12.- Decantación secundaria

Para este proceso hay dos decantadores de 17 metros de diámetro y superficie útil de 227 m² en la línea existente. El nivel medio de agua es de 3 m, con lo que se dispone de un volumen de 744 m³.

Las línea nuevas disponen de un sólo decantador de 23 metros de diámetro y superficie útil de 415.5 m². El nivel medio de agua es de 3.9 metros.

La extracción de fangos se realiza por medio de un sistema de dos bombas sumergidas en ambas líneas.

Con esta instalación se obtendrían los siguientes resultados de decantación:

- _ DBO agua decantada..... 30 ppm
- _ Materia seca decantada30 ppm

7.4.13- Cloración

La cloración se realiza en el serpentín de ambas líneas para dar tiempo a que el cloro cumpla su misión antes de mandar el efluente de la planta a emisario o ser aprovechado en el Tratamiento Terciario.

7.5. Fangos.

7.5.1.- Extracción y bombeo de fangos primarios

La extracción de fangos primarios se realiza desde el pozo de fangos primarios que posee cada línea de agua. En cada pozo se encuentran dos

bombas sumergidas capaz de bombear cada una 30 m³/h. Mediante una conducción unimos estos pozos con el espesador de la planta.

- Esquema de la línea de fangos

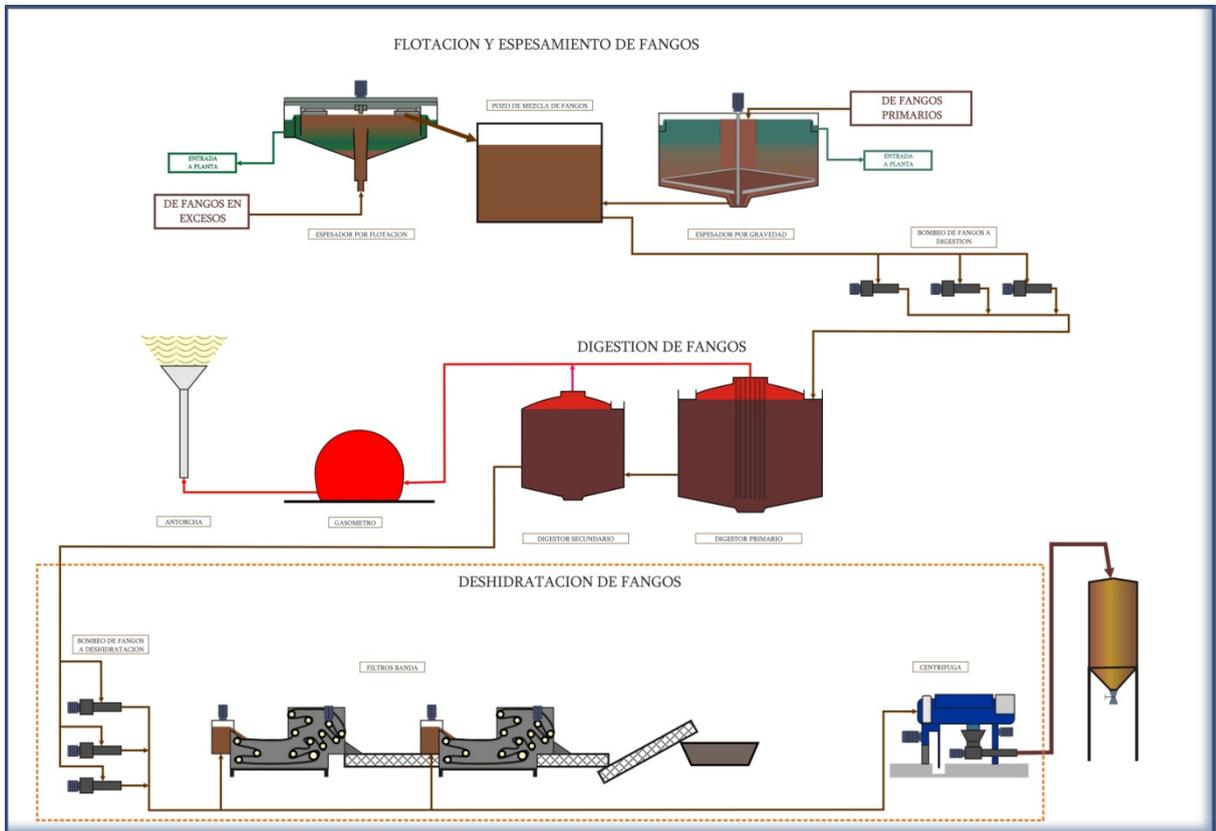


Figura 52. Línea de fangos

REUTILIZACION DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

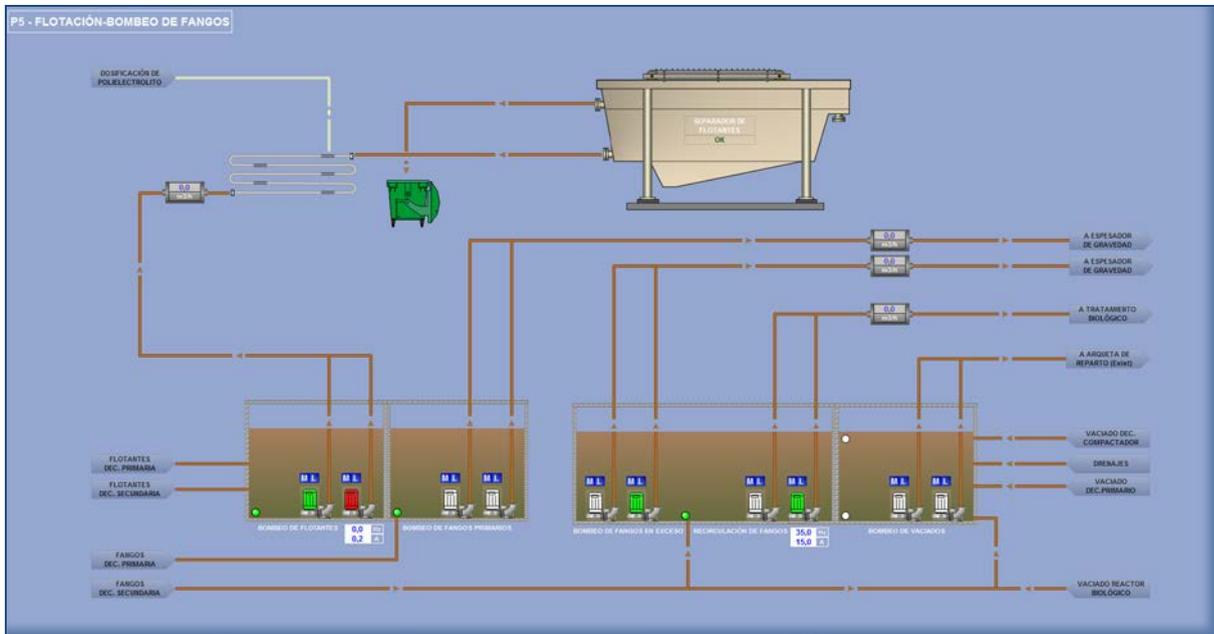


Figura 53. Flotación y bombeo de fangos

7.5.2.- Espesador

E la planta inicial se dispone de un sistema de espesamiento separado para los fangos primarios y para los fangos en exceso. En la ampliación se ha instalado un sistema de espesamiento único para las dos líneas y para todos los fangos.

7.5.3.- Extracción de fangos en exceso

La extracción de los fangos en exceso se realiza desde la cámara de recirculación junto a los biológicos hasta el flotador. Los fangos en exceso se purgarán desde la obra de recirculación mediante el empleo de dos bombas sumergibles de 25-30 m³/h.

7.5.4.- Flotación de fangos en exceso

La flotación de los fangos, se logra con la introducción de agua presurizada al flotador. El grado de espesamiento que consigue en los fangos en exceso alcanza unos 45 g/l, habiéndose extraído de las cubas de aeración a 3 g/l.

7.5.5.- Recirculación de fangos

La recirculación es una fase inseparable del tratamiento biológico y para cada línea de agua el caudal recirculado es un 60% el caudal nominal. Para la recirculación existen cuatro bombas sumergidas.

7.5.6.- Digestión de fangos

Existen dos digestores (primario y secundario) que se utilizan para almacenamiento y estabilización de fangos y no para esta función.

7.5.7.- Digestión secundaria

7.5.9.- Deshidratación de fangos

Para deshidratar el fango se dispone del sistema de centrífugas, con el que se consigue sequedades de fango que oscilan entre el 20 y el 25%. El fango deshidratado es elevado a dos silos mediante una bomba de tornillo donde se va almacenando hasta ser enviado a la planta de biometanización del Complejo Medioambiental de Salto del Negro.

REUTILIZACIÓN DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

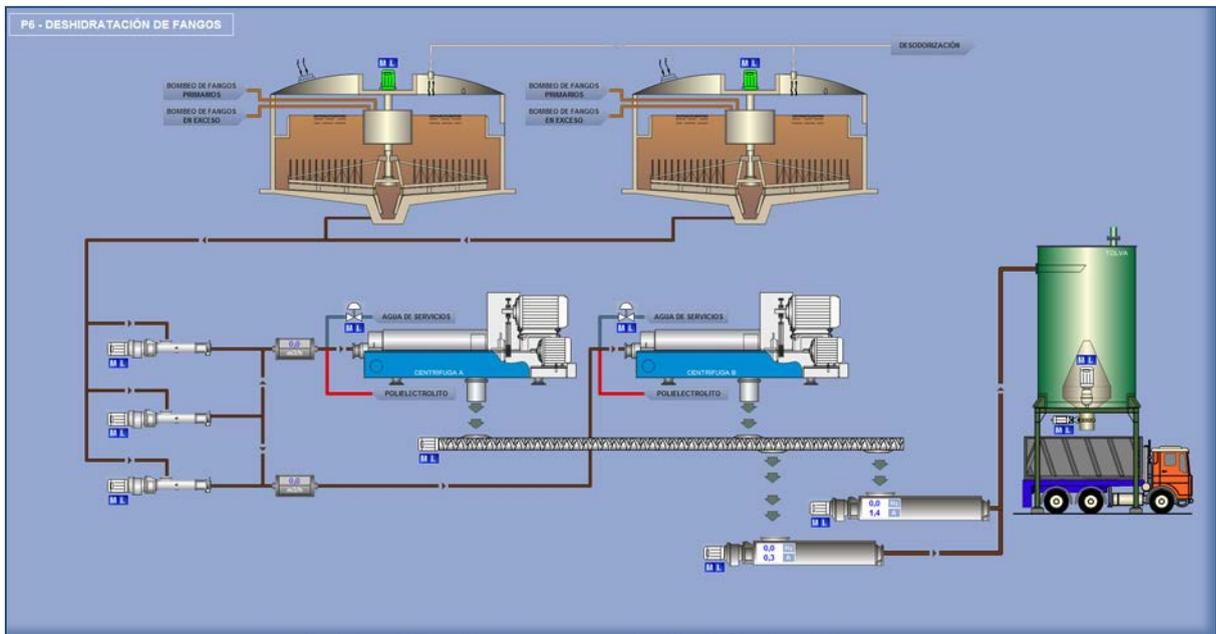


Figura 54. Deshidratación de fangos

7.6.- Modificaciones propuestas.

Con el proceso elegido tenemos un grupo de variables que hemos de mejorar para que el agua que obtengamos cumpla las condiciones necesarias para ser utilizada en todos los cultivos que actualmente existen en la comarca del sureste de Gran Canaria. En concreto y de forma general debemos mejora los siguientes aspectos:

1. Reducción de los SS.
2. Reducción de la DBO₅ y DQO.
3. Disminuir, en parte, la conductividad hasta valores en torno a los 600-700 η S.
4. Reducción y si es posible la eliminación de coliformes.

5. Procurar que el aspecto del agua en cuanto a olor y transparencia sea similar a la del agua potable, para evitar el rechazo inicial a la reutilización de aguas.

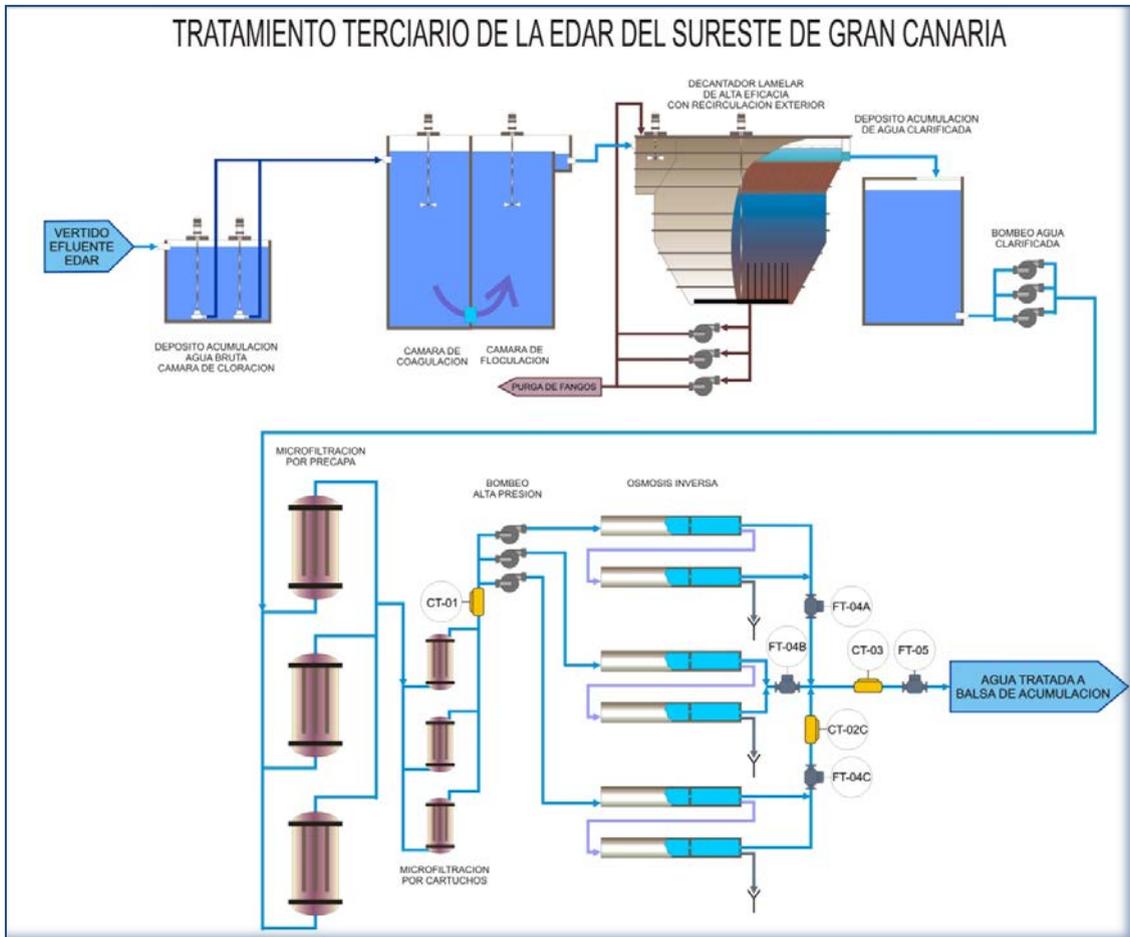


Figura 55. Tratamiento terciario

Para la eliminación de sales tenemos tres opciones comerciales:

- Electrodialisis Reversible (EDR)
- Ósmosis Inversa
- Sistemas de Evaporación (MSF, Compresion de Vapor, etc).

Considerando los costes energéticos, que son decisivos, tomaríamos como alternativas las EDR y la ósmosis. Si además pretendemos la ausencia de color y eliminación de bacterias de forma importante y como barrera de seguridad, la solución pasa por la ósmosis inversa.

No obstante será necesario un tratamiento previo al efluente del secundario de la depuradora para poder tratarlo en la ósmosis. Las principales soluciones técnicas actuales son:

1. Microfiltración
2. Físico Químico
3. Diferentes sistemas de filtración.

Teniendo en cuenta la variabilidad de las características del efluente y de la experiencia en colmatación de la microfiltración por los coloides optamos por el diseño de un físico químico y una posterior filtración previa a la ósmosis.

7.6.1.- Partes y proceso elegido en el tratamiento terciario

Hay que partir de la base de que cada día la calidad del efluente de la EDAR es diferente lo que afecta a la coagulación, a la filtración y a la osmosis. Es por ello que aquí toma una elevada importancia la elección del pretratamiento y su seguimiento antes de que el agua llegue a los bastidores de membranas.

La línea de pretratamiento existente consta de los siguientes equipos y tratamientos:

a.-FÍSICO-QUÍMICO DE ALTA EFICACIA

- Cloración de agua bruta
- Bombeo de agua Bruta
- Regulación del ph
- Coagulación

REUTILIZACIÓN DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

- Floculación
- Decantación lamelar
- Purga de fangos

b.-MICROFILTRACIÓN

- Bombeo de agua clarificada
- Dosificación de anti-incrustante
- Filtros precapa
- Filtros de seguridad

Una vez pasados los filtros de seguridad disponemos de tres bombas de alta presión reguladas por variador, que elevan cada una de ellas el agua microfiltrada a un bastidor.

El paso definitivo en la reducción de sales en el Tratamiento Terciario de la EDAR del Sureste es la osmosis inversa. Para garantizar la conductividad máxima el diseño de la planta se realiza para $300 \mu\text{S}/\text{cm}$.

Esta solución es idónea pero no económica, por lo que se utiliza solamente cuando se requieren estas calidades para cultivos concretos.

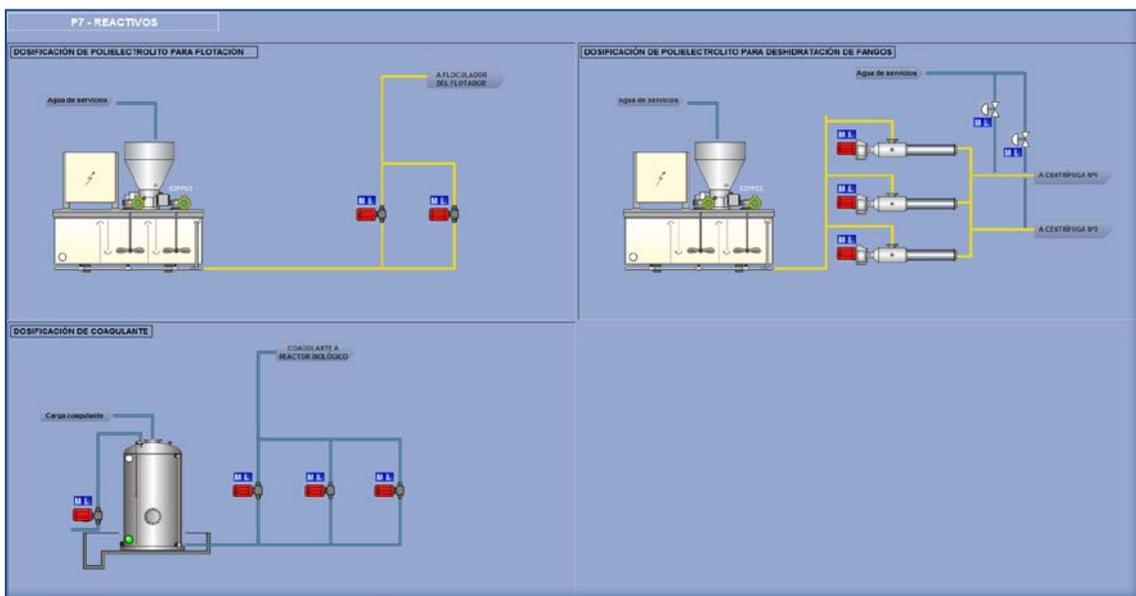


Figura 56. Dosificación de reactivos

REUTILIZACIÓN DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

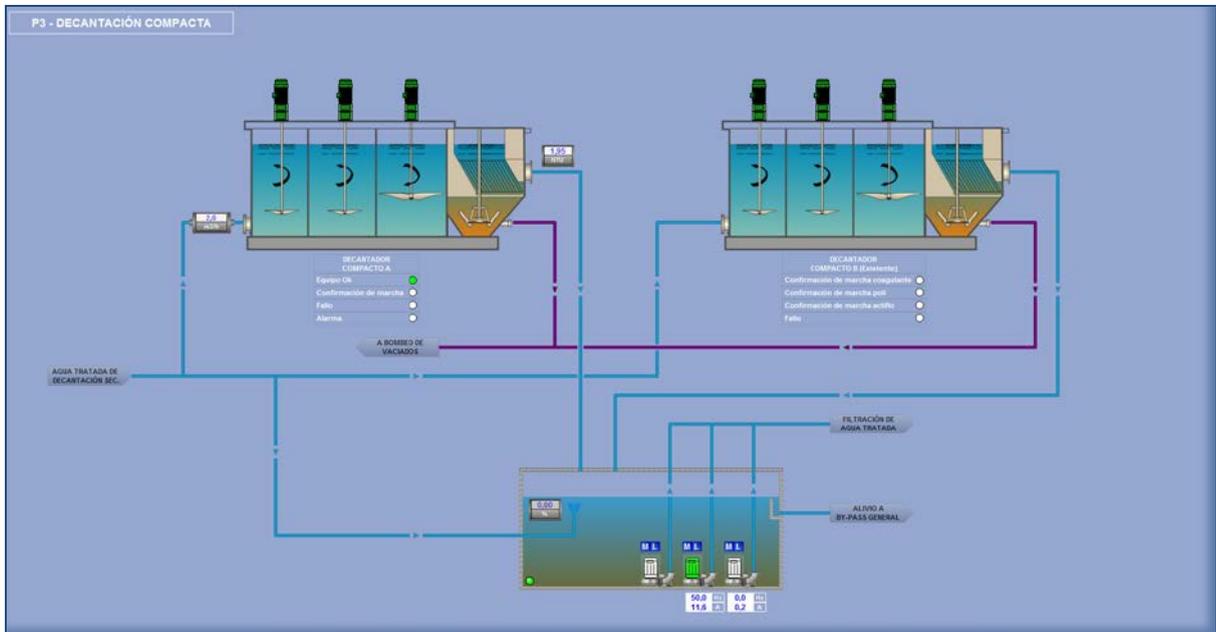


Figura 57. Decantación compacta

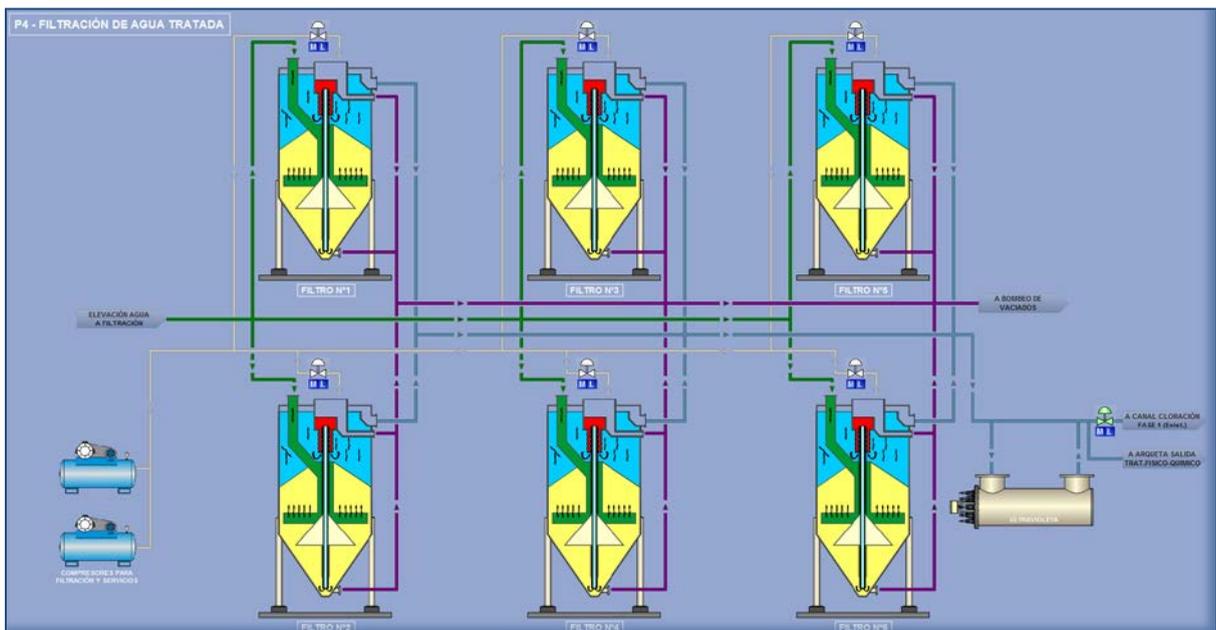


Figura 58. Filtración agua tratada

8. Lineas de investigación futuras:

1. Estudio de los parámetros biocinéticos modificando los parámetros de entrada con el incremento del tiempo de residencia en el depósito de homogeneización.
2. Determinación de parámetros biocinéticos con filtración previa del afluente, con arena de diferentes granulometrías.
3. Determinar los parámetros biocinéticos con un sistema de fangos activados y lecho móvil.
4. Determinación de los parámetros biocinéticos, con lecho de rocas previo con flujo vertical y flujo horizontal.

9. Conclusiones:

Debido al incremento de población y a la escasez de recursos hídricos, que afecta a la permanencia del sector agrícola de la comarca del Sureste de Gran Canaria, ha sido necesario ampliar la EDAR Sureste en 6000 m³/día. El trabajo central de la tesis ha sido el estudio para la obtención de los parámetros biocinéticos para el diseño de la citada ampliación.

Habitualmente para el diseño de nuevas plantas de tratamiento de aguas residuales o la ampliación de las existentes, se utilizan programas informáticos con los parámetros físico químicos del afluente que dan como resultado, los parámetros de diseño de las instalaciones.

Sin embargo en este caso se ha considerado de interés la realización de una tesis doctoral cuyo objetivo era realizar el estudio de los parámetros biocinéticos con una planta piloto en laboratorio, alimentándola con el afluente y los lodos activados de la planta existente.

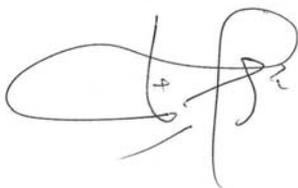
REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

Aunque siempre existen variables difícilmente reproducibles en el laboratorio, sin embargo los resultados han sido bastante precisos, permitiendo optimizar los costes de la instalación así como el propio proceso. Ello se ha comprobado plenamente, pues la tesis ha ido más allá de la obtención de los resultados de los parámetros biocinéticos. Los mismos fueron realizados en el momento previo a la ejecución de las nuevas instalaciones. Posteriormente una vez realizada la nueva planta, se han seguido tomando datos, que continúan confirmando lo expuesto.

Como conclusión final, podemos afirmar que el estudio de los parámetros biocinéticos en laboratorio, utilizando el afluente de la EDAR es el método más adecuado para el diseño de las ampliaciones o modificaciones de las depuradoras.

En las Palmas de Gran Canaria a noviembre de 2015

EL DOCTORANDO



José Rafael Sánchez Ramírez

BIBLIOGRAFIA

- [1] Avendaño, L. et al. (2012) Correlaciones de parámetros operacionales y físicoquímicos en el proceso biológico de la nitrificación en fangos activos de una EDAR.
- [2] Collado, S. et al. (2012). Transferencia de oxígeno en sistemas de tratamiento biológico de aguas residuales.
- [3] Bermúdez, G. et al. (2012). Reducción de la producción de biomasa en una unidad de lodos activos de una EDAR.
- [4] Godet, J.L.; Brissaud, F (1991). Utilisation des eaux usées en irrigation. Revue de l'EAU et de l'Aménagement.
- [5] Griñán, J. (1997). Aprovechamiento de las aguas residuales en el sector agrario. Riegos y Drenajes XXI.
- [6] Abbott, J.S. (1985). La obstrucción de los emisores de goteo. Sus causas y medidas preventivas. ICID Bulletin.
- [7] Germain, E.; Stephenson, T. (2005). ' Biomass characteristics, aeration and oxygen transfer in membrane bioreactors: Their interrelations explained by a review of aerobic biological processes'. Reviews in Environmental Science and Biotech.
- [8] Ronzano E.; Dapena, J.L. (2012). Tratamiento Biológico de las aguas residuales. Dos Santos.
- [9] APHA; AWWA; WEF (1998). 'Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater'. American Public Health Association, American Water Works Association y Water Environment Federation, 20a ed., Washington, Estados Unidos.
- [10] Avendaño, L. (2011). 'Estudio de la población de bacterias nitrificantes y su relación con los parámetros físicoquímicos, biológicos y

- operacionales en una EDAR con sistema convencional de fangos activos'. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
- [11] Del Pino, M. et al. (1995). Informe de resultados de los trabajos de investigación y desarrollo del proyecto DEREAs Aguas Nuevas. Demostración de Reutilización de Aguas.
- [12] Caballero R., Bustos A. y Román R. 2001. Soil salinity under traditional and improved irrigation schedules in Central Spain. *Soil Science Society of America Journal*
- [13] Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria (CIAGC). Plan Hidrológico Insular de Gran Canaria (1999) y nuevo Plan en exposición pública.
- [14] Custodio, E. y Cabrera, M.C. (2002). ¿Cómo convivir con la escasez de agua? El caso de las Islas Canarias. *Boletín Geológico y Minero de España*, 113 (3), 243-258.
- [15] Marrero, A. y Palacios, M. P. (1996). *Depuración y reutilización de aguas en Gran Canaria*. Consorcio Insular de Aprovechamiento de Aguas Depuradas de Gran Canaria, Gran Canaria.
- [16] SPA-15, (1975). *Estudio científico de los recursos de agua de las Islas Canarias* (D. Fernandopullé, S. Sáenz-Oiza, R. Heras, A. Sahuquillo, E. Custodio, eds.) UNESCO-DG Obras Hidráulicas. Las Palmas de Gran Canaria/Madrid.
- [17] Cabrera, M. C. et al., (2009). La reutilización de aguas regeneradas para riego de un campo de golf: evolución geoquímica y probable afección a un acuífero volcánico (Islas Canarias). *Boletín Geológico y Minero*, 120 (4): 543-552
- [18] Chica, R. (1999). Tesis doctoral "Uso de aguas residuales depuradas en sistemas de Riego por goteo". Universidad de Córdoba. España.
- [19] Bolívar, R. (1998). Delimitación de la zona regable de la red de distribución de aguas depuradas: zonas este y sur de Gran Canaria.

- [20] Abeling, U; Seyfried, C.F. (1992). Anaerobic aerobic treatment of high strength ammonium wastewater nitrogen removal via nitrite. *Wat Sci. Tech.*, 26 1007-1015.
- [21] Esoy, A.; Osterhus, SW.; Bentzen, G. (2002). Controlled treatment with nitrate in sewers to prevent concrete corrosion. *Water Supply*, 2 (4), 137-144.
- [22] 3. Bentzen, G.; Smith, A.T.; Bennet, D.; Webster, N.J; Reinholt, F.; Slethol, E.; Hobson, J, (1995). Controlled dosing of nitrate for
- [23] Bischof, F.; Hofken , M.; Durst, F. (1996). 'Design and construction of aeration systems for optimum operation of large wastewater treatment plants' . *Water Science and Technology*,
- [24] Aragón, C. (2009). 'Optimización del proceso de lodos activos para reducir la generación de fangos residuales'. Tesis doctoral , Universidad de Cádiz.
- [25] APHA;AWWA;WPCF(1998). ' Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater' . American Public Health Association, 20 th ed.,Washington , DC.
- [26] Bermúdez Sales, G .; Coello Oviedo, M.D.; Sales Márquez, D. ; Quiroga Alonso, J.M .(20 11). 'Minimización de lodo en exceso mediante la adición de material extracelular procedente de la digestión aerobia en el proceso de lodos activos'.
- [27][4] Metcalf & Eddy; el al (2002). ' Wastewater engineering: treatment and reuse ' . M. Hill, 4th ed., NewYork..
- [28] García-Ochoa, F.; el al. (2010). 'Oxygen uptake rate in microbial processes: an overview'. *Biochemical Engineering Journal*.
- [29] Galí,A.; Trillo, J.; Piriz. (2011). 'Estudio en planta piloto y modelización del tratamiento biológico con biomasa fijada (IFAS) de la ampliación de la EDAR de Terrassa' . *Tecnología del Agua*.

REUTILIZACION DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

- [30] M. Gritzuk, Testimony — The Importance of Water Reuse in the 21st Century, Subcommittee on Water & Power Committee on Resources, U.S. House of Representatives, March 27, 2003.
- [31] Tassoula, Reuse of treated sewages, Technica Chronika, Electr. Ed., 6 (2007) 16.
- [32] T. Asano (1998). Wastewater Reclamation and Reuse, Technoeconomic, Lancaster, Pennsylvania,.
- [33] Ministerio de la Presidencia, Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas, 2007.
- [34] The Council Directive 91/271/EEC concerning urban wastewater treatment was adopted on 21 May 1991.
- [35] Directive of the European Parliament and of the Council 60/ 2000/EEC on. establishing of a common action framework in water policy.
- [36] Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico.
- [37] Real Decreto 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis.
- [38] Title 22, Division 4, Sections 60301 through 60355 of the California Code of Regulations (herein referred to as the DHS reuse criteria).
- [39] USEPA Guidelines for Water Reuse. EPA/625/R-04/108, September 2004.
- [40] WHO. Guidelines for the Safe Use of Waste Water in Agriculture. Draft. World Health Organization, Geneva, 2005.
- [41] MED POL. Municipal Water Reuse Guidelines for the Mediterranean Region, 2005.

- [42] AEAS (Asociación Española de Abastecimiento de Agua y Saneamiento). Tecnología avanzadas para la regeneración de las aguas residuales depuradas mediante membranas. Varios Autores (Raquel Iglesias Esteban, Genaro Batanero y Enrique Ortega), 2005.
- [43] Infojardín. Carencia de nutrientes y minerales en las plantas. <http://articulos.infojardin.com/articulos/carencias-nutrientes-minerales.htm>
- [44] Metcalf & Eddy. (1998). Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. McGraw Hill.
- [45] Instituto Tecnológico de Canarias. (2006). Gestión sostenible del agua en entornos rurales. Proyecto DEPURANAT.
- [46] Skoog-West- Hollex. (1999). Química analítica MCGraw Hill.
- [47] Cortacans Torre, J.A. (2004) Eiminación biológica de nutrientes. CICCOP.
- [48] Marín Galvín, R. (1995). Análisis de aguas. Ensayos y tratamientos. GPE.

PRINCIPALES PONENCIAS Y PUBLICACIONES DEL DOCTORANDO:

- Sánchez, J.R.; (2008). Congreso CSD-16 Naciones Unidas-Nueva York. "Fighting drought, providing water, managing lands, developing agriculture with no emissions and little resources"
- González J. E.; Santana, J.J.; Santana, F.J.; Vaswani, J.; Sánchez J.R. (2007). World Congress on Desalación and Water Reuse. "New Design of filter systems of activated sludge to depart from the biokinetic parameters".
- Palacios, E.; Gutiérrez, M.; Ramírez, J.; Hijos, G.; Sánchez, J. R. (2007). World Congress on Desalación and Water Reuse. "Present and future of tertiary treatment in EDAR of Sureste-Gran Canaria".
- Ramírez, J.A.; Palacios, E.; Gutiérrez, M.; Sánchez J.R. (2007). World Congress on Desalación and Water Reuse. "MBE optimization of complex wastewater of water reclamation in Canary Islands".
- Sanchez, J.R.; Calero, R.; González, J.E.; García, E.; Santana, I.; (2007). World Congress on Desalación and Water Reuse. "Desalination: the cause of the South Eastern of Gran Canaria development".
- Rodríguez, L.; González, J.E.; Sánchez, J.J.; Santana, J.J. (2005). X Congreso Mediterráneo de Ingeniería Química. "Reduction of the Produced Environmental Impact for the Rejections of Brine From Desalination Plants by Reverse Osmosis".
- Sánchez, J.R.; Sánchez, M.; Buch, M.; Casañas, A. (2003). IV Congreso de la Asociación Española de Desalación y Reutilización (AEDYR). "Etapas de concentrador de salmuera de la planta desaladora del Sureste de Gran Canaria: primer año de funcionamiento"
- Sánchez, J.R.; Casañas, A.; Ramírez, J.A.; Sánchez, M.; González, J.E. (2003). IV Congreso de la Asociación Española de Desalación y Reutilización (AEDYR). "Terciario del Sureste: Un acierto en reutilización".
- Sánchez, J.R. (2003). III Foro de Medio Ambiente - Canagua 2003. "Agenda 21 Local: Enfoque turístico".
- Sánchez, J.R. (2003). IV Foro de Medio Ambiente - Canagua 2004. "Ejemplo de aplicación de la Agenda 21 Local: Mancomunidad del Sureste".

- Sánchez, J.R. (2005). V Encuentro Regional sobre Servicios de abastecimiento de agua y Saneamiento. “Unidad de Control de Vertidos. Experiencias y problemáticas en las instalaciones de alcantarillado”.
- Sánchez, J.R.; Caballero C. (2005). Proyecto Interreg III – ERAMAC. “Acciones de ahorro energético y utilización de energías renovables en la Mancomunidad del Sureste de Gran Canaria”. www.itccanarias.org/aquamac
- Sánchez, J.R.; González J.E. (2001). II Jornadas de Las Ingenierías y el Medio Ambiente. Instituto de Ingenieros de España. “Ciclo Integral del Agua en el S.E. de Gran Canaria, Tecnología Aplicadas”.
- Sánchez, J.R. (2005). La integració de l'aigua regenerada en la gestió dels recursos: El paper dinamitzador del territori. “Gestión Sostenible del Agua y la Energía en la Mancomunidad Del Sureste De Gran Canaria”. <http://www.ccbgi.org/jornades2005/ponencias.htm>
- Sánchez, J.R. (2005). Jornadas del día Mundial de la Meteorología. “Medio Ambiente y Clima”.
- Sánchez, J.R.; Sánchez, M. (2012) Artículo publicado en la Revista Tecnoambiente, número155, pagina 23 y siguientes, titulado “Desaladora del Sureste de Gran Canaria: Una década de evolución”.
- Sanchez, J. R. et al. (2005). Artículo publicado en el Libro Aquamac sobre Técnicas y métodos para la Gestión Sostenible del Agua en la Macaronesia, titulado “Propuestas para optimizar la autosuficiencia energética en los ciclos del agua en Canarias Madeira y Azores”.
- Sanchez, J. R. et al. Artículo publicado en el libro Aquamac sobre Técnicas y métodos para la Gestión Sostenible del Agua en la Macaronesia, titulado “Aplicación de tecnologías de ahorro de agua en edificios públicos y estudio de sistemas tarifarios para promover el uso eficiente del agua y la recuperación de costes en los abastecimientos urbanos de Canarias Madeira y Azores”.
- Sanchez, J.R. et al. (2006). Artículo publicado en el libro Gestión sostenible del agua residual en entornos rurales. Proyecto DEPURANAT. “Proyectos de depuración natural. Descripción y metodología aplicada para su implantación y adecuación”

ANEXO

**ANEXO DE RESULTADOS ANALITICOS DE LA EDAR
SURESTE UNA VEZ REALIZADA LA AMPLIACIÓN.**

REUTILIZACION DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

AÑO 2011																	
AGUA DE ENTRADA: BRUTA																	
E.D.A.R. DEL SURESTE																	
		pH	CE 20°C µS/cm	DOO mg O2/l	DEO ₅ mg O2/l	Aceit. y gras. mg/l	SOLIDOS					Temsoact. A mg/l					
							Totales g/l	Disueltos mg/l	Suspens. mg/l	NO ₃ -N mg/l	NH ₄ ⁺ -N mg/l		Ntotal mg/l	Ptotal mg/l	Al mg/l	Fe mg/l	SiO ₂ mg/l
ENERO	MIN	6,67	1107	570	500	67	1,64	1320	93	0,740	103	128	12,30	0,106	1,59	12,3	26,1
	PROM	7,69	2757	759	550	83	1,95	1680	221	0,754	104	142	13,20	0,115	1,61	14,2	30,7
FEBRERO	MIN	7,00	1280	653	500	43	2,82	2447	400	0,767	104	156	14,10	0,124	1,63	18,0	35,2
	PROM	7,63	3098	762	570	49	1,85	1436	215	0,363	78	83	9,12	0,128	1,76	9,9	28,8
MARZO	MIN	8,14	8280	868	620	54	2,33	2177	653	0,570	84	90	11,00	0,134	1,80	11,2	49,2
	PROM	8,94	1101	762	200	73	0,72	553	100	0,273	31	44	4,97	0,082	0,90	8,6	18,6
ABRIL	MIN	7,68	3149	833	570	103	2,35	2115	280	0,463	65	67	7,00	0,123	1,44	10,7	34,2
	PROM	8,35	9230	953	840	150	4,08	3980	880	0,653	79	89	9,02	0,184	1,97	12,8	49,8
MAYO	MIN	7,84	1129	622	580	51	1,14	727	213	0,409	101	144	12,80	0,182	2,08	5,8	47,2
	PROM	8,07	2147	900	718	61	1,59	1147	349	0,651	112	153	15,25	0,254	2,10	11,2	51,3
JUNIO	MIN	8,34	5250	1010	850	72	2,11	1480	727	0,892	123	161	17,90	0,318	2,11	16,8	55,4
	PROM	8,95	1735	935	520	42	0,86	720	140	0,565	102	118	12,80	0,138	1,76	11,7	34,6
JULIO	MIN	7,76	2185	1006	570	43	1,29	1064	321	0,565	102	118	12,80	0,138	1,76	11,7	34,6
	PROM	8,21	3310	1077	620	45	1,72	1467	613	0,565	102	118	12,80	0,138	1,76	11,7	34,6
AGOSTO	MIN	7,15	1406	840	600	15	2,01	1750	127	0,686	86	119	12,70	0,116	1,57	1,8	33,2
	PROM	7,75	2625	728	620	16	2,24	2005	279	1,113	91	129	13,40	0,186	2,25	1,8	38,9
SEPTIEMBRE	MIN	8,50	4840	769	640	18	2,44	2193	533	1,530	95	139	14,10	0,215	2,92	1,8	44,6
	PROM	6,95	1542	441	420	59	2,02	1573	140	0,626	68	57	12,50	0,133	1,76	5,3	34,6
OCTUBRE	MIN	7,84	2666	598	480	72	2,56	1979	248	1,118	85	66	12,65	0,144	1,80	5,4	36,5
	PROM	8,23	5360	727	540	81	3,09	2863	447	1,610	102	76	12,80	0,154	1,84	5,6	38,4
NOVIEMBRE	MIN	7,53	1891	627	460	67	1,44	1233	160	0,592	88	113	12,20	0,129	1,55	11,2	38,6
	PROM	7,84	2537	723	540	87	2,03	1945	279	0,617	94	114	12,55	0,167	1,61	11,5	41,7
DICIEMBRE	MIN	8,19	4420	942	670	105	3,12	2907	767	0,941	100	114	12,90	0,204	1,67	11,7	44,8
	PROM	7,27	1501	679	580	4	0,98	523	260	0,586	96	116	13,00	0,133	1,50	10,7	42,6
AÑO 2011	MIN	7,82	3063	728	605	5	1,85	1236	482	0,655	100	128	13,20	0,140	1,51	11,5	45,8
	PROM	8,26	5590	794	620	5	2,89	2563	953	0,724	103	140	13,40	0,147	1,52	12,2	49,0
AÑO 2011	MIN	7,19	1669	588	520	34	1,26	953	227	1,060	92	127	15,44	0,168	2,34	6,9	11,3
	PROM	7,86	2467	771	620	36	2,61	2376	378	1,400	93	145	22,62	0,381	3,00	12,1	52,2
AÑO 2011	MIN	8,16	6510	1018	700	38	4,74	4393	893	1,740	94	163	29,80	0,594	3,66	17,3	93,0
	PROM	7,38	1789	870	660	49	1,34	953	267	0,785	98	98	12,70	0,188	1,74	6,5	43,6
AÑO 2011	MIN	8,08	2756	957	784	57	1,50	1063	455	1,068	100	117	14,08	0,186	1,90	7,9	45,8
	PROM	8,65	5790	1017	980	65	1,68	1173	847	1,350	102	136	15,48	0,203	2,05	9,3	48,2
AÑO 2011	MIN	7,34	1815	785	700	180	2,05	1570	227	0,770	101	116	14,70	0,137	1,70	5,0	59,0
	PROM	7,98	3292	808	775	180	3,49	2970	503	0,770	101	116	14,70	0,137	1,70	5,0	59,0
AÑO 2011	MIN	8,67	1101	441	200	4	0,72	523	93	0,273	31	44	4,97	0,082	0,90	1,8	11,3
	PROM	7,83	2729	799	617	66	2,07	1755	334	0,803	93	115	13,38	0,174	1,67	6,8	42,5
AÑO 2011	MIN	8,67	9230	1077	980	180	4,93	4393	880	1,740	123	163	29,80	0,594	3,66	17,3	93,0
	PROM	8,67	9230	1077	980	180	4,93	4393	880	1,740	123	163	29,80	0,594	3,66	17,3	93,0

REUTILIZACION DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

		AGUA DE ENTRADA: BRUTA										SÓLIDOS									
		pH	CE 20°C µs/cm	DOO mg O ₂ /l	DBO ₅ mg O ₂ /l	Aceit. y gras. mg/l	Totales g/l	Disueltos mg/l	Suspens. mg/l	NO ₃ -N mg/l	NH ₄ -N mg/l	N _{TOTAL} mg/l	P _{TOTAL} mg/l	Al mg/l	Fe mg/l	SiO ₂ mg/l	Tensoact. A. mg/l				
ENERO	MIN	7.52	1741	743	620	65	1.30	947	247	0.811	115	130	15.70	0.184	2.22	5.2	36.2				
	PROM	8.02	2182	826	640	83	1.84	1552	370	0.822	116	138	19.20	0.181	2.24	7.3	44.3				
	MAX	8.52	4720	927	660	105	3.41	2950	647	0.833	117	148	22.70	0.197	2.26	9.4	52.4				
FEBRERO	MIN	7.75	1688	860	560	43	1.33	823	220												
	PROM	8.20	2513	1114	682	112	1.72	1237	446												
	MAX	8.46	4370	1521	860	174	2.11	1443	1253												
MARZO	MIN	7.37	1712	910	640	71	1.47	1070	200	0.578	77	83	13.50	0.234	1.90	8.6	34.0				
	PROM	8.02	2240	1038	748	76	1.79	1379	402	0.578	77	83	13.50	0.234	1.90	8.6	34.0				
	MAX	8.50	3330	1139	950	82	1.97	1520	700	0.578	77	83	13.50	0.234	1.90	8.6	34.0				
ABRIL	MIN	7.45	1610	823	610	18	2.21	1937	183	0.138	77	85	12.70	0.234	1.94	8.9	31.4				
	PROM	8.00	2906	1098	690	53	2.59	2152	381	0.358	82	87	14.30	0.243	1.96	9.1	33.6				
	MAX	8.71	6520	1327	810	81	2.80	2464	1173	0.578	87	89	15.90	0.251	1.98	9.2	35.8				
MAYO	MIN	6.97	1335	790	490	35	1.10	834	113	0.722	93	40	7.53	0.145	1.93	1.5	38.2				
	PROM	7.78	2715	1310	643	62	1.56	1283	291	0.764	98	78	10.27	0.193	1.95	6.8	40.5				
	MAX	8.55	5510	2045	720	98	2.15	1870	647	0.806	106	112	13.00	0.240	1.96	12.0	42.8				
JUNIO	MIN	6.83	1576	660	480	37	1.36	1064	173	0.703	85	95	13.40	0.115	1.48	9.7	31.6				
	PROM	7.55	2619	939	634	57	2.00	1680	400	0.887	96	120	13.73	0.178	2.25	9.9	46.8				
	MAX	8.08	5400	1303	840	75	3.14	2827	1240	1.070	108	145	14.06	0.240	3.02	10.1	62.0				
JULIO	MIN	6.76	1380	639	380	45	1.11	910	93												
	PROM	7.48	2299	700	483	69	1.66	1466	202												
	MAX	7.85	5440	790	560	112	2.28	2080	573												
AGOSTO	MIN	6.73	1201	679	320	23	1.10	907	183	0.679	107	117	15.24	0.153	1.69	11.2	49.1				
	PROM	7.45	4016	747	480	59	1.82	1583	373	0.679	107	117	15.24	0.153	1.69	11.2	49.1				
	MAX	8.10	8410	808	620	81	2.85	2557	1987	0.679	107	117	15.24	0.153	1.69	11.2	49.1				
SEPTIEMBRE	MIN	6.77	1492	660	540	25	1.20	617	267	0.762	108	129	15.62	0.153	1.62	14.0	46.0				
	PROM	7.75	2842	703	590	40	1.57	1069	504	0.762	108	129	15.62	0.153	1.62	14.0	46.0				
	MAX	8.16	7300	771	640	50	1.89	1543	1650	0.762	108	129	15.62	0.153	1.62	14.0	46.0				
OCTUBRE	MIN	7.23	1613	737	480	34	1.10	593	267	0.848	99	109	16.90	0.151	0.90	8.1	38.0				
	PROM	7.76	2546	966	612	44	1.71	1285	421	0.848	99	109	16.90	0.151	0.90	8.1	38.0				
	MAX	8.09	4870	1616	720	56	2.67	2403	580	0.848	99	109	16.90	0.151	0.90	8.1	38.0				
NOVIEMBRE	MIN	7.56	642	446	320	29	1.26	773	73	0.869	124	134	11.10	0.141	1.88	8.1	55.0				
	PROM	7.79	1856	656	570	40	1.59	1294	393	0.869	124	134	11.10	0.141	1.88	8.1	55.0				
	MAX	8.14	2660	897	600	50	1.78	1507	1007	0.869	124	134	11.10	0.141	1.88	8.1	55.0				
DICIEMBRE	MIN	7.40	1446	644	500	37	1.18	793	167	0.750	119	125	13.80	0.132	1.79	8.4	18.3				
	PROM	7.84	2346	714	545	58	1.58	1213	437	0.750	119	125	13.80	0.132	1.79	8.4	18.3				
	MAX	8.15	4500	803	580	92	2.28	1827	1047	0.750	119	125	13.80	0.132	1.79	8.4	18.3				
Año 2012	MIN	6.73	642	446	320	18	1.10	583	73	0.138	77	40	7.53	0.115	0.90	1.5	18.3				
	PROM	7.80	2590	903	611	83	1.79	1431	385	0.732	103	112	14.37	0.177	1.82	9.1	40.6				
MAX	8.71	8410	2045	950	174	3.41	2950	1987	1.070	124	148	22.70	0.251	3.02	14.0	62.0					
FROM																0.7317	102.7	8.44			

REUTILIZACION DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

		AÑO 2014												E.D.A.R. DEL SURESTE			
		AGUA DE ENTRADA: BRUTA															
		SOLIDOS															
		pH	CE20°C µS/cm	DOO mg O2/l	DBO ₅ mg O2/l	Acetit. y gras. mg/l	Totales g/l	Disueltos mg/l	Suspens. mg/l	NO ₃ -N mg/l	NH ₄ -N mg/l	Norg. mg/l	Porg. mg/l	Al mg/l	Fe mg/l	SiO ₂ mg/l	Tensoact. A mg/l
ENERO	MIN	7.56	1294	724	740	39	1.28	686	240	0.936	79	111	18.60	0.207	1.10	9.7	56.2
	PROM	8.04	2299	974	755	50	1.33	840	399	1.088	95	118	19.55	0.279	1.18	10.3	59.9
	MAX	8.35	3910	1087	800	61	1.37	923	654	1.240	111	125	20.50	0.350	1.26	10.8	63.5
FEBRERO	MIN	8.20	1602	773	600	44	1.35	917	193	0.702	105	128	12.80	0.100	0.85	10.5	36.2
	PROM	8.04	2390	956	705	56	1.82	1382	402	0.830	117	137	13.65	0.121	1.03	10.5	38.2
	MAX	8.30	7340	1326	860	63	2.83	2270	600	0.858	129	146	14.50	0.141	1.10	10.5	40.2
MARZO	MIN	7.23	1398	824	600	39	1.20	753	253	0.546	97	105	10.80	0.140	0.95	11.2	59.8
	PROM	7.82	3369	1073	625	48	2.41	2002	447	0.767	103	110	11.60	0.145	1.15	11.8	60.8
	MAX	8.20	8010	1254	660	58	4.60	4143	940	0.987	109	114	12.40	0.150	1.34	12.3	61.7
ABRIL	MIN	7.44	1507	683	580	30	1.22	920	260	0.740	90	96	14.30	0.069	1.64	9.7	36.3
	PROM	7.95	3063	975	666	42	1.50	1085	429	0.750	97	104	18.85	0.099	1.73	9.7	43.7
	MAX	8.30	7700	1242	820	56	1.68	1173	907	0.759	103	112	23.40	0.128	1.81	9.8	51.2
MAYO	MIN	6.00	1617	757	520	70	1.72	1167	360	0.765	98	114	15.90	0.143	1.93	7.4	50.0
	PROM	7.77	3057	828	660	75	2.93	2485	584	0.780	106	115	15.80	0.163	1.93	7.6	54.0
	MAX	8.24	6530	914	760	83	3.39	2985	1920	0.794	114	115	15.90	0.183	1.93	7.8	58.0
JUNIO	MIN	7.15	1498	593	660	39	1.04	614	273	0.832	96	100	10.20	0.090	1.27	9.8	36.9
	PROM	7.83	2451	746	730	45	1.63	1172	376	0.877	107	113	11.80	0.145	1.41	10.0	44.7
	MAX	8.14	4600	889	840	52	2.12	1707	527	0.921	117	126	13.40	0.200	1.54	10.2	52.4
JULIO	MIN	7.26	1487	658	540	48	0.93	717	207	0.832	116	121	12.40	0.100	1.50	15.9	60.0
	PROM	7.68	2722	754	718	62	2.88	2493	343	0.832	116	121	12.40	0.100	1.50	15.9	60.0
	MAX	7.96	6900	1025	850	70	5.43	5210	820	0.832	116	121	12.40	0.100	1.50	15.9	60.0
AGOSTO	MIN	7.42	1768	631	480	65	1.25	917	213	1.560	110	126	10.60	0.050	1.00	12.4	54.8
	PROM	7.68	4252	875	701	70	1.44	1092	362	1.560	110	126	10.60	0.050	1.00	12.4	54.8
	MAX	7.86	10280	1200	900	74	1.84	1187	660	1.560	110	126	10.60	0.050	1.00	12.4	54.8
SEPTIEMBRE	MIN	6.75	1701	538	440	39	1.20	880	147	1.210	140	142	19.10	0.230	1.47	11.6	43.2
	PROM	7.78	3177	863	660	50	2.09	1744	335	1.210	140	142	19.10	0.230	1.47	11.6	43.2
	MAX	8.26	7260	1210	980	65	3.23	2977	507	1.210	140	142	19.10	0.230	1.47	11.6	43.2
OCTUBRE	MIN	7.09	1620	751	590	61	1.60	1200	167	0.760	71	96	15.80	0.125	1.85	8.4	9.4
	PROM	7.77	3063	926	660	64	1.94	1551	386	0.900	92	102	16.40	0.142	2.16	9.9	36.0
	MAX	8.21	6720	1153	780	67	2.55	2177	563	1.040	113	107	17.00	0.168	2.47	11.4	62.5
NOVIEMBRE	MIN	6.72	800	660	505	61	1.61	1350	147	1.020	93	116	7.00	0.163	2.45	1.1	7.7
	PROM	8.06	3040	882	631	63	2.40	2017	454	1.020	93	116	7.00	0.163	2.45	1.1	7.7
	MAX	8.55	6930	1127	800	64	2.92	2560	1120	1.020	93	116	7.00	0.163	2.45	1.1	7.7
DICIEMBRE	MIN	7.76	1221	668	600	27	1.10	740	240	0.000	0	0	0.00	0.000	0.00	0.0	0.0
	PROM	8.02	2658	835	723	78	1.42	1140	343								
	MAX	8.32	5020	959	890	122	1.90	1660	453								
Año 2012	MIN	6.00	800	538	440	27	0.93	614	147								
	PROM	7.87	2962	891	686	59	1.98	1583	405	0.995	107	118	14.26	0.402	1.54	10.1	45.7
	MAX	8.55	10280	1328	980	122	5.43	5210	1920	1.560	140	146	23.40	1.200	2.47	15.9	63.5

REUTILIZACION DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

		AÑO 2011					EDAR SURESTE	
		SALIDA PRIMARIOS					RECIRCULACION	
		NORTE	SUR	NORTE	SUR	N,S		
		pH	pH	Sól. Susp. (ppm)		DBO5 (mg O2 / l)	pH	Sól. Susp. (ppm)
ENERO	MIN	6,94	6,94	87	53	200	6,85	3,49
	MEDIA	7,07	7,11	145	140	522	7,07	4,52
	MAX	7,27	7,35	187	200	600	7,29	4,99
FEBRERO	MIN	6,99	6,95	87	113	600	6,47	3,61
	MEDIA	7,08	7,08	144	151	636	7,06	4,34
	MAX	7,22	7,23	187	200	700	7,32	5,26
MARZO	MIN	6,88	6,88	107	87	200	6,71	3,58
	MEDIA	7,00	6,99	150	168	569	7,14	4,23
	MAX	7,32	7,22	213	206	710	7,33	6,20
ABRIL	MIN	6,86	6,87	107	106	300	7,05	2,70
	MEDIA	7,00	6,97	156	161	571	7,15	3,46
	MAX	7,33	7,09	406	253	660	7,27	5,60
MAYO	MIN	6,90	6,86	73	107	200	6,90	2,96
	MEDIA	6,99	6,96	131	141	516	6,99	3,62
	MAX	7,06	7,03	173	193	620	7,06	4,60
JUNIO	MIN	6,77	6,80	100	100	520	6,79	3,16
	MEDIA	6,98	6,96	153	161	586	6,93	4,19
	MAX	7,09	7,10	200	187	640	7,11	5,15
JULIO	MIN	6,84	6,81	107	120	540	6,81	4,20
	MEDIA	6,98	6,97	160	174	565	6,93	4,62
	MAX	7,10	7,07	307	260	590	7,11	5,06
AGOSTO	MIN	6,67	6,74	140	140	520	6,66	3,85
	MEDIA	6,96	6,97	201	217	564	6,95	5,37
	MAX	7,08	7,10	353	407	620	7,18	8,33
SEPTIEMB	MIN	6,78	6,73	120	120	490	6,68	3,65
	MEDIA	6,96	6,96	205	192	542	6,99	5,28
	MAX	7,13	7,26	553	300	580	7,17	8,70
OCTUBRE	MIN	6,85	6,82	140	93	20	6,77	3,82
	MEDIA	6,96	6,97	177	186	495	6,93	4,61
	MAX	7,04	7,12	240	240	620	7,18	6,45
NOVIEMB	MIN	6,87	6,92	73	73	280	6,90	3,39
	MEDIA	7,18	7,14	160	173	496	7,11	4,54
	MAX	7,56	7,56	233	253	580	7,35	7,14
DICIEMBRE	MIN	6,83	6,84	127	160	400	6,82	3,00
	MEDIA	7,08	7,08	179	201	567	7,04	4,00
	MAX	7,49	7,51	213	360	620	7,37	4,45

		SALIDA PRIMARIOS					RECIRCULACION	
		NORTE	SUR	NORTE	SUR	N,S		
		pH	pH	Sól. Susp. (ppm)		DBO5 (mg O2 / l)	pH	Sól. Susp. (ppm)
2011	MIN	6,67	6,73	73	53	20	6,47	2,70
	MEDIA	6,96	6,96	131	140	495	6,93	3,46
	MAX	7,04	7,03	173	187	580	7,06	4,45

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

		AÑO 2012					EDAR SURESTE	
		SALIDA PRIMARIOS				RECIRCULACION		
		NORTE	SUR	NORTE	SUR	N,S		
		pH	pH	Sól. Susp. (ppm)		DBO5 (mg O2 / l)	pH	Sól. Susp. (ppm)
ENERO	MIN	6,64	6,68	107,00	120,00	560,00	6,71	3,42
	MEDIA	6,91	6,94	165	158	603	6,94	4,03
	MAX	7,19	7,22	220	220	660	7,23	4,57
FEBRERO	MIN	6,84	6,87	133	147	560	6,76	3,35
	MEDIA	6,98	6,98	204	189	626	6,97	4,82
	MAX	7,14	7,09	660	247	700	7,15	6,85
MARZO	MIN	6,72	6,72	93	80	500	6,67	3,09
	MEDIA	6,95	6,93	138	155	557	6,88	3,63
	MAX	7,19	7,12	233	206	620	7,09	4,25
ABRIL	MIN	6,81	6,83	60	60	460	6,49	2,63
	MEDIA	7,03	7,01	147	144	597	7,00	3,86
	MAX	7,18	7,16	573	200	880	7,31	6,66
MAYO	MIN	6,69	6,49	53	66	400	6,87	3,62
	MEDIA	6,83	6,79	147	186	580	7,00	4,77
	MAX	7,15	7,10	313	580	840	7,18	6,92
JUNIO	MIN	6,59	6,54	73	47	480	6,38	2,80
	MEDIA	6,78	6,75	149	124	520	6,78	4,23
	MAX	6,95	6,95	446	186	560	7,10	7,16
JULIO	MIN	6,52	6,52	43	93	500	6,60	1,52
	MEDIA	6,93	6,95	182	146	592	7,02	2,31
	MAX	7,29	7,22	440	313	680	7,51	3,34
AGOSTO	MIN	6,77	6,80	40	80	460	6,14	1,22
	MEDIA	6,90	6,92	464	227	559	6,85	3,23
	MAX	7,11	7,13	2540	1047	800	7,07	7,84
SEPTIEMB	MIN	6,74	6,76	107	73	500	6,81	2,76
	MEDIA	6,93	7,00	443	162	585	7,01	5,71
	MAX	7,21	7,24	1433	287	720	7,19	9,31
OCTUBRE	MIN	6,34	6,32	60	87	560	6,24	1,80
	MEDIA	6,62	6,58	355	209	668	6,63	3,25
	MAX	6,86	6,90	2053	687	800	6,88	4,75
NOVIEMB	MIN	6,38	6,30	120	133	300	6,39	2,34
	MEDIA	6,56	6,50	183	598	680	6,62	3,97
	MAX	6,75	6,73	253	1453	980	6,87	7,80
DICIEMBRE	MIN	6,02	6,37	100	127	360	6,55	3,00
	MEDIA	6,55	6,58	247	411	640	6,71	4,20
	MAX	6,74	6,89	340	820	1000	6,85	5,30

		SALIDA PRIMARIOS				RECIRCULACION		
		NORTE	SUR	NORTE	SUR	N,S		
		pH	pH	Sól. Susp. (ppm)		DBO5 (mg O2 / l)	pH	Sól. Susp. (ppm)
2011	MIN	6,02	6,30	40	47	300	6,14	1,22
	MEDIA	6,83	6,83	235	226	601	6,87	4,00
	MAX	7,29	7,24	2540	1453	1000	7,51	9,31

REUTILIZACION DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

		AÑO 2013					EDAR SURESTE	
		SALIDA PRIMARIOS					RECIRCULACION (L. 1, 2)	
		PH		SOLID. SUSPENSION (ppm)		DBO5 (L. 1,2)	PH	SOLIDOS (gn)
		L. 1	L. 2	L. 1	L. 2	(mg O ₂ /l)		SUSPENSION
ENERO	MIN	6,45	6,51	113	80	400	4,79	1,63
	MEDIA	6,71	6,79	295	223	609	6,70	3,69
	MAX	6,91	7,06	693	993	860	7,06	9,10
FEBRERO	MIN	6,58	6,64	80	100	480	6,32	0,54
	MEDIA	6,76	6,79	134	136	569	6,77	1,54
	MAX	7,01	7,02	207	187	660	7,12	2,04
MARZO	MIN	0,00	6,60		73	340	6,13	1,27
	MEDIA	#DIV/0!	6,72		116	577	6,52	2,00
	MAX	0,00	6,88		160	860	6,89	3,06
ABRIL	MIN	0,00	6,61		87	140	5,82	1,12
	MEDIA	#DIV/0!	6,83		140	500	6,54	2,91
	MAX	0,00	7,16		533	660	7,00	6,88
MAYO	MIN	0,00	6,72		120	540	6,61	3,08
	MEDIA	#DIV/0!	6,85		515	690	6,77	5,29
	MAX	0,00	6,99		1366	1000	6,88	7,82
JUNIO	MIN	6,79	6,61	67	160	400	6,54	4,20
	MEDIA	6,86	6,81	244	625	610	6,87	5,59
	MAX	6,94	6,99	773	1407	960	7,09	9,70
JULIO	MIN	6,64	6,69	40	33	480	6,49	2,94
	MEDIA	6,87	6,87	404	410	622	6,77	5,90
	MAX	7,13	6,99	1953	1600	760	7,10	9,00
AGOSTO	MIN	6,78	6,59	46	227	400	6,66	3,24
	MEDIA	6,93	6,86	189	566	608	6,90	5,91
	MAX	7,06	7,01	533	1600	740	7,05	9,53
SEPTIEMB	MIN	6,86	6,78	100	73	540	6,59	1,53
	MEDIA	6,97	7,04	468	215	627	6,90	3,70
	MAX	7,32	7,24	1270	980	800	7,04	8,36
OCTUBRE	MIN	6,48	6,69	73	133	440	6,57	2,98
	MEDIA	6,89	6,88	412	682	620	6,82	4,21
	MAX	7,10	7,19	3540	1607	940	7,08	6,00
NOVIEMB	MIN	6,70	6,74	180	106	140	6,59	2,33
	MEDIA	6,91	6,91	1034	921	678	6,81	4,00
	MAX	7,10	7,28	2720	7800	980	6,97	5,80
DICIEMBRE	MIN	6,78	6,88	122	6	480	6,55	1,43
	MEDIA	7,04	7,02	1028	168	747	6,82	2,01
	MAX	7,17	7,16	2120	350	1040	7,04	2,31

REUTILIZACION DE AGUAS DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

		AÑO 2014						EDAR SURESTE	
		SALIDA PRIMARIOS				RECIRCULACION (L. 1, 2)			
		PH		SOLID. SUSPENSION (ppm)		DBO5 (L. 1,2)		PH	SOLIDOS (gr)
		L. 1	L. 2	L. 1	L. 2	(mg O ₂ / l)			
ENERO	MIN	7,06	7,06	130	80	340	6,66	1,75	
	MEDIA	7,14	7,13	626	217	605	7,03	2,19	
	MAX	7,28	7,22	2230	713	840	7,25	2,55	
FEBRERO	MIN	6,93	7,02	93	100	243	6,86	1,56	
	MEDIA	7,12	7,12	147	164	433	7,06	2,24	
	MAX	7,26	7,23	200	207	600	7,19	2,77	
MARZO	MIN	6,82	6,86	113	153	320	6,70	2,41	
	MEDIA	6,99	6,97	941	674	655	6,95	6,20	
	MAX	7,18	7,12	3350	1940	940	7,12	9,55	
ABRIL	MIN	6,81	6,80	185	270	540	6,76	3,23	
	MEDIA	6,95	6,95	782	826	633	6,98	5,44	
	MAX	7,06	7,07	3500	1640	740	7,91	10,00	
MAYO	MIN	6,85	6,85	320	340	573	6,75	4,70	
	MEDIA	6,95	6,94	949	857	712	6,92	5,82	
	MAX	7,03	7,08	2567	1890	880	7,07	7,30	
JUNIO	MIN	6,85	6,93	80	123	300	6,78	1,65	
	MEDIA	7,01	7,10	287	275	534	7,01	2,59	
	MAX	7,15	7,21	1233	1610	680	7,20	3,80	
JULIO	MIN	6,54	6,50	73	107	389	6,70	1,60	
	MEDIA	7,02	7,07	303	178	599	6,91	2,59	
	MAX	7,24	7,18	1570	433	800	7,06	3,90	
AGOSTO	MIN	6,33	6,26	90	130	460	6,52	1,84	
	MEDIA	7,06	7,07	344	349	628	6,83	3,54	
	MAX	7,26	7,25	1020	940	1000	6,98	6,95	
SEPTIEMB	MIN	6,95	6,85	80	67	540	6,64	1,25	
	MEDIA	7,09	7,04	140	392	713	6,91	3,63	
	MAX	7,19	7,14	300	1390	1000	7,11	5,93	
OCTUBRE	MIN	6,60	6,79	67	47	230	6,75	1,45	
	MEDIA	7,05	7,07	158	133	472	6,99	2,20	
	MAX	7,20	7,20	656	173	660	7,10	3,00	
NOVIEMB	MIN	7,02	6,98	87	93	220	6,68	2,12	
	MEDIA	7,13	7,17	149	146	479	7,06	2,71	
	MAX	7,24	7,32	220	207	660	7,32	3,29	
DICIEMBRE	MIN	6,99	6,91	113	87	300	6,76	2,60	
	MEDIA	7,08	7,04	528	252	688	6,94	3,91	
	MAX	7,28	7,16	1380	970	1000	7,17	5,93	

		AÑO 2014						EDAR SURESTE	
		SALIDA PRIMARIOS				RECIRCULACION (L. 1, 2)			
		PH		SOLID. SUSPENSION (ppm)		DBO5 (L. 1,2)		PH	SOLIDOS (gr)
		L. 1	L. 2	L. 1	L. 2	(mg O ₂ / l)			
2014	MIN	6,33	6,26	67	47	220	6,52	1,25	
	MEDIA	7,05	7,06	446	372	596	6,97	3,59	
	MAX	7,28	7,32	3500	1940	1000	7,91	10,00	

REUTILIZACION DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

AÑO 2011		SECUNDARIO: SERPENTÍN			E.D.A.R. DEL SURESTE		
						SOLIDOS	
		pH	Conductividad a 20°C (µS/cm)	Turbidez (NTU)	DQO (mg O ₂ /l)	DBO ₅ (mg O ₂ /l)	Suspensión (ppm)
		6-8			<125 mg/l	<25 mg/l	<35 mg/l
Enero	PROMEDIO	7,19	1519	11,1	80,0	17	19
	MÁXIMO	7,44	2320	16,0	88,9	24	35
	MÍNIMO	6,62	802	7,6	76,1	13	12
Febrero	PROMEDIO	7,33	1585	13,0	90,0	20	19
	MÁXIMO	7,50	2460	22,8	109,0	25	29
	MÍNIMO	7,08	1051	6,3	64,1	16	11
Marzo	PROMEDIO	7,22	1679	16,9	82,5	14	24
	MÁXIMO	7,52	2560	27,1	92,0	20	35
	MÍNIMO	6,86	1235	12,2	74,6	9	15
Abril	PROMEDIO	7,15	1636	14,1	86,2	16	24
	MÁXIMO	7,33	2510	19,9	102,0	21	36
	MÍNIMO	6,73	1002	8,3	75,0	6	13
Mayo	PROMEDIO	7,13	1386	12,1	92,2	12	17
	MÁXIMO	7,25	1621	18,2	96,4	15	26
	MÍNIMO	7,02	1111	8,4	88,0	10	8
Junio	PROMEDIO	6,95	1571	14,5	85,2	18	23
	MÁXIMO	7,26	1871	25,1	111,0	26	37
	MÍNIMO	6,14	1407	7,2	56,4	11	6
Julio	PROMEDIO	7,18	1731	7,7	69,0	17	21
	MÁXIMO	7,36	2310	16,7	76,8	21	35
	MÍNIMO	7,01	1354	4,9	56,8	10	8
Agosto	PROMEDIO	7,13	1930	7,2	71,5	13	12
	MÁXIMO	7,40	2930	10,6	89,0	22	31
	MÍNIMO	6,78	1496	4,4	52,9	9	2
Septiembre	PROMEDIO	7,09	1862	7,0	64,5	17	11
	MÁXIMO	7,34	2780	13,8	71,9	25	25
	MÍNIMO	6,80	1524	3,5	52,7	9	4
Octubre	PROMEDIO	7,06	1784	6,2	86,3	13	14
	MÁXIMO	7,42	2470	15,8	128,0	19	34
	MÍNIMO	6,87	1505	3,5	64,3	8	6
Noviembre	PROMEDIO	7,27	1682	8,1	70,7	11	16
	MÁXIMO	7,66	2030	13,3	78,4	15	26
	MÍNIMO	6,94	967	4,5	63,5	8	7
Diciembre	PROMEDIO	7,06	1636	10,7	68,0	13	22
	MÁXIMO	7,46	1928	19,4	71,5	16	35
	MÍNIMO	6,50	1444	5,7	63,4	10	10
Promedios 2011	PROMEDIO	7,15	1667	10,7	78,8	15	19
	MÁXIMO	7,66	2930	27,1	128,0	26	37
	MÍNIMO	6,14	802	3,5	52,7	6	2

REUTILIZACION DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

AÑO 2012		SECUNDARIO: SERPENTIN										E.D.A.R. DEL SURESTE									
		pH	Turbidez	C.E 20 °C μ S/cm	DGO $\text{mg}/\text{O}_2/\text{l}$	DBO5 $\text{mg}/\text{O}_2/\text{l}$	Sol. susp. $\text{P.}/\text{l}$	NO ₃ -N	NH ₄ -N	Ntotal	Ptotal	Al	Fe	SiO ₂	Cl ₂	S ²⁻					
ENERO	MIN	6.72	5.40	1463	72.8	13	14	2.180	21.7	23.1	1.030	0.014	0.135	6.2	0.138	0.099					
	MEDIA	7.02	7.73	1632	79.3	16	19	2.180	21.7	23.1	1.030	0.014	0.135	6.2	0.138	0.099					
	MAX	7.28	11.00	1849	85.3	19	32	2.180	21.7	23.1	1.030	0.014	0.135	6.2	0.138	0.099					
FEBRERO	MIN	6.51	7.04	1421	74.50	11	8	0.57	10.40	16.80	2.96	0.02	0.13	5.90	0.21	0.09					
	MEDIA	6.91	9.55	1617	82.25	19	21	0.57	10.40	16.80	2.96	0.02	0.13	5.90	0.21	0.09					
	MAX	7.26	14.80	2040	93.8	26	35	0.57	10.40	16.80	2.96	0.02	0.13	5.90	0.21	0.09					
MARZO	MIN	6.48	6.27	1386	64.5	12	12	1.920	9.9	15.8	2.710	0.034	0.131	4.5	0.210	0.064					
	MEDIA	6.98	9.80	1619	75.7	24	19	1.920	9.9	15.8	2.710	0.034	0.131	4.5	0.210	0.064					
	MAX	7.21	14.20	2020	85.1	30	28	1.920	9.9	15.8	2.710	0.034	0.131	4.5	0.210	0.064					
ABRIL	MIN	6.42	3.45	1176	62.4	10	9	0.120	0.4	14.2	1.360	0.014	0.117	1.0	0.220	0.042					
	MEDIA	7.07	9.16	1461	81.8	17	14	1.230	11.0	16.7	1.770	0.018	0.138	1.5	0.280	0.062					
	MAX	7.50	14.30	1956	125.0	29	27	2.340	21.6	19.1	2.180	0.018	0.155	2.1	0.340	0.061					
MAYO	MIN	6.89	8.29	1147	75.1	21	13	0.178	26.2	10.7	3.59	0.029	0.192	11.3	0.410	0.042					
	MEDIA	7.10	10.87	1649	80.6	24	18	0.962	28.2	25.4	8.23	0.041	0.209	12.8	0.410	0.042					
	MAX	7.36	15.40	2060	93.8	29	26	1.910	28.4	34.6	15.70	0.048	0.219	13.5	0.410	0.042					
JUNIO	MIN	6.73	4.98	1341	44.2	20	6	0.815	29.8	31.0	1.170	0.044	0.197	1.3	0.274	0.068					
	MEDIA	7.06	10.05	1552	72.1	25	17	2.348	36.3	52.4	2.355	0.054	0.211	1.3	0.295	0.068					
	MAX	7.41	26.30	1989	105.0	30	39	3.880	42.7	73.7	3.540	0.064	0.224	1.3	0.315	0.070					
JULIO	MIN	6.68	1.85	1321	37.4	20	2	0.890	20.4	27.6	4.150	0.036	0.236		0.540	0.056					
	MEDIA	7.15	6.03	1717	60.7	24	9	0.890	20.4	27.6	4.150	0.036	0.236		0.540	0.056					
	MAX	7.50	20.20	2290	89.3	29	24	0.890	20.4	27.6	4.150	0.036	0.236		0.540	0.056					
AGOSTO	MIN	7.00	2.86	1360	33.8	14	1	3.520	2.3	6.2	7.170	0.049	0.160	1.2	0.240	0.070					
	MEDIA	7.12	5.10	1809	50.2	22	8	3.520	2.3	6.2	7.170	0.049	0.160	1.2	0.240	0.070					
	MAX	7.24	13.80	2670	61.9	28	21	3.520	2.3	6.2	7.170	0.049	0.160	1.2	0.240	0.070					
SEPTIEMB	MIN	7.09	3.10	1200	39.3	20	2	5.880	0.8	12.1	0.861	0.039	0.169	10.7	0.300	0.076					
	MEDIA	7.28	5.56	1662	55.2	25	10	5.880	0.8	12.1	0.861	0.039	0.169	10.7	0.300	0.076					
	MAX	7.58	10.50	2540	77.1	28	22	5.880	0.8	12.1	0.861	0.039	0.169	10.7	0.300	0.076					
OCTUBRE	MIN	6.71	3.14	1229	48.3	18	4	0.080	0.6	11.2	5.920	0.026	0.148	10.1	0.170	0.069					
	MEDIA	6.91	5.62	1507	64.7	24	10	5.190	4.4	11.6	7.170	0.034	0.151	11.0	0.419	0.072					
	MAX	7.22	20.70	2180	114.0	31	33	10.300	8.1	12.0	8.420	0.042	0.154	11.9	0.667	0.074					
NOVIEMB	MIN	6.34	2.65	996	45.0	15	1	3.260	4.9	16.4	6.570	0.029	0.220	10.8	0.484	0.058					
	MEDIA	6.83	5.33	1454	63.0	21	8	3.260	4.9	16.4	6.570	0.029	0.220	10.8	0.484	0.058					
	MAX	7.25	8.10	1970	71.6	28	14	3.260	4.9	16.4	6.570	0.029	0.220	10.8	0.484	0.058					
DICIEMBRE	MIN	6.80	3.16	1264	62.7	21	3	0.661	20.1	22.4	1.770	0.099	0.191	9.8	0.250	0.054					
	MEDIA	6.97	5.26	1494	72.1	24	9	0.661	20.1	22.4	1.770	0.099	0.191	9.8	0.250	0.054					
	MAX	7.18	8.52	1817	89.3	26	13	0.661	20.1	22.4	1.770	0.099	0.191	9.8	0.250	0.054					
2012		pH	Turbidez	C.E 20 °C μ S/cm	DGO $\text{mg}/\text{O}_2/\text{l}$	DBO5 $\text{mg}/\text{O}_2/\text{l}$	Sol. susp. $\text{P.}/\text{l}$	NO ₃ -N	NH ₄ -N	Ntotal	Ptotal	Al	Fe	SiO ₂	Cl ₂	S ²⁻					
serpentin		MIN	1.85	996	33.8	10	1	0.080	0.4	6.2	0.861	0.014	0.117	1.0	0.138	0.042					
		MEDIA	7.03	1598	69.8	22	14	2.725	14.0	20.2	3.964	0.041	0.171	7.0	0.303	0.065					
		MAX	7.56	26.30	125.0	31	39	10.300	42.7	73.7	15.700	0.099	0.236	13.5	0.342	0.099					

REUTILIZACION DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

AÑO 2013		SECUNDARIO: SERPENTIN										E.D.A.R. DEL SURESTE									
MESES	PH	Turbidez	C.E 20 °C µS/cm	DOO mg/oz/L	DBO5 mg/oz/L	SOL. Susp. µg/ml	NO ₃ -N	NH ₄ ⁺ -N	Nitroxl	Protal	Al	Fe	SiO ₂	Cl ₂	S ⁻²						
ENERO	MIN	6,85	2,80	1299	66,5	12	3,110	20,3	21,9	0,810	0,024	0,186		0,320	0,015						
	MEDIA	7,06	5,54	1542	68,8	21	5,875	23,4	31,2	2,735	0,034	0,197		0,495	0,035						
	MAX	7,35	8,54	2110	73,3	26	8,240	26,4	40,4	4,080	0,044	0,208		0,870	0,054						
FEBRERO	MIN	6,80		1182,00	64,50	8,00	8,62	19,70	30,00	8,10	0,28	0,22	11,90	0,04							
	MEDIA	7,01		1635,30	69,27	14,00	8,62	19,70	30,00	8,10	0,28	0,22	11,90	0,04							
	MAX	7,34		2120	76,6	24,0	8,6	19,7	30,0	8,1	0,3	0,2	11,9	0,0							
MARZO	MIN	6,35		1090	47,6	10	8,800	18,5	31,0	6,340	0,033	0,235	1,2	0,640	0,054						
	MEDIA	6,96		1537	70,5	17	8,800	18,5	31,0	6,340	0,033	0,235	1,2	0,640	0,054						
	MAX	7,24		1943	82,8	24	8,800	18,5	31,0	6,340	0,033	0,235	1,2	0,640	0,054						
ABRIL	MIN	6,69		1419	67,2	2	1,020	27,2	19,2	1,100	0,026	0,215	10,8	0,060	0,041						
	MEDIA	7,13		1680	83,1	20	3,870	28,4	23,8	2,765	0,067	0,240	11,4	0,165	0,042						
	MAX	7,45		2140	92,7	29	6,720	29,5	28,4	4,430	0,108	0,264	11,9	0,270	0,043						
MAYO	MIN	7,05		1339	55,2	24	1,270	3,6	10,0	3,400	0,030	0,158	11,6	0,100	0,060						
	MEDIA	7,13		1532	60,6	26	1,270	3,6	10,0	3,400	0,030	0,158	11,6	0,100	0,060						
	MAX	7,29		1854	65,8	29	1,270	3,6	10,0	3,400	0,030	0,158	11,6	0,100	0,060						
JUNIO	MIN	6,99	3,07	1421	55,6	7															
	MEDIA	7,09	5,64	1739	62,7	15															
	MAX	7,25	10,20	2480	72,3	20															
JULIO	MIN	6,98	2,40	1543	46,0	4	0,813	7,9	15,8	3,700	0,036	0,251	12,0	0,150	0,062						
	MEDIA	7,11	4,98	1786	56,6	12	0,813	7,9	15,8	3,700	0,036	0,251	12,0	0,150	0,062						
	MAX	7,33	8,73	2320	71,4	26	0,813	7,9	15,8	3,700	0,036	0,251	12,0	0,150	0,062						
AGOSTO	MIN	7,30	4,84	1480	55,0	11	0,984	18,4	23,2	3,460	0,032		12,2		0,069						
	MEDIA	7,40	6,84	1941	62,5	23	0,934	18,4	23,2	3,460	0,032		12,2		0,069						
	MAX	7,54	10,50	2440	71,2	31	0,934	18,4	23,2	3,460	0,032		12,2		0,069						
SEPTIEMB	MIN	6,40	3,33	1300	49,3	12	2,450	1,4	7,3	0,815	0,057	0,340	11,8	0,110	0,055						
	MEDIA	7,19	6,04	1609	70,8	20	2,450	1,4	7,3	0,815	0,057	0,340	11,8	0,110	0,055						
	MAX	7,38	11,50	1910	93,9	35	2,450	1,4	7,3	0,815	0,057	0,340	11,8	0,110	0,055						
OCTUBRE	MIN	6,62	1,28	1301	54,3	18	7,780	0,2	9,7	5,600	0,023	0,157	9,5	0,030	0,060						
	MEDIA	7,08	5,98	1529	68,8	23	7,780	0,2	9,7	5,600	0,023	0,157	9,5	0,030	0,060						
	MAX	7,28	8,93	1903	80,3	27	7,780	0,2	9,7	5,600	0,023	0,157	9,5	0,030	0,060						
NOVIEMB	MIN	6,95	3,72	1250	46,7	12															
	MEDIA	7,10	5,92	1651	66,5	22															
	MAX	7,23	9,49	2190	85,3	30															
DICIEMBRE	MIN	6,80	6,17	1192	13,2	6															
	MEDIA	7,12	8,47	1426	69,4	20															
	MAX	7,81	15,10	1688	97,0	30															
2012	PH			C.E 20 °C µS/cm			DOO mg/oz/L		DBO5 mg/oz/L		SOL. Susp. µg/ml	NO ₃ -N	NH ₄ ⁺ -N	Nitroxl	Protal	Al	Fe	SiO ₂	Cl ₂	S ⁻²	
	MIN	6,35		1090	13,2	2	0,813	0,2	7,3	0,810	0,023	0,157	1,2	0,640	0,054						
	MEDIA	7,11	6,26	1632	67,5	20	4,488	13,5	20,2	4,102	0,066	0,225	10,2	0,217	0,055						
MAX	7,81		2460	97,0	35	8,800	29,5	40,4	8,100	0,290	0,340	12,2	0,252	0,069							

REUTILIZACION DE AGUAS DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVADOS PARA AGUA DE RIEGO EN CULTIVOS Y SUELOS

E.D.A.R. DEL SURESTE

SECUNDARIO: SERPENTIN 2014

AÑO 2014

	pH	Turbidez	C.E.20 °C.µs/cm	DQO ₅ (mg O ₂ /l)	DBO ₅ (mg O ₂ /l)	S.Ol. Susp. (g/ml)	NO ₃ -N	NH ₄ -N	N _{total}	P _{total}	Al	Fe	SiO ₂	Cl ₂	S ²⁻
ENERO	MIN	7.09	5.00	1244	61.6	18	8.90	5.5	26.4	6.530	0.025	0.180	8.5	0.010	0.059
	MEDIA	7.27	10.04	1530	83.1	23	8.90	5.9	28.3	7.045	0.028	0.193	9.1	0.015	0.068
	MAX	7.36	28.20	2440	129.0	28	8.90	6.3	30.2	7.660	0.030	0.205	9.8	0.020	0.076
FEBRERO	MIN	7.11	5.77	1270	64.5	6.0	3.05	17.1	21.7	3.83	0.04	0.19	8.10	0.06	0.56
	MEDIA	7.32	7.99	1599	72.9	13	3.05	17.1	21.7	3.83	0.04	0.19	8.10	0.06	0.56
	MAX	7.52	10.40	2600	86.1	27	3.05	17.1	21.7	3.8	0.0	0.2	8.1	0.1	0.6
MARZO	MIN	7.01	6.73	201	9.3	15	2.50	4.2	9.9	1.850	0.033	0.090	10.0	0.230	0.061
	MEDIA	7.32	9.41	1555	64.6	24	2.50	4.2	9.9	1.850	0.033	0.090	10.0	0.230	0.061
	MAX	7.47	8.78	2270	86.6	34	2.50	4.2	9.9	1.850	0.033	0.090	10.0	0.230	0.061
ABRIL	MIN	7.07	5.60	1307	59.1	7	2.49	3.1	7.8	0.678	0.019	0.188	10.1	0.178	0.058
	MEDIA	7.25	8.22	1623	68.1	17	2.63	6.4	10.8	0.777	0.026	0.200	10.8	0.189	0.058
	MAX	7.42	12.60	2160	85.8	25	2.77	9.8	13.8	0.875	0.033	0.212	11.0	0.200	0.058
MAYO	MIN	7.11	1.08	1377	34.3	9	4.99	2.3	9.4	2.480	0.031	0.161	9.8	0.058	0.070
	MEDIA	7.24	5.50	1546	52.5	20	4.79	2.7	11.7	4.710	0.033	0.177	9.8	0.061	0.095
	MAX	7.43	8.11	1808	65.4	28	4.89	3.2	14.1	6.940	0.034	0.192	10.0	0.064	0.120
JUNIO	MIN	7.17	4.80	1358	23.1	20	4.50	5.8	9.4	2.100	0.033	0.180	9.0	0.034	0.040
	MEDIA	7.31	6.45	1637	61.7	23	4.50	5.8	9.4	2.100	0.033	0.180	9.0	0.034	0.040
	MAX	7.46	10.30	2338	77.7	27	4.50	5.8	9.4	2.100	0.033	0.180	9.0	0.034	0.040
JULIO	MIN	6.99	2.14	1326	42.7	17	4.90	25.0	26.9	1.900	0.028	0.171	9.8	0.410	0.057
	MEDIA	7.22	5.36	1686	59.2	23	4.90	25.0	26.9	1.900	0.028	0.171	9.8	0.410	0.057
	MAX	7.36	7.92	2240	70.9	28	4.90	25.0	26.9	1.900	0.028	0.171	9.8	0.410	0.057
AGOSTO	MIN	6.98	3.83	1398	45.8	13	2.84	10.5	12.4	0.890	0.021	0.190	10.5	0.340	0.030
	MEDIA	7.21	5.84	1791	53.4	22	2.84	10.5	12.4	0.890	0.021	0.190	10.5	0.340	0.030
	MAX	7.39	7.82	2350	60.8	28	2.84	10.5	12.4	0.890	0.021	0.190	10.5	0.340	0.030
SEPTIEMB	MIN	26.60	3.99	1583	26.9	12	21.90	2.1	28.7	9.080	0.037	0.209	10.5	0.030	0.063
	MEDIA	27.96	6.18	1883	51.7	23	21.90	2.1	28.7	9.080	0.037	0.209	10.5	0.030	0.063
	MAX	29.10	11.70	2530	70.3	27	21.90	2.1	28.7	9.080	0.037	0.209	10.5	0.030	0.063
OCTUBRE	MIN	7.02	2.38	1520	53.6	23	1.71	5.7	13.5	4.360	0.031	0.146	9.2	0.030	0.068
	MEDIA	7.28	4.84	2012	60.5	25	1.97	7.8	14.7	6.025	0.036	0.157	10.1	0.060	0.069
	MAX	7.51	6.83	2690	78.9	26	2.22	9.8	15.9	7.690	0.040	0.167	11.0	0.090	0.070
NOVIEMB	MIN	6.89	2.57	1215	47.2	18	5.48	15.2	21.5	7.910	0.024	0.180	9.9	0.030	0.068
	MEDIA	7.27	4.21	1931	56.3	21	5.48	15.2	21.5	7.910	0.024	0.180	9.9	0.030	0.068
	MAX	7.59	7.16	3000	68.0	25	5.48	15.2	21.5	7.910	0.024	0.180	9.9	0.030	0.068
DICIEMBRE	MIN	6.93	3.91	983	51.8	16	1.69	5.5	14.1	3.360	0.029	0.067	10.0	0.030	0.066
	MEDIA	7.19	5.75	1475	55.5	22	1.69	5.5	14.1	3.360	0.029	0.067	10.0	0.030	0.066
	MAX	7.52	7.83	1872	61.6	25	1.69	5.5	14.1	3.360	0.029	0.067	10.0	0.030	0.066
2014 serpentin	MIN	6.89	1.08	201	9.3	6	1.690	2.1	7.8	0.678	0.019	0.067	9.9	0.010	0.030
	MEDIA	8.99	6.03	1689	61.6	21	5.429	9.0	17.5	4.106	0.030	0.167	9.0	0.124	0.102
	MAX	29.10	28.20	3000	129.0	34	21.900	25.0	30.2	9.080	0.040	0.212	11.0	0.128	0.555